

# Belastungs- und Deformationsmessungen an einer Tunnelschalung

Autor(en): **Müller, Christoph**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 37

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73742>

## Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

gegen Extinktion zu einer Verdoppelung des scheinbaren Fehlers. Dieser Vergleich ist daher auf jeden Fall unzulässig.

5. Die Abweichungen können bei veränderlicher Zusammensetzung des Aerosols beträchtlich werden. Es ist daher von Anwendungsfall zu Anwendungsfall zu untersuchen, ob die bei Anwendung der Extinktions- oder Streulichtmessung entstehenden systematischen Fehler innerhalb der tolerierten Grenzen liegen oder ob eine Kontrastmessung erforderlich ist.

6. Mit dem Kontrastmessgerät werden zwar die für die Sicht massgebenden Eigenschaften des Aerosols korrekt er-

fasst; trotzdem lässt sich aus einer Kontrastmessung die Sichtweite von der Theorie her nicht exakt bestimmen. Da die Kontrastverminderung durch zwei unabhängige Variablen, die Extinktionseigenschaft des Aerosols und die Streueigenschaft desselben, bestimmt wird, ist die Sichtweite grundsätzlich nur mit zwei Messwerten erchenbar. Dies können eine Kontrast- und eine Extinktionsmessung oder aber zwei Kontrastmessungen mit verschiedenen Abständen des Sichtzieles sein.

Adresse der Verfasser: Dr. ing. W. Sigrist und H. Urheim, dipl. Phys. ETH, Sigrist-Photometer AG, Zweierstr. 129, 8036 Zürich.

## Belastungs- und Deformationsmessungen an einer Tunnelschalung

Von Christoph Müller, Altdorf

Grosse *teleskopierbare Metallschalungen*, wie sie beim Untertagebau für die Auskleidung von *Strassentunnels* zur Anwendung gelangen, erweisen sich oft als zu *schwach*. Aus Gründen der *Wirtschaftlichkeit* besteht beim Unternehmer die Tendenz, einerseits immer *leistungsfähigere Betonpumpen* einzusetzen, andererseits an den Anschaffungskosten der Schalungen durch *Herabsetzung der Konstruktionsgewichte* Einsparungen zu erzielen.

Die nachteiligen Folgen treten erst bei der Ausführung der Betonarbeiten auf der Baustelle in Erscheinung. Die *Verformungen unterbemessener Tunnelschalungen* ergeben oft *Ungenauigkeiten beim Bauwerk* in einer Grössenordnung, die der Bauherr keineswegs zu tolerieren gewillt ist. Nachträgliche Verstärkungen an den Schalkonstruktionen sind mit erheblichen Aufwendungen verbunden. Sehr oft führen sie auch nicht zum vollständigen Erfolg.

Auf der *Baustelle Büel* des *Seelisberg-Strassentunnels* hatte die Bauleitung die Unternehmung Marti AG, Bern, veranlassen können, durch Messungen in situ die statischen Belastungsannahmen ihrer Gewölbeschalung zu überprüfen. Im Verlauf eines Betoniervorganges konnten die effektiven Betonschaldrücke und die Deformationen der Schalung ermittelt werden.

### Versuchsdurchführung

#### Messeinrichtungen

Mit der Durchführung der Messungen wurde die *Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA)* in *Dübendorf* beauftragt. Der Betondruck auf die Schalung wurde an *fünf Stellen* mit besonders konstruierten *Kraftmessdosen*  $\varnothing$  10 cm gemessen und der zeitliche Verlauf mit einem *6-Kanalkompensationsschreiber* registriert. Die Messgenauigkeit lag bei 5%. Die Verschiebung der Nulllinien der aufgezeichneten Betondrücke konnte während der Zeit des Versuches, vor allem wegen Temperatureinflüssen, bis zu 0,05 kp/cm<sup>2</sup> betragen. Gleichzeitig wurden auch die Verschiebungen der Schalung bei bestimmten Betonierphasen an Messuhren abgelesen. Sämtliche Messgeräte lagen in der Mittellinie des Schalelementes.

#### Konstruktion der Schalung

Elementlänge: 8,10 m'  
Umfang: 24,20 m'  
Schalfläche: 196 m<sup>2</sup>

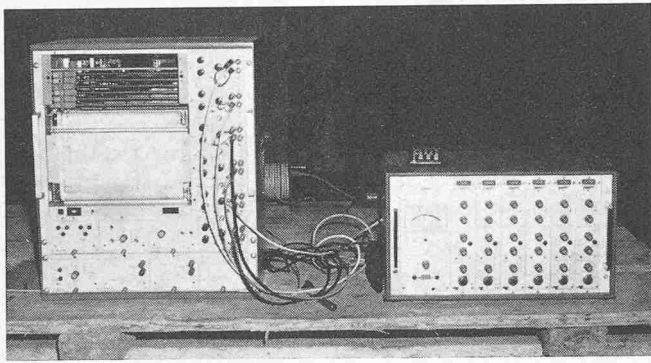
Die teleskopierbare Metallschalung bestand aus zehn verschweissten Kastenträgern in einem Abstand von 0,87 m und einer Schalfläche aus Stahlmuralis. Die Träger waren durch

Tunnelschalung



Schal- und Betonierinstallationen für die Auskleidung des Tunnels





6-Kanal-Kompensationsschreiber

sieben Longarinen HEB 120 gegenseitig verbunden, beidseitig am Auflager durch je zehn Spindeln fixiert und in zwei Lagen durch Zylinderpressen mit 300 Mp bzw. 50 Mp querverspriesst.

Ausbildung der Kastenträger:

Höhe 350 mm, verstärkt mit UNP 120  
 Querschnitt 72 cm<sup>2</sup>  
 $J_x$  1 282 cm<sup>3</sup> je m<sup>2</sup>  
 $M_{zul}$  25,6 Mpm bei  $\delta$  zul. 2000 kp/cm<sup>2</sup>

Gewicht eines Schalelementes total ca. 34 Mp  
 Spezifisches Flächengewicht Träger 108 kp/m<sup>2</sup>  
 Murali 65 kp/m<sup>2</sup>  
 Total 173 kp/m<sup>2</sup>

Betonierung

Beton: BH 325  
 Konsistenz: plastisch  
 Wasser-Zement-Faktor 0,58–0,60  
 für Scheitelschluss bis 0,65  
 Setzmass 6–7 cm

Betonpumpe: Torkret Typ 013

Nennleistung 60 m<sup>3</sup> je Std.

Pumpleitung  $\varnothing$  180 mm mit Einfüllstutzen im Scheitel

Betonierung: Zeitaufwand 4 h 10 min

Kubatur 115 m<sup>3</sup>

mittlere Betonstärke 58 cm

mittlere Betonierleistung 28 m<sup>3</sup> je Std.

mittlere Steiggeschwindigkeit 2,35 m je Std.  
 beidseitig

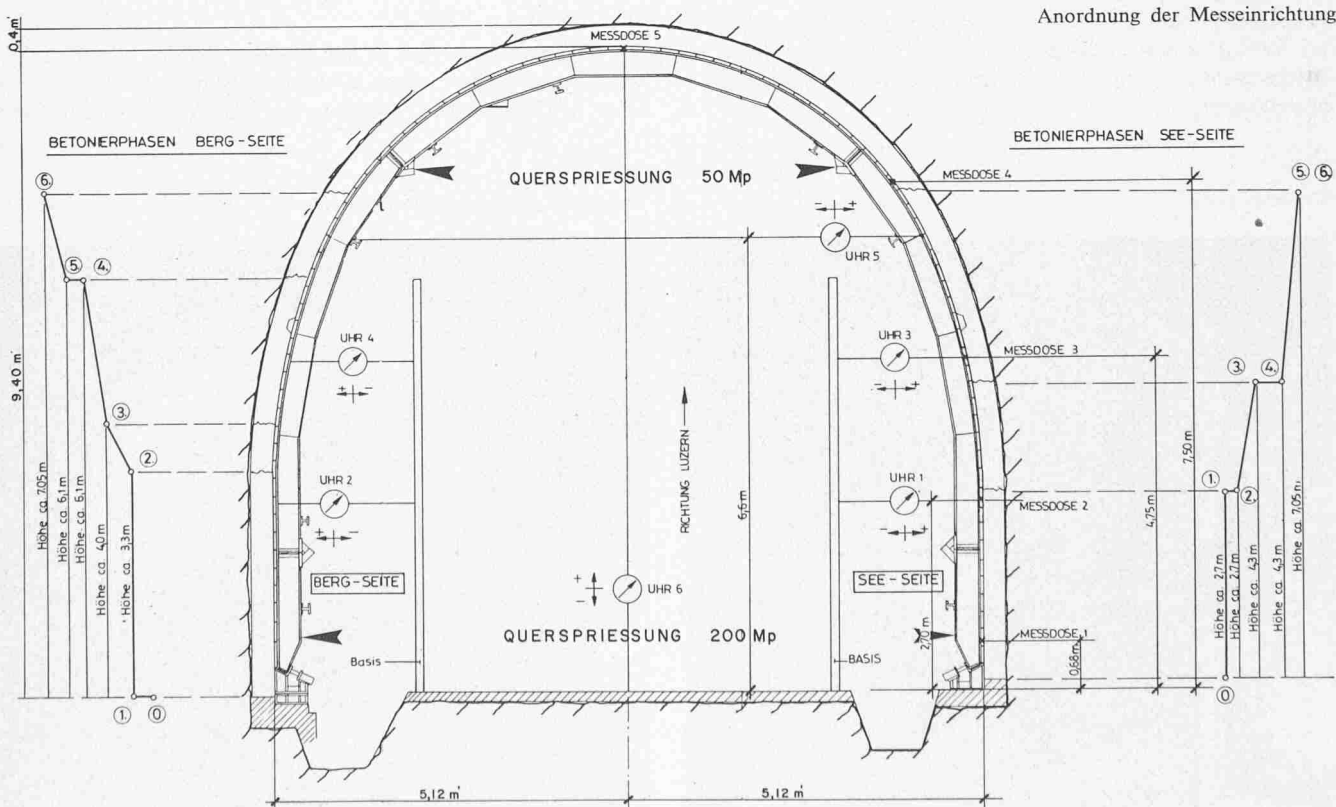
Bis auf die Kämpferhöhe von 7,05 m wurden die beiden Paramente wechselseitig betoniert. Die einzelnen Betonphasen sind mit 1. bis 6. bezeichnet.

### Messergebnisse

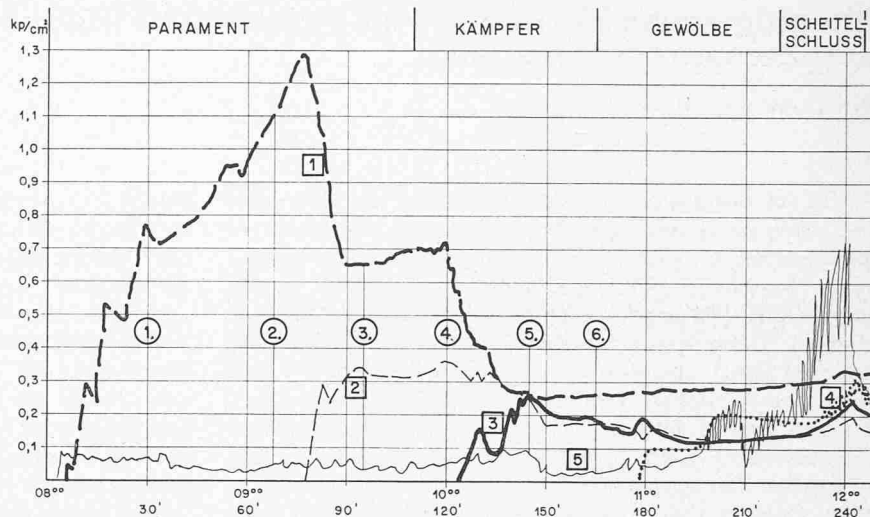
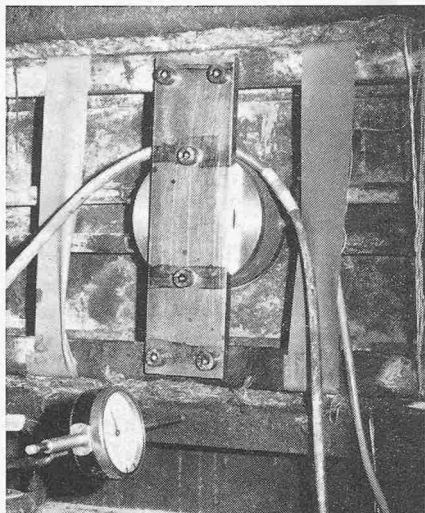
Max. Betondrücke auf die Schalung (Lufttemperatur 16° C)

| Zeit  | Betonierphase (Ende) | Betonhöhe Seite (in m') |       | Messdosen Nr.   |                 |      |      |          |
|-------|----------------------|-------------------------|-------|-----------------|-----------------|------|------|----------|
|       |                      | See                     | Berg  | 1               | 2               | 3    | 4    | 5        |
| 08.30 | 1.                   | 2,7                     | —     | 0,54<br>(0,50)* | —               | —    | —    | ca. 0,07 |
| 09.08 | 2.                   | 2,7                     | (3,3) | 1,29            | —               | —    | —    | ca. 0,05 |
| 09.35 | 3.                   | 4,3                     | 4,0   | 0,66            | 0,34<br>(0,38)* | —    | —    | ca. 0,09 |
| 10.00 | 4.                   | 4,3                     | 6,1   | 0,36            | —               | —    | —    | ca. 0,03 |
| 10.25 | 5.                   | 7,05                    | 6,1   | 0,25            | 0,20            | 0,26 | —    | ca. 0,09 |
| 10.45 | 6.                   | 7,05                    | 7,05  | 0,26            | 0,17            | 0,16 | —    | ca. 0,04 |
| 11.30 | Gewölbe              | ca. 8,00                | 0,28  | 0,16            | 0,12            | 0,24 | —    | ca. 0,03 |
| 12.00 | Endphase             | ca. 9,80                | 0,33  | 0,20            | 0,25            | 0,33 | —    | 0,73     |
| 12.05 | Endzustand           | —                       | —     | 0,33            | 0,17            | 0,23 | 0,24 | 0,24     |

\* Berechneter hydrostatischer Betondruck. Die Werte wurden an den Messdosen am Ende der einzelnen Betonierphasen abgelesen.



Anordnung der Messeinrichtung



### Messdose und Messuhr

## Verlauf der registrierten Betonschalldrücke

## Verschiebungen der Schalen

| Betonierphase | Zeit  | See-Seite | Berg-Seite | See-Seite | Berg-Seite |        |             |
|---------------|-------|-----------|------------|-----------|------------|--------|-------------|
|               |       | U 1       | U 2        | U 3       | U 4        | U 5    | U 6         |
| 0             | 08.00 | 0         | 0          | 0         | 0          | 0      | 0           |
| 1.            | 08.30 | -12,80    | + 6,00     | - 8,65    | + 5,25     | - 0,50 | + 0,70      |
| 2.            | 09.08 | - 8,20    | -10,50     | - 4,50    | - 6,20     | - 4,00 | + 3,00      |
| 3.            | 09.35 | -14,90    | -16,60     | - 8,90    | -14,00     | - 8,00 | + 5,00      |
| 4.            | 10.00 | -15,50    | -23,80     | -10,90    | -24,40     | -14,80 | + 8,80      |
| 5.            | 10.25 | -19,20    | -23,50     | -19,00    | -23,50     | -20,00 | +11,80      |
| 6.            | 10.45 | -19,20    | -24,40     | -18,80    | -26,70     | -24,00 | +14,00      |
| 7.            | 11.07 | -19,00    | -24,50     | -20,50    | -27,10     | -27,00 | +15,50 max. |
| 8.            | 11.30 | -18,80    | -24,50     | -20,20    | -27,00     | -26,90 | +14,80      |
| 9.            | 11.45 | -18,60    | -24,20     | -19,00    | -26,70     | -26,20 | +14,00      |

Die Verschiebungen wurden an den Messuhren am Ende der einzelnen Betonierphasen abgelesen.

## Interpretation der Messergebnisse

### Betonschaldrücke (Belastungen)

- Der aktive Seitendruck entsprach primär dem vollen hydrostatischen Betondruck bis zu einer Betonierhöhe von rund 3,0 Metern.
- Während dem Betonieren am gegenseitigen Parament konnte sekundär ein «passiver» Betondruck entstehen. Sein Wert kann je nach Betonierweise ein Mehrfaches des hydrostatischen Druckes ausmachen.
- Belastungsspitzen wurden durch ein Ausweichen der Schalung (Deformationen) relativ rasch wieder abgebaut.
- Beim Scheitelschluss konnten im Bereich des Einfüllstutzens kurzfristig Belastungsspitzen von  $0,7 \text{ kp/cm}^2$  auftreten. Die einzelnen Pumpenstösse wurden mit  $0,2 \text{ kp/cm}^2$  registriert.
- Nach Beendigung der Betonierung stellte sich eine nahezu gleichmässige Druckverteilung von  $0,2$  bis  $0,3 \text{ kp/cm}^2$  ein.
- Es bleibt noch die Frage offen, in welchem Verhältnis die an relativ kleinen Flächen gemessenen Druckkräfte zur gesamten Belastung eines Schalelementes stehen.

### Verschiebungen der Schalung (Deformationen)

Trotz der Querverbindungen erreichten die Verschiebungen der Schalung die obere Grenze der zulässigen Werte.

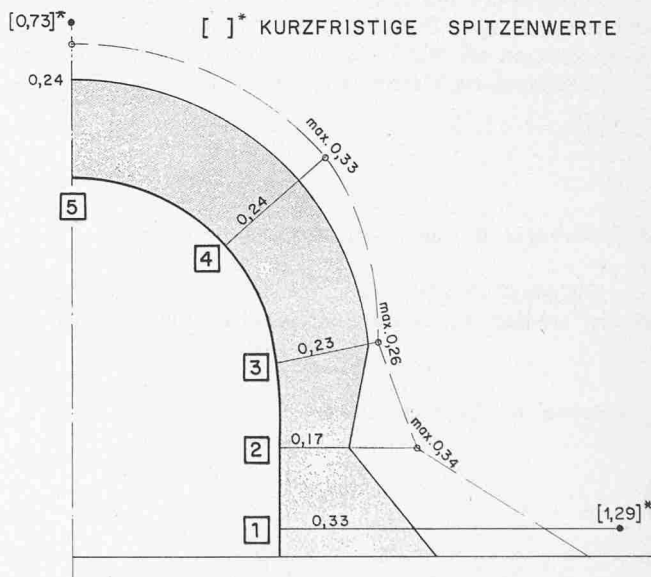
## Deformationen

|          | max. Werte | (in mm) | Endwerte |
|----------|------------|---------|----------|
| Parament | — 24,50    |         | — 24,20  |
| Kämpfer  | — 27,10    |         | — 26,70  |
| Scheitel | + 15,50    |         | + 14,00  |

Die Verkürzung der Querspriessungen betrug

|          |            |
|----------|------------|
| Parament | — 43,50 mm |
| Kämpfer  | — 47,60 mm |

Durch eine Aussenspriessung gegen den Fels könnten die Deformationen merklich reduziert werden. Die Massnahme war im Baulos Büel wegen der Isolationsfolie nicht möglich.

Belastungszustand kurz nach Betonierende (in Kp/cm<sup>2</sup>)

## Zusammenfassung

Um die effektiven Schalldrücke beim Betonieren eines Tunnelgewölbes in Erfahrung zu bringen, wurden beim Baulos Büel des Seelisbergtunnels durch die Firma Marti AG, Bern, Messungen veranlasst. Es konnten maximale Belastungen von 13 Mp/m<sup>2</sup> und Deformationen der Schalung bis zu 2,7 cm festgestellt werden.

Adresse des Verfassers: Ch. Müller, dipl. Ing. ETH, Bauleitung  
Los Büel, Seelisbergtunnel, Elektrowatt, Ingenieurunternehmung AG,  
Herrengasse 16, 6460 Altdorf.