Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 37

Artikel: Belastungs- und Deformationsmessungen an einer Tunnelschalung
Autor: Müller, Christoph
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73742

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: 08.08.2025

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

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 erfasst; 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 errechenbar. 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

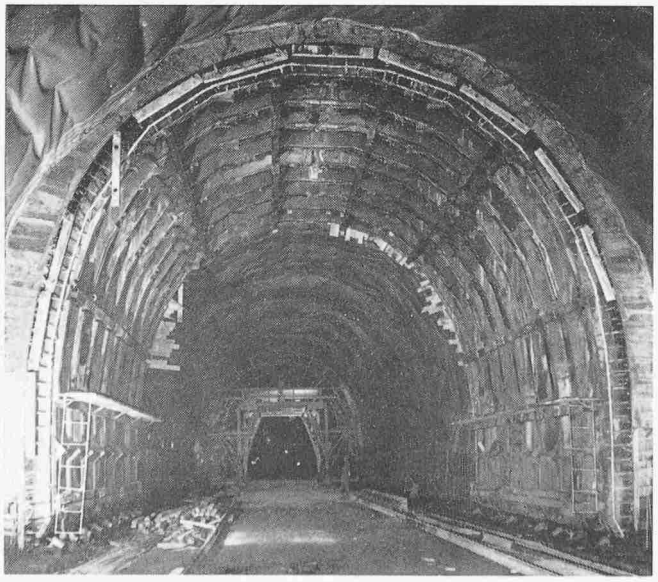
Mit der Durchführung der Messungen wurde die *Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt* (EMPA) in *Dübendorf* beauftragt. Der Betondruck auf die Schalung wurde an *fünf Stellen* mit besonders konstruierten *Kraftmessdosen* ⌀ 10 cm gemessen und der zeitliche Verlauf mit einem *6-Kanalkompensationsschreiber* registriert. Die Messgenauigkeit lag bei 5%. Die Verschiebung der Nullinien der aufgezeichneten Betondrücke konnte während der Zeit des Versuches, vor allem wegen Temperatureinflüssen, bis zu 0,05 kp/cm² 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

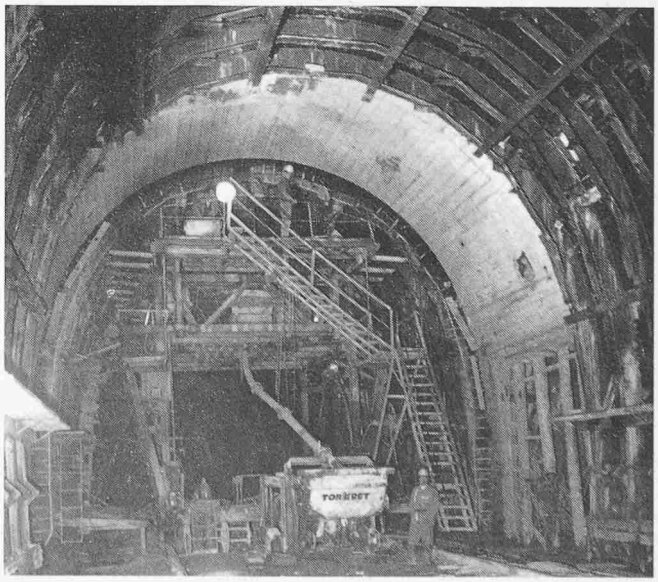
Elementlänge: 8,10 m′
Umfang: 24,20 m′
Schalfläche: 196 m²

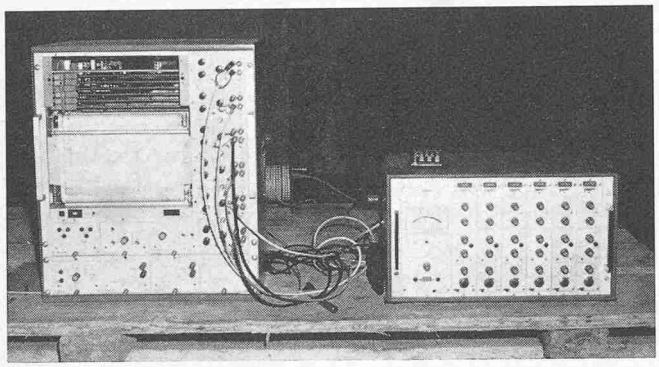
Die teleskopierbare Metallschalung bestand aus zehn verschweissten Kastenträgern in einem Abstand von 0,87 m und einer Schalfläche aus Stahlmuralis. Die Träger waren durch

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 cm²
J_x	1 282 cm³ je m²
M_{zul}	25,6 Mpm bei δ zul. 2000 kp/cm²

Gewicht eines Schalelementes	total ca.	34 Mp
Spezifisches Flächengewicht	Träger	108 kp/m²
	Murali	65 kp/m²
	Total	173 kp/m²

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 m³ je Std.
	Pumpleitung	⌀ 180 mm mit Einfüllstutzen im Scheitel
Betonierung:	Zeitaufwand	4 h 10 min
	Kubatur	115 m³
	mittlere Betonstärke	58 cm
	mittlere Betonierleistung	28 m³ 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.

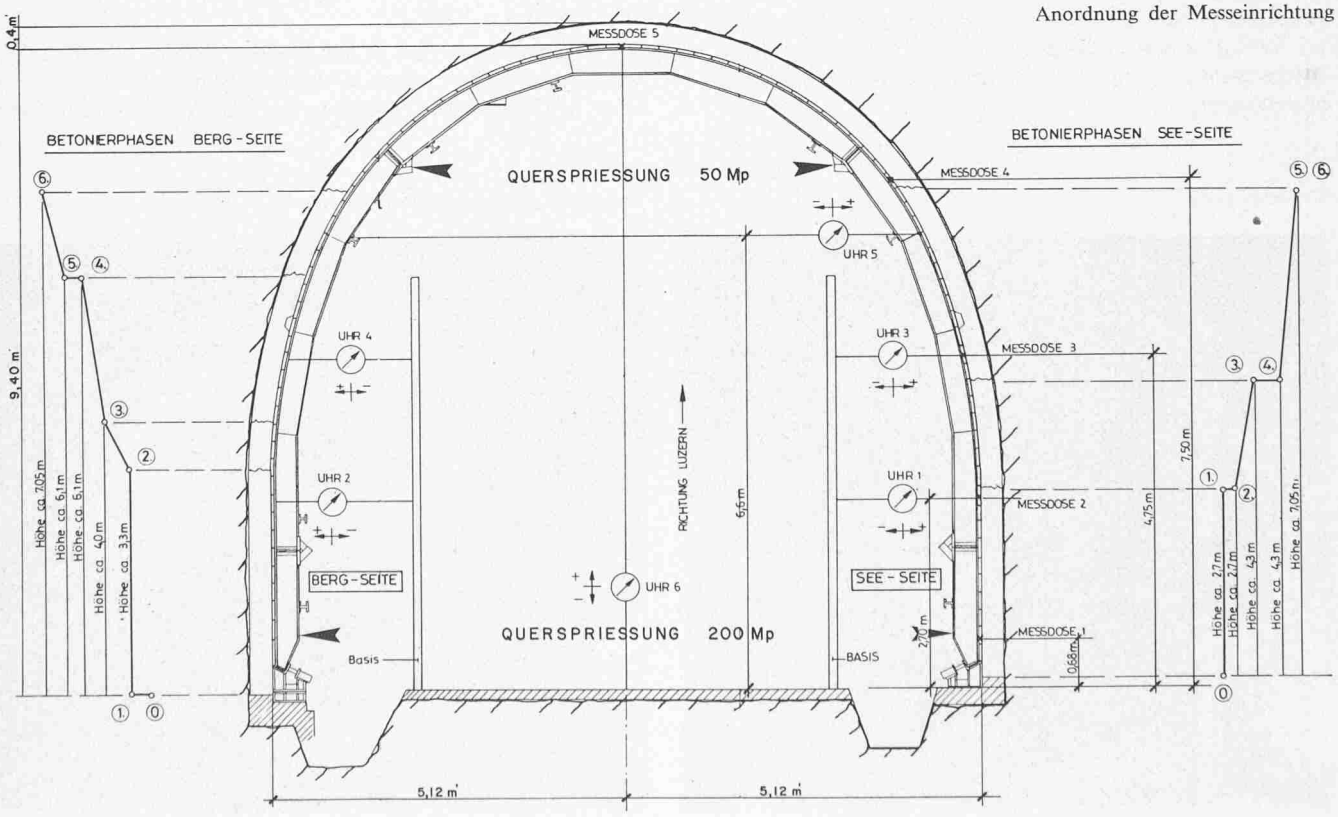
Messergebnisse

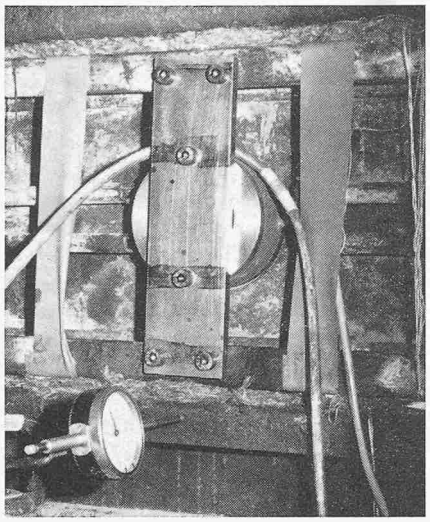
Max. Betondrücke auf die Schalung (Lufttemperatur 16° C)

Zeit	*Betonier-phase (Ende)*	*Betonhöhe Seite (in m') See*	*Berg*	*Messdosen Nr.* 1 kp/cm²	2 kp/cm²	3 kp/cm²	4 kp/cm²	5 kp/cm²
08.30	1.	2,7	–	0,54 (0,50)*	–	–	–	ca. 0,07
09.08	2.	2,7	(3,3) 4,0	1,29	–	–	–	ca. 0,05
09.35	3.	4,3	4,0	0,66	0,34 (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 (0,55)*	–	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

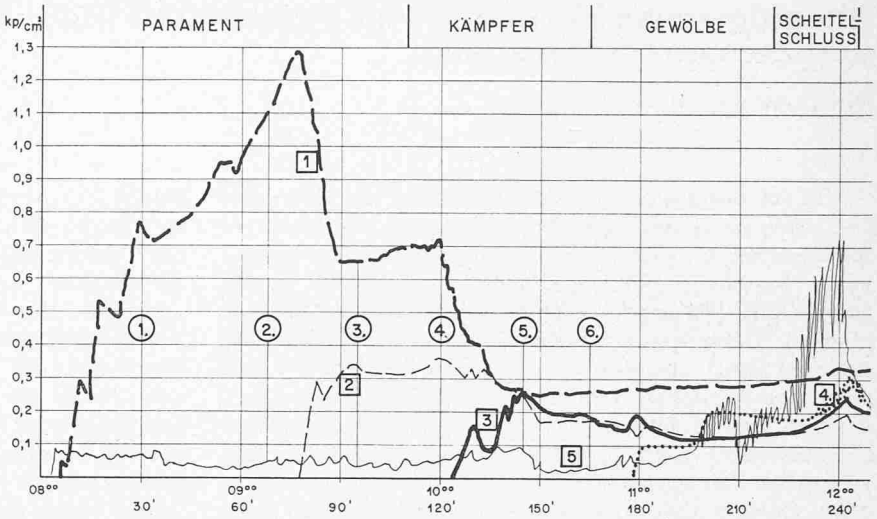
* Berechneter hydrostatischer Betondruck. Die Werte wurden an den Messdosen am Ende der einzelnen Betonierphasen abgelesen.

Anordnung der Messeinrichtung





Messdose und Messuhr



Verlauf der registrierten Betonschaldrücke

Verschiebungen der Schalen

Betonierphase	Zeit	See-Seite U 1	Berg-Seite U 2	See-Seite U 3	Berg-Seite U 4	U 5	U 6
		Ablesung der Messuhren in mm					
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 kp/cm² auftreten. Die einzelnen Pumpenstösse wurden mit 0,2 kp/cm² registriert.
- Nach Beendigung der Betonierung stellte sich eine nahezu gleichmässige Druckverteilung von 0,2 bis 0,3 kp/cm² 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.

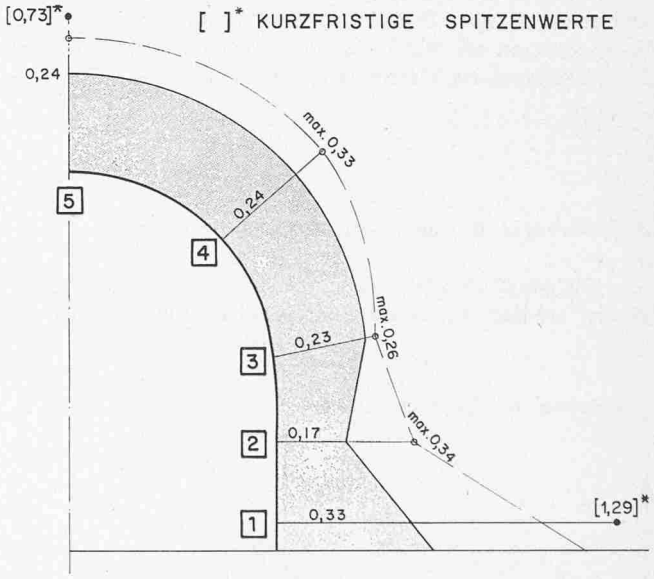
Deformationen

	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/cm²)

Zusammenfassung

Um die effektiven Schaldrücke 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/m² 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.