

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 68 (1950)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Wasserdichte Druckstollen und Druckschächte mit Kernring-Auskleidung  
**Autor:** Kieser, Alois  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-58030>

### **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:** 07.01.2026

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

## Wasserdichte Druckstollen und Druckschächte mit Kernring-Auskleidung

DK 627.842

Von Dipl. Ing., Dr. techn. ALOIS KIESER, behördl. aut. Zivilingenieur für Bauwesen, Bregenz (Oesterreich)

(Schluss von Seite 307)

Nach Entfernung der Messeinrichtungen erfolgte dann der planmässige Ausbau der Druckstollenröhre. Die ersten 20 m hinter dem Torblock (Zonen 1 bis 4) erhielten Kernring-Auskleidung. Die restlichen 8 m des 28 m langen Stollens, die in gutem Fels liegen, wurden zu Vergleichszwecken nach den üblichen Verfahren verkleidet und zwar 4 m (Zone 5) mit 26 cm starkem Beton und die letzten 4 m (Zone 6) kombiniert aus einer äusseren Betonverkleidung von 18 cm Stärke und einem 8 cm dicken Gunitring. Dieser erhielt eine kräftige Bewehrung aus Rundeisen  $\varnothing$  20 mm in 6 cm Abstand. Vor Einbau des Gunitringes wurde der Beton der Zonen 5 und 6 mit 6 atü sorgfältig hinterpresst.

U. a. war im Rahmen des Versuchsprogrammes auch die Messung des Druckverlaufes im Hinterpressring und die Verformung des Kernringes während des Spannvorganges vorgesehen. Für die Druckmessungen wurden unter Zwischenschaltung von Gummimembranen und Sperrwasser Manometer verwendet, die allerdings gegen Verstopfung oder Undichtheiten der Anschlüsse sehr empfindlich sind. Die Deformationen wurden an zwei unter  $45^\circ$  gegen die Lotrechte geneigten Messgestängen, somit in zwei zueinander senkrechten Durchmessern abgelesen. Solche Messungen wurden zunächst am 1. Oktober 1947 versuchsweise bei der Hinterpressung des Proberinges in Rodund und später im Versuchsstollen an Zone 4 durchgeführt (vgl. Bild 11).

Beim ersten Versuch in Rodund konnte der Druckanstieg hinter dem Kernring im Takt des Pumpendruckes bis etwa 13 atü verfolgt werden. Nur zwei von den sechs angesetzten Manometern gaben nach einer bei 6 atü infolge ungenügender Bereitstellung von Zementbrei eingetretenen Pumpenpause keine Anzeige mehr. Der Versuch musste bei 13 atü Spanndruck infolge Nachgeben der hölzernen Abdämmung an den Stirnseiten des 1 m langen Hinterpressringes abgebrochen werden. Die Messuhren zeigten eine beträchtliche Deformation des Kernringes an. Während jedoch beim einen Durchmesser mit wachsendem Druck der anfänglichen Verkürzung um 1,3 mm infolge elliptischer Verformung des Kernringes eine Rückbildung auf die Ausgangslänge folgte, wurde beim anderen eine anhaltende, und bei der Umkehr des ersten beschleunigte

Zusammendrückung beobachtet. Beim maximalen Spanndruck von 13 atü betrug sie 4,48 mm und das Mittel der Verkürzung beider Durchmesser 2,24 mm. Das Deformationsspiel endete bei diesem Versuch mit einer gehaltenen Verkürzung von 0,14 mm beim ersten und 3,52 mm beim zweiten Durchmesser, somit im Mittel von 1,83 mm, entsprechend einer durchschnittlichen radialen Eindrückung von 0,91 mm. Davon dürften bei diesem mit ungeschulten Arbeitern gemauerten Ring, nach der Ganglinie der Deformationen zu schliessen, etwa 0,32 mm auf bleibende und 0,59 mm auf elastische Eindrückung entfallen. Dieses letzte Mass entspricht dem Bemessungsbeispiel, wenn man für  $p$  einen Druck von 13 atü einsetzt. Bei diesem ersten Versuch wurden sonach — obwohl die Kernring-Hinterpressung wegen der improvisierten Einrichtungen nicht pausenlos durchgeführt werden konnte — vom aufgelasteten hydraulischen Spanndruck immerhin rd.  $\frac{3}{4}$  in bleibende Vorspannung umgesetzt. Dieser Wert ergibt sich aus dem Verhältnis der gehaltenen elastischen Eindrückung ( $0,91 - 0,32 = 0,59$  mm) zu der maximalen elastischen Eindrückung im Zeitpunkt der Kulmination des Spanndruckes ( $1,12 - 0,32 = 0,80$  mm), d. h. also, dass von 13 atü etwa 10 atü Bettungsdruck im fertigen Ring verblieben sind. Nach längerer Pause wurde schliesslich mit der Pumpe noch einmal nachgepresst und dabei ein Enddruck von 38 atü erzeugt. Diese Belastung blieb aber nur mehr von örtlichem Einfluss im Bereich des Injektionsloches, weil sich inzwischen der Mörtel im Hohlring schon verfestigt hatte.

Der zweite für gleichartige Messungen am 22. Juli 1948 an der Zone 4 des Versuchsstollens in Muleritsch angesetzte Versuch war leider von einigem Missgeschick verfolgt. Zunächst ergaben sich unvorhergesehene Verzögerungen beim Füllen des Hinterpressringes, so dass von der ersten Mörtelmischung bis zum Beginn des Aufpumpens schon 3 h 22 min verstrichen. Um 12.53 h wurde die Zementpumpe auf die Zone geschaltet und in 9 min ein Spanndruck von 14 bis 17 atü erreicht, der an vier von neun angesetzten Manometern verfolgt werden konnte, während die übrigen fünf wegen Verstopfung der Anschlüsse schon bei 5 bis 10 atü versagten. Um 13.03 h fiel plötzlich die Stromversorgung der Baustelle

aus. Etwa eine Minute später begann der Kompressordruck zu sinken, wodurch ein Abfall des inzwischen auf über 20 atü angestiegenen Pumpendruckes und eine rückläufige Bewegung der Instrumentenzeiger ausgelöst wurde. Wie sich später herausstellte, war die Ursache des Stromausfalles ein Blitzschlag in die 220 kV-Leitung in Süddeutschland. So wurde diesem mit erheblichem Aufwand vorbereiteten Versuch, der leider nicht mehr wiederholt werden konnte, durch höhere Gewalt ein vorzeitiges Ende gesetzt. Seine Ergebnisse sind aber trotzdem vor allem deshalb sehr wertvoll, weil beim Druckabfall das elastische Verhalten des gespannten Kernringes beobachtet werden konnte. Auch bei diesem Versuch wurden zunächst beide Messgestänge zusammengedrückt. Mit dem Anstieg des Spann-

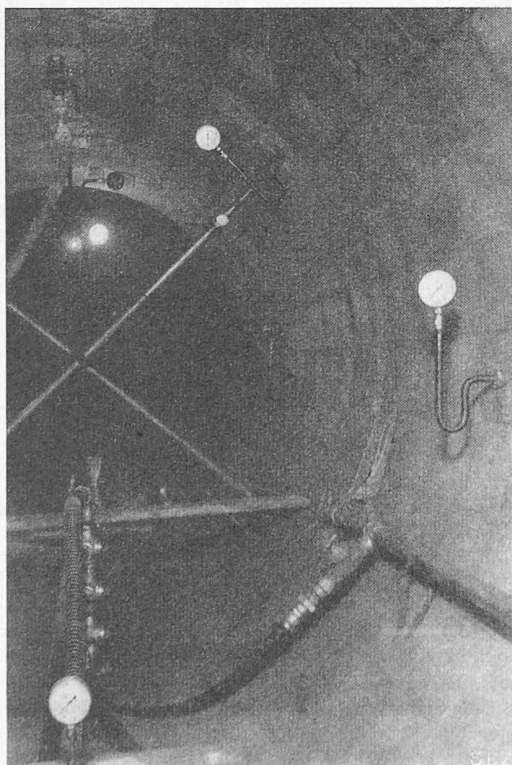


Bild 11. Zone 4 mit Druckprüfmanometern und Messgestängen für die Beobachtung der Kernringdeformationen während der Hinterpressung

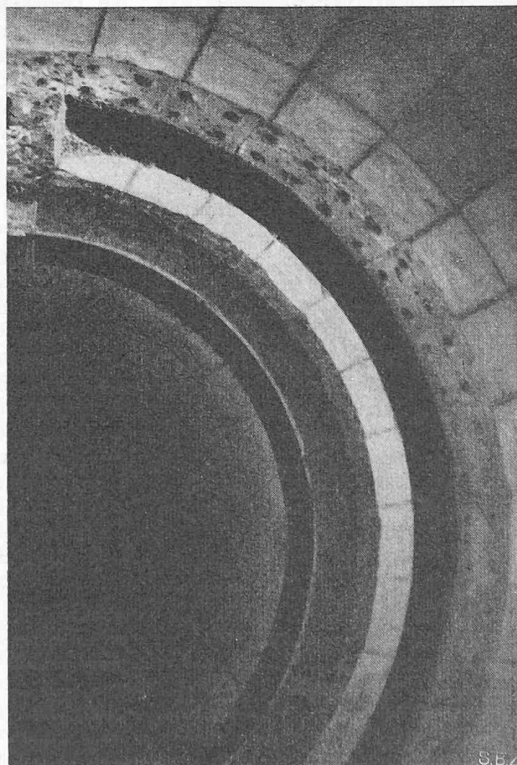


Bild 12. Zone 3 nach Ausbruch von vier Steinringen

Tabelle 2. Versuch vom 22. Juli 1948 im Stollen Muleritsch

| Uhrzeit             | Hydraulischer<br>Spanndruck<br>in atü | $\Delta D$ in $\frac{1}{100}$ mm |           |                              |
|---------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------|------------------------------|
|                     |                                       | bei $D_1$                        | bei $D_2$ | bei $\frac{1}{2}(D_1 + D_2)$ |
| 12.53               | 0                                     | 0                                | 0         | 0                            |
| 12.56               | 10                                    | — 60                             | — 77      | — 68                         |
| 13.02 $\frac{1}{2}$ | 17                                    | — 131                            | — 35      | — 83                         |
| 13.10 *)            | 0                                     | — 71                             | + 17      | — 27                         |

\*) Nach Wegnahme des Pumpendruckes

druckes über 10 atü stellte sich eine elliptische Verformung ein, die sich durch verstärkte Verkürzung des einen und durch Dehnung des andern Durchmessers ausdrückte. In Tabelle 2 sind einige kennzeichnende Werte aus dem Deformationsverlauf angegeben.

Die elastische Rückbildung der Deformation des Kernringes nach dem Stromausfall musste zwangsläufig eintreten, weil in diesem Zeitpunkt die Auspressung des Ueberschusswassers erst im Gange war und der Abfall des Pumpendruckes ein Rückströmen des Zementbreies in den Schlauch ermöglichte. Trotzdem wurde etwa  $\frac{1}{3}$  der bei 17 atü erreichten Vorspannung gehalten. Bei diesem Versuch war die mittlere radiale Eindrückung des Kernringes — auf gleichen Druck bezogen — wohl infolge der besseren Mauerung, der längeren Lagerung der Steine und der axialen Einspannung erheblich kleiner als beim Probering in Rodund und das Bewegungsspiel überwiegend elastisch.

Am 27. Juli 1948 erfolgte dann die Hinterpressung der Zonen 3, 2 und 1, wofür einschliesslich Abrüsten der Geräte 9 h benötigt wurden. Bei entsprechender Installation, die im Versuchsstollen aus Kostengründen improvisiert werden musste und daher verschiedene Mängel hatte, kann das Hinterpressen des Kernringes — vor allem wenn sich die Belegschaft auf diese Arbeit einmal richtig eingespielt hat — natürlich wesentlich rascher bewerkstelligt werden. Es wird dann unschwer möglich sein, bei zweischichtigem Betrieb täglich 50 m und monatlich einen Kilometer zu bewältigen.

Um in den Zustand des Hinterpressringes genauen Einblick zu gewinnen, wurde in Rodund ein Teil des Kernringes und der Verpressmasse herausgeschrämt und der Querschnitt innerhalb der Gebirgsverkleidung für die Beschau bereitgestellt. Im Versuchsstollen erfolgte der Ausbruch von vier Ringen der Zone 3 zum Zwecke der Freilegung der Ansichtsfläche des Hinterpressringes (vgl. Bild 12).

Durch diese wurden ferner Fenstereinbrüche bis in den Fels ausgeführt, um auch in die Tiefenwirkung der Hinterpressung genauen Einblick zu gewinnen. Alle diese Aufschlüsse bestätigten die bautechnische Ueberlegenheit des Verfahrens im Vergleich zu den üblichen Baumethoden und die einwandfreie Beschaffenheit der Hinterpressmasse.

An der Stelle des aufgebrochenen Ringes erfolgte dann der Einbau eines Zwischenabschlusses, der den Versuchsstollen in zwei Kammern unterteilt. Die vordere Kammer wurde an den Enden der Stollenröhre mit Spezialdichtungsringen ausgerüstet, die der axialen Deformation der Abschlüsse und der radialen Ausweitung des Kernringes Rechnung tragen sollten. Leider wurde der beabsichtigte Zweck durch diese Vorsorge nur sehr unvollständig erreicht, weil der auf über 600 t gesteigerte axiale Schub auf den Torblock auch das Widerlagergestein samt einem 2 m langen Stück der Auskleidung mitzerre und einen bis in das Gebirge reichenden Ringriss verursachte. Dieser öffnete sich — wie mit einer eigens hierfür eingebauten Messvorrichtung nachgewiesen werden konnte — unter dem Einfluss des Innendruckes elastisch auf eine Spaltweite von etwa 1 mm.

Am 27. September 1948 war der Stollen mit allen Messeinrichtungen ausgestattet und für die Vornahme der Druckversuche endgültig betriebsbereit (vgl. Bild 13). Die Kammer II wurde am 28. September zunächst mit rd. 4 atü belastet. Bis zu diesem Druck war der Zwischenabschluss gegenüber der noch leeren Kammer I praktisch dicht. Hierauf folgte die Füllung der letztgenannten und der erste Druckversuch mit einer Belastung von über 10 atü in beiden Kammern. Der Stollen wurde sodann erneut entleert und einer genauen Besichtigung unterzogen. Dabei konnte der schon erwähnte Ringriss etwa 2 m hinter dem Tor festgestellt werden, aus dem tagelang Wasser vom Gebirge in den Stollen zurückfloss,

wobei anfangs vom Scheitel des Spaltes ein geschlossener Strahl austrat. Dieser Ringriss war ganz offensichtlich die Ursache des Wasserverlustes in der vorderen Kammer, der hier 110 l/min (in der hinteren etwa 17 l/min) erreichte. Die übrige Stollenröhre war trotz der gemessenen Deformation von maximal 1,15 mm im Durchmesser 5 — abgesehen von einigen kaum wahrnehmbaren Risspuren in einer Längsfuge — vollkommen intakt. Wie nach Beendigung der Dauerversuche durch Bohrungen und Aufstemmungen eindeutig klargestellt wurde, handelte es sich bei diesen aber um vollkommen belanglose Risse, die wenige Millimeter hinter der Oberfläche am Grunde des Fugenausstriches beim Uebergang auf die gestopfte Mörtelbettung endeten, somit nur um eine harmlose Begleiterscheinung der Ausführung in Mauerwerk und nicht um schädliche, durch die Auskleidung gehende Zugrisse.

Zunächst wurde noch eine technische Verbesserung des Messuhrengerätes durchgeführt und die Torfuge sorgfältig nachgedichtet. Am 27. Oktober war der Stollen für die Fortsetzung der Versuche wieder betriebsbereit. Es folgte nun eine Unterdruckhaltung bis zum 6. November und dann abermals eine Entleerung. Diese musste für einen zweiten Umbau der Messuhrenapparatur und den Ausbau des ETH-Gerätes, dessen Entlehnungsfrist abgelaufen war, angesetzt werden. Bei dieser Gelegenheit wurde auch der Ringriss ausgeschrämt und mit eingezwängtem Rundgummi gedichtet. Der Riss ist aber dann doch wieder, und zwar zwischen dem Fugenausstrich der Dichtungsut und dem Beton des torseitigen Steinringes, also neben dem gepressten Gummi in Erscheinung getreten. Bis zu einem Druck von etwa 4  $\frac{1}{2}$  atü war die Kammer I bei der erstmaligen Belastung im Ausgangszustand (Versuch I) und nach Einbau des Gummiringes (Versuch VI) praktisch dicht. Der Verlust betrug nämlich bei diesem Druck einschliesslich des sichtbaren Leckwassers am Tor in der Kammer I in beiden Fällen nur rd. 4 bis 5 l/min, bzw. im ganzen Stollen 7 l/min bei Versuch I und 13 l/min bei Versuch VI. Beim gleichen Druck wurde dagegen im Felsstollen ein Wasserverlust von 2,2 bis 2,8 l/s gemessen, so dass die Auskleidung den Gesamtverlust trotz des schlechten, durchlässigen Gebirges beim Torblock sowie der Sogwirkung des nahen Fensterstollens und Zuganges auf einen belanglosen Rest von 5 % herabdrückte, wovon 3 % auf die vordere Kammer entfallen. Mit der weiteren Drucksteigerung nahmen die Wasserverluste rasch zu. Daraus war deutlich erkennbar, dass sich nun der Ringriss öffnete und dem Wasser den Weg in das Gebirge freigab. Immerhin bewirkte die Verengung der Spaltweite durch den Gummiring vom Versuch VI an eine erhebliche Verminderung der Wasserverluste, die bei 10 atü dann nur mehr 60 l/min in der vorderen Kammer und 80 l/min im ganzen Stollen betrugen, das sind 55 bzw. 63 % der Verlustmenge vor der Dichtung des Ringrisses.

Nach Wiedereinbau des nunmehr mit einer Genauigkeit von  $\frac{1}{1000}$  mm arbeitenden Messuhrengerätes konnten die Druckversuche am 18. Dezember 1948 wieder fortgesetzt werden. Der Stollen war dann von diesem Tag an bis zum 12. April 1949, also fast vier Monate lang, einer Dauerbelastung von 9 bis 11 atü ausgesetzt. Ein eigens hierfür bestellter Stollenwärter besorgte täglich, in der Regel mehrmalig, die Ablesung aller Instrumente und die Wartung der Einrichtungen. Im Rahmen dieser Dauerbeobachtungen erfolgten nach fünf vorgängigen Versuchen anlässlich der ersten Füllungen noch sieben weitere, meist Tag und Nacht in Anspruch nehmende Reihenmessungen, bei denen der Stollen jeweils in verschiedenen Varianten ganz entlastet und dann wieder belastet wurde.

Dabei erfolgten auch zwei kurze Entleerungen der vorderen Kammer, um verschiedenen Interessenten des In- und Auslandes eine Besichtigung des Zustandes der Auskleidung zu ermöglichen.

Bis zum 8. Januar 1949 blieben die beiden Kammern unter gesonderter Druckhaltung, nachher wurden sie durch einen geöffneten Schieber verbunden, um gegenseitige Beeinflussung infolge ungleicher Belastung auszuschalten und den für den Dauerversuch erwünschten Beharrungszustand zu sichern.

Beim Einzeldruckversuch III wurde u. a. die Auskleidung einer schweren Belastungsprobe ausgesetzt. Nach Aufpressen beider Kammern bis 11,5 atü erfolgte in der hinteren Kammer durch Öffnen des Zulaufschiebers eine rasche Drucksteigerung auf 16 atü. Dabei fiel der Druck in der vorderen Kammer auf 10,2 atü ab. Auf den dadurch hervorgerufenen



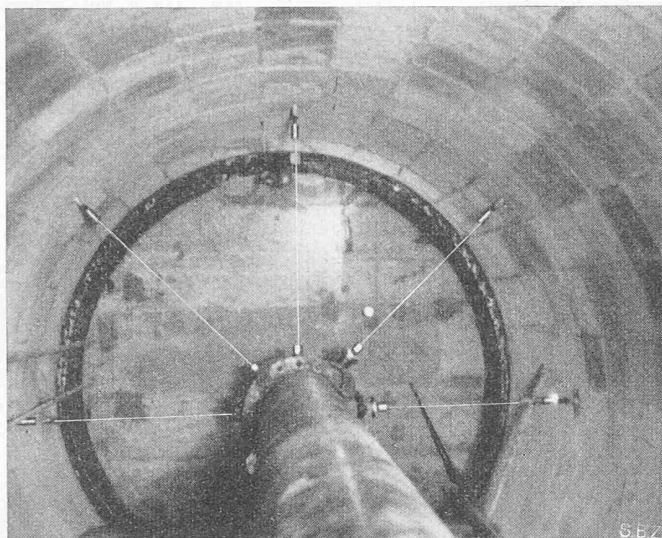


Bild 13. Vordere Kammer mit Blick gegen den Zwischenabschluss

Drucksprung an der Kammerscheide reagierten fünf von den sechs bei diesem Versuch arbeitenden Messuhren der Kammer I mit einem raschen Rücklauf im Sinne einer Durchmesserverkürzung. Daraus konnte man schliessen, dass sich infolge des hohen Druckes in der hinteren Kammer zwischen dem Betonblock der Scheidewand und dem Gebirge ein Spalt-raum entwickelte, der sich offenbar unter dem Einfluss des durch die gerissene Anschlussfuge nachdrängenden Druckwassers hinter der äusseren Verkleidung der vorderen Kammer fortsetzte. Die unter 10,2 atü stehende Kernringröhre dieser Kammer wurde dadurch einseitigem äusserem Ueberdruck ausgesetzt und damit auf Biegung beansprucht. Eine Aufspaltung ähnlicher Art ist auf Bild 6 deutlich über dem Gewölbebeton der Zone 1 erkennbar. Dort blieb der Spalt jedoch bestehen, weil der Zwangsverband zwischen Verkleidungsring und Gebirge noch mangelte.

Tabelle 3 zeigt das Deformationsspiel der inneren Kernringleitung bei diesem Versuch. Die stärkste Reaktion zeigten die lotrechten Durchmesser 4 und 8 an, bei denen sich die anfängliche Verlängerung von 44/100 bzw. 91/100 mm in eine Verkürzung von 38/100 und 78/100 rückbildete. Im übrigen verlief das ganze Deformationsspiel — wie aus den Endwerten nach der Entlastung zu ersehen ist — so wie bei den übrigen Versuchen im wesentlichen elastisch.

Die Auskleidung zeigte sich somit auch dieser, in einem Druckstollen gar nie auftretenden ungewöhnlichen Belastungsprobe gewachsen. Bei den nach Abschluss der Versuche vorgenommenen Sondierungen konnte lediglich an einer Stelle in einer Längsfuge der Zone 2 nahe dem Scheitel eine bis höchstens  $2\frac{1}{2}$  cm Tiefe reichende Risspur festgestellt werden, die wohl als Folgeerscheinung der bei diesem Versuch aufgetretenen Momente anzusprechen ist. In der hinteren Kammer war hingegen der Auskleidungsbeton der Zone 5 in den Arbeitsfugen und im Gewölbe durchgehend gerissen. Die Zone 6 zeigte keine Risse. Hier ist allerdings das Gebirge von sehr guter Beschaffenheit und von so geringer Nachgiebigkeit, dass im Torkretring die Zugfestigkeit nicht überschritten wurde. Die Messungen mit dem ETH-Gerät in Zone 5 (Messquerschnitt III) ergaben nach einem Gutachten von Prof. Dr. P. Lardy der ETH Zürich am Auskleidungsbeton bei 15,9 atü Druck in Durchmesser 9 die grösste Verlängerung mit 0,38 mm (davon etwa 0,20 mm elastisch) und eine maximale Umfangsänderung von rd.  $\Delta U = 0,60$  mm. Demzufolge betrug an der inneren Leibung die mittlere Dehnung  $\varepsilon = \Delta U : U = 8 \cdot 10^{-5}$ . Daraus berechnet sich bei Annahme eines Elastizitätsmoduls von  $E_b = 250\,000$  kg/cm<sup>2</sup> eine Zugbeanspruchung von  $\sigma = \varepsilon \times E_b = 20$  kg/cm<sup>2</sup>. Dieser Spannung hat der Torkretring in Zone 6, nicht aber der Beton in Zone 5 widerstanden. Dagegen erreichten die Deformationen in der vorderen Kammer bei dem grössten aufgelasteten Druck von 14,2 atü (Versuch IX), bezogen auf den Ausgangsstand anlässlich der Neueinstellung des Messgerätes am 18. Dezember 1948, die in Tabelle 4 angeführten Werte.

Tabelle 3. Durchmesser-Verformungen bei Versuch III

| Druck<br>in atü     |                      | Verformung in $\frac{1}{100}$ mm |       |                     |       |        |                       |       |       |       |        |  |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------|---------------------|-------|--------|-----------------------|-------|-------|-------|--------|--|
| in<br>Kam-<br>mer I | in<br>Kam-<br>mer II | im Messquerschnitt I             |       |                     |       |        | im Messquerschnitt II |       |       |       |        |  |
|                     |                      | $D_1$                            | $D_2$ | $D_3$ <sup>1)</sup> | $D_4$ | Mittel | $D_5$ <sup>1)</sup>   | $D_6$ | $D_7$ | $D_8$ | Mittel |  |
| 0                   | 0                    | + 5                              | - 3   | —                   | + 3   | + 2    | —                     | 0     | - 1   | + 2   | 0      |  |
| 11,5                | 11,5                 | +82                              | +62   | —                   | +44   | +63    | —                     | +125  | +21   | +91   | +79    |  |
| 10,2                | 16 0                 | - 2                              | +25   | —                   | -38   | - 5    | —                     | + 20  | +37   | -78   | - 7    |  |
| 0                   | 0                    | + 2                              | -12   | —                   | + 8   | - 1    | —                     | 0     | 0     | +19   | + 6    |  |

<sup>1)</sup> Wegen Hemmung keine Anzeige

Tabelle 4. Durchmesser-Verformungen in der vorderen Kammer bei 14,2 atü Druck (Versuch IX)

| Messquer-<br>schnitt | Verformung $\Delta D$ in $\frac{1}{100}$ mm |       |       |       |       |        | $\Delta D : D$<br>$10^{-5}$ |
|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|--------|-----------------------------|
| I                    | $D_1$                                       | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | Summe | Mittel | 43                          |
|                      | 118   | 184   | 68    | 42    | 412   | 103    |                             |
| II                   | $D_5$                                       | $D_6$ | $D_7$ | $D_8$ | Summe | Mittel | 35                          |
|                      | 76  | 143   | 72    | 42    | 333   | 83     |                             |

In der Kammer I betrug sonach bei 14,2 atü Druck die mittlere Dehnung des Kernringes im Messquerschnitt I  $\varepsilon_I = 43 \cdot 10^{-5}$  und in Messquerschnitt II  $\varepsilon_{II} = 35 \cdot 10^{-5}$ . Daraus berechnet sich die mittlere Entspannung wie folgt:

| für $E_b$                  | $\Delta \sigma$ im Messquerschnitt |                        |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------|
|                            | I                                  | II                     |
| 250 000 kg/cm <sup>2</sup> | 107 kg/cm <sup>2</sup>             | 88 kg/cm <sup>2</sup>  |
| 300 000 kg/cm <sup>2</sup> | 129 kg/cm <sup>2</sup>             | 110 kg/cm <sup>2</sup> |
| 350 000 kg/cm <sup>2</sup> | 150 kg/cm <sup>2</sup>             | 123 kg/cm <sup>2</sup> |

In Kammer I wurde sonach die Auskleidung infolge der erheblich schlechteren Gebirgsbeschaffenheit 4,4 bis 7,5 mal so stark beansprucht wie der Beton in der Zone 5, ohne dass dabei eine schädliche Rissbildung eingetreten wäre. Jede andere nicht vorgespannte Betonauskleidung ohne oder mit Gunitring wäre dabei gerissen, weil kein Beton solchen Zugspannungen standzuhalten vermag.

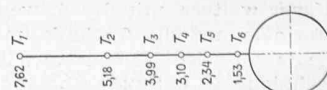
Während der Dauerbelastung bewirkte das kalte Stollenwasser im Gebirge allmählich eine tiefgreifende Abkühlung. Die Ausgangstemperatur betrug etwa 9°. In Tabelle 5 sind einige Phasen des Abkühlungsverlaufs festgehalten. Man ersieht daraus, dass bis anfangs März 1949 die Temperatur des Gebirges in der Umgebung der Stollenröhre um 7 bis 8° und in 6 m Tiefe um mehr als 5° gefallen ist. Der damit verbundene räumliche Schwund der Gebirgsmasse verursachte erwartungsgemäss eine gewisse Durchmesser- und Umfangaussparung, die mit ausklingendem Wärmeabfluss allmählich zum Stillstand

Tabelle 5. Abkühlungsverlauf im Gebirge

| Datum            | Tempe-<br>ratur des<br>Zulauf-<br>wassers<br>in ° | Gebirgstempera-<br>turen in ° (Anzeige<br>der Widerstands-<br>thermometer |       |       |       |       |       | Zustand<br>der<br>Stollenröhre |
|------------------|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|
|                  |   | $T_1$   | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | $T_5$ | $T_6$ |                                |
| 13. September 48 | —   | 7,4   | 8,5   | 8,7   | 9,1   | 9,4   | 9,2   | Leer                           |
| 27. September 48 | —   | 6,9   | 8,2   | 8,5   | 8,5   | 8,7   | 9,6   | Leer                           |
| 6. November 48   | 5,8   | 7,0   | 7,6   | 7,8   | 7,5   | 7,3   | 7,6   | Unter Druck                    |
| 25. Dezember 48  | 1,6   | 5,6   | 5,4   | 5,7   | 4,5   | 2,6   | 2,0   | Unter Druck                    |
| 22. Januar 49    | 2,2   | 3,0   | 2,4   | 2,6   | 2,0   | 1,5   | 2,4   | Unter Druck                    |
| 11. Februar 49   | 1,0   | 2,3   | 2,0   | 2,5   | 1,5   | 1,5   | 1,9   | Unter Druck                    |
| 1. März 49       | 1,4   | 2,0   | 1,6   | 2,3   | 1,4   | 1,3   | 2,0   | Unter Druck                    |
| 26. April 49     | —   | 2,6   | 2,2   | 3,0   | 2,6   | 2,8   | 4,3   | Leer                           |
| $\Delta t$ max.  |   | 5,4   | 6,9   | 6,4   | 7,7   | 8,1   | 7,3   |                                |

Widerstandsthermometer

Abstand v. d. Stollenaxe



kam. Dieser bei den üblichen Bauweisen überhaupt nicht berücksichtigte thermische Einfluss wird bei der Kernring-Auskleidung durch eine entsprechende Erhöhung des Spanndruckes auf einfache Weise unschädlich gemacht.

Im April 1949 wurden die Versuche eingestellt, nachdem inzwischen in zureichendem Masse nachgewiesen war, dass die Elastizität der Kernring-Auskleidung und des Gebirges im wesentlichen erhalten bleibt. Prof. Dr. Ing. O. K. Fröhlich kam als Experte des Bundesministeriums für Energiewirtschaft und Elektrifizierung zum Ergebnis, dass die Vorspannung während der Versuchsdauer nur um 11,6 % nachgelassen hat und dass im Dauerbetrieb die Verringerung der Vorspannung kaum über 25 % hinausgehen dürfte.

Daraus geht hervor, dass die Erprobung erfolgreich und damit der Versuchszweck erreicht war.

#### VI. Zusammenfassung

Durch die Erfindung der Kernring-Auskleidung ist das Druckstollen-Problem praktisch gelöst und die Möglichkeit

geschaffen, auch in schlechtem Gebirge, sowie bei hohen Drücken ohne Stahl mit den einfachen Baustoffen Zement, Sand und Kies eine wasserdichte Stollenröhre herzustellen. Nach den bei der beschriebenen Erprobung des Verfahrens gewonnenen Erfahrungen kommt für die Anwendung der Druckbereich bis mindestens 20 atü in Frage, während mit den üblichen Bauweisen schon bei Drücken über 5 bis 7 atü das Risiko grosser Wasserverluste in Kauf genommen werden musste. Die wirtschaftliche Überlegenheit der Kernring-Auskleidung ist in allen Fällen gegeben, bei denen man nicht mit einer einfachen Betonverkleidung das Auslangen findet und besondere Massnahmen für die Erzielung ausreichender Wasserdichtigkeit erforderlich werden.

Im Zeitpunkt der Berichterstattung machen schon zwei Gesellschaften von der Kernring-Auskleidung beim Bau von Druckstollen und Druckschächten Gebrauch. Auch andere Unternehmungen des In- und Auslandes haben bereits ernstes Interesse für die Anwendung der neuen Bauweise bei verschiedenen in Vorbereitung stehenden Bauvorhaben.

## Berechnung des Belastungsausgleichs in Verteilanlagen

DK 519.24 : 62

### Zuschrift

Ing. R. Henzi, Zürich, hat auf S. 161 dieses Jahrgangs (am 1. April 1950) ein Gegenstück zum gleichbetitelten Aufsatz von Ing. H. Schellenberg, Zürich, gegeben (SBZ 1947, S. 195), in dem er dem Problem unter Benutzung der klassischen Formeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung, aber ohne Zuhilfenahme des Begriffs und der Kurven der Leistungsschwankung, gerecht wurde. Dies war möglich, weil es sich analog wie bei entsprechenden Problemen im Telephondienst, insbesondere um Fragen des *Ausbaus bestehender Anlagen* handelte, wobei für eine kleine Anzahl von an die Anlage angeschlossenen Apparaten die Formel von Bernoulli genauere Resultate liefert als die Formel von Poisson; analog verwenden ja auch die Ingenieure des Telephondienstes die Formel von Bernoulli bei wenig Teilnehmern mit langer Gesprächsdauer statt der dem Normaldienst besser gerecht werdenden Formel von Poisson. Ing. R. Henzi macht zutreffend darauf aufmerksam, dass für die Formel von Poisson drei Voraussetzungen erfüllt sein müssen, erstens eine grosse Anzahl der angeschlossenen Apparate, zweitens eine kleine Einzelwahrscheinlichkeit für die Benützung des einzelnen Apparates und drittens eine konstante Energieaufnahme pro Apparat im Falle seiner Benützung, so dass jeder Apparat entweder mit der selben Intensität vollbelastet oder gar nicht benützt wird. Für die von H. Schellenberg nach der vom Schreibenden ausgearbeiteten Methode der Vorausberechnung des Belastungsausgleichs ist aber neben der schliesslich allein noch benützten Formel von Poisson die Erweiterung der Grundlage durch die Einführung eines der Erfahrung zu entnehmenden Zahlenwertes im relativen Zeitmass erforderlich, weil nur so allgemein gültige Kurven des Schwankungsverhältnisses der Leistung, bzw. des dieser Grösse reziproken Belastungsfaktors, erhältlich sind, wie sie für die *Projektierung von Neuanlagen* als wünschbar erscheinen; in einem kürzlich in der SBZ (Nr. 7, S. 75 des lfd. Jgs.) erschienenen Aufsätzchen «Ueber glockenförmige Häufigkeitskurven im Dienste der Vorausberechnung und der Nachkalkulation technischer Vorgänge» hat der Schreibende diese Sachlage neuerdings klargelegt. Was nun die von R. Henzi erwähnten drei Gültigkeitsbedingungen der Formel von Poisson betrifft, so sind die zwei ersten beim Projektieren, wo in der Regel eine grössere Betriebszeit, insbesondere ein volles Betriebsjahr, in Betracht fällt, ohne weiteres erfüllt; zur dritten Gültigkeitsbedingung hat sich der Schreibende unlängst in einem Aufsätzchen «Die Berechnung des Belastungsausgleichs in zentral gespeisten Energieversorgungen und ihre Beziehung zur Quantentheorie» auf S. 11 des «Bulletin des SEV» 1950, geäussert, auf das hier verwiesen wird; es sei hier lediglich noch bemerkt, dass mit dem Begriff des homogenisierten Abnehmers auch Teilbelastungen von Anschlussleitungen berücksichtigt sind.

Ueber weitere, mit der Anwendung von Wahrscheinlichkeitsformeln auf die Technik im Zusammenhang stehende Probleme verweist der Schreibende auf seine, 1933 im «Bulletin technique de la Suisse Romande» erschienene Arbeit «Sur l'application du calcul des probabilités dans les projets de l'in-

génieur»; über den im Buchhandel erschienenen Sonderabdruck dieser Arbeit wurden die Leser der SBZ durch eine Rezension in Bd. 102, S. 221 (28. Oktober 1933) orientiert.

Ungeachtet der obenstehenden Klarstellungen begrüsst der Schreibende den Aufsatz von R. Henzi als verdienstvollen Beitrag der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf technische Probleme.

W. Kummer

\*

### Antwort

1. Grundsätzlich ist jede Rechnungsmethode, die zur Nachkontrolle von Netzen dient, auch zur Berechnung von neuen Netzen anwendbar. Wohl bestanden die ersten Aufgaben, die den Verfasser auf die oben angeführte Untersuchung führten, in der Nachkontrolle von Netzteilen, d. h. in der Prüfung, ob bei einer vorhandenen Zuleitung der Anschluss eines oder mehrerer Apparate möglich ist oder nicht. Das konnte aber nur dadurch geschehen, dass die Dimensionierung bestimmt wurde wie für eine neue Anlage, wobei die Abnehmerzahl als bekannt vorausgesetzt wird.

2. Die Ausführungen des Rezensenten hinsichtlich des Anwendungsbereiches der Poissonschen Verteilung decken sich völlig mit den meinigen. Der Ingenieur hat sich ja bei der Anwendung jeder Theorie stets zu vergewissern, ob die Voraussetzungen in dem in Frage stehenden Fall erfüllt sind.

3. Jede Theorie benötigt gewisse Grundwerte, die aus der Praxis zu beziehen sind. Bei grossen Abnehmerzahlen (in der mathematischen Statistik spricht man allgemein von «Kollektiven») kann man sicher mit einem «homogenisierten Abnehmer» oder («mittleren» Abnehmer) rechnen, weil hier ein weitgehender Ausgleich erfolgt. Bei der Anwendung dieses Begriffes auf Teilbelastungen bei Anschlussleitungen ist aber grösste Vorsicht geboten. Belastungsmessungen über die Gasabgabe in Häusern und Häusergruppen, die in Zürich und Basel durchgeführt wurden, zeigen eine ausserordentlich grosse Streuung der Werte für die tägliche Belastungsspitze. Die in Bild 2 meiner Arbeit dargestellten und theoretisch begründeten Verhältnisse werden hier durch die Praxis voll und ganz bestätigt. Bei kleinen Abnehmerzahlen hat man es nicht mehr mit einem «homogenisierten» Abnehmer zu tun, sondern man wird hier mit gelegentlichen «anspruchsvollen» Abnehmern und mit entsprechend grösseren Einzelwahrscheinlichkeiten  $p$  rechnen müssen. Weitere Messungen werden hier Klarheit bringen.

4. Der Hauptzweck meiner Veröffentlichung lag gerade darin, einerseits den Fall der «inhomogenen» Abnehmer zu behandeln (d. h. Gruppen von Apparaten von verschiedenem Belastungscharakter) und eine allgemein gültige Rechnungsmethode herauszuarbeiten, die für die verschiedensten technischen Gebiete verwendbar sein sollten, sowie den Belastungsausgleich bei Apparaten variabler Belastung.

5. Es ist und bleibt das Verdienst von Professor Dr. W. Kummer, als einer der ersten auf die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung bei technischen Problemen hingewiesen und praktische Methoden gefunden zu haben und dies schon vor mehreren Jahrzehnten, zu einer Zeit, als nur ganz