Messung von Verschiebungen und Deformationen an Bauwerken mit dem Distometer-ISETH

Autor(en): **Kovári, K. / Amstad, Ch. / Grob, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **92 (1974)**

Heft 36

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-72443

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

92. Jahrgang Heft 36 SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG 5. September 1974

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Messung von Verschiebungen und Deformationen an Bauwerken mit dem Distometer-ISETH

Dr. **K. Kovári. Ch. Amstad** und Prof. **H. Grob,** Zürich

DK 681.2:531.7

Die laufende Beobachtung des Verhaltens eines Bauwerkes in jeder Konstruktionsphase durch einfache und zuverlässige Deformationsmessungen bietet oft ein unentbehrliches Hilfsmittel für die sichere und wirtschaftliche Bauausführung. Die folgende Arbeit befasst sich mit dem Problem der praktischen Durchführung von Konvergenzmessungen und berichtet über das neuentwickelte Präzisionsmessinstrument «Distometer-ISETH», welches in der konstruktiven Ausbildung den besonderen Gegebenheiten des Baubetriebes, im besonderen demjenigen unter Tage, Rechnung trägt. Einfache, rasche Bedienung, robuster Bau, geringe Fehleranfälligkeit und Anpassungsfähigkeit an erschwerte Baubedingungen haben den Erfolg des Messsystems bei zahlreichen Anwendungen gesichert.

1. Einleitung

Das Tragverhalten von Bauwerken kann man am besten durch Deformations- und Verschiebungsmessungen beobachten. Solche Messungen sind zweckmässig,

- wenn aus Gründen der Sicherheit laufende Kontrollen notwendig sind,
- wenn sich die statische Wirkungsweise der Konstruktion einer befriedigenden theoretischen Behandlung entzieht, oder
- wenn ein Vergleich zwischen theoretischer Voraussage und Wirklichkeit erwünscht ist.

Entsprechend dem Typ des Bauwerkes und den besonderen Umständen sollte das optimale Messystem erstrebt werden, welches die erforderliche Messgenauigkeit mit dem geringsten Kostenaufwand gewährleistet. Bei vielen praktischen Problemen des allgemeinen Tiefbaues spielt die Messung der gegenseitigen Verschiebung zweier durch Messbolzen genau definierter Punkte eine besonders wichtige Rolle. Zu diesem Zweck wurden bisher Messbänder, Stangen oder Drähte verwendet, oft aus Invar gefertigt, doch war die Messung entweder zu umständlich oder zuwenig genau. Mit dem neuen Distometer-ISETH wird das Ziel verfolgt, über im Raum beliebig gerichtete Längen von 0,5 bis 50 m genau und doch so rasch zu messen, dass der Baubetrieb nicht empfindlich gestört wird.

In Bild 1 sind typische Anwendungsmöglichkeiten gezeigt. Die Wirkungsweise einer Baugrubensicherung kann an Hand der Relativbewegung der Wände unmittelbar beurteilt werden (Bild 1a). Die Beanspruchung eines Bogenstückes führt zur Änderung der Pfeilhöhe δ_f, die durch drei Messlängen erfasst werden kann (Bild 1b). Die Messung der Formänderung eines Tunnelprofiles verlangt ein Netz von Messlängen (Bild 1c). Hier geben die Intensität und der zeitliche Verlauf der Verschiebungen wertvolle Hinweise zum Verständnis der geotechnischen Situation.

Diese Beispiele lassen leicht erkennen, dass die Anforderungen an die Messgenauigkeit je nach Anwendung sehr verschieden sind. Indirekte Messungen verlangen grössere Präzision, wie etwa die Bestimmung der Scheitelbewegung eines flachen Bogenstückes nach Bild 1b, oder Probleme, bei denen es darum geht, langsame Verschiebungen (etwa Kriechen) in kurzer Zeit festzustellen.

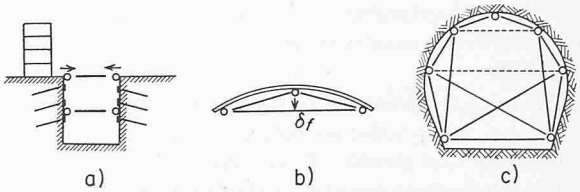


Bild 1. Typische Anwendungsmöglichkeiten für den Einsatz des Distometers-ISETH bei a) Baugruben, b) Bogen, c) Tunnel oder Kavernen

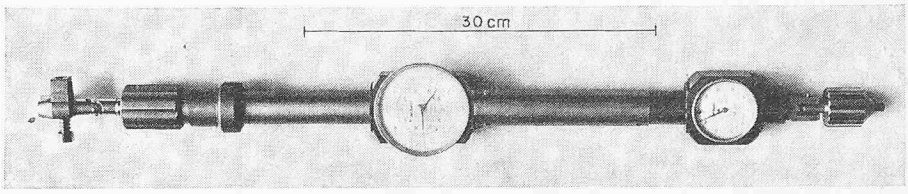


Bild 2 (rechts). Das Distometer-ISETH. Das Instrument wird auf der linken Seite mit der Spannzange des Invarddrahtes verbunden und auf der rechten Seite in den Setzbolzen eingeschraubt

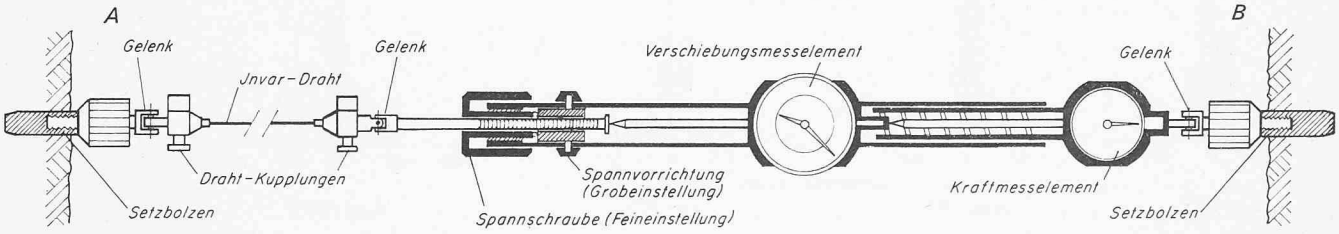


Bild 3. Funktionsschema des Distometers. Das Instrument dient zur Bestimmung der Längenänderung zwischen zwei Punkten A und B (L_{AB})

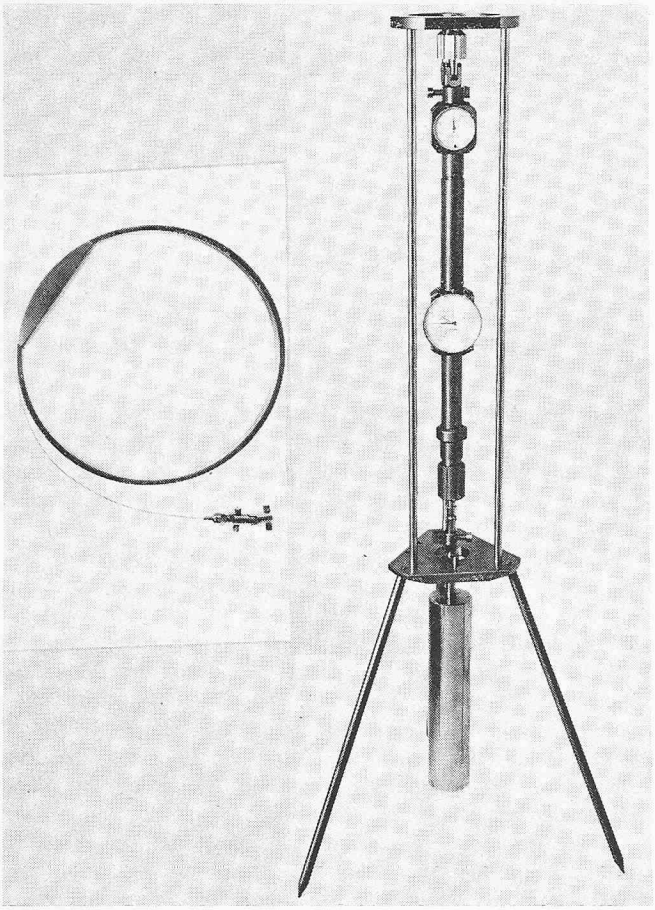


Bild 4. Links: Aufbewahrung der Invardrähte. Rechts: Die Eichlehre, in der sowohl die Kraftmesseinheit als auch die Längenkonstanz überprüft wird

2. Messprinzip und Konstruktion

Die massgebenden Gesichtspunkte zur Entwicklung und konstruktiven Gestaltung des neuen Instrumentes waren die folgenden:

- der mittlere Fehler einer Einzelmessung bei einer Distanz von l = 5,0 m sollte weniger als ±0,02 mm betragen,
- es sollte vom gleichen Punkt aus in verschiedene Richtungen des Raumes gemessen werden können,
- einfache Handhabung des Instrumentes, damit die Messungen auch von Hilfskräften möglichst rasch und zuverlässig durchgeführt werden können,
- geringe Fehleranfälligkeit, robuster Bau.

Die einander teilweise entgegengesetzten Forderungen haben wir durch die Anwendung des bekannten Messprinzips mit dem gespannten Invardraht zu erfüllen versucht. Wegen der oft vorherrschenden engen Platzverhältnisse – vor allem im Untertagbau – sowie wegen der verschiedenen Orientierung der Drähte vom gleichen Punkt aus musste die Lösung mit Umlenkrollen und Gewicht zur Spannung des Drahtes ausgeschieden werden. Die Zugkraft im Draht wird durch eine einfache Spannvorrichtung unter Einschaltung einer präzisen Kraftmessdose bewerkstelligt, welche die Reproduktion der gleichen Kraft mit hoher Genauigkeit erlaubt. Beim Distometer-ISETH (Bild 2) wird ein Invardraht mit dem Durchmesser von 1,0 mm auf die Zugkraft von rund 8,0 kp gespannt, was einer Zugspannung von rund 900 kp/cm² entspricht. Daraus resultiert eine elastische Längenänderung von rund 0,45 mm/m bzw. rund 2,25 mm auf die Distanz von l = 5,0 m. Will man die vorgeschriebene Genauigkeit von ±0,02 mm für diese Distanz einhalten, so muss die Zugkraft ±0,9% genau jederzeit einstellbar sein. Es können somit Fehler nur im Betrage von ±70 g bei der Spannung des Drahtes zugelassen werden. Die Tatsache, dass die Kraft lediglich im engsten Bereich des immer gleichen Wertes (~ 8,0 kp) derart exakt zu messen ist, konnte dazu ausgenützt werden, die Empfindlichkeit der Kraftmessung wesentlich zu erhöhen.

Eine weitere Anforderung an die Konstruktion besteht darin, dass ein völlig zwangfreies Gleichgewicht des Gesamtsystems (Draht, Instrument und Anschlüsse) gewährleistet werden muss. Verschiedene, durch Reibung oder sonstige Zwängungen beeinflusste Gleichgewichtslagen würden unerwünschte Streuungen mit sich bringen. Zwängungen wurden durch räumlich wirkende Gelenke, der Reibungseinfluss durch Vermeidung von Haft- bzw. Gleitreibung ausgeschaltet. In allen beweglichen Teilen des Instrumentes wurden gegen Verschmutzung geschützte Kugellager verwendet.

Die Funktionsweise des Messystems ist aus Bild 3 ersichtlich. Die Spannvorrichtung bewegt mit Hilfe eines Feingewindes den angehängten Draht in Richtung der Messuhr. Ein Längslager und eine Federung erlauben die Feinregulierung dieser Bewegung bis auf Schritte von 0,005 mm. Es wird so lange gespannt, bis die vorgeschriebene und immer konstante Zugkraft an der Kraftmesseinheit angezeigt wird. Die Distanzänderung der Punkte A und B (Bild 3) kann dann an der Messuhr mit einer Skalenteilung von 0,01 mm und einem Messbereich von 100 mm abgelesen werden. Der Invardraht wird in einfache, konische Zangen eingespannt, die so ausgebildet sind, dass ein Verbiegen des Drahtes an der Einspannstelle und somit ein Ermüdungsbruch verhindert wird. Die am Fels, Beton oder Stahl befestigten Messbolzen, welche die Punkte A und B definie-

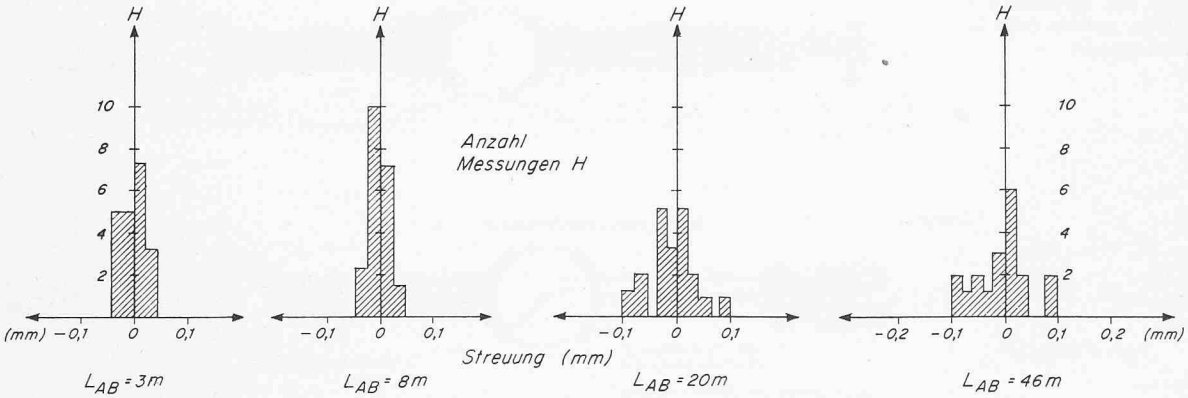


Bild 5. Histogramm. Streuung der Ablesungen bei je 20 Messungen von 4 verschiedenen Messdistanzen L_{AB}

ren, sind so konstruiert, dass sie vor Beschädigung durch den Baubetrieb (Untertagbau) geschützt sind. Die beiden Gelenke bei den Punkten A und B werden nur für die Dauer der Ablesung in die Setzbolzen eingeschraubt. Drähte können vom gleichen Bolzen aus innerhalb des Halbraumes in beliebige Richtungen gespannt werden. Für jede Messlänge L_{AB} wird ein besonderer Draht zugerichtet, der nach erfolgter Messung auf eine eigene Spule (Bild 4) aufgerollt und so für die weiteren Messungen gegen Verbiegen und anderweitige Beschädigungen geschützt wird.

Vor und nach einer Messreihe wird eine Eichlehre aus Invarstahl zur Überprüfung der Kraftmesseinheit (Anhängen des Eichgewichtes) und zur Kontrolle der Längenkonstanz des Instrumentes benutzt (Bild 4).

3. Untersuchung der Genauigkeit

Die zufälligen und systematischen Fehler des Messsystems sowie die Möglichkeit ihrer Beeinflussung müssen getrennt untersucht werden.

Die *zufälligen Fehler* rühren von der geringen Reibung in den Gelenken her, von den Streuungen der Kraftmessdose und von den Kupplungselementen. Um den mittleren Fehler einer Messung zu untersuchen, wurden in einem klimatisierten Raum für verschiedene Messlängen je 20 Ablesungen vorgenommen. Dabei wurde das Instrument jedesmal von den Messbolzen abgehängt, der Draht auf- und abgerollt, das Instrument anschliessend wieder angehängt, gespannt und abgelesen. Von den je 20 Ablesungen hat man das arithmetische Mittel gebildet und die Streuungen um diesen Wert in Form eines Histogrammes dargestellt (Bild 5). Der mittlere Fehler der Ablesungen nimmt, wie Bild 6 zeigt, mit der Messlänge zu. Für Messlängen $L_{AB} > 10$ m beträgt er rund $10^{-6} L_{AB}$. Der mittlere Fehler des Messwertes selbst ist um den Faktor $\sqrt{2}$ grösser als in Bild 6 angegeben, weil sich der Messwert aus der Differenz von zwei Ablesungen ergibt.

Bei der Untersuchung der zufälligen Fehler sind wir auf interessante, für uns bis jetzt unbekannte *systematische Fehler*, gestossen. Es hat sich gezeigt, dass durch das mehrmalige Auf- und Abrollen des Drahtes sein Elastizitätsmodul bis zu 9% grösser werden kann. Nach mehrmaligem Auf- und Abrollen stellt sich jedoch ein konstanter und stabiler Wert ein. Aus Bild 7 ist ersichtlich, dass die konstruktiv erzielte hohe Genauigkeit des Systems in Frage gestellt wäre, wenn der Draht vorgängig der Messungen nicht durch mehrmaliges Abrollen «beruhigt» würde. Die in den Bildern 5 und 6 angeführten Messergebnisse beziehen sich auf Messungen mit «beruhigten» Drähten. Sie zeigen, dass diese systematischen Fehler einfach beseitigt werden können.

4. Anwendungen im Untertagbau

Die Unsicherheiten, welche der rechnerischen Behandlung von Untertagbauten innewohnen, sowie die Unzulänglichkeit rein gefühlsmässiger Entscheidungen auf Grund gesammelter Erfahrungen lassen felsmechanische Messungen am Bauwerk als notwendig erscheinen. Der Beobachtung von Deformationen und Verschiebungen kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, weil diese verhältnismässig einfach gemessen und interpretiert werden können. Aus den durch Änderung der Bauzustände bedingten Deformationen und aus deren zeitlichem Verlauf kann man auf die Beschaffenheit des Gebirges und auf die Entwicklung des Bergdruckes schliessen. Da die Informationen quantitativen Charakter haben, können wichtige Entscheidungen auf rationaler Basis erfolgen. Oft erfüllen Messungen reine Kontrollfunktionen, indem mögliche Einbruchstellen noch vor der rein visuellen Wahrnehmung aufgedeckt und somit Schäden durch geeignete Sicherungsmassnahmen verhindert werden können. Die Beobachtung des zeitlichen Verlaufes der Deformationen mit

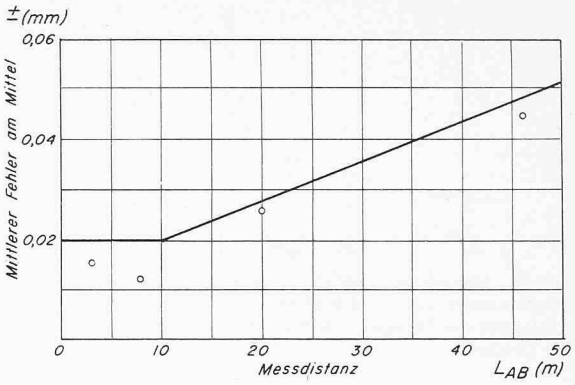


Bild 6. Mittlerer Fehler am Mittel der Ablesungen in Funktion der Messlängen L_{AB}

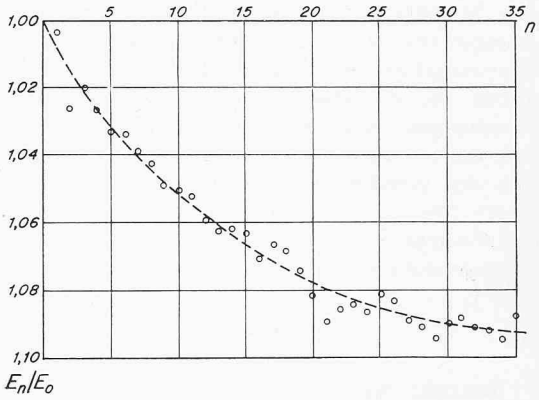


Bild 7. Vergrösserung des Elastizitätsmoduls E eines Invardrahtes infolge mehrmaligen Auf- und Abrollens des Drahtes (n = Anzahl Umspulungen)

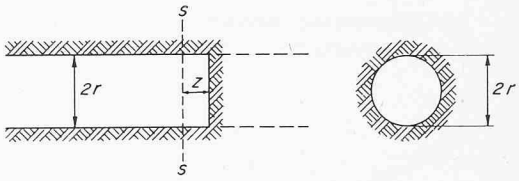


Bild 8. Lage des Messquerschnittes S–S zur Messung der Verengung eines Tunnels infolge Fortschreitens der Ortsbrust

dem Distometer wird in der Fachsprache des Tunnelbaues oft als Konvergenzmessung bezeichnet, unter der meist zutreffenden Annahme, dass die Tunnelwandungen sich einander nähern, der Hohlraum also etwas kleiner wird. Es wird im allgemeinen erwartet, dass die Bewegungen zu einem stabilen Endwert konvergieren. Von den zahlreichen Messungen, welche mit dem Distometer durchgeführt wurden, sollen hier typische Beispiele aufgezählt werden.

4.1 Messung der Verengung eines Tunnels infolge Fortschreitens der Ortsbrust

Die Messergebnisse können besonders einfach interpretiert werden, wenn ein Tunnel maschinell aufgefahren wird. Der Fels wird in der Umgebung des kreisförmigen Profils beim Vortrieb weitgehend geschont, so dass grössere Auflokkerungen nur bei schlechtem Material zu erwarten sind. Wird die Maschine etwas zurückgezogen, so können unmittelbar an der Ortsbrust die Messbolzen versetzt, Drähte gespannt und die ersten Ablesungen vorgenommen werden (Bild 8). Die zweiten Ablesungen werden beim weiteren Vortrieb gleich hinter der Maschine durchgeführt. Man erhält dann jene Deformationen Δd des Tunnelprofils, welche durch

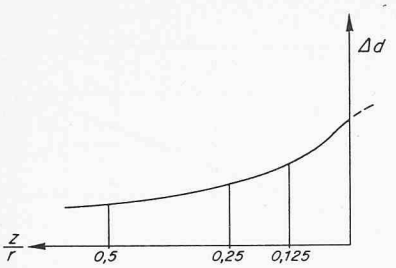


Bild 9. Gemessene Änderung des Durchmessers Δd in Funktion des Abstandes des Messquerschnittes von der Ortsbrust

den Wegfall der stützenden Wirkung der Ortsbrust eingetreten sind (Bild 9). Unter der Annahme eines elastisch isotropen Materials kann man nach den numerischen Untersuchungen von de *la Cruz* und *Goodman* [1] auf den primären Spannungszustand schliessen. Im folgenden verwenden wir jedoch die von diesen Autoren erarbeiteten numerischen Beziehungen zur Berechnung eines ideellen Verformungsmoduls des Gebirges. Als erste Näherung dürfen wir annehmen, dass der primäre Spannungszustand hydrostatisch ist und dessen Intensität p durch die Überlagerungshöhe und durch das Raumgewicht des Felsens bestimmt wird. Der Verformungsmodul E ergibt sich nach der einfachen Formel ($\nu = 0.3$):

$E = 2k\,r\,p/\Delta d$	$z/r = 0$	$k \cong 0{,}95$
	$z/r = 0{,}125$	$k = 0{,}61$
	$z/r = 0{,}25$	$k = 0{,}47$

r Tunnelradius
Δd Gemessene Änderung des Durchmessers (Mittelwert)
z Abstand des Messquerschnittes S–S von der Ortsbrust bei der ersten Ablesung
k Dimensionslose Zahl

Im allgemeinen werden in verschiedenen Richtungen verschiedene Werte für Δd gemessen. Bei kleinen Abweichungen kann in die Berechnung ein Mittelwert eingeführt werden. Trotz den vereinfachenden Annahmen ergibt der Wert von E wertvolle Anhaltspunkte für die Qualität des Felsens im Grossbereich. Weitere periodische Ablesungen geben über das Kriechverhalten des Gebirges Auskunft. Das hier beschriebene Vorgehen wurde trotz den beschränkten Platzverhältnissen (zwischen Maschine und Ortsbrust) und der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit mit Erfolg in zwei Stollen mit Fräsvortrieb angewendet.

In einem Trinkwasserstollen der Stadt Zürich (Stollendurchmesser $d = 2{,}57$ m, Überlagerungshöhe $h = 125$ m) konnte eine mittlere Durchmesseränderung Δd von 0,62 mm gemessen werden. Unter Annahme eines allseitig gleichen primären Spannungszustandes entsprechend der Überlagerungshöhe und dem Raumgewicht ($\gamma = 2{,}5$ t/m³) des mergeligen Sandsteines wurde ein globaler E-Modul von 90 000 kp/cm² ermittelt. Die Ergebnisse von Druckplattenversuchen haben die gleiche Grössenordnung für E ergeben.

In der Nähe von Thusis im Kanton Graubünden wurde dieses Messverfahren in einem Kraftwerkstollen von 3,80 m Durchmesser bei einer Gebirgsüberlagerung von 310 m in zwei Querschnitten angewendet. Im ersten Querschnitt ergaben sich Durchmesseränderungen von 14 mm in vertikaler und 2 mm in horizontaler Richtung. Im zweiten Messquerschnitt, in dem sich später deutliche Auflockerungserscheinungen zeigten, betrugen die entsprechenden Deformationen 23 mm bzw. 15 mm. Das Gestein war ausgesprochen anisotrop (Schieferung!), so dass man die eben erwähnte Umrechnungsformel, welche ja nur für isotropes und homogenes Material Gültigkeit hat, nicht gebrauchen konnte.

4.2 Deformationen des verkleideten Tunnelquerschnittes

Im Bächwald-Tunnel an der Simplonstrasse wurden auf Veranlassung der Bauleitung während des Baus an mehreren Stellen Konvergenzmessungen durchgeführt. Da es sich hier um einen Hangtunnel in einem Material mit geringer Kohäsion handelt, wurde zunächst befürchtet, dass durch den Bau

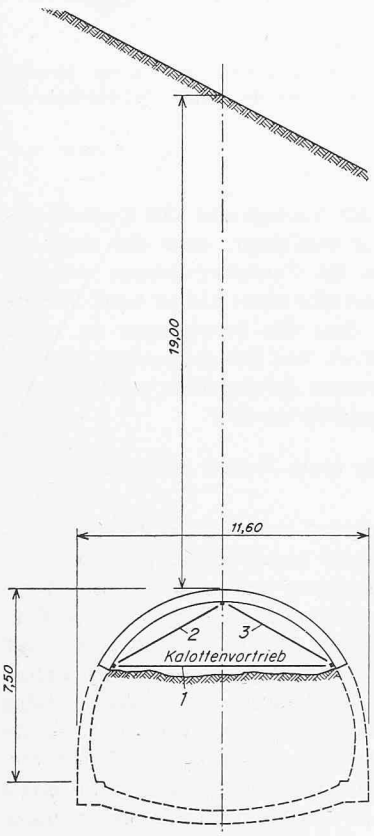


Bild 10. Anordnung der Messlängen 1, 2 und 3 im Kalottenprofil (Bächwaldtunnel)

Bild 11. Änderung der Kontrollängen infolge des Fortschreitens der Ortsbrust und anschliessendem Kernabbau (Bächwaldtunnel)

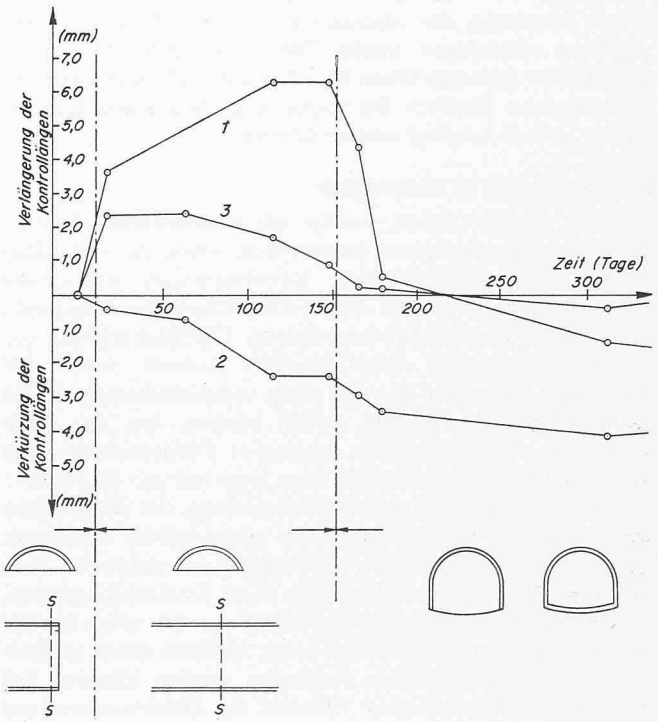
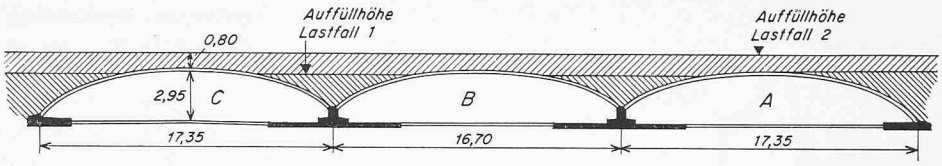


Bild 12. Querschnitt durch die BEBO-Garage in Lintorf-Düsseldorf



grössere Hangbewegungen ausgelöst werden könnten. Die Beobachtungen beim Bau und die Resultate der Messungen haben ergeben, dass die anfängliche Einschätzung des Gebirges eher pessimistisch war. Aufschlussreich sind die Messresultate, welche die Deformationen der verkleideten Kalotte infolge Änderung der Bauzustände ergeben.

In der ersten Ausbauetappe war nur die Kalotte erstellt und die provisorische Betonverkleidung jeweils bis zur Ortsbrust eingebracht. Auch in diesem Falle wurden die Messbolzen unmittelbar bei der Ortsbrust an der Verkleidung befestigt und die Messlängen 1, 2 und 3 (Bild 10) sofort ausgemessen. Bild 11 zeigt den steilen Anstieg der Messwerte der Längen 1 und 3, d.h. den Effekt des Fortschreitens der Ortsbrust. Der Kernaushub erfolgte etappenweise vom Portal her nach innen. Der Kern wurde jeweils auf einer Länge von 8 m ausgehoben, so dass sich das Betongewölbe der Kalotte einerseits auf die fertiggestellten Ulmen, anderseits auf den stehengelassenen Kern aufstützen konnte.

5. Die Formänderungen eines dünnen Gewölbes infolge Auffüllung und Fahrzeugbelastung

Zur Überprüfung der Statik und zur Abklärung des wirklichen Tragverhaltens eines neuen Bausystems[1]) wurden intensive Messungen an einem Bauwerk in Lintorf-Düsseldorf durchgeführt. Die aus vorfabrizierten dünnen Schalenelementen erstellte unterirdische Garage (Bild 12) wurde für eine Reihe symmetrischer und asymmetrischer Belastungsfälle untersucht. Im Vordergrund standen die Bauzustände, bedingt durch die verschiedenen Phasen des Auffüllvorgangs. Das Deformationsverhalten wurde im Feld A in drei benachbarten Messquerschnitten jeweils an einem Schalenelement und im Feld B nur an einem Querschnitt beobachtet. Die Anordnung der Messlängen ist in Bild 13 dargestellt. Von den zahlreichen interessanten Messergebnissen greifen wir die ermittelten Biegelinien (lotrechte und waagrechte Verschiebungen) für Fahrzeugbelastung mit ungleicher Auffüllhöhe des Feldes A heraus. In Bild 14 sind die Ergebnisse für alle drei Messquerschnitte dieses Feldes angegeben. Da der Abstand der drei Messquerschnitte nur je 2,40 m beträgt, durfte eine gute Übereinstimmung der Messresultate erwartet werden. In Bild 15 ist ein Endzustand mit simulierter Verkehrs- und Schneelast unter vorgeschriebener symmetrischer Auffüllung ohne Fahrzeug angegeben. Trotz symmetrischer Belastung weist die lotrechte Biegelinie eine stark asymmetrische Form auf. Dies ist eine Folge der Belastungsgeschichte, die rechnerisch mit einfachen Mitteln kaum erfasst werden kann. Das dünne elastische Schalenelement vermag die eingetretenen plastischen Deformationen des Bodenmaterials nicht mehr auszugleichen. Da die Formänderungen und Beanspruchungen des Gewölbes innerhalb zulässiger Grenzen blieben, haben die Messungen die erwartete Tragwirkung des Systems bestätigt.

6. Die Beobachtung der Rutschbewegung von Felsmassen

Das Distometer wurde in Amden zur Abklärung bestimmter Fragen periodisch eingesetzt. Zum besseren Verständnis des Gleitmechanismus versuchte man festzustellen,

[1]) Bebo International Heierli & Co., Zürich, Baugesellschaft Kufus, Rekklinghausen, BRD.

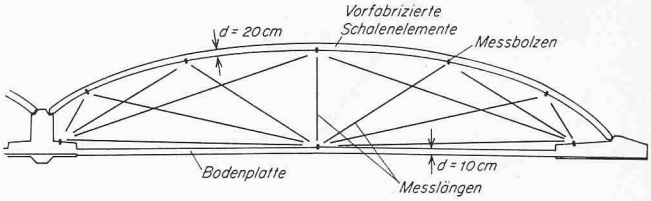


Bild 13. Anordnung der Messlängen im Feld A

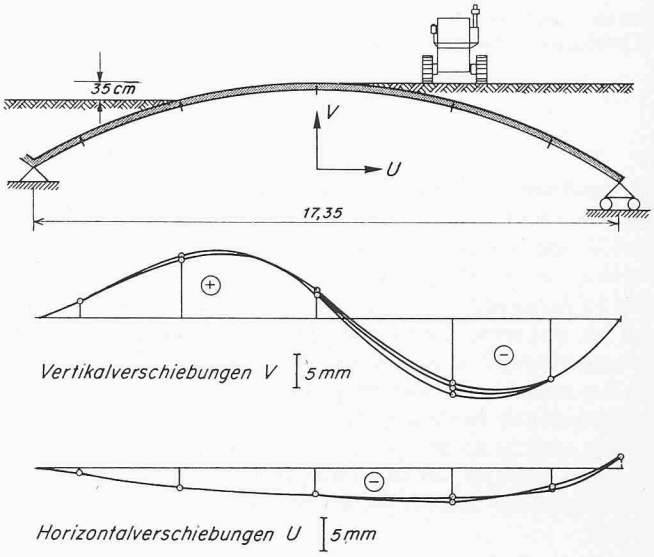


Bild 14. Gemessene Horizontal- und Vertikaldeformationen u und v für drei parallel liegende Messquerschnitte im Feld A (Lastfall 1)

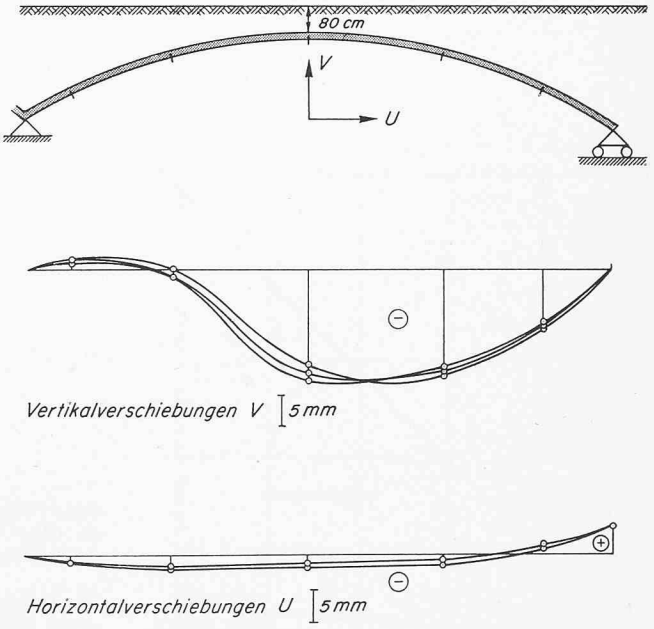


Bild 15. Gemessene Horizontal- und Vertikaldeformationen u und v für drei parallel liegende Messquerschnitte im Feld A (Lastfall 2)

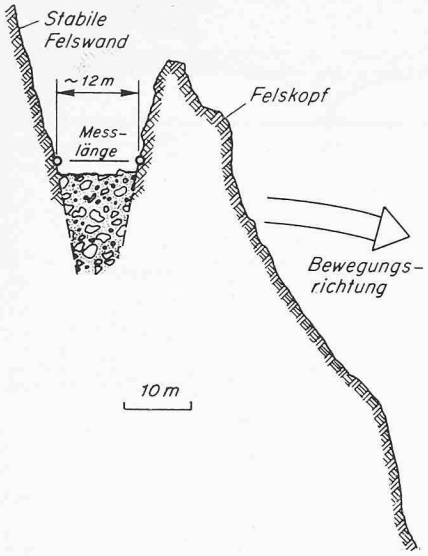


Bild 16. Querprofil durch die sich bewegende Felsmasse im Schafbett-Amden

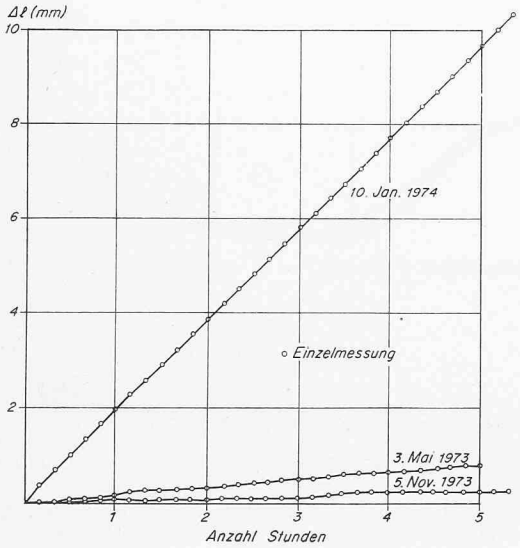
ob die Bewegungen der Felsmasse kontinuierlich oder ruckartig stattfinden. Die Voraussetzung dazu war ein gutes Auflösungsvermögen der Messung. Die Lage vor dem ersten Felssturz in Amden mit der Angabe einer Messlänge ist in Bild 16 dargestellt. In Zeitabständen von je 10 Minuten wurden an mehreren Tagen während je 5 Stunden Messungen vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen haben bei der erreichbaren Messgenauigkeit, wie Bild 17 zeigt, eine kontinuierliche Bewegung Δl ergeben. Mit dem Distometer konnte auch in kurzer Zeit der räumliche Verschiebungsvektor eines Punktes am sich bewegenden Felskopf durch den Einsatz weiterer Messlängen einfach bestimmt werden.

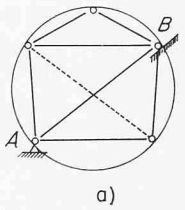
7. Die Berechnung der Verschiebungen aus den Messwerten

Wir beschränken uns im folgenden auf ebene Probleme, d.h. auf Fälle, in denen alle Messpunkte und ihre Verschiebungsvektoren in einer Ebene liegen. Es sei zunächst angenommen, dass es nur so viele Messlängen gibt, wie zur eindeutigen Bestimmung der Verschiebungen notwendig sind. Die punktierte Linie in Bild 18a deutet beispielsweise eine überzählige Messlänge an.

Um die Formänderung eines Netzes zu berechnen, halten wir einen der Messpunkte fest und einen zweiten in einer bestimmten Richtung unverschieblich. Ein solches System, wie es in Bild 18a mit den Punkten A und B dargestellt ist, erinnert an ein statisch bestimmtes Fachwerk. Man sieht auch leicht ein, dass die Bestimmung der Formänderung eines Fachwerkes unserem Problem analog ist. Den Längenänderungen ΔS der einzelnen Stäbe entsprechen unmittelbar die mit dem Distometer gemessenen Werte m. Man kann deshalb zur graphischen Lösung der Aufgabe einen Williotschen Verschiebungsplan [2] oder, wesentlich vorteilhafter, ein numerisches Verfahren anwenden. So lassen sich die bekannten Computerprogramme der Stabstatik wie beispielsweise das Programm STRESS ohne weiteres benützen. Die Längenänderungen können ja als Folge von Temperaturänderungen aufgefasst werden. Falls die Bewegung der «Auflagerpunkte» ebenfalls bekannt ist, wird man der Formänderung des Netzes eine Fahrzeugbewegung nach den bekannten Gesetzen der Relativbewegung [3] überlagern. Im allgemeinen kann auch dieses Problem mit den vorhandenen Statikprogrammen gelöst werden.

Wir wollen hier ein Beispiel aus der Tunnelbaupraxis erwähnen. Um die absoluten Verschiebungen eines Tunnelgewölbes zu erhalten, verwendet man Bohrlochextensometer, die ähnlich dem Distometer Längenänderungen angeben. Wählt man genügend lange Bohrlöcher, so kann der Fels am Bohrlochboden als unverschiebbar betrachtet werden. Auf diese Weise erhält man die gewünschten Fixpunkte zur Bestimmung der Absolutverschiebungen des Gewölbes. Die Anordnung der Extensometer wird sich nach der Bauweise und Vortriebsmethode richten. Man installiert sie aber vorteilhaft im oberen Profilbereich und mit mehreren Punkten (Mehrfachextensometer), damit auch die Felsverschiebungen einigermassen erfasst werden können. Es ist lediglich zu beachten, dass sich die Achsen der Bohrlöcher nicht in einem Punkt schneiden, weil sonst die Verschiebung des Gewölbes nicht eindeutig bestimmbar ist. Eine mögliche Anordnung für ein Kreisprofil ist in Bild 18b dargestellt. Zur Auswertung werden die Extensometer wie die anderen Messlängen als Fachwerkstäbe simuliert und die Punkte A, B und C als unverschiebbar betrachtet.





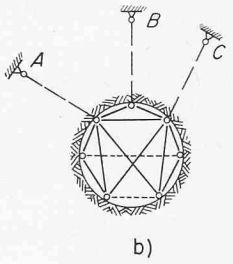


Bild 17 (links). Ergebnisse der Deformationsmessungen an einer Messstrecke im Felsrutschgebiet Schafbett-Amden (Felsabsturz am 21. Januar 1974)

Bild 18 (rechts). a) Anordnung der Messstrecken in einem Messquerschnitt; b) mögliche Anordnung von Messlängen in Kombination mit Extensometern in einem Kreisprofil

8. Schlussbemerkungen

Die Erfahrungen, die in den vergangenen zwei Jahren beim Einsatz des Distometers bei zahlreichen Bauwerken gesammelt wurden, zeigen, dass das geschilderte Messverfahren den Bedürfnissen der Baupraxis entgegenkommt. Selbst unter erschwerten Bedingungen kann eine hohe Genauigkeit mit wenig Aufwand an Zeit und Material (auch von angelernten Hilfskräften) erzielt werden. Fehlerquellen wurden schrittweise eliminiert und der Bedienungskomfort soweit als möglich erhöht. Dies bildet eine wichtige Voraussetzung für eine breite Anwendung dieses Messsystems.

Literatur

[1] *R. De la Cruz* and *R. Goodman:* The borhole deepening method of stress measurment. International Symposium on the Determination of stresses in the Rock Masses, Lisbon 1969.

[2] *F. Stüssi:* Baustatik I. Birkhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart 1962.

[3] *H. Ziegler:* Mechanik I. Birkhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart 1962.

Adresse der Verfasser: Dr. *K. Kovári, Ch. Amstad* und Prof. *H. Grob,* Institut für Strassen- und Untertagbau an der ETH Zürich (ISETH), Clausiusstrasse 33, 8006 Zürich.

Baumeister-Landsgemeinde 1974

DK 061.2:69

(Fortsetzung von Heft 34, SS. 796–797)

Konjunktur- und Wirtschaftspolitik aus der Sicht des Bundesrates

Den Teilnehmern der Generalversammlung 1974 waren die Auffassungen und Postulate wohl grösstenteils bekannt, welche Präsident *Messmer* schon seit Ende 1972 (Einführung der Konjunkturdämpfungsmassnahmen) deutlich und wiederholt kundgegeben hat. Sie richteten sich nicht zuletzt auch an die Adresse des Bundesrats. Die Baumeistergilde folgte daher mit gespannter Aufmerksamkeit der Stellungnahme von Bundespräsident *Ernst Brugger*, der sich als Chef des Volkswirtschaftsdepartements auch ex officio mit den Nöten der Bauwirtschaft zu befassen hat. Dass sich die Zuhörerschaft selbst bei der Unvermeidlichkeit konträrer Meinungsäusserungen sehr loyal verhielt und manchem «kontradiktorischen» Kernsatz aus dem Munde Messmers oder Bruggers gleichermassen Beifall zollte, ist in Anbetracht eines heute oft sturen Oppositionsdranges besonders zu anerkennen.

25 Jahre konjunktureller Aufstieg

Bundespräsident *Brugger* erinnerte an die eindrückliche wirtschaftliche Entwicklung unseres Landes in der Nachkriegszeit. Während eines 25 Jahre währenden konjunkturellen Aufstiegs hat sich das Bruttosozialprodukt verdreifacht, der Export verfünffacht, und das durchschnittliche reale Einkommen konnte um gut das Zweifache gesteigert werden. Innerhalb einer Generation ist der Wohnungsbestand verdoppelt worden. Dies alles und einiges mehr (z. B. unser internationales Dienstangebot) ist Eigenschaften und Fähigkeiten zu danken, die wir hier nicht eigens herausstellen möchten.

Wetterleuchten

Doch – so der bundesrätliche Sprecher – die *jüngste Vergangenheit* hat zu ungewohnten Belastungen geführt, die uns mit der Frage des wirtschaftlichen Wachstums, den Grenzen des Wohlstands und den konkreten Gegebenheiten des Verzichts konfrontieren. Die Umstellung fällt dem Schweizer schwer, im bisherigen Glauben, uns könne auf wirtschaftlichem Gebiet überhaupt nichts passieren. Ohne Arbeitslosigkeit, Rezessionen oder gar Krisen während des letzten Vierteljahrhunderts zu kennen, haben wir uns daran gewöhnt, die gelegentlichen Schwierigkeiten in einigen Regionen oder Betrieben geradezu als unschweizerisch anzusehen. Selbst heute noch, wo untrügliche Gewitterzeichen aufziehen, glauben wir, die wirtschaftliche Schönwetterlage werde sich von selbst wieder einstellen. Vor diesem Dräuen kann uns der Vorwurf eines *Mangels an Einsicht* nicht erspart werden für die fundamentalen wirtschaftlichen Realitäten, welche die Entwicklungschancen unseres Landes bestimmen, dafür auch, dass uns zur Befriedigung materieller Bedürfnisse einzig zur Verfügung steht, was wir produzieren und leisten, dass wir nicht einfach von der Hand in den Mund leben können und schliesslich, dass man mit *Symptom*korrekturen nicht mehr durchkommt.

Globale Notstände

«Es ist realistisch, wenn wir zur Kenntnis nehmen, dass die Weltwirtschaft durch die neue Situation auf dem Rohstoff- und Erdölmarkt, die zudem noch durch eine weltweite Inflation gekennzeichnet ist, vor Herausforderungen gestellt wird, wie wir sie nach dem Zweiten Weltkrieg nicht mehr erlebt haben». Es sind diese «echten Notstände», fährt der Sprecher fort, die dazu führen, dass immer mehr Nationen – es sind nicht nur die rohstoffarmen Entwicklungsländer – in wirtschaftliche Schwierigkeiten geraten, weil ihre Rohstoffimporte nicht mehr gesichert sind und ihre Zahlungsbilanzen aus den Fugen geraten. In solcher Notlage bringen protektionistische Einzelaktionen keine Lösung der Probleme. Sie verletzen – mindestens dem Geiste nach – internationale Abmachungen und provozieren Gegenmassnahmen, die schliesslich das aufgebaute freie Weltwirtschaftssystem in Frage stellen müssten.

Unsere Hauptaufgabe sieht der Vorsteher des Volkswirtschaftsdepartements darin, für die *liberalen Bedingungen* in den Weltwirtschaftsbeziehungen – solche braucht unsere Exportwirtschaft und auch die mit dieser eng verflochtene Binnenwirtschaft – einzustehen, das bis heute Erreichte zu konsolidieren und gegen jeden Wirtschaftsprotektionismus anzutreten, der vor allem die kleinen Länder schwer treffen würde.

Aktive Konjunkturpolitik

Das heisst aber auch, dass wir in der Schweiz eine aktive Konjunkturpolitik betreiben müssen – eine Feststellung, von der Bundespräsident Brugger annimmt, sie werde gerade in der Bauwirtschaft nicht besonders gern gehört werden. Letztlich geht es aber uns allen (auch den wirtschaftspolitisch verantwortlichen Behörden) um den *Fortbestand unserer freiheitlichen, wettbewerbsorientierten Wirtschaftsordnung,* der wir immerhin sehr viel zu danken haben. Kein Zweifel, eine ungebremste Inflation und der Niedergang unserer Wettbewerbsfähigkeit im Innern und nach aussen wären auch dem freien Unternehmertum keineswegs zuträglich, und ein durch die Verhältnisse forcierter Strukturwandel würde unsere Klein- und Mittelbetriebe vor schwere Probleme stellen!

Rückgang der Bautätigkeit

Angesichts der Verdüsterung des bauwirtschaftlichen Horizonts drängen sich dem Bundesrat *konjunkturpolitische Folgerungen* zur Lage und zu den Aussichten auf dem