Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 77 (1959)

Heft: 30

Artikel: Aus der Projektierung für die Kraftwerksgruppe Hinterrhein: die Bestimmung elastischer Eigenschaften von anstehendem Fels durch Ultraschall-Sondierung

Autor: Wenzel, Klaus

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-84286

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: 15.12.2025

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Aus der Projektierung für die Kraftwerkgruppe Hinterrhein

DK 621.29.002.1

Motor-Columbus A.G., Baden

Die Bestimmung elastischer Eigenschaften von anstehendem Fels durch Ultraschall-Sondierung

Von Dr.-Ing. **Klaus Wenzel**, Motor-Columbus AG., Baden

1. Einführung

Im Druckstollen- und Druckschachtbau spielt die sichere Erfassung der elastischen Eigenschaften des anstehenden Gesteins für die wirtschaftliche Dimensionierung der Auskleidung eine entscheidende Rolle. Es wurde deshalb in der Praxis eine Anzahl Methoden entwickelt, um den in den Berechnungen vorkommenden Elastizitätsmodul des die Stollen umgebenden Fels zu ermitteln. Diese Methoden haben jedoch alle, selbst wenn man mit ihrer Hilfe einwandfreie Ergebnisse erhält, mehr oder weniger den grossen Nachteil, in der Anwendung umständlich zu sein. Deshalb beschränkt man sich in der Praxis auf wenige Messtellen, die u. U. nicht repräsentativ für das Ganze sind.

Vor anderen Methoden haben seismische Messungen, also geophysikalische Aufschlüsse den Vorteil, bei richtiger Verteilung der Messtellen das Gestein auf längere Strecken zu durchmessen. Physikalisch mit den seismischen Verfahren verwandt ist die akustische Messung und die Gesteindurchschallung mit Ultraschall. Das Ultraschall-Verfahren hat den für die Praxis bedeutenden Vorteil sehr grosser Einfachheit, Schnelligkeit und Nichtbehinderung des Baubetriebes. Ferner liefert das Verfahren die Grösse der elastischen Konstanten ohne langwierige Auswertung.

2. Einige Bemerkungen zur Physik der Ultradurchschallung im Gestein

Das Wesen des Ultraschalls und seine Anwendung zur Materialprüfung ist aus der reichen, im letzten Jahrzehnt erschienenen Literatur bekannt. Es soll deshalb nur auf einige Besonderheiten bei der Messung der Ultraschallgeschwindigkeit und der Interpretation der Ergebnisse für die Bestimmung des Elastizitätsmoduls des Felsgesteins hingewiesen werden. Durch die Anisotropie und Inhomogenität im anstehenden Fels ist bei einer Durchschallung die Ultraschall-Absorption sehr gross [1] *). Die Messungen können daher nur jeweils innerhalb kurzer Strecken erfolgen. Ausgesprochene Schichtungsfugen (Schieferung) im Fels und Lockermaterial lassen den Ultraschall wegen der an den Grenzschichten des durchschallten Mediums erfolgenden Schallreflexion nicht hindurch. Wassergefüllte Spalten lassen den Ultraschall teilweise hindurch, entsprechend dem Verhältnis der Schallhärte der durchschallten Medien Fels — Wasser — Fels. Solange die Breite der Spalten bzw. die Summe mehrerer Spaltenbreiten im Verhältnis zur Messstrecke zwischen Ultraschallsender und -empfänger klein ist, tritt dadurch praktisch keine Verfälschung der Ergebnisse ein. Wegen der grossen Absorption sind jedoch Spalten an der geringen Intensität der ankommenden Schallwelle durchaus erkennbar, wie sich bei den durchgeführten Versuchen zeigte.

Den Elastizitätsmodul berechnet man bei Körpern mit unbehinderter Querdehnungsmöglichkeit (Prüfkörper) direkt aus der Laufzeit der Longitudinalwelle [1]). Bei unbegrenzten Körpern, wie es im anstehenden Fels der Fall ist, ist die freie Querdehnungsmöglichkeit behindert. Die Longitudinalwellengeschwindigkeit und damit auch der E-Modul erscheint dadurch in unbegrenzten Körpern grösser als in begrenzten. Aus diesem Grunde muss der im unbegrenzten Körper ermittelte E-Modul mit Hilfe der Poissonzahl auf die Grösse des in der Querdehnung unbehinderten Körpers zurückgeführt werden [2]). Die Poissonzahl kann aus dem Verhältnis der Geschwindigkeit der Longitudinalwelle zu der der Transversalwelle ermittelt werden [3]).

Aus der Geschwindigkeit der Ultraschallongitudinalwellen wird, wie bei der seismischen Methode, der sogenannte dynamische Elastizitätsmodul ermittelt. Da aber in der Bautechnik meist mit dem sog. statischen Elastizitätsmodul gerechnet wird, und sich die Werte von dynamischem und statischem E-Modul unter Umständen erheblich voneinander unterscheiden, muss auf beide Begriffe kurz eingegangen werden.

Der statische E-Modul ist bestimmt durch die Neigung des unter *statischen* Belastungen ermittelten Spannungs-Dehnungsdiagramms eines Körpers. Doch kann seine Grösse besonders bei Gesteinen, die bekanntlich nicht dem Hookeschen Gesetz folgen, in weitem Bereich schwanken, je nach dem Verhältnis der Prüfkörperabmessungen, der Belastungsstufe, der Belastungsgeschwindigkeit, der Anzahl der Belastungsreihen und anderen Einflüssen mehr. Ferner lässt der Begriff selbst offen, ob als Spannungs-Dehnungslinie die Be- oder Entlastungskurve, ob als statischer E-Modul die Neigung der Tangente oder der Sekante zur Spannungs-Dehnungslinie verstanden werden soll. Bei den vorliegenden Untersuchungen soll als E_{stat}-Modul einer bestimmten Laststufe die Sekante zum Spannungs-Dehnungsdiagramm bei Entlastung von der Höchstlast dieser Laststufe auf Null gemeint sein.

Der dynamische E-Modul bestimmt sich nach teilweise bereits oben genannten physikalischen Beziehungen aus dem elastischen Verhalten des in Schwingung versetzten, also *dynamisch* belasteten Körpers. Die Schwingungen können dabei durch Stossbelastung oder kontinuierliche Erregung mit Frequenzen vom untersten akustischen bis zum unteren ultraakustischen Bereich erzeugt werden. Von den dabei eintretenden verschiedenen möglichen Schwingungszuständen des Körpers wird bei der Bestimmung des dynamischen E-Moduls mit dem hier allein betrachteten Ultraschall nur der durch die Longitudinalwellen (Kompressions-, Dehnwellen) hervorgerufene Zustand betrachtet. Die Messung der Transversalwelle (Schubwelle) diente nur der gelegentlichen Bestimmung der Poissonzahlen. Der dynamische E-Modul entspricht wertmässig der Neigung der Tangente an das Spannungs-Dehnungsdiagramm des statischen E-Moduls in

*) Siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

1) $E_{dyn} = v_l^2 \, \varphi$

2) $$E_{dyn} = v_l^2 \, \varphi \, \frac{(1 - 2\mu)\,(1 + \mu)}{1 - \mu}$$

3) $$\mu = \frac{(v_l/v_t)^2 - 2}{2\,[(v_l/v_t)^2 - 1]}$$

E_{dyn} = auf dynamischem Weg ermittelter E-Modul
φ = Dichte des durchschallten Mediums
μ = Poissonzahl
v_l = Geschwindigkeit der Longitudinalwelle
v_t = Geschwindigkeit der Transversalwelle

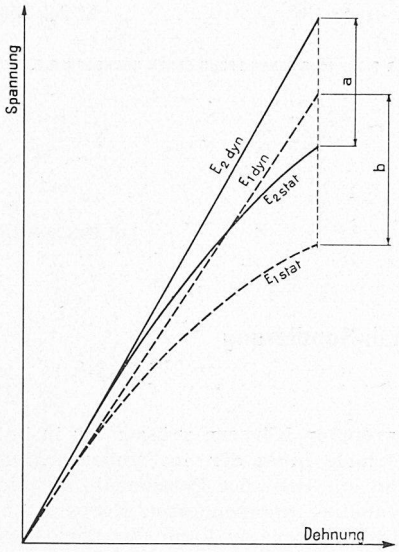

Bild 1. Statischer und dynamischer Elastizitätsmodul
$E_1 = E$-Modul einer weichen Felsart
$E_2 = E$-Modul einer harten Felsart

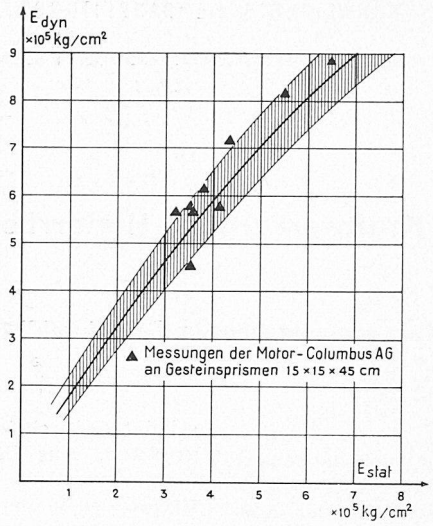

Bild 2. Beziehung zwischen statischem und dynamischem E-Modul bei Gesteinen

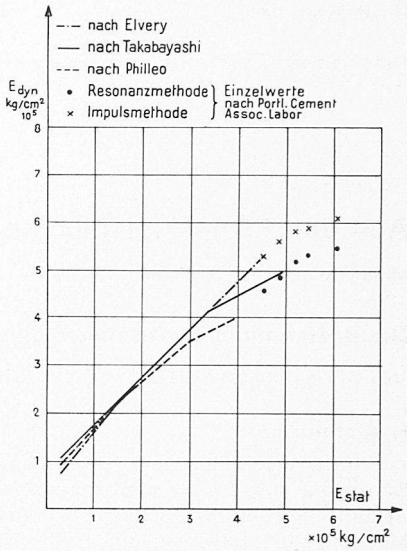

Bild 4. Beziehung zwischen statischem und dynamischem E-Modul bei Beton.

seinem Nullpunkt, Bild 1 [4]). Seine Grösse hängt allerdings etwas von der verwendeten Schwingungsfrequenz ab [2].

Wenn man verallgemeinert, dass ein grösserer E-Modul einem härteren, widerstandsfähigeren Gestein, ein kleinerer E-Modul einem weicheren, unter Umständen verwitterten Gestein, also bautechnisch schlechterem Fels entspricht [5]), so ersieht man aus Bild 1, dass der Unterschied a zwischen E_{stat} und E_{dyn} bei hartem Fels in jedem Fall kleiner ist als der Unterschied b bei weicherem Gestein. Das heisst, dass die Werte beider E-Modulformen für sehr harte Felsarten sich angleichen, für schlechtere Felsarten dagegen weiter auseinander liegen.

Vom US-Bureau of Reclamation [3] und H. Reich [4] wurden der statische und dynamische E-Modul an einer grossen Anzahl von Prüfkörpern verschiedener Gesteinsarten (Tiefen-, Erguss-, Sedimentgesteine) ermittelt und untereinander vergleichen. Dabei zeichnen sich die von Reich zusammengestellten Versuchsergebnisse durch kleinere Streuungen aus. Wohl zeigen auch hier einzelne Spezies der gleichen Gesteinsart mitunter erhebliche Unterschiede, doch wenn die Resultate graphisch aufgetragen werden (Bild 2), so ordnen sie sich unter Annahme eines einheitlichen spez. Gewichts von 2,70 gesetzmässig mit einem nur schmalen Streuungsband ein. Dabei erkennt man auch, wie oben beschrieben, den geringer werdenden prozentualen Unterschied zwischen E_{stat} und E_{dyn} bei zunehmenden E-Moduliwerten. Brown und Robertshaw [5] trugen die Ergebnisse der Reichschen Zusammenstellung in Form von Bild 3 auf. Man sieht in Bild 2 und 3 auch die gute Uebereinstimmung der im Rahmen dieser Versuche von der Motor-Columbus AG. durchgeführten Messungen. Zahlreiche der erwähnten Versuche des USBR ordnen sich gleichfalls in die in Bild 3 gegebene Beziehung ein, besonders bei den kleineren E-Modulwerten. Doch sind andere Werte wiederum so abweichend, dass keine Gesetzmässigkeit mehr erkennbar ist. Interessant ist in diesem Zusammenhang ein Vergleich des Verhaltens der Gesteins-E-Moduli mit denen des Betons nach den neueren Forschungsarbeiten von R. E. Philleo [6], J. C. Simmons [7], M. T. Takabayashi [8], R. Jones [9] und Elvery [10], deren Ergebnisse eine ähnliche Gesetzmässigkeit zeigen (Bild 4).

Wenn sich bei Abpressversuchen eines ganzen Stollenabschnittes aus den Deformationen des anstehenden *Felsverbandes* [6]) statische E-Moduli errechnen, die niedriger sind, als dies nach Bild 3 dem Gestein entspräche oder als sie an herausgeschnittenen *Prüfkörpern* des anstehenden Felsens ermittelt wurden, so liegt dies an der nur teilweise elastischen Zusammendrückbarkeit der durch den Ausbruchvorgang ausgelösten Auflockerung des Gesteinsverbandes um den Stollen. Diese scheinbare Verminderung des E_{stat}-Moduls kann man auch mit den Ultraschallmessungen für den E_{dyn}-Modul leicht, wie noch bei den Versuchen gezeigt wird, durch Intensitätsabnahme der im Empfänger ankommenden Schallenergie und durch die Laufzeitverlängerungen des Schalles verfolgen.

[4]) Als Begründung hierfür gilt, dass einerseits bei der dynamischen E-Modulmessung der Schalldruck im durchschallten Medium nur wenige g/cm² beträgt, also praktisch auch der statischen Laststufe Null entspricht, und dass es sich anderseits bei Durchschallung um eine stossweise Momentanbelastung des Mediums handelt, derzufolge sich ein erheblich grösserer E-Modul ergibt als unter langsam gesteigerter Last (vgl. Prof. Dr. *H. Rüsch,* SBZ 1959, H. 9, S. 120, Bild 2).

[5]) Diese verallgemeinerte wertende Aussage trifft streng genommen nur für den relativen Vergleich des gleichen Gesteintyps zu; beim Vergleich verschiedener Gesteinsarten untereinander müsste man an Stelle von «hartem» und «weichem» richtiger von «sprödem» und «elastischerem» Gestein sprechen, wobei das Mass der Elastizität dann kein zu verallgemeinernder Wertbegriff für die Gesteinsgüte im bautechnischen Sinn wäre.

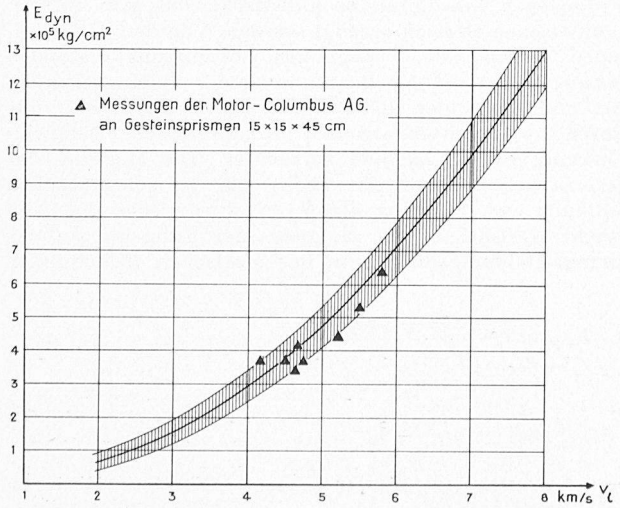

Bild 3. Beziehung zwischen Longitudinalwellen-Geschwindigkeit v_l und statischem E-Modul bei Gesteinen (nach H. Reich).

[6]) Unter «Felsverband» oder «Gesteinsverband» wird hier der Komplex der anstehenden geologischen Formation, insbesondere der Felszone im Bereich des Stollenausbruchs verstanden.

Die verschiedenen Einflüsse von Lagerungs- oder Schichtungsrichtungen und Ueberlagerungsdruck des anstehenden Felsverbandes auf die richtige Bestimmung des dynamischen und statischen *E*-Moduls können aus Platzgründen hiermit nicht erwähnt werden, da sie mit der Ultraschallmethode nicht unmittelbar zusammenhängen.

3. Durchführung der Versuche und Ergebnisse

Im Zuge der Bauarbeiten der Kraftwerke Hinterrhein wurde bei Ferrera im Rofnagneis ein Sondierstollen vorgetrieben, der vor allem Aufschlüsse über die Felseigenschaften im Bereiche der zukünftigen Kavernenzentrale Ferrera liefern sollte. Neben den geologischen Aufschlüssen wurden in diesem Stollen von der Motor-Columbus AG. Versuche zur Ermittlung der elastischen Felseigenschaften mit verschiedenen Methoden (Abpressversuche des ganzen Stollenabschnittes, Seismik und Ultraschall) durchgeführt, die deren Brauchbarkeit, Anwendungsmöglichkeit in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht und Vergleichbarkeit der Resultate untereinander zeigen und klären sollten.

Die hier beschriebenen Versuche mit Ultraschall dienten zur Erprobung der Möglichkeit, auf einfache Art die elastischen Eigenschaften des anstehenden Felses und seine Auflockerungszone um den Ausbruchquerschnitt zu ermitteln. Sie wurden ausser im Versuchsstollen bei Ferrera noch in anderen Stollenvortrieben der gleichen Kraftwerkgruppe ausgeführt.

Die Motor-Columbus AG. führte die Ultraschall- und Dehnungsmessungen, wie auch den Abpressversuch im Stollen aus, während dipl. Physiker A. E. Süsstrunk, Geophysikalische Untersuchungen, Zürich, die seismischen Messungen besorgte.

Bei dem untersuchten anstehenden Fels handelt es sich um Rofnagneis, einen dichtgelagerten, teilweise sehr quarzreichen Gneis mit einem spezifischen Gewicht von 2,80, ferner um bankigen Sandkalk gleichen spezifischen Gewichts sowie um feingeschichteten Tonschiefer, zwischen dessen Schieferung sich schwarze schmierige Schichten befanden, schliesslich auch um feinkristallinen, weissen Marmor in kompakter Lagerung vom spezifischen Gewicht 2,74.

Für die Versuche wurde ein Ultraschall-Impulsgerät der Firma Steinkamp, Bremen, verwendet. Es besteht aus einem Sender- und Empfängeraggregat (Bild 5) und arbeitet auf einer Frequenz von 30 kHz. Die Leistungsaufnahme des Senders beträgt 25 W, die des Empfängers 60 W, Verstärkungsgrad 200 000-fach. Als Energiequelle diente das 220-V-Netz. Die Schallköpfe hat man speziell für diese Versuche mit einem Durchmesser von 24 mm hergestellt, um sie in normale Bohrlöcher einführen zu können (Bild 6). Der mögliche Messbereich von 0,1÷10 m ist wegen der grösseren Ablesegenauigkeit in vier Messbereiche unterteilt. Die Ablesung der Laufzeit erfolgt bei dem Gerät an Zeigern auf einer für die vier Messbereiche geeichten Skala in Mikrosekunden. Das Gerät gestattet ferner, die Grösse der Amplitude der ankommenden Schwingung, welche ein Mass für die am Empfänger eintreffende Schallenergie ist, zu messen.

An den Ulmen der Stollen, etwa 50 cm über Stollensohle, waren unter etwa 30° geneigte Bohrlöcher rd. ⌀ 30 mm in verschiedenen Abständen von 0,5 bis 3 m, meist 2 m und mit verschiedenen Tiefen von 1,2 bis 3,2 m gebohrt. An jeder Messstelle wurde eine Gruppe von wenigstens drei Bohrlöchern gebohrt. Sie durchschnitten an allen Stellen das Gestein schräg zur Schichtung. Die Bohrlöcher wurden mit Wasser gefüllt und danach beide Schallköpfe bis auf den Grund der Bohrlöcher eingeführt (Bild 5). Vor dem Versuch wurden die Bohrlöcher eingemessen, um die genaue Entfernung der Schallköpfe am Bohrlochgrund zu kennen.

Zur Ermittlung des *E*-Moduls im unbegrenzten Körper, wie ihn der anstehende Fels darstellt, ist neben der Messung der Longitudinalwellen-Geschwindigkeit noch die Feststellung der Poissonschen Konstanten aus der Transversalwellengeschwindigkeit notwendig. Leider ist die Messung der Transversalwelle nicht einfach.. Sie hat eine geringere Fortpflanzgeschwindigkeit im Medium als die Longitudinalwelle,

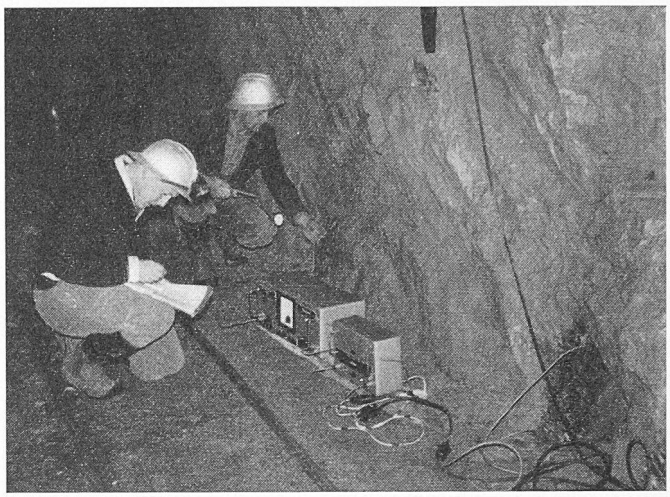

Bild 5. Messen der Ultraschallaufzeit im Fels. Bei den feuchten Stellen am Fels erkennt man die Kabel zu den in die Bohrlöcher eingeführten Schallköpfen

mit der sie sich bei der Durchschallung überlagert. Ferner erleidet sie eine starke Dämpfung, so dass sie nur auf sehr kurzem Schallweg bis etwa 40 cm gemessen werden konnte. Die kurze Distanz zwischen Schallsender und -empfänger beeinträchtigte wiederum die Messgenauigkeit. Wenn die Schallkopfoberflächen in rechtem oder stumpfem Winkel zueinander mit möglichst fester Ankopplung auf das Gestein aufgesetzt werden, wird die Transversalwelle in diesem besonders angeregt und auf die kurze Messdistanz gegenüber den Longitudinalwellen kaum gedämpft. Oft wird die Annahme einer Poissonzahl die Messung der Transversalwelle erübrigen können. So errechnet H. Reich [4] für die Erdkruste eine mittlere Poissonzahl von 0,28. Bei Annahme dieser Zahl würden die Ergebnisse der hier beschriebenen Versuche im Extrem nur + 5 % und — 8 %, also in noch für die Baupraxis in diesem Fall annehmbaren Fehlerbereichen von den gemessenen Werten abweichen. Während die Longitudinalwellengeschwindigkeit im Rofnagneis um 4,70 km/s betrug, lief die Transversalwelle nur mit 2,45 km/s im Mittel, also mit fast nur der halben Geschwindigkeit der Longitudinalwelle. Aus dem Verhältnis beider Wellengeschwindigkeiten errechnet sich im vorliegenden Fall eine Poissonzahl von 0,31.

Auf diese Weise wurden nun in kurzer Zeit zahlreiche Messungen in verschiedenen Stollen der Kraftwerke Hinterrhein AG. durchgeführt, die den fortlaufenden Baubetrieb nicht störten, auch ihrerseits von diesem nicht gestört wurden. An allen Stellen, an denen seismische Messungen gemacht worden waren, stimmten die Ergebnisse auch mit den Ultraschallmessungen weitgehend überein. Am hinteren Ende des genannten Versuchsstollens wurden ausserdem noch Abpressversuche eines 20 m langen, mit 20 cm Beton verkleideten Stollenabschnittes von 3,30 m lichtem Durchmesser in der üblichen, in dieser Zeitschrift schon wiederholt beschriebenen [11] Art vorgenommen. Von den Ergebnissen der *E*-Modul-Bestimmungen mit Ultraschall seien hier nur die Resultate herausgegriffen, bei denen ein Vergleich mit

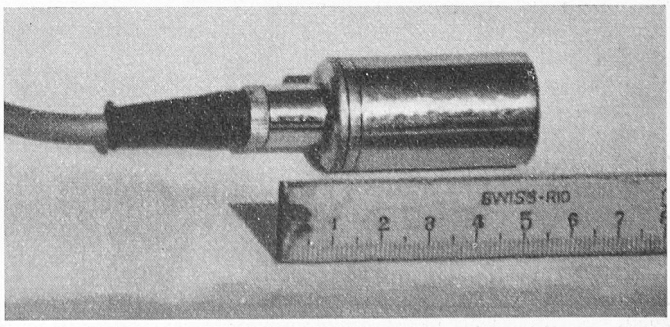

Bild 6. Wasserdichter Schallkopf (Piezoquarz)

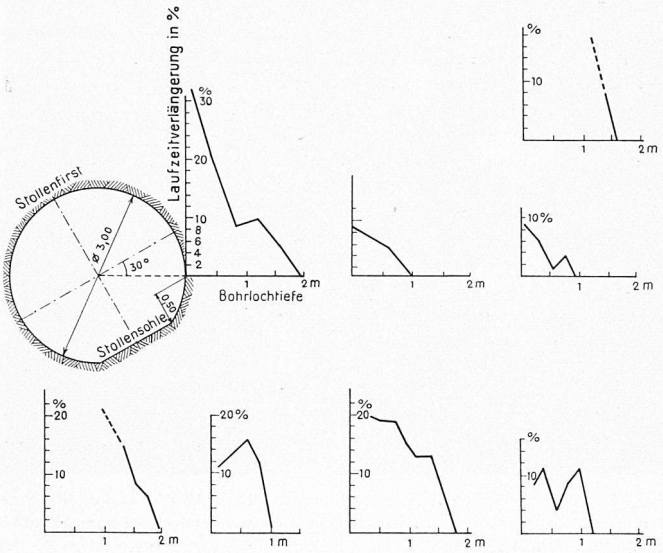

Bild 7. Laufzeitverlängerung des Ultraschalls in der Auflockerungszone des Rofnagneis

Tabelle 1. Ergebnisse der E-Modul-Messungen

E-Modul-Messung in Rofna-Gneis	E_{stat} (kg/cm²)	E_{dyn} [1]) (kg/cm²)	E-Wert = Verhältnisse bezogen auf 1. a)	2. a)
1. an anstehendem Fels				
a) durch Abpressversuch des ganzen Stollenabschnittes	300 000 [2])		*1,00*	0,81
b) durch Seismik		420 000	1,40	1,14
c) durch Ultraschall		440 000 [3])	1,47	1,19
2. an Felsprüfkörpern				
a) durch Deformation	370 000 [4])		1,25	*1,00*
b) Ultraschall		441 000	1,47	1,19

[1]) In den Werten für «anstehenden Fels» ist die behinderte Querdehnung berücksichtigt.

[2]) Laststufe $p_i = 25 \rightarrow 5$ at.

[3]) In rund 2 m Tiefe von der Stollenausbruchwand gemessen.

[4]) Laststufe $100 \rightarrow 10$ kg/cm².

den verschiedenen anderen, am gleichen Ort angewendeten Methoden erstmalig möglich ist, wie ihn Tabelle 1 zeigt.

Besonders interessant ist der Unterschied des aus dem Abpressversuch gewonnenen statischen E-Moduls des Gesteinsverbandes zu dem um 25 % grösseren statischen E-Modul der aus dieser Stollenstrecke herausgelösten Probekörper und das Verhältnis des statischen zum rund 20 % grösseren dynamischen E-Modul dieser Prüfkörper. Gegenüber dem Unterschied zwischen den statischen E-Moduli von Felsverband im Stollen und Prüfkörpern um 25 % weisen die an gleicher Stelle und an den gleichen Prüfkörpern ermittelten dynamischen E-Moduli keinen Unterschied auf. Dieses anfangs beunruhigende Ergebnis fand später bei den Messungen der Auflockerungszone seine Erklärung darin, dass der E_{dyn}-Modul des Felsverbandes bei 2 m Tiefe im ungestörten Fels, der praktisch so quasihomogen wie der Prüfkörper war, ermittet worden war, während der am Felsverband gemessene statische E-Modul hauptsächlich von der Auflockerungszone beeinflusst wurde. Man sieht daraus folgendes: In der Differenz zwischen dem aus dem Abpressversuch ermittelten stat. E-Modul und dem mit Ultraschall ermittelten dyn. E-Modul ist erstens ein Anteil enthalten (im vorliegenden Fall rund 20 %), der nach Bild 1 und 2 in dem prinzipiellen Unterschied zwischen stat. und dyn. E-Modulwert für ein und dasselbe Material liegt. Dieser Anteil wird durch Vergleich der an Prüfkörpern des betreffenden Gesteins ermittelten E_{stat}- und E_{dyn}-Moduli ermittelt. Für die Praxis hätte der an den Prüfkörpern ermittelte statische E-Modulwert auch aus Bild 3 genügend genau mit der in diesen gemessenen mittleren Schallgeschwindigkeit von 4,15 km/s abgelesen werden können. Ein zweiter Anteil an der Differenz zwischen beiden E-Modularten (im vorliegenden Fall 25 %) ist durch die Auflockerung des Gesteinsverbandes bedingt und in den Resultaten der seismischen und Ultraschall-Methode nicht enthalten. Doch lässt sich mit der Ultraschall-Methode, wie noch beschrieben wird, der Einfluss der Auflockerung messen und damit auch dieser Anteil der Differenz zwischen stat. und dyn. E-Modul bestimmen.

Der Vergleich der aus Seismik mit den aus Ultraschall gewonnenen dynamischen E-Moduli zeigt, dass letztere an einigen Messstellen um Geringes grösser sind. Möglicherweise liegt der Grund in einer Schalldispersion [2]. Der Unterschied ist für den praktischen Zweck hier bedeutungslos.

Messungen in einer Formation weichen Schiefers mit schmierigen Zwischenlagen lieferten kein Ergebnis. Selbst durch kurze Messtrecken lief wegen der Schallreflexion an den Schichtgrenzen kein Ultraschall durch das Material hindurch. Dies zeigt, dass das Ultraschallverfahren nur für Gesteinsverbände kompakter Struktur anwendbar ist.

Die schon erwähnten Messungen der *Auflockerungszone* des Gesteins*verbandes* um den Stollenausbruch wurden mit der gleichen beschriebenen Versuchsanordnung jeweils anschliessend an die Laufzeitmessungen vorgenommen, indem die sich auf dem Bohrlochgrund befindlichen Schallköpfe von Sender und Empfänger nun gleichzeitig in Stufen von 20 cm wieder herausgezogen und die Schallaufzeitmessungen in diesen Stellungen wiederholt wurden. Bei fast allen ausgeführten Messungen zeigte sich von einem gewissen Punkt an eine wachsende Verlängerung der Schallaufzeit, je mehr die Schallköpfe nach dem Stollenausbruch zu herausgezogen wurden (Bilder 7 und 8). Die Laufzeitverlängerung beruht auf dem Umweg, den der Schall um die Gesteinsrisse der Auflockerungszone herumlaufen muss.

Die Verlängerung der Schallaufzeit im Rofnagneis (Bild 7) betrug im Endwertmittel 12 % gegenüber der kürzesten im Bohrlochgrund gemessenen Geschwindigkeit. Die Extremwerte konnten aber auch den doppelten Wert oder auch weniger als die Hälfte dieses Mittelwertes betragen. Nun ergibt sich beim Einsetzen der im Mittel um 12 % langsameren Wellengeschwindigkeit ein um 25 % niedrigerer E_{dyn}-Modul als er mit den Schallköpfen am Bohrlochgrund, also im ungestörten Fels bzw. am Prüfkörper gemessen war. Dies ist aber das gleiche Verhältnis, wie es die Tabelle 1

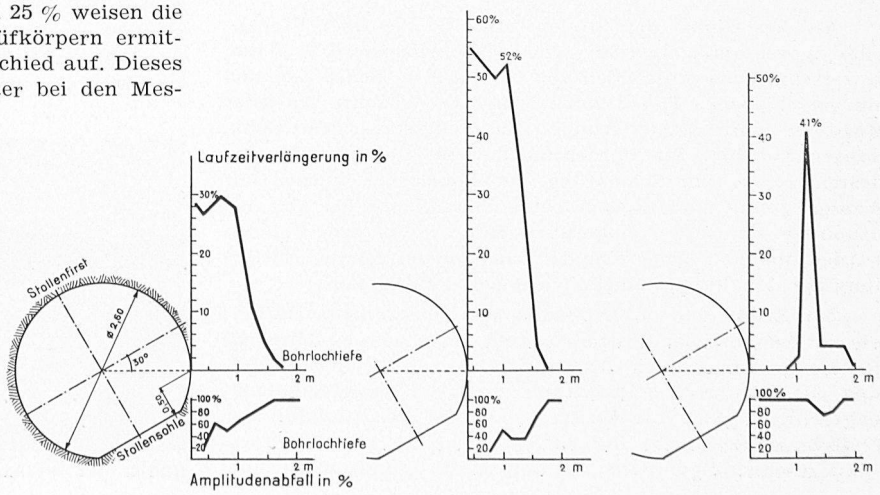

Bild 8. Laufzeitverlängerung und Amplitudenabfall des Ultraschalls in der Auflockerungszone des Marmors

zwischen den am anstehenden Fels und am Probekörper ermittelten E_{stat}-Moduli zeigt.

Messungen in der Auflockerungszone einer anstehenden Marmorformation sind in Bild 8 ausgewertet. Die drei Messbilder wurden in Abständen von 1,5 bis 2 m parallel zueinander aufgenommen. Bei den beiden ersten Messaufnahmen zeigt sich in gleicher Weise von etwa 1,5 m Tiefe an eine rasch anwachsende Verlängerung der Schallaufzeit um 30 bis 50 %, die dann von 1 m Tiefe an bis zum Stollenausbruch etwa gleich bleibt. Auch die Amplitude fällt dabei stark ab. Dagegen zeigt das dritte Messbild bei rund 1 m Tiefe eine nur ganz lokal begrenzte Laufzeitverlängerung um rund 40 %, bei deren Durchmessung die Amplitude nur geringfügig abfällt. Diese lokal scharf begrenzte Laufzeitverlängerung lässt auf eine schmale geologische Fehlstelle (Zwischenschicht) schliessen, denn bei einer offenen Spalte wäre der Amplitudenabfall an dieser Stelle viel grösser. Die fast in der gleichen Tiefe jäh auftretende Schallgeschwindigkeitsabnahme auf den ersten beiden Messbildern zeigt, dass die Fehlstelle fast parallel zur Stollenaxe verläuft. Die grossblockige, beim Sprengen des Stollens entstandene Auflockerung reicht nur bis zu dieser Fehlstelle.

Die Schallgeschwindigkeitsmessungen im anstehenden Marmor ergaben für die Longitudinalwelle im Mittel 6,5 km/s. Mit der aus der Transversalwellengeschwindigkeit ermittelten Poissonzahl von 0,28 errechnet sich ein E_{dyn}-Modul von 870 000 kg/cm². Die in herausgesägten Marmorprismen gemessene Schallgeschwindigkeit betrug im Mittel 5,5 km/s, der dynamische E-Modul entsprechend 830 000 kg/cm². Durch die EMPA, Zürich, wurde zur Kontrolle an den gleichen Prüfkörpern der statische E-Modul im Mittel zu 590 000 kg/cm² gemessen. Das Ergebnis stimmt also gut mit den in den Bildern 2 und 3 angegebenen Beziehungen überein. Bei einem Abpressversuch des Stollens im anstehenden Fels würde dieser Wert infolge der Zusammendrückbarkeit der Auflockerungszone geringer ermittelt werden. Nimmt man gegenüber der Schallgeschwindigkeit im ungestörten Fels von 6,5 km/s nach den drei Messbildern des Bildes 8 eine Laufzeitverlängerung des Endwertmittels in der Auflockerungszone von 30 % an, so ergäbe das entsprechend der reduzierten Schallgeschwindigkeit von 4,6 km/s nach Bild 3 einen statischen E-Modul von nur etwa 380 000 kg/cm², mit dem bei einem Abpressversuch gerechnet werden müsste, falls der Fels nicht zuvor durch Injektionen konsolidiert würde.

Man sieht an diesen Beispielen, wie es mit Hilfe des Ultraschalls möglich ist, über die Schallgeschwindigkeit im ungestörten Fels und die Schallaufzeitverlängerung bei der Durchmessung der Auflockerungszone unter Benutzung der Beziehung von Bild 3 den für die Dimensionierung einer Stollenauskleidung massgebenden statischen E-Modul des anstehenden Gesteinsverbandes auf relativ einfache, schnelle und wirtschaftliche Art zu bestimmen.

Die Auflockerungstiefen, die hier erstmals mit Ultraschall bestimmt wurden, betrugen im Rofnagneis im allgemeinen 1 bis 1,5 m, im Sandkalk 1,5 bis 2 m, im Marmor nur 1 m, wobei allerdings die erwähnte geologische Fehlstelle die weitere Auflockerung nach dem Berginneren abschirmte. Diese Masse werden voraussichtlich je nach den tektonischen Verhältnissen des Gesteinsverbandes, der Ausbruchsweise des Stollens usw. so verschieden sein, dass man die Werte kaum auf die gleiche Felsart an anderer Stelle mit Sicherheit wird übertragen können. Unter Mitbenutzung der Messung des Amplitudenabfalls, der, wie man in Bild 8 sieht, nicht der Laufzeitverlängerung proportional zu sein braucht, können auch über den Auflockerungsgrad Aussagen gemacht werden. Diese nur durch Ultraschall gegebene Möglichkeit hilft nicht nur bei der Ermittlung des E-Moduls des Gesteinsverbandes, sondern sie liefert für die Stollenauskleidungsberechnung, in der ausser der Kenntnis des elastischen Verhaltens des Felsens auch die der Risstiefe erforderlich ist, erst die richtigen Berechnungsannahmen. Es ist ein weiterer Vorteil des Verfahrens, dass diese Ergebnisse im gleichen Zuge mit den übrigen Laufzeitmessungen ohne besondere Umstände anfallen.

4. Zusammenfassung

Die verschiedenen Versuche ergeben, dass das Ultraschall-Sondierverfahren zum Erfolg führt, sofern es sich um dichtgelagerten Fels handelt, der wohl geschichtet, aber nicht feingeschiefert sein darf, da im letzten Fall der Ultraschall selbst auf kurze Messtrecken nicht mehr durchdringt. Feine, mit Wasser gefüllte Spalten können den Ultraschall, wenn auch geschwächt, durchlassen. Das Ergebnis wird hierdurch praktisch nicht beeinflusst.

Das hier angewandte Verfahren der Messung durch Bohrlöcher hat sich in jeder Hinsicht bewährt. Als Entfernung zwischen den Bohrungen sollte man 2 m nicht überschreiten. Um Zufälligkeiten der Ergebnisse auszuschalten, sollten wenigstens vier Bohrungen je Messstelle angeordnet werden, damit zwischen ihnen drei verschiedene Messungen je Messstelle gemacht werden können. Die Tiefe der Bohrlöcher sollte mindestens 1,2 m bei kompakter Formation und mindestens 2 m bei geschichteter Formation betragen.

Die leichte Neigung der Bohrlöcher erlaubt die Füllung mit Wasser, das als ausreichendes und einfachstes Schallübertragungsmittel auf den Fels bei der genannten Entfernung der Bohrungen angesehen werden kann.

Um auf die nicht immer leichte Messung der Transversalwelle verzichten zu können, erscheint die Annahme einer mittleren Poissonzahl von 0,28 für die praktischen Zwecke im allgemeinen gerechtfertigt.

Die Auswertung der Ergebnisse und besonders der Vergleich mit den Ergebnissen anderer Methoden zur Bestimmung der elastischen Felseigenschaften zeigt, dass es nicht genügt, aus der Schallaufzeit einen dynamischen E-Modul zu errechnen. Das Ergebnis muss mit Hilfe der ergänzenden, keinen besonderen Aufwand an Material und Zeit fordernden Messungen in der Auflockerungszone und der Schallintensitätsmessung richtig gedeutet werden. Erst damit kommt man auf den Wert des entsprechenden statischen E-Moduls, der für die Dimensionierung der Stollenauskleidung und -panzerung massgeblich ist. Notwendig ist eine weitere systematische Untersuchung an verschiedenen Gesteinen zur Bestimmung des Unterschieds zwischen ihren statischen und dynamischen E-Moduli, um eine empirische Funktion für ihr Grössenverhältnis zu erhalten, wie sie in Bild 2 zu geben versucht wurde.

Die Kosten für das Bohren von vier Löchern je Messstelle, 2 m tief, betragen im mittelharten Fels etwa 40 Fr. Für die Messungen benötigt man nur noch zwei Hilfskräfte zum Tragen von Gerät und Kabel. Die Messungen selbst, an einer Messstelle mit vier Bohrungen, dauern einschliesslich Einmessen der Bohrlöcher etwa 10 bis 15 Minuten.

Das verwendete Ultraschallgerät Dr. Steinkamp, Bremen, ist für die Messungen sehr geeignet. Einerseits ist es sehr robust und gleichwohl handlich gebaut; es hat manch unvorhergesehene rauhe Behandlung erfahren, ohne Schaden zu nehmen. Auch die Feuchtigkeit im Stollen, der Transport durch Schnee, die unvermeidliche Verschmutzung haben die Betriebsbereitschaft des Gerätes nicht gestört. Anderseits hat das Gerät den Vorteil, dass es von jedem Nichtfachmann bedient werden kann, da die oft schwierige Interpretation von Oszillogrammen entfällt und die Laufzeiten direkt in Mikrosekunden auf der Skala abgelesen werden.

Als besonderer Vorteil des Ultraschallverfahrens erscheint die schnelle Auswertbarkeit der Messergebnisse, wodurch noch gegebenenfalls während der Durchführung der Messungen Umdispositionen, Ergänzungsmessungen, Wiederholungen usw. angeordnet werden können. Ferner ist nur mit Hilfe des Ultraschalls die Messung der Auflockerungstiefe um den Ausbruch und die Angabe des Auflockerungsgrades möglich. Der dafür benötigte Zeitaufwand ist äusserst gering. Ferner besteht keine gegenseitige Behinderung zwischen Baubetrieb und den Ultraschallmessungen. Wegen des geringen allgemeinen Aufwandes für die Messungen braucht man sich nicht auf wenige Einzelmessungen im Stollen zu beschränken. Die Löcher zum Messen der Schallgeschwindigkeit kann man schon beim Vortrieb des Stollens systematisch in von den geologischen Verhältnissen abhängigen Abständen in den Fels bohren lassen.

Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass das Verfahren und die Durchführung der Messungen zwar einfach ist, zur richtigen *Interpretation* jedoch etwas *Erfahrung* gehört, um die verschiedenen, zum Teil hier nur erwähnten Einflüsse auf das Messergebnis in ihrer Bedeutung richtig einzuschätzen.

Zum Schluss seien noch Anwendungsgebiete für das Ultraschall-Sondierverfahren im Bauwesen genannt, in denen es zumindest ergänzend zu den «klassischen» Verfahren treten kann, wie z. B. zur Kontrolle der Wirkung einer in der Auflockerungszone erfolgten Konsolidierungsinjektion, ferner als Hilfsmittel bei Fundationsuntersuchungen und bei der Bergschlagdiagnose [12].

Adresse des Verfassers: Dr.-Ing. *K. Wenzel,* bei Motor-Columbus AG., Baden AG.

Literaturverzeichnis:

[1] *I. Malecki:* Die wissenschaftlichen Grundlagen der Verwendung des Ultraschallverfahrens im Bergbau und in der Geologie, «Acta Technica Academiae Scient. Hung.» Tom XIII, Fasc. 3—4 (1955), S. 397—407.

[2] *K. Bacher:* Elastische Konstanten in festen Körpern, «Dtsch. Phys. Ges.» Bd. 20 (1939), S. 68.
H. Baule und *E. Müller:* Messung elastischer Eigenschaften von Gesteinen, «Hdbch. d. Physik», Bd. 47 (1956).

[3] US Bureau of Reclamation: Physical Properties of some typical Foundation Rocks, Concrete Laboratory Report No. SP 39.

[4] *H. Reich:* Geologische Unterlagen der Angewandten Geophysik, Handbuch der Experimentalphysik, Vol. 25, part 3 (1930), S. 17—23.

[5] *P. D. Brown* und *J. Robertshaw:* The in-situ measurement of Young's modulus for rock by a dynamic method. «Géotechnique, The international journal of soil mechanics», Vol. III, Sept. 1953/No. 7, p. 283—286.

[6] *R. E. Philleo:* Comparison of Results of Three Methods for Determining Young's Modulus of Elasticity of Concrete, «Journal of the American Concrete Institute», Proceedings Vol. 51, 1954/55, S. 461—469.

[7] *J. C. Simmons:* A Comparison of dynamic and static measurements, «Magazine of Concrete Research», Vol. 7, Nr. 20, 1955.

[8] *M. T. Takabayashi:* Comparaison des modules dynamiques et statiques de Young, RILEM, Paris, Januar 1954, S. 16.

[9] *R. Jones:* Discussion on the Ultrasonic Testing of Concrete, «The Structural Engineer» 35 (1957), Nr. 5, S. 190.

[10] *Elvery,* im Referat von *R. K. Müller:* Eine Diskussion über die Prüfung von Beton mit Ultraschall, «Der Bauingenieur» 33 (1958), Nr. 11, S. 435.

[11] *O. Frey-Baer:* Die Dehnungsmessungen im Druckstollen Lucendro, SBZ 1947, Nr. 41.
R. Vonplon: Dehnungsmessungen im Druckstollen des Juliawerkes Tiefencastel, SBZ 1955, Nr. 14.

[12] *M. Uhlmann:* Ueber die Erkundung der Spannungsverhältnisse in Stützpfeilern des Kali- und Steinsalzbergbaus auf akustischer Basis, «Freiberger Forschungshefte», Geophysik, C 36 (1957).
W. Buchheim: Geophysikalische Methoden zur Erforschung des Spannungszustandes des Gebirges im Steinkohlen- und Kalisalzbergbau, «Mitteilungen aus d. Inst. f. theor. Phys. und Geophys. der Bergakademie Freiberg» Nr. 17, Okt. 1958.

Gesamtkonzeption für die Orts- und Stadtplanung

DK 711.4.

Von **W. H. Real,** Stadtplanarchitekt, Winterthur

Eine Orts- und Stadtplanung findet den für Laien verständlichsten Ausdruck in der Bauordnung und im Zonenplan. Sie sollen nach einer schöpferischen Idee, einer grundlegenden Disposition für die Ordnung der künftigen Entwicklung des Gemeindegebietes, eben nach einer Gesamtkonzeption aufgebaut werden. Orts- und Stadtplanungen als Allgemeinplanungen bilden den Rahmen für den Städtebau. Dieser ist aber nicht identisch mit Stadtplanung. Er stellt nur eine teilweise Verwirklichung, den hochbaulichen Bestandteil einer Orts- und Stadtplanung dar. Einzelbauten als Steinchen im Mosaik des Städtebaus werden jedoch durch Fachplanung projektiert, die vorwiegend private Interessen beachtet. Diese klare Trennung der Begriffe wird noch nicht überall erkannt und doch ist ihre deutliche Interpretation und ihre Bedeutung grundlegend. Wie oft glauben doch Architekten, ihre Zeichnungen grösserer Siedlungen und die entsprechenden Modelle mit ihrer formal-ästhetisch gelösten Bebauungsidee seien «Orts- oder Stadtplanungen». Die Stadtplanung hat sich aber mit weit mehr als bloss «architektonisch gut» gelösten Siedlungen, bestbesonnten Wohnungen und kubisch wohlproportionierten Baukörpern zu befassen.

Ist ein schöpferisches Konzept als Richtlinie für die Ausgestaltung einer Gemeinde vorhanden, so bezeichnen wir die konforme Planungsauswirkung in der wachsenden Stadt mit Einzelbauten, mit Siedlungen und Strassen, mit Anlagen und Plätzen usw. als geplanten Städtebau. Anderseits wird eine zufällige, ungeplante Entwicklung in teils scharfer Kritik als unorganisch bemängelt. Der amerikanische Soziologe Mumford geisselt in seinem Buche «Megalopolis» [1] die katastrophalen Zustände in den Grosstädten. Wright [2] und Le Corbusier [3] kritisieren als Architekten die Misstände des Lebens der Stadtmenschen. In der Schweiz verfolgten vor allem zwei Schriften, Carol und Werner, «Städte, wie wir sie wünschen» [4] und Frisch, «Achtung, die Schweiz» [5] ähnliche Ziele.

Wir reisen durch die Welt und bewundern andere Städte, andere Quartiere mit ansprechenden Siedlungen, gelungenen Einkaufszentren oder einzelne gute Bauten. Man hört oft fragen, wieso dies auch nicht bei uns möglich sei. Dass ferner Beschreibungen und Abbildungen von neuen Städten und neuerstellten Siedlungen aus aller Herren Ländern nicht nur in Fachzeitschriften, sondern auch in der Tagespresse erscheinen, ist doch Beweis, dass nicht nur von Fachleuten, sondern auch von einem grossen Teil der Bevölkerung diesen Dingen ein reges Interesse entgegengebracht wird. Woran liegt es, dass solche Probleme in der Allgemeinheit so rasch wieder in Vergessenheit geraten? Um die damals sensationelle Schrift von Frisch ist es doch eigentlich wieder recht still geworden. Vielleicht hat man doch gemerkt, dass mit dem Bau einer neuen «makellosen» Stadt alle die andern vorhandenen und so als «schlecht und untauglich» bemängelten Städte trotzdem bestehen bleiben und sich brav weiterentwickeln.

Mehrere Gründe scheinen massgebend zu sein, dass sich solche Idealstädte bei uns in der Schweiz nicht durchzuringen vermögen. Die ansprechenden Aspekte von neuen Städten, von neugeschaffenen Quartieren, wie z. B. Le Corbusiers Chandigarh in Indien; Tapiola bei Helsinki; Brasilia, die neue Hauptstadt von Brasilien oder Crawley New Town in England oder Sabende, eine neue Stadt für 20 000 Einwohner für die Belegschaft einer Aluminium-Industrie in Guinea; ferner Costa Mesa, einer neuen Vorstadt von Los Angeles, an Stelle eines kleinen Landwirtschaftsstädtchens für die Aufnahme von 100 000 Einwohnern — nur um einige zu nennen — können in ihrem Bestand nicht ohne weiteres auf unsere Verhältnisse übertragen werden. Bei uns sind die Lebensgewohnheiten, der Lebensstandard, die Wohnform, die Gesellschaftsstruktur und nicht zuletzt die Topographie sowie das Klima usw. völlig anders. Sie sind ferner aus den verschiedensten Gründen, u. a. bodenpolitischer, verfassungsmässiger und rechtlicher Art bei uns gar nicht zu verwirklichen. Es können erfahrungsgemäss nur dort neue, gute Siedlungen entstehen, wo sich primär einzelne Grundstücke, arrondiert ins Eigentum einer Bauherrschaft überführen lassen. Diese muss überdies für die Schaffung einer guten Bebauung aufgeschlossen sein und endlich über einen Architekten verfügen, der Willens ist, eine nach den besten Erkenntnissen ausgerichtete Lösung zu finden und zu verwirklichen.

Viele der modernen «Stadtplanungen» erinnern uns an eine überwundene und längst überholte Periode im Städte-