

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 74 (1956)
Heft: 38

Artikel: Sicherung des Stollenvortriebes
Autor: Frey-Bär, Otto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-62703>

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: 23.02.2026

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

Sicherung des Stollenvortriebes

Von Dipl. Ing. Otto Frey-Bär, Motor-Columbus AG., Baden

DK 624.191.22

I. Einleitung

Die Hochkonjunktur im Kraftwerkbau hat in den letzten zehn Jahren in der Schweiz eine sprunghafte Entwicklung der Stollenbautechnik gebracht. Durch die weitgehende Mechanisierung des Stollenvortriebes und der Auskleidungsarbeiten konnte eine grosse Leistungssteigerung erzielt werden unter gleichzeitiger Senkung der Baukosten, womit heute Werke mit einem Stollennetz von über 30 km Länge in den Bereich der Wirtschaftlichkeit rücken.

Die erwähnte Mechanisierung der einzelnen Bauvorgänge zwingt den Unternehmer, den Einsatz von Mannschaft und Maschinen ausserordentlich sorgfältig zu organisieren. Im Vortrieb werden Bohrarbeit und maschinelle Schutterung fast auf die Minute genau festgelegt und für den Abtransport des Ausbruchmaterials werden schnellfahrende schwere Schüttierzüge verwendet. Durchschnittliche tägliche Vortriebsleistungen von 8 bis 10 m sind die Regel, in günstigem Gebirge wurden schon Spitzenleistungen von 20 m Vortrieb im Tag erreicht. Aber auch für die Erstellung der Betonverkleidung gelangen heute Spezialgeräte zur Anwendung: fahrbare Stahlschalungselemente oder zusammensetzbare Schalungsteile aus Leichtmetall. Das Einbringen des Betons hinter die Schalung erfolgt oft mittels Druckluft. Bei guter Organisation ist es möglich, Monatsleistungen von 500 m Stollenlänge und mehr zu erzielen.

Dem Organisator dieses nur in grossen Zügen angedeuteten Arbeitsablaufes stellt sich eine geologisch bedingte Schwierigkeit in den Weg: der Wechsel der Gesteinsformationen. Beim Vortrieb sind streckenweise Einbauten zur Sicherung des Ausbruchprofiles notwendig. Da diese Einbauten nur provisorisch sind — die definitive Auskleidung übernimmt später diese Aufgabe — wurde hierzu früher und teilweise auch heute noch Holz verwendet, sei es als sogenannter Kopfschutz gegen einzelne herabfallende Steine, sei es als leichter

oder schwerer Türstockeinbau in gebrächem Gebirge. Diese Holzeinbauten bilden beim Erstellen der Betonauskleidung ein grosses Hindernis im Arbeitsablauf, da alles Holz sorgfältig und unter etwelchen Gefahren während des Betonierens ausgebaut werden muss. In Strecken mit häufigen Einbauten verhindert dies geradezu die Ausnutzung aller Möglichkeiten des rationellen Stollenbaues. Es stellte sich deshalb notwendigerweise die Forderung, die Sicherungseinbauten den neuen Methoden anzupassen. Ueber die heute zur Anwendung gelangenden Schutzvorkehrten und unsere bisherigen Erfahrungen auf einigen Baustellen soll im nachstehenden berichtet werden. Vorerst muss jedoch auf die Festigkeitseigenschaften des Gesteins sowie auf die statischen Vorgänge beim Vortrieb eines Stollens hingewiesen werden zur bessern Beurteilung der als notwendig erachteten Sicherungseinbauten.

II. Eigenschaften des Gebirges

Die Gesteine, so verschieden sie auch sind, haben eine gemeinsame Eigenschaft: das elastische und plastische Verhalten in verschiedenen Bereichen der Beanspruchung. Aehnlich wie im Spannungs-Dehnungsdiagramm des Stahls kann auch im Gestein eine Proportionalitätsgrenze festgestellt werden. Wenn diese Grenze, welche allerdings in letzterem Falle sehr tief liegt, überschritten wird, erfahren die natürlichen Gesteine, wie auch beispielsweise der Beton, unter der Dauerbelastung erhebliche plastische Deformationen. Diese entstehen durch geringe Verschiebungen im Kristallgefüge, ohne dass sich der Verband löst.

Obschon es zur Beurteilung des durchfahrenen Gebirges als sehr wichtig erscheint, die Festigkeitseigenschaften der verschiedenen Gesteinsformationen zu kennen, wurden bisher noch sehr wenige diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt. Gegen solche Versuche an einzelnen Gesteinshandstücken spricht der Umstand, dass das Gebirge wegen seinen

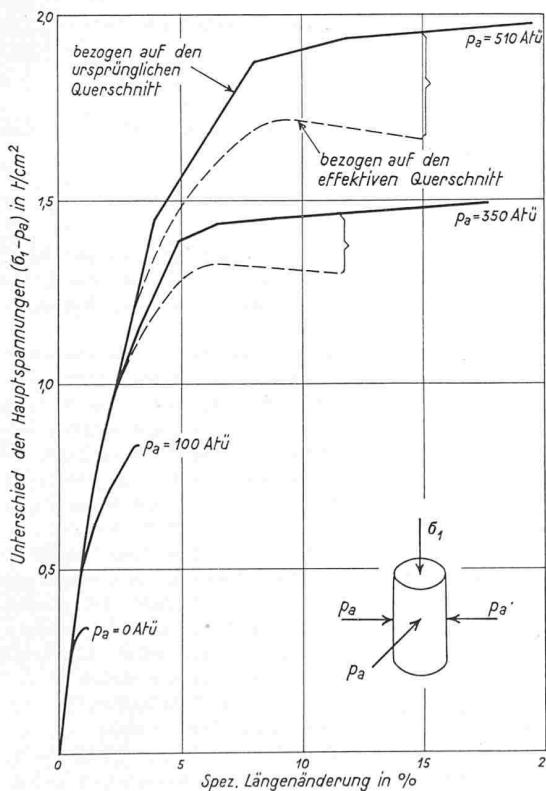
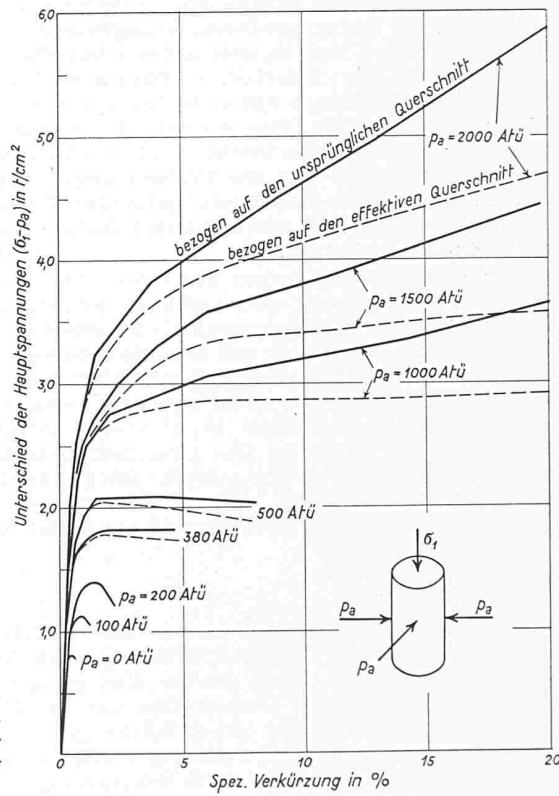


Bild 1 (links). Zementmörtel. Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Druckversuche unter allseitigem Druck p_a

Bilder 1 bis 5 nach EMMA-Bericht Nr. 28

Bild 2 (rechts). Marmor. Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Druckversuche unter allseitigem Druck p_a



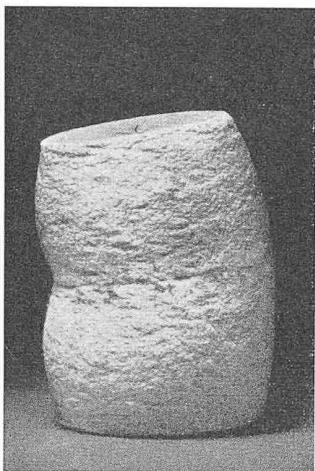


Bild 3. Marmor. Druckversuch $p_a = 1500$ Atü. Zylinder $\phi 20$ mm, Länge 60 mm



Bild 4. Marmor. Druckversuch $p_a = 1000$ Atü. Zylinder $\phi 20$ mm, Länge 45 mm



Bild 5. Zementmörtel 1:3. Druckversuch $p_a = 510$ Atü. Zylinder $\phi 20$ mm, Länge 50 mm

Schichtungen, Fältelungen und Klüften nicht als homogen erscheint. Man ist deshalb versucht, zu folgern, dass die Ergebnisse von Versuchen mit Gesteinshandstücken nicht auf das komplexe Gebirge übertragen werden können. Dieser Einwand würde in vollem Umfange gelten für ein spannungsloses heterogenes Material. Beim Stollenbau wird aber Gebirge durchfahren, welches unter grosser Beanspruchung (Gebirgsdruck) steht; infolge dieser Druckvorspannung verhält sich der Fels trotz seinen ausgeprägten Schieferungsflächen weitgehend wie ein homogener Körper. Dass dem so ist, zeigt wenigstens in qualitativer Hinsicht die gute Uebereinstimmung der Spannungsberechnung bei Annahme einer homogenen Stollenumgebung mit den beobachteten Verformungen des Stollenprofils.

Um die Bruchgefahr (Zerrüttungsgefahr) des Gesteins an den Stollenwandungen abzuschätzen, muss sein Verhalten im dreiaxigen Spannungszustand betrachtet werden. Diesbezügliche Versuche an Zement-, Mörtel- und Marmorprismen wurden an der EMPA durchgeführt und deren Ergebnisse im Diskussionsbericht Nr. 28 [1, siehe Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes] zusammengefasst. Sie zeigten, dass an sich spröde Baustoffe unter allseitig hohem Druck ganz beträchtliche plastische Verformungen erleiden können, bevor sie brechen. Die Spannungs-Dehnungsdiagramme (Bild 1 und Bild 2) für Mörtel und Marmor geben einen Eindruck vom Kriechvermögen des Materials. Verformungen bis zu 20 % der ursprünglichen Länge sind zu beobachten, und man ist geneigt, sich vorzustellen, dass der feste Stoff unter der Anstrengung gewissmassen knetbar wird; er geht vom spröden in den zähen Zustand über. Die Verformungen zu fassartigen Körpern von ursprünglich streng geformten Zylindern mit kreisrunder Grundfläche sind recht eindrücklich aus den Bildern 3, 4 und 5 ersichtlich.

Als wichtigste Ergebnisse aus diesen sehr instruktiven Versuchen halten wir für unsere späteren Betrachtungen fest, dass bei allseitiger Beanspruchung die Bruchlast ganz erheblich gesteigert werden kann und dass die Gesteine bei solcher Beanspruchung recht erhebliche plastische Verformungen erfahren können, bevor die Zerstörung des Gefüges eintritt. Selbstverständlich sind diesen Deformationen gewisse Grenzen gesetzt, und es besteht eine ganz bestimmte Beziehung zwischen dem Umschliessungsdruck (Horizontalspannung) und der Auflast. Es bleibt weiteren Versuchen vorbehalten, in diese Zusammenhänge etwas mehr Licht zu bringen.

III. Gebirgsdruck

Immer und überall im Innern des Gebirges steht das Gestein unter Spannung. Es herrscht Gebirgsdruck. Die vertikalen Spannungen in jedem Punkte sind proportional abhängig vom spezifischen Gewicht und von der Ueberlagerungshöhe, und sie können damit relativ genau berechnet werden. Um die horizontalen Spannungen abzuschätzen, müssen wir die Poissonsche Zahl m des Materials kennen, welche

zwischen 2 und 10 schwanken dürfte. Dass diese grossen Kräfte infolge der Schwere des Materials vorhanden sind, zeigt sich deutlich überall dort, wo das Gestein nicht in der Lage ist, die Spannungen in der Umgebung eines Stollenvortriebes zu übernehmen. Natürlich ist Gebirgsdruck aber auch im standfesten Gestein vorhanden, obschon der Stollen scheinbar in einem spannungslosen Medium aufgefahrene wird. Wenn etwa der Stollenbauer sagt, es müsse durch eine geschickte Technik der Gebirgsdruck ferngehalten werden, dann meint er damit natürlich, dass die Folge des Gebirgsdruckes, nämlich die fortschreitende Auflockerung der Stollenumgebung, sofort aufgehalten werden muss, um ein Tiefengreifen der Zerrüttung zu verhindern. Oder versteht er unter

Gebirgsdruck die Druckauswirkungen des Gebirges auf die Einbauten? Um Missverständnisse zu vermeiden, möchte ich hier festhalten, dass ich als Gebirgsdruck die Kräfte und Spannungen im Innern des Gebirges im Sinne der Mechanik bezeichne.

Da unsere Stollen beträchtliche Ueberlagerungen aufweisen können, müssen wir uns vorerst einmal im klaren sein über die Grösse der Spannungen im Innern des ungestörten Gebirges, also über das Spannungsfeld, bevor der Stollen vorgetrieben wird (Primärspannungen). Schon bei einer Tiefe von 500 m ergibt sich mit einem Gesteingewicht von 2,5 t/m³ die vertikale Druckspannung σ_x zu 125 kg/cm². Bei 2000 m Ueberlagerung ist gar mit 500 kg/cm² zu rechnen. Die horizontale Druckspannung σ_z errechnet sich aus den allgemeinen Gleichgewichtsbedingungen:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

Aus den Randbedingungen im vorliegenden Falle ergibt sich:

$$\sigma_y = \sigma_z \text{ und } \varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$$

Für die Berechnung der Horizontalspannung findet man damit die einfache Formel:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_x \mu}{1 - \mu}$$

worin μ den reziproken Wert der Poisson-Zahl m bedeutet. Nehmen wir an, dass beispielsweise $m = 5$ ist, dann erreicht die Horizontalspannung den vierten Teil der Vertikalspannung.

Zu den Spannungen aus dem vorstehend beschriebenen Ueberlagerungsdruck gesellen sich manchmal noch Restspannungen, welche von der Gebirgsauffaltung oder von andern Vorgängen in der Erdkruste herrühren. Diese sekundären Zusatzspannungen haben aber nur untergeordnete oder ganz lokale Bedeutung. Sie fehlen in weichen Gesteinen praktisch völlig, da im Verlaufe der Zeit einzelne Spannungsspitzen durch die Kriechfähigkeit des Gesteins abgebaut wurden.

Bisher haben wir das ungestörte primäre Spannungsfeld im Gebirge betrachtet. Durch den Vortrieb eines Stollens wird der Spannungsverlauf ganz erheblich verändert. Die vertikalen Drucklinien werden seitlich des Stollens zusammengezogen, so dass hier die Spannung auf den zwei- bis dreifachen Wert der ursprünglichen Beanspruchung steigt [2, 3]. Je nach der Querdehnungszahl können im Scheitel und in der Sohle horizontale Zugspannungen auftreten. Zudem ist nun das Gestein unmittelbar an der Stollenleibung nicht mehr einer dreiaxigen, sondern nur noch einer zweiaxigen Bean-

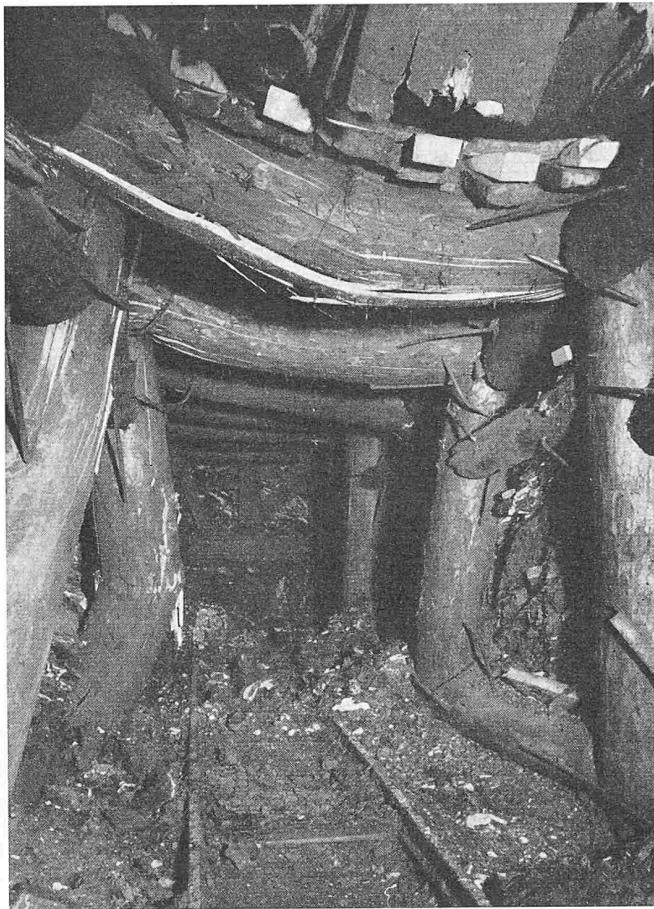


Bild 6. Zerdrückter Holzeinbau (Juliawerk)

spruchung unterworfen. Einsteils wird die Spannung vervielfacht, andernteils erhält das Material die Möglichkeit, gegen den Stollenhohlraum auszuweichen.

Betrachten wir einmal die statische Beanspruchung bei einer Ueberlagerung von 500 m. Im ungestörten Gebirge dürfte die Vertikalspannung $\sigma_x = 125 \text{ kg/cm}^2$ und die Horizontalspannung $\sigma_z = 30 \text{ kg/cm}^2$ betragen ($m = 5$). Nach dem Ausbruch eines runden Stollens wird infolge der Kerbwirkung die Vertikalspannung an den Seitenwänden etwa auf den zweieinhalfbachen Wert steigen, also auf etwas über 300 kg/cm^2 . Im dreiaxigen Zustande würde dies eine horizontale Druckspannung von rund 80 kg/cm^2 oder 800 t/m^2 ergeben. Obwohl diese Spannungswerte nur ihrer Größenordnung nach gelten dürfen, erkennen wir, dass wir mit sehr grossen Beanspruchungen des Gesteins zu rechnen haben. Die Anzeichen dieser Materialanstrengungen beginnen sich denn auch kurz hinter der Stollenbrust bemerkbar zu machen. In hartem und flach gelagertem kompaktem Gestein sind allerdings die Deformationen von blossem Auge auch bei grosser Tiefe kaum bemerkbar. Sobald aber die Schichten steil stehen, besteht die Möglichkeit, dass die Randplatten an den Stössen (Parament¹⁾) abgedrückt werden und ausknicken. Auch Verschiebungen einzelner Platten auf Schichtfugen sind bei schiefer Lagerung zu beobachten. In weicherem Gestein erst macht sich der Gebirgsdruck je nach der Gesteinslagerung in voller Mannigfaltigkeit bemerkbar von der tiefgreifenden Zerrüttung der unmittelbaren Stollenhülle bis zur plastischen Deformation und Ausquetschung einzelner Gesteinspakete. Dieses relativ langsam vorschreitende Nachgeben der Randpartien bildet die natürliche Selbsthilfe des Gebirges («Schlauheit» des Materials), indem damit eine wesentliche Entlastung der Randzone eintritt und die hohen Beanspruchungen weiter in das Berginnere verlagert werden (triaxialer Spannungszustand, erhöhte Bruchfestigkeit). In den allermeisten Fällen klingt deshalb schon bald die Deformation ab, ein neuer Gleichgewichtszustand hat sich eingestellt. Im Gesamt-

bild beim Vortrieb eines Stollens erscheint dieses Phänomen als Verformungswelle, welche dem Vortrieb in kurzem Abstand folgt.

Entsprechend der Vielgestaltigkeit unserer Gesteinsformationen zeigt sich diese Verformungswelle auf recht verschiedene Arten. Sowohl der Abstand, in welchem sie dem Vortriebe folgt, als auch die Grösse der Formänderung pro Zeiteinheit und deren maximaler Wert sind abhängig von den Gesteinseigenschaften und der Struktur des Gebirges. Im weicheren Gestein beginnen die Verformungen meistens schon einige Meter hinter der Stollenbrust und erreichen ihr Maximum wenige Wochen nach dem Aufschluss. Hernach klingen die Bewegungen rasch ab. Das Gebirge hat sich bei diesem Vorgange wesentlich entspannt, so dass nun allfällige Holzeinbauten ohne grosse Gefahr zum Beispiel durch Spritzbeton ersetzt werden können oder es kann vorkommen, dass sogar die spätere Ausweitung nicht mehr gesichert werden muss.

Dass durch das Kriechen des Gesteins in den Hohlraum (Stollen) ganz gewaltige Kräfte auf die Einbauten ausgeübt werden, zeigt die Tatsache, dass auch sehr kräftige Stempel- und Kappenhölzer geknickt werden (Bild 6). Es scheint zwecklos zu sein, gegen so grosse Kräfte ankämpfen zu wollen. In einem solchen Falle sollte der Einbau nur mit nachgiebigen Unterlagen gegen den Fels verkeilt werden. Durch die alte Bergmannstaktik des «Lüftens», also durch Aushauen des Felsens an den seitlichen Druckstellen, kann der Bruch des Einbaues vermieden werden, so dass er seine Aufgabe, nämlich die Verhinderung von Auflockerungen, auch nach dem Abklingen der Verformungswelle noch erfüllen kann.

Oefters werden in Stollen mit Türstockprofil kleine Sohlenaufwölbungen beobachtet. Es wird dieser Erscheinung als Folge des Gebirgsdruckes meistens keine grosse Beachtung geschenkt, da sie keine unmittelbare Gefahr für die Belegschaft darstellt (und schlimmstenfalls Meinungsverschiedenheiten über vermeintliche Fehler im Nivellement hervorruft!). Grössere Aufstösse der Sohle, wie sie Bild 7 zeigt, sind äusserst selten. Einer solchen, in kleinem Maßstab innert wenigen Tagen sich abspielenden «Gebirgsauftaltung» entgegenwirken zu wollen, wäre ein teures, wenn nicht gar unmögliches Unterfangen. Nach diesem Geschehen kann übrigens die Sohle nachgehauen werden, ohne dass weitere nennenswerte Verformungen eintreten.

IV. Neuere Sicherungsmethoden

Wie eingangs dargelegt wurde, haben die bis vor wenigen Jahren in der Schweiz gebräuchlichen Holzeinbauten den Nachteil, dass sie die Erstellung der Betonauskleidung erheblich behindern. Dazu kommt noch der Mangel, dass sie wenig Spielraum lassen, um sich den Naturgegebenheiten anzupassen. Es sind deshalb in letzter Zeit Bestrebungen im Gange, auf jegliche Verwendung von Holz als Sicherung des Stollenvortriebes, sei es als Kopfschutz, sei es als leichten oder schweren Einbau, zu verzichten. An Stelle von Holz ist Stahl und Spritzbeton getreten. Ueber deren Anwendungsbereich und die gemachten Erfahrungen soll nachstehend berichtet werden.

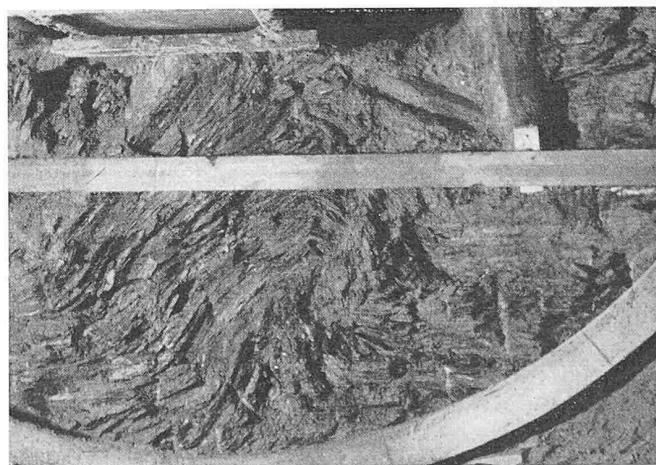


Bild 7. Aufstossen der Sohle, plastische Verformung der Schichten mit Bruch in der Mittelpartie

¹⁾ Das vieldeutige Wort «Stösse» soll im Begriffe sein, die alte eindeutige Bezeichnung «Strossen» zu verdrängen — eine Entwicklung, der man nicht Vorschub leisten sollte. Red.

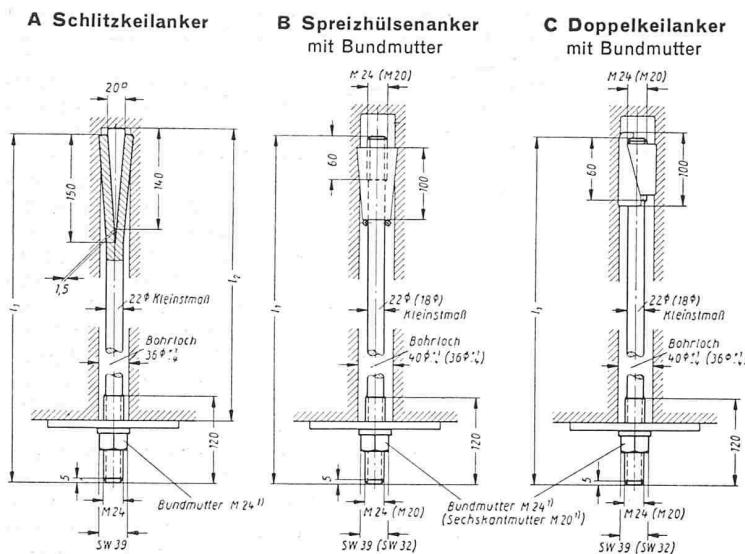
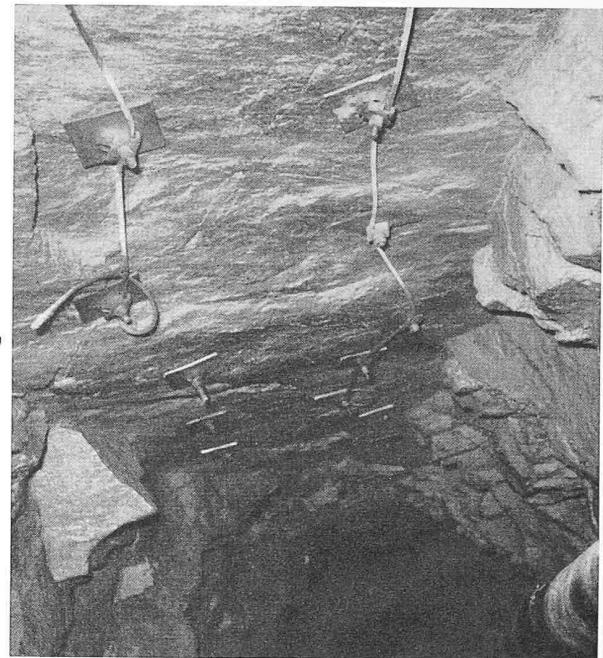


Bild 8. Felsanker nach DIN-Entwurf 21521, Maßstab 1 : 10

Bild 9 (rechts). Felsanker-Reihe mit Kugelplatten und Klemmplatten für Drahtseile (Kraftwerk Ackersand II)



a) Felsanker

Auch in gutem, standfestem Stollengebirge besteht etliche Gefahr, dass sich im Gewölbe einzelne Platten oder Schichtpakete ablösen. Hier bietet das Versetzen von einigen wenigen Ankern die gewünschte Sicherheit [4]. Die absturzgefährdete Partie wird durchbohrt, wobei die Bohrung bis in das darüberliegende kompakte Gestein verlängert wird. In dieses Bohrloch wird ein Stahlanker versetzt, dessen Ende verkeilt werden kann (Bild 8). Durch eine Schraubenmutter wird sodann der Anker auf mehrere Tonnen Zug vorgespannt, das gelockerte Gestein wird gewissermassen auf gesunden Fels angenagelt (Bild 9). Diese Art der Sicherung kann man unmittelbar hinter der Stollenbrust beginnen, ohne dabei die Vortriebsequipe in ihrer Arbeit zu stören. Sollten sich nach dem Weitereilen des Vortriebes in einer durch wenige Anker gesicherten Strecke Wirkungen des Gebirgsdruckes zeigen, zum Beispiel Zugrisse im Dach, dann können die Anker mit Leichtigkeit vermehrt werden. Es ist somit nötig, den frisch aufgefahrenen Stollen mehrere Wochen lang durch das Aufsichtspersonal unter strenger Kontrolle zu halten.

In weicheren Gesteinen, z. B. Bündner- und Casannaschiefer, welche im Gewölbe zu Nachbrüchigkeit neigen und in den Stössen durch den Gebirgsdruck Quetschungen und Zerdrückungen erleiden, bildet der Ankerausbau ebenfalls eine gute Sicherungsmöglichkeit. Es muss ja nicht den Verformungen entgegengewirkt werden, die ohnehin nach kurzer Zeit abklingen, sondern es ist die vollständige Auflockerung oder gar der Absturz gröserer oberflächlicher Partien zu verhindern. In diesem Falle hat es sich als zweckmässig erwiesen, die Anker in Ringen anzuordnen (Bild 10). Diese Konstruktion gemahnt etwas an den verdübelten Balken. Durch Verbindungen der Anker unter sich mit alten Drahtseilen oder Drahtnetzen unter Verwendung geeigneter Klemmplatten kann der Schutz noch wirksam verbessert werden (Bild 11).

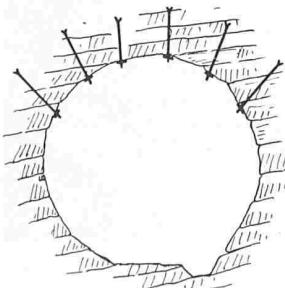


Bild 10 (links). Felsanker-Ring zur Sicherung der Firsse

Es scheint mir aber, dass der Ankereinbau in stark zerstörttem Fels, wo die Unterlagsplatte des Einzelankers keine grössere zusammenhängende Masse erfassen kann, seine Grenzen hat. Hier wird man zu einer Flächensicherung übergehen, nämlich zum Spritzbeton, unter Umständen verbunden mit Ankereinbau. Aber auch in weichem, plastischem Gestein kann der Anker nur zur Anwendung gelangen, wenn Zugversuche gezeigt haben, dass der Ankerkeil im Gestein nicht rutscht. Es ist auch zu bedenken, dass die Ankersicherung anfänglich einer guten Kontrolle bedarf, da die Anker nur voll wirken können, wenn sie vorgespannt sind. Auf Grund unserer bisherigen Erfahrungen darf gesagt werden, dass sich die Spreizhülsenanker sehr gut bewähren.

b) Spritzbeton

Stollen, welche im Gewölbe nachbruchgefährdet sind und deren Strossen Auflockerungen befürchten lassen, können ausgezeichnet mit Spritzbeton gesichert werden. Ein Auftrag von 5 bis 10 cm Stärke über die gefährdeten Partien ergibt ein statisch sehr wirksames Schutzwölbe, welches ein Lösen von Steinen und Blöcken verhindert. Es ist dabei zu bedenken, dass im allgemeinen die Beanspruchung im Gewölbe



Bild 11 (rechts). Sicherung mittels Ankern, Drahtseilen und Drahtnetzen (Kraftwerk Ackersand II)

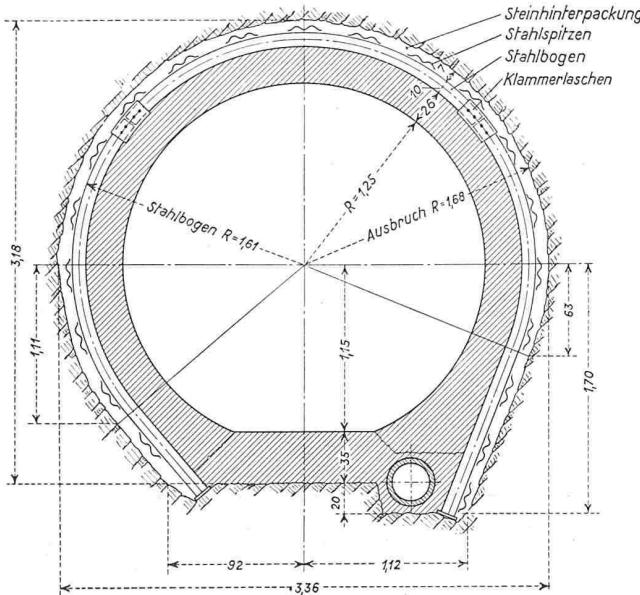


Bild 12. Stahleinbau ohne Sohlschwelle, Verzug mit Stahlbrettern (Spitzen). Maßstab 1:50

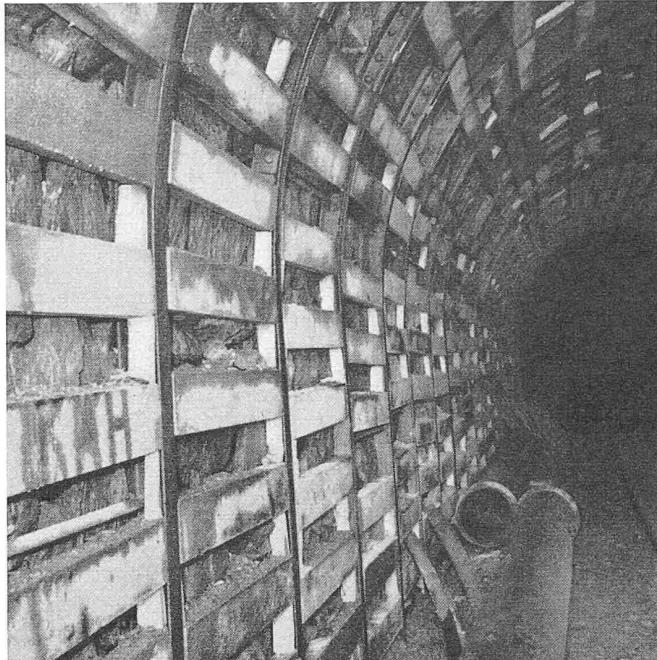


Bild 13. Stahleinbau in einem Zugangsstollen. Verzug mit eingeschobenen vorgespannten Betonbrettern und Steinhinterpackung (Kraftwerk Ackersand II).

infolge des Gebirgsdruckes sehr klein ist. Diese Art der Sicherung kann unmittelbar dem Vortriebe folgen oder auch später in Strecken, in denen sich der Ankereinbau als ungenügend erwiesen hat, ausgeführt werden [5]. Spritzbeton mit dem vorstehend beschriebenen Ankereinbau kombiniert hat sich schon dort ausgezeichnet bewährt, wo früher ein zeitraubender schwerer Holzeinbau angeordnet wurde. Mit dem Spritzbeton ist dem Stollenbauer ein Mittel in die Hand gegeben, dessen Anwendung sehr anpassungsfähig ist, sowohl in der Stärke des Auftrages, als auch in den Flächenabmessungen. Die Ausführung stört den Vortrieb nur ganz kurzfristig, so dass grössere Vortriebsleistungen erzielt werden als mit Holzeinbau. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass ein direkt hinter dem Vortrieb aufgespritztes Gewölbe in den meisten Fällen den nachfolgenden Wirkungen des Gebirgsdruckes standhält, da ja auch der Beton in diesem Alter unter der Belastung erhebliche plastische Verformungen erleiden kann. Sehr selten zeigen sich nachträglich im Gewölbe einzelne Risse oder andere Schäden. Dagegen ist es nicht verwunderlich, dass der sofort hinter dem Vortrieb aufgespritzte Beton an den hochbeanspruchten Strossen durch die nachfolgende Verformung etwelche Schäden nehmen kann. Beispielsweise ist es vorgekommen, dass bei schiefer Lagerung Verschiebungen in den Schichtfugen eintraten, so dass an den Paramenten ganze Spritzbetonplatten abgedrückt wurden. Hier kann entweder mit Ankern oder durch nochmaliges Spritzen die Konsolidation beendet werden. Bei Anwendung in weiter zurückliegenden Strecken — nach der Verformung — hat sich bei richtiger Ausführung nie ein Schaden am Spritzbeton gezeigt. Es darf hier daran erinnert werden, dass Kraftwerkstollen seit über 20 Jahren im Betriebe stehen, welche einzig mit Gunit ausgekleidet sind. Obschon hier der Gunit auch Belastungen durch den Innendruck erfährt, hat er sich sehr gut bewährt.

c) *Stahlbögen*

In sehr schwierigem Stollengebirge, welches dem Ueberlagerungsdrucke auch kurzfristig nicht standhält, versagen die vorstehend beschriebenen Sicherungsmittel. In diesen Fällen gelangt der Stahlbogeneinbau zur Anwendung. In kurzen Abständen, welche etwa einem Abschlage entsprechen, werden Bögen aus Bergbau-Sonderstahl eingebaut. Für die zweckmässige Wahl der Bogenstärke und der Verbindungsmittel steht eine grosse Zahl von Profilen und Stahlsorten zur Verfügung.

Auch bei dieser Art des Einbaues kann eine gute Anpassung an die Felsverhältnisse erfolgen. In stark zerrüttetem, aber hartem Gebirge, wo nur mit kleineren Verformungen gerechnet werden muss, genügen Bogen ohne Sohlschwelle (Bild 12). Falls sich Verschiebungen der Bogenfüsse zeigen sollten, können sie notfalls durch Stahlanker fixiert werden.

Als Verzug von Bogen zu Bogen haben in solchen Fällen vorgespannte Betonbretter, welche mit Steinen hinterpackt werden, gute Dienste geleistet (Bild 13). Dort, wo mit grossen Verformungen zu rechnen ist, sei es infolge grosser Ueberlagerung oder kleiner Poissonscher Querdehnungszahl des Gesteins, muss der Stahlbogen auch in der Sohle geschlossen werden (Bild 14). Die Erfahrung hat gezeigt, dass hier der Betonbretter-Verzug den grossen Belastungen meistens nicht mehr standhält, so dass zu den Stahlbrettern gegriiffen werden muss. Aber auch in vollkommen plastischem Material oder in kiesigen Böden und Bergsturzmaterial gelingt der Vortrieb mit diesen Stahleinbauten gut; die sogenannten Stahlspitzen werden als Marciavanti verwendet.

Stahlspeicher werden als Maßnahmen verwandelt. Es würde zu weit führen, hier über dieses sehr interessante Sondergebiet ausführlich berichten zu wollen. Die Bilder mögen einen generellen Eindruck vermitteln unter Hinweis auf einen ausführlicheren Bericht, der demnächst in der SBZ erscheinen wird (R. Amberg: Der Stahleinbau im Stollenvortrieb).

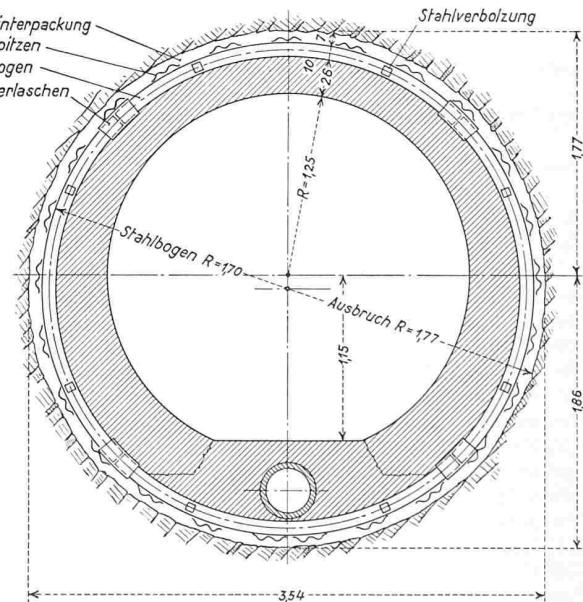


Bild 14. Geschlossener Stahleinbau für stark verformbares Gebirge, Verzug mit Stahlbrettern (Spitzen). Maßstab 1:50

V. Wirtschaftlichkeit der neueren Einbauarten

In Anbetracht der vielen Variablen erscheint es als zweifelhaftes Unterfangen, einen Kostenvergleich der verschiedenen Einbauarten durchzuführen. Einerseits ist der Anwendungsbereich der verschiedenen starken Holzeinbauten nicht identisch mit jenem der beschriebenen neuen Methoden, anderseits wird die Aufgabe des Einbaues, also die von ihm zu tragende Last, recht verschieden beurteilt. Ferner sind die Transportkosten von Fall zu Fall verschieden. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass sich aus allen diesen Gründen ein relativ grosser Streubereich ergibt. Den Verschiedenheiten des Stollenquerschnittes wird dadurch begegnet, dass die Einbaukosten nach Möglichkeit auf den Quadratmeter des theoretischen Ausbruchquerschnittes bezogen werden.

Nachstehend sind unter Berücksichtigung der namhaften Holzsteuerung die heutigen Kosten für Holzeinbauten aufgeführt. In diesen Preisen ist der Mehraufwand für Ausbruch und Beton eingerechnet, der sich beim Türstockprofil gegenüber dem theoretisch gewölbten Querschnitt ergibt.

Preise des Holzeinbaues pro m^2 theor. Ausbruchquerschnitt und 1 m Stollenlänge:

Kopfschutz	10—13 Fr.
Leichter Einbau	25—32 Fr.
Schwerer Einbau	50—70 Fr.

Die Aufwendungen für die neueren Vortriebssicherungen sind nachfolgend aufgeführt. Es ist dabei zu bedenken, dass die drei voneinander eigentlich ganz verschiedenen Einbauarten (Anker, Spritzbeton und Stahlbogen) sehr wohl miteinander kombiniert werden können.

Felsanker	Fr. 30/Stück
Spritzbeton pro m^2 bedeckte Fläche	
5 cm stark	24—30 Fr.
10 cm stark	44—50 Fr.
Stahlleinbauten *)	
Stahlbögen mit Verbolzung fertig versetzt	40—50 Fr.
Längsverzug *)	
mit Betonbrettern	20—30 Fr.
mit Stahlspitzen	15—20 Fr.

*) pro m^2 theor. Ausbruchquerschnitt und 1 m Stollenlänge (Bogenabstand 1 m).

Anhand eines Beispieles sollen diese Kosten einander gegenübergestellt werden. Es seien in einem Stollen von 10 m^2 theoretischem Ausbruchquerschnitt die drei Holzeinbautypen durch neuere Sicherungsmittel zu ersetzen. Dabei wird die willkürliche Annahme getroffen, dass als Kopfschutz 3 bis 4 Anker pro Laufmeter genügen und dass als leichter Einbau das Gewölbe allein mit einer 5 cm starken Spritzbetonschicht

in Verbindung mit 3 bis 4 Ankern zu sichern sei. Für den schweren Einbau soll pro Laufmeter ein Stahlbogen gestellt und der Längsverzug mit Betonbrettern vorgenommen werden.

Einbaukosten pro Laufmeter Stollen bei 10 m^2 Ausbruchquerschnitt:

1. Kopfschutz: in Holz	100—120 Fr.
Stahlanker	90—120 Fr.
2. Leichter Einbau: in Holz	250—320 Fr.
5 m^2 Spritzbeton u. 3—4 Stahlanker	210—270 Fr.
3. Schwerer Einbau: in Holz	500—700 Fr.
Stahlbogen mit Verzug	600—800 Fr.

Im allgemeinen kann auf Grund von geologischen Untersuchungen die Trassierung der Stollen so vorgenommen werden, dass schwieriges Stollengebirge gemieden oder auf kürzeste Distanz durchfahren werden kann. Die Strecken mit schwerem Einbau sind deshalb in der Regel bedeutend kürzer als diejenigen mit leichten Einbauten. Es darf deshalb festgestellt werden, dass heute die neueren Sicherungsmittel gegenüber den Holzeinbauten im ganzen wirtschaftlicher sind. Die Preise für den Stahlbogeneinbau werden voraussichtlich noch etwas günstiger, sobald die Fachleute mit den handwerklichen Belangen und der Ausnutzung aller Variationsmöglichkeiten besser vertraut sind. Wie dies eingangs schon dargelegt wurde, liegt der wesentliche Vorteil darin, dass die Befestigung der Stollenauskleidung ungestört ihren Lauf nehmen kann und nicht mehr behindert wird durch den Ausbau des Holzes. Abschliessend muss eindringlich und mit aller Deutlichkeit gesagt werden, dass hier aber die Fragen der Wirtschaftlichkeit in den Hintergrund treten und dass es in erster Linie unser höchstes Bestreben sein muss, der unter vielerlei Gefahren arbeitenden Vortriebsmannschaft im einmal aufgefahrenen Stollen den bestmöglichen Schutz zu bieten.

Adresse des Verfassers: Dipl. Ing. Otto Frey-Bär, Motor-Columbus AG, Baden.

Literatur-Verzeichnis

- [1] Versuche zur Klärung der Frage der Bruchgefahr, von Prof. Dr. M. Ros und Dipl. Ing. A. Eichinger, Zürich, Juni 1928, Diskussionsbericht Nr. 28 der EMPA. (Danach die Bilder 1 bis 5 des vorliegenden Aufsatzes.)
- [2] Streckenausbau in Stahl, von Dr. Ing. Fritz Spruth; Glückauf-Betriebsbücher, Essen, 1955, Band 2, Abbildungen 1 und 2.
- [3] Dr. Ing. H. Kastner: Zur Theorie des echten Gebirgsdruckes im Felslochraumbau, «Österreichische Bauzeitschrift» 1952, Heft 6.
- [4] Vgl. SBZ vom 31. Dezember 1955, S. 811.
- [5] A. Sonderegger: Spritzbeton im Stollenbau, SBZ vom 7. April 1956, S. 210.

Gedanken zu einer geplanten Reform des Normalstudienplanes der Abteilung für Elektrotechnik an der ETH

Von Prof. Dr. techn. K. Sachs, Ennetbaden

DK 378.962 ETH: 621.3

Der Unterricht an einer Technischen Hochschule ist u. a. dadurch gekennzeichnet, dass er sich ganz ähnlich wie an ihrer Vorstufe, der Mittelschule, an einen mehr oder weniger starren Studienplan hält. Es handelt sich dabei um eine durch die Natur der Sache bedingte Notwendigkeit, auf die u. a. der Rektor der ETH, Prof. Dr. K. Schmid, anlässlich der Zentenarfeier der ETH im Herbst des vergangenen Jahres hingewiesen hatte. Das klassische Hochschul-Prinzip der «Lehr- und Lernfreiheit» ist damit weitgehend eingeengt, um nicht zu sagen aufgehoben worden, so dass namentlich aus Universitätskreisen gelegentlich Stimmen laut werden, die den Technischen Hochschulen wegen dieses bewussten Verzichtes den Hochschulcharakter absprechen möchten. Dem ist entgegenzuhalten, dass auch die Universitäten die volle Lehr- und Lernfreiheit eigentlich nur kannten, solange sie ausgesprochene Gelehrten schulen waren, die um des Wissens willen Polyhistoren heranbildeten, die wiederum des Wissens willen selbstlos ihr Wissen weitergaben. Das liegt weit zurück.

Schon mit dem Aufkommen der Fakultäten begannen die Universitäten immer mehr Zweckwissen zu vermitteln, und damit bildeten sich auch bei ihnen Studienpläne heraus. Diese mögen auch heute noch — vom Medizinstudium und dem der Pharmazie abgesehen — eine zum Teil auch personell bedingte Elastizität aufweisen, die eine gewisse Buntheit in das Studium hineinbringt, das semesterweise an verschiedenen Universitäten betrieben werden kann. Trotzdem aber wird in unserer Zeit, wo alles schwankt und wo die Verlockungen für die jungen Leute immer grösser werden, auch an den juristischen und philosophischen Fakultäten der Universitäten der Einführung straffer Studienpläne mit obligaten Seminararbeiten und Zwischenexamina mehr und mehr das Wort geendet.

Die Notwendigkeit aber der starren Studienpläne, die das technische Hochschulstudium verlangt, zwingt nun dazu, diese in gewissen Zeitabständen zu revidieren, um sie der unaufhaltsam fortschreitenden Entwicklung der Technik anpassen