Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 83 (1965)

Heft: 39

Artikel: Eine programmgesteuerte, vollautomatische Modellmess- und Datenauswertungsanlage

Autor: Hossdorf, Heinz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-68256

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: 26.07.2025

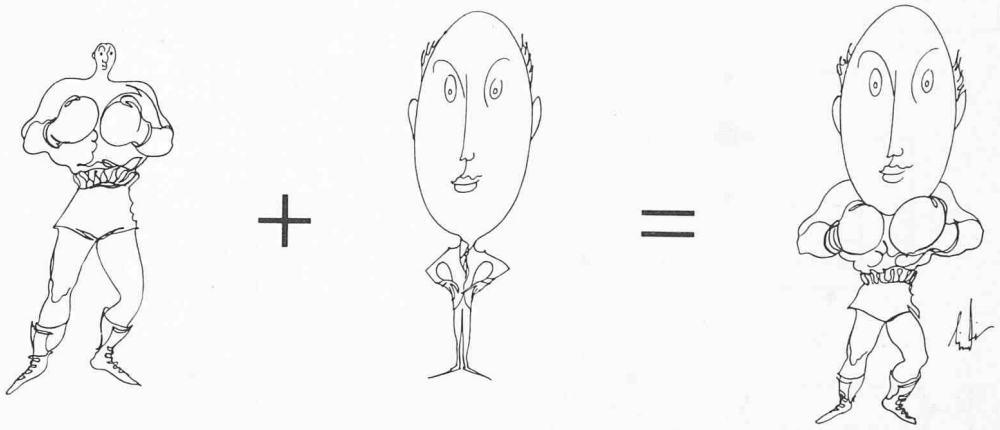
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

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

DK 681.14:624.001.573

Eine programmgesteuerte, vollautomatische Modellmess- und Datenauswertungsanlage

Von **Heinz Hossdorf**, Ingenieur S. I. A., Basel



Die Modellmesstechnik durchläuft seit kurzer Zeit eine steile – sicher die entscheidende – Entwicklungsphase, die die oft mit Recht nicht immer ganz ernst genommene Basteltechnik endgültig überwindet und so den Modellversuch zu einer mächtigen und in jeder Hinsicht baustatischen Methode und damit zu einem äusserst leistungsfähigen Werkzeug des entwerfenden Ingenieurs werden lässt. Wie auf ungezählten andern Gebieten der Forschung hat auch hier die moderne Elektronik den wesentlichen Anstoss zur weiteren Entwicklung gegeben.

Zur einfachen Veranschaulichung des neuen Gedankens, der sich heute auf dem Gebiete der Modellversuchstechnik durchsetzt, seien oben zwei jedermann bekannte Herren vorgestellt. *Der linke Herr* symbolisiert die *moderne elektronische Rechenanlage*. Elektronenrechner sind in der Tat überdimensionierte Athleten, die in der Lage sind, mit unermüdlicher Geduld Rechenoperationen in millionenfacher Geschwindigkeit durchzuführen und beliebig oft zu wiederholen. Was ihnen aber von Natur aus fehlt, ist der Kopf. Die volkstümliche Bezeichnung «Elektronenhirn» ist bekannterweise vollkommen fehl am Platz, denn der Computer ist zu dem, was das menschliche Gehirn nach wie vor und hoffentlich für immer von jeder Mechanik oder Elektronik unterscheidet, unfähig, individuelle Entscheide zu treffen. Die Entscheide müssen wir dem Rechner nach wie vor von aussen vorschreiben – wir müssen ihm ein Programm geben. Ist er einmal mit dem Programm gefüttert, so boxt er sich brav und unermüdlich durch den grössten Wald von Zahlenmaterial und erzählt uns die Ergebnisse in gewünschter Form.

Der zweite Herr, der Modellversuch, hat genau komplementäre Eigenschaften. Das Modell als Bestandteil der materiellen Welt weiss im Grunde alles. Die physikalische Wirklichkeit ist von Natur aus sein eigen.

Nur – er hat keine Sprache, uns seine Erlebnisse mitzuteilen. Wir versuchen wohl mit allen Mitteln, ihm seine Geheimnisse zu entlocken, aber mit allen zur Erreichung dieses Zieles entwickelten Messgeräten allein gelingt dies doch immer nur sehr schwerfällig und lückenhaft.

Der Traum wäre doch ganz offensichtlich, die positiven Eigenschaften der beiden Individuen zu vereinen, das Modell, das weit mehr weiss als alles, was sich unser Geist in Form von Theorien zusammenbasteln kann, als Kopf, als Programm auf den Computer zu setzen und den Rechner uns in seiner klar verständlichen Sprache von den Erfahrungen, die ihm durch Messung zugeführt werden, erzählen zu lassen.

Dieser Gedanke wurde in der Tat während der letzten Monate an verschiedenen Instituten in den USA, in Deutschland und England beinahe simultan aufgegriffen und auf unterschiedlichen Wegen mehr oder weniger vollkommen in die Tat umgesetzt. Im Literaturverzeichnis sind Publikationen über diese Anlagen angeführt.

Im folgenden wird die *Messdatenverarbeitungsanlage* beschrieben, die in meinem Labor in enger Zusammenarbeit mit der Spezialfirma für elektronische Rechen- und Steuerprobleme, Heinrich Dietz in Mülheim, entwickelt wurde. Sie unterscheidet sich in ihrem Auswertungsteil von der oben angeführten Anlage (mit Ausnahme derjenigen am M. I. T.) dadurch, dass die elektrischen Messwerte schon *vor* der Drucker- oder Locherausgabe durch einen mit dem Messvorgang synchron (on line) arbeitenden kleinen Elektronenrechner «gereinigt» werden. In Bild 1 ist das Schema der Messanlage dargestellt. Das Modell ist in üblicher Weise mit elektrischen Messaufnehmern, wie Dehnungsmesstreifen, Ohmschen, kapazitiven oder induktiven Wegaufnehmern, Krümmungsmessern und ähnlichem bestückt. Ein Messtellenumschalter wählt die Messtellen zyklisch an, und die Messwerte werden in einer Messbrücke verstärkt. Die verstärkten elektrischen Messignale werden in einem Analog-Digital-Wandler in diskrete Werte zerhackt und in binärer Form dargestellt, so dass sie nun vom Kernspeicher eines kleinen Rechenwerkes aufgenommen werden können. Je nach Wunsch können die gespeicherten Messwerte einer beschränkten Anzahl einfacher, in der Modelltechnik sich immer wiederholender Rechenoperationen unterzogen werden. Die fest im Rechner eingebauten Programme können von aussen angewählt werden und laufen jeweils in Bruchteilen einer Sekunde *während* des Messens ab. Sie leisten folgende Arbeit:

a) Den Messwerten kann ein vierstellig schaltbarer Multiplikationsfaktor (z. B. Eich- und Masstabsfaktor) vorgeschaltet werden.

b) Ein spezielles System überwacht die Konstanz des Verstärkernullpunktes bei lange andauernden Messungen.

c) Es kann die Summe der Werte über jeden Messdurchlauf gebildet werden (z. B. automatische Kontrolle der Einflusslinien von Auflagerdrücken).

d) Es kann die Summe der Messwerte an jeder Messtelle für verschiedene Laststellungen errechnet werden (Superposition).

e) Es kann die Differenz der Messwerte von jeweils zwei aufeinander folgenden Messtellen ausgegeben werden (z. B. Querkraft an Balken).

In einfachen Fällen von Modellversuchen stellen die vom Rechner ausgedruckten oder die von dem am Analogausgang des Rechners angeschlossenen Schreiber herausgezeichneten Werte schon das gewünschte Schlussresultat dar. Meistens sind hingegen auch die «gereinigten» Werte noch weiteren, recht komplizierten und langwierigen Auswertungsoperationen zu unterziehen, die von einem Kleinrechner nicht mehr bewältigt werden können. Man denke nur an die Ermittlung von Hauptspannungen und -momenten an Flächentragwerken, die Superposition verwickelter Lastfälle bei der Berechnung von Brücken usw. Um auch in diesen Fällen die manuelle Weiterverarbeitung der oft in die Tausende und Zehntausende gehenden Messwerte zu vermeiden, ist eine Ausgabe der Werte in Form von IBM-Lochkarten vorgesehen. In Verbindung mit einer beschränkten Anzahl von immer wieder verwendbaren Auswertungsprogrammen ist es so möglich, die weitere

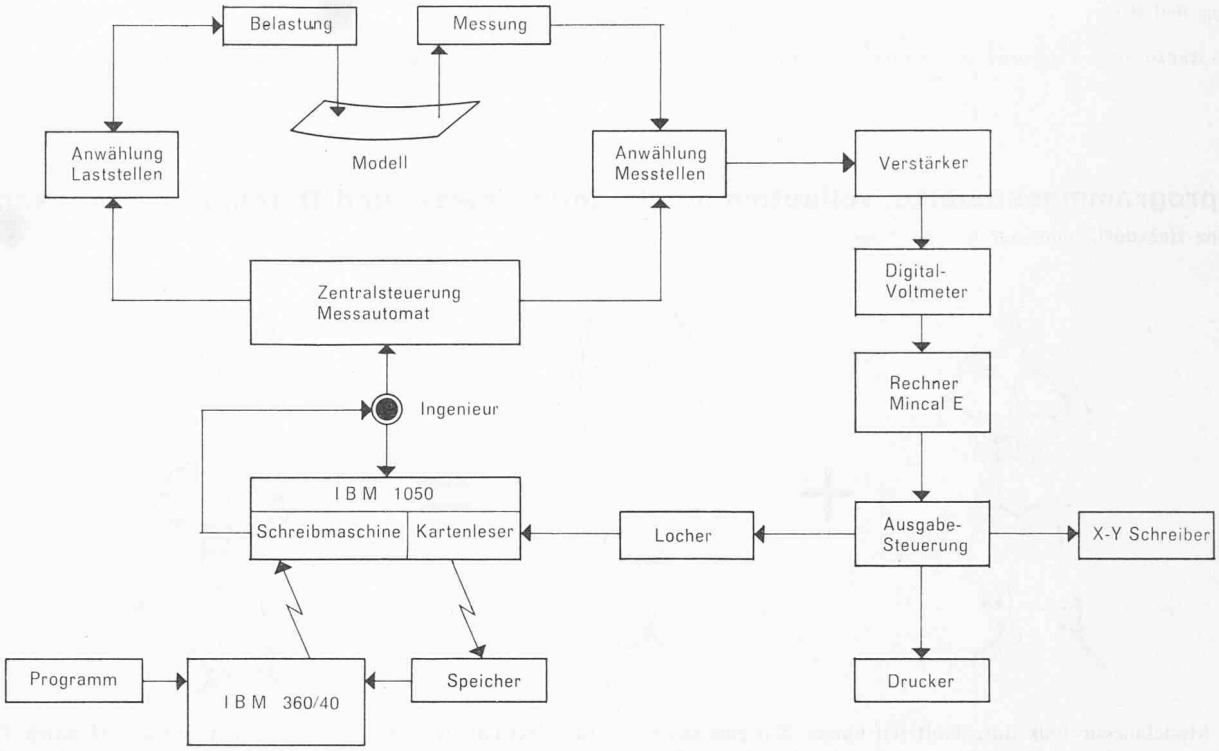


Bild 1. Uebersichtsschema der Anlage

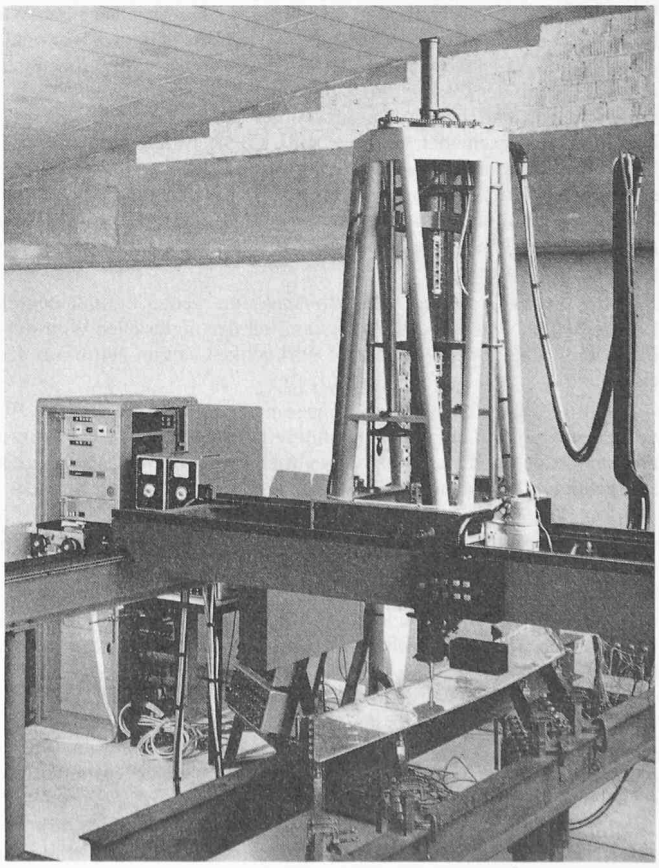
Datenverarbeitung in kürzester Zeit in einem der überall zur Verfügung stehenden IBM-Computer durchzuführen. Im Zusammenhang mit der im Folgenden noch zu beschreibenden weitern Anlage wird auf die Auswertungstechnik etwas näher eingegangen werden.

Bei der *Durchführung von Modellversuchen* sind immer drei klar unterscheidbare technische Probleme zu bewältigen:

1. Herstellung eines materiellen Modells des zu untersuchenden Tragwerkes.
2. Belastung des Modells.
3. Messung der Verformungen am Modell, Auswertung der Messwerte und Umdeuten auf das zu erwartende Tragverhalten des Bauwerkes in Wirklichkeit.

Bild 2. Zentrale Steuereinheit mit Streifenleser für die Lastpositionierung. Kleincomputer mit Programmwahlschaltern, Messstellenumschalter und Ausgabeeinheiten (Drucker, Schreiber und Kartenlocher)

Bild 3. Elektrisch gesteuerter Koordinatenwagen zur Lastaufbringung mit Lastwahlschaltern und optischer Positionseinrichtung



Soll die Anwendung des Modellversuches von ihrer bisherigen Schwerfälligkeit befreit werden, ist es nun offensichtlich die Aufgabe der Modellmesstechnik, die drei aufgeführten technischen Grundaufgaben möglichst zu automatisieren und zu «entmaterialisieren».

Die Automation von Punkt 3 ist im wesentlichen eingangs beschrieben worden.

Der «Entmaterialisierung» von Punkt 1 sind selbstverständlich natürliche Grenzen gesetzt, da wir den Bau individueller Modelle nicht umgehen können, solange wir die Modellstatik als notwendiges Hilfsmittel für die Untersuchung von komplexen Tragwerken halten. Die Technik des Modellbaues selbst kann jedoch so weitgehend rationalisiert werden, dass der Zeitaufwand für die Herstellung der Modelle nicht mehr entscheidend ins Gewicht fällt. Insbesondere können die Auflagerkonstruktionen zu immer wieder verwendbaren, leicht aufzubauenden Elementen entwickelt werden.

Die bisher verwendeten Belastungseinrichtungen haben einen grossen Zeitaufwand für die Herstellung der jeweiligen Gewichte und deren Verschiebung während des Messdurchlaufes erfordert. Für die Lösung von Problemen an mehr oder weniger ebenen Tragwerken (Platten, Trägerroste, Rahmen und insbesondere Brücken aller Art) ist in meinem Labor erstmals eine programmgesteuerte Belastungseinrichtung in Betrieb genommen worden, die, gekoppelt mit der eingangs beschriebenen Datenverarbeitungsanlage, im Stande ist, ganze Modelle vollautomatisch zu prüfen und die gewünschten Schlussergebnisse, ohne jegliche Schreibarbeit, auszudrucken. Die Anlage ist immer dort einzusetzen, wo elastische Probleme erster Ordnung vorliegen, d. h. in Fällen, wo das Superpositionsgesetz Gültigkeit hat. Das Arbeitsprinzip der Maschine ist folgendes: Eine für jedes Modell nach messtechnischen Gesichtspunkten optimal angewählte Last kann auf einem Koordinatenwagen an jede beliebige Stelle des Modelles gefahren und aufgebracht werden. Die Koordinaten der gewünschten Laststellungen auf dem Modell werden mittels einer Positioniereinrichtung in einem Lochstreifen festgehalten. Durch Abspielen des einmal programmierten Lochstreifens in einer zentralen Steuereinheit werden nun ohne weiteres Zutun nacheinander alle Laststellungen mit einer Genauigkeit von weniger als ± 0,1 mm angefahren, die Last abgesenkt und jeweils die entsprechenden Messwerte abgefragt und (im allgemeinen in Form von Lochkarten) registriert.

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Anlage sei erwähnt, dass zur Erfassung des Tragverhaltens z. B. einer mittleren Brücke grössenordnungsmässig an 100 Messtellen die Werte für je 100 Laststellungen, also rd. 10 000 Messwerte, erfasst und ausgewertet werden müssen. Diese Arbeit, die bisher Wochen und Monate in Anspruch nahm, wird nun in einigen Stunden geleistet; dies mit dem zusätzlichen Vorteil, dass die unvermeidlichen Ablesefehler ausgeschaltet sind. Man sieht auch, dass eine oft erwünschte, aber wegen der Mehrarbeit umgangene Steigerung der Lastpunkte keinen wesentlichen Mehraufwand bedeutet. Zudem ist die Maschine in der Lage, höhere Lasten aufzubringen, was eine wesentliche Reduktion der relativen Messfehler zur Folge hat.

Die in Form von Lochkarten vorliegenden, vom Kleinrechner schon bereinigten Messdaten stellen nun im allgemeinen Einflussflächen für die Dehnung an gewünschten Stellen des Modelles dar. Sie können zur weiteren Verarbeitung direkt in einen programmgesteuerten Computer gefüttert werden. Der Modellversuch als solcher ist hiermit ein für allemal *abgeschlossen*, denn die allgemeine Lösung des speziellen elastischen Problems ist durch die Erfassung der Einflussflächen eindeutig festgehalten, und das Ergebnis für jede beliebige Belastungsverteilung kann von nun an vom Computer durch reine Superposition mit Leichtigkeit errechnet werden. Die weitere Verarbeitung der Daten bis zur endgültigen Berechnung und Dimensionierung des Tragwerkes stellt also von hier an ein einfaches Frag-und-Antwort-Spiel zwischen Ingenieur und Computer dar. Diese Arbeit kann jeder Ingenieur an einer öffentlich zugänglichen Rechenanlage selbst ausführen oder ausführen lassen. Die Datenfernverarbeitung (Remote Computing) eröffnet in naher Zukunft die Möglichkeit, auch diesen Prozess noch bequemer und rascher durchzuführen. So ist z. B. die Einrichtung eines Datenfernverarbeitungssystems IBM 1050 geplant, die es ermöglicht, die in Lochkarten festgehaltenen Messwerte direkt über die Telefonleitung in einen IBM-Computer einzulesen. Zusammen mit immer wieder verwendbaren Auswertungsprogrammen führt der Computer sämtliche Auswertungsarbeiten innert weniger Minuten durch und schreibt die endgültigen Ergebnisse auf einer im Labor aufgestellten Schreibmaschine ebenfalls via Telefon heraus.

Einige der zur endgültigen vollautomatischen Auswertung der Messergebnisse notwendigen Computer-Programme, wie Ordnung der Messdurchläufe, Superposition, Berechnung von Hauptspannungen und -momenten, sind heute schon einsatzbereit entwickelt. Weitere wichtige Programme wie z. B. für die rein analytisch simulierte Einführung von beliebigen Vorspannkräften unter Berücksichtigung der Reibungsverluste usw. in das Modell sind noch in Arbeit. Über die Einzelheiten dieser äusserst leistungsfähigen Methoden sowie über Fehlerbetrachtungen der automatisierten Messdatenerfassung wird in naher Zukunft berichtet werden.

Literaturverzeichnis

R. K. Müller: Ein Beitrag zur Dehnungsmessung an Kunstharzmodellen, Habilitationsschrift, Technische Hochschule Stuttgart. 1964.

K. F. Reinschmidt: DATALINK, an on-line Computer System for Structural Laboratory Research. Research Report R 65-6, M.I.T. Cambridge 39, Massachusetts; 1965.

R. E. Rowe: Model analysis and testing, Proceedings of a one-day meeting. Cement and Concrete Association, London 1964.

W. Zerna: Zur Festigkeitsuntersuchung des Schalentragwerkes der Städtischen Bühnen Dortmund. «Beton- und Stahlbetonbau», Berlin, Sept. 1964.

H. Hossdorf: Modellversuchstechnik des entwerfenden Bauingenieurs. SBZ 1963, H. 17, S. 277.

Adresse des Verfassers: *Heinz Hossdorf*, Ingenieur S.I.A., Tellplatz 12, 4000 Basel.

Ein neuer Schritt in der Mechanisierung des Stollen- und Tunnelbaues

DK 624.191.2

Von **Otto Frey-Baer**, dipl. Ing., Brugg

1. Gegenwärtiger Stand der Stollenbautechnik

Durch den Ausbau unserer Wasserkräfte in den Alpen erlebte der Stollenbau in den letzten 20 Jahren einen noch nie dagewesenen Beschäftigungsgrad. Die Unternehmer standen dabei in einem harten Konkurrenzkampf und waren gezwungen, die Arbeitsvorgänge so weit als möglich zu mechanisieren. Ältere bewährte Maschinen wie Bohrhämmer und Lademaschinen wurden wesentlich verbessert, und neue Geräte und Hilfsmittel gelangten zum Einsatz. Die grossen Anstrengungen der Unternehmer führten zu einer beachtlichen Steigerung der Vortriebsleistungen und zu Kostensenkungen.

Nachdem sich der Ausbau der Wasserkräfte seinem Ende nähert, haben die Unternehmer immer seltener Gelegenheit, ihr Stollenbauinventar einzusetzen. Heute stehen wir vor neuen Aufgaben, nämlich der Gewässersanierung und dem Ausbau unserer Strassen- und Bahnverbindungen durch die Alpen und den Jura. Die Lösung der ersteren Aufgabe wird Stollenbauten erfordern, sei es zur Zuleitung von Trinkwasser oder zur Ableitung von Schmutzwasser. Für das Nationalstrassennetz sind Tunnel mit grossen Querschnitten von 80 bis 100 m² notwendig. Zum Teil liegen nun schon die Erfahrungen einiger in letzter Zeit ausgeführter Strassentunnelbauten vor, wie z. B. Grosser St. Bernhard, Mont Blanc und San Bernardino. Bei diesen grossen Bauvorhaben wurden praktisch die Baumethoden, welche im Stollenbau in den letzten Jahren entwickelt worden sind, mit wenigen Anpassungen übernommen. Die dabei gemachten Erfahrungen geben zu einigem Nachdenken Anlass. Es stellt sich vor allem die Frage, ob es richtig ist, eine dem Stollenbau angepasste Methode für den Tunnelbau zu übernehmen. Diese Frage scheint umso berechtigter, als sich schon seit einiger Zeit eine umwälzende Neuerung im Stollen- und Tunnelbau, nämlich der sprenglose, maschinelle Vortrieb, ankündigte.

2. Entwicklungs-Tendenzen

Trotz der weitgehenden Mechanisierung haften der heute praktizierten Stollenbautechnik eine grössere Zahl von Unsicherheits-Faktoren an. Die Vorausberechnung des Bauzeitbedarfes sowie der Material- und Arbeitsaufwendungen sind sehr stark abhängig von Gesteinshärte, Sprengbarkeit, Überprofil, Wasserandrang und Standfestigkeit des zu durchfahrenden Gebirges. Die Arbeitsaufwendungen und damit die spezifischen Kosten verändern sich sehr stark mit einem Wechsel der aufgezählten Eigenschaften des Gebirges. Im Zeitpunkt der Berechnung der Unternehmerangebote liegen meistens nur ungenügende Angaben über diese wichtigen Grundlagen vor. Die