Modellversuchstechnik des entwerfenden Bauingenieurs

Autor(en): **Hossdorf, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81 (1963)**

Heft 17

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-66775

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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

http://www.e-periodica.ch

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

Modellversuchstechnik des entwerfenden Bauingenieurs

DK 624.058:624.001.573

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

«Ist es überhaupt möglich, aus den Ergebnissen von Versuchen an Modellen, die in stark verkleinertem Masstab und oft aus scheinbar willkürlichen Materialien hergestellt werden, auf das Verhalten des untersuchten Tragwerkes in der Wirklichkeit zu schliessen?» «Wenn ja, warum und wie? Und sind die so gewonnenen Ergebnisse von befriedigender Genauigkeit?» Diese Fragen werden mit erstaunlicher Regelmässigkeit von Besuchern im Modellaboratorium gestellt. Sie offenbaren die weitverbreitete Unsicherheit, mit der dieses neue und ausserordentlich leistungsfähige Hilfsmittel des Ingenieurs im allgemeinen aufgenommen wird. Es scheint daher einem Bedürfnis zu entsprechen, auf diese Fragen, deren Beantwortung, wie wir sehen werden, durchaus nicht etwa von vornherein eindeutig, sondern ausserordentlich komplex ist, einmal grundsätzlich einzugehen mit dem Ziel, den Zweck und die Leistunsgfähigkeit der Modellversuche kritisch zu beurteilen.

a. Modellversuch und statische Berechnung

Wir wollen uns für einen Augenblick von der Betrachtung der Modellversuche selbst entfernen und uns in bewusster Anlehnung an die einleitende Frage die Gegenfrage stellen: «Ist es überhaupt möglich, aus dem Ergebnis von Berechnungen auf das Verhalten des untersuchten Tragwerkes in Wirklichkeit zu schliessen?»

Diese Frage ist je nach Standpunkt in Tat und Wahrheit genau so berechtigt oder trivial wie die eingangs erwähnte nach der Aussagefähigkeit der Modellversuche. Nur liegt es in der Natur der Ausbildung und der praktischen Betätigung des Bauingenieurs, dass er sich kaum je gezwungen sieht, sich diese erkenntnistheoretische Frage zu stellen. Zur richtigen Beurteilung des Wertes von Modellversuchen müssen wir uns aber zuerst auf den Wahrheitsgehalt der Aussagen aus unseren Berechnungen besinnen.

Erinnern wir uns, dass die gesamte Baustatik auf der klassischen Mechanik aufbaut und sich daher durchwegs deren Methode zur Beschreibung der untersuchten Vorgänge bedient. Sie versucht also, die uns interessierenden Erscheinungen an Tragwerken mittels mathematisch formulierten «Theorien» zu beschreiben. Wie alle Theorien, so bauen auch die baustatischen jeweils auf idealisierten (aus der Beobachtung gewonnen) Grundvorstellungen, den Hypothesen, auf. Wegen der Vielgestaltigkeit der von der Baustatik zu erfassenden Vorgänge gelingt es nun leider nicht, alle Erscheinungen in *eine* umfassende Theorie einzubeziehen. Im Gegenteil: die heutige Baustatik setzt sich aus einer sich laufend erweiternden Sammlung von Theorien zusammen, welche jede für sich in der Lage ist, innerhalb mehr oder weniger enger Gültigkeitsgrenzen bestimmte Vorgänge ausreichend zutreffend abzubilden. Die Unsicherheit, mit der das Ergebnis jeder statischen Berechnung behaftet ist, beginnt also schon vor der Durchführung der Berechnung selbst, nämlich bei der Wahl der für die Untersuchung eines uns interessierenden Vorganges anzusetzenden Theorie.

Die weittragendste dieser Theorien ist zweifellos die Elastizitätstheorie, die unter der oft sehr exakt zutreffenden Voraussetzung des (gedachten) elastischen Kontinuums in der Lage ist, den Spannungs- und Verformungszustand ausserordentlich komplexer Gebilde zutreffend zu beschreiben. Diese Theorie ist noch immer weiter ausbaufähig und bleibt daher eines der bevorzugten Gebiete der angewandten Mathematik. Sie ist bestechend durch ihren saubern Aufbau, durch die geringe Zahl der ihr zugrunde liegenden einleuchtenden Hypothesen, und sie sollte aus diesem Grunde Zentrum jedes Bauingenieurstudiums sein,

Für die Anwendung auf Baukonstruktionen ist die Elastizitätstheorie nun leider mit einer grossen Schwäche behaftet. So exakt sie uns in den meisten Fällen Auskunft über die Spannungsverteilung und Verformung aller untersuchten Konstruktionsglieder bei verhältnismässig schwacher Beanspruchung geben kann, so unsicher ist sie in der Beurteilung des uns ebenso sehr interessierenden Verhaltens der Tragwerke beim Bruch, dies deshalb, weil die meisten Materialien sich weigern, eine der Grundhypothesen der Elastizitätstheorie, den linearen Spannungs-Dehnungszusammenhang, in der Nähe der Bruchspannung auch nur annähernd zu befolgen. Um nun aus den bei Anwendung der Elastizitätstheorie gewonnenen Ergebnissen (in die das Material durch nur zwei Konstanten E und μ eingegangen ist) mit grober Näherung auf die Bruchsicherheit schliessen zu können, wird der elastischen Berechnung ein zweiter Schritt, die «Dimensionierung» oder «Bemessung» angehängt, bei dem durch die Festlegung «zulässiger Spannungen» ein Verhältnis der vorhandenen zu den Bruchspannungen des jeweils gewählten Materials definiert wird. Diese (idealisierten) zulässigen Spannungen sind teilweise schon unter allerdings nur sehr beschränkter Berücksichtigung des plastischen Bruchverhaltens festgelegt.

Da eine befriedigend exakte Bruchvoraussage aus der Elastizitätstheorie vor allem in hochgradig statisch unbestimmten Systemen nicht mehr möglich ist, wird in der modernen Baustatik versucht, durch Aufgabe der Hypothesen der Elastizitätstheorie, Theorien über das Bruchverhalten selbst zu entwickeln. Es ist zu hoffen, dass es hier gelingen wird, ein ebenso klares mathematisches Gebäude zu errichten, wie es die Elastizitätstheorie darstellt. Sobald dieses Ziel erreicht ist, können sie der Elastizitätstheorie als ebenbürtige Partner an die Seite gestellt werden. Nie wird aber

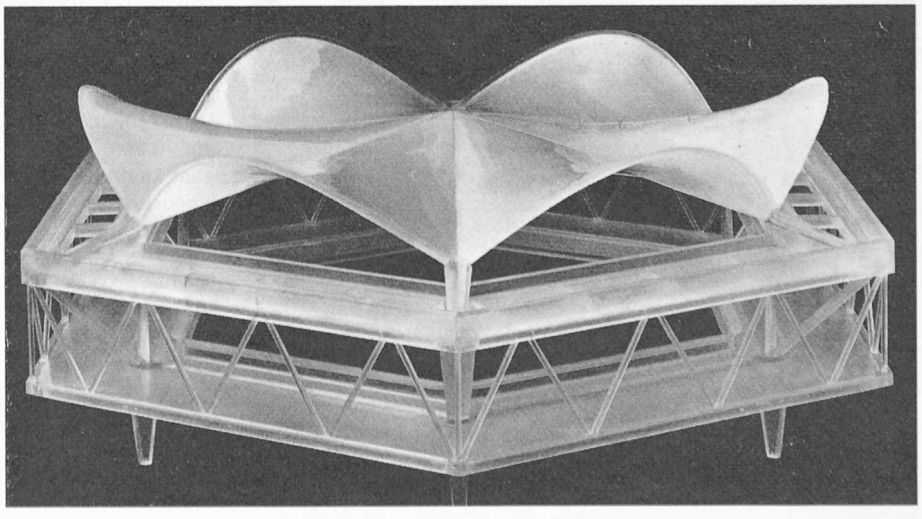


Bild 1 (rechts). Modell der Struktur des für die Universitätsbibliothek in Basel geplanten Lesesaales

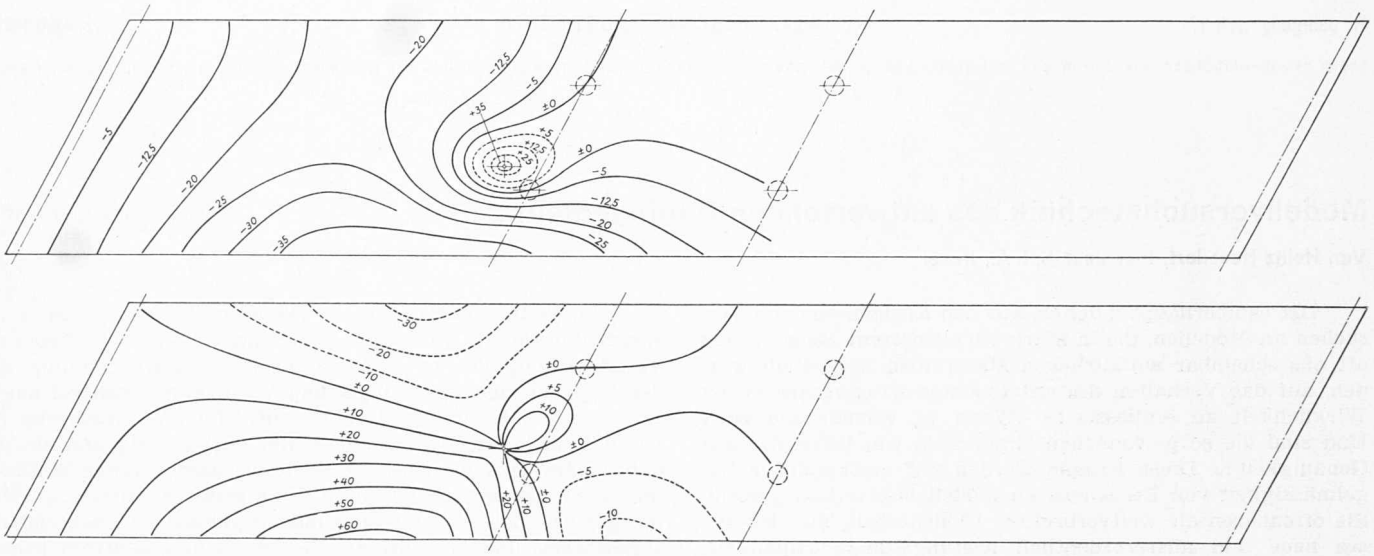


Bild 2. Zwei Beispiele von mit direktschreibendem Lastbügel aufgenommenen Höhenkurven von Einflussflächen, oberes Bild für das Biegemoment m_x, unteres Bild für das Drillungsmoment m_D.

Bilder 2 und 3. Aplerbeckerbrücke (ausgeführt für die Firma Polensky & Zöllner, Köln). Bestimmung der Hauptbiegemomente an einer dreifeldrigen, schiefen Plattenbrücke auf vier inneren Einzelstützen und Linienauflagerung am Rand mit Hilfe des Krümmungsmessers von Andrä-Leonhardt an einem Modell aus Aluminium. Direkte Aufnahme der Höhenlinien von Einflussflächen mit selbstschreibendem Lastbügel

eine Theorie die übrigen ganz ersetzen, sondern alle werden sich in der umfassenderen Beschreibung der wirklichen Vorgänge ergänzen.

Es ist nicht Ziel dieser Betrachtungen, weiter in die Vielzahl der vorhandenen und in Entwicklung begriffenen Theorien der Baustatik einzudringen. Wir haben uns nur deshalb mit den gedanklichen Grundlagen der statischen Berechnung befasst, weil sich alle so gewonnenen Unterscheidungen und Gesichtspunkte analog auf die Modellversuche übertragen lassen. Denn der Modellversuch ist genau parallel zur Berechnung nichts weiter als ein zusätzliches Hilfsmittel, die *gleichbleibenden* Probleme von einer andern Seite anzupacken.

Einer wichtigen Tatsache sind wir uns während der vorangehenden Betrachtungen vor allem bewusst geworden: statische Berechnung ist nichts anderes als die mathematische Untersuchung des Mechanismus eines Gedanken*modelles*, das wir uns auf Grund von mehr oder weniger zutreffenden Hypothesen zusammengebastelt haben. Der Modellversuch dem gegenüber ist die messtechnische Untersuchung des Mechanismus eines *materiellen Modelles*, dem deshalb die Möglichkeit innewohnt, wirklichkeitsnähere Ergebnisse zu liefern, weil ein grosser Teil (im Idealfall alle) der der Berechnung notwendigerweise zugrunde liegenden Hypothesen durch automatisch analoges Verhalten des Modelles zur Wirklichkeit ersetzt wird. Dass eindeutige und ausserordentlich einfache Beziehungen zwischen dem mechanischen Verhalten von Modell und wirklichem Bauwerk unter genau definierbaren Voraussetzungen tatsächlich bestehen, ist bekannt und geht schon aus der trivialen Tatsache hervor, dass in der Theorie nichts über die geometrische Grössenordnung der zu untersuchenden Objekte vorausgesetzt wird. Die Modellmechanik befasst sich mit der mathematischen Formulierung dieser Beziehungen.

Bilder 2 bis 11. Beispiele elastischer Versuche

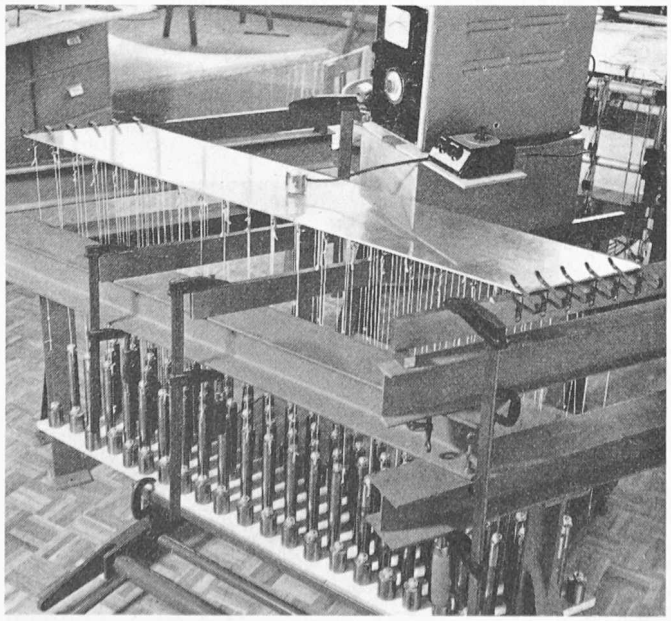


Bild 3. Ansicht des Messaufbaues mit Belastungseinrichtung für gleichmässig verteilte Belastung

b. Die zwei Modellversuchstypen

Je nach Zielsetzung oder Stand der in voller Entwicklung begriffenen Modelltechnik können nun Modellversuche von grundsätzlich verschiedener Wesensart durchgeführt werden: Entweder wir bauen ein Modell des *Gedankenmodelles*, das einer baustatischen Theorie zugrunde liegt oder wir bauen ein Modell, das die materialtechnischen Eigenschaften der *Wirklichkeit* direkt simuliert, besser als es jede Theorie zu beschreiben imstande wäre. Wir wollen den ersten Versuchstyp «Idealversuch», den zweiten «Realversuch» nennen. Was leisten nun diese beiden Versuchsarten?

Dem *Idealversuch* haften von vornherein in der Beschreibung der Wirklichkeit zwei Fehler an, nämlich diejenigen, die in den Hypothesen der abzubildenden Theorie enthalten sind und die messtechnischen, die durch die Abbildung der Theorie auf das Modell entstehen. Es ist daher von vornherein sinnlos, dort Idealversuche anstellen zu wollen, wo sich im Gültigkeitsbereich der theoretischen Voraussetzungen exakte Berechnungen überhaupt anstellen lassen. Die Durchführung eines Modellversuches könnte hier bestenfalls eine Zeitersparnis gegenüber der Berechnung bringen, ist aber zur Erreichung dieses Ziels durchaus nicht immer das tauglichste Mittel. Hier wird das elektronische Rechnen immer mehr sein angemessenes Anwendungsgebiet finden.

Wir wollen uns in den weiteren Betrachtungen auf den bekanntesten und heute in immer vermehrtem Masse angewandten Vertreter der Gruppe Idealversuche, den «elasti-

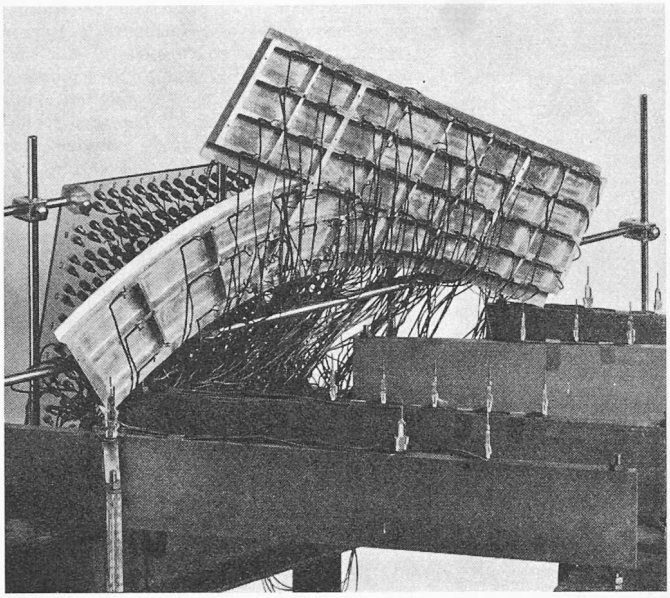


Bild 4. Ansicht des mit Dehnungsmesstreifen bestückten Modells und der Auflagerdruckgeber

Bilder 4 und 5. *Brücke in Mainz-Weisenau* (ausgeführt für die Firma Polensky & Zöllner, Köln). Bestimmung der Einflusslinien von Biege- und Torsionsmomenten mittels Dehnungsmesstreifen für eine Trägerrostbrücke. Das Modell wurde mit höchster Präzision aus einer massiven Aluminiumplatte herausgefräst. Auflagedruckmesser unter jeder der Pendelstützen ermöglichen die direkte Aufnahme von Einflusslinien für die Auflageraktionen

schen Modellversuch» beschränken. Wie die Bezeichnung zum Ausdruck bringt, handelt es sich hierbei um Experimente an Modellen, die die Hypothesen der Elastizitätstheorie möglichst exakt simulieren. Die Modelle müssen aus Materialien hergestellt werden, die sich in den zur Anwendung kommenden Beanspruchungsbereichen möglichst genau diesen Hypothesen (rein elastisches Verhalten, Homogenität, Isotropie) folgen, wesentlich genauer als es das zu untersuchende Bauwerk in Wirklichkeit tun wird. Dem so ausgeführten Modellversuch haften deshalb unvermeidlich dieselben Mängel an wie der Elastizitätstheorie selbst. Zur Uebertragung deren Ergebnisse auf die Wirklichkeit muss in üblicher Weise der zweite Schritt der Dimensionierung durchgeführt werden.

Trotzdem bleibt aber dem elastischen Modellversuch ein grosses Feld für seine sinnvolle Anwendung. Dies immer dann, wenn der Einsatz von elektronischen Rechengeräten deshalb nicht mehr in Frage kommt, weil die mathematische Formulierung des Problems, wie dies nur allzu oft vorkommt, mit zu grossem Aufwand verbunden wäre oder, was ebenso denkbar ist, überhaupt nicht gelingt. Jede Digitalrechenmaschine löst ja nur, wenn auch unverhältnismässig viel schneller, was wir auch ohne sie hätten ausrechnen können. Der Modellversuch (auch der elastische) leistet hier grundsätzlich mehr, weil durch ihn die Differentialgleichungen mit den richtigen Randwerten auch dann integriert werden, wenn wir dazu mathematisch nicht imstande wären; er operiert in diesem Falle als Analorechengerät. — In einzelnen Fällen erweist sich der Modellversuch dem elektronischen Rechnen sogar bei der Lösung elementarer elastischer Problme überlegen. Dies natürlich nie, wenn etwa ein einzelner klar beschreibbarer Berechnungsgang im Modell abgebildet werden soll; dem Modellversuch wohnt hingegen die Möglichkeit inne, den Weg zu vollkommen neuen abgekürzten Berechnungs*methoden* zu öffnen. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Anwendung der uns allen geläufigen Einflusslinie. Sie ist als typisches Hilfsmittel des analytischen (und damit auch elektronischen) Rechnens in die Baustatik eingeführt worden, das uns ermöglicht, durch oft langwierige Auswertung (die uns keine Rechenmaschine abnimmt) das eigentliche Ziel der Berechnung, die Grenzwertlinie der Beanspruchung für bestimmte Lastgruppen zu ermitteln. Bei Anwendung des analogen Modell-

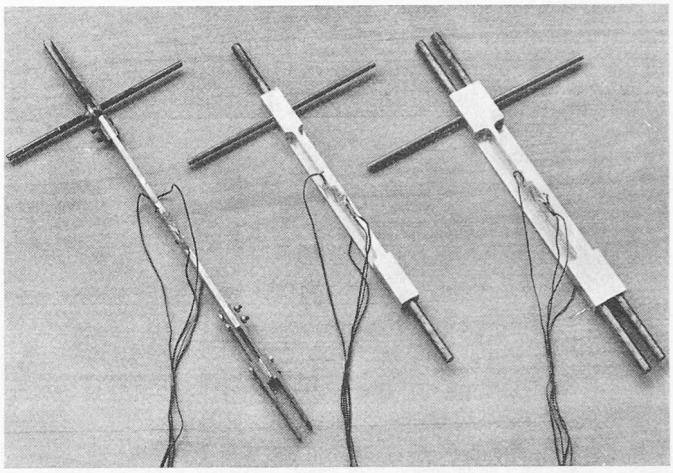


Bild 5. Einfache Plattenbalkenträger verschiedener Plattenbreite, hergestellt aus dem Modellmaterial, zur Ueberprüfung der Genauigkeit der Messungen

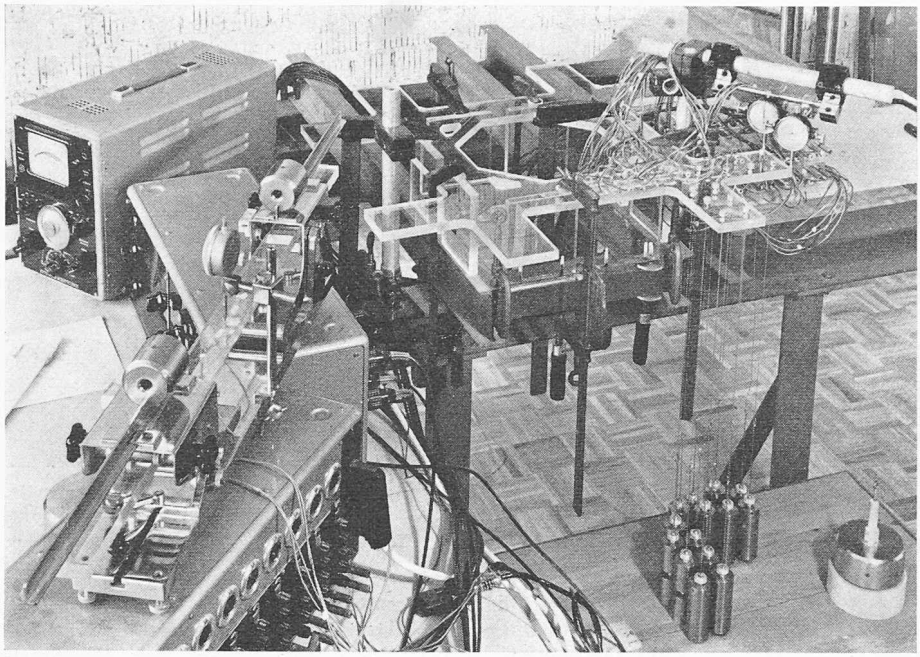
versuches erübrigt sich nun die Kenntnis der Einflusslinie überhaupt und damit deren Auswertung vollkommen, da die Grenzwerte selbst durch Verschieben von Modellastgruppen direkt sichtbar an den Messinstrumenten abgelesen werden können.

Man könnte aus der eben erwähnten Tatsache, dass der Modellversuch uns im Gegensatz zum elektronischen Rechnen Gedankenarbeit abnimmt, auf die irrige Meinung verfallen, solche Versuche würden uns von der Sorge um die Kenntnis der mathematischen Elastizitätstheorie entlasten. Das genaue Gegenteil ist der Fall! Nur hochgradig komplizierte Tragwerke werden ja vernünftigerweise durch Modellversuche untersucht, und eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse kann nur auf Grund einer möglichst weitgehenden Kenntnis wenigstens des differentiellen Verhaltens der Struktur erfolgen. Fehler in der Auslegung der Resultate werden durch die verschiedenartigsten immer möglichen und unumgänglich notwendigen Kontrollen (Gleichgewicht, Biegelinien usw.) schonungslos aufgedeckt. Dies ganz im Gegensatz zur Berechnung, wo das geduldige Bauwerk glücklicherweise in den seltensten Fällen die fehlerhafte Berechnung durch Bruch anzeigt.

Wie eingangs erwähnt, soll es Aufgabe dieser Betrachtungen sein, die grundsätzlichen Möglichkeiten der Modellversuchstechnik gegenüber den uns allen geläufigen Berechnungsverfahren abzustecken. Ein Eingehen auf die ausserordentlich vielfältigen Möglichkeiten der heutigen Messtechnik im einzelnen würde daher den Rahmen dieser Standortbestimmung sprengen. Wir beschränken uns daher auf die Feststellung folgender, allen Modellmessungen eigenen Grundzüge:

In unseren statischen Berechnungen sind wir gewohnt, möglichst direkt auf die Ermittlung der Spannungsverteilung in der untersuchten Struktur loszusteuern. Die Verformungen interessieren uns nur sekundär oder müssen, wenn notwendig, im Lauf der Berechnung als Hilfsgrössen eingeführt werden. Dieser Weg scheint im allgemeinen der einfachste und kürzeste zu sein, um zu einer Beschreibung des Beanspruchungszustandes eines Bauwerkes zu gelangen, da die Spannungen in direktem Gleichgewicht mit den eingeführten äussern Belastungen stehen. Die Auswertung der so gewonnenen Spannungswerte für die Bemessung der Konstruktionsteile setzt so aber notwendigerweise (wie wir dies nicht anders gewohnt sind) die Anwendung einer Spannungsbruchhypothese für den zur Anwendung gelangenden Baustoff voraus.

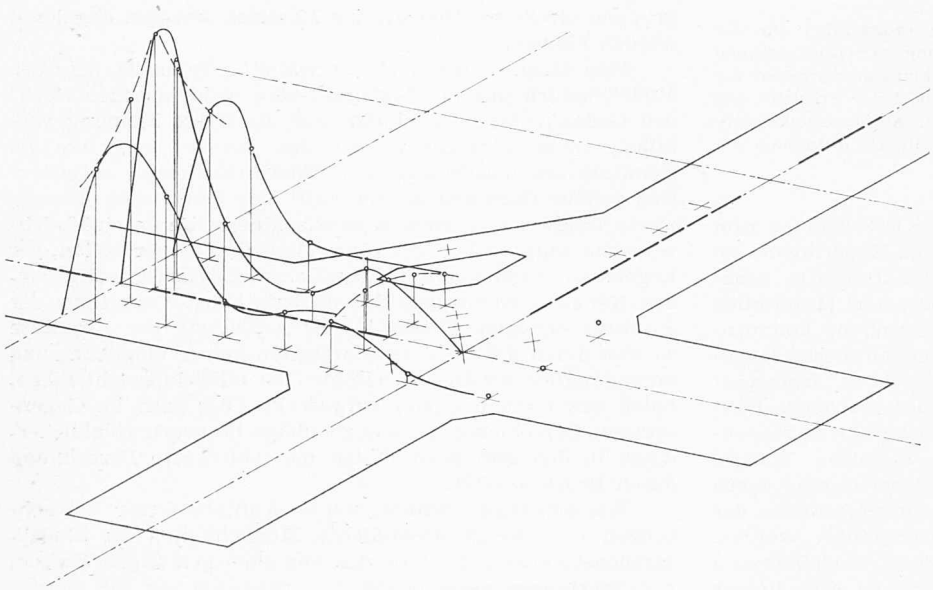
Grundlegend anders ist zwangsläufig das Vorgehen bei der Auswertung von Modellversuchsergebnissen, da es kein Messverfahren gibt, das uns direkt Auskunft über die Spannungsverteilung geben kann. Messbar sind einzig Verformungsgrössen (Verschiebungen, Dehnungen, Krümmungen usw.). Auf die Spannungen kann daher nur indirekt unter Voraussetzung der Kenntnis des Spannungs-Dehnungsdia-



Bilder 6 und 7. Vorgespanntes Hauptträgersystem für ein Hochhaus in Barras Heath, Coventry, (ausgeführt für die Firma Richard Costain, London). Bestimmung der zweidimensionalen Momentenverteilung der auf schmalen Wänden gelagerten Unterzugsbänder an einem Modell aus Plexiglas. Eine spezielle Vorrichtung erlaubte, den besonders interessierenden Einfluss einer vertikalen Verschiebung der Wände zu untersuchen (Heben des Gebäudes auf hydraulischen Pressen).

Bild 6 (links). Uebersicht über den Messaufbau

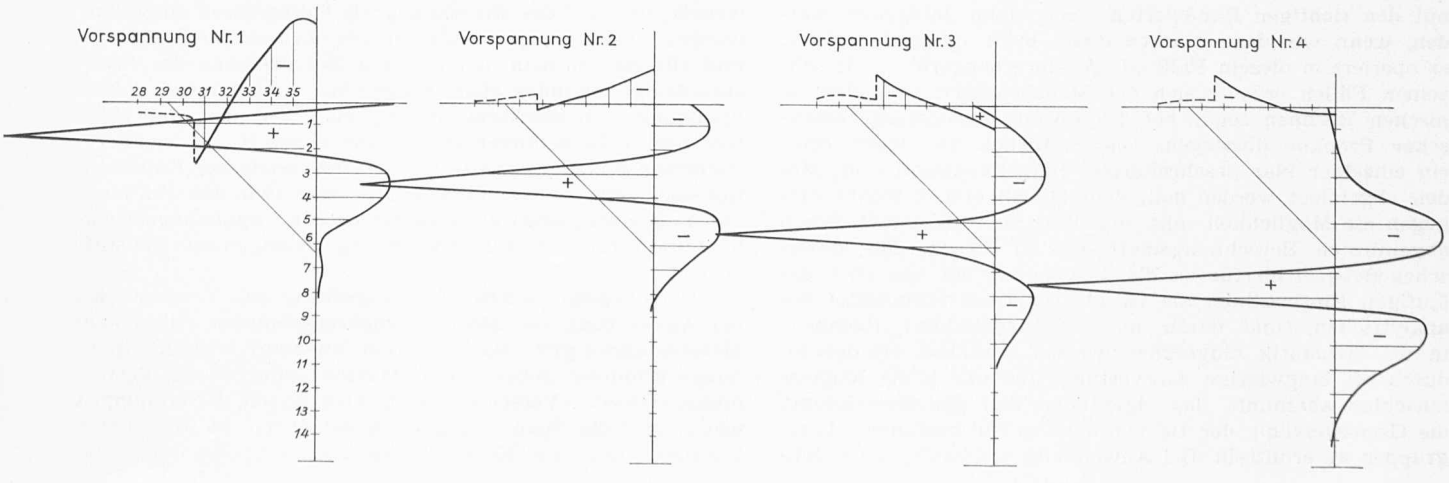
Bild 7 (links unten). Beispiel einer Messauswertung



gramms und der Poissonschen Zahl geschlossen werden. Die Umrechnung der gemessenen Dehnungen auf die zugeordneten Spannungen stellt daher einen Umweg gegenüber den Berechnungsverfahren dar und enthält zudem eine neue (die einzig theoretisch nicht eliminierbare) Fehlerquelle durch die Abweichung der Poissonschen Zahl des Modellwerkstoffes von dem des in Wirklichkeit verwendeten Baustoffes. Diese Erschwerung bei der Auswertung von Modellversuchen wird nur in Kauf genommen, um wieder ins übliche Gleis des uns gewohnten Rechnungsganges zurückzuführen und den Anschluss zur Bruch*spannungs*hypothese zu gewinnen. Würde man der Bemessung eine Bruch*dehnungs*hypothese, die, wie es wiederholt festgestellt wurde, vor allem bei Beton eine allgemein gültige Aussagekraft besitzt, zugrunde legen, so könnte dieser künstliche Umweg vermieden und gleichzeitig eine zutreffendere Aussage über die Bruchsicherheit (mehrachsige Spannungszustände) gewonnen werden. Diese Ueberlegung sei bei dieser Gelegenheit zur Diskussion gestellt.

Der elastische Modellversuch hat deshalb schon eine gute Verbreitung gefunden, weil sich mit verhältnismässig einfachem Versuchsaufbau schon brauchbare Ergebnisse erzielen lassen, obwohl die Anforderungen an die Präzision des Messaufbaues oft unterschätzt werden. Wegen der Gültigkeit des Superpositionsgesetzes wird vor allem die Einrichtung für die Belastung des Modelles ausserordentlich einfach. Die Grösse der aufgebrachten Belastung bestimmt sich aus rein messtechnischen Erwägungen und muss nur in ihrer relativen Verteilung der wirklichen Belastung entsprechen.

Weit höhere Anforderungen werden an die Labortechnik für die Durchführung von *Realversuchen* gestellt, einer Tech-



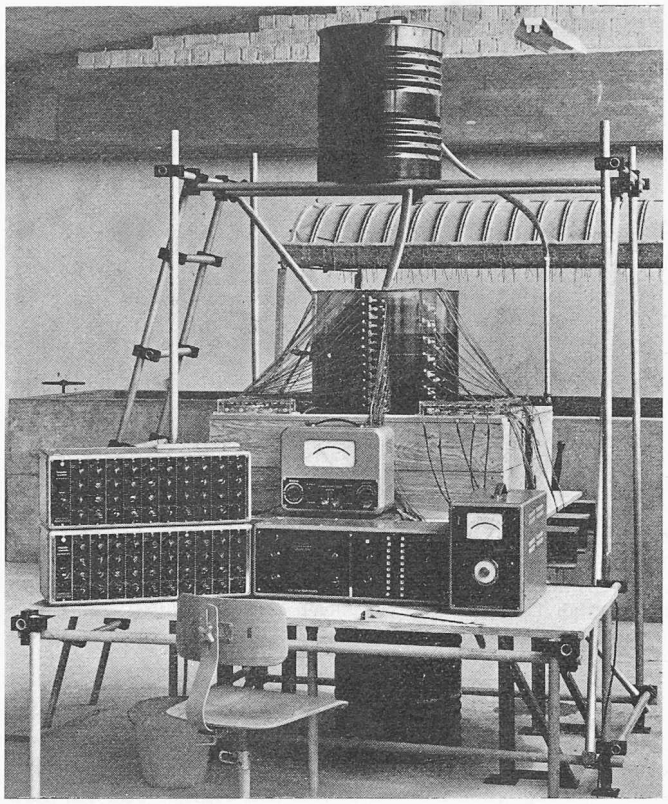


Bild 8. Modell mit Belastung und Messeinrichtung

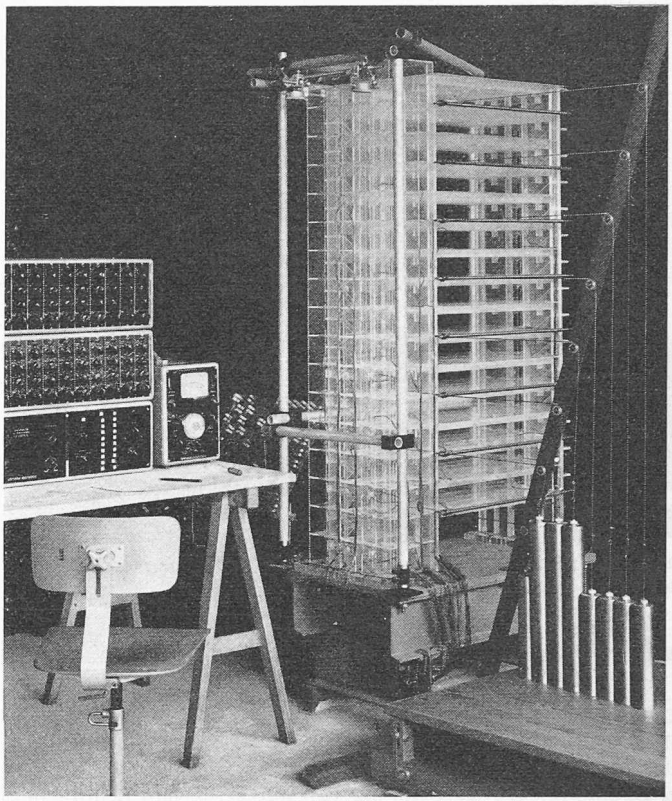


Bild 10. Gesamtübersicht über den Messaufbau

Bilder 8 und 9. Vorgespannter Faulraumbehälter Ergolz I (ausgeführt im Auftrag des Tiefbauamtes Baselland für das Ingenieurbüro Hans Blattner, Sissach). Ermittlung des Verlaufes der Biegemomente infolge einzelner Ringvorspannungen in dem durch Einbauten ausgesteiften Zylinder an einem Modell aus Araldit-Giessharz

Bilder 10 und 11. Laborgebäude Sandoz AG, Lokal 503 (ausgeführt für Gebr. Gruner, Ingenieure, Basel). Gemessen wurde die Spannungsverteilung für Horizontalkräfte im gesamten Bauwerk unter Berücksichtigung der aussteifenden Mitwirkung auch der sekundären Bauelemente wie z. B. Treppenläufe usw. Zudem wurden die Eigenfrequenzen für Biegeschwingungen am Modell mittels induktiver Geber im Kathodenstrahloszillograph direkt bestimmt

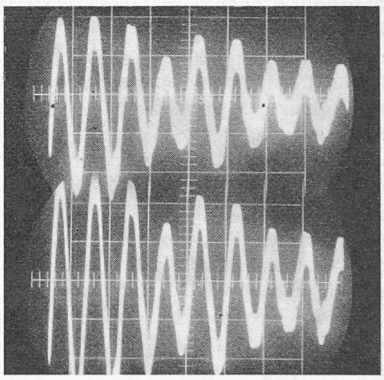


Bild 11. Aufnahme eines Schwingungsdiagramms

nik, die heute noch vollkommen in den Kinderschuhen steckt. Die Resultate, die von diesem Versuchstyp erwartet werden können, sind aber so vielversprechend, dass sich der unabsehbare Aufwand, der zu seiner Entwicklung noch notwendig ist, mit Sicherheit lohnen wird. Mit dem Realversuch wird angestrebt, möglichst alle Hypothesen von Theorien auszuschalten, d. h. Modelle aus Materialien zu bauen, die sich «rheologisch» ähnlich, d. h. längs ihres ganzen Dehnungs-(oder Spannungs-)bereiches in einem eindeutig erfassbaren Verhältnis zu dem in Wirklichkeit zur Anwendung gelangenden Material verhalten.

Es liegt selbstverständlich auf der Hand, dass sich von vornherein dann die exakteste Analogie zum wirklichen Material ergibt, wenn das Modell aus demselben Material hergestellt werden kann, wie das zu untersuchende Bauwerk in Wirklichkeit. Hier stellt sich aber ein grundsätzliches materialtechnisches Problem. Bekanntlich besteht kein wirklicher Baustoff in Tat und Wahrheit aus einem homogenen Kontinuum, wie es z. B. die Elastizitätstheorie voraussetzt. Er baut sich im Gegenteil aus einer heterogenen Menge von Einzelbausteinen auf, die sich, individuell betrachtet, vollkommen verschieden von dem an ganzen Prüfkörpern gemessenen verhalten, bei Metallen aus Kristallen, beim Beton aus Kies-Sandkörnern. Unsere praktische Baumaterialprüfung gibt Auskunft über das statistische Verhalten einer grossen

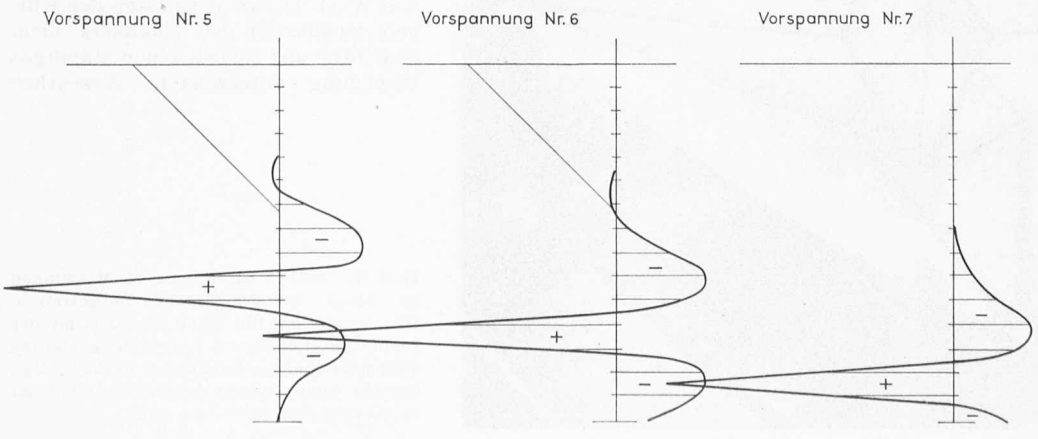


Bild 9. Beispiel eines ausgewerteten Messergebnisses: Verlauf des Wandbiegemomentes infolge einer Ringvorspannung in der Höhe der Momentenspitze. Der resultierende Momentenverlauf ergibt sich durch Superposition der dargestellten sieben Einzelfälle

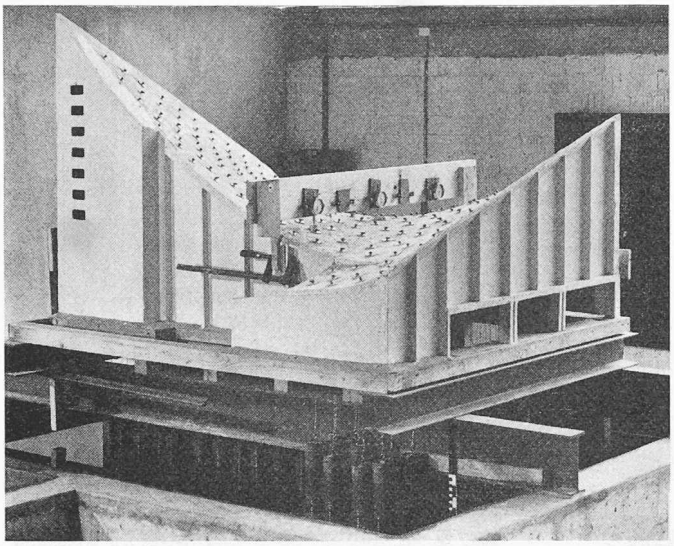


Bild 12. Kirche in Winkeln, St. Gallen. Bestimmung der Traglast an einem Modell 1:20 aus armiertem Mörtel

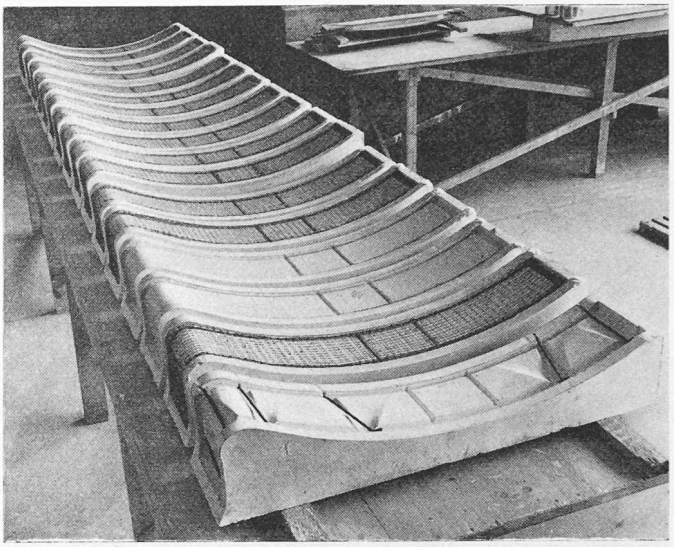


Bild 13. Zentrallager des VSK in Wangen b. Olten. Uebersicht über die «Schalungen» für die Herstellung der vorfabrizierten Elemente im Masstab 1:10 mit den masstabgetreu hergestellten Armierungs- und Spannkabelverankerungen (vgl. SBZ 1962, H. 50 und RILEM 1962 Nr. 10).

Bilder 12 bis 15. Realversuche

Gruppe von «Bausteinen». Je grösser der Prüfkörper gegenüber dem einzelnen «Korn», um so geringer ist die Streuung der Messwerte. Die üblichen Prüfkörper für Beton weisen z. B. eine lineare Ausdehnung von nur etwa dem Zehnfachen des grössten Einzelkornes auf. Es wäre hier undenkbar, die Grösse der Prüfkörper noch weiter zu verringern, will man überhaupt noch von einem statistischen Mittelwert für das Zusammenwirken der Gesamtstruktur sprechen können. Aus dem gleichen Grunde ist es unmöglich, kleine Modelle aus Beton herzustellen, ohne gleichzeitig dessen Feinstruktur zu verkleinern. Es ist so eine Hauptaufgabe für die Technik des Realversuches, wo notwendig, Mikromaterialien zu entwikkeln, die sich modellmechanisch ähnlich (nicht unbedingt gleich) zum wirklichen Material verhalten. Die erwiesene Tatsache, dass dies trotz der vielseitigen Probleme, die sich hier im einzelnen noch stellen, möglich ist, eröffnet der Modellversuchstechnik für die Anwendung im Bauingenieurwesen ungeahnte Perspektiven.

Das Tragverhalten von komplexen Baukonstruktionen kann nämlich nun, was bisher noch keiner Theorie zu beschreiben gelungen ist, während des ganzen Belastungsablaufes von Null bis zum Bruch beobachtet und gemessen werden, wobei sich u. a. auch die Stabilitätserscheinungen in ihrem Ablauf verfolgen lassen.

Die Ausführung derartiger Versuche ist also vor allem dort von brennendem Interesse, wo uns keine Theorie genügend schlüssige Auskunft über das Tragverhalten geben kann. Wir begegnen solchen Problemen täglich, und ein klassisches Beispiel hiefür ist das der Krafteinleitung, die Beurteilung der Zulässigkeit von Spannungskonzentrationen, Fragen, bei denen einmal der elastisch kaum zu erfassende räumliche Spannungszustand und zudem die Plastizität des Materials von ausschlaggender Bedeutung sind. Für die praktische Anwendung führen uns hier oft elastische Modellversuche (Spannungsoptik!) nicht wesentlich näher zur richtigen Beurteilung des Problems. Wohl können wir uns bei den immer wiederkehrenden Aufgaben dieser Natur (z. B. Niete, Schrauben, Spannkopfverankerungen) auf die Ergebnisse von Grossversuchen berufen. Aber gerade die Krafteinleitungsprobleme an ganzen Bauwerken können so individuell sein, dass man sich zu deren Beurteilung selten auf schlüssige Versuche stützen kann. Als Beispiel sei hier nur das immer noch nicht allgemein gelöste Problem des Durchstanzens von Säulen durch pilzlose Decken erwähnt. Hier liegen die wichtigen Anwendungsgebiete für den Realversuch. Es sind immer die Fälle, wo sich die Ausführung von Grossversuchen im erforderlichen Umfange wegen des zu grossen Aufwandes nicht mehr vertreten lassen.

Zum Abschluss sei der Versuch unternommen, in einer schematischen Darstellung die Anwendungsbereiche von üblicher statischer Berechnung, elektronischem Rechnen und Modellversuchstechnik einander anschaulich gegenüberzustellen, Bild 16. Die Darstellung hat natürlich nur qualitativen Wert. Die relative Lage der Kurven zueinander ist einerseits nicht eindeutig und zudem einer ständigen Bewegung unterworfen. Wesentlich

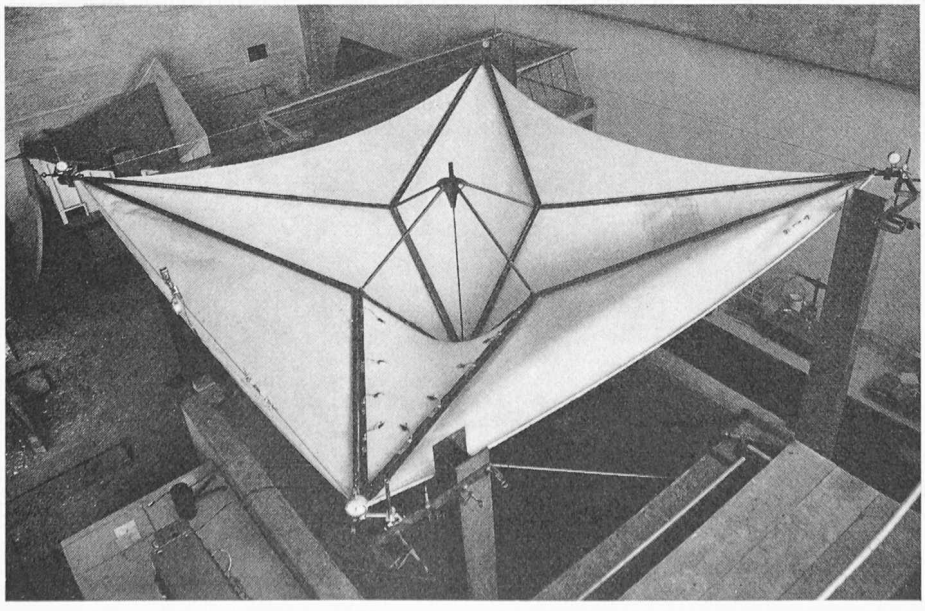


Bild 15. EXPO 64, Sektor 5. Messungen an einer materialgerecht hergestellten Pilzeinheit der für einen Pavillon an der Landesausstellung in Lausanne geplanten Polyester-Stahlverbundkonstruktion. Vgl. Bericht über «World conference for Shell stuctures» San Francisco 1962.

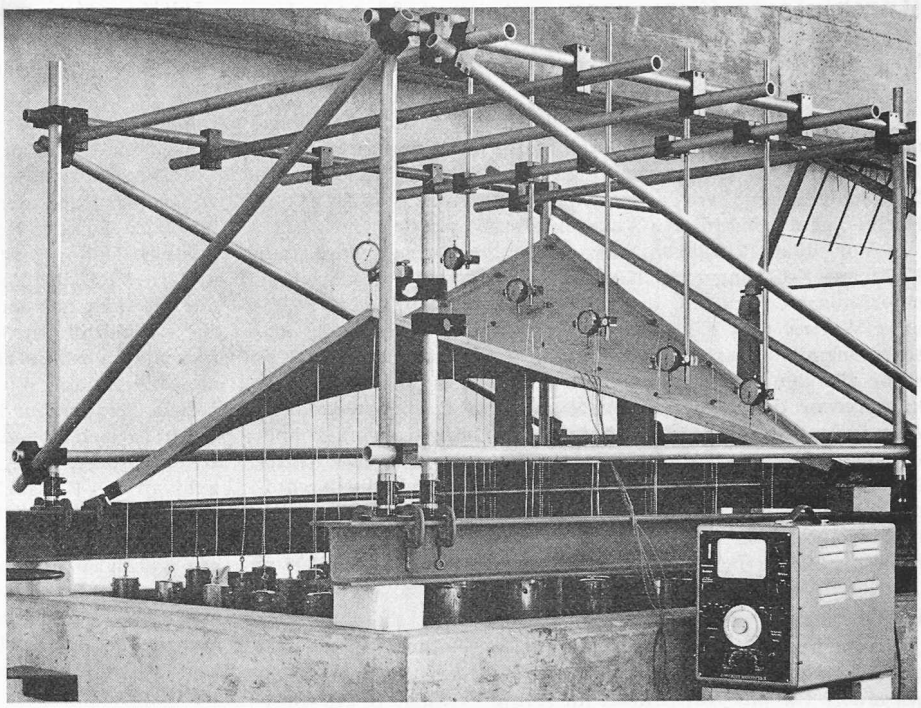


Bild 14. Schalendachkonstruktion aus Holz für ein Ferienhaus. Durchbiegungs- und Dehnungsmessungen an einem naturgetreu nachgebildeten Holzmodell.
Vgl. «Werk» 1963 Nr. 3

und sicher ist aber folgendes: Sowohl die Aufwandkurve (Aufwand für die Ausführung der statischen Untersuchung relativ zur Bausumme) für die übliche statische Berechnung als auch diejenige des elektronischen Rechnens streben der gemeinsamen Asymptote, die durch die Grenze der theoretischen Beschreibbarkeit gegeben ist, zu, während die Aufwandkurve für die Modellversuche, ohne mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad wesentlich anzusteigen, diese Grenze ohne weiteres durchbricht.

Wir können hoffen, dass uns mit der weiteren Entwicklung der Modellversuchstechnik das Mittel in die Hand gegeben wird, *alle* uns durch die Praxis gestellten Probleme mit Sicherheit direkt zu lösen, statt, wie wir uns bisher oft zu tun gezwungen sehen, ihnen auszuweichen.

Nachsatz der Redaktion. Mit dem vorliegenden Aufsatz wurde vor allem das Ziel verfolgt, die in rascher Entwicklung begriffene Modellversuchstechnik mit den bekannten Berechnungsmethoden in Beziehung zu bringen und dadurch sowohl das Gemeinsame dieser Untersuchungsmethoden als auch deren gegenseitige Abgrenzung festzuhalten. Es besteht die Absicht, in einigen weiteren Aufsätzen sowohl über den Stand der Modellversuchstechnik im Ausland als auch über einige ausgewählte theoretische und experimentelle Probleme dieser Technik zu berichten.

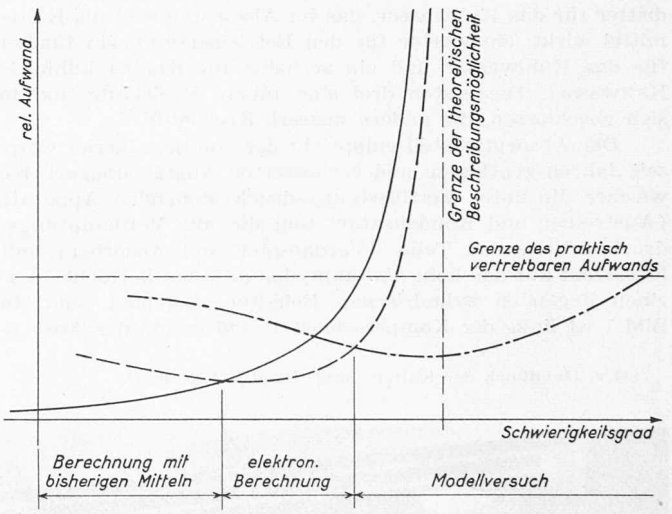


Bild 16. Anwendungsbereiche verschiedener Untersuchungsmethoden. Relativer Arbeitsaufwand in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsgrad

Schweizerische Beleuchtungskommission

DK 621.576.5

Mehr als 40 Mitglieder, Delegierte von Kollektiv-Mitgliedern und Vertreter von Subvenienten fanden sich am 19. März 1963 im Kursaal Bern zur 3. Generalversammlung der Schweizerischen Beleuchtungskommission (SBK) ein. Unter den Traktanden stiess vor allem das Arbeitsprogramm für das laufende Jahr auf besonderes Interesse, aus dem drei Punkte besonders hervorgehoben seien.

Die allgemeinen *Leitsätze für Beleuchtung* (letztmals 1947 herausgegeben) sind revisionsbedürftig. Die Fachgruppe 1 der SBK arbeitet seit Monaten angestrengt an einer Neufassung. Es gilt, der technischen Entwicklung der Lichtquellen und den neuen Erkenntnissen der Beleuchtungstechnik Rechnung zu tragen. Ganz besonders interessieren die neuen Werte der zu empfehlenden Beleuchtungsstärken. Die Tendenz, sie zu erhöhen, hat sich in den letzten Jahren verstärkt, und heute herrscht in weiten Kreisen eine Unsicherheit, welche Werte als richtig zu betrachten sind. Neben den recht komplexen physiologischen Erwägungen gilt es, auch dem wirtschaftlichen Moment Rechnung zu tragen. Vorläufig kann mit Sicherheit gesagt werden, dass die Ansätze für die Beleuchtungsstärken allgemein erhöht werden müssen, dass aber eine Angleichung an die amerikanischen Auffassungen nicht angezeigt scheint.

Der Vorstand der SBK ist der bestimmten Auffassung, dass die *Beleuchtung der Autobahnen* aus Gründen der Verkehrssicherheit und um die Verkehrsdichte bei Tag durch Erleichterung des Nachtverkehrs aufzulockern, für die Zukunft eine unbedingte Notwendigkeit ist. Als Mindestmassnahme sollten alle Vorkehrungen getroffen werden, um später ohne Mehrkosten eine Beleuchtung einbauen zu können. Die Fachgruppe 5 wird ihre Leitsätze für die Beleuchtung der Autobahnen und Express-Strassen in den nächsten Monaten publizieren, und die SBK hofft, mit diesen Unterlagen einen Beitrag zu einer fortschrittlichen Gestaltung unserer Nationalstrassen leisten zu können.

Die SBK wird sich an der *50-Jahrfeier der Commission Internationale de l'Eclairage* vom 18. bis 26. Juni 1963 in Wien mit einer Gruppe von Interessenten beteiligen. Verschiedene dieser Fachleute haben seit den letzten internationalen Tagungen in Zürich und Brüssel in Arbeitsgruppen zur Verfolgung lichttechnischer Fragen mitgearbeitet. Durch die Zusammenfassung internationaler Erfahrungen und neuester Erkenntnisse sollen auch einige die Schweiz interessierende Probleme abgeklärt werden können. Allen Interessenten für diese Tagung gibt der Sekretär der Schweizerischen Beleuchtungskommission, Dr. H. Schindler, SEV, Tel. 051/34 12 12, gerne weitere Auskunft.

Zürich, den 4. April 1963. *W. Flückiger.*