

# Variantenuntersuchungen von Pressengestellen mittels Spannungsoptik und Moiréverfahren

Joachim Heymann, Roland Meyer

## 1. Problemstellung

Bei der Weiterentwicklung hydraulischer Einständerpressen kommt es darauf an, Leistungsfähigkeit und Gebrauchswerteigenschaften zu erhöhen, Werkstoff einzusparen und Schadensfälle auszuschließen. Die Erfüllung dieser Forderungen soll durch Modellversuche bezüglich der Parameter Steifigkeit, Werkstoffeinsparung, Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit erfolgen.

Für Variantenuntersuchungen an den aus Kunstharz modellierten Pressengestellen eignen sich besonders die beiden optischen Feldmeßverfahren Spannungsoptik und Moiréverfahren. Der Variantenvergleich liefert Informationen über die Veränderung von Spannungen und Dehnungen in den untersuchten Bereichen. Darüber hinaus kann im Ergebnis von Durchsenkungsmessungen auf die zu erwartende Pressensteifigkeit geschlossen werden.

## 2. Modellwerkstoff und Modellherstellung

Zunächst stand ein aus dem Methacrylatharz Piacryl (Hersteller: VEB Stickstoffwerk Piesteritz) gefertigtes Modell zur Verfügung [1], [2]. Als Vorteile von Piacryl können der handelsübliche Bezug in nahezu jeder erforderlichen Dicke und die relativ kurzen Aushärtezeiten des Klebers KALLOPLAST (Hersteller: VEB Spezialchemie Leipzig) angeführt werden. Dem stehen jedoch folgende Nachteile gegenüber: Die spannungsoptische Empfindlichkeit des Methacrylatharzes ist äußerst gering. Spannungskonzentrationen sind deshalb nur mit

dem spannungsoptischen Oberflächenschichtverfahren auffindbar, wobei hier diese Schichten wegen der Gleichheit der E-Moduli versteifend wirken. Damit ist das viskoelastische Verhalten von Piacryl, insbesondere beeinflusst durch die Klebverbindungen, stärker ausgeprägt als z. B. bei Epoxidharzen EG 1 und EGK 19 (Hersteller: VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“). Außerdem kann die spannungsoptische Empfindlichkeit des Epoxidharzes bei den nachfolgenden Untersuchungen mit ausgenutzt werden. Wegen dieser Vorteile wurden die Pressmodelle aus selbstgegossenen und auf die erforderliche Dicke gefrästen Epoxidharzplatten hergestellt.

Bild 1 zeigt eine Gegenüberstellung des Kriechverhaltens von Piacryl und den Epoxidharzen EG 1 und EGK 19.

## 3. Spannungsoptische Untersuchungen

Zunächst wurde das Pressenskelett ohne Verkleidung, Bild 2, mit Hilfe des spannungsoptischen Reflexionsverfahrens untersucht, wobei die entsprechenden Flächen auf der Rückseite der Wippen und der Zuganker einen Reflexionsbelag aus Alusil (Hersteller: VEB Chemiewerk Nünchritz) erhielten. Bild 3 zeigt eine spannungsoptische Aufnahme der Wippen. Die in Bild 4 zu sehenden Isochromaten eines der Zuganker lassen die Überlagerung einer relativ hohen Biegebeanspruchung erkennen. Dieser Biegeanteil muß, wenn das Auffedern der Presse minimiert werden soll, über eine angeschweißte sog. Brustplattenverkleidung aufgenommen werden. Es konnte nachgewiesen werden, daß die Brustplattenverkleidung

Der Elastizitätsmodul der verwendeten Modellwerkstoffe als Funktion der Zeit

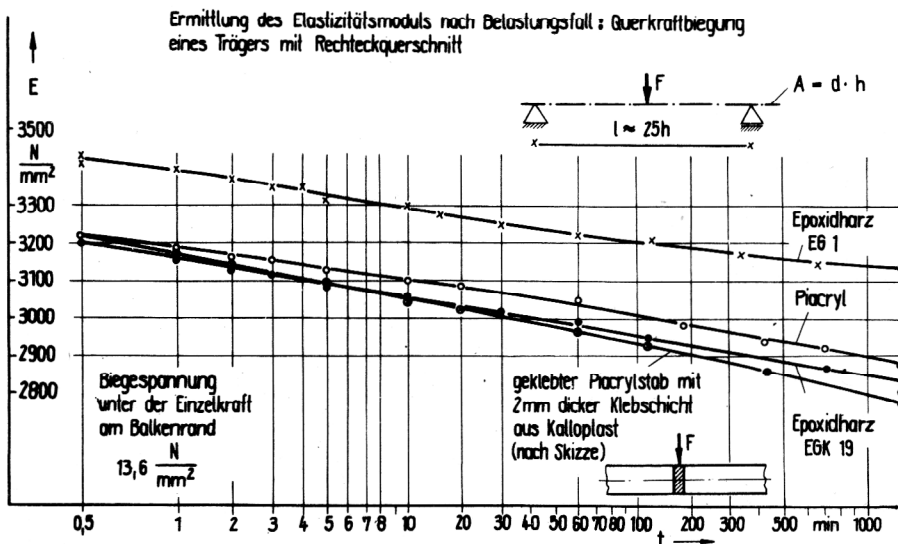
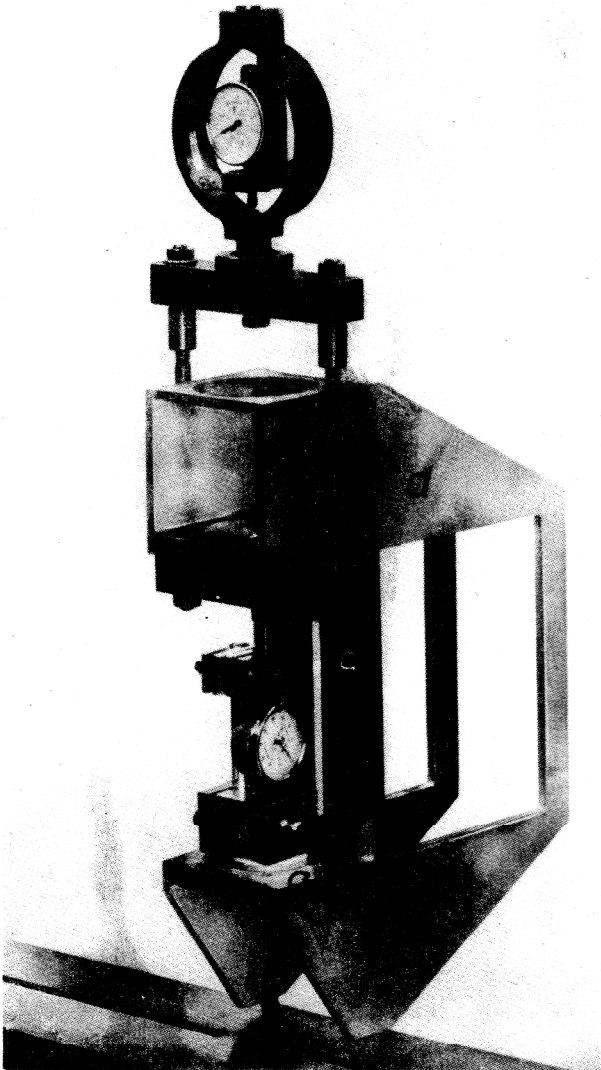


Bild 1 Darstellung des Kriechverhaltens der verwendeten Modellwerkstoffe



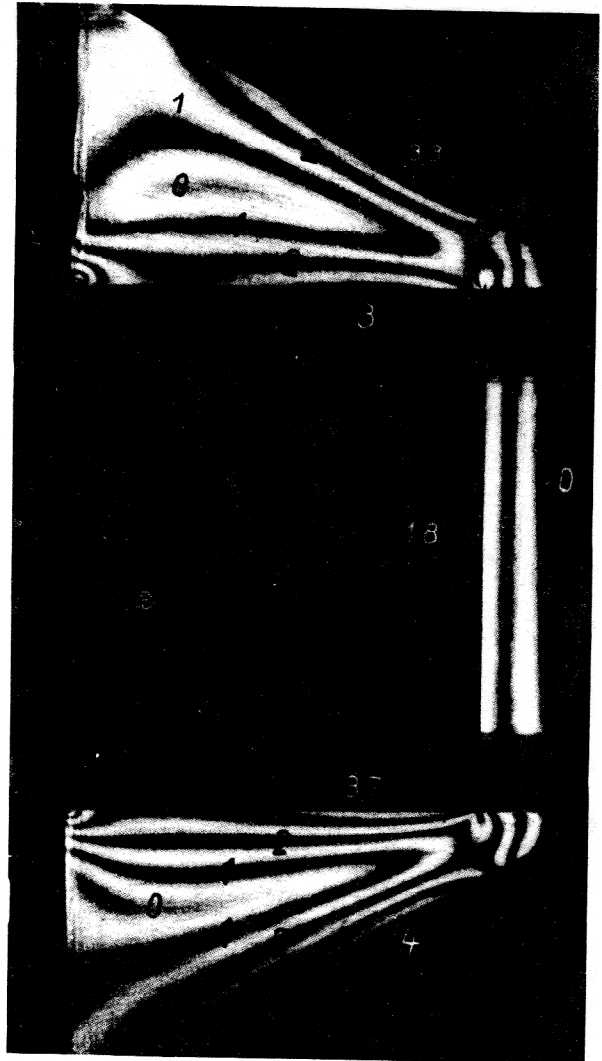
**Bild 2**  
Skelettmodell der Einständerpresse ohne Verkleidung mit den Hauptteilen Tisch (a), Kopfplatte (b), Anker (c) und Wippen (d)

in der vorgesehenen Form diese Aufgabe nicht erfüllen kann, so daß eine Konstruktionsänderung erforderlich wurde.

Die wichtigsten Bereiche für die Zuverlässigkeit des Pressengestells sind die Übergänge vom Pressenkopf zur Brustplatte und vom Pressentisch zur Brustplatte. Dort sind die größten Spannungen zu erwarten. Solche Bereiche wären bei Untersuchungen am Skelettmodell nur mit Hilfe des Erstarrungsverfahrens der räumlichen Spannungsoptik zugänglich.

Um Aufwand und Zeit der Untersuchung zu senken, wurde ein weiterer Vorteil der Epoxidharzmodelle genutzt. In das voll verkleidete Pressenmodell, Bild 5, wurden Epoxidharzschichten mit aufgedampftem Reflexionsbelag aus Aluminium eingebettet.

Damit können Aussagen über die Größe der Spannungen an den leicht zu verändernden Kerbradien zwischen Pressenkopf bzw. Pressentisch und Brustplatte erhalten werden. Bild 6 zeigt das Isochromatenbild einer ausgewählten Radiengröße zwischen Pressentisch und Brustplatte, wobei die Epoxidharzschicht Bestandteil des Modells ist. Die Berechnung der Modellspannung erfolgt dabei nach der Hauptgleichung des spannungsoptischen Reflexionsverfahrens



**Bild 3**  
Isochromatenbild der Wippen des Skelettmodells

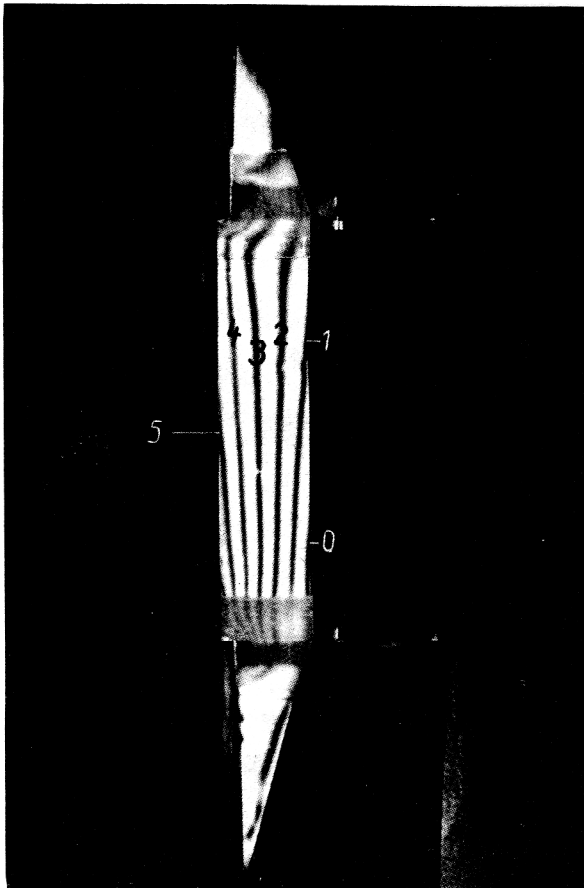
$$\sigma_1 - \sigma_2 = n \frac{S}{2d} \quad (1)$$

wobei

$\sigma_1, \sigma_2$	Hauptspannungen
$n$	Isochromatenordnung
$S$	Spannungsoptische Konstante
$d$	Schichtdicke

bedeuten.

Es wird noch erwähnt, daß vor dem Einbetten der Schichten die erforderlichen Durchsenkungsmessungen am voll verkleideten Pressenmodell zur Steifigkeitsbestimmung durchgeführt wurden.



**Bild 4**  
Isochromatenbild eines Zugankers des Skelettmodells

#### 4. Untersuchungen mit dem Phasengitter-Moireverfahren

Die eingebetteten Schichten liefern bei spannungsoptischen Untersuchungen nur einen Mittelwert der Modellspannung über die Schichtdicke. Die Ergebnisse sind um so genauer, je kleiner der Spannungsgradient ins Modellinnere ist. Zur Überprüfung wurde deshalb bei einigen Varianten das Phasengitter-Moireverfahren im Auflicht auf der Grundlage des Meßprinzips „Überlagerung von verzerrtem Objektgitter und Bezugsgitter“ [3], [4] angewendet. Die entstehenden Moirestreifen heißen hier Isotheten und stellen Linien gleicher kartesischer Verschiebungskoordinate senkrecht zum Bezugsgitter dar. Ihre Auswertung erfolgt mit der Näherungsbeziehung

$$\epsilon_x \approx \frac{p}{a_x}, \quad (2)$$

wobei

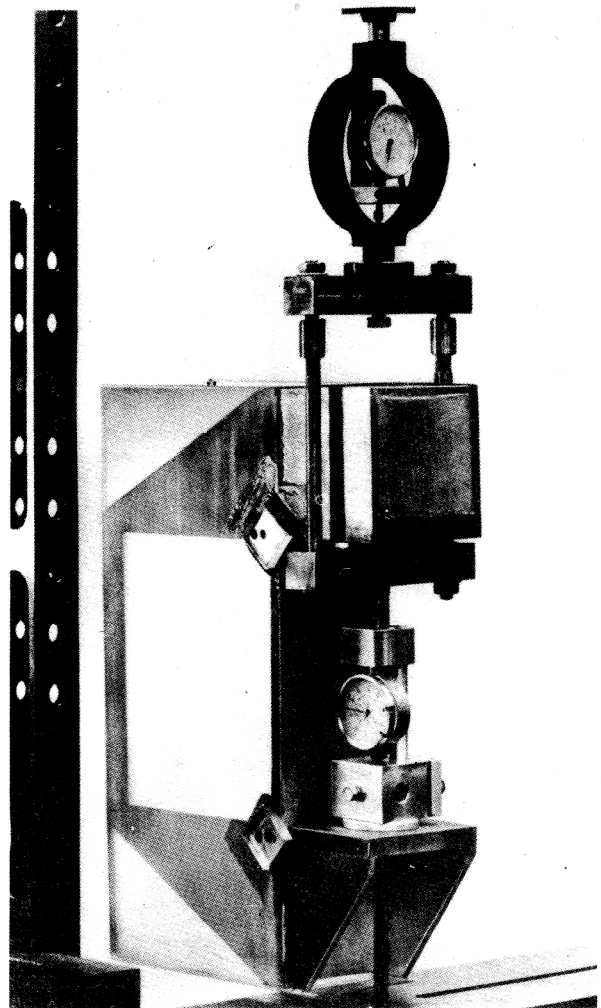
$\epsilon_x$  Dehnung zwischen zwei benachbarten Isotheten

$a_x$  Abstand zwischen zwei benachbarten Isotheten

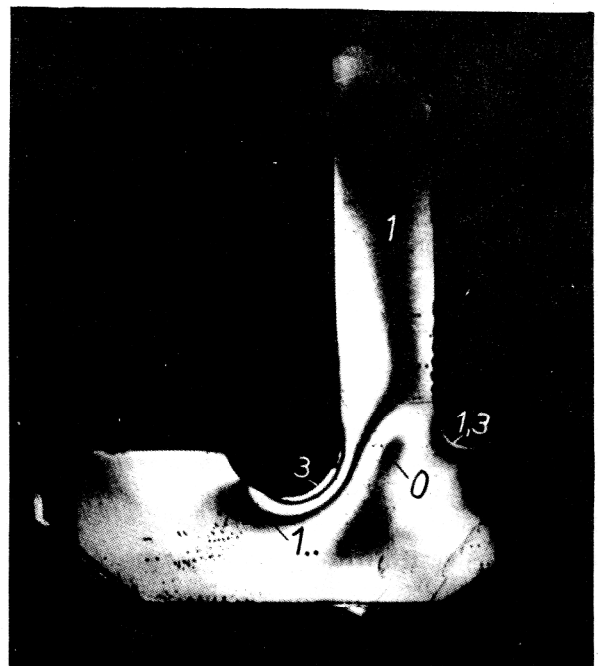
$p$  Gitterteilung

bedeuten.

Die Herstellung der Phasengitter geschieht mit Hilfe der Replica-Technik [5]. Bild 7 erläutert die Objektgitter-

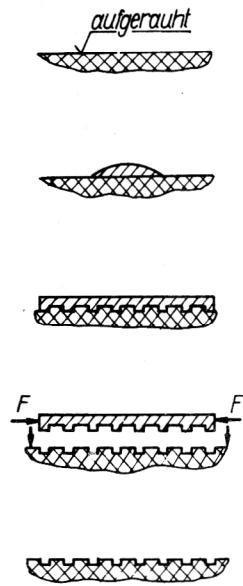


**Bild 5**  
Voll verkleidetes Epoxidharzmodell der Einständerpresse in der Belastungsvorrichtung



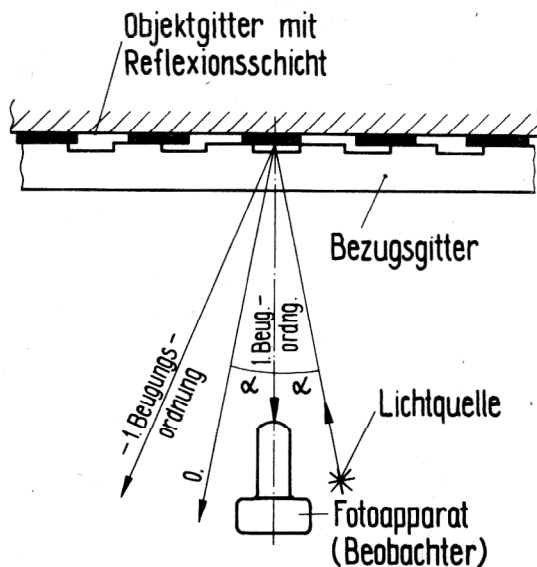
**Bild 6**  
Isochromatenbild einer in das Modell eingebetteten Epoxidharzschicht am Übergang zwischen Pressentisch und Brustplatte

1. Modell aus Epoxidharz entfetten und aufrauen
2. Epoxidharz aufbringen
3. Transparentes Phasengitter (Bezugsgitter) aus Piacryl aufdrücken
4. Modell vom Gitter durch leichten Druck ablösen
5. Ergebnis: Modell mit periodischer Oberflächenstruktur = transparentes Phasengitter (Objektgitter)



### Replica-Technik-Objektgitterherstellung

**Bild 7**  
Herstellung der Objektgitter nach der Replica-Technik

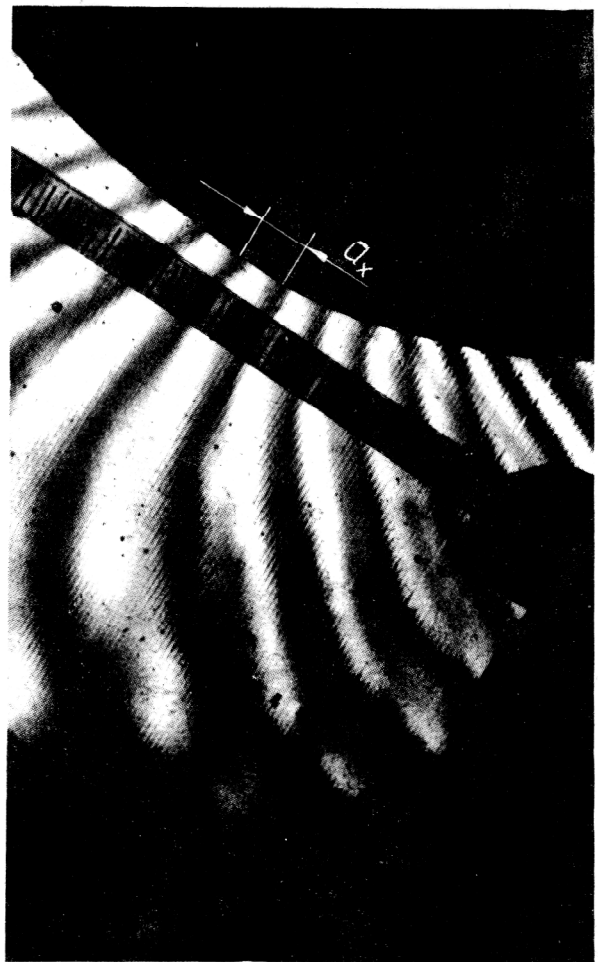


**Bild 8**  
Versuchsanordnung zur Sichtbarmachung der Moirerestreifen im Auflicht

herstellung. Die für das Reflexionsverfahren erforderliche Reflexionsschicht aus Aluminium oder Indium wird im Hochvakuum auf das Bezugsgitter aufgedampft und muß gleichzeitig mit der Abformung der Gitterstruktur auf das Objektgitter übertragen werden.

Phasengitter haben gegenüber Amplitudengittern mehrere Vorteile wie geringere Herstellungskosten und höhere Lichtintensität.

Bild 8 zeigt die Versuchsanordnung zur Sichtbarmachung der Moirerestreifen im Auflicht. In Bild 9 ist das



**Bild 9**  
Moirerestreifenfeld im Bereich eines Übergangsradius vom Pressentisch zur Brustplatte; Phasengitter mit 250 Linien/mm

Moirerestreifenfeld im Bereich des Übergangs vom Pressentisch zur Brustplatte zu sehen, wobei Gitter mit 250 L/mm verwendet wurden.

### 5. Ergebnisse

Als Beispiel wird das Ergebnis einer Variantenuntersuchung angegeben, die am geeigneten Pressentyp durchgeführt wurde.

Bei einer Belastung vom  $F = 800 \text{ N}$  und einer Radiengröße an den Übergängen vom Pressenkopf bzw. Pressentisch zur Brustplatte von  $r = 5 \text{ mm}$  wurden folgende Modellspannungen ermittelt:

Maximale Kerbspannung am Übergangsradius Pressenkopf/Brustplatte  $\sigma = 5,87 \text{ N mm}^{-2}$

Maximale Kerbspannung am Übergangsradius Pressentisch/Brustplatte  $\sigma = 6,55 \text{ N mm}^{-2}$

Die Zugspannung an der Außenseite der Brustplatte etwa in der Mitte des Arbeitsraumes beträgt dagegen nur  $\sigma = 1,47 \text{ N mm}^{-2}$

## LITERATUR

- [1] Heymann, J.: Einsatz optischer Feldmeßverfahren in der industriellen Praxis. Tagung Moderne theoretische und experimentelle Untersuchungsmethoden der Festkörpermechanik, TH Karl-Marx-Stadt 1980, S. 60 – 64.
- [2] Heymann, J.; Meyer, R.: Spannungs- und Dehnungsanalyse an Pressengestellen mittels optischer Feldmeßverfahren. II-nd National Symposium of Experimental Stress Analysis. Cluj 1980, Bd. B, S. 3 – 9.
- [3] Vocke, W.; Ullmann, K.: Experimentelle Dehnungsanalyse. Dehngitter- und Moireverfahren. VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1974.
- [4] Heymann, J.; Meyer, R.: Beitrag zur Herstellung von Phasenrastern für Dehnungsmessungen mit dem Moireverfahren. Wiss. Z. d. Techn. Hochschule Karl-Marx-Stadt 14 (1972) 5, S. 647 – 658.
- [5] Jantschke, B.: Optische Grundlagen und Versuchstechnik der Moirestreifenmultiplikation im Durchlicht. Wiss. Z. d. Techn. Hochschule Karl-Marx-Stadt 18 (1976) 3, S. 265 – 271.

### Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Heymann  
Dipl.-Ing. Roland Meyer  
Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt  
Sektion Maschinen-Bauelemente  
9010 Karl-Marx-Stadt  
PSF 964

### Fortsetzung von Seite 16

wendeten Praxis einer Berechnung nach zulässigen Spannungen wird auf die zunehmende Tendenz einer Berechnung nach Grenzzuständen eingegangen und dies an einem einfachen Beispiel erklärt. Nach einer zusammengefaßten Behandlung der Berechnungsverfahren für Flächenmomente im Kapitel 6 werden in den Kapiteln 7 bis 14 die Grundbeanspruchungen für gerade und gekrümmte Stäbe behandelt. Die für den Bauingenieur typischen Aufgaben der Berechnung des Kerns eines Querschnittes und der Berechnung von Spannungen bei versagerer Zugzone sind enthalten. Das Kapitel 15 gibt einen ersten Einblick in eine Festigkeitsrechnung bei elastisch-plastischen Materialeigenschaften, Kapitel 16 behandelt die Stabilität des geraden Stabes und Kapitel 17 enthält eine kurze Einführung in die Berechnung von Verbundtragwerken. Die Kapitel 13 (Elastische Stützung) und 17 (Verbundträger) sind in den früheren Auflagen nicht enthalten gewesen. E. Schlechte vertritt jedoch die Auffassung, daß beide Gebiete an Bedeutung gewonnen haben und jetzt auch in einem einführenden Lehrbuch behandelt werden sollten. Die Zusammenstellung wichtiger Ergebnisse in übersichtlichen Tafeln am Ende des Buches wird von den Benutzern sicher begrüßt werden. Als kritische Anmerkung des Rezensenten sei festgestellt, daß Überlagerungen von Grundbeanspruchungen mit Ausnahme des speziellen Problems der schiefen Biegung nicht behandelt werden und auch auf Beispiele räumlich beanspruchter Konstruktionen ganz verzichtet wird. Wenn der Umfang des Buches beibehalten werden sollte, hätte er lieber an einigen Stellen die Behandlung grafischer Verfahren gestrafft.

Abschließend sei bemerkt, daß die Festigkeitslehre für Bauingenieure von E. Schlechte ein gut durchdachtes Lehr-

buch ist und die offizielle Anerkennung als Hochschullehrbuch voll verdient. Es ist zu wünschen, daß dieses im Studium der Bauingenieure gut eingeführte Lehrbuch auch nach dem Tode des Verfassers in weiteren Auflagen erscheinen möge.

Johannes Altenbach

*Hampe, E.: Rotationssymmetrische Flächentragwerke. Einführung in das Tragverhalten. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1981, 194 Seiten, 176 Tafeln, 15 Fotos, 29,5 x 21 cm, Leinen, 57,- M.*

Dem auf dem Gebiet des Entwurfs und der Berechnung von Flächentragwerken tätigen Wissenschaftler und Ingenieur ist das umfangreiche vierbändige Standardwerk „Statik rotationssymmetrischer Flächentragwerke“ von E. Hampe vertrautes und unentbehrliches Hilfsmittel. Nachdem auch die 3. Auflage vergriffen ist, legt der Autor mit dem 1. Band der 4. Auflage eine völlig neu bearbeitete und konzeptionell anders gestaltete Form seines Standardwerkes vor. Dieser 1. Band ist als Einführungsband gedacht und hat das Ziel der Darlegung der Möglichkeiten und Grenzen der Theorie der Rotationsschalen, einer übersichtlichen Darstellung des Tragverhaltens von Rotationsschalen und der Vermittlung von Kenntnissen zu ihrer qualitativen Beurteilung. Schalenkonstruktionen werden heute allgemein mit Hilfe universeller oder spezieller leistungsfähiger Programme auf elektronischen Datenverarbeitungsanlagen berechnet. Die Festlegung eines qualitativ richtigen Berechnungsmodells, das eine kostengünstige Analyse der Schalenkonstruktion einschließlich umfangreicher Variantenuntersuchungen ermöglicht, und die Einordnung und Beur-

teilung der erhaltenen Ergebnisse setzen beim Autor viel Erfahrung und die Fähigkeit voraus, das Beanspruchungsverhalten qualitativ richtig einschätzen zu können.

Das vorliegende Buch ist in 6 Abschnitte untergliedert. Im 1. Abschnitt „Grundlagen zur Untersuchung von Flächentragwerken“ werden eine Klassifikation der Flächentragwerke vorgenommen und die Schnittgrößen und Formänderungen definiert. Der 2. Abschnitt erläutert an ausgewählten Beispielen die Bedeutung der Rotationsschalen für das Bauwesen. Kapitel 3 stellt übersichtlich die wichtigsten Typen von Rotationsschalen zusammen. Das umfangreichere Kapitel 4 erläutert das prinzipielle Tragverhalten von Rotationsschalen (Membranzustand und Biegezustand bei rotationssymmetrischen und bei periodischen Belastungen). Kapitel 5 behandelt die Berechnungsgrundlagen und die Rechenhilfsmittel an ausgewählten Beispielen, und das abschließende Kapitel 6 stellt an ausgewählten Problemen die Grenzen der Anwendung der linear-elastischen technischen Schalentheorie für dünnwandige Konstruktionen mit statischer Belastung dar. Ausgewählt wurden solche für die Anwendung besonders wichtigen Problemgruppen wie dicke Schalen, Sandwichkonstruktionen, Stabilitäts- und Schwingungsuntersuchungen, Berechnung nach Grenzzuständen.

Alle Kapitel enthalten in sehr kurzer Form die wichtigsten Gleichungen zur mathematischen Beschreibung des gewählten Modells. Dabei geht es dem Autor nicht um eine Ableitung dieser Gleichungen, sondern um ihre richtige Einordnung und Bewertung. In sehr übersichtlich gestalteten Bildtafeln werden alle Ausführungen anschaulich dargestellt. Es ist zu begrüßen, daß auf eine umfangreiche Literaturdokumentation verzichtet wurde, um den Charakter dieses Einführungsbandes beizubehalten.

Es kann dem Autor und dem Verlag zu der Weiterführung des bewährten Standardwerkes in neuer Form nur gratuliert werden. Der Rezensent ist gespannt, wie sich diese neue Konzeption auf die weiteren Bände auswirken wird.

Johannes Altenbach