Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 69 (1951)

Heft: 37

Artikel: Erfahrung in der Anwendung elektrischer Dehnungsgeber ("strain gages")

Autor: Meier, J.H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-58920

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: 13.07.2025

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

Grabsteinen ausgesetzt werden. Die Grabmalhöhe wurde daher für Steine auf 80 cm, für Holzkreuze auf 110 cm begrenzt. Bei all diesen Bestrebungen erhielten wir schönste Unterstützung durch Behörde und Bevölkerung. Einzig die (auswärtigen) Grabsteinfabrikanten sind sehr unzufrieden mit uns.

Von sich aus ist die Gemeinde auch dazu übergegangen, anstatt der üblichen Täfelchen mit Grabnummer auswechselbare Holzkreuze mit dem Namen des Verstorbenen zu setzen. Es zeigt sich nun vielfach, dass dieses einfache Kreuz einem anspruchsvollen Stein vorgezogen und definitiv belassen wird. Die Bevölkerung liebt diesen Friedhof und pflegt ihn. An Sonntagen und Sommerabenden wird viel dorthin spaziert und auf einem Bänklein besinnlich ausgeruht. So trägt diese Stätte in ihrer natürlichen Weihe dazu bei, eine schöne Beziehung der Lebenden zu ihren Toten zu erhalten.

Die Anlage ist im Herbst 1948 eingeweiht worden. Für eine spätere Etappe ist noch die Erstellung einer Friedhofkapelle geplant, da sich der Weg von der Dorfkirche bis zum Friedhof, namentlich im Winter, doch als etwas zu weit erwiesen hat. Auch ist die Kirche besonders für kleine Abdankungen zu gross. Ein intimer Raum ist eine Notwendigkeit. Die Kapelle soll am nordöstlichen Rand des «Hauptplatzes» hinter den ersten Baumreihen erstehen und zusammen mit dem Dienstgebäude den Schwerpunkt der Anlage bilden. Ich freue mich darauf, das kleine Werk eines Tages auf diese Weise zu vollenden.

Das Dienstgebäude nimmt vorderhand in einer offenen Halle die Wartenden auf. Es enthält auch eine kleine Leichenhalle, einen Geräteraum für den Friedhofgärtner und ein W C. Das Dach ist mit Schiefer eingedeckt, was einen feineren Masstab gibt als die üblichen Pfannenziegel. Die Anlage bietet für rund 900 Gräber Platz, wobei die Wiese vor dem Wald weitere 300 aufnehmen kann. Die Baukosten betrugen ohne Landerwerb aber einschliesslich der Honorare 108 000 Fr.

R. H.

Erfahrungen in der Anwendung elektrischer Dehnungsgeber («strain gages»)

DK 531.781.2 : 621.879

Von Dr. sc. techn. J. H. MEIER, Dipl. Ing. ETH, Versuchs-Ingenieur der Bucyrus-Erie Company, South-Milwaukee, Wisconsin, USA

1. Zusammenfassung

Die in diesem Aufsatz beschriebenen Methoden und Apparate haben sich bei der Untersuchung der Arbeitsvorgänge an schweren Baggern als vorteilhaft erwiesen. Es handelt sich dabei vor allem um die Messung der Grösse und des zeitlichen Verlaufes von Dehnungen infolge statischer oder dynamischer Beanspruchungen vermittelst elektrischer Dehnungsgeber («strain gages»), die in eine Messbrücke eingeschaltet werden. Dabei hat es sich als zweckmässig erwiesen, elektrische Bezugsignale einzuführen. Es werden Formeln für den Zusammenhang zwischen diesen Bezugsignalen und den Dehnungen angegeben, und es wird eine einfache Methode zur Berechnung der Dehnungen für den Fall entwickelt, dass die einzelnen Geber einer Messbrücke in bezug auf das Dehnungsfeld verschieden angeordnet sind. Weiter werden Methoden zur Abtastung einzelner Dehnungsgeber behandelt, Messbrückenschaltungen angegeben, ein direkt schreibendes Aufzeichnungsinstrument beschrieben und Geber für kleine Verschiebungen sowie für das Messen von Rotationsgeschwindigkeiten und Rotationsbeschleunigungen angegeben. Schliesslich wird eine fahrbare Instrumentenanlage gezeigt. Obschon keine neuen Theorien entwickelt werden, gibt der Verfasser der Hoffnung Ausdruck, dass die hier mitgeteilten Erfahrungen denen zugute kommen mögen, die dieses Gebiet neu betreten, sowie auch solchen, die bereits darin arbeiten und sich für praktische Erfahrungen anderer Techniker interessieren.

2. Zeichen-Erklärung

R_g	Geberwiderstand in einem Brückenarm
R_p	Parallelwiderstand
S	Schubkraft
M	Biegungsmoment (die Kennziffern beziehen sich auf die verschiedenen Schnitte)
a	Distanz zwischen Schnitt 2 und Schnitt 3
b	Distanz zwischen Schnitt 1 und Schnitt 2
ε	Normaldehnung
ε_a	Normaldehnung längs der Geberaxe
ε_n	Normaldehnung senkrecht zur Geberaxe
ε_0	Messdehnung, d.h. Normaldehnung in der gewünschten Richtung (in den Formeln sind ε, ε_a, ε_n und ε_0 in Einheiten von Millionstel cm/cm angegeben)
F	Vom Hersteller bekanntgegebener Geberfaktor
F_a	Empfindlichkeit des Gebers auf Dehnungen längs seiner Axe
F_n	Empfindlichkeit des Gebers auf Dehnungen senkrecht zu seiner Axe. (F_a und F_n sind die relativen Widerstandsänderungen, geteilt durch die entsprechenden relativen Längenänderungen)
k	F_n/F_a Spezifischer Querfaktor der Dehnungsgeber
μ	Poissonsche Zahl
E	Elastizitätsmodul
σ	Normalspannung (σ_0 entspricht ε_0)
τ_{max}	Maximale Schubspannung
A	Querschnittfläche
W	Widerstandsmoment für Biegung oder Torsion, je nach dem einzelnen Fall

Der Brückenfaktor ist durch Gleichung (20) definiert. Unter Einheits-Signal wird das Brücken-Ausgangssignal verstanden, das durch eine relative Widerstandsänderung von 0,000 001 in einem einzigen Brückenarm hervorgerufen wird. Es wird angenommen, dass der Widerstand aller vier Brückenarme in erster Annäherung gleich gross ist.

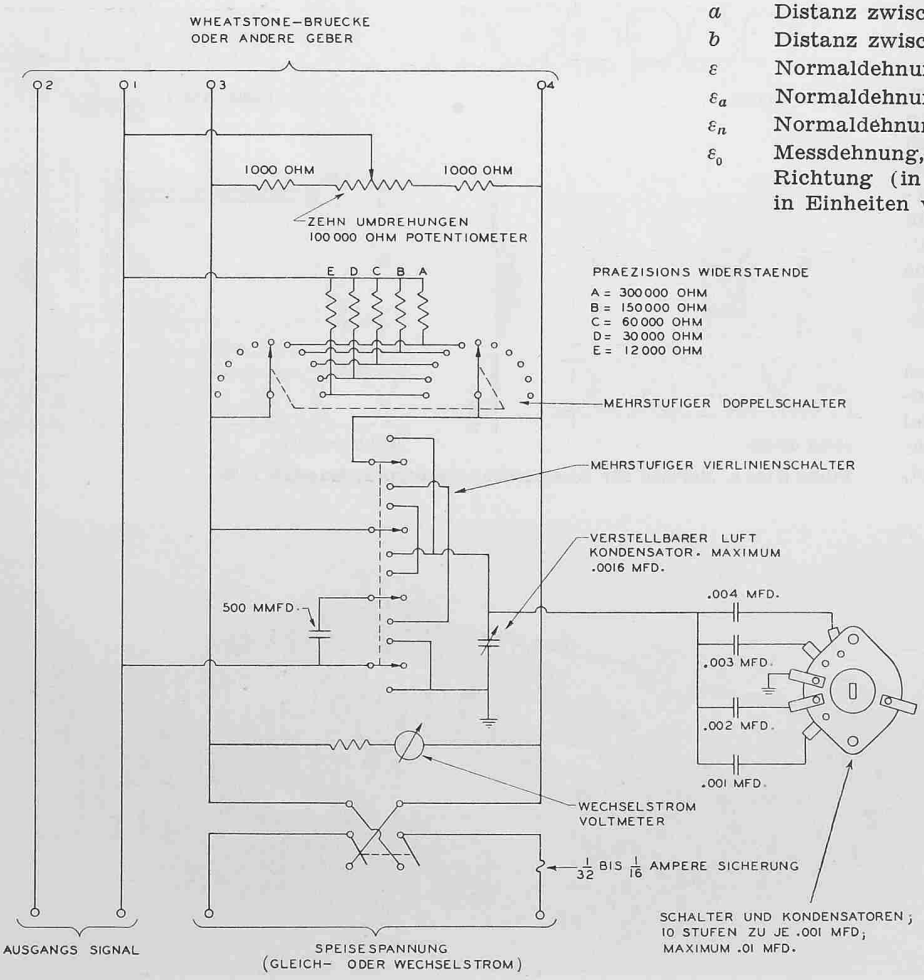

Bild 1. Prinzipschema einer Messbrückenschaltung mit fünf Eichstufen

3. Bezugsignale für Messbrücken

Bezugsignale sind sehr bequem und zuverlässig für die indirekte Eichung von Dehnungsgeber-Stromkreisen. Solche Bezugsignale können leicht beschafft werden, indem ein bekannter Widerstand zu einem Arm der Messbrücke parallel geschaltet wird. Dadurch ergibt sich das Verhältnis zwischen dem Bezugsignal und der tatsächlichen Dehnung unabhängig von der Speisespannung und vom Verstärkungsfaktor der elektrischen Apparatur. Da die relative Widerstandsänderung (Ohm/Ohm) für die meisten Geber nur etwa doppelt so gross ist wie die relative Längenänderung (cm pro cm), braucht man nur verhältnismässig kleine Bezugsignale, so dass das Bezugsignal in erster Annäherung umgekehrt proportional dem Parallelwiderstand ist. Genau ist die relative Widerstandsänderung eines Brückenarmes infolge Parallelschaltung eines Widerstandes gegeben durch die Formel:

$$\text{(1)} \qquad \text{Relative Widerstandsänderung} = \frac{R_g}{R_g + R_p}$$

Das Ausgangsignal einer Messbrücke ist direkt proportional zur relativen Widerstandsänderung im Eichungsarm. Besonders vorteilhaft ist es, die aufeinanderfolgenden Bezugsignale ungefähr im Verhältnis 1, 2, 5, 10, ... abzustufen, zumal bei manchen Versuchen auch die ungefähre Dehnung nicht zum voraus bekannt ist. Der Verstärkungsfaktor der elektrischen Geräte wird dann so eingestellt, dass eine brauchbare Kurve der zu messenden Grösse aufgezeichnet wird. Während die Maschine ruht, wird vor und nach dem Versuch die Null-Linie aufgezeichnet. Dann werden nacheinander Bezugsignale in ansteigender Grössenordnung registriert, bis das grösste Bezugsignal das maximale Versuchsignal überschreitet. Falls positive und negative Dehnungen auftreten, ist es ratsam, die Eichungswiderstände zuerst parallel mit einem Brückenarm zu schalten und dann parallel mit einem anstossenden Brückenarm, so dass man positive und negative Bezugsignale erhält. Das auf Bild 1 dargestellte Schaltschema ermöglicht dies in sehr einfacher Weise. Es ist ratsam, vor den Versuchen eine Tabelle zu berechnen, die die den Bezugsignalen entsprechenden Dehnungen in einem einzigen Geber aufführt. Eine solche Tabelle stützt sich auf durchschnittliche Geberfaktoren und Geberwiderstände, die in Messbrücken-Armen praktisch vorkommen. Sie ist nur annähernd richtig, erlaubt aber eine rasche Bestimmung der auftretenden Dehnungen während den Versuchen. Wenn eine solche Tabelle gebraucht wird, so muss natürlich die für einen einzigen Geber ermittelte Dehnung auf die wirkliche Anzahl der Geber in der Messbrücke und auf die Lage der Geber im Dehnungsfeld umgerechnet werden. Eine genaue Auswertung der Aufzeichnungen verlangt eingehende Eichungsberechnungen auf Grund von Gleichung (1) und der vom Hersteller bekanntgegebenen Geberfaktoren und Geberwiderstände.

Der Ausdruck «Einheitsignal» bezeichnet in diesem Aufsatz das Brücken-Ausgangsignal, das durch eine relative Widerstandsänderung von 0,000001 (ein Millionstel Ohm pro Ohm) in einem einzigen Arm hervorgerufen wird. Diese Grösse wurde willkürlich gewählt, weil sie gut zur gebräuchlichen Einheitsdehnung von einem Millionstel passt. Die Bezugsignale sind meist viel grösser als das hier definierte Einheitsignal. Mit Hilfe der Gleichung (1) können aber die Bezugsignale leicht als Vielfache des Einheitsignals ausgedrückt und entsprechende Faktoren aufgestellt werden.

4. Anordnung von Messbrücken

Dehnungsgeber («strain gages») können auf einem Versuchsstück mit einheitlichem Querschnitt (Wellen, Stahlprofilen usw.) so aufgeklebt und mit einer Messbrücke verbunden werden, dass das Brücken-Ausgangsignal beinahe jede beliebige Grösse darstellt, die der Ingenieur zu messen wünscht (z.B. die Längskraft in einem Stab, das Drehmoment in einer Welle, das Biegungsmoment in einem Balken usw.). Eine Anzahl von Messbrücken-Anordnungen sind bereits aus der Literatur bekannt [1], [2]*; alle haben den

* Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

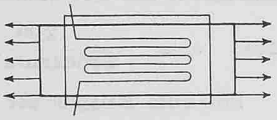

Bild 2. Einaxiges Spannungsfeld als Grundlage für die Eichung von SR-4 Dehnungsgebern. Das Dehnungsfeld ist zweiaxig.

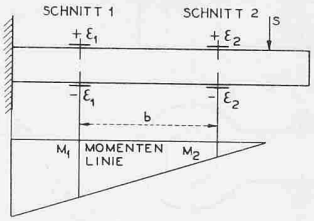

Bild 3. Anordnung der Dehnungsgeber für die Messung von Schubkräften

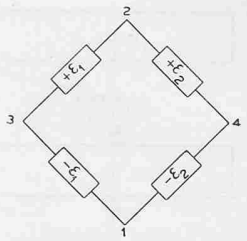

Bild 4. Messbrücken-Schaltung für die Bestimmung von Schubkräften

Vorteil, dass die gewünschte Grösse leicht und direkt abgelesen werden kann und dass sich etwaige Temperatureinflüsse weitgehend aufheben.

Befinden sich Geber in mehreren Armen einer Messbrücke, wie das beim Ermitteln von Kräften, Biege- und Drehmomenten vorkommt, so muss die Natur des Dehnungsfeldes sowie die Anordnung der einzelnen Geber im Dehnungsfeld und in der Messbrücke genau geprüft werden. Der Hersteller eicht die in Amerika gebräuchlichen SR-4-Dehnungsgeber, indem er die Axe des Gebers parallel zur Spannungsaxe eines einaxigen Spannungsfeldes anordnet (Bild 2). Das Eichstück besteht aus Stahl mit einer Poissonschen Zahl von 0,286, und der Querschnitt ist so klein, dass diese Zahl bei Biegung voll zur Geltung kommt. Der Geber erfährt daher bei der Eichung eine Längsdehnung und eine Querkontraktion; da er auf beide empfindlich ist, enthält der Geberfaktor beide Einflüsse. Der Einfluss der Querkontraktion ist allerdings klein, muss aber bei vielen Berechnungen doch berücksichtigt werden. Die relative Widerstandsänderung des Gebers, dividiert durch die Längenänderung des Prüfstabes, wird als Geberfaktor («gage factor») definiert. Falls alle Geber einer Messbrücke in einem Spannungsfeld so angeordnet werden können, dass den Eichbedingungen genau entsprochen wird, ist die Berechnung der Messbrücke besonders einfach.

Der Berechnungsvorgang soll anhand von zwei Beispielen gezeigt werden, nämlich an der Messung der Schubkraft in einem Balken und an derjenigen des Biegungsmomentes an einem unzugänglichen Ort.

5. Schubkraftmessung mittels Widerstandsgebern

Bei einem auf Biegung beanspruchten Balken (Bild 3) kann die Schubkraft ausgedrückt werden zu:

$$\text{(2)} \qquad S = \frac{M_2 - M_1}{b}$$

Ist der Querschnitt unveränderlich, so sind die Biegungsmomente in den Schnitten 1 und 2 gegeben durch:

$$\text{(3)} \qquad M_1 = \varepsilon_1 E W \cdot 10^{-6} \quad \text{und} \quad M_2 = \varepsilon_2 E W \cdot 10^{-6}$$

Daher ist:

$$\text{(4)} \qquad S = \frac{E W}{10^6 b} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$$

Sind die Geber wie auf Bild 3 dargestellt auf dem Stab angeordnet, so ist das Ausgangsignal der Messbrücke von Bild 4:

$$\text{(5)} \qquad \text{Brückensignal} =$$

$$= 2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \cdot \text{Geberfaktor} \cdot \text{Einheitsignal}$$

und die Schubkraft wird unmittelbar erhalten als:

$$\text{(6)} \qquad S = \frac{E W}{10^6 \cdot 2 b} \frac{\text{Brücken-Ausgangsignal}}{\text{Geberfaktor} \cdot \text{Einheitsignal}}$$

Falls eines der bekannten Dehnungs-Messgeräte («strain indicator») verwendet wird, so wird auf diesem der Geberfaktor eingestellt und man findet die Schubkraft als:

$$\text{(7)} \qquad S = \frac{E W}{10^6 \cdot 2 b} \cdot \text{abgelesene Dehnung in } 10^{-6} \text{ cm/cm}$$

6. Schraubenschlüssel mit Messvorrichtung für das Drehmoment

Solche Schlüssel dienen zur Kontrolle des Anziehens von Schrauben und Muttern sowie auch zur Messung von Wellendrehmomenten, die erforderlich sind, um Kupplungen oder

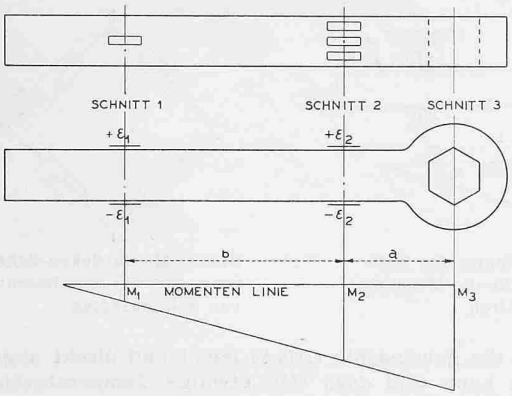

Bild 5. Anordnung der Dehnungsgeber an einem Schlüssel zur Messung des Drehmomentes

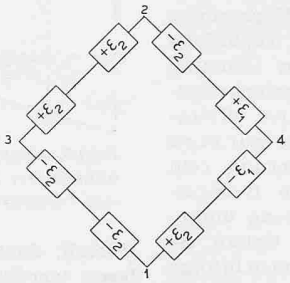

Bild 6. Messbrücken-Schaltung zu Bild 5

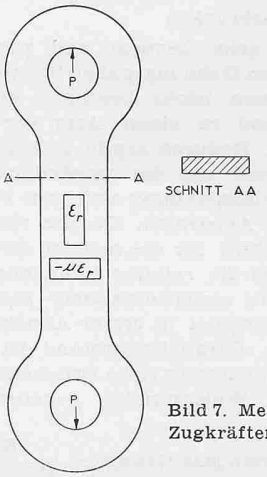

Bild 7. Messglied zur Bestimmung von Zugkräften

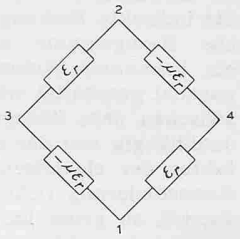

Bild. 8. Messbrücken-Schaltung zu Bild 7

Bremsen zu betätigen. Sie haben sich auch als sehr nützlich erwiesen bei der Untersuchung der Ursachen von Gewinde-Abscherungen bei Bolzen. Das Drehmoment, das auf die Schraube oder die Welle einwirkt, ist gleich dem Biegungsmoment bei Schnitt 3 (Bild 5). Die Spannungsverteilung an dieser Stelle ist so unregelmässig, dass das Biegungsmoment nicht direkt mittels Dehnungsgebern ermittelt werden kann. Es kann auch nicht aus einem einzelnen anderen Biegungsmoment längs des Armes ermittelt werden, da die Angriffslinie der auf den Schlüssel ausgeübten Kraft nicht feststeht. So üben die meisten Mechaniker an der Angriffsstelle ausser dem Zug auch ein Biegungsmoment auf den Schlüssel aus. Wenn aber zwischen den Schnitten 1 und 3 keine äussere Kraft und kein äusseres Moment auf den Schlüssel wirkt, so kann das Biegungsmoment bei Schnitt 3 ausgedrückt werden durch:

$$M_3 = M_2 + \frac{a}{b}(M_2 - M_1) \tag{8}$$

Wählt man die Messstellen so, dass:

$$b = 2a \tag{9}$$

so wird:

$$M_3 = \frac{1}{2}(3M_2 - M_1) \tag{10}$$

Mit Hilfe von Gleichung (3) wird:

$$M_3 = \frac{E\,W}{10^6 \cdot 2}(3\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \tag{11}$$

Falls die Geber von Bild 5 gemäss Bild 6 mit einer Messbrücke verbunden werden, so ist das Brücken-Ausgangssignal wie folgt:

$$(3\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \cdot \text{Geberfaktor} \cdot \text{Einheitsignal} \tag{12}$$

(Da jeder Brückenarm aus zwei Gebern besteht, zählt der einzelne Geber als $^1/_2$). Das Biegungsmoment bei Schnitt 3 wird daher sofort erhalten als:

$$M_3 = \frac{E\,W}{10^6 \cdot 2}\,\frac{\text{Brückensignal}}{\text{Geberfaktor} \cdot \text{Einheitsignal}} \tag{13}$$

Wird wiederum ein «strain indicator» verwendet, so wird der Geberfaktor auf dem Instrument eingestellt; dann ist:

$$M_3 = \frac{E\,W}{10^6 \cdot 2}\,\text{Ablesung in Millionstel cm/cm} \tag{14}$$

Die Eichkurve, die das mit einem «strain indicator» ermittelte Moment bei Schnitt 3 eines solchen Drehmomentenschlüssels in Abhängigkeit des mechanisch aufgebrachten Momentes darstellt, erwies sich genau als gerade Linie unter 45° und war vollkommen unabhängig vom Hebelarm des Lastangriffes.

7. Brückenfaktoren

Wenn die eine Messbrücke bildenden Geber einem anderen Dehnungsfeld unterworfen werden, als bei der Eichung zugrunde gelegt wurde, so ist es vorteilhaft, mit dem Brückenfaktor zu arbeiten. Zur Aufstellung dieses Faktors werden die folgenden Definitionen gebraucht:

Die *gleichwertige relative Widerstandsänderung* ist die relative Widerstandsänderung in einem einzigen Brückenarm, die notwendig ist, um das gleiche Brückensignal hervorzurufen wie alle Geber der Messbrücke zusammen. Die *Messdehnung* ist die Dehnung in der bevorzugten Richtung (meistens die grösste Dehnung eines Feldes). Der *Brückenfaktor* ist (in Analogie zum Geberfaktor) das Verhältnis der gleichwertigen relativen Widerstandsänderung zur Messdehnung.

Die Hauptaufgabe bei der Berechnung des Brückenfaktors ist die Ermittlung der gleichwertigen relativen Widerstandsänderung. Dabei müssen die Anzahl der Geber in der Messbrücke und der Einfluss des Dehnungsfeldes auf die einzelnen Geber berücksichtigt werden. In einem zweiaxigen Dehnungsfeld ist die relative Widerstandsänderung eines Gebers:

$$\varepsilon_a F_a + \varepsilon_n F_n \tag{15}$$

Das Verhältnis:

$$k = F_n / F_a \tag{16}$$

wird vom Hersteller der Geber bekanntgegeben [3]. Gemäss der Definition folgt aus den Gleichungen (15) und (16) für den Geberfaktor:

$$\text{Geberfaktor} = F_a - \mu F_n = F_a(1 - \mu k) \tag{17}$$

woraus:

$$F_a = \frac{\text{Geberfaktor}}{1 - \mu k} \tag{18}$$

und:

$$F_n = \frac{\text{Geberfaktor}}{1 - \mu k}\,k \tag{19}$$

Sind einmal F_a und F_n ermittelt, so wird die gleichwertige relative Widerstandsänderung gefunden als die Summe (über alle aktiven Geber der Messbrücke) der Produkte dieser Faktoren und der entsprechenden Dehnungen. Dabei müssen sich die Verhältnisse der Dehnungen parallel und normal der einzelnen Geber zur Messdehnung aus den allgemeinen Kenntnissen des Dehnungsfeldes berechnen lassen. Das Vorzeichen der einzelnen Produkte richtet sich nach dem Einfluss der betreffenden Produkte auf das Brücken-Ausgangssignal. Der Brückenfaktor wird somit:

$$\text{Brückenfaktor} = \frac{\Sigma\,\varepsilon_a F_a + \varepsilon_n F_n}{\varepsilon_0} \tag{20}$$

Aus dem Brückenfaktor, dem Brücken-Ausgangssignal und dem Einheitsignal wird dann die Messdehnung ermittelt zu:

$$\varepsilon_0 = \frac{\text{Brücken-Ausgangssignal}}{\text{Brückenfaktor} \cdot \text{Einheitsignal}} \tag{21}$$

Falls ein «strain indicator» gebraucht wird, und das Instrument für die gewünschte Anzahl von aktiven Brückenarmen gebaut ist, wird empfohlen, den Geberfaktor auf dem Instrument auf 2,00 einzustellen. Dann ist:

$$\varepsilon_0 = \frac{2{,}00}{\text{Brückenfaktor}} \cdot \text{Ablesung am Instrument} \tag{22}$$

Soll zum Beispiel der Zug P in einem Messglied (Bild 7)

(23) $P = A\,\sigma_0 = A\,\varepsilon_0 E$

mit Hilfe von je einem Geber in der Längs- und in der Querrichtung auf jeder Seite des Messgliedes ermittelt werden, so verbindet man die Geber gemäss Bild 8 zu einer Messbrücke; alsdann ist der Brückenfaktor gleich

$$^1/_{\varepsilon_0}\,(2\,\varepsilon_0 F_a - 2\,\mu\,\varepsilon_0 F_n + 2\,\mu\,\varepsilon_0 F_a - 2\,\varepsilon_0 F_n)$$

woraus folgt:

(24) Brückenfaktor $= 2\,(F_a - F_n)\,(1 + \mu)$

(In diesem Falle ist die Messdehnung gleich der Dehnung parallel zur Längsaxe des Messgliedes.) Die Anordnung der Geber nach Bild 7 gibt das grösstmögliche Signal und ist sozusagen unempfindlich auf Temperaturänderungen und auf Biegung des Messgliedes.

Für SR-4-Geber vom Typ A-6 mit einem Geberfaktor von 2,06 und einem spezifischen Querfaktor von $k = 0{,}0175$ werden (da $\mu = 0{,}286$ vorausgesetzt ist):

(25) $F_a = 2{,}070\,,\ F_n = 0{,}035$

und der Brückenfaktor für Bild 8:

(26) $2 \cdot (2{,}070 - 0{,}035) \cdot 1{,}286 = 5{,}23$

Falls wiederum ein «strain indicator» verwendet wird und das Instrument den Anschluss von vier aktiven Gebern erlaubt, wird der Geberfaktor auf 2,00 eingestellt und die Messdehnung ergibt sich zu:

(27) $\varepsilon_0 = \dfrac{2{,}00}{5{,}23} \cdot \text{Ablesung} =$

$= 0{,}382 \cdot \text{Ablesung am Instrument}$

In einem reinen Schubfeld (auf Torsion beanspruchte Welle) sind die Hauptdehnungen von gleicher Grösse und entgegengesetztem Vorzeichen. Falls je zwei Geber parallel den Hauptdehnungen angeordnet und so in die Messbrücke zusammengeschlossen werden, dass sich Geber mit gleichem Dehnungsvorzeichen gegenüberliegen, so ist der:

(28) Brückenfaktor $= 4\,(F_a - F_n)$

In diesem speziellen Falle sind die Hauptdehnungen und die Hauptspannungen verknüpft durch die Gleichung:

(29) $\varepsilon_0 = \dfrac{\sigma_0}{E}\,(1 + \mu)$

und die maximale Schubspannung ist numerisch gleich den Hauptspannungen. Die maximale Schubspannung ist somit:

(30) $\tau_{max} = \sigma_0 =$

$$= \frac{\text{Brücken-Ausgangsignal}}{\text{Einheitsignal} \cdot 4\,(F_a - F_n)}\ \frac{E}{10^6\,(1 + \mu)}$$

Gleichung (27) ist die Grundformel für Drehmomenten-Messungen an Wellen. Falls das statische Drehmoment gemessen werden soll und ein «strain indicator» für vier aktive Brückenarme zur Verfügung steht, so wird der Geberfaktor am Instrument auf 2,00 eingestellt; das Drehmoment berechnet sich dann zu:

(31) $M = \tau_{max}\,W =$

$$= \frac{2{,}00}{4\,(F_a - F_n)}\ \frac{E\,W}{10^6\,(1 + \mu)} \cdot \text{Ablesung}$$

(Schluss folgt)

MITTEILUNGEN

Erfahrungen mit Kesselblechen im Druckleitungsbau. Während für die Herstellung normaler Druckleitungen für kleine und mittlere Gefälle mit nur mässigen Wandstärken sich die herkömmlichen Siemens-Martin-Kesselbleche aus gewöhnlichem Kohlenstoffstahl am besten eignen, können bei hohen Gefällen und grossen Durchmessern hochfeste Stahlsorten vorteilhaft sein. Dabei muss aber eine sorgfältige Auswahl bezüglich der materialtechnischen Eigenschaften, der werkstattmässigen Verarbeitung und vor allem der elektrischen Schweissbarkeit getroffen werden. Hierüber berichtet Dr. W. Müller in der «Technischen Rundschau Sulzer» 1951, Nr. 2. Dabei werden die Vorschriften für die Materiallieferung, die Werkatteste und die Abnahme der Bleche im Lieferwerk besprochen, darauf die notwendigen Prüfungen und Kontrollen erörtert und ausführlich über Mängel und Fehler berichtet. Sehr eingehend behandelt der Autor die Schweissung; er zeigt, welch bedeutende Fortschritte auf dem Gebiete der elektrischen Schweissung und der thermischen Nachbehandlung erzielt worden sind. Parallel dazu haben aber auch die massgebenden Stahl- und Walzwerke Westeuropas und Amerikas durch die Verwendung von Feinkornstählen grosse Fortschritte erzielt. Diese mit geeigneten Mitteln desoxydierten Kesselbaustähle, die anschliessend einer besondern Wärmebehandlung unterzogen werden, weisen beachtenswerte Eigenschaften in bezug auf Verformungsvermögen, Kerbunempfindlichkeit, Alterungsbeständigkeit und Trennbruchsicherheit auf. Je höher die Materialqualitäten sind, desto sorgfältiger müssen die Konstruktionen durchgebildet sein und desto vorsichtiger muss bei der Verarbeitung vorgegangen werden. Die grossen Fortschritte, die in den letzten 15 Jahren auf allen einschlägigen Gebieten erzielt wurden, befruchten Projektierung und Ausführung von Hochdruckkraftwerken. Es ist möglich geworden, für höchste Gefälle und grösste Wassermengen glatte, unverstärkte Druckrohrleitungen herzustellen. Beispiele hierfür sind die Leitungen der Werke Salanfe, Maggia, Mauvoisin, Grande Dixence usw.

Energiegewinnung aus Atomkernen und Sonnenstrahlung. In einer Reihe von sechs UNESCO-Schriften [1]) werden die Grundlagen der gegenwärtigen und die Möglichkeiten der zukünftigen Energieversorgung der Welt behandelt. Darnach wird die Energie der Atomkerne voraussichtlich erst in einigen Jahrzehnten für die Energieversorgung verfügbar werden. Der Umweg über die Wärmeenergie [2]) ist verlustreich, erfordert riesige Anlagen, und das vermutlich nötige Kühlwasser wird radioaktiv verseucht abgehen. Die Anlagekosten sind sehr hoch und ergeben hohe Energie-Preise, die nur zu etwa $^1/_6$ vom «Brennstoff»-Preis abhängen. Die Atomenergie wird voraussichtlich nur für Sonderzwecke und für Gegenden ohne andere Energiequellen wichtig sein. Die direkte Umwandlung der Sonnenstrahlung in chemisch gebundene Energie erscheint vielversprechend bei Algen, die unter besonders günstigen Wachstumsbedingungen gezüchtet werden; ebenso die direkte Umwandlung in elektrische Energie mittels Photozellen, wobei allerdings der Wirkungsgrad noch beträchtlich gesteigert werden müsste, um den Prozess wirtschaftlich zu gestalten. Wenn auch schon in einigen Jahrzehnten arbeitsfähige Anlagen für die Gewinnung von Atomkern- und Sonnenstrahlenergie zu erwarten sind, so dürften wirtschaftliche Anlagen nicht vor Ende des Jahrhunderts verfügbar sein. Der Verfasser tritt für eine intensive Förderung der Forschung, namentlich auch für die Nutzbarmachung der Sonnenstrahlung ein, weil es unbedingt nötig ist, neue Energiequellen zu erschliessen. Inzwischen sollten die Brennstoffvorräte so sparsam wie möglich genutzt werden, nicht nur, weil diese Vorräte begrenzt sind, sondern weil die Kühlwasserversorgung von Wärmekraftwerken immer schwieriger wird. — Umso wichtiger wird der planmässige Ausbau der Wasserkräfte.

Brückenpfeiler-Gründung mit Prepakt-Beton. Die Firmen Intrusion-Prepakt Inc. und The Prepakt Concrete Co. in Cleveland, Chicago und Philadelphia (USA) geben unter dem Titel «The Prepakt Reporter» monatliche Nachrichten heraus, die über die Eigenschaften und Anwendungen dieser neuen Methoden zur Herstellung von Beton und Konsolidierung von Mauerwerk berichten [3]). Diesen Nachrichten entnehmen wir folgendes über die Umbau- und Wiederinstandstellungs-Arbeiten am Unterbau einer 130 m langen Stahlbrücke der Kanadischen Nationalen Eisenbahnen. Im Zusammenhang mit der Erweiterung einer in der Nähe dieser Brücke gelegenen Wasserkraftanlage musste das Flussbett des Twelve-Mile River (Ontario) stark vertieft und erweitert werden; die Fundamente der vier Pfeiler der im Jahre 1902 gebauten Brücke wären damit blossgelegt worden. Da es sich um etwas schwerfällige und breite Konstruktionen handelte (eiserne Fachwerktürme auf Mauerwerksockeln), beschloss man, diese durch daneben stehende, sehr schlanke Betonpfeiler, die das Kanalprofil nur wenig einengten, zu ersetzen, unter Wahrung der Lage der bestehenden, gut instandgehaltenen Fahrbahn (vollwandige Hauptträger). Von den beiden, etwa 20 m aus dem Wasserspiegel herausragenden neuen Mittelpfeilern (Querschnitt 12,35×2,75 m) kam Pfeiler 2 ins alte Flussbett und Pfeiler 3 in die bestehende Uferböschung zu stehen. Um das etwa 10 m tiefe Fundament für Pfeiler 2 herzustellen, wurde zunächst eine Spundwand bis

[1]) F. E. Simon: Energy in the Future. UNESCO/NS/79. Paper 6. Paris, 5. Febr. 1951; s. auch «Brennstoff, Wärme, Kraft», Heft 7, vom Juli 1951.

[2]) S. SBZ Bd. 128, S. 107*, 123* (31. Aug. und 7. Sept. 1946).

[3]) Eindringmörtel und Prepakt-Beton siehe SBZ 1948, Nr. 23, S. 317*.