

Neuartige Belastungs- und Messeinrichtungen für Schwingungsversuche an armierten und vorgespannten Betonprüfkörpern

Autor(en): **Baumann, Markus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 48

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73795>

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.

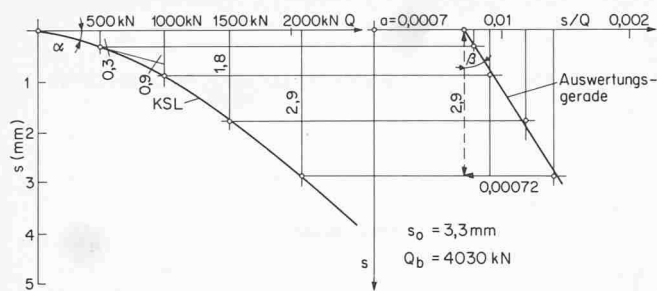


Bild 5. Kraft-Setzungslinie (über Punkt 12)

Winde wird fest verankert. Eine flache Kippmulde wird in der Bodenvertiefung installiert; diese ist auf Geleisen verschiebbar und nimmt den Inhalt einer Greiferfüllung auf.

d) Aushub eines Erdschlitzes von 65/240 cm Querschnitt mit Greifer. Aushubtiefe je nach Bodenqualität etwa 16,0 bis 24,0 m ab OK Führungswand. Die Aushubtiefe wird durch den Ingenieur festgelegt. Während des Greiferns befindet sich die Kippmulde in der Vertiefung neben dem Fundationspunkt (Bild 3b). Beim Entleeren des Greifers (Bild 3c) wird die Kippmulde unter den Greifer gebracht, anschliessend zurückgeschoben und mit dem Hubstapler aus der Grube gehoben und zur Transportmulde geführt. Die erzielten Aushubleistungen waren bei der Ausführung wesentlich höher als im Projektstadium angenommen wurde.

e) Einbau der Stahlstütze im Taktabsenkverfahren (Bild 4a). Die Stützteile werden verschweisst und mit Hilfe von Kettenzügen in Etappen abgesenkt.

f) Betonieren des Fundationskörpers (0,65 / 2,40 / etwa 16 m) mit Hilfe eines Betonierrohres von unten nach oben, bis die Stahlsäule etwa 3 m einbetoniert ist (Bild 4b), gleichzeitig wird die verdrängte Bentonitsuspension oben abgesogen.

g) Anschliessend Eindicken der Suspension im nicht betonierten Teil mit Zementmilch.

h) Verschiebung der Geräte zum nächsten Punkt.

i) Nach dem Erhärten des Betons wird der Pfahl mit einer Flachpresse vorgepresst (Bild 4c). Die Presse ist zwischen

Grund- und Kopfplatte der Stahlstütze eingebaut. Die Hebungen und Senkungen werden mit einem Präzisionsnivelement kontrolliert. Die Pfähle werden auf die maximal mögliche Last im Bauzustand vorgepresst, d.h. so weit, dass die bestehenden Gebäudeteile oberhalb der Grundplatte etwa 1–2 mm angehoben werden. Die aus den einzelnen Laststufen ermittelten Senkungswerte der Pfähle werden in Diagrammen aufgezeichnet und ausgewertet (Bild 5). Die ermittelten Kraft-Setzungslinien erlauben die Bestimmung der Hilfsgrössen (a , b und s_0). Durch die Bestimmung der fiktiven Bruchlast Q_b kann die Traglast der einzelnen Pfähle hinreichend abgeschätzt werden.

Einbau der Kellergeschosse

Nachdem alle Stützen auf Schlitzpfeilern neu fundiert sind, wird längs den Gebäudefassaden eine Schlitzwand als Umschliessung der Baugrube ausgeführt. Die Schlitzwand wird mit den bestehenden Kellermauern fest verbunden, so dass alle Gebäudelasten in tieferen Bodenschichten neu fundiert sind. Der Bau der Schlitzwände im bestehenden Keller (Bild 2) stellte wegen der beschränkten Raumböhe ähnliche Probleme wie die Erstellung der Schlitzpfähle. Durch den Wegfall der inneren Kellerwände ist jedoch für die eingesetzten Baugeräte in der Horizontalen mehr Raum vorhanden. Für den Aushub der Schlitzwand konnte deshalb ein speziell konstruierter Raupenbagger verwendet werden.

Zusammenfassung

Die Anwendung des Schlitzpfahlverfahrens drängt sich auf, wenn unter einem erhaltenswürdigen Gebäude nachträglich zusätzliche Kellergeschosse eingebaut werden sollen. Bei diesem Vorgehen bleibt *wertvolle Bausubstanz erhalten*, was nicht nur *denkmalpflegerisch* erwünscht ist, sondern auch *ins Gewicht fallende finanzielle Vorteile* bringt. Restriktive Baugesetze usw. – besonders in städtischen Kernzonen – haben zur Folge, dass zusätzlicher Raum in der Regel nur noch im Untergrund gewonnen werden kann.

Adresse des Verfassers: H. Huber, dipl. Ing. ETH, Huber + Bracher, Ingenieurbüro SIA, Hottingerstr. 15, 8032 Zürich.

Neuartige Belastungs- und Messeinrichtungen für Schwingungsversuche an armierten und vorgespannten Betonprüfkörpern

Von Markus Baumann, Rudolf Dieterle und Hugo Bachmann, Zürich

Am Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) der ETH Zürich werden im Rahmen eines Forschungsprogrammes *systematische Schwingungsversuche an schlaff armierten und vorgespannten Balken aus Leichtbeton und Beton* durchgeführt. Ziel der Untersuchungen ist insbesondere, den *Einfluss der Betonart, der Rissebildung und des nichtlinearen Verhaltens* sowie des Vorspanngrades auf die dynamischen Kenngrössen *Dämpfung, Amplitude und Eigenfrequenz* abzuklären. Dabei werden Beanspruchungen der Stahleinlagen bis zur Fließgrenze erzeugt.

Für diese Versuche mussten neuartige Belastungs- und Messeinrichtungen entwickelt werden. Im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Unwuchterregern erlaubt ein *elektronisch gesteuerter servohydraulischer Schwingungserreger* in einem weiten, baodynamisch interessanten Frequenzbereich innerhalb bestimmter Grenzen beliebige Kräfte auf einen

Prüfkörper auszuüben. Dabei sind nebst sinusförmiger Belastung auch andere Zeitfunktionen möglich. Zur Registrierung von Stahl- und Betondehnungen dienen speziell entwickelte *Messgrössenaufnehmer*, die sowohl die Aufzeichnungen des ganzen zeitlichen Ablaufs als auch von Spitzenwerten allein ermöglichen.

Im folgenden werden der Schwingungserreger und die Messgrössenaufnehmer beschrieben. Anschliessend werden an einem Beispiel erste Erfahrungen und Ergebnisse von Versuchen an einem 8 m langen Leichtbetonbalken dargestellt:

Servohydraulischer Schwingungserreger

An den Schwingungserreger waren folgende *Anforderungen* zu stellen:

1. Unabhängige Steuerung von Erregerkraft und Erregerfrequenz.

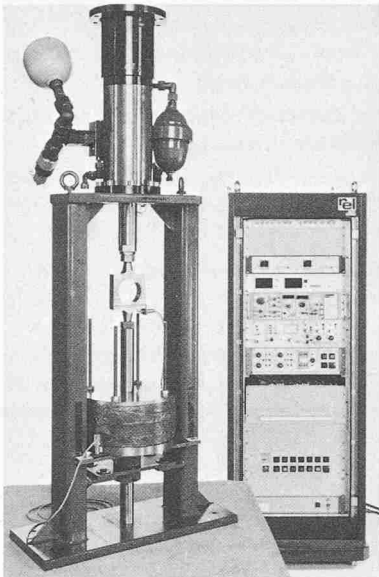


Bild 1. Servohydraulischer Schwingungserreger

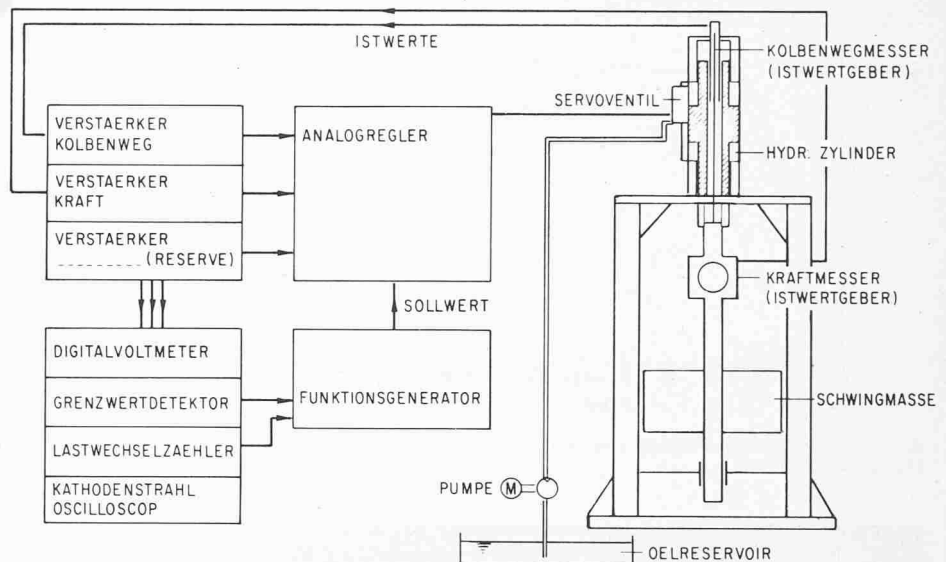


Bild 2. Schema der Steuerung (Regelkreis)

2. Stufenlose Einstellung der Erregerkraft zwischen 10 und 10000 N und der Erregerfrequenz zwischen 1 und 25 Hz (Leistungsspektrum).

3. Geringe Eigenmasse.

4. Keine Behinderung der Schwingungen des Prüfkörpers, d.h. keine Abstützung gegen einen ruhenden Rahmen.

Vorerst wurden verschiedene in Hochschulen, Prüfständen und Industrie vorhandene Schwingungserreger auf ihre Tauglichkeit geprüft:

- Bei den klassischen Unwuchtschwingern kann die Variation der Erregerkraft bei gleichbleibender Erregerfrequenz nur durch eine Verschiebung der Schwingmasse auf dem Schwungrad erreicht werden. Diese mechanische Einstellung ist umständlich und ungenau. Im übrigen führt eine Änderung der Erregerfrequenz stets zwingend zu einer Änderung der Erregerkraft (1. Anforderung nicht erfüllt).
- Elektrodynamische Schwingungserreger erlauben nur kleine Amplituden der Schwingmasse. Sie erzeugen bei den angestrebten Erregerfrequenzen zu kleine Erregerkräfte (2. Anforderung nicht erfüllt).
- Ein in der Industrie verwendeter servohydraulischer Schwingungserreger weist mangels Veränderbarkeit der Schwingmasse ein zu geringes Kraft-Frequenz-Leistungsspektrum auf (2. Anforderung nicht erfüllt).

Da in den neuen Forschungsanlagen der Abteilung für Bauingenieurwesen an der ETH-Hönggerberg eine leistungsfähige ölhydraulische Pumpenanlage zur Verfügung steht, wurde beschlossen, einen servohydraulischen Schwingungserreger mit dem gewünschten Leistungsspektrum selbst zu entwickeln.

Funktionsprinzip

Bild 1 zeigt den Schwingungserreger des IBK. Das Prinzip ist einfach: In einem Rahmen wird mittels eines hydraulischen Zylinders eine Schwingmasse hin und her bewegt.

Die Ölzufuhr zum Zylinder wird durch ein elektronisch gesteuertes Servoventil derart geregelt, dass sich die Masse, die mit der Kolbenstange verbunden ist, entsprechend bewegt. Die nötige Ölmenge fördert ein Pumpenaggregat. Der Schwin-

gungserreger wird mit dem Prüfkörper fest verbunden. Die auf den Prüfkörper ausgeübten dynamischen Kräfte entsprechen im wesentlichen den durch die Hin- und Herbewegung der Schwingmasse m entstehenden Trägheitskräften $m \cdot \ddot{x}$ (x = Weg der Masse = Kolbenweg).

Mechanische Teile

Der Rahmen hat die Aufgabe, die Schwingmasse im Frequenzbereich von 1 bis 25 Hz und im Wegbereich von 0 bis 10 cm spielfrei zu führen. Es dürfen keine inneren Resonanzschwingungen auftreten. Schwingungen, die aus Bewegungen des Prüfkörpers senkrecht zur Rahmenebene entstehen, müssen unbeschadet ertragen werden können. Diese Anforderungen werden erfüllt durch eine verhältnismässig steife Ausbildung des Rahmens und eine statisch unbestimmte Lagerung der Verbindungsstange Masse-Zylinder mittels Längskugellagern.

Die Schwingmasse aus Blei kann aus verschiedenen tellerförmigen Einzelmassen zu einer Gesamtmasse zwischen 10 und 200 kg zusammengesetzt werden. Dadurch ist es möglich, innerhalb der Leistungsgrenzen der Servohydraulik jede beliebige Kraft-Frequenz-Kombination zu erzeugen.

Der hydraulische Zylinder arbeitet mit einem Systemdruck zwischen 0 und 280 bar. Infolge der Haft- und Gleitreibung im Zylinder eignet sich dieser nur für Frequenzen bis zu 25 Hz. Der Kolbenhub beträgt maximal 10 cm.

Das Servoventil mit einer maximalen Leistung von 57 l/min regelt den Ölfluss in die Zylinderkammern. Es ist direkt beim hydraulischen Zylinder angeordnet. Dadurch werden sekundäre Einflüsse, wie sie z.B. aus Querschnittsänderungen der Rohrleitungen durch die rasch wechselnden Drücke entstehen, weitgehend vermieden.

Das Pumpenaggregat zum Betrieb des Schwingungserregers fördert bei einem Betriebsdruck von 280 bar eine Ölmenge von 10, 40 oder 50 l/min.

Elektronische Steuerung und Überwachung

Die Steuerung des Schwingungserregers (Bild 2) erfolgt über das Servoventil als Bindeglied zwischen Elektronik und Hydraulik derart, dass Amplitude und Frequenz der Kolbenbewegung den bestimmten gewünschten Grössen entsprechen.

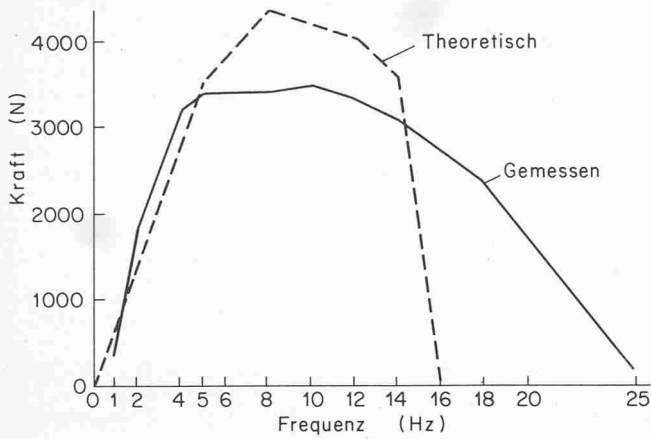


Bild 3. Kraft-Frequenz-Grenzkurve des Schwingungserregers für eine Masse von 104 kg

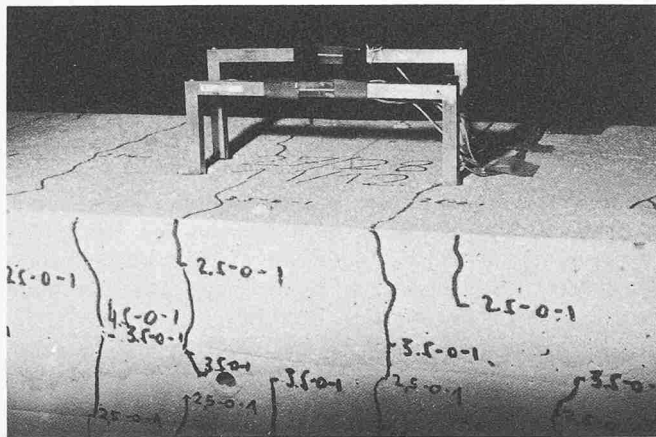


Bild 4. Dreigelenk-Dehnungsmessrahmen

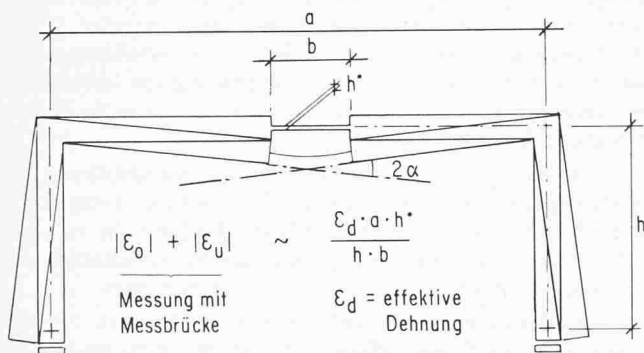


Bild 5. Geometrie des Dreigelenk-Dehnungsmessrahmens

Das erforderliche Steuersignal wird im elektronischen Analog-Regler aus der Differenz zwischen Ist- und Sollwert ermittelt. Der Istwert (oder Messwert) lässt sich mit dem Kolbenwegmesser oder mit dem Kraftmesser erfassen. Als Sollwertgeber dient ein Funktionsgenerator.

Der *Kolbenwegmesser* besteht aus einem induktiven Wegaufnehmer, der in der hohlen Kolbenstange untergebracht ist. Er erzeugt – entsprechend dem Standort der Schwingmasse – ein Spannungssignal.

Der *Kraftmesser* zwischen Kolbenstange und Schwingmasse ist ein speziell entwickeltes ringförmiges Element. Die Biegedehnungen der beiden Schenkel werden mit Dehnungsmessstreifen in Vollbrückenschaltung erfasst. Die Kraft ent-

spricht dem erzeugten Spannungssignal und ist – abgesehen von vernachlässigbar kleinen elastischen Kräften und Dämpfungskräften – gleich der vom Schwingungserreger auf den Prüfkörper ausgeübten dynamischen Kraft.

Der *Funktionsgenerator* hat die Aufgabe, ein Spannungssignal entsprechend dem Sollwert zu erzeugen.

Der *Analogregler* vergleicht den Ist- mit dem Sollwert und liefert einen zur Differenz der beiden Spannungssignale proportionalen Steuerstrom.

Die *Überwachung* des *Schwingungserregers* geschieht durch Messung der wirksamen dynamischen Kraft in der Verbindungsstange Masse-Zylinder sowie durch einen entsprechenden Sicherheitsschaltkreis. Dieser ermöglicht eine akustische oder optische Warnung bzw. ein Abschalten des Schwingungserregers bei Überschreiten festgelegter Grenzen der Kraft.

Charakteristische Grössen

Die dynamische Kraft des Schwingungserregers ergibt sich theoretisch für eine sinusförmige Bewegung

$$x = x_0 \cdot \sin \omega t$$

$$\text{zu } P_{\text{dyn max}} = m \cdot x \cdot \omega^2 = \frac{G}{g} \cdot x \cdot 4 \pi^2 \cdot f^2$$

mit: ω = Kreisfrequenz der Bewegung (sec^{-1})

f = Frequenz der Bewegung (sec^{-1})

G = Gewichtskraft (kN)

g = Erdbeschleunigung ($m \cdot \text{sec}^{-2}$)

Durch verschiedene Einflüsse wie Charakteristik des Servoventils, Reibung zwischen Kolben und Zylinder, Lagerreibung usw. ergeben sich indessen gewisse Abweichungen. Die Leistungswerte des Schwingungserregers sind ferner durch die Kapazitäten von Pumpenaggregat, Servoventil und Hydraulikzylinder begrenzt. Bild 3 zeigt als Beispiel die im Prüfstand gemessene tatsächliche Kraft-Frequenz-Grenzkurve des Schwingungserregers für eine Masse von 104 kg. Zum Vergleich ist die theoretische, aufgrund der Leistungsfähigkeiten von Hydraulik und Elektronik ermittelte Kurve gestrichelt eingetragen. Unterhalb der gemessenen Grenzkurve kann jede beliebige Kraft-Frequenz-Kombination realisiert werden.

Messeinrichtungen

Analoge Aufzeichnung und Spitzenwertmessung

Messungen bei dynamischen Beanspruchungen bedingen eine umfangreiche Ausrüstung, sofern jeder Messstelle während des ganzen Versuchsablaufs eine komplette Registriereinheit (Kanal) zur analogen Aufzeichnung zugeordnet werden muss. Wenn jedoch die zeitliche Funktion der Bewegung als solche stationär und zudem bekannt ist, kann der Aufwand mittels einer Umschaltanlage und nachgeschalteter Spitzenwertmessung stark verringert werden. Die am IBK zur Verfügung stehende Anlage erlaubt 100 Messpunkte seriell nach dem oberen und unteren Spitzenwert abzutasten. Diese Messart erfordert für jede Messstelle nur den fest verdrahteten Messwertgeber. Die entsprechenden Messwerte werden dann chronologisch durch eine einzige Gerätegruppe registriert. Das Abtasten und Registrieren der Spitzenwerte von 100 Messstellen dauert etwa 100 sec.

Dreigelenk-Dehnungsmessrahmen

Die Deformationsmessung beim Beton schliesst zum vorneherein den direkt applizierten Dehnungsmessstreifen aus, da dieser durch Rissebildung Schaden nimmt und infolge Inhomogenitäten der Betonoberfläche oft zu Fehlmessungen führt. Induktive Wegaufnehmer sind nur geeignet, wenn die hohen Beschaffungskosten und der beträchtliche Montageauf-

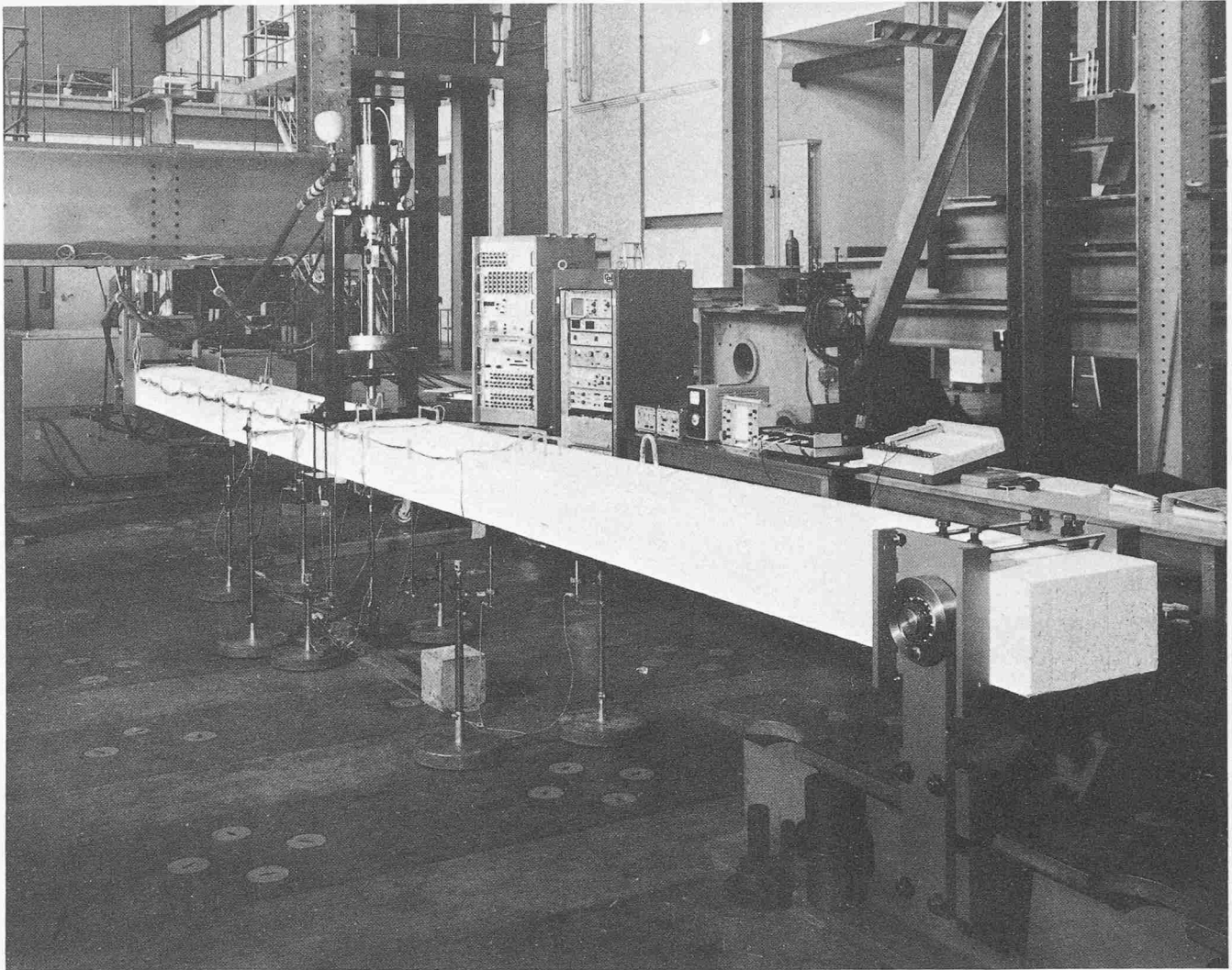


Bild 6. Schwingungsversuch an einem Leichtbetonbalken

wand keine Rolle spielen. Aus diesen und weiteren Gründen musste für die erwähnten Balkenversuche eine neuartige Messeinrichtung gesucht werden.

Die Aufgabe bestand darin, über einer Basislänge von 20 cm die Dehnung auf dem Versuchsobjekt mit einer Genauigkeit von etwa 1% zu erfassen. Die Lösung wurde im sog. Dreigelenk-Dehnungsmessrahmen gefunden (Bild 4). Das mittlere Gelenk, eine 2,85 cm lange Leichtmetall-Lamelle, dient als eigentliches Messelement. Die Fusspunkte des Dehnungsmessrahmens sind als wirkliche Gelenke mit konischen Axen zum spielfreien Einstellen ausgebildet. Die Fixierung des Gerätes auf dem Beton oder Bewehrungsstahl des Versuchsobjektes erfolgt mit normalem Dehnungsmessstreifen-Klebstoff.

Um eine vollständige Endeinspannung der Lamelle zu erhalten, wurde sie aus dem vollen Material herausgefräst. Diese Ausbildung bewirkt eine konzentrierte Biegeverformung über die Länge der Lamelle und bildet die Grundlage einer exakten Verformungsmessung durch zwei beidseitig auf die Lamelle geklebte Dehnungsmessstreifen in Halbbrückenschaltung. Bei dieser Schaltung werden die absoluten Dehnungsbeträge der Zug- und Druckfaser der Lamelle addiert. Eine günstige Kombination von Rahmenhöhe, Gelenklänge und Gelenkhöhe führt zu einer kalibrierten Aussage mittels

herkömmlicher Messbrücken. Im verwendeten Messgerät kann als kleinste Einheit am manuellen Kompensator bei einer k -Wert-Einstellung von 2,0 noch eine Dehnung von 0,001%, d.h. 10^{-5} abgelesen werden. Bei einer direkten Messung über einen Messverstärker lässt sich die Auflösung noch um den Faktor 100 verbessern.

Der geometrische Zusammenhang, der innerhalb der üblichen Verformungen von Betonprüfkörpern die Genauigkeitsanforderungen erfüllt, ist in Bild 5 festgehalten. Weitere beeinflussende Parameter sind K -Faktor der verwendeten Dehnungsmessstreifen und Umschaltgeräte. Die Reibungskraft im Fussgelenk ist so klein, dass sie die Reproduzierbarkeit der Messung nur unmerklich beeinflusst. Die Dreigelenk-Dehnungsmessrahmen können im elastischen Bereich des verwendeten Materials – im vorliegenden Fall bis zu Längenänderungen von ± 4 mm – verwendet werden. Selbst bei Schwingungen von 25 Hz sind noch exakte Aussagen über das tatsächliche Dehnungsverhalten möglich.

Beispiel

Die vorgängig beschriebenen Belastungs- und Messeinrichtungen wurden erstmals bei Schwingungsversuchen an schlaff bewehrten Leichtbeton- und Betonbalken verwendet (Bild 6). Alle Balken hatten dieselben Aussenabmessungen

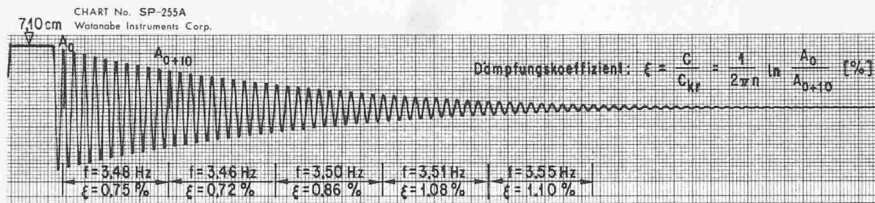


Bild 7. Ausschwingversuch, Durchbiegung in Balkenmitte

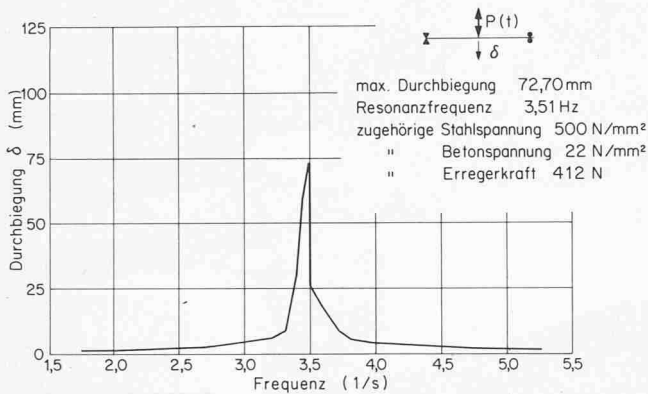


Bild 8. Resonanzversuch, Durchbiegungen in Balkenmitte

von $0,40 \times 0,24 \times 8,40$ m. Sie unterschieden sich jedoch bezüglich Betonart und Armierungsgehalt. Die Lagerung entsprach der eines einfachen Balkens. Die Auflager wurden zug- und druckfest sowie möglichst reibungsfrei ausgebildet.

An den Probekörpern wurden Ausschwing- und Resonanzversuche durchgeführt.

Ausschwingversuche

Den Balken wurde vorerst mittels einer speziellen Vorrichtung eine Anfangsauslenkung aufgezogen. Danach wurde diese Vorrichtung schlagartig gelöst, worauf der Prüfkörper frei ausschlagen konnte. Bild 7 zeigt den Amplitudenverlauf in Funktion der Zeit bei einem derart durchgeführten Ausschwingversuch an einem Leichtbetonbalken. Es fällt auf, dass die Dämpfung bei hoher Beanspruchung trotz starker Rissebildung geringer ist als bei kleinerer Beanspruchung.

Resonanzversuche

Mit dem servohydraulischen Schwingungserreger wurden erzwungene Schwingungen erzeugt und die Resonanzkurven jeweils im Bereich der ersten Eigenfrequenz der Balken durchfahren. Die Beanspruchung der Balkenarmierung wurde dabei bis zur Fließgrenze gesteigert. Bild 8 zeigt die an einem Leichtbetonbalken ermittelte Resonanzkurve. Sie ist infolge des nichtlinearen Verhaltens stark asymmetrisch.

Die Stahl- und Betondehnungen bzw. -stauchungen wurden in drei Querschnitten mittels total 18 Dreigelenk-Dehnungsmessrahmen auf der Balkenoberseite und -unterseite gemessen. In denselben Querschnitten wurden mit induktiven Weggebern auch die vertikalen Balkendurchbiegungen aufgenommen. Ferner wurden in Balkenmitte die Beschleunigungen der Balkenunterseite registriert. Ein zusätzlicher induktiver Wegmesser am Schwingungserreger diente der Aufnahme des Hubes der Schwingmasse. Damit konnte die aufgebrauchte Erregerkraft auch nachträglich noch kontrolliert werden.

Die erhaltenen Messgrößen wurden teils analog, teils mittels Spitzenwertmessung registriert. Zur analogen Aufzeichnung standen sieben Kanäle zur Verfügung, d.h. ein 4-Kanal-Magnetband, ein 2-Kanal-x-t-Schreiber und ein x-y-Schreiber. Die restlichen Messwertnehmer wurden an die beschriebene Umschaltanlage mit nachgeschalteter Spitzenwertmessung angeschlossen. Damit konnten nacheinander jeweils die maximalen und minimalen Messwerte der entsprechenden Messstellen registriert werden.

Folgerungen bezüglich Versuchseinrichtung

Der neu entwickelte servohydraulische Schwingungserreger hat sich unter allen Bedingungen sehr gut bewährt und zeichnete sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus. Während total 14 Wochen Versuchsdauer trat keine einzige Panne auf.

Die Wahl der Frequenz und des Kolbenhubs konnte stufenlos erfolgen, was sich bei der Aufnahme der Resonanzkurven als sehr günstig erwies. Die Resonanzstelle konnte stets exakt ermittelt werden. Auch bei Resonanz mit grossen Amplituden hielt der Schwinger die eingestellte Frequenz und den gewählten Kolbenhub jederzeit aufrecht. Vom Schwinger her gesehen waren damit während der Messzeit stationäre Verhältnisse garantiert. Die vertikalen Durchbiegungs-Amplituden der Balken wurden bei der erzwungenen Schwingung zum Teil bis zu $\pm 10,0$ cm gesteigert. Auch bei diesen grossen Amplituden und den aufgetretenen Beschleunigungen von $2,0 g$ ergaben sich keine besonderen Probleme. Die maximal erreichbare Frequenz des Schwingers lag erwartungsgemäss bei 30 Hz. Um mögliche Nebeneffekte auszuschliessen, musste die Versuchsanlage so konzipiert werden, dass der Schwinger nur vertikale Verschiebungen in Richtung der Störkraft ausführen konnte. Im vorliegenden Fall waren die aufgetretenen horizontalen Längs- und Querverschiebungen minim.

Die Dreigelenk-Dehnungsmessrahmen eigneten sich sehr gut zur Erfassung von dynamischen Dehnungen. Während des ganzen Versuches absolvierte jeder Messrahmen problemlos etwa 1,5 Millionen Lastwechsel. Es zeigte sich, dass es zweckmässig war, die Messrahmen bei der Montage etwas «vorzuspannen», um ein allfälliges Spiel in den Gelenken bei einem Nulldurchgang zu vermeiden.

Die analoge Registrierung der Messdaten bot keine Schwierigkeiten, bedingte jedoch einen erheblichen Aufwand an elektronischen Geräten. Die Spitzenwertmessung ist bedeutend weniger aufwendig. Nach Überwindung anfänglicher Schwierigkeiten hat sich auch die Spitzenwertmessung bewährt.

Ein umfassender Bericht über die Versuchsergebnisse wird im Laufe des Jahres 1979 veröffentlicht werden.

Adresse der Verfasser: M. Baumann, dipl. Bauing. ETH, R. Dieterle, dipl. Bauing. ETH, und Prof. Dr. H. Bachmann, dipl. Bauing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.