Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 104 (1986)
Heft: 17

Artikel: Dynamische Beanspruchung von Befestigungen bei Stossbelastung
Autor: Schuler, Daniel
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76141

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: 02.10.2025

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

Dynamische Beanspruchung von Befestigungen bei Stossbelastung

Von Daniel Schuler, Winterthur

Mit einer dynamischen Belastung von Bauwerken und ihren technischen Installationen muss namentlich bei Katastrophen wie Erdbeben oder Detonationen, insbesondere auch auch bei Nuklearexplosionen, gerechnet werden. Funktionswichtige und gefährdete Einbauten in Kernkraftwerken, Schutzanlagen oder Betrieben, welche mit umweltgefährdenden Medien arbeiten, sind den erwarteten dynamischen Belastungen entsprechend schocksicher zu befestigen. Unter Berücksichtigung der dynamischen Charakteristik der Einbauteile lassen sich die Befestigungen vielfach so optimieren, dass der Mehraufwand gegenüber Konstruktionen, welche auf statische Lasten ausgelegt sind, minimal bleibt.

Einleitung

In der Schweiz ereigneten sich in den letzten hundert Jahren etwa 15 Erdbeben mit einer seismischen Intensität $I_{MSK} > VIII$. Im Vergleich dazu wies das Erdbeben in Süditalien 1980 Intensitätsgrade zwischen VII und X auf [1]. Für die Bemessung von Tragwerken bezüglich Erdbebenlasten erarbeitet die Kommission 160 des SIA Bestimmungen, nach denen die Schweiz in drei Erdbeben-Gefährdungszonen eingeteilt wird [2]. Für die Zone mit der höchsten Gefährdung - das Wallis - ist mit einer Intensität von $I_{MSK} = VIII^+$ zu rechnen. Für das Berner Oberland, Teile der Zentralschweiz, das Engadin und für die beiden Kantone Basel ist die Lastannahme so zu treffen, dass nach einem Beben mit einer seismischen Intensität $I_{MSK} = VII$ bis VIII alle Bauwerke tragfähig - wichtige Bauten *gebrauchsfähig* - bleiben.

Im Kernkraftwerksbau wird dem Lastfall «Erdbeben» grosse Bedeutung beigemessen. Kernkraftwerke und insbesondere gefährdete technische Anlagenkomponenten werden auf Stossbelastung und speziell auf die Lastfälle «Erdbeben» und «Flugzeugaufprall» dimensioniert [3].

Die starken seismischen Erschütterungen, welche durch die Detonation von Atomwaffen ausgelöst werden, sind in ihrer Auswirkung denjenigen von Erdbeben ähnlich [4]. Bei einer Nuklearexplosion innerhalb der Erdatmosphäre wird rund die Hälfte der Energie in Form eines Luftstosses freigesetzt. Dieser breitet sich als Welle radial mit grosser Geschwindigkeit vom Explosionszentrum aus. Neben dem *direkten Erdstoss,* welcher bei Explosionen in Bodennähe nur in unmittelbarer Umgebung des Sprengpunktes wirkt, werden durch die impulsartige Belastung der Erdoberfläche Bodenwellen erzeugt, welche grossflächig wirken und als *luftstossinduzierter Erdstoss* bezeichnet werden [5].

Zivile und militärische Schutzbauten sind im Normalfall entsprechend der dynamischen Belastung zu bemessen, welche aus dem luftstossinduzierten Erdstoss resultieren [6]. Neben dem Baukörper selbst sind auch alle funktionswichtigen Einbauteile auf festgelegte *Schockbelastungen* zu dimensionieren. Die Schwingungseigenschaften der Einbauten und der Schutzanlage spielen dabei eine wichtige Rolle [7].

Dynamische Bemessungen, wie sie in der Nuklearindustrie und im Schutzanlagenbau zur Anwendung kommen, sind beispielsweise auch in Fernmelde- und Elektrizitätszentralen oder in Chemiebetrieben angebracht. Aus Sicherheitsgründen mehrfach vorhandene, unabhängig voneinander wirkende Systeme (Ersatzsysteme) können von grossflächig wirkenden Stoss- oder Schockbelastungen gleichzeitig erfasst werden. Der schocksicheren Befestigung wichtiger Anlagekomponenten ist daher grösste Bedeutung beizumessen.

Dynamische Berechnung von Befestigungskräften

Wiederholt auftretende mechanische Erschütterungen mit transientem Zeitverlauf werden als *Stösse* bezeichnet - bei nur einmaliger Stossanregung spricht man von *Schock*. Stoss- oder Schockbelastungen sind durch den zeitlichen Verlauf (idealisiert als Rechteck-, Dreieck- oder Halbsinusstoss) sowie durch ihre Amplitude charakterisiert. Die Wahl der geeigneten Stossform hängt vom jeweiligen Lastfall ab. Während für den luftstossinduzierten Erdstoss der Dreieckpuls mit vertikalem Anstieg herangezogen wird (elementary blast pulse [9]), ist der Rechteckstoss für Belastungen infolge eines Aufpralls (z. B. Fahrzeuganfahrt) die bessere Näherung.

Zu den gefährdeten Installationen in Bauten und Anlagen, welche auf Schockbelastungen dimensioniert sind, zählen vor allem Einbauten wie Medienleitungen (Luft-, Sanitär-, Gasleitungen oder Kabelkanäle), aber auch zugehörige Apparate wie Ventilatoren, Pumpen, Ventile, Steuerungen und Notstromaggregate (Bilder 1, 2).

Bei der quantitativen Erfassung von Befestigungskräften unter Stossbelastung führen die zusätzlichen Trägheits- oder Massenkräfte zu Ergebnissen, die zei-

Bild 1. Begehbarer Leitungstunnel

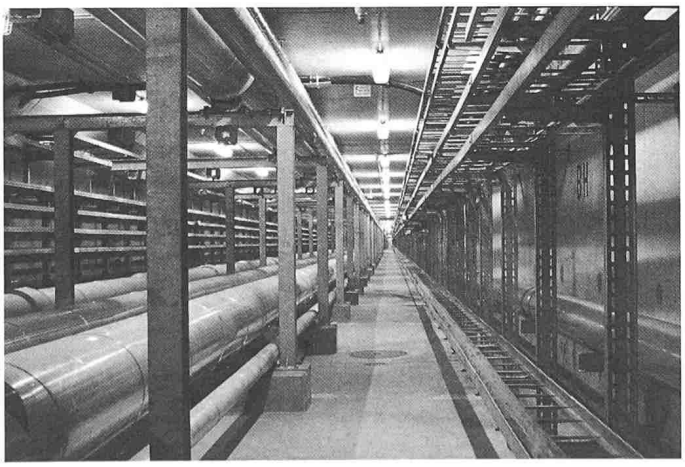
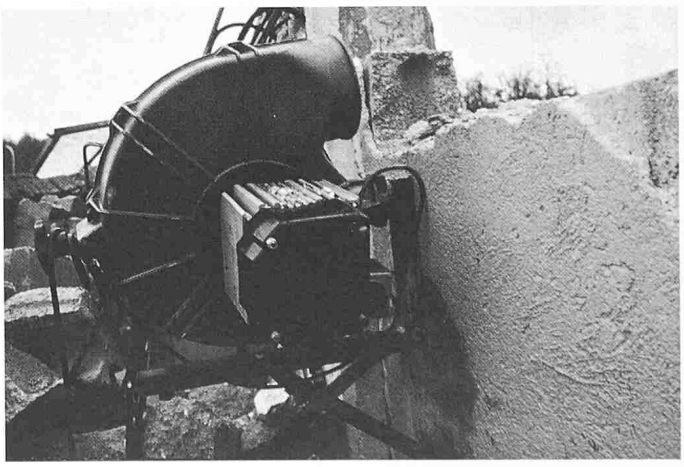


Bild 2. Erdbeben in Süditalien vom 23.11.1980: Ventilator in eingestürztem Fabrikgebäude [1]



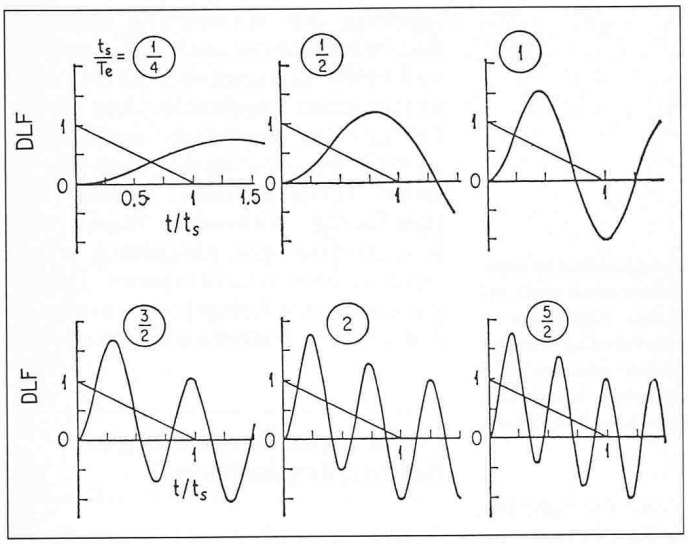


Bild 3. Zeit-Stossantwortkurven für Schwinger mit verschiedenen Eigenschwingungszeiten T_e, angeregt durch Dreieckstoss mit vertikalem Anstieg und Stossdauer t_s [9]

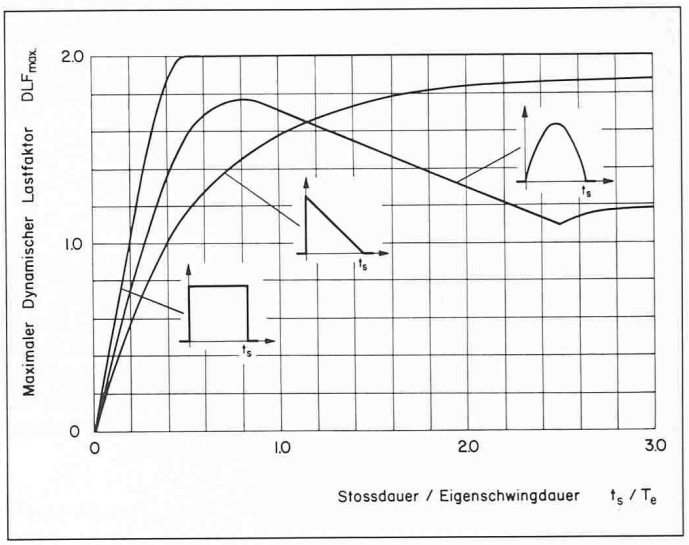


Bild 4. Maximaler Dynamischer Lastfaktor DLF_{max} für den eindimensionalen Schwinger ohne Dämpfung bei Anregung durch Rechteck-, Dreieck- und Halbsinusstoss

gen, dass es nicht genügt, die Massenkräfte nur als statische Ersatzlasten einzuführen. Die Lösung der Bewegungsdifferentialgleichung für ein ungedämpftes Schwingungssystem und eine plötzlich aufgebrachte, konstant bleibende Last ergibt maximale Befestigungskräfte, welche doppelt so gross sind wie diejenigen, wenn die gleiche Last statisch wirken würde.

Das Einbauteil bildet mit der Befestigungskonstruktion zusammen ein Schwingungssystem, dessen dynamisches Verhalten von seinen Eigenfrequenzen bestimmt wird. Im einfachsten Fall sind die Kennwerte eines solchen Systems seine Masse und seine Federkonstante.

Zur Beschreibung der dynamischen Belastung wird ein Stosszuschlag – der *Dynamische Lastfaktor* (DLF) als Verhältnis von dynamischer zu statischer Auslenkung – eingeführt [8]. Ist die Auslenkung bei rein elastischer Verformung proportional der Kraft, so ist der DLF auch gleich dem Verhältnis von dynamischer zu statischer Belastung.

$$DLF = y_{dyn}/y_{stat} = F_{dyn}/F_{stat}$$

Die Zeit-Stossantwort-Kurven für den einzelnen Stoss zeigen, dass der DLF von der Stossform und von der Eigenschwingzeit des angestossenen Bauteils abhängt. Für weiche Konstruktionen mit einer grossen Eigenschwingdauer ergibt sich ein wesentlich kleinerer DLF als für Systeme mit einer kleinen Eigenschwingzeit. Dabei treten die maximalen Belastungen bei niederfrequenten Einbauten mit einem Verhältnis $t_s/T_e > 1/2$ nach dem Stoss (Residualbereich) und bei hochfrequenten Systemen mit Verhältnissen $t_s/T_e < 1/2$ während des Stosses (Initialbereich) auf [9] (Bild 3).

Sind Einbauten auf Schockbelastung zu dimensionieren, interessiert meist nur der maximale DLF. Vereinfacht darf dabei die Bemessung auf Schock auch ohne Berücksichtigung der Dämpfung durchgeführt werden, da die maximale erste Stossantwort von den Dämpfungseigenschaften des Systems nicht entscheidend beeinflusst wird. Der maximale DLF kann somit direkt als Funktion der Stossdauer, der Stossform und der Eigenschwingdauer bestimmt werden (Bild 4).

Festigkeitsgrenzwerte bei dynamischer Beanspruchung

Bei auf Schockbelastung ausgelegten Befestigungen sind plastische Deformationen im Normalfall zulässig. Wird nach den für statische Belastungen üblichen Festigkeits- und Grenzspannungswerten dimensioniert, können Konstruktionen aufwendig und unwirtschaftlich werden.

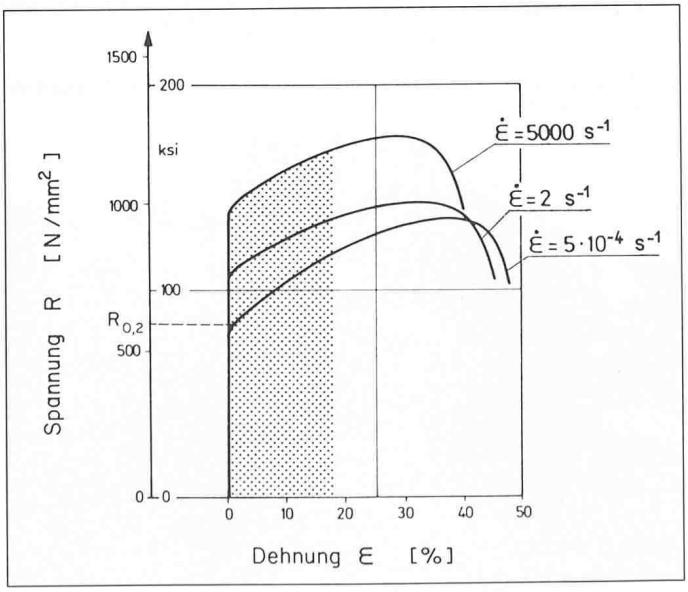
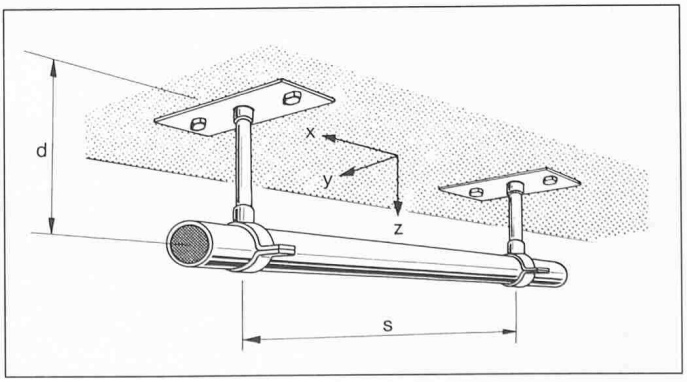


Bild 5 (links). Spannungs-Dehnungsdiagramm eines austenitischen Cr-Ni-Stahls X 3 CrNiMnMoN 21 15 73 bei verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten [10]

Bild 6. Nachzuweisende Belastungsrichtungen bei schocksicher befestigten Rohrleitungen



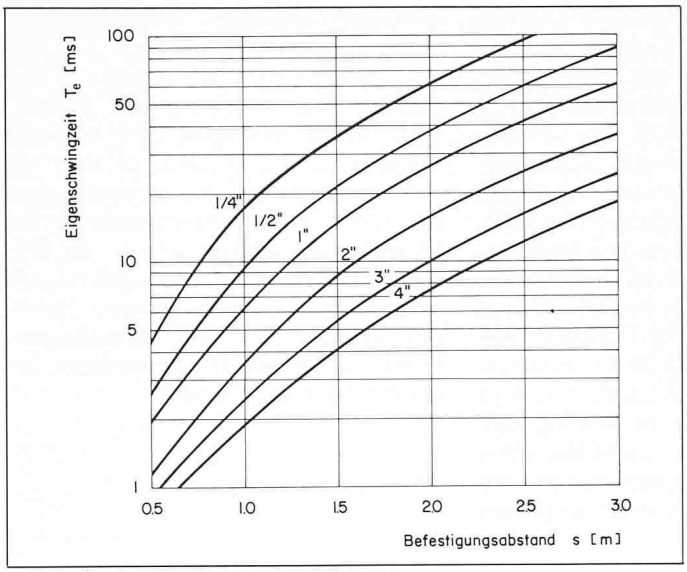


Bild 7. Eigenschwingungsdauer T_e von Rohrleitungen verschiedener Nennweiten in Funktion des Befestigungsabstandes s

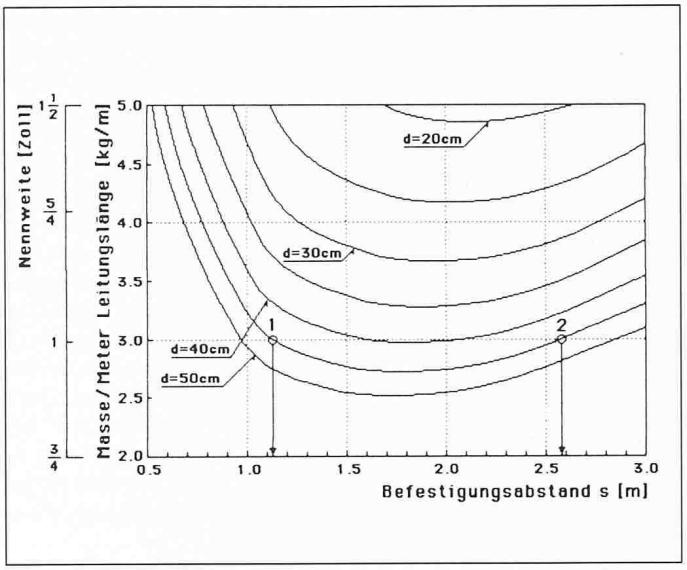


Bild 8. Befestigungsabstand s von Rohrleitungen bei verschiedenen Deckenabständen d in Funktion der Leitungsmasse pro m bzw. der Nennweite

Charakteristisch für Konstruktionswerkstoffe wie Baustähle und hochlegierte Stähle ist eine nennenswerte Zunahme der Fliess- und Bruchspannung bei erhöhter Verformungsgeschwindigkeit [10]. Erst bei sehr grossen Umformgeschwindigkeiten, wie sie nur lokal und bei direkter Schlageinwirkung auftreten, sind Versprödungserscheinungen zu beobachten, welche die Werkstoffestigkeit herabsetzen.

Die gegenüber statischer Belastung stark erhöhte Bruchspannung und das duktile Verhalten von Stahl bei hoher Verformungsgeschwindigkeit kann man bei der Dimensionierung schocksicherer Befestigungen berücksichtigen. Werden solche Befestigungen auf Grenzwerte nahe der Bruchspannung ausgelegt, wird das grosse Energieaufnahmevermögen des Befestigungsmaterials bei der plastischen Verformung vorteilhaft genutzt. Die erhöhte Arbeitsaufnahme bei ausgeprägter *elastoplastischer Verformung* gegenüber der Energieaufnahme bei Beanspruchung bis zur technischen Dehngrenze (Fliessspannung $R_{0,2} = 0{,}2\%$ bleibende Dehnung) lässt sich unmittelbar am Spannungs-Dehnungsdiagramm zeigen. Die Fläche unter der Verformungskennlinie ist dabei direkt ein Mass für die Arbeitsaufnahme (Bild 5).

Schocksichere Rohrleitungsbefestigungen in Schutzbauten

Sanitärleitungen oder spiralgefalzte Luftleitungen mit kleinem Durchmesser können in den meisten Fällen auf einfache Weise mittels gebräuchlichem Befestigungsmaterial wie Rohrschelle, Rohrnippel und Grundplatte montiert werden. Für die Montage in Schutzbauten sind die Einbauteile in *Schocksicherheitsklassen* eingeteilt. Definitionsgemäss sind Einbauten, welche das Überleben der Schutzrauminsassen stark beeinträchtigen bzw. erschweren, schocksicher auszubilden und zu befestigen. Für solche Einbauten ist deshalb unter Einbezug von Ersatzlasten ein rechnerischer Schocksicherheitsnachweis zu erbringen. Andernfalls sind sie einer *Schockprüfung* zu unterziehen.

Der schocksicheren Leitungsbefestigung kommt in allen Bereichen eine grosse Bedeutung zu, nicht zuletzt deshalb, weil vor allem bei grossen Bauten die Anzahl der zu montierenden Befestigungen ein ökonomisch gewichtiger Faktor ist.

Werden schocksichere Einbauteile mittels Dübeln montiert, ist die Dübelbelastung rechnerisch nachzuweisen. Da Schutzbauten so zu dimensionieren sind, dass sie unter Waffenwirkung teilweise *inelastisch deformiert* werden, sind in der Schweiz nur Dübelsysteme zulässig, welche die Prüfkriterien des Bundesamtes für Zivilschutz in *gerissenem Beton* erfüllen [11, 12].

Bei der Auslegung schocksicherer Rohrleitungsbefestigungen für zivile oder militärische Schutzbauten muss deren Beanspruchung in allen drei Raumrichtungen nachgewiesen werden (Bild 6). Nachzuweisen ist die Materialbeanspruchung sowie bei Dübelmontage die aus Zug- und Querkräften resultierende Dübelbelastung.

Bei Schockbeanspruchung in axialer Richtung (x-Richtung) bilden Befestigung und Rohrleitung einen mehr oder weniger steifen Rahmen; die Momentbelastung an der Befestigungsgrundplatte ist dementsprechend vermindert. Zusätzlich werden in den meisten Fällen grosse Längskraftanteile von Mauerdurchführungen aufgenommen.

Die maximalen Befestigungskräfte treten allgemein in y-Richtung auf. Abhängig vom Deckenabstand resultiert eine Momentbelastung auf den Rohrnippel und die Grundplatte; die Dübel werden kombiniert mit Zug- und Querkräften belastet.

Literatur

[1] *Bürkel, P.; Hunziker, P.:* Erdbebenkatastrophe in Süditalien vom 23.11.1980. Bundesamt für Luftschutztruppen, Sektion Ausrüstung und Bauten

[2] *SIA:* Einwirkungen auf Tragwerke. SIA-Norm 160. Vernehmlassungs-Entwurf (1985).

[3] *Bansac, D. et al.:* Projektierung und Ausführung des Kernkraftwerkes Leibstadt. Schweizer Ingenieur und Architekt 51/52/84

[4] *Ammann, W.:* Erdbeben; Normvortrag für Schulen und Kurse. Bundesamt für Luftschutztruppen, Sektion Ausrüstung und Bauten

[5] *Büchi, U.P.:* Nuklearexplosionen und Erdbeben. Forschungsinstitut für militärische Bautechnik, FMB 68-9, Zürich 1968.

[6] *Bundesamt für Zivilschutz:* TW Schock-Sicherheit 1980; Technische Weisungen für die Schocksicherheit von Zivilschutzbauten

[7] *Kessler, E. et al.:* Eigenschwingungs-Messungen an Zivilschutzbauten. Schweizer Ingenieur und Architekt 39/84.

[8] *Biggs, J.M.:* Introduction to Structural Dynamics. McGraw-Hill Book Company, New York 1964

[9] *Harris, C.M.; Crede, C.E.:* Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill Book Company, New York 1976

[10] *Meyers, M.A.; Murr, L.E.:* Shock Waves and High-Strain-Rate Phenomena in Metals. Plenum Press, New York 1981

[11] *Hunziker, P.:* Prüfung und Zulassung von Dübeln für schocksichere Befestigungen. VDI-Bericht Nr. 496 (1968)

[12] *Hunziker, P.:* Prüfung und Zulassung von Dübeln für schocksichere Befestigungen. Gruppe für Rüstungsdienste, AC-Laboratorium Spiez, Bericht Nr. 8461 (1984)

Bei vertikaler Schockbelastung (z-Richtung) stehen die Befestigungen nur unter Normalbelastung. Die Dübel sind einer reinen Zugbelastung ausgesetzt.

Vor allem in den kritischen Querrichtungen kann die Rohrleitung einfach als Schwinger betrachtet werden. Die für das dynamische Verhalten entscheidende Eigenschwingdauer T_e lässt sich aus der Geometrie der Leitung, deren Masse (einschliesslich Inhalt) und dem Befestigungsabstand bestimmen. Wichtig ist die Erkenntnis, dass die Eigenschwingzeit quadratisch mit der Einspannlänge bzw. dem Befestigungsabstand (s) zunimmt (Bild 7). Der maximale Dynamische Lastfaktor (DLF_{max}) wird demzufolge mit steigendem Befestigungsabstand kleiner (vgl. Bild 4).

Die maximal zulässigen Befestigungsabstände werden nun einerseits von der Masse der zu befestigenden Leitung, andererseits aber von deren dynamischen Eigenschaften unter Stossanregung, d.h. vom resultierenden DLF_{max} bestimmt. Der Umstand, dass der Dynamische Lastfaktor mit zunehmendem Befestigungsabstand abnimmt, führt zu der erstaunlichen Tatsache, dass die durch Stossbelastung hervorgerufenen Befestigungskräfte trotz wachsendem Befestigungsabstand kleiner werden können (Bild 8). Bei einer Wasserleitung der Nennweite 1″, montiert mit 45 cm Deckenabstand, resultiert beispielsweise bei 1,1 m Befestigungsabstand (Punkt *1*) die gleiche Belastung wie bei dem mehr als doppelt so grossen Befestigungsabstand von 2,6 m (Punkt *2*).

Die mit dynamischen Berechnungsmethoden ermittelten Ergebnisse für den maximal zulässigen Befestigungsabstand sind nicht eindeutig. Für zwei verschiedene Abstände ergibt sich die gleiche Beanspruchung der Befestigung. Bei der Medienplanung lässt sich dieser Umstand nutzen, so dass die Zahl der Befestigungen minimal gehalten werden kann. Unter Beachtung der dynamischen Eigenschaften von Einbauten und ihrer Befestigungen müssen schocksichere Befestigungen nicht zwangsläufig zu einem Mehraufwand gegenüber normaler, konstruktiv bedingter Montage führen.

Adresse des Verfassers: *Daniel Schuler*, Masch.-Ing. HTL, Bürkel + Baumann AG, Ingenieure + Planer, Neuwiesenstr. 2, 8400 Winterthur.

Digitale Kommunikation

Glasfaser-Kabelnetz der PTT im Aufbau

Landes- und weltweite Kommunikation wird für immer mehr Unternehmen zu einem eigentlichen Lebensnerv. Die überhaupt noch führbare Grösse und die Effizienz von Projekten und Organisationen hängen nicht zuletzt von der Leistungsfähigkeit der verfügbaren Telekommunikationsmittel ab.
Die Nachfrage nimmt stark zu, und die Ansprüche steigen, was die PTT zwingt, «auf Draht» zu sein.

Randbedingungen

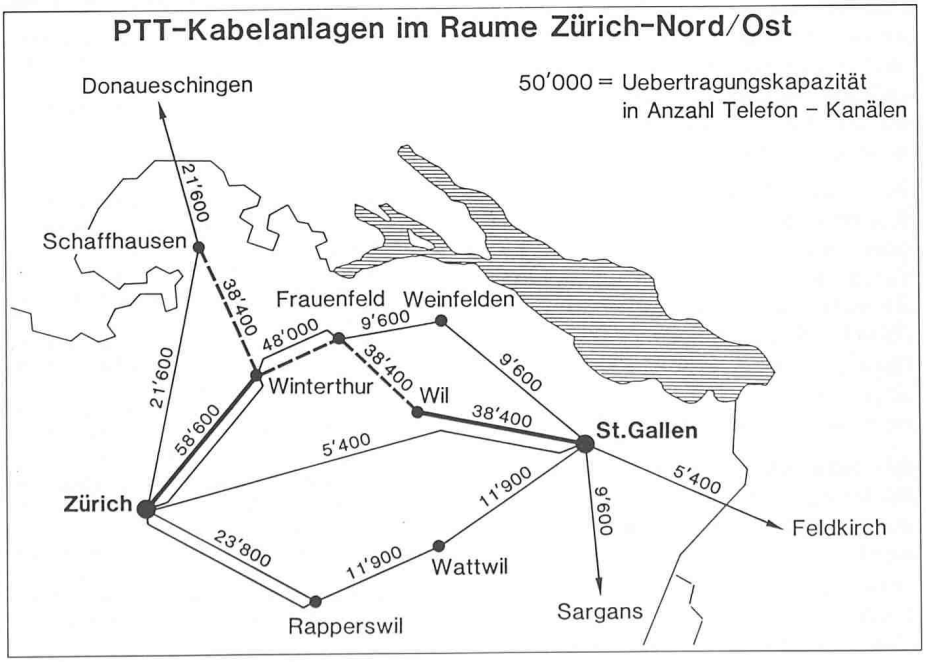
Die Schweiz verfügt über ein ausserordentlich dichtes und sprichwörtlich zuverlässiges Telefonnetz. Die mit grossen Investitionen ausgebaute Infrastruktur wirkt jedoch auch als Hemmschuh, wenn es gilt, mit der immer schnelleren technischen Entwicklung Schritt zu halten. Die alten Anlagen müssen über Jahre - oft Jahrzehnte - nicht bloss nebeneinander, sondern auch kompatibel zusammenwirken: Relaiszentralen und elektronische Zentralen; herkömmlicher Draht, Koaxialkabel, Richtstrahl, Satellitenfunk und Glasfaserkabel.

Die rasante technische Entwicklung führt dazu, dass hinter neuen Systemen, die in der Einführung stehen, bereits eine oder zwei nächste Generationen im Entwicklungs- und im Versuchsstadium sichtbar und vielleicht schon überblickbar werden.

Daneben entwickelt sich - zum Teil stürmisch - die Nachfrage nach neuen Arten von Dienstleistungen, von Zusatzfunktionen des Telefons über die Telexdienste bis zur Übermittlung digital gespeicherter Bilder und zur Videoübermittlung. Sehr rasch wächst der Bedarf für die Datenübermittlung zwischen Computern in immer mehr Arbeitsgebieten.

Unter solchen Randbedingungen gilt es für die PTT oft, weittragende Grundsatzentscheide frühzeitig zu fällen, z. B. über die Digitalisierung der Übermittlung, Übertragungstechnologien und die Ausbauetappen bis zur angestrebten Vereinheitlichung aller Dienste in einem einzigen Netz.

Bild 1. PTT-Kabelanlagen im Raum Zürich-Nord/Ost



Digitalisierung

Der zunehmende Telefonverkehr, der Telex und der - medienpolitisch umstrittene - Videotex, vorab jedoch die neuen Teleinformatikdienste, die jährlich um 20 und mehr Prozent wachsen, verlangen einen entsprechenden Aus-