Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 49 (1986)

Artikel: Versuche zur Strukturdämpfung in Decken aus kaltgeformten Blechen
Autor: König, Jürgen
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-38329

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: 23.12.2025

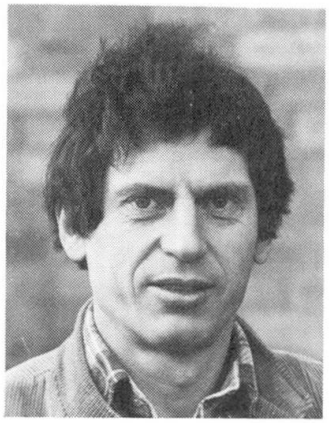
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Versuche zur Strukturdämpfung in Decken aus kaltgeformten Blechen

Tests on Structural Damping in Cold-Formed Steel Floors

Essais sur l'amortissement des vibrations dans les planchers légers en acier

Jürgen KÖNIG
Dr. Ing.
Schwed. Inst. für Holzforschung
Stockholm, Schweden



Jürgen König, geb. 1941, studierte Bauingenieurwesen an der TU Berlin. Nach drei Jahren in Ingenieurbüros in Berlin und Stockholm war er bis 1985 an der Technischen Hochschule in Stockholm (KTH) tätig, wo er sich hauptsächlich mit der Kaltblech- und Leichtbauforschung befasste. König ist heute verantwortlich für Projekte in der Holzbauforschung.

ZUSAMMENFASSUNG

Das wichtigste Kriterium bei der Bemessung von Leichtbaudecken sind die dynamischen Eigenschaften in Hinblick auf Vibrationen und Stossbelastungen. Decken aus kaltgeformten Blechprofilen und Plattenwerkstoffen haben in der Regel eine sehr schlechte Dämpfung. Die Resultate einer Versuchsserie an Plattenstreifen zeigen, dass Methoden der Strukturdämpfung mit viskoelastischen Belägen, wie sie seit langem im Flugzeug- und Maschinenbau verwendet werden, mit Vorteil auch im Bauwesen angewandt werden können. Bei der Wahl der Methoden wurde bewusst auf baupraktische Eignung bezüglich Materialwahl und Ausführbarkeit geachtet.

SUMMARY

In the design of light-weight floors the dynamic characteristics of the floor with respect to human response to vibrations are the most important criteria. The damping in cold-formed steel floors is normally very low. Different methods of structural damping using the concept of constrained viscoelastic layer damping, which have been applied for many years in the fields of airplane and machine structures, may be practical also for buildings. When selecting applications it was important to consider good practice and building materials which are commonly used today.

RÉSUMÉ

Dans le dimensionnement des planchers légers, les caractéristiques dynamiques du plancher en regard de la perception humaine des vibrations sont les critères les plus importants. L'amortissement dans les planchers en acier formé à froid est normalement très faible. Différentes méthodes d'amortissement structural, employant le principe d'une couche viscoélastique, et qui ont été utilisées pendant de nombreuses années dans le domaine de la construction aéronautique et mécanique, peuvent être également applicables au bâtiment. Lors du choix de la méthode, il est important de prendre en considération les règles professionnelles reconnues ainsi que les matériaux de construction existants sur le marché.

1. EINLEITUNG

Leichtbaudecken, und damit sind im Trockenbau errichtete Decken wie traditionelle Holzbalkendecken, als auch neuartige Decken aus Kaltblechprofilen und plattenartigen Werkstoffen gemeint, haben die Eigenschaft gemeinsam, dass ihre Tragfähigkeit gross und ihre Biegesteifigkeit gering ist. Das führte dazu, dass in der Regel die Biegesteifigkeit das wichtigste Bemessungskriterium ist. Die Biegesteifigkeit ist bis heute ein stellvertretendes Kriterium, stellvertretend, weil eigentlich die dynamischen Eigenschaften der Decken Gegenstand der Bemessung sind. Beim Nachweis wird untersucht, ob die absolute Durchbiegung unter einer Punktlast einen zulässigen Wert nicht überschreitet, siehe z.B. die schwedische Baunorm [1]. Die zulässige Durchbiegung ist von den gewählten Baustoffen und vom Deckenaufbau abhängig [2].

Die umfangreichen Untersuchungen von Ohlsson [3] resultierten in einem Vorschlag zur Bemessung von Leichtbaudecken [4]. Als Bemessungsgrössen dienen a) die Antwort der Decke auf eine Impulslast, b) die niedrigste Eigenfrequenz, sowie c) die relative Dämpfung. Bei Decken mit ausgeprägter einachsiger Tragwirkung hat die Vergrösserung der Biegesteifigkeit normal zur Haupttragrichtung einen sehr günstigen Einfluss auf die dynamischen Eigenschaften. Dies kann jedoch aus konstruktiven Gründen schwierig sein. Eine andere Möglichkeit ist, die Dämpfung der Decke mittels konstruktiver Massnahmen zu verbessern. Dies dürfte insbesondere bei Decken mit tragenden Elementen aus Kaltblech eine erfolgreiche Methode sein, da diese Decken eine wesentlich geringere Dämpfung als Holzbalkendecken aufweisen. Methoden der Strukturdämpfung, wie sie z.B. im Flugzeug- und Maschinenbau seit langem gebräuchlich sind, haben bislang im Bauwesen mit wenigen Ausnahmnen keinen Eingang gefunden. Dies hängt mit der Schwierigkeit zusammen, wirtschaftliche und baupraktische Lösungen zu finden. Bei der Durchführung dieser Forschungsarbeit wurde bewusst versucht, baupraktisch leicht zu benutzende Methoden der Strukturdämpfung zu untersuchen. Eine ausführliche Beschreibung befindet sich in [5].

2. DÄMPFUNGSMECHANISMEN

Mit Dämpfung wird in diesem Zusammenhang die Umwandlung der mechanischen Energie einer schwingenden Konstruktion in Wärme bezeichnet (Dissipation). Diese Art der Dämpfung ist besonders gross in viskoelastischem Material. Bei den verschiedenen Methoden der Strukturdämpfung wird daher die Grundkonstruktion derartig mit viskoelastischen Belägen versehen, so dass in ihnen möglichst grosse Schubspannungen hervorgerufen werden, die die Dissipation ermöglichen, siehe z.B. [6], [7], [8].

Der einfachste Fall ist der "verdübelte Balken" mit einer viskoelastischen Leimfuge, siehe Bild 1 a). Der Gewinn an Dämpfung wird allerdings mit einem Verlust an Steifigkeit erkauft. Eine Variante ist die Anbringung der viskoelastischen Schicht zwischen der Grundkonstruktion und einer Deck- oder Sperrschicht, die nur die Aufgabe hat, in der viskoelastischen Schicht Schubspannungen hervorzurufen (Bild 1 b). Bei Decken können Plattenwerkstoffe wie Sperrholz, Spanplatten oder Gipskarton diese Aufgabe übernehmen. Diese Methode ist für nicht vorgefertigte Deckenelemente weniger geeignet, da sehr lange Bauplatten hantiert werden müssen.

Die Methode des Dämpfungsbelages mit unterbrochener Sperrschicht dagegen, erlaubt es, Bauplatten mit kleinen, heute gebräuchlichen Abmessungen und hantierbaren Gewichten zu benutzen. Diese Theorie wurde von Plunkett & Lee [9] entwickelt und erlaubt ein- und mehrlagige Ausführungen, siehe Bild 2 und 3. Die Formeln zur Berechnung der Dämpfung, die für rechteckige Balkenquerschnitte hergeleitet wurden, können für den Fall des einlagigen Dämpfungsbelages leicht für Balken aus Kaltblechprofilen angepasst werden, siehe Bild 4.

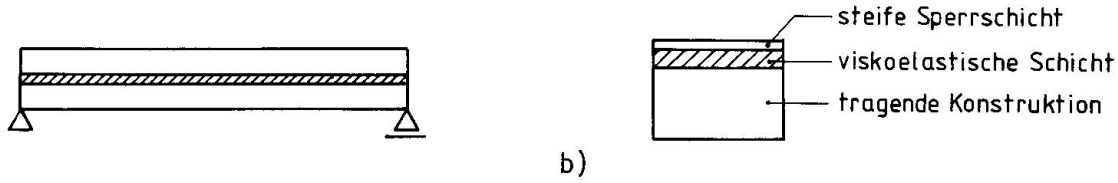


Bild 1 a) "Verdübelter Balken" mit viskoelastischer Schicht
b) Dämpfungsbelag mit Sperrschicht

Bild 2 Ein- und mehrlagiger Dämpfungsbelag mit unterbrochener Sperrschicht

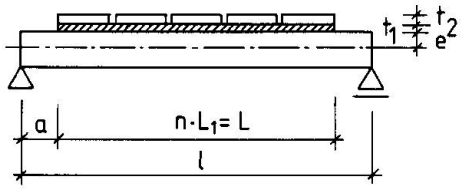


Bild 3 Balken mit Dämpfungsbelag mit unterbrochener Sperrschicht

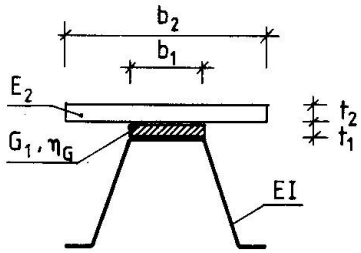


Bild 4 Blechprofil als Balkenquerschnitt mit Dämpfungsbelag und Sperrschicht

Der Schubspannungszustand im Dämpfungsbelag ist von der charakteristischen Länge

$$B_o^* = \left[\frac{E_2\ t_1\ t_2\ b_2}{G_1^*\ b_1}\right]^{1/2}$$

abhängig, d.h. nur von den Steifigkeitsverhältnissen. Die Längenmasse werden in Bild 4 erläutert. E und G sind der Elastizitäts- bzw. Schubmodul. Für den Schubmodul des viskoelastischen Materials wird die übliche komplexe Schreibweise benutzt (die charakteristische Länge ist damit ebenfalls komplex)

$$G_1^* = G' + i\ G''$$

wobei G' als Speichermodul and G" als Verlustmodul bezeichnet wird. Der Verlustfaktor des viskoelastischen Materials ist durch

$$\eta = E''/E'$$

und der Verlustwinkel durch

$$\theta = \tan^{-1} \eta$$

gegeben, [6], [7], [8].

Der wirksame Verlustfaktor des Belages für ein Element der Länge L_1 (Bild 3) mit konstanter Dehnung der Sperrschicht beträgt

$$\eta_1 = \frac{4\pi}{w}\left[\frac{\sinh A \sin \theta/2 - \sin B \cos \theta/2}{\cosh A + \cos B}\right]$$

wobei

$$w = L_1/B_o$$
$$A = w \cos \theta/2$$
$$B = w \sin \theta/2$$

Das Maximum für μ_1 ergibt sich für $L_1 \approx 3{,}2\ B_o$. Für einen über seine gesamte Länge mit einem Dämpfungsbelag versehenen Balken ergibt sich der von der wirklichen Spannungsverteilung abhängige wirkliche Verlustfaktor zu

$$\eta_L = \frac{E_2\ e^2\ b_2\ t_2}{2\pi\ EI}$$

woraus das logarithmische Dekrement

$$\Delta = \eta_L\ \pi$$

und die relative Dämpfung

$$\zeta = \frac{\eta_L}{2}$$

berechnet werden können.

3. VERSUCHE

3.1 Allgemeines

Die Versuche wurden an einer Deckenkonstruktion ausgeführt, wie sie in Schweden heute schon gelegentlich angewendet wird. Das tragende Kaltblechprofil ist ein Trapezblech, welches auf der Oberseite mit Bauplatten, heute meist Spanplatten, versehen wird. Die Unterdecke besteht meist aus Gipskartonplatten die zwecks besserer Schalldämmung mittels federnder Kaltblechprofile mit dem Trapezblech verbunden sind, siehe Bild 5. Zur Verbesserung des Trittschallmasses kann die Decke noch mit einem schwimmenden Fussboden aus beispielsweise Spanplatten und einer federnden Zwischenlage versehen werden.

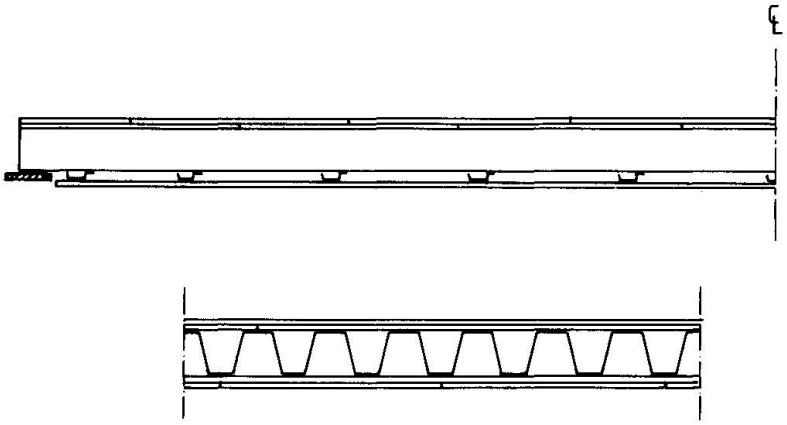


Bild 5 Schematischer Aufbau einer Leichtbaudecke

Die Aufgabe der Bauplatten auf der Oberseite des Trapezbleches ist in statischer Hinsicht die Lastverteilung von Punktlasten in Querrichtung. Wenn man auf ihre mittragende Wirkung in Haupttragrichtung infolge des teilweisen Verbundes verzichtet, können Bauplatten geringer Breite zur Anwendung kommen. Bei den Versuchen wurden Gipskartonplatten mit grosser Dichte (Gyproc GG) benutzt, welche den Vorteil haben wegen ihrer geringen Abmessungen 600x2400x12,5 mm leicht hantiert und eingebaut werden zu können.

Um die Wirkung verschiedener Ausführungen zur Strukturdämpfung vergleichen zu können, wurden die Messungen an Plattenstreifen durchgeführt, und zwar hauptsächlich an Plattenstreifen in der Haupttragrichtung der Decke, da bei Biegeschwingungen in der schwachen Richtung nur ein sehr kleiner Anteil der gesamten mechanischen Energie in Wärme umgewandelt werden kann.

Durch Versuche an Plattenstreifen können nur die Eigenfrequenzen und die Modaldämpfung der Streifen bestimmt werden. Die Eigenfrequenzen der ganzen Platte können mit Kenntnis der Biegesteifigkeiten in den beiden Richtungen berechnet werden. Auch die Antwort der Platte auf eine Impulslast kann nach [4] berechnet werden.

3.2 Versuchskörper

Als tragendes Kaltblechprofil wurde das Trapezblech TP 120/1,0 von DOBEL benutzt. Die Gipskartonplatten auf der Oberseite waren vom TYP GG (Gyproc) mit dem Gewicht 14 kg/m^2, die auf der Unterseite vom TYP GN mit dem Gewicht 9 kg/m^2. Es wurden handelsübliche Schnellbauschrauben benutzt.

Folgende viskoelastische Materialien wurden benutzt:

1. Dempison A5 (Icopal AB, Malmö) mit η = 0,45 und G = 42 N/mm^2
2. Terostat 81 (Teroson, BRD) mit η = 0,67 und G = 0,2 N/mm^2

Da keine Materialdaten für niedrige Frequenzen vorlagen, mussten diese erst versuchsmässig bestimmt werden [5]. Eine Auswahl der Prüfkörper ist in Tabelle 1 beschrieben. Alle Prüfkörper sind 600 mm breit und an ihren Enden mit der Stützweite 4,0 m einfach gelagert.

3.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Die Versuchskörper wurden in der Mitte mit einen Gummihammer zum Schwingen gebracht. Nach einigen Anfangsstörungen war die niedrigste Biegeeigenschwingung vorherrschend. Das Signal wurde mit Hilfe eines Beschleunigungsaufnehmers (Brüel & Kjaer, Typ 4370), eines Ladungsverstärkers (Brüel & Kjaer, Typ 2635) sowie eines Speicheroszilloskops (Nicolet, Typ 2050-3) während des Zeitraumes von 4 Sekunden registriert. Das logarithmische Dekrement wurde mit Hilfe der Amplitudenwerte a und der Zahl der Perioden n berechnet zu

$$\Delta = \frac{1}{n} \ln \frac{a_i}{a_{i+n}}$$

woraus die relative Dämpfung berechnet wird zu

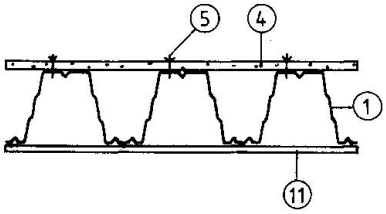
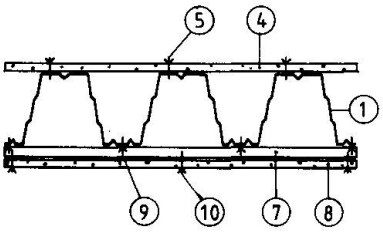
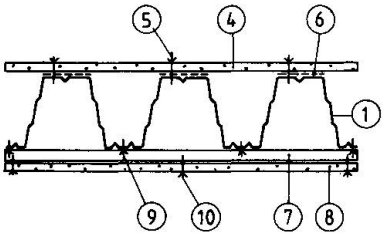
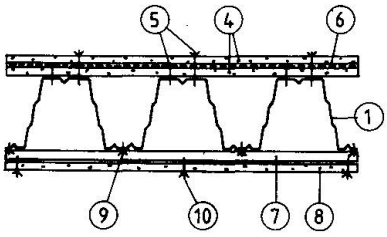
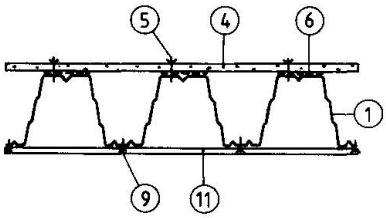
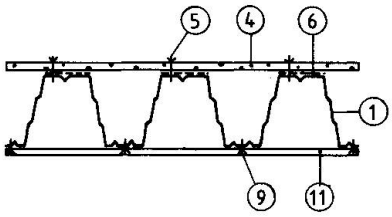
$$\zeta \approx \Delta/2\pi$$

Die in Tabelle 2 angegebenen Werte sind Mittelwerte der ersten 10 bis 15 Perioden nach Abklingen der Anfangsstörungen. Die Dämpfung wurde langsam kleiner und betrug nach ungefähr 35 Perioden meist nur 70 bis 80 % der Tabellenwerte. Die Werte enthalten somit eine Unsicherheit betreffend ihrer absoluten Werte. Für den Vergleich der Dämpfung verschiedener Prüfkörper hat dies jedoch geringe Bedeutung.

Ausser der relativen Dämpfung wurde auch die statische Biegesteifigkeit mittels einer Linienlast in der Mitte der Spannweite bestimmt. In der Tabelle 2 ist

auch die niedrigste Eigenfrequenz angegeben sowie die, soweit es möglich war, theoretischen Werte für die relative Dämpfung.

Tabelle 1 Probenausführung der Plattenstreifen in Haupttragrichtung

S 4		1 Trapezblech TP 120/1,0 4 Gipskarton GG in Quermontage nach Bild 6 a) 5 Schrauben Typ GG 11 Versteifungsprofile, mit Zwingen befestigt
S 5		1 Trapezblech TP 120/1,0 4 Gipskarton GG in Quermontage 5 Schrauben Typ GG 7 Blechprofil Typ IR, c = 400 mm 8 Gipskarton GN, Längsmontage 9 Blechschrauben 10 Schnellbauschrauben
S 7		wie S 5, jedoch mit 6 Terostat 81, t_1 = 2 mm
S 13		1 Trapezblech TP 120/1,0 4 Gipskarton GG in Quermontage nach Bild 6 b) 6 Dempison A5, t_1 = 5 mm 5, 7, 8, 9, 10 wie S 5
S 16		1 Trapezblech TP 120/1,0 4 Gipskarton GG in Längsmontage nach Bild 6 c) 5 Schrauben Typ GG, c = 200 mm 6 Terostat 81, t_1 = 2 mm 9 Blechschrauben 11 Versteifungsprofile
S 18		1 Trapezblech TP 120/1,0 4 Gipskarton GG, Quermontage nach Bild 6 a) 5 Schrauben Typ GG 6 Dempison A5, t_1 = 5 mm 9 Blechschrauben 11 Versteifungsprofile

Forts.

Tabelle 1 (Fortsetzung)

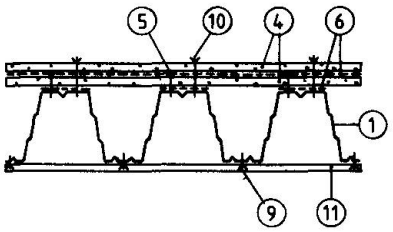
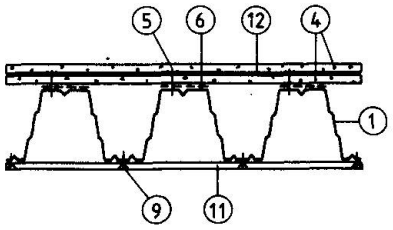
S 20		Bezeichnungen wie S 18 4 Gipskarton GG, Quermontage nach Bild 6 b) 10 Schnellbauschrauben
S 21		Bezeichnungen wie S 18 4 Gipskarton GG, Quermontage nach Bild 6 d) 12 Leimfuge, jedoch nicht in den kurzen Überlappungen

Tabelle 2 Versuchsergebnisse

Probe	$EI_{stat} \cdot 10^{-11}$ N/mm²/m	f Hz	ζ %	ζ_{theor} %
S 4	6,76	14,6	0,16	
S 5	7,98	12,8	0,18	
S 7	7,24	12,2	0,50	0,11
S 13	8,67	12,3	1,63	
S 16	-	15,4	0,9	1,23
S 18	7,80	14,6	1,4	1,21
S 20	8,47	13,2	2,4	
S 21	7,29	12,9	2,2	2,36

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Dämpfung durch viskoelastische Beläge erheblich verbessert werden kann. Die Methode der unterbrochenen Sperrschicht erfordert für die baupraktische Anwendung Beläge mit grossem Schubmodul.

Wenn der Schubmodul sehr klein ist wird die erforderliche Länge der Sperrschicht sehr gross. Eine Parameterstudie zeigt den Einfluss der Sperrschichtlänge L_1 auf die relative Dämpfung (Bild 7). Die berechneten Werte für die Proben S 18 und S 21 sind gekennzeichnet. Im Diagramm sind auch, mit unterbrochenen Kurven, berechnete Werte für die einlagige Ausführung mit 12,5 und 19 mm dicken Spanplatten dargestellt. Der geringere Elastizitätsmodul müsste in diesem Fall durch grössere Plattendicken ausgeglichen werden.

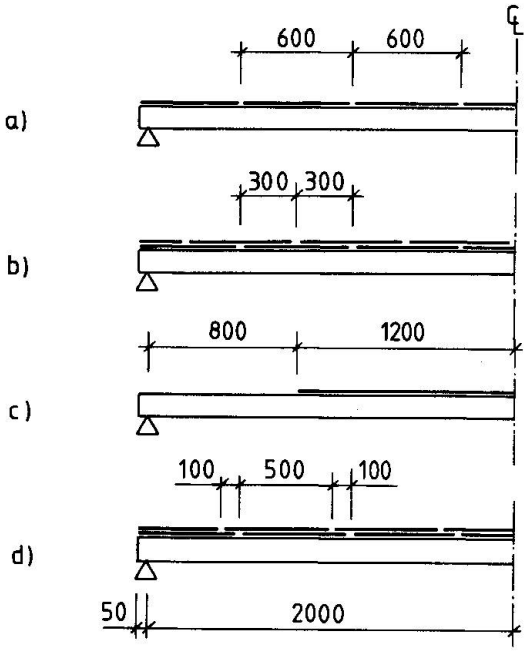


Bild 6 Anordnung des Gipskartonplatten auf der Oberseite

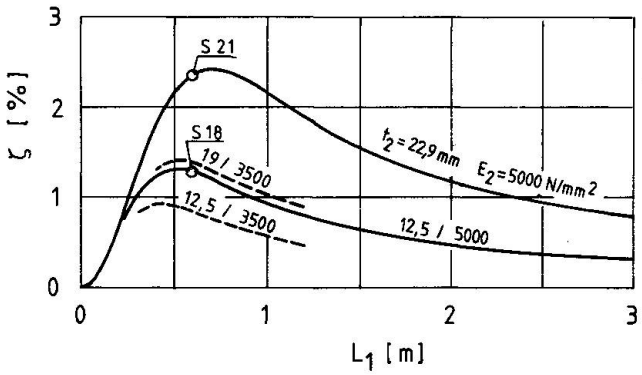


Bild 7 Der Einfluss der Sperrschichtlänge auf die relative Dämpfung

4. SCHLUSSWORT

Das vorliegende Forschungsvorhaben wurde an der Technischen Hochschule in Stockholm, Abteilung für Stahlbau durchgeführt und vom Schwedischen Rat für Bauforschung (BFR) unterstützt. Eine Fortsetzung der Untersuchungen ist vorgesehen, bei der vor allen Dingen auch ganze Decken studiert werden sollen.

5. SCHRIFTTUM

1. SBN 1980, Svensk Byggnorm. Statens planverk, Stockholm.
2. ENGEBRETSEN P.A., Bjelkelag med stålprofiler av tynnplater. Norges Byggeforskningsinstitutt, arbeidsrapport 30, Oslo 1980.
3. OHLSSON S., Floor vibrations and human discomfort. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1982.
4. OHLSSON S., Svikt, svängningar och styvhet hos bjälklag. Byggforskningsrådet T20:1984, Stockholm.
5. KÖNIG J., Strukturdämpning i tunnplåtsbjälklag. Kungl. Tekniska Högskolan, Avd. för Stålbyggnad, Stockholm. Erscheinung geplant 1986.
6. CREMER L. & HECKL M., Körperschall. Berlin, 1967. Kap. III.
7. HARRIS C.M. & CREDE C.E., Shock and vibration handbook, Second ed. New York 1971. Chapter 37.
8. LAZAN B.J., 1966, Damping properties of materials, members and composites. Appl. Mech. Surveys, Washington, 1966.
9. PLUNKETT R. & LEE C.T., Length optimization for constrained viscoelastic damping. Journal of the Acoustical Society of America, 48(1), 1970.