

## Objekt: Postareal, Salzburg

## Elastische Gebäude-Lagerung

### Situation

- Geforderte Abstimmfrequenz 15 Hz
- Elastische Lagerung auf CIBATUR 1000-Noppenmatten ausreichend

## Stellungnahme Calenberg Ingenieure zu den Eigenschaften von CIBATUR 1000

### **Postareal, Bauteil C, Salzburg Cibatur 1000**

Sehr geehrter Herr DI Auer,

gern bestätigen wir Ihnen hiermit, dass unser Elastomerlager Cibatur 1000 dem vorgeschlagenem Produkt in dem Gutachten ZI. 1295/0703, Abschnitt 7.1, Elastomerlager, erstellt von Univ. Prof. Dr. Steinhauser, entspricht.

Somit werden die geforderten technischen Anforderungen gemäß dem Abschnitt 7.1 hinsichtlich Erschütterungsschutz, die an die Gebäudelagerung bei diesem Objekt gestellt werden, erfüllt.

Das angebotene Produkt Cibatur 1000, eingesetzt in dem von Ihnen vorgegebenen Lastbereich von min. ca. 50 kN/m<sup>2</sup> und max. ca. 260 kN/m<sup>2</sup>, bewirkt Eigenfrequenzen des Masse-Feder-Systems von ca. 10 – 11 Hz.

Entsprechend setzt eine Isolierwirkung der Dämm – Maßnahme ab ca. 14 bzw. 16 Hz ein.  
Die Einfederung von Cibatur 1000 beträgt für den angegebenen Lastbereich ca. 6 – 11 mm.

Diese von uns gemachten Angaben wurden prüftechnisch ermittelt und können dem diesem Schreiben beigefügten Bericht 17/05 der TU Dresden entnommen werden.

Ein besonderer Vorteil von Cibatur 1000 als Vollkautschukprodukt liegt darin, dass es kein Wasser aufnimmt und somit auch in nasser Umgebung die volle Dämmleistung beibehält.  
Zusätzlich sorgt die unterseitige Noppenstruktur der Matte dafür, dass im evtl. Fall eines Wassereintrittes in die Lagerfuge dieses problemlos durch die Noppenzwischenräume wieder abgeführt werden kann.

Mit freundlichen Grüßen

Calenberg Ingenieure GmbH

  
i. V. Michael Weber

# Aktennotiz imb-dynamik zu Fragen Prof Steinhauser

*Hinweis: Am Ende dieses Dokumentes sind die Fragen von Prof. Steinhauser angegeben*



Ing.-Büro Dr.-Ing. Müller-Boruttau  
Beratende Ingenieure BYIK

Tel +49-8143-6313 Fax +49-8143-8767 Breitbrunner Str. 5 D-82266 Inning-Buch imb-dynamik@t-online.de www.imb-dynamik.de

Calenberg Ingenieure, Herr Schmitz

Auftragsnr. 468.67

email

9 Seite(n)

Salzburg, Postareal, Elastische Gebäudelagerung

Beantwortung der von Herrn Prof. Steinhauser aufgeworfenen Fragen

Dr.-Ing. Müller-Boruttau

Aktennotiz N468671a.doc vom 14.08.2007

## 1 Sachstand

Bei dem Bauvorhaben (BV) Salzburg, Postareal, ist eine elastische Gebäudelagerung zum Schutz vor Erschütterungseinwirkungen aus Schienenverkehr erforderlich. Damit diese Lagerung wie geplant funktioniert ist eine Reihe von Bedingungen zu erfüllen. Herr Prof. Dr. Peter Steinhauser hat in einem als Anlage beigefügten Schreiben solche Bedingungen zusammengestellt. Diese Aktennotiz soll die aufgeworfenen Fragen beantworten.

Vorab sei bereits erwähnt, dass die Anforderungen in vollem Umfang erfüllt werden können.

## 2 Modellierung, Abstimmfrequenz

Bei den meisten Vereinfachungen zur Untersuchung derartiger Bauaufgaben werden die Gebäude als Ein-Massenschwinger modelliert. Bei Lagerungen von Gebäuden dieser Größenordnung ist das natürlich nicht mehr ausreichend. Aufgrund der Besonderheiten der Calenberg Ingenieure Matten USM 1000W sind dennoch eine ganze Reihe von Vereinfachungen möglich. Die wichtigste Besonderheit in diesem Zusammenhang ist die Formveränderung der Noppen bei zunehmender Auflast.

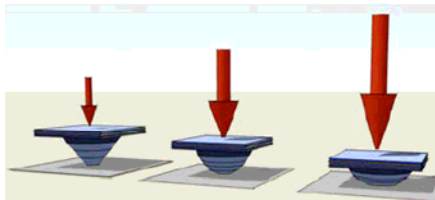


Abbildung 1 Noppenverbreiterung infolge Auflast

Je nach Auflast flachen die Noppen ab und verbreitern sich. Daraus ergeben sich zwei vorteilhafte Effekte.

- 1) Die Einfederung ist nichtlinear, die Noppen werden mit zunehmender Pressung immer steifer. (Anlage 2)

- 2) Die Geometrie der Noppen wurde dabei so gewählt, dass sich immer eine Abstimmfrequenz von 10 Hz einstellt. (Anlage 3)

Durch den Effekt 1) wird die Schiefstellung eingeschränkt. Durch den Effekt 2) wird die vertikale Abstimmfrequenz zu konstant 10 Hz eingefroren, wobei dies unabhängig von der Bodenpressung ist.

### 3 Schiefstellung

Der Bauablauf bewirkt, dass die Pressungen sehr unterschiedlich zunehmen. Zu Beginn tritt eine konstante Flächenlast infolge der Bodenplatte auf. Durch betonierte Wände treten quasi Linienlasten auf. Mit dem sich weiter bildenden steifen Kasten wird die Zunahme der Pressung einigermaßen gleichmäßig sein. Eine genaue Betrachtung würde die Berechnung jedes Einzelschrittes erfordern. Durch die Nichtlinearität der Noppen ist dies jedoch nicht erforderlich. Auch eine Schiefstellung ist praktisch nicht möglich. Eine Schiefstellung wäre zu befürchten, wenn man z. B. ein starres Einzelfundament z. B. einer Maschine zusammen mit der Maschine auf eine elastische Lagerung stellen würde. Dies kann sich aber nur dann störend bemerkbar machen, wenn die horizontalen Abmessungen der Lagerungsfläche relativ gering im Vergleich mit der vertikalen Schwerpunktshöhe sind.

Bei dem BV verläuft aber der Bau anders. Es handelt sich nicht um einen starren Baukörper, der quasi auf eine Lagerung gesetzt wird. Vielmehr geschieht der Aufbau der Belastung schrittweise entsprechend den einzelnen Bauphasen. Nun kann es sein, dass sich nach Betonieren z. B. eines Teils der Kellerwände theoretisch eine minimale Schiefstellung ergäbe. Die Größe soll mit einer überschlägigen Berechnung abgeschätzt werden.

Infolge einer 60 cm dicken Bodenplatte ergibt sich eine Pressung von  $0,015 \text{ N/mm}^2$ . Diese führt zu einer Einsenkung von ca. 1,5 mm. Durch Betonieren einer Wand am Rand der Bodenplatte ergebe sich nun eine lokale Randpressung von  $0,05 \text{ N/mm}^2$ , welche zu einer Einsenkung von rund 5 mm führt. Wenn diese Bodenplatte eine charakteristische Länge von 10 m hat, ergibt sich eine Verdrehung von  $\tan \alpha = (5-1,5)/10000$ , welche bei einer Wandhöhe von 4 m eine Auslenkung der Wandoberkante  $y = 1,4 \text{ mm}$  zur Folge hat. Bei dem Betonieren der restlichen Kellerwände wird sich diese Schiefstellung zu einem gewissen Teil sowieso wieder ausgleichen. Bei zunehmenden Pressungen werden infolge der Nichtlinearitäten der Noppen die Schiefstellungen immer geringer. Nun sind wenige mm an sich sowieso nicht groß –im Vergleich zu baulichen Genauigkeiten – sie werden aber auch dadurch in ihrer Bedeutung immer geringer, da ja der Baukörper nicht auf einmal, sondern sukzessive erstellt wird. Wie bei dem Schiefen Turm von Pisa wird also eine Schiefstellung der unteren Geschoße bei dem Bau der weiteren Geschoße durch erneute Ausrichtung am Lot wieder beseitigt, so dass am Ende der Bau als Ganzes praktisch lotrecht steht. Die Pisa-artige Verkrümmung bewegt sich bei wenigen mm und sie wird überhaupt nicht wahrnehmbar sein. Bei einer Pressung von  $0,05 \text{ N/mm}^2$  (unterer Wert nach Angabe von Prof. Steinhauser) ergibt sich eine Einsenkung von 5 mm, bei dem oberen Wert von  $0,26 \text{ N/mm}^2$  ergeben sich 11 mm. Selbst wenn man nun den gesamten Baukörper hypothetisch starr betrachtet in einem Zug auf die elastische Lagerung stellen würde, hätte man bei einer charakteristischen horizontalen Abmessung von nur 10 m eine Verdrehung von maximal 6 mm auf 10 m. Bei einer Gebäudehöhe von 30 m ergibt sich eine Auslenkung in Dachhöhe von 18 mm. Selbst diese – weit auf der sicheren Seite berechnete Auslenkung – wird nicht wahrnehmbar sein. Es ist zu

erwarten, dass sich in Realität eine Auslenkung von nur wenigen mm einstellen wird. Dies kann sicherlich vernachlässigt werden.

#### 4 Isolierung des gesamten Baukörpers

Bei dieser elastischen Lagerung ist vorgesehen, das gesamte Gebäude<sup>1</sup> zu isolieren. Daher ist hier – wie von Prof. Steinhauser ausgeführt – peinlichst darauf zu achten, dass keinerlei Körperschallbrücken zwischen isoliertem und nicht isoliertem Bereich entstehen.

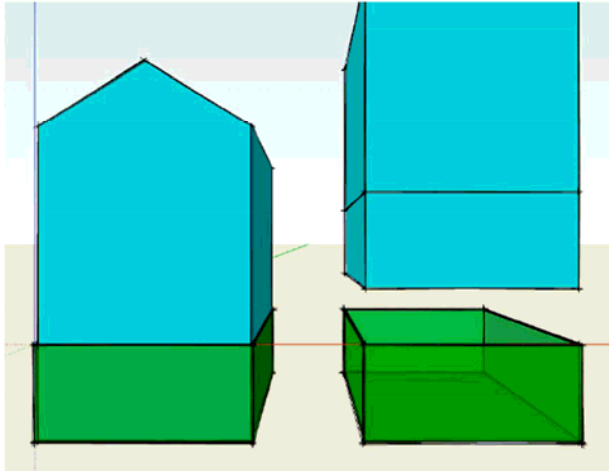
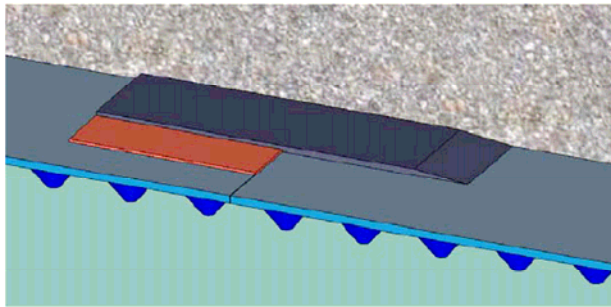


Abbildung 2 Visualisierung der „Entnehmbarkeit“

Das gesamte Gebäude (blau) muss „durch Anheben aus der elastischen Schicht (grün) quasi entnehmbar“ sein. Eine Körperschallbrücke führt nun aber dazu, dass das Gebäude mit seiner Umgebung im Sinne eines Kurzschlusses verbunden ist, und dann nicht mehr „entnehmbar“ ist. Mit Hilfe des Überlappungsstreifens der Calenberg Ingenieure Matten ist die Forderung nach einer lückenlosen Abdichtung gut zu erfüllen.

<sup>1</sup> Wir haben in einigen besonders gelagerten Fällen auch mit Teilflächenlagerungen die erforderliche Schutzwirkung herstellen können, s. [http://www.imb-dynamik.de/pdf/publ/Teilflaechige\\_elastische\\_Gebaeudelagerung\\_-\\_Bau-\\_und\\_Bodendynamische\\_Simulation\\_und\\_Ausfuehrung.pdf](http://www.imb-dynamik.de/pdf/publ/Teilflaechige_elastische_Gebaeudelagerung_-_Bau-_und_Bodendynamische_Simulation_und_Ausfuehrung.pdf)



*Abbildung 3 Abdichtung eines Mattenstoßes mittels geklebtem Überlappungsstreifen*

Die Mattenstöße werden mittels eines Überlappungsstreifens abgedeckt. Dieser Streifen (grau) ist am Rand einer Matte anvulkanisiert (rechte Matte). Mittels Kleber (rot) wird der Überlappungsstreifen an der benachbarten Matte anvulkanisiert. Damit ist die Fugendichtigkeit gewährleistet. Bei der Verkleidung der Seitenwände ist natürlich ebenfalls auf strikte Abdichtung der Oberfläche zu achten.

#### 5 Erdbeben

Infolge der elastischen Isolierung ist das Gebäude von den Schwingungen des Bodens effektiv abgekoppelt. Aufgrund der großen Grundfläche und der Untergeschosse ist die Gefahr des Kippens des Gebäudes ausgeschlossen. Die Dämpfung durch die Matten der Sohlfläche und der Wandflächen verhindert ein Aufschwingen des Gebäudes.

Das Gebäude besitzt infolge der elastischen Lagerung eine gewisse Beweglichkeit und Nachgiebigkeit. Dies wird dazu führen, dass am Gebäude ggf. sogar geringere Schäden zu erwarten sind.

#### 6 Sauberkeit bei Verlegung, Versiegelung

Als Untergrund für die Verlegung der Sohlmatte ist eine grob abgezogene, unbewehrte, gekehrte Sauberkeitsschicht völlig ausreichend.

Wie oben in Kapitel 4 *Isolierung des gesamten Baukörpers* bereits hingewiesen, muss die Oberfläche von Sohl- und Wandmatten völlig geschlossen sein. Damit ist praktisch die erforderliche Versiegelung hergestellt.

Die Einfederung des Gebäudes bei Erschütterungseinwirkungen infolge von Zugfahrten kann aufgrund der zu erwartenden Schwingungen des fertigen, isolierten Gebäudes abgeschätzt werden. Am Fundament soll ungünstigst noch eine Schwingung von  $KB = 0,1$  (Fühlschwelle) auftreten. Bei einer maßgebenden Frequenz von 10 Hz ergibt sich hierzu eine einseitige Amplitude von  $0,002 \text{ mm} = 2 \mu\text{m}$ . Es ist praktisch unmöglich, diese Schwingung durch eingeschlammten Sand oder ähnlich zu verhindern. Wollte man damit eine derartige Schwingung unterbinden, könnte man das nur mit einem sehr hoch verdichteten Sandbett gelingen. Von der Seite her eingeschwemmter Sand kommt aufgrund der Filterwirkung nicht sehr weit unter das Gebäude. Er kann auch bei weitem nicht die erforderliche Verdichtung erhalten. Daher ist dieser Effekt für die Praxis unbedeutend.

**7 Verlegung**

Es ist von erheblichem Vorteil, dass die gesamte Sohl- und Wandfläche mit dem identischen Produkt belegt werden kann. Daher muss kein gesonderter Verlegeplan ertelt werden, sondern die Matten können über die gesamte Fläche einfach ausgerollt und einfach abgedichtet werden.

**8 Einfluss der Wandmatte**

Die Grundrissfläche beträgt rund 200 m<sup>2</sup>, die isolierte Wandfläche ca. 90 m<sup>2</sup>. Die Sohlfuge wird auf Druck beansprucht, die Wandfläche auf Schub. Die flächenbezogene Ersatz-Schubfederrate kann zu rund 50 % der flächenbezogenen Ersatz-Druckfederrate angesetzt werden. Die vertikale Gesamtfederrate erhöht sich durch den Einfluss der Wandmatte von 100 % auf rund 122 %.

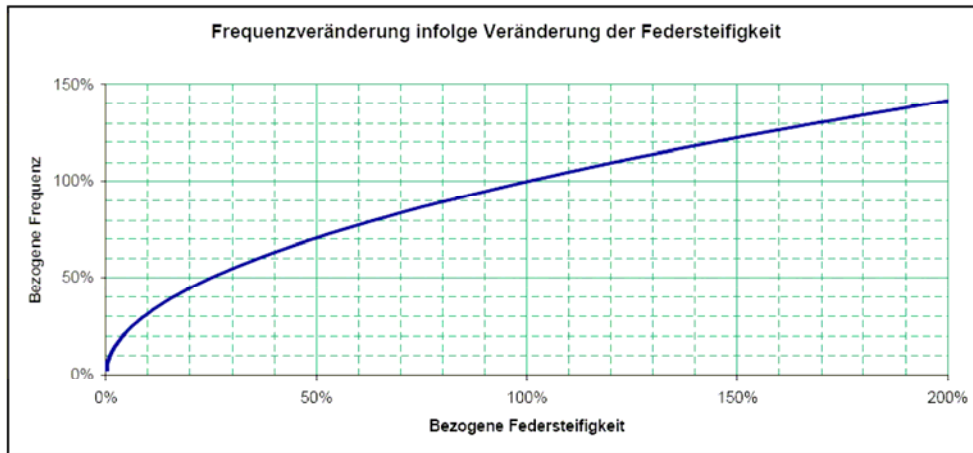



Abbildung 4 Frequenzveränderung infolge Veränderung der Federsteifigkeit

Ein Erhöhung der Federrate von 100 % auf 122 % verursacht einen Anstieg der bezogenen Frequenz von 100 % auf rund 110 %. Statt der angestrebten Abstimmfrequenz von rund 10 Hz wird sich demnach eine reale Abstimmfrequenz von 11 Hz einstellen.

Prof. Steinhauser hat bzgl. dieses BV eine baudynamische Untersuchung durchgeführt.



UNIV. PROF. DR. PETER STEINHAUSER  
 ZIVILINGENIEUR FÜR TECHNISCHE PHYSIK  
ALLGEMEINER BEWEISER U. GERICHTL. ZERTIFIZIERTER SACHVERSTÄNDIGER FÜR ERDSCHÜTTERUNGSSCHUTZ UND INGENIEURBEREICH  
 A-1190 WIEN, DELUGSTRASSE 8 – TEL. (0)1 320 54 51, FAX DW 15 – e-mail: cffoe@steinhauser.eu

Z1.1295.0703

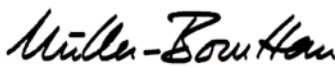
**UNTERSUCHUNG DES ERSCHÜTTERUNGSSCHUTZES  
 DES WOHNHAUSES AM  
 POSTAREAL BF. SALZBURG – BAUTEIL C**

In diesem Gutachten kommt er zu dem Schluss, dass eine Abstimmfrequenz von 15 Hz ausreicht, um das Gebäude erfolgreich gegen Erschütterungseinwirkungen zu schützen.

#### 7.1 ELASTOMERLAGER

Die Lagerung auf einer Elastomerschicht ist nur bei einem Plattenfundament möglich. Unter Berücksichtigung der Eigen- bzw. Anregungsfrequenzen von Untergrund, Gebäude und Schienenverkehr ergibt die Optimierungsrechnung eine Eigenfrequenz von  $f = 15$  Hz.

Auch eine realisierbare Abstimmfrequenz von 11 Hz ( $\ll 15$  Hz) übererfüllt diese Anforderung mit sehr gutem Abstand.



Dr.-Ing. Frank Müller-Borutta  
Beratender Ingenieur BYIK, VDI, VDEI  
Öffentlich bestellter und vereidigter  
Sachverständiger für Baudynamik  
Sachverständiger für Luftschall  
Sachv. d. Eisenbahnbundesamtes



Dr.-Ing. Norbert Breitsamter

**Wir liefern zertifizierte Qualität DIN EN ISO 9001:2000.**

Dokument erstellt von

Dr.-Ing. F. Müller-Borutta

**9 Anlage 1 Schreiben Prof. Steinhauser**



UNIV. PROF. DR. PETER STEINHAUSER  
 ZIVILINGENIEUR FÜR TECHNISCHE PHYSIK  
 ALLGEM. BEIREDER U. GERICHTL. ZERTIFIZIERTER SACHVERSTÄNDIGER FÜR ERSCHÜTTERUNGSSCHUTZ UND INGENIEURGEOPHYSIK  
 A - 1190 WIEN, DELUGSTRASSE 8 – TEL. (01) 320 54 51, Fax DW 15 – e-mail: office@steinhauser.eu

03.08.2007

An die  
 Arge Planung Postareal Bf.Salzburg  
 Herrn DI Wolfgang Bauer

Kolonitzgasse 2a  
 1030 Wien

ZI.1352/0703

Betr.: Postareal Salzburg, Bauteil C

**Stellungnahme zur Auswahl der Elastomermatten**

Grundsätzlich sind erzeugerunabhängig alle Elastomertypen verwendbar, die die geforderten Spezifikationen erfüllen. Dazu gehört auch, dass – in Analogie zur Baustatik – der rechnerische Nachweis für die materialspezifische Auslegung der Lagerung vorgelegt wird. Dieser wird im allgemeinen an Hand des Modells eines starren Körpers mit 6 Freiheitsgraden durchgeführt. Die Dimensionierung der Lagerung richtet sich insbesondere nach der Massenverteilung im Gebäude, den Trägheitsmomenten und dem Schwerpunkt des Gebäudes. Der Schwerpunkt des Lagerungssystems muss mit dem Schwerpunkt des Gesamtgebäudes übereinstimmen, um eine Schrägstellung des Bauwerks bzw. die Überlastung einzelner Lagerbereiche zu vermeiden.

Weiters ist darauf hinzuweisen, dass dem „Prinzip des schwimmenden Estrichs“ entsprechend, der gesamte Untergeschoßbereich des Hauses vom angrenzenden Erdreich durch Elastomermatten abzutrennen ist. Dies umso mehr, als die Erschütterungsemissionen des Schienenverkehrs einen ausgeprägten Horizontalkomponentenanteil besitzen. Die Änderung der Frequenzen durch die Auswirkung der Seitenmatten ist bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Bei der Besprechung am 2.d.M. wurde auch die Frage der Erdbebenlasten aufgeworfen. Dazu ist mitzuteilen, dass gemäß ÖNORM B 4015 (2006) für Salzburg, das der Erdbebenzone 0 zuzuordnen ist, als horizontale Referenzbodenbeschleunigung  $a_{gR}$  der Beschleunigungseffektivwert  $a = 0,31 \text{ m/s}^2$  zu verwenden ist. Diese dynamische Belastung darf das Gebäude trotz elastischer Lagerung in seiner Standfestigkeit nicht gefährden.

Im Hinblick darauf, dass für die Wirksamkeit der Matten des Systems Calenberg das freie Einfedern der Noppenstruktur eine notwendige Voraussetzung darstellt, ist darauf hinzuweisen, dass Sauberkeit bei der Verlegung in extremem Ausmaß gefordert ist. Damit die Matten langfristig (Lebensdauer des Hauses) funktionsfähig bleiben, sind die Noppenzwischenräume vor Wasser und Verschmutzung aller Art (Staub, etc.) sorgfältig zu schützen, was de facto eine Versiegelung erfordert.



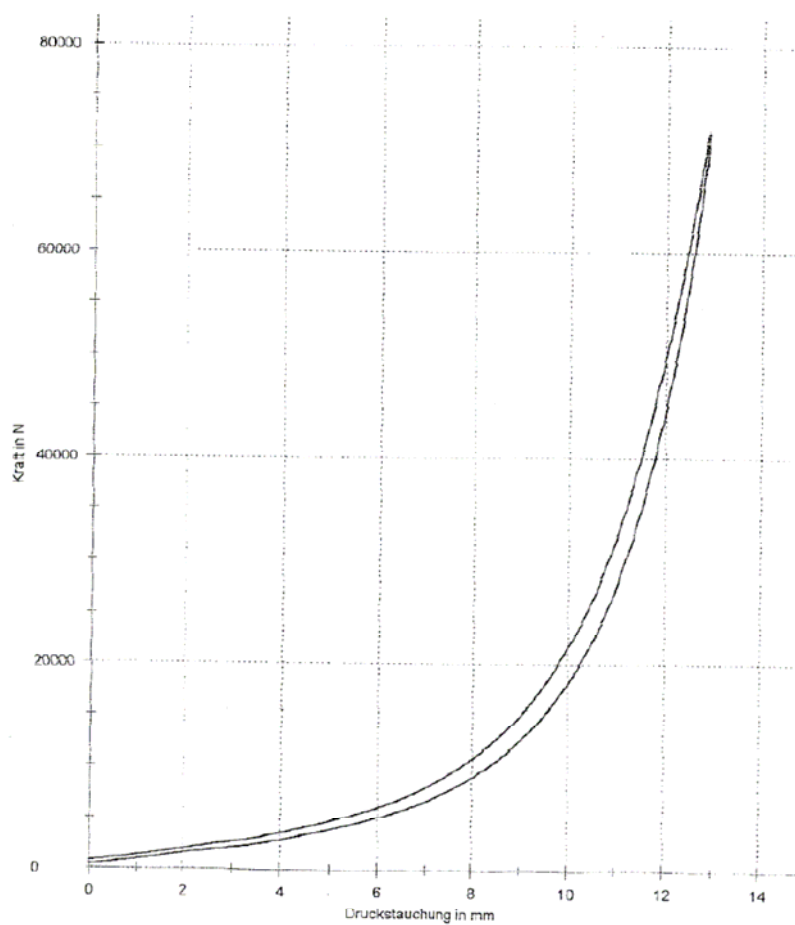
(Univ.Prof.Dr.Peter Steinhauser)



10 Anlage 2



Druckfederkennlinie zwischen Faserzementplatten

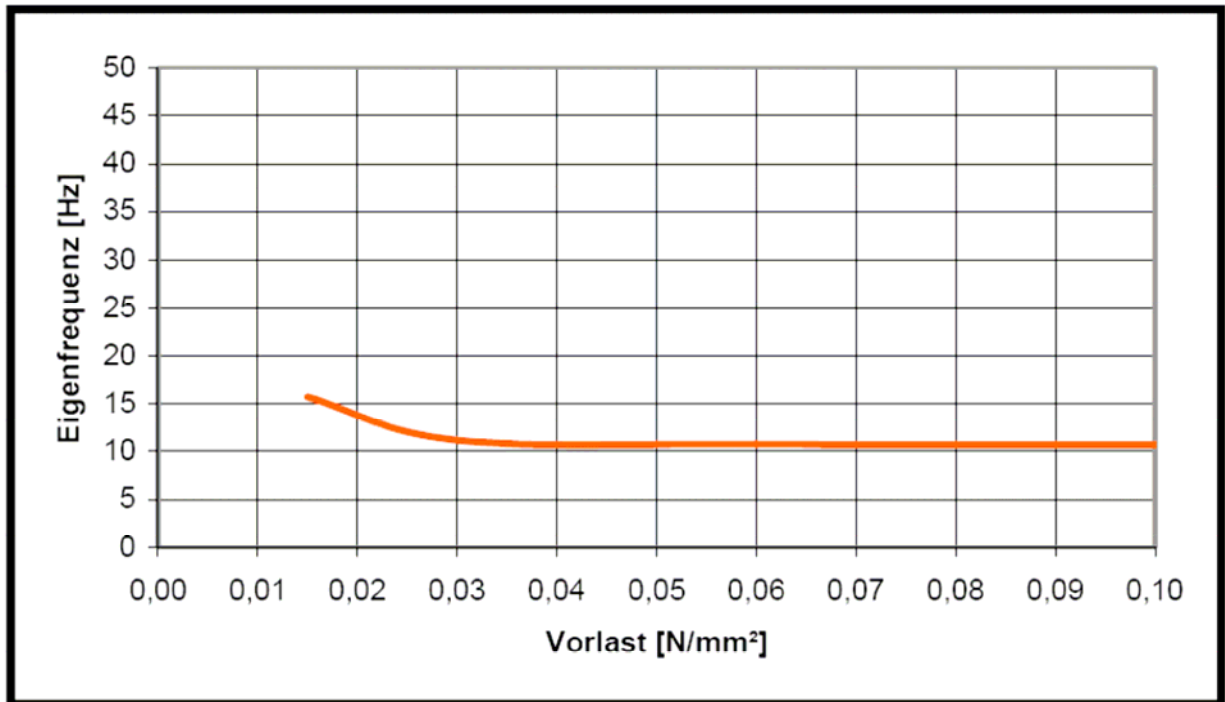


Zur Umrechnung auf Pressungen:

20 000 N entspricht 0,2 MN/m<sup>2</sup> oder 200 kN/m<sup>2</sup> oder 0,2 N/mm<sup>2</sup>

## 11 Anlage 3

## Eigenfrequenz



## Realisierung: Mattenanlieferung



## Verlegung





