

DR.-ING. HELMUT KRAMER

Ingenieurbüro für das Bauwesen · VBI · Prüflingenieur für Baustatik

Dr.-Ing. Helmut Kramer · Glockengießerwall 1 · 2000 Hamburg 1

Entwurf  
Statische Berechnung  
Grundbau ·  
Schwingungstechnik

Glockengießerwall 1  
2000 Hamburg 1  
Telefon: 040/33 00 39  
Telefax: 040/33 60 92

Zur Ber. Nr. <sup>F</sup> 22 13

Datum

Az:

### **Forschungsarbeit**

### **"Erschütterungsschutz"**

### **Kurzbericht**

Dr.-Ing. Helmut Kramer

Obmann des Arbeitskreises 9

### **"Baugrunddynamik"**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Förderungskennzeichen B I 5 - 80 01 88 - 12) gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Inhaltsverzeichnis

1. Ziel der Forschungsaufgabe
2. Durchführung der Forschungsaufgabe
3. Ergebnisse der forschungsaufgabe
4. Danksagung

### 1. Ziel der Forschungsaufgabe

1.1 Das Umweltbewußtsein der Bevölkerung hat sich in den letzten Jahren erheblich sensibilisiert. Dem Rechnung tragend sind im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG vom 15.3.1974 mit zugehörigen Verordnungen und Folgegesetzen) zahlreiche Varianten von Umweltbelästigungen erfaßt. Dieses Gesetz regelt ausdrücklich "Luftverunreinigungen, Geräusche und Erschütterungen", ohne jedoch auf schädliche Umwelteinwirkungen durch Erschütterungen näher einzugehen. Es fehlen Angaben über Maßnahmen, Berechnungs- und Meßverfahren sowie Grenzwerte zum Schutze von Menschen und baulichen Anlagen vor Erschütterungen, die vor allem durch den Baugrund übertragen werden. Ziel der Forschungsaufgabe ist es, einen Beitrag zum Schließen dieser Lücke zu leisten.

1.2. Es ist allgemein bekannt, daß in der näheren Umgebung von Erschütterungsquellen, wie z.B. Maschinen Gründungen, öffentlichen Verkehrswegen, Rammen und Sprengungen manchmal nur geringe Umweltbeeinträchtigungen auftreten, andererseits aber spezielle Objekte -z.T. sogar weit entfernt liegende- durch ihr Resonanzverhalten empfindlich gestört werden können.

Die Praxis zeigt, daß bei der Errichtung von Wohnbauten und anderen schutzwürdigen baulichen Anlagen der Erschütterungsschutz im Hinblick auf die Baugrundübertragung im allgemeinen bei der Planung nicht berücksichtigt wird, sondern erst aufgrund der Klagen von Bewohnern Beachtung findet.

Betrachtet man die einschlägigen technischen Normen und Richtlinien, so zeigt sich, daß auch dort der Baugrund als Übertragungsmedium von Erschütterungen nur wenig -und z. T. mit überholten Modellen- behandelt wird.

1.3 Dieser kurz skizzierte, vielschichtige Mangelzustand im Bereich des Erschütterungsschutzes veranlaßte den Arbeitskreis 9 "Baugrunddynamik" der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., zum erstenmal im deutschsprachigen Raum "Empfehlungen zur Baugrunddynamik" zu erarbeiten und zu veröffentlichen.

Bei der Übertragung schädlicher Umwelteinwirkungen in Form von Erschütterungen spielen die dynamischen Baugrundeigenschaften eine entscheidende Rolle. Die dafür zuständige Fachdisziplin ist die "Baugrunddynamik".

Die Baugrunddynamik stellt ein relativ junges Fachgebiet im Bereich des Bauingenieurwesens dar. In Deutschland wurden die ersten Arbeiten vor ca. 60 Jahren verfaßt. Heute gibt es zahlreiche Veröffentlichungen zur Baugrunddynamik -vorwiegend in englischer Sprache-, die für den praktisch tätigen Bauingenieur kaum noch überschaubar sind.

- 1.4** Die Anwendungsbereiche der Baugrunddynamik sind in den letzten Jahren vielfältiger und umfangreicher geworden. Einerseits sind die Erschütterungsquellen energiereicher und die Gebäude/Anlagen schwingungsanfälliger geworden. Andererseits wird es durch den wachsenden Mangel an Baugrundstücken notwendig, Gebäude und Erschütterungsquellen dichter zusammenzurücken. Schließlich ist zu berücksichtigen, daß das Umweltbewußtsein der Bevölkerung weiter zunehmen wird.
- Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, das Vorgehen bei baugrunddynamischen Aufgaben zu vereinheitlichen und Hinweise zu geben, wie durch rechtzeitige baugrunddynamische Untersuchungen Baukosten gespart und Schäden an Gebäuden/Anlagen sowie störende Umwelteinwirkungen vermieden werden können.

## **2. Durchführung der Forschungsaufgabe**

- 2.1** Bei der Beurteilung von Erschütterungen kann der Baugrund auf drei verschiedene Arten von Bedeutung sein:

1. Der Baugrund beeinflußt das Schwingungsverhalten von Gebäuden/Anlagen. (Baugrund-Bauwerk-Interaktion).
2. Der Baugrund überträgt Erschütterungen durch Wellenausbreitung. (Freifeldschwingungen).
3. Der Baugrund kann seine Eigenschaften aufgrund von Erschütterungseinwirkung ändern. (Verdichtung, Verflüssigung)

Der Punkt 3 wurde in dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben nicht behandelt.

Die Punkte 1 + 2 sind im Bild 1 dargestellt.

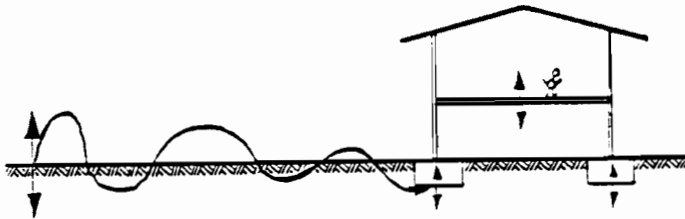


Bild 1

Quelle      Übertragungsstrecke      Fundament

Zu Punkt 1 ist anzumerken, daß es sich beim Schwingungsverhalten der Quelle und des Empfängers um dieselben dynamischen Baugrundeigenschaften handelt. Der einzige Unterschied besteht in der Art der Anregung

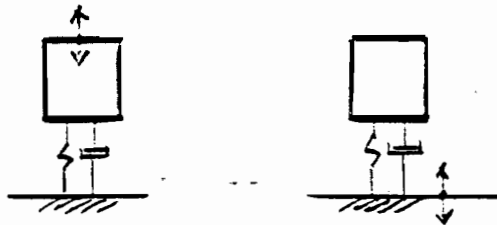


Bild 2

Quelle

Empfänger

die entweder von oben am Fundament (direkte Erregung), oder über den Baugrund (indirekte Erregung) angreifen kann. (Bild 2).

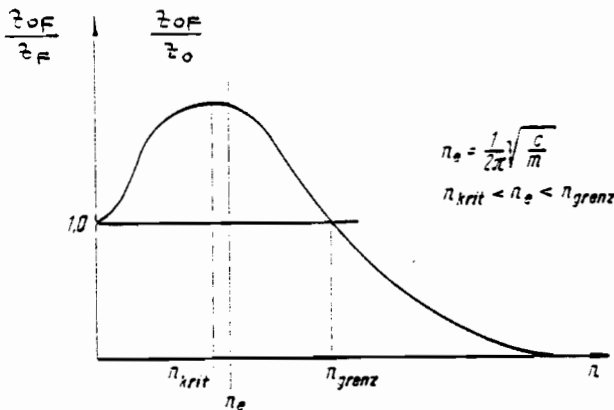
In beiden Fällen kann der als Halbraum existierende Baugrund durch frequenzabhängige diskrete Feder/Dämpfer-Elemente ersetzt werden.

Die Empfehlungen werden dazu Kennwerte in einfach anwendbarer Form bereit stellen. Die Gültigkeit dieser Kennwerte wurde aufgrund einer Versuchsreihe überprüft.

Erschütterungsschutz bedeutet gleichzeitig:

- Minderung der Emission an der Quelle
- Maßnahmen im Bereich des Übertragungsweges
- Minderung der Erschütterungsaufnahme durch den Empfänger

**2.2** An dieser Stelle sei auf einen weit verbreiteten Irrtum hingewiesen: Die Schwingungsamplituden des Empfängers  $Z_{OF}$  (Gebäudefundamente, Gebäudedecken etc.) sind im allgemeinen anders als die Schwingungsamplituden des Baugrundes an gleicher Stelle ohne Empfänger  $Z_O$  (Freifeldschwingung), oder des Baugrundes unmittelbar neben dem Empfängerfundament  $Z_F$ .



**Bild 3**

Wie Bild 3 zeigt, kann  $Z_{OF}$  kleiner und größer als  $Z_O$  sein.

Es ist daher in vielen Fällen unzulässig, trotz gleichartiger Erschütterungsquellen und Erschütterungsübertragung Meßergebnisse  $Z_{OF}$  ohne weiteres von einem Gebäudefundament auf ein anderes zu übertragen. Künftig anzugebende Immissionsgrenzwerte für Erschütterungen müssen deshalb unbedingt zwischen der Freifeldschwingung  $Z_O$  und der Gebäudeschwingung  $Z_{OF}$  unterscheiden.

**2.3** Die durch dieses Forschungsvorhaben finanziell geförderten Feldversuche ermöglichen es, folgende in Vorbereitung befindlichen "Empfehlungen zur Baugrunddynamik" zu verifizieren:

- E 1 Beschreibung des Baugrundes  
(unabhängig von baulichen Anlagen)
- E 2 Wellenausbreitung im Baugrund  
(Abnahme der Amplitude mit der Entfernung von der Quelle)
- E 3 Wechselwirkung Fundament-Baugrund  
(Ermittlung von Feder/Dämpfer-Elementen)

**2.4** Da der Baugrund aus sehr unterschiedlichen Bodenarten bestehen kann, die außerdem als Mischböden und in Schichtungen auftreten, sollten -um den Aufwand an

Feldversuchen einzuschränken- mit den bewilligten Fördermitteln zwei Standorte untersucht werden.

1. Bei Bremen wurde ein Grundstück gefunden mit einem extrem mächtig (>19,0 m) anstehenden bindigen Boden.
2. Bei Nürnberg wurde ein Grundstück gefunden mit einem extrem mächtig (>15,0 m) anstehenden nichtbindigen (rolligen) Boden und tiefliegendem Grundwasserspiegel.

## 2.5 Die Untersuchungen wurden in drei Teile gegliedert:

### 1. Ermittlung der bodenmechanischen Kennwerte.

Hierbei handelt es sich um Klassifizierungsmerkmale des anstehenden Baugrundes, wie sie in den Baugrundgutachten für bauliche Anlagen allgemein üblich sind, wenn keine zeitabhängigen Effekte auftreten. Da zur Ermittlung der bodenmechanischen Kennwerte anerkannte Methoden zur Verfügung stehen, wurden an beiden Standorten jeweils nur von den federführenden Instituten die erforderlichen Baugrundaufschlußbohrungen und Laboruntersuchungen durchgeführt.

Standort Bremen: TU Berlin (Prof.Dr.-Ing.S.Savidis)  
Standort Nürnberg: LGA Nürnberg (Dr.-Ing. W.Haupt)

### 2. Ermittlung der bodendynamischen Kennwerte.

Hierbei handelt es sich um Untersuchungen, die in Deutschland z.Z. noch nicht einheitlich geregelt sind. Es wurden deshalb für beide Standorte die erforderlichen Untersuchungen von mehreren Instituten durchgeführt.

- a) Feldversuche Standort Bremen
  - Rayleigh-Wellen Dispersionsmessungen: TU Berlin, BAM Berlin, TU Braunschweig
  - Refraktionsmessungen: TU Braunschweig, TU Berlin
  - Up-Hole Messungen: TU Berlin
- b) Laborversuche Standort Bremen
  - Resonant-Column Versuche: BAM Berlin, LGA Nürnberg
- c) Feldversuche Standort Nürnberg
  - Rayleigh-Wellen Dispersionsmessungen: LGA Nürnberg, BAM Berlin
  - Refraktionsmessungen: LGA Nürnberg
  - Cross-Hole Messungen: LGA Nürnberg
  - Down-Hole-Messungen: LGA Nürnberg
- d) Laborversuche Standort Nürnberg
  - Resonant-Column Versuche: BAM Berlin, LGA Nürnberg

### 3. Schwingungsmessungen an Stahlbetonfundamenten.

An beiden Standorten wurden Stahlbetonfundamente unterschiedlicher Abmessungen durch elektrodynamische Schwinger zu Schwingungen angeregt und die Frequenzgangkurven gemessen. Dabei wurden alle 6 möglichen Freiheitsgrade untersucht, um die in E3 veröffentlichten frequenzabhängigen Verläufe der 6 zugehörigen Feder/Dämpfer-Elemente überprüfen zu können. Diese Messungen wurden von folgenden Instituten durchgeführt:

TU Berlin, LGA Nürnberg, BAM Berlin, TU Stuttgart, TU Braunschweig, Dr. Kebe Hamburg.

Eine ausführliche Dokumentation dieser Untersuchungen wird als Anhang zu den Empfehlungen E1 - E3 veröffentlicht.

### 3. Ergebnisse der Forschungsaufgabe

3.1. Immer dann, wenn es darum geht, Menschen und bauliche Anlage vor Erschütterungen zu schützen, die durch den Baugrund übertragen werden, können die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens von Bedeutung sein.

- a) Sie werden benötigt von Planern und Betreibern von Erschütterungsquellen (Maschinengründungen, öffentliche Verkehrswege, Rammen, Sprengungen, Bauen in Erdbebengebieten), um ihre Emissionswerte so gering wie möglich zu halten;
- b) Sie werden benötigt von Planern und Betreibern von Wohnanlagen und anderen schutzbedürftigen baulichen Anlagen, um die Immissionswerte so gering wie nötig zu halten.
- c) Sie werden immer dann benötigt, wenn der "Stand der Technik" im Erschütterungsschutz vertraglich festgelegt werden soll: Im Verhältnis zwischen Bauherren und seinem Bausachverständigen, bei Haftungsansprüchen und bei der Gesetzgebung im Umweltrecht.
- d) Sie sollen aber auch deutlich machen, daß ohne ausreichende und sachkundige Untersuchungen des Baugrundes im Hinblick auf seine baugrunddynamischen Eigenschaften zuverlässige Aussagen zum Erschütterungsschutz nicht möglich sind.

3.2. Zusammenfassend kann als Ergebnis festgestellt werden:

- a) Die im Forschungsvorhaben angewandten und in den Empfehlungen näher beschriebenen Feld- und Laborversuche sind bei sachkundiger Handhabung durch erfahrene Institute geeignet, die baugrunddynamischen Kennwerte zu bestimmen. Die üblichen -nur für statische Beanspruchungen des Baugrundes vorgesehenen- bodenmechanischen Untersuchungen und Klassifikationen sind nicht ausreichend.
- b) Die Ausbreitungscharakteristiken von Erschütterungen

im Freifeld sind theoretisch nur qualitativ bekannt und können quantitativ nur durch Feld- und Labormessungen ermittelt werden.

- c) Die von 5 Mitgliedern (Dr. Rücker, Prof. Savidis, Prof. Schmid, Dr. Triantafyllidis, Dr. Waas) des Arbeitskreises 9 "Baugrunddynamik" errechneten frequenz- und grundrißabhängigen Steifigkeitsfunktionen für den linear-elastischen, homogenen, isotropen Halbraum sind bei sachkundigem Ansatz der 3 Bodenkennwerte dynamischer Schubmodul, Querdehnzahl und Dichte geeignet, die diskreten Feder/Dämpfer-Elemente des anstehenden Baugrundes zu bestimmen. Im einzelnen sei auf die zur Baugrundtagung 1992 erscheinenden "Empfehlungen zur Baugrunddynamik" E 1 - E 3 mit Anhang verwiesen.

#### 4. Danksagung

Die Erstellung und Beseitigung der Stahlbetonversuchsfundamente wurde von den Firmen Strabag für den Versuchsort Bremen und Wayss + Freytag für den Versuchsort Nürnberg dankenswerterweise kostenlos übernommen.

Die Durchführung der umfangreichen Versuche war nur durch ehrenamtliche Tätigkeit von Mitgliedern des Arbeitskreises und großzügige Unterstützung ihrer Institute möglich.