

Erschütterungsproblematik im Rahmen der Gründungsarbeiten von Hochhäusern

Prof. Dr.-Ing. Jörg Reymendt

Inhalt

Bei der Gründung von Hochhäusern steht die Vermeidung von großen Gebäudesetzungen in den letzten Jahren im Vordergrund. Durch die Kombination der konventionellen Flachgründung mit einer Pfahlgründung können auftretende Setzungen deutlich reduziert werden. Bei dem Commerzbank-Hochhaus in Frankfurt wurde 1996 erstmals die Gründung durch, bis auf in ca. 40 m Tiefe anstehenden Fels geführte Pfahlgruppen realisiert. Die zu erwartenden Setzungen konnten so auf wenige Zentimeter gegenüber der für Hochhäuser in Frankfurt üblichen Setzungen bei Flachgründungen von bis zu 30 cm reduziert werden.

Da in der Schichtung des Bodens in unterschiedlichen Tiefen Kalksteinbänke mit einer Mächtigkeit von mehreren Metern anstehen, treten bei der Herstellung der bis zu 1,8 m dicken Großbohrpfähle im Frankfurter Ton durch die enge Bebauung häufig Erschütterungsprobleme in der Nachbarschaft auf. Die Bohrarbeiten müssen im Bereich der Kalksteinbänke auf Meißelarbeiten umgestellt werden. Die hierbei entstehenden Erschütterungen haben sowohl auf die Bausubstanz, als auch auf die Nutzung der benachbarten Gebäude oftmals einen nicht unerheblichen Einfluss.

1 Einführung

Erschütterungen im Bauwesen werden in der DIN 4150 sowohl durch die Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, als auch durch die Einwirkungen auf Gebäude selbst unterschieden. Somit kann gemäß der beschriebenen Anhaltswerte schnell ein zulässiger Erschütterungspegel, abhängig von den Randbedingungen, bestimmt werden. Die DIN 4150 beschreibt jedoch keine Vorgehensweise bei der Einwirkung von Erschütterungen auf empfindliche Gerätschaften wie z.B. Computeranlagen, Produktionsanlagen oder messtechnische Anlagen mit hohen Genauigkeitsanforderungen.

Erst durch eine Überprüfung der zulässigen Erschütterungen gem. DIN 4150, Feststellung der kritischen Erschütterungen für empfindliche Gerätschaften, erschütterungstechnische Planung und Abstimmung der Bauarbeiten sowie Überwachung der Grenzwerte auf einen zulässigen Erschütterungspegel können die Arbeiten risikoarm durchgeführt werden.

Prof. Dr.-Ing. Jörg Reymendt
ISG Gesellschaft für Ingenieurbau und Systementwicklung mbH,
Schottener Weg. 8, D-64289 Darmstadt

Am Beispiel mehrerer Projekte wird die Festlegung eines Grenzwertes, die Abstimmung mit den Bauarbeiten sowie die Vorgehensweise zur Überwachung der zulässigen Erschütterungspegel beschrieben.

2 Schwingungen und Erschütterungen im Bauwesen

2.1 Allgemeines

und Erschütterungen im Bauwesen sind der Oberbegriff für verschiedene, zum Teil ganz unterschiedliche Ursachen und Auswirkungen. In der betreffenden DIN 4150 Teil 1 [1] sind Schwingungen und Erschütterungen allgemein wie folgt beschrieben (siehe auch [4]):

Definition Schwingungen [1]:

„Zeitliche Veränderungen physikalischer Größen werden als Schwingungen bezeichnet, wenn die zeitliche Veränderung im Zeitraum nicht monoton ist.“

Definition Erschütterungen [1]:

„In baulichen Anlagen führen mechanische Schwingungen zu dynamischen Belastungen. Unter Erschütterungen werden Schwingungsemissionen und Schwingungsimmissionen verstanden.“

Ferner führt die Norm beide Begriffe wie folgt zusammen:

„Mechanische Schwingungen und Erschütterungen bestimmter Intensität können in bestimmten Frequenzbereichen subjektiv wahrgenommen werden. Für die Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf bauliche Anlagen reicht die subjektive Wahrnehmung des Menschen nicht aus.“

Grundsätzlich müssen die Ursachen von Erschütterungen unterteilt werden in:

- kurzzeitige, einmalige Erschütterungen (z.B. infolge Sprengarbeiten),
- länger andauernde Erschütterungen (z.B. infolge zeitlich begrenzter Bauarbeiten),
- ständig auftretende Erschütterungen (z.B. infolge Produktionsmaschinen, Stanzen, Hammerwerk),
- Erschütterungen infolge Straßen- und Schienenverkehr (wird als gesonderter Fall in der DIN 4150 betrachtet).

Die durch unterschiedliche Ursachen entstehende Erschütterung kann verschiedenartige Auswirkungen haben. Die im Bauwesen allgemein bekannte Auswirkung sind auftretende Schäden an Gebäuden durch Erschütterungen (Risse im Putz, Gebäudesetzungen usw.). Die DIN 4150 Teil 3 [3] gibt hier Anhaltswerte und Messverfahren zur Ermittlung der Schädigungsgefahr für das Gebäude vor.

Weniger bekannt ist die Belästigung von Menschen in Gebäuden, die durch die DIN 4150-2 [2] geregelt wird. Da der Mensch sehr sensibel auf Erschütterungen und deren Häufigkeit reagiert, wird in der DIN 4150-2 festgestellt, dass von den individuellen Eigenschaften und den situativen Bedingungen unter anderem von Bedeutung sind:

- der Gesundheitszustand des Menschen (physisch, psychisch),
- die Tätigkeit während der Erschütterungsbelastung,
- der Grad der Gewöhnung,
- die Einstellung zum Erschütterungserzeuger,
- die Erwartungshaltung in Bezug auf ungestörtes Wohnen, abhängig vom Wohngebiet,
- Sekundäreffekte wie z.B. Schwingungsbewegung von Lampen, Bildern, Pflanzen, hörbares Klappern von Türen, Fenstern usw., Vibrieren oder Wandern von Gläsern, Geschirr, Töpfen in Schränken oder Regalen.

Weitere hier betrachtete Erschütterungen sind Auswirkung auf Anlagen oder Gerätschaften in benachbarten Gebäuden (z.B. Computer, Feinmechanik, oder bei der Produktion von Mikroelektronik). Hier ist i. A. keine Norm und kein absoluter Bewertungsmaßstab zu finden. Die zu bewertenden Erschütterungspegel liegen außerhalb der DIN 4150. Die zulässigen Erschütterungspegel sind vielmehr stark abhängig von den Anlagen und Gerätschaften, deren Standort in Bezug zur Erschütterungsquelle, sowie den Eigenschaften und Lagerungen des Gebäudes in dem sich die empfindlichen Gerätschaften befinden. In den meisten Fällen sind zulässige Pegel durch Referenzmessungen bzw. Ermittlung einer Übertragungsfunktion definierbar.

2.2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden wird in der DIN 4150, Teil 2 im Rahmen des Immissionsschutzgesetzes geregelt. Ziel der Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes, zu dessen Gewährleistung verschiedene Anforderungen und Anhaltswerte festgelegt sind.

Die zulässigen Erschütterungspegel können im Vergleich zu den später erläuterten Einwirkungen auf Gebäude als äußerst gering eingestuft werden. Da die Häufigkeit und der Zeitpunkt der Erschütterungen für das subjektive Empfinden des Menschen eine große Rolle spielen, ist in der DIN 4150-2 die Tabelle 1 mit den Anhaltswerte für

die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen dargestellt. Die Ermittlung der zulässigen Erschütterungspegel ist relativ aufwendig, da ein auf das menschliche Empfinden abgestimmtes Beurteilungsverfahren zur Anwendung kommt [5]. Die auftretenden Erschütterungen sind frequenzabhängig bewertet. Für den Menschen sind Schwingungen im Frequenzbereich zwischen 1 Hz und 80 Hz betrachtet. Höherfrequente Schwingungen nimmt bei kleinen Schwingwegen größtenteils die Kleidung und das Schuhwerk auf. Die Beurteilung von Schwingungen unter 1 Hz gilt bislang als nicht ausreichend erforscht. Solche „niederfrequenten Belastungen“ werden individuell sehr unterschiedlich wahrgenommen und führen zu Phänomenen wie z.B. Seekrankheit. In ähnlicher Weise können individuelle Beeinträchtigungen des Menschen in den oberen Geschossen eines Hochhauses bei Windanregung auftreten.

Neben der frequenzabhängigen Bewertung der Erschütterung spielt auch die Häufigkeit, Dauer, Tageszeit und Intensität eine wichtige Rolle.

Diese in der Norm genannten Anhaltswerte der Tabelle 1 stellen somit in Abhängigkeit von

- der Größe und Stärke der auftretenden Erschütterung,
- der Frequenz,
- der Einwirkungsdauer,
- der Häufigkeit und Tageszeit des Auftretens und der Auffälligkeit (Überraschungseffekt),
- der Art und Betriebsweise der Erschütterungsquelle,

Richtwerte für die Beurteilung von Erschütterungen in dem für den Menschen empfindlichen Frequenzbereich von 1 bis 80 Hz dar.

In der Norm werden außerdem auch Messdauer, die zu verwendenden Messgeräte und Messorte geregelt. So richtet sich zum Beispiel die Messzeit nach der Regelmäßigkeit des zeitlichen Verlaufs der Erschütterungen, und kann folglich gegenüber der Einwirkungs- und Beurteilungszeit kürzer sein. Für die Art der zu verwendenden Geräte gibt die DIN 4150-2 lediglich Empfehlungen. Für den Messort gilt, dass an den Stellen mit den größten zu erwartenden Schwingungen gemessen werden muss, welche sich bei Decken immer in Deckenmitte einstellen. Um die, wegen des unterschiedlichen Schwingverhaltens verschiedener Möbel variierenden subjektiven Empfindungen auszuschließen, schreibt die Norm vor, dass immer auf dem Fußboden zu messen ist.

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete §9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete §8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen, noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete §7 BauNVO, Mischgebiete §6 BauNVO, Dorfgebiete §5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet §3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete §2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung - BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen ist, die Gebiets-einteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (aus DIN 4150-2 [2]).

Zur Beurteilung der Beeinträchtigung des Menschen aufgrund der Erschütterungen zieht die DIN 4150-2 zwei Beurteilungsgrößen heran:

- die maximale BEWERTETE SCHWINGSTÄRKE $KB_{F,max}$ (Maximalwert aller betrachteten Erschütterungen eines Beurteilungszeitraumes)
- und die BEURTEILUNGS - SCHWINGSTÄRKE $KB_{F,Tr}$ (wird entsprechend des Entstehungszeitraums gewichtet)

Dabei dient $KB_{F,max}$ zur pauschalen Beurteilung der Erschütterungsimmissionen, d.h. ein Unterschreiten des nach dem Einwirkungsort abgestuften Grenzwertes A_u genügt für den Nachweis des Schutzes vor Erschüt-

terungsimmissionen. Liegt die bewertete Schwingstärke $KB_{F,max}$ oberhalb von A_0 , so gilt die Norm als nicht eingehalten.

Im Falle $A_u \leq KB_{F,max} \leq A_0$ muss die Beurteilungsschwingstärke $KB_{F,Tr}$ ermittelt werden und mit einem weiteren Grenzwert A_r verglichen werden. Die Vorgehensweise ist im Vergleich zur pauschalen Beurteilung relativ aufwendig. Zur Ermittlung von $KB_{F,Tr}$ wird das arithmetische Mittel aus allen gemessenen und entsprechend ihres Entstehungszeitpunktes gewichteten maximalen Schwingungswerte der Messtakte gebildet. Die Bewertungen sind zudem tageszeitabhängig.

Falls ein, für alle anderen Ereignisse repräsentatives Ereignis aufgezeichnet wurde (z.B. Rammen einer Spundwand), so kann es entsprechend seiner Dauer gewichtet werden.

Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage < $D \leq 26$ Tage			26 Tage < $D \leq 78$ Tage		
	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r
Anhaltswerte	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r	A _u	A _o *)	A _r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,6	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9

*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_0 = 6$.

Tabelle 2: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen (aus DIN 4150-2/A1)

2.3 Erschütterungen bei Baumaßnahmen

Da Erschütterungen durch Bauarbeiten zeitlich begrenzt sind, ist in einem Entwurf als Ergänzung zur DIN 4150 Teil 2 der Abschnitt Erschütterungen bei Baumaßnahmen aufgenommen. Hierbei wird das gleiche Beurteilungsverfahren wie zuvor beschrieben angewendet. Die zulässigen Anhaltswerte durch Erschütterungen sind durch die zeitliche Begrenzung einer Baumaßnahme gemäß Tabelle 2 festgelegt.

Die Tabelle 2 kommt erst zum Einsatz, wenn die Anhaltswerte nach Tabelle 1 nicht eingehalten werden können (außer Nachts). Die DIN 4150 geht hierbei von Baumaßnahmen bis maximal 78 Werktagen Dauer aus. Dies beschreibt jedoch die Tage, an denen Erschütterungen oberhalb der in Tabelle 1 liegenden Werte erzeugt werden. Die vorliegende Tabelle kann somit als Summenkurve für zulässige Erschütterungen angesehen werden. Werden z.B. an 26 Tagen zulässige Anhaltswerte nach Tabelle 2 erzeugt, so dürfen zusätzlich auch die Werte für $D \leq 6$ Tage ausgenutzt werden (es wird linear interpoliert).

Durch die Einführung von drei Stufen werden zusätzlich erhöhte Anhaltswerte für den Baubetrieb unter verschiedenen Voraussetzungen ermöglicht.

Stufe I:

Bei einer unteren Stufe I ist mit keinen erheblichen Belästigungen zu rechnen.

Stufe II:

Bei einer mittleren Stufe II ist mit keinen erheblichen Belästigungen zu rechnen, falls folgende Maßnahmen getroffen werden:

- a) Umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb.
- b) Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen.
- c) Zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.).
- d) Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben.
- e) Information der Betroffenen über die Erschütterungswirkungen auf das Gebäude.
- f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

Die Maßnahmen a) bis e) sind vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme durchzuführen.

Stufe III:

Bei einer oberen Stufe III ist mit erheblichen unzumutbaren Belästigungen zu rechnen. Gesonderte Vorgehensweise und Maßnahmen sind notwendig.

Mit dem vorliegenden Konzept wird erstmals den zeitlich begrenzten Baumaßnahmen hinsichtlich Einwirkungen auf Menschen in benachbarten Gebäuden Rechnung getragen. Die Ausnutzung der zulässigen Erschütterungen kann durch den Baubetrieb gezielt geplant werden.

2.4 Einwirkungen auf Gebäude

Die Anhaltswerte der Einwirkungen von Erschütterungen auf bauliche Anlagen (DIN 4150, Teil 2 [3]) wirken im Vergleich zu den Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden als sehr hohe Immissionen (Faktor 10 höhere Werte, Nachts bis Faktor 100). Tatsächlich sind für Gebäude zulässige Erschütterungen im Maßstab des menschlichen Empfindens als kritisch bzw. beängstigend einzustufen. Zulässige Schwinggeschwindigkeiten von bis zu 50 mm/s werden in der Regel als viel zu hoch und schädigend für das Gebäude empfunden.

Die DIN 4150-3 unterscheidet in kurzzeitige Erschütterungen (z.B. infolge Rammarbeiten) sowie in Dauererschütterungen (z.B. Meißelarbeiten, Vibrationsrammen etc.). Die Unterscheidung kann durch die Gefahr der durch die Einwirkung in Resonanz geratenden Bauteile (z.B. Decken) getroffen werden.

Für kurzzeitige Erschütterungen wird ein Messverfahren vorgesehen, dass sowohl die in das Gebäude eingeleiteten Erschütterungen auf den Fundamenten in allen Richtungen, als auch die horizontalen Schwingungen des Gebäudes auf der obersten Deckenebene erfasst [siehe auch 6]. Die Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_1 zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke sind in Tabelle 1 der DIN 4150-3 dargestellt (vgl. Tabelle 3).

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal Alle Frequenzen
		1 bis 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 *) Hz	
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	20 bis 40	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8

*) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

Tabelle 3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke [3].

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

Tabelle 4: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke [3].

Bei Dauererschütterungen sieht der neue Entwurf der DIN 4150-3 in der Tabelle 3 Anhaltswerte für die horizontalen Schwinggeschwindigkeiten der obersten Deckenebene (Abb.1) für alle Frequenzen vor (Tabelle 4).

Sind die Anhaltswerte der Tabelle 1 bzw. Tabelle 3 der DIN 4150-3 eingehalten (vgl. Tabelle 3 und 4), so trifft die Norm folgende Aussage:

„Werden die Anhaltswerte nach Tabelle 1 eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, daß andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Werden die Anhaltswerte nach Tabelle 1 überschritten, so folgt daraus nicht, daß Schäden auftreten. Bei deutlichen Überschreitungen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.“

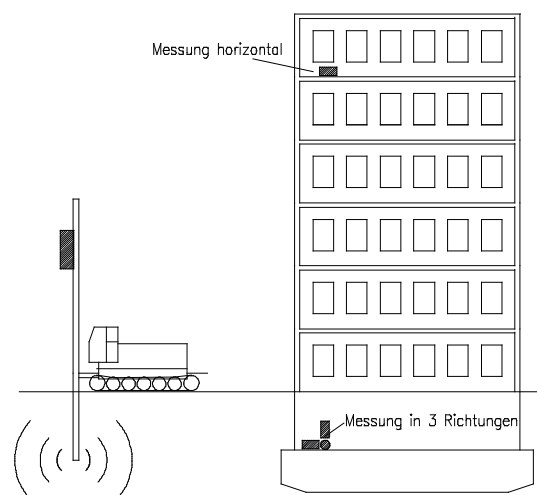


Abb. 1: Messung nach DIN 4150 auf Fundamentebene und auf der obersten Geschossdecke

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen ist nach der DIN 4150-3 schon dann gegeben, wenn außerhalb einer Standsicherheitsgefährdung auch

- Risse im Putz und Wänden auftreten,
- bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden,
- Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen.

Der Entwurf zur neuen DIN 4150-3 lässt eine frequenzabhängige Auswertung der Erschütterungen infolge kurzzeitigen Einwirkungen zu. Die entsprechenden Frequenzanteile am Fundament (vgl. Tabelle 3) dürfen durch ein Schmalbandfrequenzspektrum ausgewertet werden. Bei der Transformation in den Frequenzbereich darf mit einem Hanningfenster gearbeitet werden. Somit besteht die Möglichkeit, Erschütterungen, die als Absolutmessung oberhalb eines zulässigen Pegels aus Tabelle 3 liegen, in die Frequenzanteile aufzusplitten und – abhängig von den Frequenzbereichen – mit den zugehörigen Grenzwerten zu vergleichen (Abb. 2 und 3).

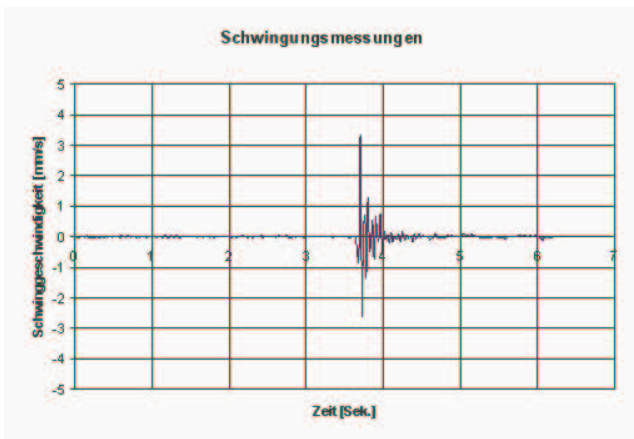


Abb. 2: Typischer Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeiten bei einem Meißelschlag (Messung auf dem Fundament)

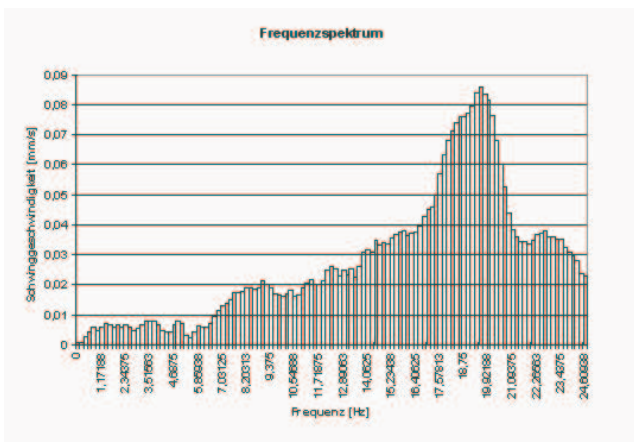


Abb. 3: Umrechnung des Zeitverlaufes Abb. 2 in den Frequenzverlauf für 1-25 Hz.

2.5 Einwirkungen auf empfindliche Anlagen und Gerätschaften

Der letzte hier beschriebene Teil von Auswirkungen durch Erschütterungen im Rahmen von Bauarbeiten betrifft Anlagen bzw. Geräte, die durch ihren Aufbau bzw. durch die geforderten Randbedingungen keinen starken Erschütterungen, wie die in DIN 4150-3 beschriebenen, ausgesetzt werden dürfen.

Die Rechtslage ist hier zunächst in den meisten Fällen relativ unklar, da z.B. ein Betreiber einer Computeranlage in der Innenstadt von Frankfurt prinzipiell mit Erschütterungen z.B. aus Straßen- und Schienenverkehr oder durch Personen in unmittelbarer Umgebung des Gerätes rechnen muss. Um dennoch Sicherheit gegenüber Regressansprüchen des Nachbarn zu erhalten, werden Anforderungen an die durchzuführenden Baumaßnahmen außerhalb der DIN 4150 gestellt.

Die Problematik, die hierbei entsteht, hat als Kernpunkt die Festlegung von zulässigen Erschütterungspegeln ohne einer nennenswerten und kostenintensiven Beeinträchtigung der Bauarbeiten.

Je nach den vorliegenden Gerätschaften sind zunächst zulässige Erschütterungspegel für kritische Teile der Anlage herauszufinden. Bei älteren Computeranlagen sind z.B. die Festplattenspeicher i.d.R. die kritischsten Anlagenteile. Durch Erschütterungseinwirkungen in einer ungünstigen Intensität und Frequenz besteht hier die Gefahr des Hardcrashes. Der Lesekopf bewegt sich mit einem Abstand von wenigen Mikrometern über die Festplattenoberfläche. Die Festplatte rotiert hierbei mit 3600 - 8000 U/min. Ein Aufschlagen des Lesekopfes auf die Plattenoberfläche während des Betriebs kann einen dauerhaften Verlust der Daten mit sich führen. Moderne Festplattenspeicher, wie sie beispielsweise bei Laptops eingesetzt werden, sind gegenüber Erschütterungen mittlerweile relativ robust.

Die Erfahrung zeigt jedoch, dass eine Vielzahl von Betreibern von Computeranlagen aufgrund früher speziell entwickelter Systeme alte Hardware noch bis zum heutigen Zeitpunkt verwenden. Die klimatisierten Rechenzentren mit schrankgroßen, empfindlichen Computeranlagen sind bei weitem noch nicht ausgestorben.

Andere typische gefährdete Anlagen sind aus der eigenen Erfahrung z.B. Feinmechanik-Werkstätten (z.B. Kalibrierung von Feinstwaagen) oder Produktionsstätten von Mikroelektronik (z.B. Chip-Produktion mit komplexem Belichtungsprozess der Silizium-Rohlinge). Betreiber solcher Anlagen sind sich jedoch in der Regel über die Anforderungen bewusst und treffen durch Standortauswahl und Isolierungsmaßnahmen geeignete Vorkehrungen.

Aussagen über zulässige Erschütterungspegel müssen die Hersteller der Anlagen liefern können. Die zulässigen Erschütterungspegel werden in der Regel getrennt für den Ruhezustand und den Betrieb des Gerätes angegeben. Häufig sind Beschleunigungen angegeben, die für die Messung und Überwachung der Baumaßnahmen wiederum in frequenzabhängige Schwinggeschwindigkeiten umgerechnet werden müssen. Ferner wird in vielen Fällen

lediglich ein zulässiger Zeitraum (z.B. 10 ms) für die auftretende Erschütterung ohne nennenswerte Schäden an den Geräten angegeben. Anhand einer umfangreichen Sammlung von Betriebsdaten von Festplatten kann für viele Computeranlagen direkt eine Aussage über die zulässigen Erschütterungen getroffen werden [7]. Typische Werte für empfindliche Computeranlagen liegen im Bereich von 0,2 mm/s bis 2,0 mm/s ohne einer genaueren Betrachtung der Frequenzen der Erschütterungen (Abb. 4).

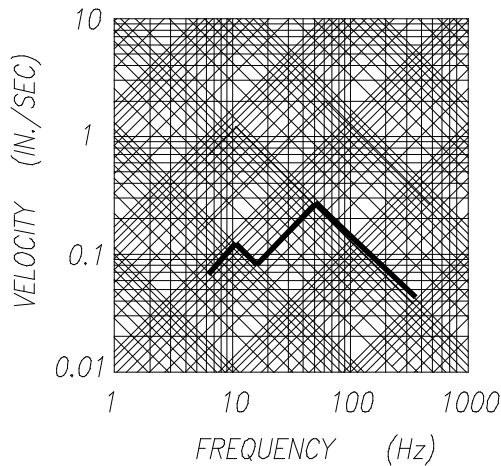


Abb. 4: Typisches Diagramm zur Ermittlung der zulässigen Erschütterungen einer Computeranlage.

3 Ursachen von Erschütterungen bei Gründungsarbeiten

Frankfurt am Main steht in Deutschland für die Metropole der Hochhäuser. Trotz der für Hochhäuser äußerst ungünstigen Baugrundverhältnisse wurde Frankfurt in Deutschland zur Wolkenkratzerstadt Nr. 1. Der bis zur Oberfläche anstehende Frankfurter Ton mit seinen starken Setzungen erschwert die Gründungsarbeiten der modernen Hochhäuser. Um Setzungen auf ein Minimum zu reduzieren, werden kombinierte Pfahl-Plattengründungen hergestellt, wobei die Pfähle - wie im Beispiel der Commerzbank - bis auf die ca. 40 m tief liegende Felsoberfläche geführt werden (Abb.5). Das Vortreiben der Bohrpfähle wird bei den Gründungsarbeiten immer wieder durch z.T. mehrere Meter mächtige Kalksteinbänke in unterschiedlichen Tiefen unterbrochen. Der Muschelkalk wird dann mittels mehrere Tonnen schwerer Meißel innerhalb weniger Stunden durchbrochen, was zu z.T. erheblichen kurzzeitigen Erschütterungen im Umfeld führt [8,9].

Aber auch die Abrissarbeiten von bestehenden Fundamenten und Gebäuden führen zu Erschütterungen, die aufgrund der Verwendung von Pressluftschlämmern zu einer Dauererschütterung mit Resonanzauswirkungen führen können. Das Betreiben der Baustelle selbst (Fahrzeugverkehr, Anlieferung mit Be- und Entladen), führt bei entsprechenden Verhaltensmaßnahmen des Baustellenperso-

nals in der Regel nicht zu nennenswerten Erschütterungen, die über dem üblichen Pegel einer Großstadt liegen.

Weitere kritische Arbeiten sind neben Presslufthammer und Baggerarbeiten der Einsatz von Vibrationsrammen, jedes Arbeiten am Fels sowie Sprengarbeiten.

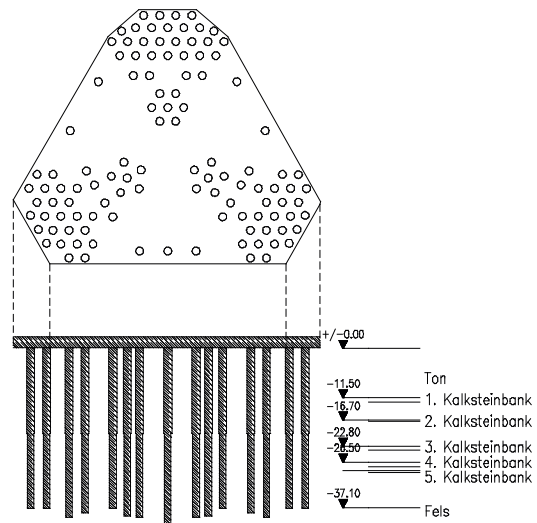


Abb. 5: Grundriss und Schnitt der Pfahl-Plattengründung Commerzbank-Hochhaus Frankfurt am Main

4 Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen

Um Erschütterungen während der Bauarbeiten von Beginn an in einem akzeptablen Maß zu halten, wird in den Ausschreibungen zu den Erdarbeiten häufig darauf hingewiesen, dass alle Arbeiten erschütterungsarm durchzuführen sind. Der Begriff „erschütterungsarm“ ist hierbei jedoch in den seltensten Fällen genauer definiert und ist selten mit den gleichzeitig geforderten kurzen Bauzeiten in Einklang zu bringen.

Im Rahmen neuer Entwicklungen tragen auch die Maschinenhersteller den schärferen Anforderungen Rechnung. Durch eine hydraulische Fräse (z.B. Fa. Boart Longyear) können Abbrucharbeiten an vorhandenen Fundamenten nahezu erschütterungsfrei bei gleichzeitiger Zeiteinsparung im Vergleich zu konventionellen Meißelarbeiten durchgeführt werden.

Auch für das Erstellen von Spundwänden sind neue Technologien zur vibrationsarmen bzw. hinsichtlich auftretender Vibrationen optimierten Rammarbeiten vorhanden. Die Fa. Krupp GfT bietet für diesen Bereich z.B. eine hochfrequente Vibrationsramme an, mit deren Steuereinheit Frequenz und Leistung auf die Randbedingungen eingestellt werden können. Durch den modernen Aufbau der Ramme durchläuft die Maschine nicht mehr beim Start alle Frequenzen zwischen 0 Hz bis zur Arbeitsfrequenz (was für verschiedene Bauteile kritisch werden kann), sondern stellt die Unwucht erst bei Erreichen der Arbeitsfrequenz langsam ein. Die Vibrationen können so

auf unkritische Bereiche, die zuvor messtechnisch ermittelt werden, eingestellt werden. Unwucht, Frequenz und Vortrieb werden per Computer überwacht und aufgezeichnet. Optional besteht die Möglichkeit durch Kopplung eines Schwingungssensors mit der Maschine die Arbeitsfrequenz zu optimieren. Gemessene Erschütterungen aus dem Umfeld wirken sich sofort auf Frequenz und Intensität aus.

5 Erfahrungen bei der Herstellung von Hochhäusern in Frankfurt

Die bislang gesammelten Erfahrungen bei zahlreichen Messungen in Frankfurt am Main sowie an vielen anderen für Erschütterungen kritischen Objekten hat gezeigt, dass die Messung alleine nicht zum gewünschten Ziel führt. Eine Überwachung gliedert sich in unterschiedliche Teilbereiche, die bei der Beratung im Rahmen der Tragwerksplanung und Ausschreibung beginnt und mit Kontrollmessungen Auswertung und Zusammenfassungen der Ergebnisse hinsichtlich neuer Erkenntnisse endet. Eine wichtige Phase hierbei ist das Herausfinden der zulässigen Erschütterungspegel und die exakte Beschreibung der Kriterien eines Grenzwertes.

Die bislang verbreitete Methode der Überwachung mit einem Grenzwertschreiber (Gerät zeichnet bei Überschreiten eines vorgegebenen Erschütterungsgrenzwert auf) führt zu unbefriedigenden Ergebnissen, da bei einer Überschreitung ohne direkter Benachrichtigung bzw. Alarmierung der Schaden vorprogrammiert ist. Auch der nachträgliche Nachweis der aufgetretenen Erschütterungen läßt sich nur durch konsequentes und lückenloses Aufzeichnen aller auftretenden Erschütterungen während der gesamten Bauphase erreichen. Nur so kann sich der Bauherr vor eventuellen Regressansprüchen, die nicht belegbar sind, schützen. Die anfallenden Datenmengen (mehrere Megabyte je Arbeitstag) lassen sich mit der heutigen Computertechnik relativ leicht bewältigen. Ein modernes Meß- und Überwachungssystem erfüllt folgende Anforderungen [10]:

- Messung von Schwinggeschwindigkeiten oder Schwingbeschleunigungen an mehreren Stellen simultan
- Messung in drei Richtungen (X/Y/Z)
- Auswertung der Messdaten direkt mit einem angeschlossenen Messrechner hinsichtlich der geforderten Kriterien (z.B. DIN 4150)
- Aufzeichnung aller Messdaten und Überschreitungen für die gesamte Bauzeit
- sofortige Meldung einer Grenzwertüberschreitung an die Baustelle und an das überwachende Büro oder Institut ohne Zeitverzögerung z.B. per Fax, Pager, und zusätzlicher Alarmlampe

- Übersendung von täglichen Kontrollmeldungen zur Prüfung der Funktion der Gerätschaften
- Fernwartung und Bedienung der Geräte per Telefonnetz
- optionale Auswertung der Erschütterungen online auch im Frequenzbereich

Die zu erfüllenden Randbedingungen zur Durchführung einer zuvor beschriebenen Messung werden durch die Verfügbarkeit eines Messraumes und eines Telefonanschlusses in der Regel ohne größerem Aufwand erfüllt.

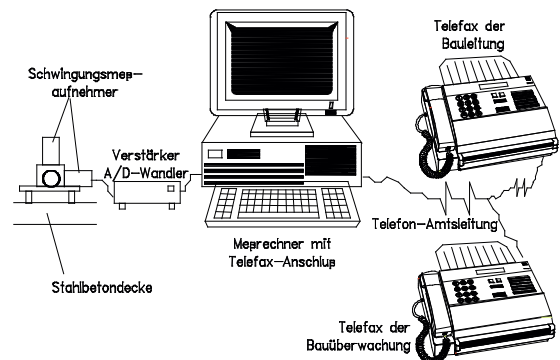


Abb. 10: Messrechner mit Telefax-Anschluss und Fernwartung per Telefon-Amtsleitung

6 Zusammenfassung

Die Problematik von Erschütterungen spielt in der heutigen Zeit aufgrund der gestiegenen Anforderungen sowohl an Arbeitsplätzen, als auch im privaten Bereich eine zunehmende Rolle. Die DIN 4150 trägt diesen Entwicklungen auch hinsichtlich zeitlich begrenzter Erschütterungen im Rahmen von Bauarbeiten durch einen neuen Entwurf Rechnung. Um Regressforderungen oder Gerichtsverfahren aufgrund der Gebäudeherstellung vorzubeugen werden Erschütterungen schon während der Planungsphase in Betracht gezogen und in der Bauphase durch eine fortlaufende Überwachung abgesichert. Die Überwachung hilft somit dem Bauherrn als eigene Absicherung, als auch den ausführenden Firmen zur Selbstkontrolle.

Literatur

- [1] DIN 4150, Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen - Grundsätze, Vorermittlungen und Messung von Schwingungsgrößen
- [2] DIN 4150, Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.
- [3] DIN 4150, Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf bauliche Anlagen.
- [4] DIN 1311-1: Schwingungen; Schwingungsanfällige Systeme, Begriffe, Einleitung.
- [5] VDI 2057: Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen
- [6] Klingmüller, O.: DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen; Der neue Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; Erläuterungen für den Baubetrieb; TIS 1/93.
- [7] Blasius, Chr.: Warnschwellen festlegen; Erschütterungsüberwachung bei Abrißarbeiten; bpz Nr. 7-8/95
- [8] Reymendt, Jörg: Commerzbank-Hochhaus Frankfurt am Main: Erschütterungsüberwachung der Bauarbeiten; Sonderdruck ISG-Informiert; Ingenieurbüro ISG; Darmstadt.
- [9] Reymendt, Jörg: Schwingungen beim Meißelbetrieb am Beispiel Commerzbank Frankfurt; Bilfinger+Berger; Maschineningenieur-Tagung in Mannheim 1995.
- [10] Reymendt, Jörg: Schwingungsmessung, Überwachung und Bewertung- Grundlagen und Anwendung (Kapitel 9); Massivbau- Seminar Band 13, Baudynamik; 1995 in Darmstadt