

DIN 4150 : ERSCHÜTTERUNGEN IM BAUWESEN
DER NEUE TEIL 2 : EINWIRKUNGEN AUF MENSCHEN IN GEBÄUDEN

Oswald Klingmüller

Zusammenfassung

Die Probleme der Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden und der damit verbundenen Möglichkeit einer erheblichen Belästigung werden diskutiert. Das Bewertungsverfahren der neuen DIN 4150 Teil 2 (Gelbdruck) wird dargestellt und insbesondere auf die Vorschläge zur Beurteilung von Erschütterungen aus Baustellenbetrieb eingegangen, da diese mit Blick auf den Stand der Technik und den üblichen Baustellenbetrieb von seiten der Beteiligten substantiell kritisiert werden.

1. EINLEITUNG - ERSCHÜTTERUNGSWIRKUNGEN

Der Reiz einer Bootsfahrt oder einer Fahrt mit der Achterbahn liegt nicht zuletzt auch darin, hinterher wieder festen Boden zu betreten und sich sicher zu fühlen. Zumindest in Mitteleuropa gehören Bodenbewegungen nicht zu den alltäglichen Erfahrungen.

Bewegt sich trotzdem einmal der Boden oder Bauwerke, die üblicherweise fest auf oder in den Boden gegründet sind, so entsteht Unsicherheit. Daß durch die Bewegungen auch Massenkräfte geweckt werden können, scheint allgemein gefühlt zu werden.

Welche Bewegungen zu welchen Massenkräften führen und wie groß die Massenkräfte sind im Verhältnis zu den statischen Kräften aus der Erdanziehung (Erdbeschleunigung!), läßt sich allerdings nicht erfühlen. Hierfür müssen die Beziehungen der Mechanik, speziell der Kinetik, angewandt werden. Zum täglichen Umgang für den Ingenieur wurde die Vorgehensweise in Deutschland normiert und speziell für Bauwerke in den Normen DIN 4149 [1] und DIN 4150 [2] geregelt.

DIN 4149 wurde mit Blick auf die Sicherheit der Bauwerke bei Erdbeben als Bemessungs- und Berechnungsnorm verfaßt, DIN 4150 behandelt demgegenüber nicht bemessungsrelevante Erschütterungen, bzw. gibt an, wie Erschütterungen entstehen und sich

ausbreiten (Teil 1), welche Erschütterungen mit einer erheblichen Belästigung verbunden sein können (Teil 2) und bis zu welchen Erschütterungen übliche Bauwerke keine Schädigung erleiden (Teil 3).

DIN 4149			DIN 4150	
MSK-Intensität	Beschreibung - Erdbebenzone	Beschleunigung [m/s ²]	Teil 2 KB	Teil 3 v [mm/s]
I	nur von Erdbebeninstrumenten registriert - Zone A		< 0,2	
II	nur von einzelnen ruhenden Personen wahrgenommen - Zone A		0,3	< 1
III	von wenigen gespürt - Zone A		0,5	1-5
IV	von vielen gespürt, Geschirr und Fenster klirren - Zone A		0,5-2	4-20
V	hängende Gegenstände pendeln, viele Schlafende erwachen - Zone A	0,1	1-5	10-30
VI	leichte Schäden an Gebäuden, feine Risse im Verputz - Zone 0	0,2	4-16	10-80
VII	Risse im Verputz, Spalten in Wänden und Schornsteinen - Zone 1,2	0,2 - 0,4		50-150
VIII	große Spalten im Mauerwerk, Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein - Zone 3,4	0,4 - 1,0		100-300
IX	an einigen Bauten stürzen Wände und Dächer ein, Erdbeben			
X	Einstürze von vielen Bauten, Spalten im Boden von 1m Breite			
XI	viele Spalten im Boden, Erdbeben in den Bergen			
XII	starke Veränderungen an der Erdoberfläche			

Tabelle 1 : Zusammenstellung von Erschütterungswirkungen

Die Erschütterungswirkungen sind in den Erdbebenintensitätsskalen anschaulich geschildert. In Tabelle 1 (siehe auch [3]) ist die Erschütterungswirkung und der Anwendungsbereich der verschiedenen Normen zusammengestellt. Üblicherweise wird zur Kennzeichnung der Erschütterungen bei Erdbeben die maximale Amplitude der horizontalen Bodenbeschleunigung angegeben, bei der Erschütterungseinwirkung auf Gebäude die maximale Amplitude der Schwinggeschwindigkeit (auch Schnelle genannt). Die Erschütterungs-

einwirkung auf den Menschen wird meist durch einen im Frequenzbereich gefilterten Wert, den KB-Wert, angegeben.

Zur Veranschaulichung der Zahlenangaben in Tabelle 1 seien die entsprechenden Werte dreier bekannter Erdbeben angeführt :

Mexiko City 1985 : 2 [m/s²] bei 0,5 Hz entspricht ca. 640 [mm/s]
Intensität IX bis X

Friaul 1976 : 4 [m/s²] bei 2 Hz entspricht ca. 300 [mm/s]
Intensität IX

Schwäbische Alb 1978 : 3 [m/s²] bei 6 Hz entspricht ca. 100 [mm/s]
Intensität VII

Festzuhalten ist, daß die mechanische Wirksamkeit von Erschütterungen (Schädigung) erst bei den zehnfachen bis hundertfachen Amplituden der Fühlbarkeit gegeben ist. Erschütterungen sind somit deutlich spürbar, auch wenn mit ihnen keinerlei Gefährdung verbunden ist.

Inwieweit solche Erschütterungen als Belästigung empfunden werden oder gar gesundheitliche Schäden verursachen können, ist bislang nicht eindeutig geklärt.

Bewertete Schwingstärke	Beschreibung der Wahrnehmung
<0.1	nicht spürbar
0.1	Fühlschwelle *)
0.1 - 0.4	gerade spürbar
0.4 - 1.6	gut spürbar
1.6 - 6.3	stark spürbar
6.3 bis 100	sehr stark spürbar

*) Die Fühlschwelle wird in dieser Richtlinie nicht definiert. Ihre Angabe in der Tabelle mit KX, KY, KZ oder KB = 0.1 kann daher nur als Anhaltswert angesehen werden. Die Fühlschwelle ist sehr von den jeweiligen Umgebungsbedingungen, z.B. der Einwirkungsrichtung und von persönlichen Gegebenheiten wie Tätigkeit, Alter, Aufmerksamkeit und Gesundheitszustand abhängig.

Tabelle 2 : Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung

Allgemein ist das Recht anerkannt, daß ein Bürger in seinen vier Wänden nicht durch Einwirkungen von außen gestört wird, somit auch nicht durch Erschütterungen. Insofern gilt das Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BImSchG) auch mit Bezug auf Erschütterungen (siehe auch [4], [6]).

Es hängt von einer Vielzahl von Umständen ab, ob spürbare Erschütterungen mit einer Belästigung verbunden sind und somit eine Verletzung des BImSchG vorliegt oder nicht. Die feste Vorgabe von Grenzwerten wird allgemein nicht für möglich gehalten. In DIN 4150 Teil 2 sollen Anhaltswerte angegeben werden, bei deren Einhaltung in Gebäuden **in der Regel keine erhebliche Belästigung** vorliegt. Eine entsprechende Vorgabe von Anhaltswerten für Arbeitsplätze gibt die VDI-Richtlinie 2057 [5]. Eine Zuordnung der Spürbarkeit zur bewerteten Schwingstärke ist in [5] tabellarisch angegeben (siehe Tabelle 2) = Tabelle 4 von DIN 4150, bzw. Tabelle 1 in VDI Richtlinie 2057.

2. DIN 4150 TEIL 2 MIT NEUEM BEURTEILUNGSVERFAHREN

Während sich die Bewertung in der DIN 4150 Vornorm 1975 auf den Vergleich eines maximalen gemessenen KB-Wertes mit einem zulässigen KB-Wert beschränkte, wird in der Neufassung ein Beurteilungsverfahren angewandt, das dem in sehr großen Streubreiten zwischen Ruhe und Spitzenwert schwankendem tatsächlichen Schwingungsgeschehen besser Rechnung trägt.

Ausgegangen wird, wie auch in der Vornorm, von dem aus der gemessenen Schwinggeschwindigkeit durch einen Hochpaßfilter erzeugten KB(t)-Signal.

$$v(t) \rightarrow \text{Filter} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{5,6}{f}\right)^2}} \right] \rightarrow \text{KB}(t)$$

Die Erschütterungseinwirkung ist für die vertikale und die zwei horizontalen Richtungen getrennt zu erfassen.

Das Signal KB(t) wird gleichgerichtet durch eine gleitende Effektivwertbildung über die Zeitkonstante 125 ms. Das gleichgerichtete Signal wird als $\text{KB}_F(t)$ bezeichnet, mit dem Maximalwert $\text{KB}_{F\text{max}}$. Ein quadratischer Mittelwert des Schwingungsgeschehens wird gebildet, indem der gesamte Zeitverlauf $\text{KB}_F(t)$ jeweils in Abschnitte (Takte) von 30 s Dauer eingeteilt wird und die Wurzel aus dem Mittelwert der Quadrate der Spitzenwerte KB_{FTi} in diesen Takten gezogen wird (Taktmaximaleffektivwert).

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum KB_{FTi}^2}$$

Zeile	Ort	tags			nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	G	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	GW	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	WG	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	W	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	S	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

- Einteilung nach BauNVO §§2 bis 9
- G : Gewerbegebiet
 - GW : Gewerbegebiet mit Wohnungen
 - WG : Wohngebiet mit Gewerbebetrieben
 - W : Wohngebiet
 - S : Schutzbedürftige Bauten in dafür ausgewiesenen Sonderzonen (Kliniken etc.)

Tabelle 3 : Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (Tabelle 1 in DIN 4150 Gelbdruck 1990)

Einwirkungen während der Ruhezeiten (6.00 bis 7.00 Uhr und 19.00 bis 22.00 Uhr) werden durch eine Wichtung erfaßt.

Eine erhebliche Belästigung kann vorliegen, wenn der Wert KB_{Fmax} größer ist als der Anhaltswert A_o in Tabelle 3 (im Gelbdruck [2] Tabelle 1). Ist der Wert KB_{Fmax} kleiner als A_u in Tabelle 3, liegt in aller Regel keine erhebliche Belästigung vor. Eine erhebliche Belästigung wird in aller Regel auch dann nicht angenommen, wenn der Wert KB_{FTm} bezogen auf 16 h unter Berücksichtigung von Ruhezeiten den Wert A_r nicht überschreitet.

Die Beurteilung von Erschütterungen während der Nacht erfolgt entsprechend.

Die A_{II} -Werte als Anhaltswerte für die Belästigung durch dauernd wirkende Erschütterungen sind hierbei an der Fühlschwelle orientiert, während die A_0 -Werte für einmalige Spitzenwerte ungefähr das 15-fache betragen.

In den Erläuterungen sind jeweils Beispiele zur Beurteilung gegeben (Sägegatter, Weberei, Schmiedehammer, Einzelstoß, Eisenbahnbetrieb).

3. PROBLEME DES BAUBETRIEBS UND DIE REGELUNG DES GELBDRUCKS

Da Baustellen immer für eine begrenzte Zeit eingerichtet werden und dabei für die Anwohner Belästigungen vielfältiger Art mit sich bringen, ist über die aus den Erschütterungen herrührenden Belästigungen wenig bekannt. In aller Regel wird die vermutete Gefahr für den Besitzstand als belästigend empfunden.

In den Anhaltswerten der Vornorm 1975 wird zwischen "dauernd und mit Unterbrechungen wiederholt auftretenden Erschütterungen" und "selten auftretenden Erschütterungen" unterschieden. Zur differenzierten Beurteilung des Baubetriebs wurde angegeben, daß auch bei einem Mehrfachen der für selten auftretende Erschütterungen maßgeblichen Anhaltswerte nicht mit einer erheblichen Belästigung zu rechnen sei.

Nach Ansicht der zuständigen Immissionsschutzbehörden wurde durch die Formulierung "bei tagsüber einwirkenden, auf wenige Tage beschränkten Erschütterungen (z.B. Rammererschütterungen und Bausprengungen)" die mehr oder weniger kontinuierlich auftretenden Erschütterungen beim Einsatz von Vibrationsrammen oder Verdichtungsgeräten im Bauwesen nicht abgedeckt. Es wurden deswegen von diesen Stellen sehr viel niedrigere Anhaltswerte bei der Beurteilung angewendet.

Die Neufassung der DIN 4150/Teil 2 sollte auf das tatsächliche Baugeschehen abgestellt sein und insbesondere einer Verkürzung der Bauzeit - und damit Verringerung der Gesamtbelästigung der Anwohner - besser Rechnung tragen. Es wurden deswegen gestaffelte Werte in Abhängigkeit von der Bauzeit vorgeschlagen (siehe Tabelle 4, im Gelbdruck Tabelle 2).

Diese Werte sehen schon bei sehr geringen Erschütterungen die Möglichkeit einer erheblichen Belästigung für gegeben. Dieses widerspricht der allgemein in der Bauindustrie gemachten Erfahrung, weshalb gegen den Gelbdruck seitens der Bauindustrie viele Einsprüche eingebracht wurden.

Zeile	Ort	D ≤ 1 Tag			1 Tag ≤ D ≤ 1 Woche			1 Woche ≤ D ≤ 3 Monate		
		A _U	A _O	A _R	A _U	A _O	A _R	A _U	A _O	A _R
1	G	0,8	8	0,4	0,8	8	0,4	0,6	6	0,3
2	GW	0,8	8	0,4	0,8	8	0,4	0,6	6	0,3
3	WG	0,8	6	0,4	0,4	6	0,2	0,3	6	0,15
4	W	0,8	6	0,4	0,4	6	0,2	0,3	5	0,15
5	S	0,6	6	0,3	0,3	5	0,15	0,2	4	0,1

D : Dauer der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme

Tabelle 4 : Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen bei Baumaßnahmen

Eine zusätzliche Schwierigkeit besteht darin, daß im Angebotsstadium wenig über die Möglichkeit der Erschütterungsausbreitung und der Resonanzanregung in der Nachbarschaft einer Baustelle bekannt ist, so daß nur geringe Möglichkeiten der Vorsorge bestehen.

Die leider häufig anzutreffende Praxis, bei Ausschreibungen alle bekannten Vorschriften als Spezifikation aufzuzählen, führt dazu, daß Anhaltswerte auch ohne das Wirken der Legislative zu bindenden Grenzwerten werden und verschiebt dabei die Verantwortung in die Richtung der ausführenden Baufirma.

Ein sehr niedriges einzuhaltendes Erschütterungsniveau wird dadurch zu einem schwer bis nicht zu kalkulierenden Kostenfaktor und ist damit vergleichbar dem Baugrundrisiko.

Für Gewinnungssprengungen, die in regelmäßigen aber großen Abständen auftreten, aber jeweils nur mit einer kurzen Erschütterungseinwirkung verbunden sind, werden von der Neufassung auch spezielle Vorgaben gemacht, die sich an den oberen Anhaltswerten der Tabelle 3 (Tabelle 1 im Gelbdruck) orientieren. Insbesondere wird hier auf die Bedeutung der genauen Vorankündigung sowie des Zusammenfassens mehrerer Sprengungen für die Reduzierung der Belästigung hingewiesen.

4. BEISPIEL FÜR BEURTEILUNG VON BAUERSCHÜTTERUNGEN NACH
DIN 4150/2 GELBDRUCK 1990

Herstellung von Großbohrpfählen in Verrohrung am Hang.

Boden: Aufschüttung, geklüfteter Sandstein.

Arbeiten : Setzen des Rohres mit Jumbo (8 t)
 Meißelarbeit (6 t)
 Greiferarbeit

Messung in der Mitte einer Zimmerdecke in 20 m Abstand, 20 m oberhalb der Baustelle.

$$KB_{Fmax} = 2,0$$

Die Gesamtzeit für das Herstellen der Großbohrpfähle beträgt 3 Monate. Hierbei wird lediglich an zehn Arbeitstagen der Wert

$$KB_{Fmax} = 0,15$$

überschritten. Während der anderen Zeit ist der Abstand zwischen dem untersuchten Haus und dem Herstellungsort der Pfähle größer. Es gilt somit Tabelle 2 Spalte 5:

$$KB_{Fmax} = 2,0 < A_0 = 6$$

$$KB_{Fmax} = 2,0 > A_u = 0,6$$

Beurteilung aufgrund des Durchschnittswertes ist erforderlich.

Arbeitsbeginn : 7.00 Uhr,

Arbeitsende : 17.00 Uhr

Somit keine Erschütterungseinwirkung während Ruhezeiten.

Beurteilungszeit : 6.00 bis 22.00 Uhr = 16 h = 1920 Takte à 30s

Pfahlherstellung :

1. Einsatz Jumbo : 1 h
Mit dem Jumbo werden jeweils in ca 20s Abstand einzelne Schläge auf das Rohr aufgebracht; Spitzenwerte im Bereich von $KB_{Fmax} = 2.0$ treten nur vereinzelt auf.
Taktmaximaleffektivwert $KB_{FTm} = 1.6$
2. Einsatz Greifer : 2 h
Taktmaximaleffektivwert $KB_{FTm} = 0.8$
3. Einsatz Meißel : 2 h
Taktmaximaleffektivwert $KB_{FTm} = 1.2$

Die restliche Tageszeit ist mit Umrüstung des Baggers, Pausen etc. ohne Erschütterungsemissionen ausgefüllt.

Somit berechnet sich der Beurteilungswert aus

$$KB_{FTT} = \sqrt{\frac{1}{1920} (120 \cdot 1.6^2 + 240 \cdot 0.8^2 + 240 \cdot 1.2^2)}$$
$$KB_{FTT} = \sqrt{\frac{1}{1920} (307.2 + 153.6 + 345.6)} = 0.6481.$$

Nach Gelbdruck Tabelle 2, Spalte 5 $A_r = 0,15$ für reines Wohngebiet oder Wohngebiet mit Gewerbebetrieben kann also diese Arbeit mit erheblichen Belästigungen verbunden sein.

Seitens der Anwohner wurde jedoch hier lediglich beansprucht, daß die Unversehrtheit ihrer Häuser gewährleistet wird. Die Erschütterungen wurden hingenommen, da es sich um die Beseitigung eines gefährvollen schienengleichen Übergangs handelte. Eine Alternative zu dem Bauverfahren, welche in der Lage gewesen wäre, die Straße im Hangbereich ohne Emission und Immission von Erschütterungen sicher zu gründen, war nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht gegeben.

Durch eine Verkürzung der erschütterungserzeugenden Anteile an der Arbeit wäre es wohl möglich, den KB_{FTT} -Wert unter den zulässigen Anhaltswert zu drücken. Die zugehörige Verkürzung der täglichen Arbeitszeiten müßte jedoch in der Größe von 95% $\{(0.6481/0.15)^2 = 19\}$ liegen, entsprechend einer 19-fachen Verlängerung der Bauzeit (57 statt 3 Monate !).

Die Reduzierung der Fallhöhe für den Jumbo würde zu einer geringen Reduzierung der Erschütterungswerte führen. Die Reduzierung der Fallhöhe des Meißels wäre aber mit einer wesentlichen Bauzeitverlängerung verbunden. Zudem läßt sich aus der Reduzierung der Fallhöhe des Meißels nicht direkt eine Verringerung der Erschütterungsemissionen ableiten, da die Intensität der erzeugten Stöße sowohl von dem getroffenen Material als auch von der Fallhöhe abhängt.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

In der Einspruchsverhandlung zeigte sich, daß der Entscheidungsfindungsprozeß noch nicht so weit gediehen war, daß die Regelungen des Gelbdrucks angenommen werden konnten. Es wurde bei der Einspruchsverhandlung beschlossen, den Gelbdruck in diesem Punkt zurückzuziehen und die DIN 4150 Teil 2 ohne eine Regelung für die Bauindustrie herauszubringen.

Aus der Sicht der mit den Erschütterungsproblemen befaßten Fachöffentlichkeit ergibt sich somit ein etwas unbefriedigender Zustand, da die DIN 4150 Teil 2 Vornorm 1975 weiterhin gültig bleibt. Diese enthält jedoch für Baustellen lediglich mit Bezug auf Schlagrammungen und Sprengungen präzise Vorgaben. Für stationäre Vibrationen aller Art ist die Anwendung jedoch umstritten, und die Norm wird von den jeweiligen Landesanstalten für Immissionsschutz, Gewerbeaufsichtsamtern und Sachverständigen verschieden interpretiert.

Neben dieser Regelung scheint aber zwischenzeitlich auch bei einigen Stellen der Gelbdruck 1990 angewendet zu werden, und es besteht die Gefahr, daß diese nicht verabschiedete Regelung, je nach den ländermäßigen Gepflogenheiten, amtlichen Charakter verliehen bekommt. Dann ist je nach der Lage einer Baustelle von Bundesland zu Bundesland ein vollkommen unterschiedlicher Geräteeinsatz vorzusehen.

Es ist insofern allen Betroffenen (vor allem den Planern des Baugeräteeinsatzes) zu wünschen, daß die Entscheidungsfindung innerhalb der Gremien des Hauptverbandes und des Normenausschusses zügig vorangeht, so daß bald eine bundeseinheitliche Regelung verabschiedet werden kann.

LITERATUR

- [1] DIN 4149 : Bauten in deutschen Erdbebengebieten, Teil 1 : Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, Bagel Verlag Düsseldorf 1982

- [2] DIN 4150 : Erschütterungen im Bauwesen - Teil 1 : Grundsätze, Vorermittlung und Messung von Schwingungsgrößen (Vornorm 1975), Teil 2 : Einwirkung auf Menschen in Gebäuden (Vornorm 1975, Gelbdruck 1990), Teil 3 : Einwirkung auf bauliche Anlagen (Norm 1983), Beuth Verlag Berlin

- [3] Klingmüller, O.: Zulässige Lärm- und Erschütterungsimmissionen beim Einsatz von Großgeräten im innerstädtischen Tiefbau, Baumarkt 10, 1989

- [4] Homes, J.: Erfassung und Bewertung der Umweltbelastungen bei innerstädtischen Bauprozessen, Fortschr.-Ber. VDI.-Z. Reihe 4, Nr. 67, VDI-Verlag Düsseldorf 1984

- [5] VDI Richtlinie 2057 : Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Blatt 1 : Grundlagen, Blatt 2 : Schwingungseinwirkung auf den menschlichen Körper, Blatt 3 : Schwingungsbeanspruchung des Menschen, Blatt 4 : Bewertung für bestimmte Anwendungsfälle, zu beziehen über Beuth Verlag Berlin

- [6] Splittgerber, H.: Wirkung von Erschütterungen auf Menschen und Gebäude, in W. Haupt (Hrsg.): "Bodendynamik", Vieweg Verlag, Braunschweig 1986

- [7] Kebe, H.-W.: Erschütterungseinwirkungen auf Großrechenanlagen, Konzept einer Dauerüberwachung, in Kolloquium "Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik", Herausgegeben von P. Knoll und D. Werner, Zentralinstitut Physik der Erde, Potsdam 1991