

Die neue VDI-Richtlinie 2038 (2010) Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen

Dr.-Ing. Dieter Heiland
Ingenieurbüro Dr. Heiland, Bergstraße 174, 44807 Bochum

1 Einleitung

Die Frage der Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Im Industriebau z.B. werden konservative statische Lastannahmen häufig zugunsten einer wirtschaftlichen Bemessung abgespeckt. Dementsprechend weniger massiv ausgeführte Bauwerke bedeuten automatisch eine höhere Schwingungsanfälligkeit gegenüber dynamischen Einwirkungen von Innen. Gleichzeitig werden immer häufiger Schwingungsanforderungen für die Aufstellung von Produktionsmaschinen oder Inspektionsgeräten definiert, die nicht ohne weiteres auf „normalen“ Geschossdecken vorzufinden sind. Es entsteht automatisch die Frage, wie viel „Schwingungsruhe“ ein Bauwerk aufweisen muss oder welche baudynamische Qualität ein Planer eigentlich schuldet, damit das Bauwerk seinen ihm zgedachten Zweck erfüllt, also „gebrauchstauglich“ ist.

Die in Deutschland oft angewendete Norm DIN4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ regelt in ihrem Teil 2 (Juni 1999) die „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ und in ihrem Teil 3 (Februar 1999) die „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ im Sinne des Immissionsschutzes. Sie geht jedoch nicht darauf ein, welche eigenverursachten Erschütterungen in einem Bauwerk auf Menschen einwirken dürfen. Häufig werden allerdings von Gutachtern die KB-Werte aus dem Teil 2 der DIN4150 sinngemäß zur Beurteilung auch nicht immissionsschutzrelevanter Fälle angewendet.

Auch die Juristen fragen häufig nach belastbaren Schwingungsgrenzwerten, die ein Gebäude für seinen zgedachten Zweck einhalten bzw. erreichen soll. Eine solche Anfrage war 2004 für den VDI der Anlass dafür, die Arbeitsgruppe VDI2038 ins Leben zu rufen. In dieser Arbeitsgruppe wurde über einen Zeitraum von mehr als 5 Jahren intensiven Arbeitens die voraussichtlich noch 2010 im Gründruck veröffentlichte Richtlinie erarbeitet. Als Mitarbeiter sind tätig: Dr.-Ing. Fritz-Otto Henkel (Obmann), Dr.-Ing. Dieter Heiland, Prof. Dr.-Ing. Armin Lenzen, Prof. Dr.-Ing. Manfred Link, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Müller, Prof. Dr.-Ing. Werner Rücker, Dr.-Ing. Manfred Schalk sowie Dipl.-Ing. Gerald Hilpert (VDI).

In diesem Zusammenhang wurde das eng mit den Erschütterungen verbundene Thema des sekundären Luftschalls, also des durch Bauteilschwingungen abgestrahlten Schalls, mit in die Richtlinie aufgenommen.

2 Ziele und Übersicht

Dem Mitarbeitergremium wurde schnell klar, dass der Sinn dieser neuen Richtlinie nicht allein darin bestehen kann, neue Grenzwerte für bestimmte Nutzungen zu definieren und zu veröffentlichen. Dies allein würde nämlich nicht die Frage klären, unter welchen Bedingungen diese eingehalten werden müssen, für welche Art der Nutzung sie als „gebrauchstauglich“ einzustufen sind, wie man den Nachweis führen oder wie man eine rechnerische Prognose erstellen kann.

Die Ziele der VDI 2038 sind daher:

- Vorhandenes Material zum Thema „Gebrauchstauglichkeit bei dynamischen Einwirkungen“ zusammenzutragen und darzustellen,
- Verfahrensweisen systematisch zu beschreiben,
- wenn möglich konkrete Formeln und Zahlenwerte zu nennen und
- nicht zuletzt eine geeignete Systematik zur Einbindung des Baudynamikers im Planungsprozess aufzuzeigen

Von den drei Aspekten der Baudynamik Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit wird in der Richtlinie ausschließlich die Gebrauchstauglichkeit behandelt.

Gebrauchstauglichkeit in diesem Zusammenhang kann bedeuten:

- Begrenzung der Schwingungsbeanspruchungen von Bauwerken zur Vermeidung von die Nutzung beeinträchtigenden Schönheitsschäden
- Begrenzung der Belästigung von Menschen – sei es durch die Erschütterungen direkt oder durch den dabei abgestrahlten sekundären Luftschall – im Wohnumfeld, unterwegs oder am Arbeitsplatz zur Sicherstellung des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit
- Begrenzung der Schwingungseinwirkungen auf empfindliche Geräte und Einrichtungen zur Sicherstellung von deren Funktionsfähigkeit

Die Richtlinie ist in drei Blättern unterteilt:

Blatt 1: Grundlagen - Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen

Blatt 2: Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung

Blatt 3: Sekundärer Luftschall - Prognose, Messung, Beurteilung, Minderung

Die einzelnen Teile werden im Folgenden erläutert.

3 Blatt 1 - Grundlagen

Blatt 1 enthält auf etwa 100 Seiten eine systematische Aufarbeitung der Grundlagen zur Gebrauchstauglichkeit in der Baudynamik. Im Vordergrund stehen die beiden Kapitel „Methoden und Vorgehensweisen in der Baudynamik bei Fragen der Gebrauchstauglichkeit“ sowie „Relevante dynamische Einwirkungen für Fragen der Gebrauchstauglichkeit“.

3.1 Kapitel „Methoden und Vorgehensweisen in der Baudynamik“

Es werden Entscheidungshilfen zur Klärung der Frage gegeben, ob eine baulynamische Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit erforderlich ist. Wesentliche Kriterien hierfür sind:

- Wie groß ist die Entfernung zwischen besonderen dynamischen Fremd-Einwirkungen (z.B. Schienenverkehr, Sprengungen, Industrie) und Bauwerk und wird ein kritischer Abstand unterschritten?
- Liegt eine besondere dynamische Einwirkung aus der Nutzung vor (außergewöhnliche Erschütterungserzeuger)?
- Gibt es nutzungsbedingte erhöhte Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit (Labore, Studios, Behandlungsräume)
- Liegt eine besondere Schwingungsanfälligkeit vor?

Für die oben genannten Fragen werden in der Vorschrift Zahlenwerten angegeben, die als eindeutige Entscheidungshilfe herangezogen werden können.

In jedem Fall empfiehlt sich, eine eindeutige Regelung der Anforderungen an die schwingungstechnische Gebrauchstauglichkeit zu definieren. Auch die DIN 1055-100 sagt hierzu: „Sofern nicht anders festgelegt, sollen die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit in Bauverträgen oder in den Entwurfsunterlagen geregelt werden“.

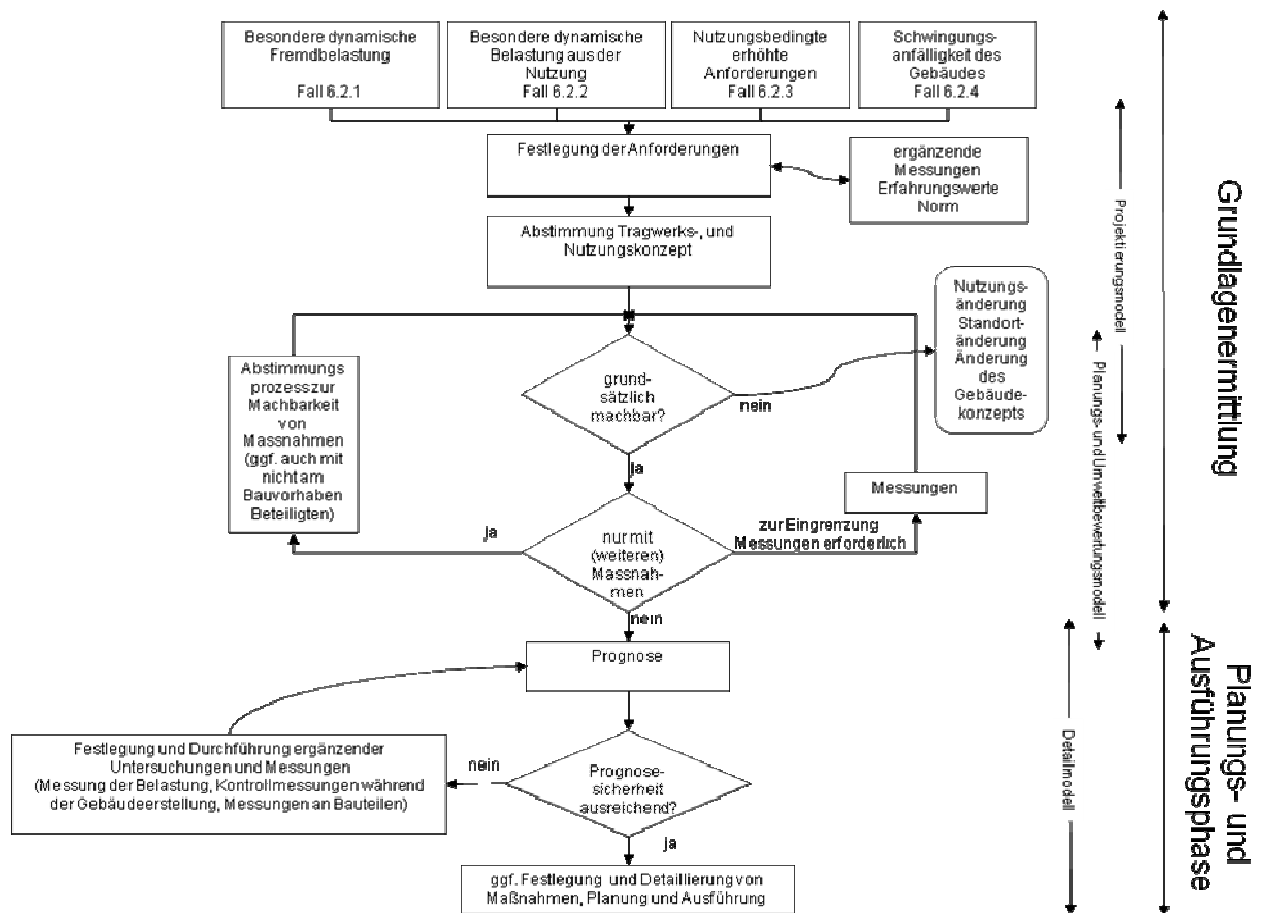


Bild 1: Ablauf einer baulastdynamischen Planung

Das Schaubild (Bild 1) erläutert, in welcher Weise ein Baudynamiker in den Planungsprozess eingebunden werden kann. Die Notwendigkeit einzelner Planungsschritte wie

- Definition von Schwingungsanforderungen
- Schwingungsmessungen
- Klärung der Machbarkeit (einfache Modelle)
- Prognose durch Detailmodell und Modellupdating
- Qualitätssicherung
- Abnahmemessungen

wird in der Richtlinie dargestellt.

3.2 Kapitel „Relevante dynamische Einwirkungen“

In der Darlegung der relevanten dynamischen Einwirkungen wird außer den bekannten Einwirkungsarten (Maschinen, Verkehr, Menschen) auch eingegangen auf im Zusammenhang mit der Gebrauchstauglichkeit sonst kaum behandelte Einwirkungen wie

- Magnetbahn

- Luftverkehr
- Wind

Die Richtlinie beschreibt die Emissionscharaktere der Einwirkung, sowie - soweit wie möglich - eine Berechnungsformel der Emission. Z. B. wird für Maschinen mit rotierenden Massen eine Formel zur Berechnung der dynamischen Kraft angegeben, während bei Baumaschinen eine Formel zur Ermittlung der Emission in Form von Schwingungsmaximalwerten (Maximalwerte im Zeitverlauf) angegeben wird.

Des Weiteren werden verschiedene Möglichkeiten beschrieben, wie bei unbekanntem dynamischen Einwirkungen diese messtechnisch ermittelt werden können. Hierzu sei an dieser Stelle nur das Stichwort Impedanz genannt.

In einem Anhang (A) finden sich Aussagen zur Prognosesicherheit, getrennt für die Anregung, die Systembeschreibung sowie die Anforderungen. Es wird ersichtlich, dass die in der Baudynamik vorkommenden Prognosegenauigkeiten eine andere Größenordnung aufweisen als in nicht baodynamischen Bereichen.

4 Blatt 2 - Schwingungen und Erschütterungen

Das Blatt 2 besteht aus den vier großen Hauptkapiteln

- Baudynamische Berechnungen und Erschütterungsprognose
- Baudynamische Messungen
- Bewertung der Gebrauchstauglichkeit
- Maßnahmen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit

4.1 Kapitel „Baudynamische Berechnungen und Erschütterungsprognose“

Das Kapitel „baudynamische Berechnungen und Erschütterungsprognose“ erläutert mögliche Rechenverfahren. Dabei wird unterschieden in „einfache Modelle“ für die Projektierung, „detaillierte Modelle“ für die Planung sowie „Detailmodelle“ für die Konstruktions- und Bauphase. Während das Einmassenschwinger-Modell in der Projektierungsphase eine ausreichende Aussagefähigkeit besitzt, wird man bei einem komplexen Bauvorhaben als Detailmodell eher eine FEM- oder BEM-Studie durchführen, um Abstrahlungsdämpfung, Ausgleichseffekte oder Transmissionen geeignet zu untersuchen. Derartige Verfahren werden zugeordnet und mit Formeln beschrieben. Eine Tabelle mit Angaben zu Dämpfungen, wie sie speziell bei baodynamischen Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen verwendet werden können, ist ebenfalls enthalten.

4.2 Kapitel „Baudynamische Messungen“

Im Kapitel „Baudynamische Messungen“ werden geeignete Methoden und Geräte beschrieben, mit denen Messungen zur Untersuchung der baulastdynamischen Gebrauchstauglichkeit durchgeführt werden können. Die Beschreibung der Messkette geht von den Einzelkomponenten der Hardware (Sensor, Kabel, Verstärker) über die Filterung und Digitalisierung bis hin zur Analyse und Auswertung.

Weitere Themen, die unmittelbar mit Schwingungsmessungen zu tun haben, sind die

- Experimentelle Modalanalyse (EMA) sowie die
- Zustandsüberwachung (Monitoring).

Sowohl die experimentelle Modalanalyse als auch das Schwingungsmonitoring sind Themen, die in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen haben. Sie werden von Baudynamikern bereits erfolgreich angewendet und können durch diese Richtlinie zukünftig auch als möglicher Bestandteil einer baulastdynamischen Bearbeitung verankert werden.

4.3 Kapitel „Bewertung der Gebrauchstauglichkeit“

Einen sehr großen Bereich nehmen die Bewertungskriterien der Gebrauchstauglichkeit ein. Hierbei geht es neben den Fremderschütterungen (Immissionen) insbesondere um die von den Nutzern selbst erzeugten Erschütterungen. Dabei werden drei Schwerpunkte – Bauwerk, Mensch, empfindliche Geräte unterschieden (Bild 2).

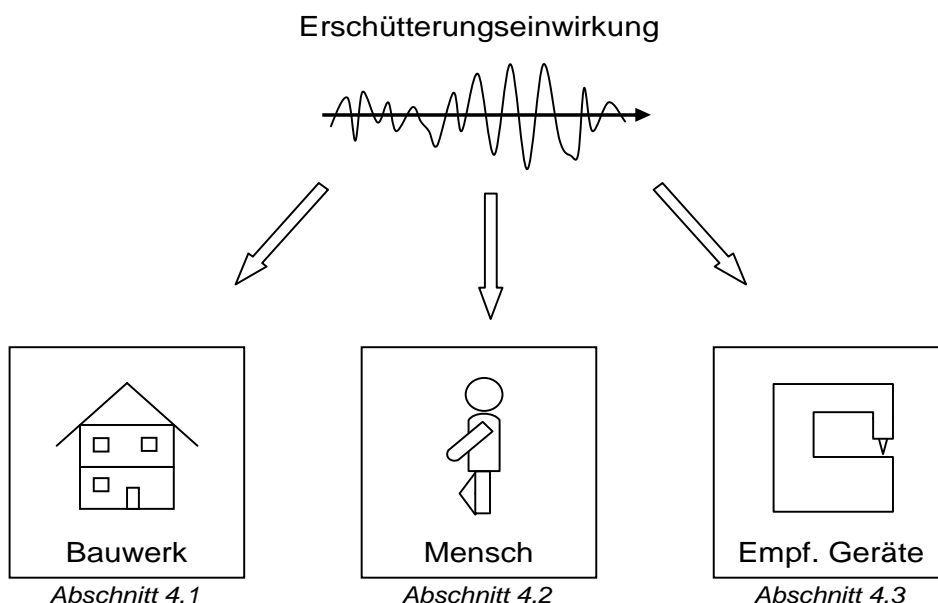


Bild 2: Unterscheidung von drei Beurteilungsbereichen

4.3.1 Kapitel „Bauwerk“

Im Kapitel „Bauwerk“ sind die Regelungen der wesentlichen europäischen Normen zusammengestellt, verglichen und bewertet.

4.3.2 Kapitel „Mensch“

Beim Kapitel „Menschen“ liegt der Schwerpunkt nicht auf den Erschütterungsimmissionen, für die es erprobte Regelwerke (DIN4150) gibt, sondern auf den von den Nutzern selbst erzeugten bzw. aus dem Schwingungsverhalten der Struktur sich ergebenden Erschütterungen. Hierfür wird ein neues Beurteilungskonzept vorgeschlagen, das es auch zulässt, aus der Literatur bekannte Kriterien einzubinden:

Für jedes Bauwerk werden gemäß Bild 3 bis zu drei unterschiedliche Bemessungssituationen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) definiert (quasi-ständig; häufig; selten, aber ohne bleibende Auswirkungen). Sie unterscheiden sich durch ihre unterschiedliche Auftretenshäufigkeit bzw. die Anzahl der Ereignisse pro Zeiteinheit und ihre Intensität. Je nach Bedeutungskategorie (BK) des Bauwerks (0 bis III) werden diesen Bemessungssituationen unterschiedliche Komfortniveaus zugeordnet.

Komfortniveau Bemessungssituation GZG	hoher Komfort	mittlerer Komfort	geringer Komfort / Unwohlsein
quasi-ständig	BKI	BK0	BK0
häufig	BKII	BKI	BK0
selten (reversible Ausw.)	BKIII	BKII	BKI

Bild 3: Zuordnung der Bedeutungskategorien (BK) zu Komfortniveau und Bemessungssituation (GZG)

Der Bauherr muss nun entscheiden, in welche Bedeutungskategorie (BK) er sein Bauwerk einordnen möchte. Gebäude der Bedeutungskategorie I z. B. müssen den hohen Komfort bei quasi-ständiger auftretender Bemessungssituation erreichen. Bei selten auftretenden Situationen (mit größeren dynamischen Einwirkungen) wird ein geringerer Komfort akzeptiert. Umgekehrt: Bei Gebäuden der Kategorie III ist selbst bei seltenen Situationen ein maximaler Komfort einzuhalten.

Aus der Wahl der Bedeutungskategorie ergeben sich die nachzuweisenden Anhaltswerte der drei Komfortklassen. Die Definition der Komfort-Kriterien (Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit) sowie die Definition der Bemessungssituationen müssen bauwerkspezifisch erfolgen. In VDI 2038 werden folgende Bauwerke separat betrachtet:

- Geschossdecken im Wohn- und Industriebau
- Geschossdecken in öffentlichen Gebäuden
- Feste und temporäre Tribünen
- (Fußgänger-) Brücken
- Treppen.

Bild 4 zeigt beispielhaft den Vorschlag für die endgültige Tabelle der Bemessungsszenarien und Komfort-Anforderungen bei Brücken. Die Zahlenwerte beinhalten den bisherigen Kenntnisstand der Fachwelt, stehen aber natürlich dennoch zur Diskussion.

Bemessungssituation GZG		Komfortniveau		
		hoher Komfort	mittlerer Komfort	niedriger Komfort
		$a_{vert} \leq 0,5 \text{ m/s}^2$	$0,5 \text{ m/s}^2 \leq a_{vert} \leq 1,0 \text{ m/s}^2$	$1,0 \text{ m/s}^2 \leq a_{vert} \leq 2,5 \text{ m/s}^2$
		$a_{hor} \leq 0,15 \text{ m/s}^2$	$0,15 \text{ m/s}^2 \leq a_{hor} \leq 0,3 \text{ m/s}^2$	$0,3 \text{ m/s}^2 \leq a_{hor} \leq 0,8 \text{ m/s}^2$
quasi-ständig	sehr schwacher Verkehr (0,2 Pers/m ² , asynchron)	Brücken in ländlichen Gebieten mit geringer Nutzung		
häufig	dichter Verkehr (0,5 Pers/m ² , asynchron)	Brücken in geschlossenen Siedlungen	Brücken in ländlichen Gebieten mit geringer Nutzung	
selten	sehr dichter Massestrom, eingeschränkte Bewegungsfreiheit (1,0–1,5 Pers/m ² , asynchron)	Verkehrswege zu Einrichtungen, bei denen Nutzer eingeschränkte Beweglichkeit besitzen (z.B. Krankenhäuser)	Brücken in geschlossenen Siedlungen	Brücken in ländlichen Gebieten mit geringer Nutzung

Bild 4: Bemessungsszenarien und Komfort-Anforderungen bei Brücken

4.3.3 Kapitel „empfindliche Geräte“

Beim Kapitel „empfindliche Geräte“ werden allgemeingültige Kriterien zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit vorgestellt. Außer den seit vielen Jahren bewährten „VC-Linien“ (VC=Vibration Criterion) werden außerdem die für hochauflösende REM und Produktionstools der Nanotechnologie gültigen „Nano-Linien“ angegeben. Beide Kriterien sind in den nachfolgenden Tabellen 1 und 2 sowie in Bild 4 dargestellt.

VC Linien (Vibration Criteria)	Schwingungspegel RMS-Terzspektren in $\mu\text{m/s}$ (8 Hz -100 Hz)	Tabelle typischer Nutzungen	Struktur- größe / Genauigkeit
Menschlich Fühlschwelle	100	Menschliche Fühlschwelle, für empfindliche Schlafbereiche, für Opern, Theater, für Mikroskope mit 100-facher Vergrößerung	30 μm
Line A	50	In fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit Vergrößerungen bis zu 400-fach	7,5 μm
Line B	25	Ein geeigneter Standard für Mikroskope mit Vergrößerungen bis zu 1000-fach, Lithografie Geräte (inkl. Stepper) bis zu 3 μm Strukturbreite	3 μm
Line C	12,5	Ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 μm Strukturbreite	1 μm
Line D	6,25	Passend unter fast allen Umständen für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM's, TEM's), e-beam Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden.	0,3 μm
Line E	3,1	Ein schwieriges Kriterium, das nur in wenigen Fällen eingehalten werden kann. Es wird für Geräte höchster Präzision erforderlich.	0,1 μm

Tabelle 1: VC-Linien der Mikrotechnik

Nano-Linien	Schwingungspegel RMS-Terzspektren in $\mu\text{m/s}$ (1-5 / 20 Hz -100 Hz)	Tabelle typischer Nutzungen	Struktur- größe / Genauigkeit
Nano-D	1,6 / 6,4	Sehr schwierig einzuhaltendes Kriterium für REM's der Nanotechnik für Auflösungen bis 1 nm, Obergeschosse mit hohen Anforderungen an die dynamische Steifigkeit und Eigenfrequenz	1 nm
Nano-E	0,8 / 3,2	Extremes Kriterium für REM's der Nanotechnik für Auflösungen bis 2-5Å (10Å=1nm), nur auf sehr massiven Bodenplatten und nur bei sehr günstigen Baugrundvoraussetzungen einhaltbar.	0,2-0,5 nm
Nano- EF	0,53 / 2,1	Strengstes Kriterium für REM's und TEM'S der Nanotechnik für Auflösungen im Sub Ångströmbereich (10 Å = 1 nm). Das Kriterium ist nur unter sehr speziellen Bedingungen und besonderen Baukonstruktionen einhaltbar.	< 0,1 nm

Tabelle2: Nano-Linien der Nanotechnik und für REM's

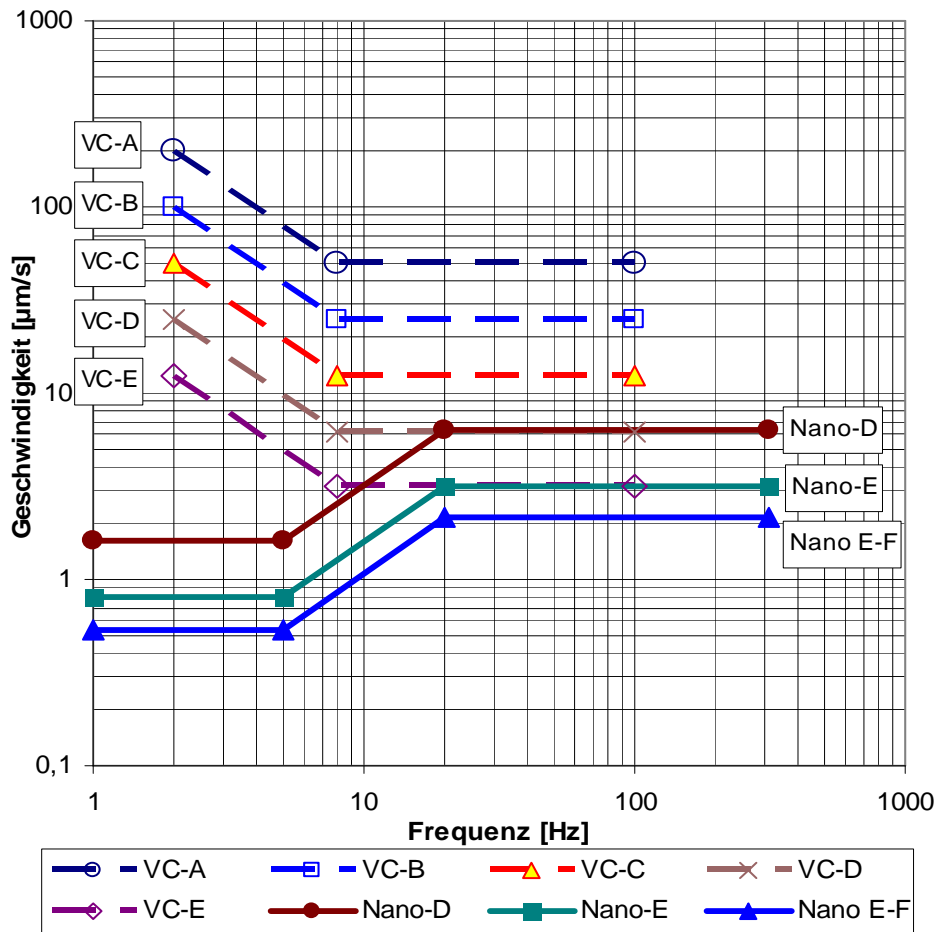


Bild 4: „VC“- und „Nano“-Linien

Sehr wichtig für gebrauchstaugliche Produktionsflächen hochempfindlicher Geräte ist jedoch auch eine Mindest-Deckensteifigkeit am Aufstellort. Dies erklärt, warum gerade bei hochsensiblen Geräten die Aufstellung auf einer Bodenplatte günstiger ist als auf einer frei schwingenden Decke. Es zeigt auch, dass aus einer Bodenplatte herausgelöste Einzelfundamente nicht zwingend günstigere Schwingungswerte aufweist als die umgebende Bodenplatte selbst.

4.4 Kapitel „Maßnahmen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit“

Als letztes Thema dieses Blatt 2 der Richtlinie werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Erschütterungsminderung an der Quelle, auf dem Übertragungsweg und am Empfänger angesprochen und in ihren grundsätzlichen Wirkungen diskutiert. Dazu gehören auch Maßnahmen wie Schwingungstilger, Verstimmung oder aktive Dämpfung.

5 Blatt 3 - Sekundärer Luftschall

In Blatt 3, das noch in Bearbeitung ist, werden die entsprechenden Fragestellungen des sekundären Luftschalls behandelt, da dieses Thema nach Meinung des Gremiums bisher noch nicht zusammenhängend dargestellt worden ist. Die phänomenologischen und physikalischen Grundlagen, Berechnungs- und Prognosemöglichkeiten sowie geeignete Beurteilungswerte werden ausführlich dargelegt.

6 Zusammenfassung

Die neue VDI 2038 ist eine hilfreiche Richtlinie zur Beschreibung schwingungstechnischer Anforderungen an Bauwerken, nicht nur für den Baudynamiker selbst, sondern genauso für die anderen Planer, für den Bauherrn und nicht zuletzt auch für die Juristen.

Die bisher wenig beschriebene Tätigkeit des Baudynamikers im Zusammenhang mit Gebrauchstauglichkeitsfragen wird definiert und in den Planungsprozess integriert.

Der Architekt und der Statiker finden Kriterien zur Beurteilung, ob und ggf. wie ein Baudynamiker in die Planungen einzubinden ist.

Der Bauherr schließlich findet in der Richtlinie Hilfen zur Beschreibung der von ihm gewünschten und dann vertraglich zu vereinbarenden baulastdynamischen Qualität des Bauwerks.