

# **VIBRA 1-2-3: Software für Immissionsberechnungen bei Schienenverkehr**

Dr. A. Ziegler; ZIEGLER CONSULTANTS, Zürich

---

Der Eisenbahnverkehr bringt neben den angestrebten Effekten, nämlich Mobilität und Transportleistung für jedermann, notgedrungen auch negative Begleiterscheinungen wie Lärm und Erschütterungen für diejenigen, die in der Nähe von Eisenbahngleisen wohnen. Die SBB war schon immer bestrebt, diese negativen Einflüsse nach Möglichkeit zu minimieren. Bei jeder Neubaustrecke und bei jedem Streckenausbau werden aufwendige Messungen und Berechnungen durchgeführt, um die zukünftigen Immissionen zu bestimmen und sicherzustellen, dass die Richtwerte nicht überschritten werden. Aufgrund der dabei gewonnenen Daten wurde das Programmpaket VIBRA 1-2-3 entwickelt.

---

## **Das Programmpaket VIBRA 1-2-3**

---

VIBRA 1-2-3 besteht aus drei Programmteilen: VIBRA-1 verwendet ein relativ einfaches Modell für Erschütterungs- und Körperschallberechnungen, das idealerweise dort eingesetzt wird, wo es darum geht, für eine grosse Anzahl von Gebäuden eine generelle Immissionsbeurteilung zu erstellen. Typischerweise geht es dabei darum, aus den 200 oder sogar 500 Gebäuden entlang einer Bahnstrecke diejenigen Gebäude zu eruieren, bei denen möglicherweise eine Grenzwertüberschreitung auftreten könnte. VIBRA-2 ist eher ein komplexes Programm, mit dem praktisch alle Einflussfaktoren erfasst werden können. Typischerweise wird dieses Programm dort eingesetzt, wo eine höhere Genauigkeit der Prognose erforderlich ist. VIBRA-3 schliesslich ist die Datenbank; in ihr werden alle Daten von Erschütterungs- und Körperschallmessungen gespeichert und darauf aufbauend liefert VIBRA-3, aufgrund statistischer Auswertungen, die Berechnungsgrundlage, wie z.B. Abminderungsfaktoren und Transferspektren, für die beiden Programme VIBRA-1 und VIBRA-2.

---

## **Grobbeurteilung mit VIBRA-1**

---

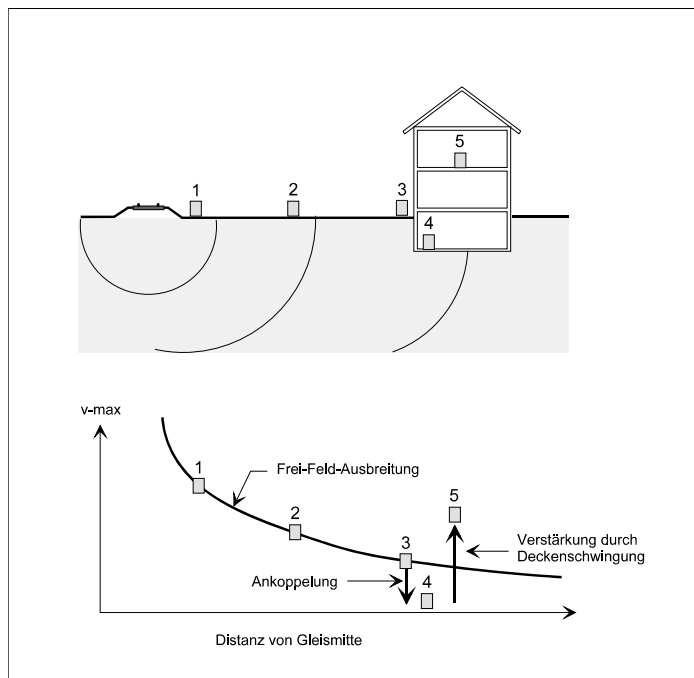
VIBRA-1 ist ein Computerprogramm für die approximative Berechnung der durch den Zugverkehr verursachten Immissionen. Aufgrund der wichtigsten und im allgemeinen auch leicht erhältlichen Daten über den Zugverkehr, über die Gleisführung, über den Baugrund und über die Bauweise der Gebäude entlang der Eisenbahnstrecke werden die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen berechnet. Als Berechnungsgrundlage wird ein semiempirisches Modell verwendet, das theoretische Ansätze über die Erschütterungsausbreitung mit Daten aus VIBRA-3 verbindet.

Die Ergebnisse von VIBRA-1 sind nicht als exakte Erschütterungsprognosen zu werten, sondern sollen vielmehr als Abschätzung eingestuft werden, die als Basis für die Anordnung von detaillierteren Berechnungen oder Messungen verwendet werden. Bei einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung dient VIBRA-1 vorzüglich im Rahmen der Voruntersuchung oder einer 1. Stufe zur Bestimmung des Untersuchungsperimeters.

## **Erschütterungsausbreitung**

Die vom Zug verursachte Erschütterung wird, wie in Bild 1 schematisch dargestellt, über den Boden auf das Gebäudefundament und von hier über die Mauern auf die Wohnräume bzw. deren Geschossdecken übertragen. Auf dem Weg vom Gleis zum Gebäudefundament schwächt sich die Erschütterung infolge Ausbreitungs- und Materialdämpfung ab. Beim

Uebergang vom Boden auf das Fundament erfährt die Erschütterung eine weitere Reduktion durch die sogenannte Ankoppelung. Die Erschütterung des Gebäudefundamentes erreicht praktisch unverändert die oberen Stockwerke, wird aber durch die Eigenschwingung der Geschossdecken wiederum verstärkt..



**Bild 1:** Schematische Darstellung der Erschütterungsausbreitung; *oben*: Anordnung von Gleis, Gebäude und Messpunkten; *unten*: Abminderung der Erschütterung mit zunehmender Distanz im freien Feld (Messpunkte 1 - 2 - 3); Ankoppelungseffekt (Messpunkte 3 - 4); Verstärkung durch Eigenschwingung der Decke (Messpunkte 4 - 5).

Das in Bild 1 gezeigte Abminderungsverhalten wird in VIBRA-1 durch die Gleichung 1 umschrieben:

$$v = v_R F_s (R/r)^m F_a F_e \quad (\text{Gl. 1})$$

- mit:
- $v$  = Erschütterung in Deckenmitte (Messpunkt 5 in Bild 1)
  - $v_R$  = Erschütterung in Referenzdistanz vom Gleis (Messpunkt 1 in Bild 1)
  - $F_s$  = Schienenfaktor zur Berücksichtigung von Weichen, Schienenstößen, Kunstbauten usw.
  - $R$  = Referenzdistanz
  - $r$  = Abstand Gebäude - Gleismitte
  - $m$  = Faktor für geometrische Dämpfung und Materialdämpfung
  - $F_a$  = Ankoppelungsfaktor Gebäude - Baugrund
  - $F_e$  = Faktor für Eigenschwingung der Geschossdecken

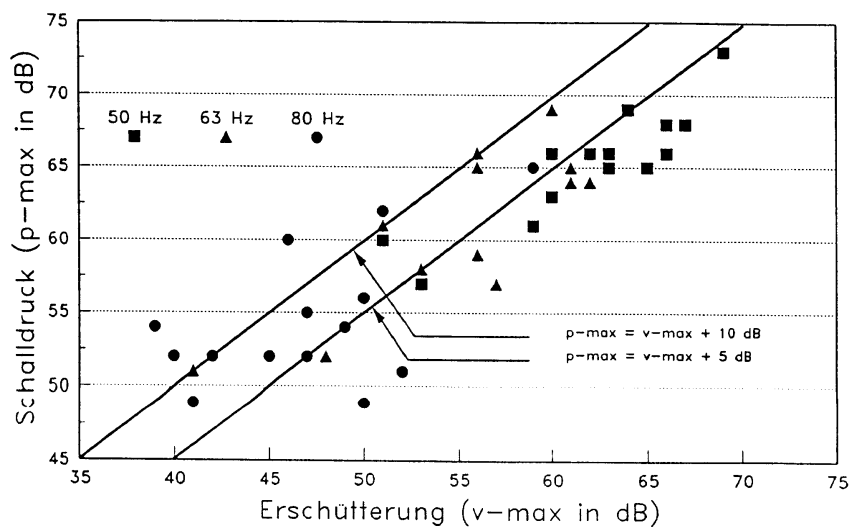
### Abgestrahlter Sekundärschall (Körperschall)

Körperschall wird durch die Vibrationen von Fußboden und Decke und zu einem geringeren Teil auch durch die Vibrationen der Wände verursacht. Der Zusammenhang zwischen Erschütterungsamplitude und abgestrahltem Körperschall in einem Raum ist sehr komplex. Bei einer ausgedehnten starren Platte im Freien sind die Verhältnisse noch relativ einfach. Mit den in [1] beschriebenen Gleichungen kann man zeigen, dass zwischen dem abgestrahlten Schall und der Vibration der Platte folgender Zusammenhang besteht:

$$L_p = L_v + 10 \log s \quad (\text{Gl. 2})$$

- mit:
- $L_p$  = abgestrahlter Schall in dB ( $p_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa)
  - $L_v$  = Schwinggeschwindigkeit der Platte ( $v_{\text{ref}} = 5 \cdot 10^{-5}$  mm/s)
  - $s$  = Abstrahlungseffizienz

Dies bedeutet, dass (mit den gewählten Referenzwerten) der Schalldruck gleich groß ist wie die Erschütterung zuzüglich eines Terms, der die Abstrahleffizienz der Platte berücksichtigt. Für eine starre Platte im Freien gilt  $s = 1$ , womit der letzte Term in Gleichung 2 null wird. Bei geschlossenen Räumen ist dieser Term wegen der Reflexionen und dem Mitschwingen der Decke und der Wände größer als null und kann Werte bis zu 20 dB erreichen. Bild 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Körperschall und Erschütterung am Beispiel einer Messung in einem älteren Gebäude über einem Stadttunnel [2]. Im Mittel liegt die Abstrahleffizienz bei diesem Gebäude bei 5 dB. Auswertungen verschiedener Messungen und Publikationen zeigen, dass die Abstrahlungseffizienz zwischen 5 und 15 dB schwankt.



**Bild 2:** Zusammenhang zwischen Körperschall und Erschütterung [2].

Gleichung 1 und 2 stellen zwar eine starke Vereinfachung der wirklichen Verhältnisse dar, sie berücksichtigen aber die wichtigsten Einflussparameter und erlauben somit eine grobe Beurteilung der Erschütterungsimmissionen entlang einer existierenden oder projektierten Bahnlinie mit geringem Aufwand. Die Parameter in den beiden Gleichungen (Gl. 1 und Gl. 2) werden aus den statistischen Auswertungen der Messdaten in VIBRA-3 gewonnen. Für den Ankoppelungsfaktor z.B. liefert VIBRA-3 einen Wert von 0.56 für leichte Gebäude (1 bis 2 Geschosse) und 0.26 für schwere Gebäude (3 und mehr Geschosse). Für den Verstärkungsfaktor Fundament - Decke erhält man 4.9 für Holzdecken und 3.8 für Betondecken. Je mehr Daten in VIBRA-3 vorhanden sind, desto zuverlässiger sind die ermittelten Parameter und umso besser wird die Prognose mit VIBRA-1.

In VIBRA-1 kann eine beliebige Anzahl Parametersätze gespeichert werden. So können für spezielle Bodentypen die geeigneten Parameter bestimmt und speziell abgespeichert werden. Es mag auch sinnvoll sein, für verschiedene Anwendungszwecke unterschiedliche Parametersätze bereitzustellen. Je nachdem, ob es sich um die Festlegung eines Untersuchungsperimeters oder um die Bestimmung eines mittleren Prognosewertes handelt, sind unterschiedliche Faktoren einzusetzen.

---

## VIBRA-2

---

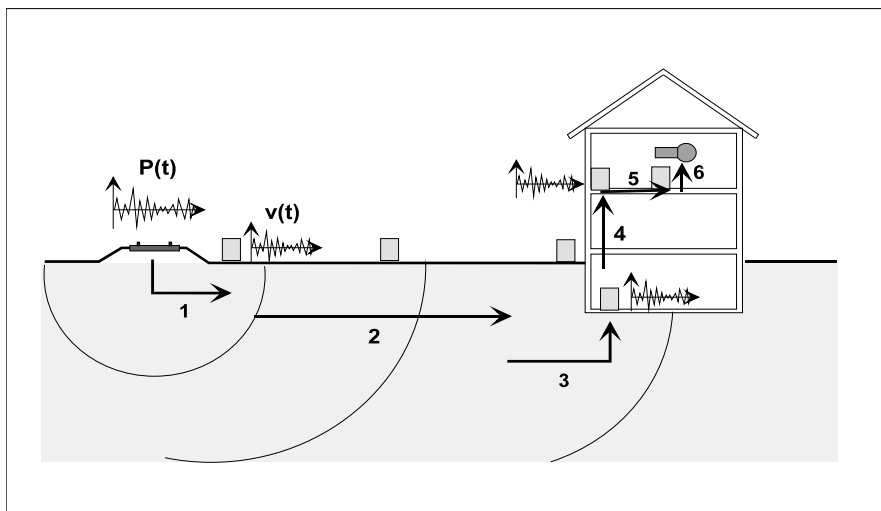
VIBRA-2 ist das zweite und wesentlich detailliertere Programm für die Berechnung der durch den Zugverkehr verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen. Während bei VIBRA-1 die Immissionen mit einem einfachen Berechnungsmodell und relativ wenigen Daten über Boden und Bauwerk bestimmt werden, verwendet VIBRA-2 ein aufwendigeres Modell, welches alle wichtigen Aspekte der Erschütterungsausbreitung beim Schienenverkehr berücksichtigt.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Modellen, die oft als sogenannte "Black-Box"-Lösungen die Ergebnisse bereitstellen, arbeitet VIBRA-2 als offenes System, bei welchem der Benutzer jeden einzelnen Berechnungsschritt kontrollieren und beeinflussen kann. Der Benutzer kann alle seine Erfahrungen oder die Auswertungen von VIBRA-3 in das Modell von VIBRA-2 einfließen lassen und auf diese Weise das Modell laufend optimieren.

### Elemente der Erschütterungsausbreitung

Die Quelle der Erschütterung ist die vom Schienenfahrzeug verursachte zeitvariable Belastung, welche in Bild 3 als  $P(t)$  bezeichnet ist. Die Ausbreitung der Erschütterung lässt sich in sechs Abschnitte gliedern:

1. Schiene - Trasse
2. Trasse - Freifeld
3. Freifeld - Fundament
4. Fundament - Aussenmauer
5. Aussenmauer - Geschossdecke
6. Geschossdecke - abgestrahlter Körperschall



**Bild 3:** Erschütterungsausbreitung beim Schienenverkehr mit Darstellung der Ausbreitungsabschnitte 1 bis 6.

In jedem dieser Abschnitte herrscht ein ganz bestimmtes Ausbreitungsphänomen vor; gelingt es, dieses Ausbreitungsphänomen durch ein geeignetes Modell zu erfassen, so lässt sich eine zuverlässige Prognose über die Erschütterungen in Gebäuden in der Nähe von Eisenbahnlinien erstellen.

In Tabelle 1 sind die dominanten Ausbreitungsphänomene und die wichtigsten Einflussparameter für die sechs oben erwähnten Ausbreitungsabschnitte zusammengestellt.

**Tabelle 1:** Ausbreitungsphänomene

Abschnitt	Ausbreitungsphänomen	Einflussparameter
Schiene - Trasse	Umsetzung der Belastung in eine Erschütterung	Schienentyp, Unterbau, Baugrund
Trasse - Freifeld	Ausbreitung einer begrenzten linienförmigen Erschütterung im geschichteten Halbraum	Gleislage (offene Strecke, Tunnel, Damm, Einschnitt), Baugrund, Distanz
Freifeld - Fundament	Ankoppelung der Freifeldschwingung an das Gebäude	Baugrund, Gebäudemasse, Kontaktfläche, Gebäudesteifigkeit
Fundament - Aussenmauer	Schwingungsanregung der Aussenmauern	Masse der Stockwerke, Steifigkeit der vertikalen Tragelemente
Aussenmauer - Geschossdecke	Schwingungsanregung der Geschossdecke	Deckensteifigkeit, Deckeneigenfrequenz, Massenverteilung, Dämpfung
Geschossdecke - Körperschall	Abstrahlung der Vibrationen als Luftschall, Reflexion und Absorption von Luftschall	Decken- und Wandabmessungen, Oberflächenbeschaffenheit, Abstrahleffizienz, Absorption

## Berechnungsmodelle

Wie in allen Gebieten des Ingenieurwesens wurden auch für das Phänomen Erschütterungsausbreitung beim Schienenverkehr verschiedene Berechnungsmodelle entwickelt, mit dem Ziel, eine möglichst zuverlässige Prognose für die Erschütterung in Gebäuden in der Nähe von Eisenbahnlinien zu erreichen. Die wohl umfassendste Literaturzusammenstellung über solche Modelle findet sich in [3]. Hier werden recht ausführlich die theoretischen Grundlagen und die Anwendbarkeit von Modellen besprochen.

Die grosse Anzahl von Modellen lässt sich, etwas vereinfachend, in folgende vier Gruppen einteilen:

- Einfache Abminderungsmodelle
- Frequenzabhängige Abminderungsmodelle
- Finite-Element-Modelle
- Mehr-Massen-Modelle

Auf eine Gliederung in rein theoretische, semi-empirische und empirische Modelle wird bewusst verzichtet, da alle Modelle, ob einfach oder kompliziert, sich zu einem wesentlichen Teil auf Messungen abstützen und somit als empirische oder semi-empirische Modelle einzustufen sind.

### *Einfache Abminderungsmodelle*

Einfache Abminderungsmodelle basieren auf einer einfachen Abminderungsgleichung, in der aufgrund der Erschütterung an der Quelle und unter Berücksichtigung der Abminderung auf dem Uebertragungsweg die Erschütterung beim Empfänger berechnet wird. Dabei wird die Frequenzabhängigkeit der Erschütterungsausbreitung nicht oder nur in stark vereinfachender Art und Weise berücksichtigt. Ein Beispiel eines solchen Modells ist das in VIBRA-1 verwendete Modell.

## ***Frequenzabhängige Abminderungsmodelle***

Anstelle der Beschreibung der Schwingstärke mit einer einzigen Zahl, wie z.B. die maximale Schwinggeschwindigkeit, wird bei den frequenzabhängigen Abminderungsmodellen die Spektraldarstellung verwendet; die Schwingung wird als Funktion der Frequenz erfasst. Die Ausgangsgrösse ist nicht mehr eine Anregungsamplitude, sondern ein Anregungsspektrum und an die Stelle der Abminderungsfunktion treten Transferfunktionen oder Transferspektren. Dabei ist es unerheblich ob Transferfunktionen, die eine kontinuierliche Darstellung der Schwingung im Frequenzbereich erlauben, verwendet werden oder Transfer-Terzbandspektren mit einer diskontinuierliche Darstellung im Frequenzbereich. Einige Beiträge für solche Modelle sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

**Tabelle 2:** Beispiele für frequenzabhängige Abminderungsmodelle

Autor	Titel	Lit.
W. Haupt	Ausbreitung von Erschütterungen an Schienenverkehrswegen	[4]
STUVA	Lärm- und Erschütterungsminderung im Schienenverkehr (Nr. 28)	[5]
J. Jakobsen	Transmission of Ground-Borne Vibration in Buildings	[6]
L.G. Kurzweil	Ground-Borne Noise and Vibration from Underground Rail Systems	[7]
G. Huber	Erschütterungsausbreitung beim Rad/Schiene-System	[8]
J. Kunz	Ausgewählte Descriptoren zur Beschreibung von Erschütterungen im ebenen Freifeld seitlich von Schienenwegen	[9]

## ***Finite-Element-Modelle***

Finite-Element-Modelle bilden das System Schiene - Baugrund - Gebäude in Form eines zumeist sehr umfangreichen FE-Modelles ab. Beispiele für die Anwendung der FE-Methode finden sich bei L. Auersch [10] und bei W. Rücker [11, 14]. FE-Modelle wurden verschiedentlich bei der Erschütterungsausbreitungsberechnung für unterirdische Eisenbahnanlagen eingesetzt. Ihr Einsatzgebiet liegt primär bei der Untersuchung von kritischen Einzelfällen, bei qualitativen Untersuchungen und ganz generell bei Forschungsarbeiten. FE-Berechnungen sind allerdings noch nicht in der Lage, ohne Kalibrierung durch begleitende Messungen numerisch exakte Prognosen zu liefern.

## ***Mehr-Massen-Modelle***

Mehr-Massen-Modelle verwenden konzentrierte Massen und Federn um das Schwingverhalten zu untersuchen. Zumeist werden sie verwendet um das Verhalten der in der Nähe von Eisenbahnlinien gelegenen Gebäude zu analysieren. Beispiele finden sich bei L. Auersch ([12] und [13]).

---

## **Das Berechnungsmodell in VIBRA-2**

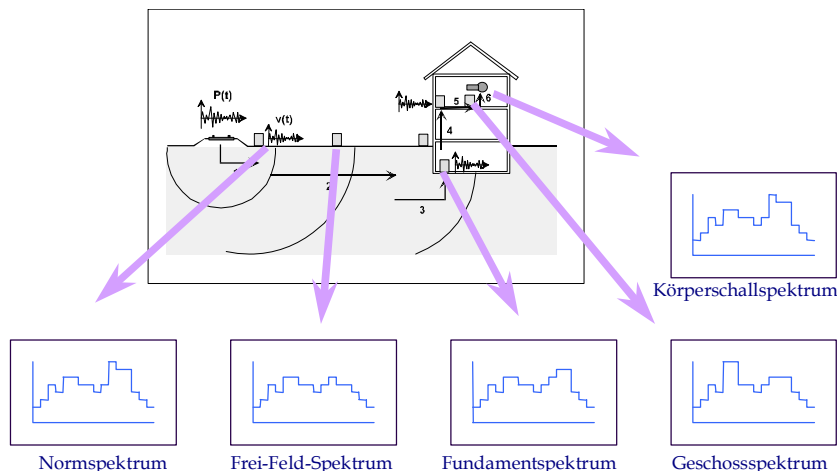
---

Bei der Entwicklung des Berechnungsmodells für VIBRA-2 wurden folgende Grundsätze festgelegt:

- Das Modell soll umfassend sein. Es soll die Erschütterungsausbreitung vom Trasse bis zu den Vibrationen in den Wohnräumen inklusive abgestrahlter Luftschall berechnen können.

- Das Modell soll eine offene Struktur aufweisen, sodass die einzelnen Berechnungsschritte vom Benutzer kontrolliert und beeinflusst werden können.
- Das Modell soll flexibel sein, sodass neue Erkenntnisse leicht eingebaut werden können. Es sollen vor allem Ergebnisse aus Erschütterungsmessungen berücksichtigt werden können.
- Das Modell soll einen sinnvollen Detaillierungsgrad aufweisen. Der Detaillierungsgrad kann nicht so weit gehen wie bei den FE-Modellen, doch sollen Einflüsse von Unter-schottermatten oder von Deckeneigenfrequenzen berücksichtigt werden können.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde ein Modell entwickelt, das der Gruppe „Frequenz-abhängige Abminderungsmodelle“ zuzuordnen ist. Ausgehend vom Normspektrum wird – wie in Bild 4.1 dargestellt - durch sukzessive Multiplikation mit den entsprechenden Transferspektren das Erschütterungs-Spektrum für die verschiedenen Bereiche gewonnen.



**Bild 4.1** Schematische Darstellung der Berechnung mittels Norm- und Transferspektren beim VIBRA-2-Modell

Der Berechnungsablauf ist in Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3** Berechnungsablauf in VIBRA-2

Nr	Aspekt	Beschreibung
1	Normspektrum	Aufgrund der Parameter <i>Streckenführung, Tunnelform, Oberbau, Unterbau, Untergrund, Zugtyp</i> und <i>Fahrgeschwindigkeit</i> wird das Normspektrum ausgewählt. Liegt die Fahrgeschwindigkeit zwischen zwei Werten des Normspektrums, wird linear interpoliert.
2	Gleistyp	Multiplikation mit Transferspektrum für <i>Gleistyp</i> .
3	Gleisbesonderheit (Weichen)	Weichen werden durch das Transferspektrum für Gleisbesonderheit ( $T_w$ ) berücksichtigt. Mit zunehmender Distanz zwischen Gebäude und Weiche reduziert sich der Weicheneinfluss und verschwindet ab 50 m gänzlich. Dieser Effekt wird durch den Distanzfaktor $F_{wd} = \cos((d/50) * (\pi/2))$ berücksichtigt. Die Erschütterung mit Berücksichtigung der Weiche ( $v_w$ ) berechnet sich somit nach der Formel: $v_w = v * (1 + (T_w - 1) * F_{wd})$ .
4	Gleisisolation	Multiplikation mit Transferspektrum für <i>Gleisisolation</i> .



5	Boden im Gleisbereich	Der Boden und die Oberflächenwellen-Geschwindigkeit des Bodens im Gleisbereich ( $v_{B-GI}$ ) kann von dem im Normspektrum angenommenen abweichen. Zur Korrektur dieses Effektes wird einerseits das Transferspektrum für „Gleisboden“ ( $T_B$ ) andererseits der Faktor $F_{vB} = ((v_{B-NS}) / (v_{B-GI}))^{1/2}$ eingeführt. Die Erschütterung mit Berücksichtigung des Bodeneinflusses berechnet sich somit nach der Formel: $v_B = v * T_B * F_{vB}$ . Der Wert für die Oberflächenwellen-Geschwindigkeit des Normspektrums ( $v_{B-NS}$ ) wird im Formular für Normspektren, der Wert für die Oberflächenwellen-Geschwindigkeit am Standort ( $v_{B-GI}$ ) wird im Formular für Gleis und Uebertragungsweg eingegeben.
	Nr. 1 bis 5	Durch energetische Addition aller Terzpegel ergibt sich die Erschütterung für den Punkt NF (Near Field) d.h. für die Referenzdistanz von 4 m neben dem Gleis.
6	Gleislage	Multiplikation mit Transferspektrum für <i>Gleislage</i> (z.B. Damm, Einschnitt).
7	Frei-Feld-Ausbreitung	Die Abminderung der Erschütterungen in Funktion der Distanz berechnet sich nach der Formel (vgl. Kapitel 4):  $v = v_0 \left( \frac{r_0}{r} \right)^{n(f)} e^{\left( -\frac{2\pi D}{v_B} (r-r_0) \right)}$ <p>Wird der Wert für die Materialdämpfung D gleich Null gesetzt, so ergibt sich die von verschiedenen Autoren empfohlene einfachere Formel:</p> $v = v_0 \left( \frac{r_0}{r} \right)^{n(f)}$ <p>mit dem bekannten linearen Abminderungsverhalten in der doppelt-logarithmischen Darstellung.</p>
8	Frei-Feld-Besonderheit	Multiplikation mit Transferspektrum für <i>Frei-Feld-Besonderheit</i> .
	Nr. 6 bis 8	Durch energetische Addition aller Terzpegel ergibt sich die Erschütterung für den Punkt FF (Far Field) d.h. für eine Distanz, die der Gebäuedistanz entspricht.
9	Ankoppelungsfaktor	Multiplikation mit Transferspektrum für <i>Gebäudetyp</i> . Damit ergibt sich die Erschütterung für das Gebäudefundament
10	Gebäude-Besonderheit	Multiplikation mit Transferspektrum für <i>Gebäudebesonderheit</i> .
11	Geschossdecke	Multiplikation mit Transferspektrum für <i>Geschossdecke</i> .
	Nr. 9 bis 11	Durch energetische Addition aller Terzpegel ergibt sich die Erschütterung für den Punkt DE (Mitte der Geschossdecke).
12	Körperschall nach Grütz	Umrechnung in dB, Durchführung der A-Bewertung, energetische Addition aller Terzpegel ( $=L_{vA}$ ). $KS = 26.2 + 0.46 * L_{vA}$ für Betondecken und $KS = 24.5 + 0.59 * L_{vA}$ für Holzdecken.
	Nr. 12	Damit ergibt sich die Körperschallimmission für die Raummitte.

## Summation der Einflüsse der einzelnen Züge

Aufgrund der Ergebnisse für die einzelnen Zugtypen wird die Gesamtmission nach folgendem Verfahren berechnet:

Erschütterung: Nach DIN 4150/2

$$\text{Körperschall: } 10 \log \sum 10^{\frac{KS_i}{10}} \frac{Z_i \left( \frac{L_i}{v_i} + 5 \right)}{3600}$$

Mit:  $KS_i$  = Körperschallmission einer einzelnen Zugvorbeifahrt

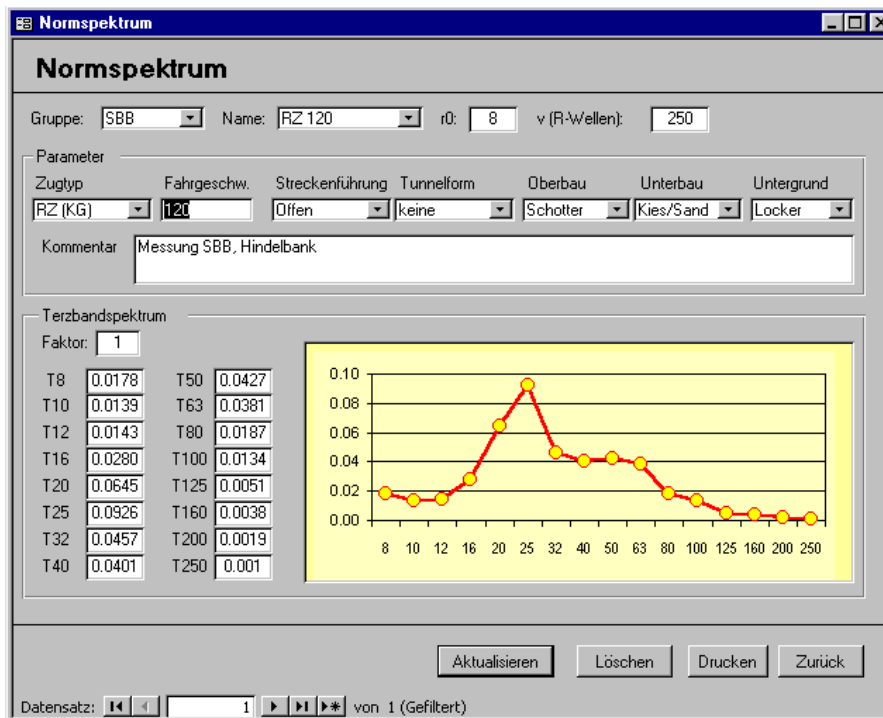
$Z_i$  = Anzahl Züge pro Stunde des Zugtyps  $i$

Zur Berücksichtigung der neuer Weisung BEKS wird der Mittelwert für die Nachtstunden mit dem „Faktor für maximale Nachtstunde“ multipliziert.

$L_i$  = Länge des Zugtyps  $i$  (in m)

$v_i$  = Fahrgeschwindigkeit des Zugtyps  $i$  (in m/s)

Die nachfolgenden Bilder zeigen Bildschirm-Ausdrucke aus dem Programm VIBRA-2



Eingabe von Norm- bzw. Quellspektren

**ASP** Immissionsberechnung

Projekt-Nr. 1  
 Normspektr-Gruppe: SBB  
 Transferspektr-Gruppe: SBB

**Gebäude:**  
 Seestrasse 71 Küsnacht 1. OG

**Gleis und Zugtyp:**

ID für UTW, Gleis und Zug	Gleis	Ort	Zugtyp
1/1/1	Gleis 1	Küsnacht - Zollikon	RZ (KG)
1/1/2	Gleis 1	Küsnacht - Zollikon	GZ (KG)

**Spektrn prüfen:** [OK]

**Berechnung durchführen für:**  
 einen Zugtyp: 1/1/1 [OK]  
 Gesamtimmission aus allen Zügen: [OK]

**Parameter:** KB-FT / LEQ: 2.2

**Gebäude**  
 Name: Seestrasse 71 Küsnacht  
 Ort: 1. OG  
 Ankopplung: bis 2 Etagen  
 Besonderheit: Keine  
 Decke: Holz 16 Hz  
 KS-Typ: Holz

**Uebertragungsweg**  
 Länge S1: 10  
 Boden S1: Standard  
 D1: 0  
 VB1: 250  
 Länge S2: 0  
 Boden S2: Standard  
 D2: 0  
 VB2: 250  
 Frei-Feld-Besonderheit: Keine

**Zug**  
 Zugtyp: RZ (KG)  
 Geschwindigkeit: 90  
 Z/h tag/nacht: 10 5  
 Länge tag/nacht: 200 200

**Gleis**  
 Name: Gleis 1 Ort: Küsnacht - Zollikon  
 Strecke: Offen  
 Oberbau: Schotter  
 Unterbau: Kies/Sand  
 Untergrund: Locker  
 Boden: Normal  
 V (R-Wellen): 400  
 Tunnelform: keine  
 Gleiszustand: Holzschwebe  
 Isolation: Keine  
 Besonderheit: Weiche  
 Abstand: 0  
 Gleislage: Niveau

[Zurück]

Bildschirm für die Immissionsberechnung

**ResultSpektrum**

**Resultat-Spektrn**

Normspektr-Gruppe: SBB  
 Transferspektr-Gruppe: SBB

**Gebäude**  
 Nr. 1  
 Name: Seestrasse 71 Küsnacht  
 Ort: 1. OG

**Gleis**  
 Nr. 1  
 Name: Gleis 1  
 Ort: Küsnacht - Zollikon

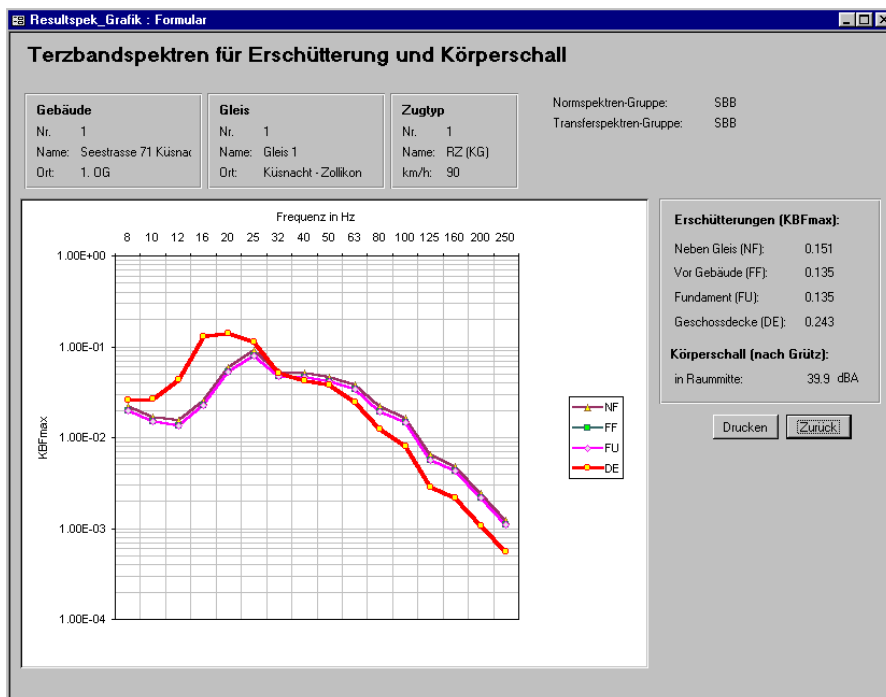
**Zugtyp**  
 Nr. 1  
 Name: RZ (KG)  
 km/h: 90

Summe KBFmax bzw. dBA (KS nach Grütz)

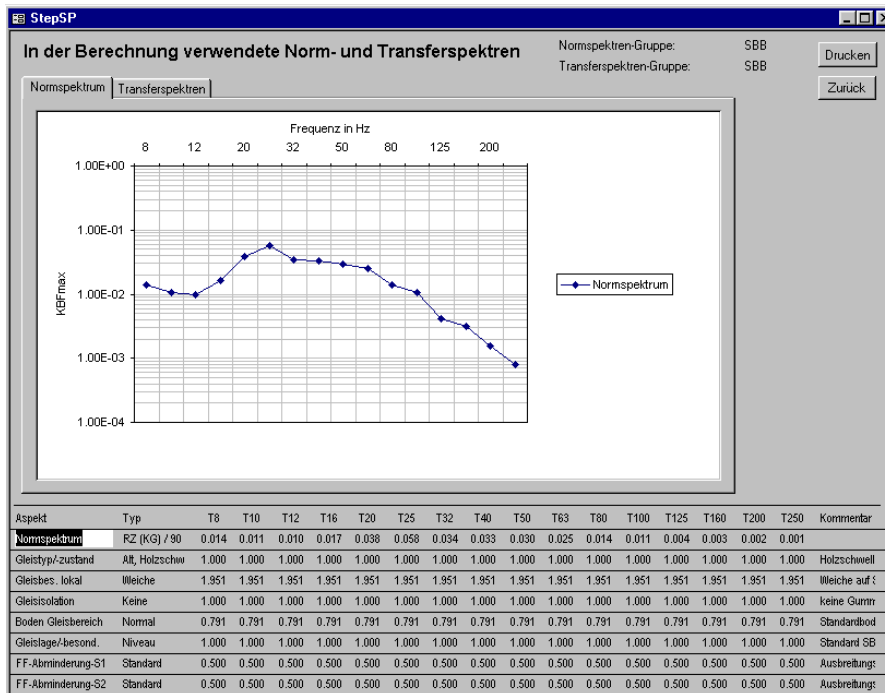
Typ	T8	T10	T12	T16	T20	T25	T32	T40	T50	T63	T80	T100	T125	T160	T200	T250	
NF	0.022	0.017	0.015	0.026	0.059	0.09	0.053	0.051	0.046	0.038	0.022	0.016	0.006	0.005	0.002	0.001	0.151
FF	0.02	0.015	0.014	0.023	0.053	0.080	0.047	0.046	0.041	0.034	0.019	0.014	0.006	0.004	0.002	0.001	0.135
FU	0.02	0.015	0.014	0.023	0.053	0.080	0.047	0.046	0.041	0.034	0.019	0.014	0.006	0.004	0.002	0.001	0.135
DE	0.026	0.026	0.043	0.129	0.140	0.114	0.051	0.042	0.038	0.024	0.012	0.008	0.003	0.002	0.001	0.0006	0.243
KS	0	0	0	0	0	15.57	13.96	17.08	20.47	20.69	18.47	0	0	0	0	0	39.92

[Norm- und Transferspektrn] [Drucken] [Graphik] [Zurück]

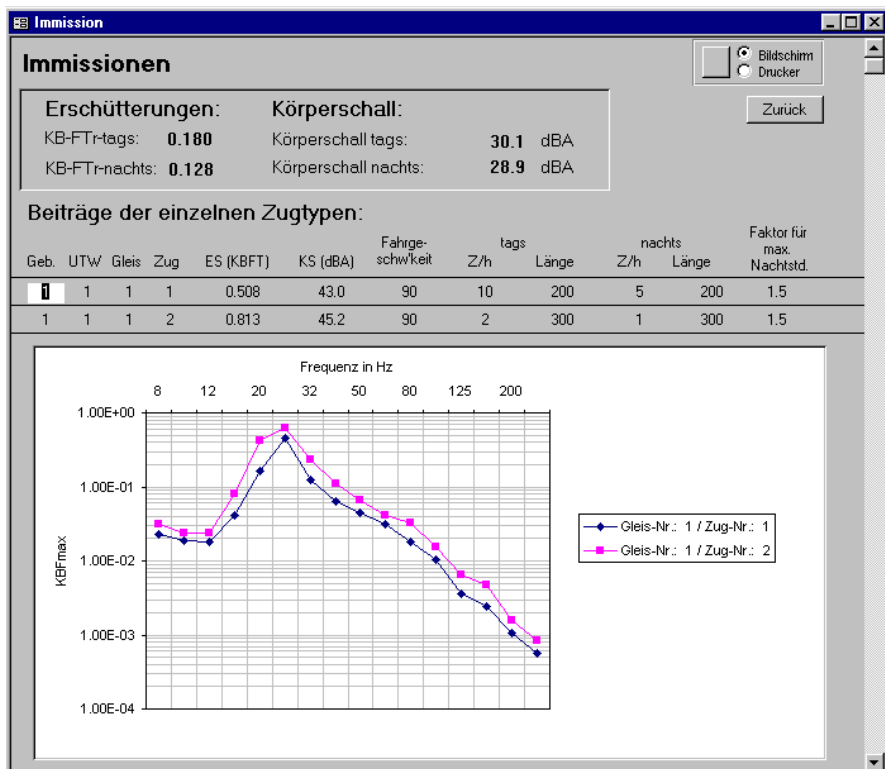
Tabellarische Darstellung der Resultatspektrn



Graphische Darstellung der Resultatspektrn



In der Berechnung verwendete Norm- und Transferspektren



Summation der Beiträge der einzelnen Zugvorbeifahrten zur Gesamt-immission

---

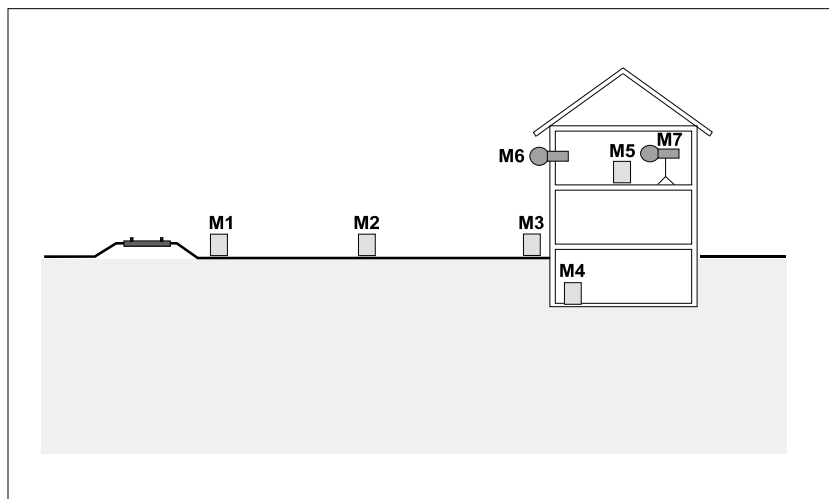
## Die Datenbank VIBRA-3

---

VIBRA-3 ist eine Datenbank zur Speicherung, Verwaltung und Auswertung von Erschütterungs- und Körperschallmessungen im Nahbereich von Eisenbahngleisen. Durch die systematische und einheitliche Speicherung der Messdaten ergibt sich eine grosse Datenfülle, die es ermöglicht, wertvolle Ergebnisse aus den mit viel Aufwand erarbeiteten Daten zu gewinnen. So werden Erschütterungsprognosen aufgrund von früher durchgeführten Messungen erstellt werden können, indem man mit VIBRA-3 diejenigen Messdaten mit vergleichbaren Randbedingungen auswählt und Mittelwerte bildet.

Die Bedeutung von VIBRA-3 ist vor allem im Zusammenhang mit VIBRA-1 und VIBRA-2 zu sehen: Auswertungen von VIBRA-3 bilden eine wichtige Grundlage für die Festlegung der Parameter in VIBRA-1 und für die Transferspektren in VIBRA-2.

Beim Aufbau der Datenbank in VIBRA-3 wurde davon ausgegangen, dass die Messungen für Erschütterungs- und Körperschallimmissionen nach dem in Bild 7 gezeigten Schema vorgenommen werden.



**Bild 7:** Schematische Darstellung einer Messreihe

Das Grundelement ist stets eine Messreihe quer zur Eisenbahnlinie, welche mehrere Sensoren umfasst. Bei den Sensoren kann es sich um Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Schalldrucksensoren handeln.

Die Sensoren registrieren die Erschütterungen bzw. den Schalldruck während der Zugvorbeifahrt. Eine Zugvorbeifahrt wird als Ereignis definiert und mit den zugehörigen Informationen wie Zugtyp, Fahrgeschwindigkeit etc. abgespeichert.

Die von den Sensoren über eine Zugvorbeifahrt aufgezeichneten Signale sind vorgängig auszuwerten. In die Datenbank von VIBRA-3 werden nur die charakterisierenden Grössen dieser Signale wie Spitzenwerte, Mittelwerte und Spektralwerte aufgenommen. Zur Vervollständigung der Dokumentation einer Messung werden neben den eigentlichen Messdaten auch Situationspläne und Fotos in der VIBRA-3-Datenbank abgelegt. Um wirklich vergleichbare Daten zu haben, ist es wichtig, dass die Messbedingungen und die Art der Signalanalyse möglichst einheitlich sind. Ausnahmen können mit speziellen Kommentaren versehen werden.

VIBRA-3 enthält eine grosse Anzahl von vorprogrammierten Abfragen, mit denen z.B. Schwingstärke als Funktion der Gleisdistanz, gemittelte Terzbandspektren und Transferpektren für beliebige Auswahlkriterien für Zugtyp, Gebäudetyp etc. durchgeführt werden können. Spezielle Auswertungen können vom Benutzer ohne viel Aufwand selbst programmiert werden.

\*\*\*

## Literatur

- [1] L. Cremer, M. Heckl, E.E. Ungar; *Structure-Borne Sound*; pp. 495 ff; Springer Verlag 1972.
- [2] Ziegler Consultants; interner Bericht
- [3] H. Hettwer e.a.; *Erschütterungen an Verkehrswegen*; Universität-Gesamthochschule-Essen; 1986.
- [4] W. Haupt; *Ausbreitung von Erschütterungen an Schienenverkehrswegen*; 3. Jtag. DGEB, Trans Tech Publications, Clausthal; 1988.
- [5] STUVA; *Lärm- und Erschütterungsminderung im Schienenverkehr* (Nr. 28)
- [6] J. Jakobsen; *Transmission of Ground-Borne Vibration in Buildings*; J. of Low Frequency Noise & Vibration; 1989.
- [7] L.G. Kurzweil; *Ground-Borne Noise and Vibration from Underground Rail Systems*; J. of Sound and Vibration, 66(3); 1979.
- [8] G. Huber; *Erschütterungsausbreitung beim Rad/Schiene-System*; Inst. für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe; 1988.
- [9] J. Kunz; *Ausgewählte Descriptoren<sup>1</sup> zur Beschreibung von Erschütterungen im ebenen Freifeld seitlich von Schienenwegen*; Universität-Gesamthochschule-Essen; 1991
- [10] L. Auersch; *Ausbreitung von Erschütterung durch den Boden*; BAM Nr. 92, 1983
- [11] W. Rücker; *Ermittlung der Schwingungsanregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung*; Universität Berlin, 1979.
- [12] L. Auersch; *Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen - Ergebnisse von Modellrechnungen*; BAM Nr. 108; 1984
- [13] L. Auersch; *Zur Entstehung und Ausbreitung von Schienenverkehrserschütterungen: Theoretische Untersuchungen und Messungen am Hochgeschwindigkeitszug Intercity Experimental*; BAM Nr. 155; 1988.
- [14] F. Rücker, S. Said; *Erschütterungsübertragung zwischen U-Bahn-Tunneln und dicht benachbarten Gebäuden*; BAM Forschungsbericht 199; Berlin 1994