

Gutachten

Prognose der zu erwartenden Erschütterungs-
immissionen für die Fläche 1 des
Bebauungsplans Nr. 06.GE.139 „ehemaliger
Schlachthof Bramow“ in Rostock

DMT GmbH & Co. KG

Fachstelle für
Erschütterungsmessungen

Am Technologiepark 1
45307 Essen
Deutschland

Telefon +49 201 172-1989
Telefax +49 201 172-1693

dmt@dmt.de
www.dmt.de

Geschäftsführung:
DMT Verwaltungsgesellschaft mbH,
Essen
vertreten durch die Geschäftsführer:
Heinz-Gerd Körner (Vorsitzender)
Prof. Dr. Eiko Räkers

Vorsitzender des Aufsichtsrates:
Dr. Guido Rettig

DMT GmbH & Co. KG
Sitz: Essen
Amtsgericht Essen, HRA 9091

DMT Verwaltungsgesellschaft mbH
Sitz: Essen
Amtsgericht Essen, HRB 20420

Unternehmensgruppe TÜV NORD

Auftraggeber: Hansestadt Rostock
Amt für Stadtentwicklung,
Stadtplanung und Wirtschaft
Holbeinplatz 14
18069 Rostock

über
TÜV NORD Umweltschutz GmbH
& Co. KG
Trelleborger Straße 15
18107 Rostock

Bericht-Nr.: EG-IG-12-136 vom 28.04.2014

Anzahl Seiten: 50

Anlagen: 3 Seiten Messprotokolle

Leiter der Fachstelle: Dr. R. Fritschen

Verfasser: Dipl.-Ing. R. Hettenberger
Dr. S. Kremers

Prüfer: Dr. R. Fritschen


(Fritschen)


(Hettenberger)



DIN EN ISO
9001
zertifiziert

DIN EN ISO
14001
zertifiziert

SCC[®] certified

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
2	Aufgabenstellung.....	7
3	Zu beachtende Regelwerke und berücksichtigte Unterlagen	7
4	Örtliche Situation	8
5	Messorte und Messpunkte	9
6	Messgerät	14
7	Beurteilungsgrundlage.....	15
7.1	Einzuhaltende Anhaltswerte für die Beurteilung der Belästigungswirkung der vorliegenden Erschütterungsimmissionen.....	16
7.2	Einzuhaltende Anhaltswerte für die Beurteilung der Schadenswirkung der vorliegenden Erschütterungsimmissionen.....	17
7.3	Einzuhaltende Anhaltswerte für die Beurteilung des sicheren Betriebs von empfindlichen Geräten bei den vorliegenden Erschütterungsimmissionen	19
8	Abschätzung der Erschütterungsimmissionen.....	20
8.1	Vorgehensweise.....	20
8.2	Amplitudenabnahme Transmission	21
8.3	Amplitudenabnahme Brecher- und Siebanlagen	22
8.4	RMS-Terzschwinggeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Plangebiet	24
8.5	Erschütterungsimmissionen im Gebäude	30
9	Beurteilung der Erschütterungsimmissionen für sensible Geräte mit Hilfe der VC-Kurven	35
9.1	Beurteilung für die Brecheranlage	35
9.2	Beurteilung für die Siebanlage	36
10	Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2	37
10.1	Beurteilung der Belästigungswirkung der Brecheranlage	37
10.2	Beurteilung der Belästigungswirkung der Siebanlage....	38

11	Beurteilung nach DIN 4150, Teil 3	39
11.1	Kurzzeitige Erschütterungen durch die Brecheranlage ..	39
11.2	Dauererschütterungen durch die Siebanlage.....	40
12	Messungen zur Überwachung der Erschütterungsimmissionen.....	40
13	Erschütterungsmindernde Maßnahmen	40
13.1	Maßnahmen am Emissionsort	41
13.2	Maßnahmen am Übertragungsweg	41
13.3	Maßnahmen am Immissionsort	42
Anlage 1:	Die Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150	43
Anlage 1.1:	DIN 4150, Teil 2 (Belästigungswirkung)	44
Anlage 1.2:	DIN 4150, Teil 3 (Schadenswirkung)	46
Anlage 2:	Allgemeine Kriterien für erschütterungs-empfindliche Geräte nach VDI 2038.....	49

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Lageskizze mit der Planungsfläche 1, der vorgesehenen Ansiedlungsfläche für die Brech- und Klassieranlage und dem Immissionsort mit sensiblen Geräten	8
Abbildung 2:	Messpunkt BB-16m der Messkette an der Brecheranlage.....	10
Abbildung 3:	Messpunkte SA-8m und SB-16m der Messkette an der Siebanlage	11
Abbildung 4:	Messpunkte der Messkette zur Bestimmung der Transmission im Plangebiet.....	13
Abbildung 5:	Seismogramm der Hammerschlag-Messung zur Berechnung der Transmission im Plangebiet.....	22
Abbildung 6:	Amplituden-Abnahme - Berechnetes Seismogramm für die Brecheranlagen	23
Abbildung 7:	Amplituden-Abnahme im Freifeld - Berechnetes Seismogramm für die Siebanlagen.....	23
Abbildung 8:	Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 8 m zur Brecheranlage	25
Abbildung 9:	Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 16 m zur Brecheranlage	25
Abbildung 10:	Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 32 m zur Brecheranlage	26
Abbildung 11:	Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 64 m zur Brecheranlage	26
Abbildung 12:	Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 8 m zur Siebanlage	27

Abbildung 13: Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 16 m zur Siebanlage	27
Abbildung 14: Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 32 m zur Siebanlage	28
Abbildung 15: Berechnete RMS-Terzschwingeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 64 m zur Siebanlage	28
Abbildung 16: Abnahmeverhalten der RMS-Terzschwinggeschwindigkeiten für die Brecheranlage (schwarz: mittlere Amplitudenabnahme, rot: Amplitudenabnahme mit Sicherheitsbeiwert)	29
Abbildung 17: Abnahmeverhalten der RMS-Terzschwinggeschwindigkeiten für die Siebanlage.....	30
Abbildung 18: Amplitudenabnahme der Brecheranlage am Fundament von Gebäuden	31
Abbildung 19: Amplitudenabnahme der Siebanlage am Fundament von Gebäuden	31
Abbildung 20: Amplitudenabnahme der Brecheranlage für v_{max} im Obergeschoss von Gebäuden.....	32
Abbildung 21: Amplitudenabnahme der Siebanlage für v_{max} im Obergeschoss von Gebäuden.....	33
Abbildung 22: Amplitudenabnahme der Brecheranlage für KB_{Fmax} im Obergeschoss von Gebäuden.....	34
Abbildung 23: Amplitudenabnahme der Siebanlage für KB_{Fmax} im Obergeschoss von Gebäuden.....	34
Abbildung 24: Abminderung durch Erschütterungsschutzgraben nach Dolling 1965 und Ergebnissen der Feldversuche von Woods 1968 und Haupt 1986; Quelle des Untergrundbilds: [Haupt 1986].....	42

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Prognostizierte Mindestabstände zu sensiblen Geräten in Bauwerken	6
Tabelle 2: Mindestabstände zur Vermeidung erheblicher Belästigungen nach DIN 4150, Teil 2.....	6
Tabelle 3: Mindestabstände zur Vermeidung von leichten Schäden an Gebäuden nach DIN 4150, Teil 3.....	6
Tabelle 4: Einzuhaltende Anhaltswerte zur Beurteilung der Belästigungswirkung.....	16
Tabelle 5: Einzuhaltende Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen	18
Tabelle 6: Einzuhaltende Anhaltswerte für Dauererschütterungen.....	18
Tabelle 7: VC-Linien nach VDI 2038 Blatt 2	19
Tabelle A8: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke	47
Tabelle A9: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke	48
Tabelle 10: VC-Linien nach VDI 2038 Blatt 2	50

1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Hansestadt Rostock beabsichtigt einen Bebauungsplan für den Bereich des ehemaligen Schlachthofs Bramow aufzustellen. Im Plangebiet war zunächst die Ansiedlung einer Brech- und Klassieranlage vorgesehen, für die die Emission messtechnisch am ursprünglichen Standort ermittelt wurde. Eine weitere Messung diente zur Ermittlung der Transmission im Plangebiet. Da die Brech- und Klassieranlage mittlerweile an anderer Stelle (weit außerhalb des Plangebiets) in Betrieb ist, werden die erfassten Messdaten der Anlage als Maximalemission für kurzzeitige Erschütterungen der künftigen Nutzungen im Bebauungsplan betrachtet. Die bei den Messungen ebenso erfasste Siebanlage wird als Maximalemission bezüglich Dauererschütterungen angesehen.

An der nördlichen Grenze des Plangebiets befindet sich gewerbliche Nutzung mit möglicherweise sensiblen Geräten. Aus diesem Grunde wurden die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen prognostiziert und hinsichtlich Einwirkung auf den Betrieb der sensiblen Geräte beurteilt. Zusätzlich erfolgten die Beurteilung der Belästigungswirkung für Menschen in Gebäuden und die Beurteilung der Schadenswirkung für Gebäude.

Bei der Prognose kam ein Übertragungsfaktor $V_F = 0,5$ vom Boden zum Fundament zur Anwendung. Die Übertragung vom Fundament zum Obergeschoss wurde mit Hilfe von konservativen Überhöhungsfaktoren $\ddot{U}_{F-k} = 5$ für kurzzeitige Erschütterungen und $\ddot{U}_{F-D} = 15$ für Dauererschütterungen berechnet.

In Tabelle 1 sind Mindestabstände zu den Erschütterungsquellen angegeben, bei denen ein sicherer Betrieb ohne Funktionsstörungen von sensiblen Geräten möglich ist. Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen die ermittelten Mindestabstände, bei denen erhebliche Belästigungen (DIN 4150, Teil 2) und Gebäudeschäden (DIN 4150, Teil 3) vermieden werden können.

Da Prognosen von Erschütterungsimmissionen allgemein mit großen Unsicherheiten behaftet sind, ist es unverzichtbar, die abgeschätzten Werte durch Probemessungen vor Ort zu validieren.

Tabelle 1: Prognostizierte Mindestabstände zu sensiblen Geräten in Bauwerken

Typische Nutzung*	Mindestabstand	
	Brecheranlage	Siebanlage
unter fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerungen	11 m	8 m
ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 µm Strukturbreite	39 m	15 m
ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 µm Strukturbreite	147 m	28 m
unter fast allen Umständen passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM, TEM), E-Beam-Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden	604 m	56 m
Die Einhaltung dieses Kriteriums ist sehr schwierig; es kann nur in wenigen Fällen eingehalten werden, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten, erforderlich für Geräte höchster Präzision.	2301 m	107 m

* nach VDI 2038, Blatt 2 /8/

Tabelle 2: Mindestabstände zur Vermeidung erheblicher Belästigungen nach DIN 4150, Teil 2

Mindestabstände zur Vermeidung erheblicher Belästigungen		
	Brecheranlage	Siebanlage
tagsüber	68 m	22 m
nachts	100 m	32 m

Tabelle 3: Mindestabstände zur Vermeidung von leichten Schäden an Gebäuden nach DIN 4150, Teil 3

Mindestabstände zur Vermeidung von Gebäudeschäden		
	Brecheranlage	Siebanlage
Bürogebäude	3 m	3 m
Gewerblich genutzte Gebäude	2 m	2 m

2 Aufgabenstellung

Für den Bereich des ehemaligen Schlachthofs Rostock-Bramow wird ein Bebauungsplan erstellt. Innerhalb des Plangebiets sind Gewerbebetriebe vorhanden, die aufgrund ihrer gerätetechnischen Ausstattung möglicherweise einen erhöhten Schutzbedarf bezüglich Erschütterungsimmissionen haben. Ursprünglich sollte im Plangebiet ein Betrieb mit Brech- und Klassieranlagen angesiedelt werden.

DMT wurde beauftragt die von der Brech- und Klassieranlage auftretenden Erschütterungsimmissionen zu prognostizieren und hinsichtlich der Schadenswirkung für sensible Geräte in der im nördlichen Bereich des Plangebiets vorhandenen Bebauung und bezüglich Belästigungs- und Schadenswirkung für die im Plangebiet vorgesehene gewerbliche Nutzung zu beurteilen. Die Brech- und Klassieranlage wurde inzwischen an anderer Stelle in Betrieb genommen. Aus diesem Grunde werden die Erschütterungsemissionen der Anlage als Maximalemission der geplanten Nutzungen im Bebauungsplan für die weiteren Prognosen und Beurteilungen herangezogen.

3 Zu beachtende Regelwerke und berücksichtigte Unterlagen

- /1/ DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 1 „Vorermittlung von Schwingungsgrößen“ (06-2001)
- /2/ DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 2 „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ (06-1999)
- /3/ DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ (02-1999)
- /4/ DIN 45669-1 „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 1 „Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung“ (09-2010)
- /5/ DIN 45669-2 „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 2 „Messverfahren“ (06-2005)
- /6/ Erschütterungsleitlinie: „Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen vom 31. Juli 2000 (MBI. NRW. 2000 S. 945ff), Stand 04.11.2003 (MBI. NRW. 2004, S. 97)
- /7/ Funk, K.: Expertensystem für Lärm- und Erschütterungsprognosen beim Einbringen von Spundbohlen, Mitteilungsreihe Heft CRI-F-2/96. Hannover 1996

- /8/ VDI 2038 Blatt 2 „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik - Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung (01-2013)
- /9/ Vorentwurf Bebauungsplan Nr. 10.GE.139 für das Gewerbegebiet „Ehemaliger Schlachthof“ im Stadtteil Bramow – TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG, Arbeitsstand 06.03.2014

4 Örtliche Situation

In Abbildung 1 ist das Plangebiet (Fläche 1) dargestellt. An der nördlichen Grenze des Plangebiets befindet sich die schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt (SLV) im Lasertechnologie- und Transferzentrum (LTTZ). Die in Abbildung 1 farblich markierte Fläche zeigt den für die Ansiedlung der Brech- und Klassieranlage zunächst vorgesehenen Bereich im Plangebiet.

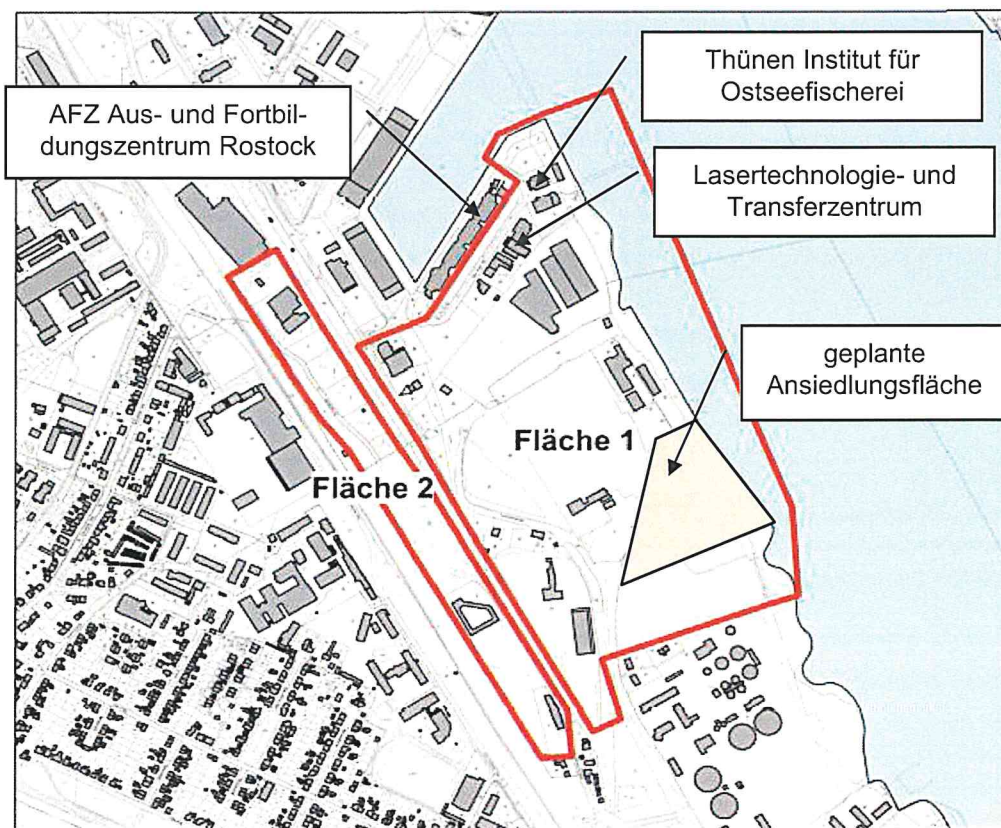


Abbildung 1: Lageskizze mit der Planungsfläche 1, der vorgesehenen Ansiedlungsfläche für die Brech- und Klassieranlage und dem Immissionsort mit sensiblen Geräten

Weiterhin sind im Plangebiet derzeit u. A. folgende Betriebe vorhanden:

- Autohaus Kramer
- bfw – Unternehmen für Bildung
- Baltic - Taucherei- und Bergungsbetrieb
- Bruhn - Arbeitsschutz und Berufsbekleidung
- IHB Industrie- und Handelsbörse - Werkzeughandel
- Muranko - Bauunternehmen
- SAB – Marina Rostock Bramow
- SAB – Standard Aggregatebau
- Sanibel – Sanitärprodukte
- Thünen – Institut für Ostseefischerei
- Trost - Auto Service Technik

5 Messorte und Messpunkte

Zur Ermittlung der Emission der Brecher- und Siebanlagen wurden nacheinander Messketten aus 3 bzw. 4 Erschütterungsmesspunkten im Freifeld angelegt, um das Ausbreitungsverhalten der auftretenden Erschütterungen zu untersuchen.

Messort 1:

Messkette RO-Brecher
Am Heidenholt
18147 Rostock

Die Positionierung eines Messpunktes im Abstand von 8 m zur Brech- und Klassieranlage musste aufgrund der örtlichen Gegebenheiten entfallen. In diesem Bereich befanden sich zum Einen Lagerflächen für Material und zum Anderen erfolgten dort Bagger- und Radladerbewegungen zur Beschickung der Anlage.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Lage des Messpunkts BB-16m.



Abbildung 2: Messpunkt BB-16m der Messkette an der Brecheranlage

- **Messpunkt BB-16m**

Messpunkt BB-16m befand sich in 16 m Entfernung zur Brecheranlage. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Die Erschütterungen wurden in drei zueinander rechtwinkligen Raumrichtungen x, y und z registriert. Die Messrichtung x war horizontal und senkrecht zur Messkette orientiert, die Messrichtung y ebenfalls horizontal und rechtwinklig zu x, die Messrichtung z erfasste die Vertikalkomponente der Schwingungsimmissionen.

- **Messpunkt BC-32m**

Messpunkt BC-32m befand sich in 32 m Entfernung zur Brecheranlage. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt BB-16m.

- **Messpunkt BD-64m**

Messpunkt BD64-m befand sich in 64 m Entfernung zur Brecheranlage. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt BB-16m.

Messort 2:

Messkette RO-SIEB

Am Heidenholt

18147 Rostock

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Messpunkte SA-8m und SB-16m (rot markiert) der Messkette.



Abbildung 3: Messpunkte SA-8m und SB-16m der Messkette an der Siebanlage

- **Messpunkt SA-8m**

Messpunkt SA-8m befand sich in 8 m Entfernung zur Siebanlage. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Die Erschütterungen wurden in drei zueinander rechtwinkligen Raumrichtungen x, y und z registriert. Die Messrichtung x war horizontal und senkrecht zur Messkette orientiert, die Messrichtung y ebenfalls horizontal und rechtwinklig zu x, die Messrichtung z erfasste die Vertikal-komponente der Schwingungsimmissionen.

- **Messpunkt SB-16m**

Messpunkt SB-16m befand sich in 16 m Entfernung zur Siebanlage. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund

aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt BB-16m.

- **Messpunkt SC-32m**

Messpunkt SC-32m befand sich in 32 m Entfernung zur Siebanlage. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt SB-16m.

- **Messpunkt SD-64m**

Messpunkt BD64-m befand sich in 64 m Entfernung zur Siebanlage. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt SB-16m.

Messort 3:

Messkette RO-SCHL
Am Grenzschlachthof
18069 Rostock

Zur Ermittlung der Transmission im Plangebiet wurden weitere Messungen durchgeführt. Mit Hilfe von Hammerschlägen auf eine Schlagplatte wurden Erschütterungen hervorgerufen, die entlang einer Messkette mit Sensoren in 8 m, 16 m, 32 m und 64 m Abstand zur Quelle erfasst wurden. Die Messungen wurden auf der für die Brech- und Klassieranlage vorgesehenen Ansiedlungsfläche im Plangebiet durchgeführt.

In Abbildung 4 ist die Lage der Messpunkte TA-8m, TB-16m, TC-32m und TD-64m der Messkette zur Bestimmung der Transmission markiert.



Abbildung 4: Messpunkte der Messkette zur Bestimmung der Transmission im Plangebiet

- **Messpunkt TA-8m**

Messpunkt TA-8m befand sich in 8 m Entfernung zum Hammerschlag. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Die Erschütterungen wurden in drei zueinander rechtwinkligen Raumrichtungen x, y und z registriert. Die Messrichtung x war horizontal und senkrecht zur Messkette orientiert, die Messrichtung y ebenfalls horizontal und rechtwinklig zu x, die Messrichtung z erfasste die Vertikalkomponente der Schwingungsimmissionen.

- **Messpunkt TB-16m**

Messpunkt TB-16m befand sich in 16 m Entfernung zum Hammerschlag. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt BB-16m.

- **Messpunkt TC-32m**

Messpunkt TC-32m befand sich in 32 m Entfernung zum Hammerschlag. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt TB-16m.

- **Messpunkt TD-64m**

Messpunkt TD64-m befand sich in 64 m Entfernung zum Hammerschlag. Der Dreikomponenten-Aufnehmer wurde auf asphaltierten Untergrund aufgestellt. Sensorart, -ankopplung und -ausrichtung entsprechen Messpunkt SB-16m.

Alle Sensoren wurden gemäß den Vorgaben der DIN 45669, Teil 2 (/5/) in Abhängigkeit der Unterlage des Messpunktes angekoppelt. Weitere Details zur Orientierung und Ankopplung sind im Messprotokoll in der Anlage enthalten.

6 Messgerät

Die Erschütterungsmessungen wurden mit einem kalibrierten Messgerät vom Typ SUMMIT M Hydra (Hersteller: DMT) durchgeführt. Das oben genannte Messgerät entspricht den Anforderungen der DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 1, Klasse 1 (/4/ und /5/). Die Amplitudenfrequenzgangabweichung beträgt daher geräteseitig bis zu 10 %. Nach DIN 4150, Teil 2 Kapitel 5.4 treten bei der Ermittlung von KB_f bewerteten Größen erfahrungsgemäß messtechnisch bedingte Unsicherheiten bis etwa 15 % auf.

Aufgrund der volldigitalen Bearbeitung der Messdaten bei DMT addieren sich keine weiteren Fehler aus einer möglicherweise manuellen Ablesung oder Übertragung von Daten. Gemessen wurde der zeitliche Verlauf der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$, der einer weiteren Bearbeitung zugeführt wurde. Weitere Details zur Geräteeinstellung sind im Messprotokoll enthalten.

7 Beurteilungsgrundlage

Erschütterungen werden im Rahmen des Bundesimmissionsschutzgesetzes behandelt. Betroffene Menschen und Sachgüter sind vor schädlichen Umwelteinwirkungen und bei genehmigungsbedürftigen Anlagen auch vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen zu schützen. Zu den Immissionen, die schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können, zählen hierbei auch Erschütterungen. Nicht genehmigungspflichtige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass vermeidbare Umwelteinwirkungen verhindert werden und unvermeidbare Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Die Erschütterungsleitlinie „Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) konkretisiert die Anforderungen des BImSchG. Der Geltungsbereich der Erschütterungsleitlinie umfasst genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen einschließlich Baustellen.

Die in der Erschütterungsleitlinie genannten Immissionswerte basieren auf der umfangreicheren DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“, weswegen in der Praxis oft nur auf die DIN 4150 zurückgegriffen wird. Die DIN 4150 nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung erhebliche Belästigungen von Menschen und Schäden an Bauwerken vermieden werden. Zudem enthält die DIN 4150 eine Anleitung zur Vorermittlung von Erschütterungen für unterschiedliche Quellen. Im Anhang 1 zu diesem Bericht sind die Beurteilungsgrundlagen nach Teil 2 und Teil 3 der DIN 4150 auszugsweise vorgestellt.

7.1 Einzuhaltende Anhaltswerte für die Beurteilung der Belästigungswirkung der vorliegenden Erschütterungsimmissionen

Die zu betrachtende Bebauung im Plangebiet der Fläche 1 wird als Gewerbegebiet eingestuft. Sie wird nach Tabelle A8, Zeile 2 „Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete §8 BauNVO)“ beurteilt. Es gelten somit die folgenden in Tabelle 4 angegebenen Anhaltswerte für tagsüber und nachts einwirkende Erschütterungen:

Tabelle 4: Einzuhaltende Anhaltswerte zur Beurteilung der Belästigungswirkung

Einzuhaltende Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2		
Tagsüber	A_u	0,3
	A_o	6
	A_r	0,15
Nachts	A_u	0,2
	A_o	0,4
	A_r	0,1

Die Beurteilungsgröße $KB_{F_{max}}$ stellt ein Einzelererschütterungskriterium dar und wird mit den einzuhaltenden Anhaltswerten A_u und A_o verglichen. Liegt der $KB_{F_{max}}$ – Wert zwischen A_u und A_o , ist zusätzlich noch die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ zu ermitteln. Die Beurteilungsgröße $KB_{F_{Tr}}$ stellt ein Dosiskriterium dar und wird mit dem einzuhaltenden Anhaltswert A_r verglichen.

7.2 Einzuhaltende Anhaltswerte für die Beurteilung der Schadenswirkung der vorliegenden Erschütterungsimmissionen

Im Plangebiet können je nach geplanter Nutzung die verschiedensten Erschütterungsquellen angesiedelt werden. Hierbei unterscheidet man grundsätzlich zwischen zwei Arten von Erschütterungsquellen:

- **Impulsförmige Erschütterungsquellen**

Impulsförmige Erschütterungen oder auch kurzzeitige Erschütterungen, sind per Definition (DIN 4150, Teil 3 /3/) „Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur Resonanz zu erzeugen“. Hierzu zählen beispielsweise Maschinen zur Metallverformung wie Schmiedehämmer, Schmiedepressen, Gegenschlaghämmer etc.

- **Harmonisch-stationäre Erschütterungsquellen – Dauererschütterungen**

Dauererschütterungen nach DIN 4150, Teil 3 (/3/) sind „alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft“. Dauererschütterungen werden beispielsweise durch Sägegatter erzeugt, die im Bereich der Holzbearbeitung verwendet werden.

Die zu untersuchenden Gebäude im Plangebiet werden in die beiden Kategorien „Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten“ und „Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten“ eingeordnet, da auch bei Bürogebäuden leichte Schäden im Sinne der Norm zu einer Verminderung des Gebrauchswertes führen. Weitere Angaben zu den Gebäuden hinsichtlich einer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit liegen nicht vor.

Werden die Anhaltswerte unterschritten, so treten Gebäudeschäden durch Erschütterungseinwirkungen nicht ein.

Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen

Die durch den Betrieb der Brech- und Klassieranlage hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen gehören zur Kategorie der kurzzeitigen Erschütterungen. Es gelten somit die in Tabelle 5 angegebenen Anhaltswerte.

Tabelle 5: Einzuhaltende Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v in mm/s			
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 bis 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 ^{*)} Hz	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15

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

Bei Deckenschwingungen bis **20 mm/s** sind bei Gebäuden nach Tabelle 5 keine Schäden zu erwarten.

Anhaltswerte für Dauererschütterungen

Die durch den Betrieb der Siebanlagen hervorgerufenen Erschütterungsimmissionen gehören zur Kategorie der Dauererschütterungen. Es gelten die in Tabelle 6 angegebenen Anhaltswerte.

Tabelle 6: Einzuhaltende Anhaltswerte für Dauererschütterungen

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit 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 ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5

Bei vertikalen Deckenschwingungen bis **10 mm/s** sind bei Gebäuden nach Tabelle 6 erfahrungsgemäß keine Schäden zu erwarten.

7.3 Einzuhaltende Anhaltswerte für die Beurteilung des sicheren Betriebs von empfindlichen Geräten bei den vorliegenden Erschütterungsimmissionen

Die VDI 2038 Blatt 2 gibt Hinweise zu Schwingungsanforderungen von empfindlichen Geräten in Bauwerken und nennt Anhaltswerte bzw. Grenzkurven. Die dort angegebenen VC-Kurven sind weit verbreitet und international anerkannt. Sie geben Grenzwerte in Form von effektiven Schwingungspegel als Terzspektren in Frequenzbereichen von 1 – 80 Hz bzw. 4 – 80 Hz. Die Grenzwert-Kurven werden für unterschiedliche Strukturgrößen bzw. Genauigkeitsforderungen von Geräten angegeben. Nachfolgend werden die in Tabelle 7 angegebenen Grenzwerte für die Beurteilung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen herangezogen.

Tabelle 7: VC-Linien nach VDI 2038 Blatt 2

VC-Linien (Vibration Criteria)	Schwingungspegel RMS-Terzspektren in $\mu\text{m/s}$	Typische Nutzungen	Strukturgröße/Genauigkeit
VC-A	50 ((4...80) Hz)	unter fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerungen	30 μm
VC-B	25 ((1...80) Hz)	ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 μm Strukturbreite	3 μm
VC-C	12,5 ((1...80) Hz)	ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 μm Strukturbreite	1 μm
VC-D	6,25 ((1...80) Hz)	unter fast allen Umständen passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM, TEM), E-Beam-Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden	0,3 μm
VC-E	3,1 ((1...80) Hz)	Die Einhaltung dieses Kriteriums ist sehr schwierig; es kann nur in wenigen Fällen eingehalten werden, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten, erforderlich für Geräte höchster Präzision.	< 0,1 μm
VC-F	1,6 ((1...80) Hz)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet.	-
VC-G	0,8 ((1...80) Hz)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet.	-

8 Abschätzung der Erschütterungsimmissionen

8.1 Vorgehensweise

Die Ausbreitung von Erschütterungen erfolgt außerhalb des Nahbereichs der Erschütterungsquelle in guter Vereinfachung entsprechend einem Potenzgesetz (siehe auch DIN 4150, Teil 1).

Die Messwerte der Messketten innen und außen werden mit Hilfe der linearen Regression an die Abnahmefunktion der Form

$$v_{\text{mittel}} = k \cdot R^{-n}$$

angepasst, mit

v_{mittel} = mittlere zu erwartende Schwinggeschwindigkeit in mm/s

k = quellenspezifische Konstante

R = Abstand in m

n = Abklingkoeffizient

Um die von den Brecher- und Siebanlagen ausgehenden Erschütterungen für das Plangebiet prognostizieren zu können, wurden zunächst Messungen zur Ermittlung der Emission am alten Standort in Groß Klein durchgeführt. Die Erschütterungsemissionen der Brecheranlage wurden entlang einer Messkette mit Messpunkten in 16 m, 32, m und 64 m Abstand zur Brecheranlage erfasst. Der in 8 m Abstand zur Brecheranlage vorgesehene Messpunkt musste entfallen, da dort Lagerplätze für Material vorhanden waren und die Lade- und Beschickungsarbeiten mit Radladern und Baggern eine geschützte Positionierung des Sensors unmöglich machte.

Neben der Brech- und Klassieranlage wurde auch eine Siebanlage in Groß Klein betrieben. Da Siebanlagen spürbare Erschütterungen hervorrufen, wurden zusätzlich die Erschütterungsemissionen der Siebanlage an einer weiteren Messkette mit 4 Messpunkten in 8 m, 16 m, 32 m und 64 m Abstand zur Erschütterungsquelle gemessen.

Zur Ermittlung der Transmission im Plangebiet wurden weitere Messungen durchgeführt. Mit Hilfe von Hammerschlägen auf eine Schlagplatte wurden Erschütterungen hervorgerufen und entlang einer Messkette mit Sensoren in 8 m, 16 m, 32 m und 64 m Abstand zur Quelle erfasst.

Für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen für sensible Geräte mit Hilfe der VC-Kurven (siehe /8/) sind Schwingungspegel RMS-Terzspektren (für alle Terzbänder) zu ermitteln. Für die Beurteilung nach DIN 4150 werden die Terzbänder in den Zeitbereich umgerechnet. Nachfolgend sind die einzelnen Schritte der Prognoserechnung aufgeführt:

1. Berechnung der Amplitudenabnahme für die Transmission (Hammerschlag) am vorgesehenen Standort der Brecheranlage.
2. Berechnung der Amplitudenabnahmespektren für alle Terzbänder der Brecheranlage und Abschätzung der Emission für den 8 m Messpunkt. Berechnung der Amplitudenabnahmespektren für alle Terzbänder der Siebanlage.
3. Einsetzen der Emissionsspektren (am 8 m Messpunkt) für Brecher und Siebanlage in die Transmissionsabnahmegleichung und Berechnung der Schwingungspegel RMS-Terzspektren im Freifeld des Plangebiets.
4. Übertragung der Freifeldmesswerte auf das Gebäudfundament nach DIN 4150, Teil 1.
5. Berechnung der Erschütterungsimmission für Obergeschossebenen mit Hilfe von Übertragungsfaktoren.
6. Beurteilung der in Pkt. 4 ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der Einwirkung auf sensible Geräte in Gebäuden.
7. Beurteilung der in Pkt. 5 ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der Schadenswirkung für Gebäude und der Belästigungswirkung für Menschen.

8.2 Amplitudenabnahme Transmission

Zur Ermittlung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wird die Amplitudenabnahme zwischen Quelle und Einwirkungsort in Form einer geometrischen Abnahme nach DIN 4150, Teil 1 „Vorermittlung von Schwingungsgrößen“ /1/ abgeschätzt. Mit Hilfe der vor Ort gewonnenen Parameter wird die Prognose somit an die spezifischen Bodeneigenschaften des Plangebietes angepasst.

In Abbildung 5 ist beispielhaft ein Seismogramm der Hammerschlag-Messung dargestellt, die für die Berechnung der Amplitudenabnahme im Freifeld herangezogen wurde.

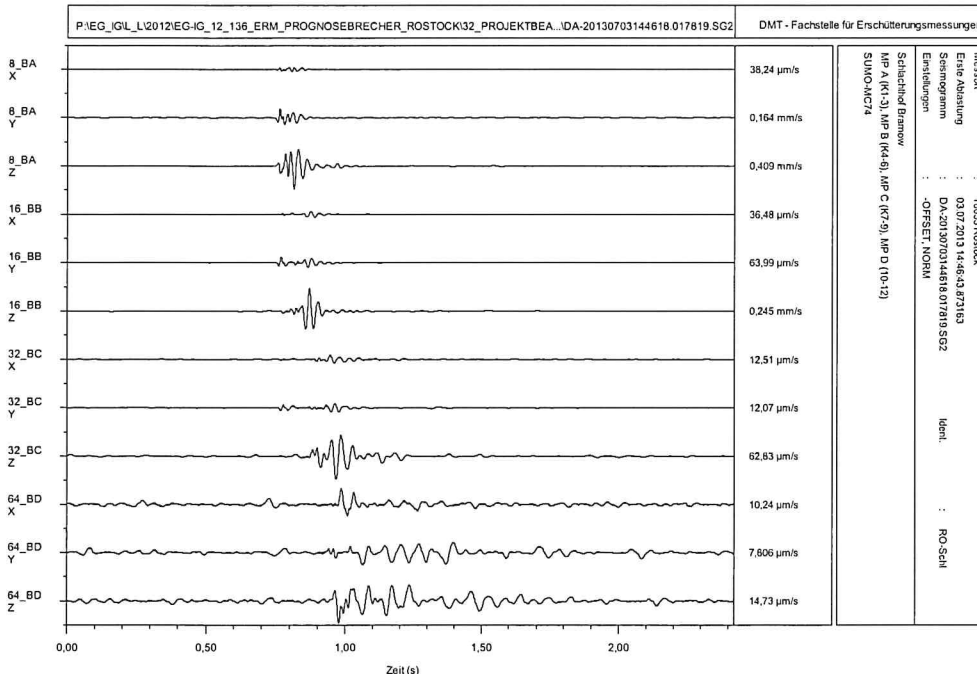
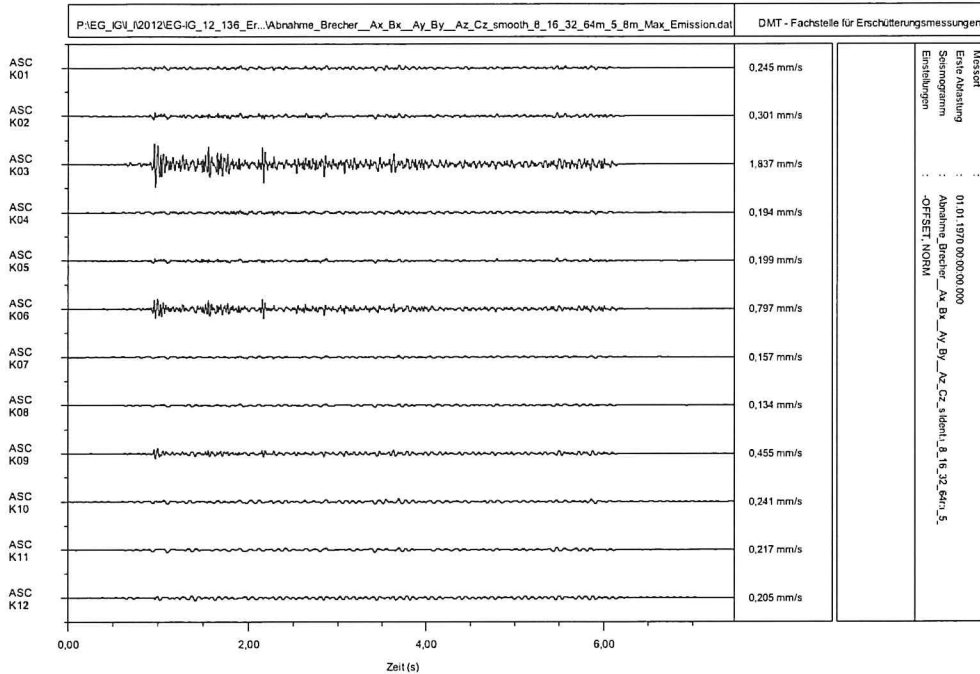
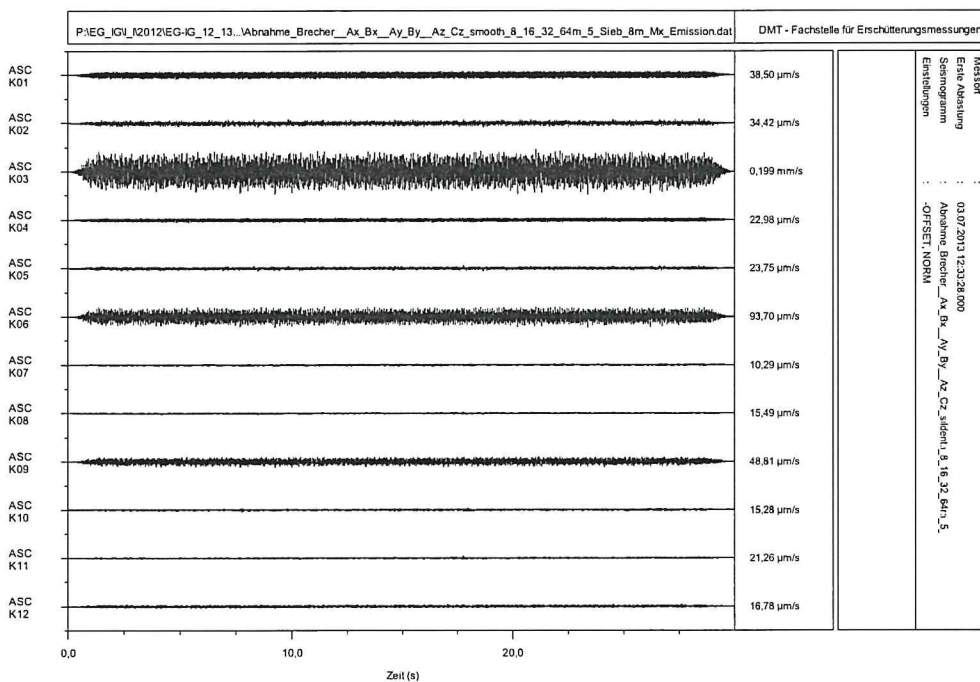


Abbildung 5: Seismogramm der Hammerschlag-Messung zur Berechnung der Transmission im Plangebiet

8.3 Amplitudenabnahme Brecher- und Siebanlagen

Mit Hilfe der im Plangebiet gemessenen Transmissionsdaten und der Emissionsdaten der Brecher- und Siebanlagen wurde das Abnahmeverhalten im Freifeld des Plangebietes berechnet. Die resultierenden Seismogramme sind in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt.

Die Spuren ASC K01 – K03 zeigen den Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeiten der x, y, und z-Komponenten in 8 m Abstand, die Spuren ASC K04 – 06 in 16 m, die Spuren ASC K07 – 09 in 32 m und die Spuren K10 – 12 in 64 m Abstand zur Erschütterungsquelle.


Abbildung 6: Amplituden-Abnahme - Berechnetes Seismogramm für die Brecheranlagen

Abbildung 7: Amplituden-Abnahme im Freifeld - Berechnetes Seismogramm für die Siebanlagen

8.4 RMS-Terzschwingungsgeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Plangebiet

Mit Hilfe der Transmissions- und Emissionsdaten der Brecher- und Siebanlagen können die RMS-Terzspektren für verschieden Abstände zur Erschütterungsquelle ermittelt werden. Mit Hilfe des **Übertragungswertes** v_F können die Erschütterungen vom Freifeld auf Messpunkte am Fundament in Gebäuden prognostiziert werden. Der maximale Übertragungswert vom Freifeld auf Bauwerke wird entsprechend der DIN 4150, Teil 1 (06/2001) nach der Formel $V_F = 1/(2D)$ berechnet. Der Dämpfungsgrad D darf für Lockergestein mindestens mit $D = 0,25$ angesetzt werden. Für Erschütterungen mit Frequenzen oberhalb der Boden-Bauwerks-Eigenfrequenzen kann ein mittlerer Übertragungswert $V_F = 0,5$ angewendet werden.

Da sensible Geräte aufgrund der Bedeutung des Aufstellortes hinsichtlich Erschütterungseinwirkungen vorzugsweise am Fundament oder sogar auf Sonderfundamenten von Gebäuden installiert werden, werden die nachfolgenden Berechnungen der Terzschwingungsgeschwindigkeitsspektren für die Fundamente in Gebäuden prognostiziert.

In Abbildung 8 bis Abbildung 11 sind die für die Brecheranlage in Abständen von 8, 16, 32 und 64 m berechneten RMS-Terzspektren im Vergleich zu den VC-Grenzkurven (siehe auch Kapitel 7.3) dargestellt. Abbildung 12 bis Abbildung 15 zeigen analog die für die Siebanlage in Abständen von 8, 16, 32 und 64 m berechneten RMS-Terzspektren im Vergleich zu den VC-Grenzkurven.

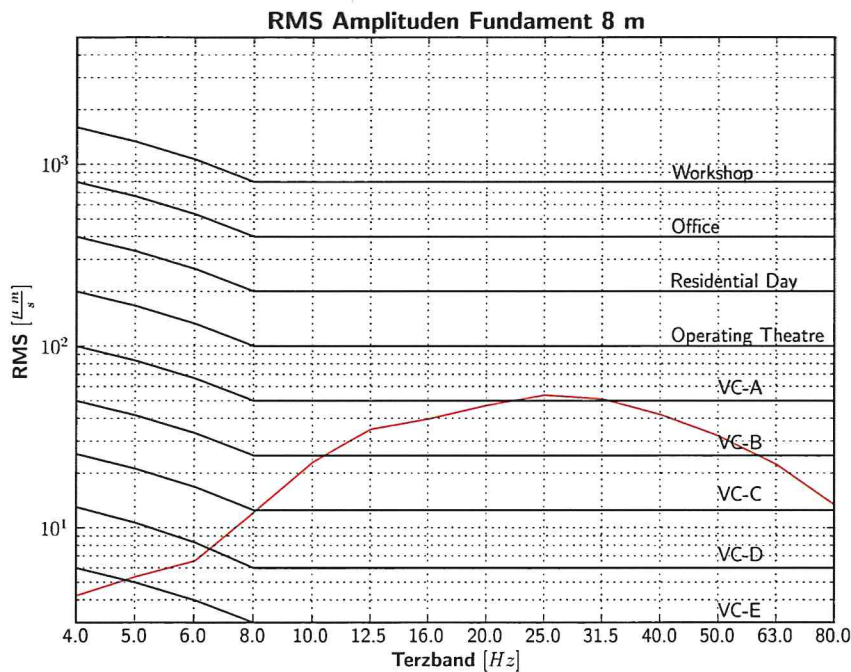


Abbildung 8: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 8 m zur Brecheranlage

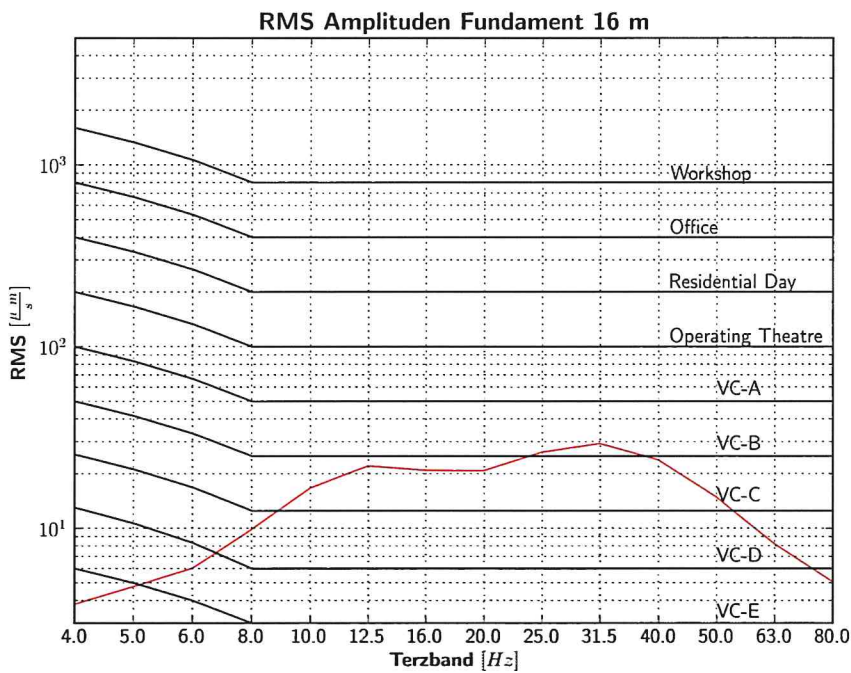


Abbildung 9: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 16 m zur Brecheranlage

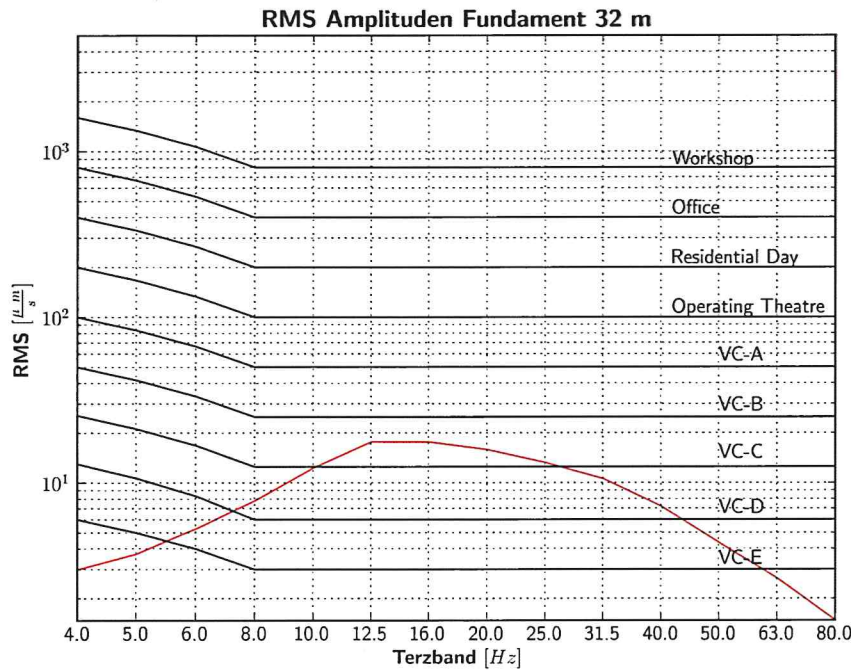


Abbildung 10: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 32 m zur Brecheranlage

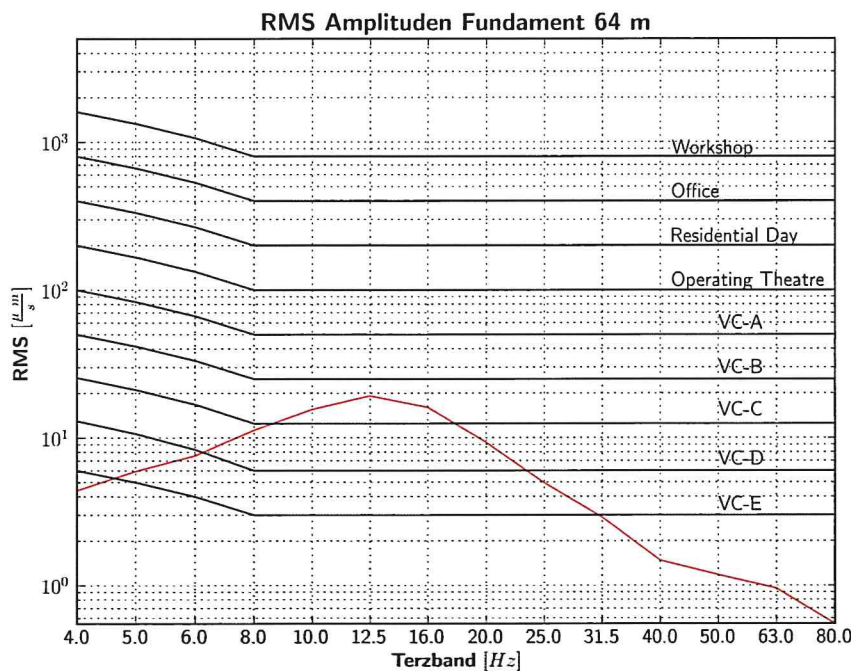


Abbildung 11: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 64 m zur Brecheranlage

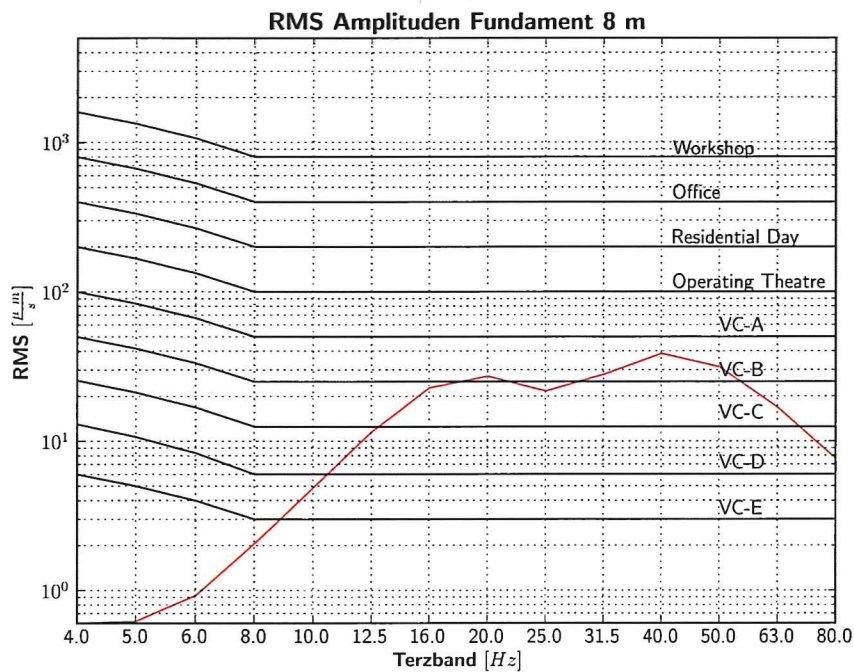


Abbildung 12: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 8 m zur Siebanlage

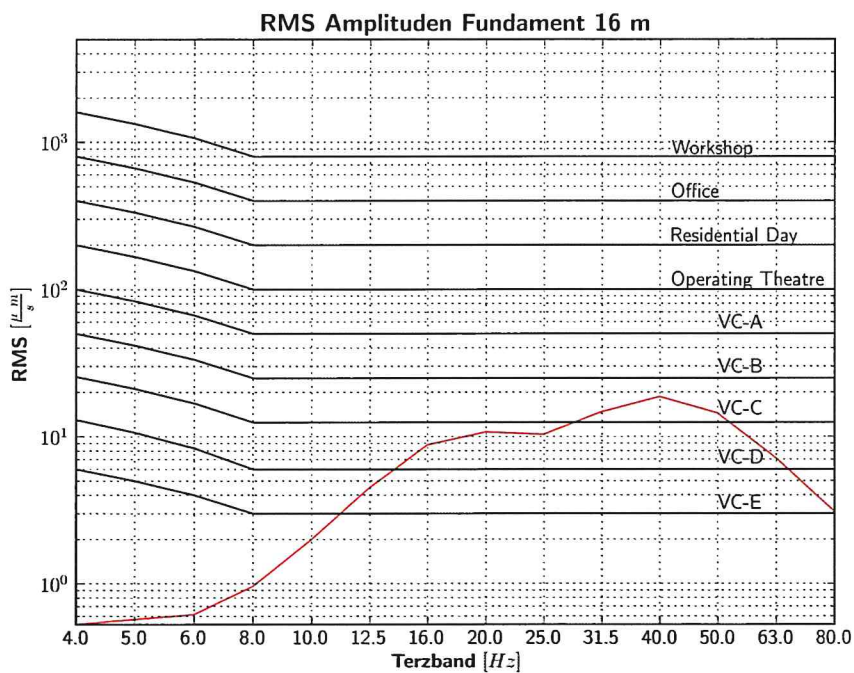


Abbildung 13: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 16 m zur Siebanlage

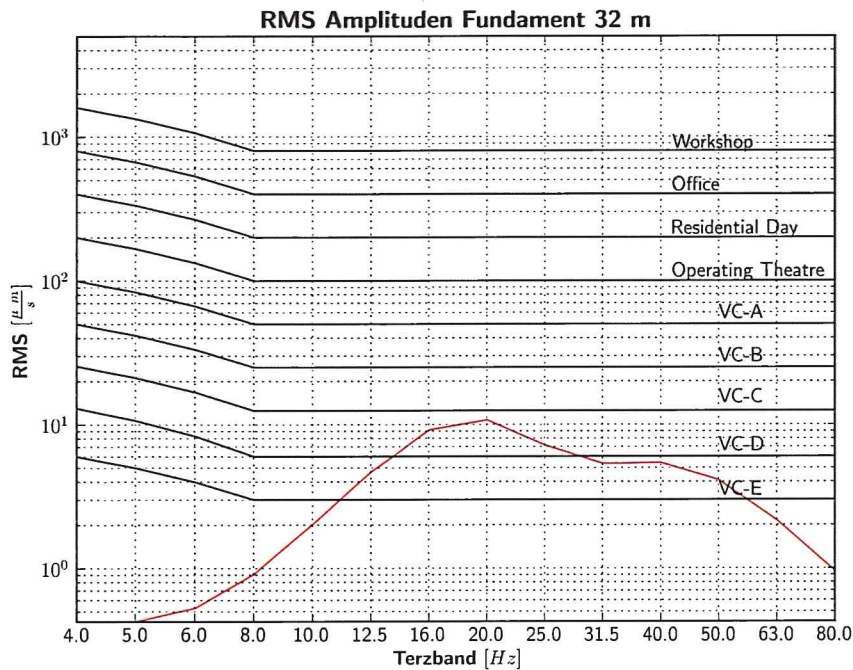


Abbildung 14: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 32 m zur Siebanlage

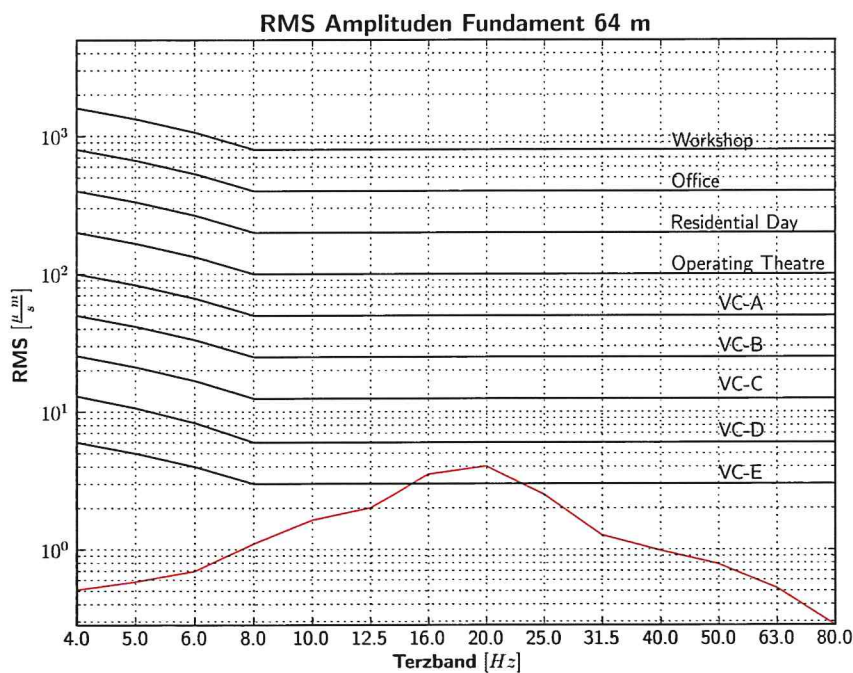


Abbildung 15: Berechnete RMS-Terzschwingengeschwindigkeitsspektren am Fundament von Gebäuden im Abstand von 64 m zur Siebanlage

Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen die Amplitudenabnahmen der RMS-Terzschwinggeschwindigkeiten am Fundament für Brecher- und Siebanlage in doppelt-logarithmischer Darstellung. Dabei wird die Amplitudenabnahme entsprechend dem Potenzgesetz als Gerade dargestellt. Diese Gerade entspricht der mittleren Amplitudenabnahme, d.h. einige Abstand/RMS-Wertepaare können oberhalb der Kurve liegen. Zur sicheren Prognose wird die Kurve mit einem Sicherheitsbeiwert so multipliziert, dass alle Abstand/RMS-Wertepaare unterhalb dieser liegen (rot in Abbildung 16).

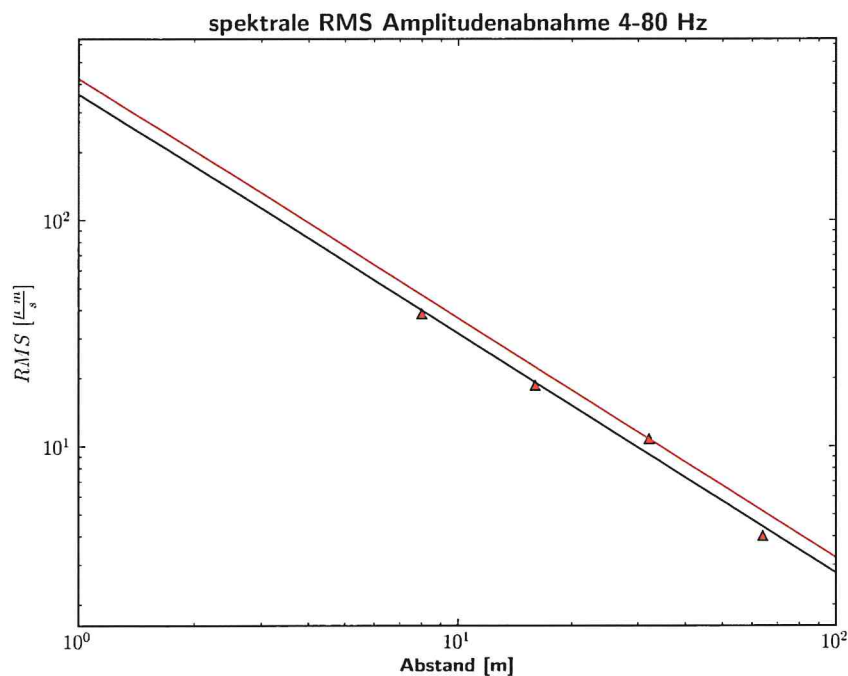


Abbildung 16: Abnahmeverhalten der RMS-Terzschwinggeschwindigkeiten für die Brecheranlage (schwarz: mittlere Amplitudenabnahme, rot: Amplitudenabnahme mit Sicherheitsbeiwert)

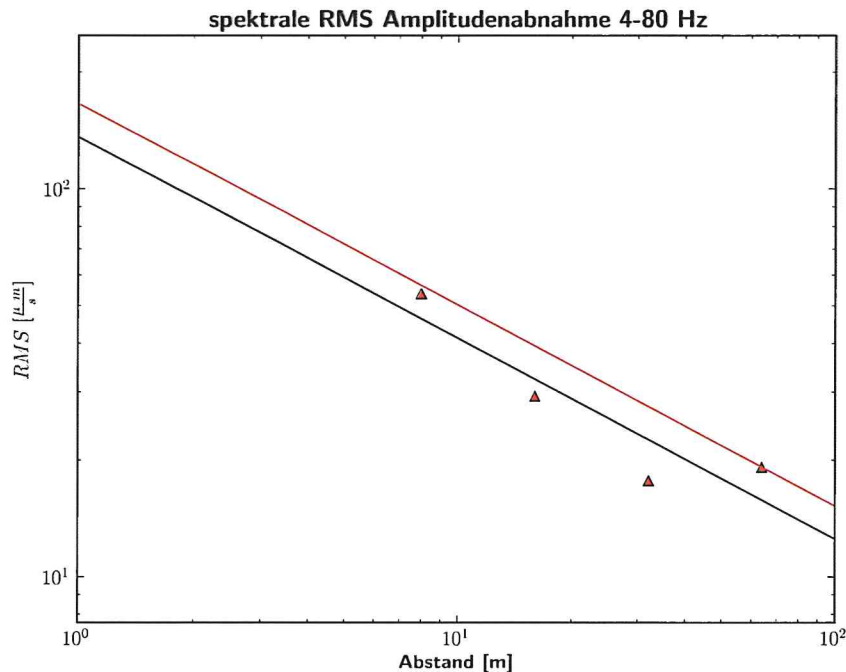


Abbildung 17: Abnahmeverhalten der RMS-Terzschwinggeschwindigkeiten für die Siebanlage

8.5 Erschütterungsimmissionen im Gebäude

Um von einer mittleren zu erwartenden Erschütterung im Freifeld auf einen Immissionspunkt in einem Gebäude schließen zu können, werden auf den Prognosewert verschiedene Faktoren angewendet:

Mit Hilfe des **Übertragungswertes** $V_F = 0,5$ (siehe auch Kapitel 8.4) können die Erschütterungen vom Freifeld auf Messpunkte am Fundament in Gebäuden prognostiziert werden.

Die nachfolgenden Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die Prognoseergebnisse für die Brecher- und Siebanlage am Fundament in doppelt-logarithmischer Darstellung. Dargestellt sind die mittlere Amplitudenabnahme und die Amplitudenabnahme mit Sicherheitsbeiwert.

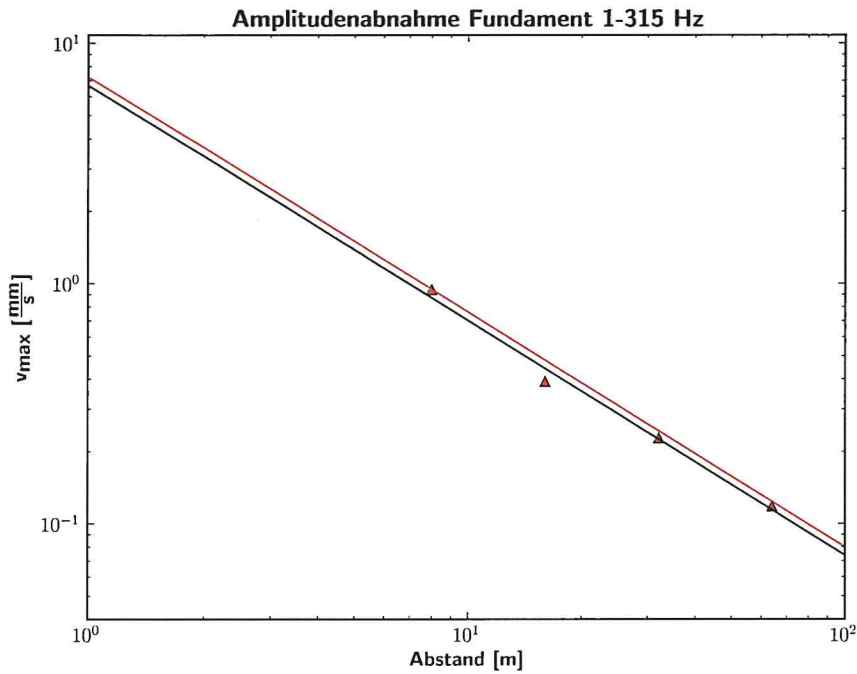


Abbildung 18: Amplitudenabnahme der Brecheranlage am Fundament von Gebäuden

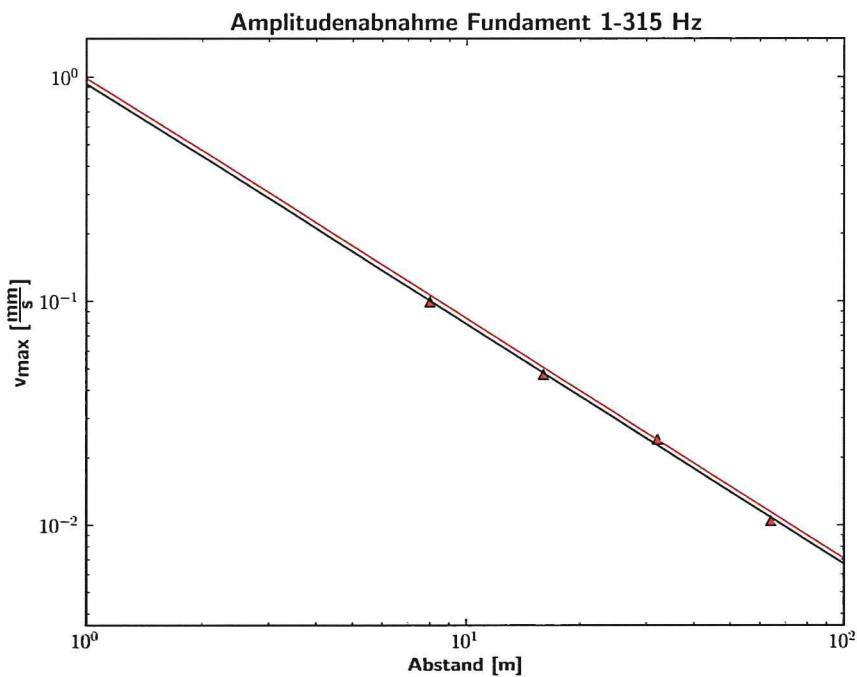


Abbildung 19: Amplitudenabnahme der Siebanlage am Fundament von Gebäuden

Bei der Weiterleitung der Erschütterungen vom Fundament über die Gebäudewände auf die Decken werden sie in der Regel verstärkt. DMT hat bei vielen Messeinsätzen die Überhöhungsfaktoren \dot{U}_F im Gebäude vom Fundament auf die Obergeschossebenen bestimmt. Dabei sind kurzzeitige Erschütterungen im Obergeschoss erfahrungsgemäß um den Faktor 1 bis 5mal größer. Höhere Werte ergaben sich nur bei gut schwingfähigen Gebäuden, wie z.B. alten Fachwerkhäusern in Holzrahmenkonstruktion. In Ausnahmefällen sind auch Faktoren bis über 10 möglich. Ein deutlicher Schwerpunkt für die Überhöhung bildete sich um den Faktor 3.

Bei Dauererschütterungen ergeben sich nach [7] maximale Überhöhungsfaktoren < 10 für Stahlbetondecken und < 15 für Holzbalken-, Stahlstein-, und Stahlträgerdecken. Mit Hilfe der konservativen Überhöhungsfaktoren $\dot{U}_{F-k} = 5$ für kurzzeitige Erschütterungen (Brecher) und $\dot{U}_{F-D} = 15$ für Dauererschütterungen (Siebanlagen) werden die am Fundament ermittelten Schwinggeschwindigkeiten auf das Obergeschoss übertragen.

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die für das Obergeschoss ermittelte Amplitudenabnahme für die maximalen Schwinggeschwindigkeiten v_{\max} und zusätzlich die Amplitudenabnahme mit Sicherheitsbeiwert.

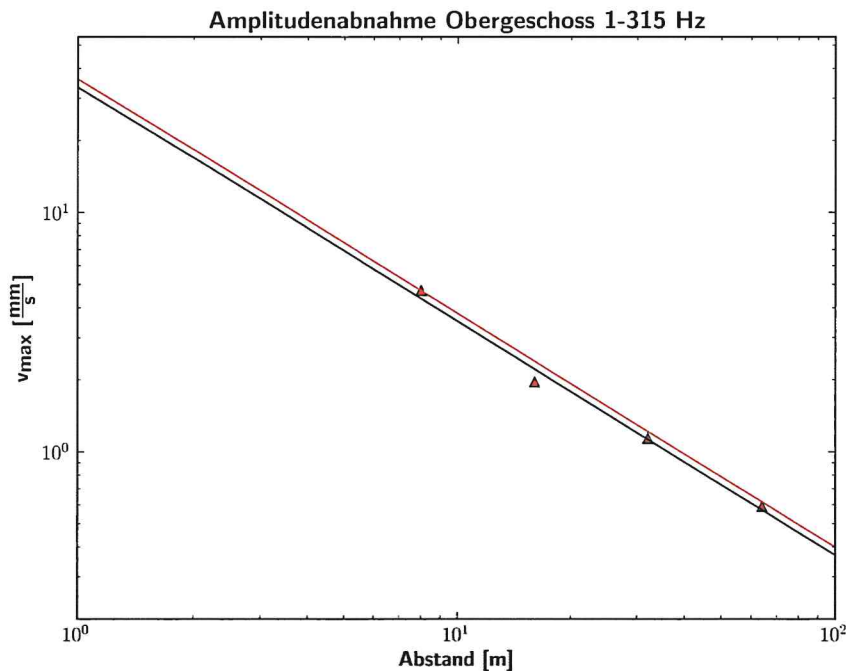


Abbildung 20: Amplitudenabnahme der Brecheranlage für v_{\max} im Obergeschoss von Gebäuden

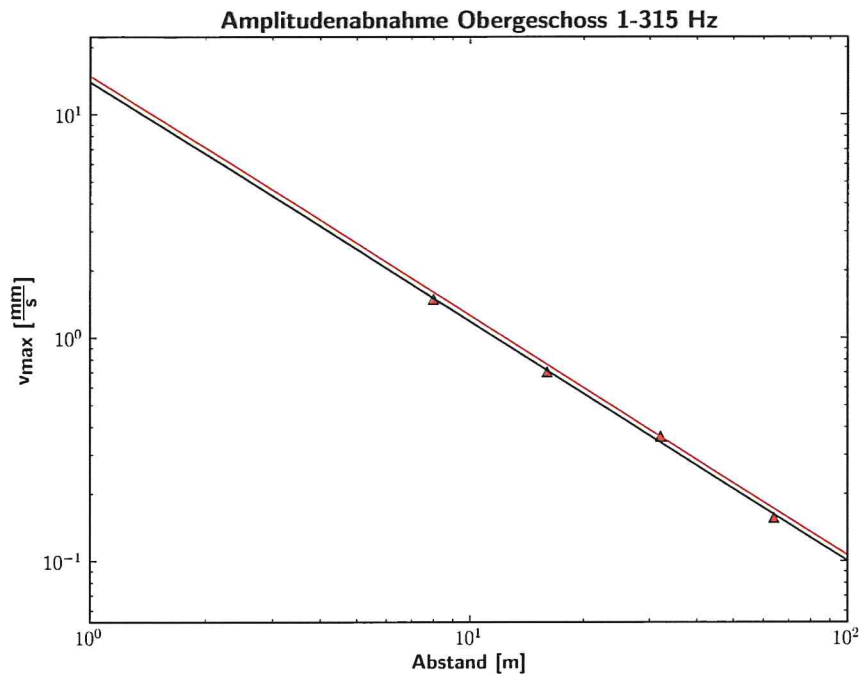


Abbildung 21: Amplitudenabnahme der Siebanlage für v_{\max} im Obergeschoss von Gebäuden

Für die Beurteilung der Belästigungswirkung wird nach DIN 4150, Teil 2 die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ herangezogen, die sich über eine frequenzabhängige Filterfunktion aus den Schwinggeschwindigkeiten berechnen lässt. Die Beurteilungsgröße $KB_{F_{\max}}$ stellt ein Einzelererschütterungskriterium dar und wird mit den einzuhaltenden Anhaltswerten A_u und A_o verglichen. Um eine möglichst sichere Unterschreitung zu erreichen, wird hierfür die Amplitudenabnahme mit Sicherheitsbeiwert (rot) herangezogen. Die Beurteilungsgröße $KB_{F_{Tr}}$ stellt ein Dosiskriterium dar und „dient einer angemessenen Beurteilung stark schwankender und/oder nur kürzere Zeit einwirkender Erschütterungen, deren $KB_{F_{\max}}$ -Wert größer als A_u , aber kleiner als A_o ist“.

Das zeitliche Auftreten der Erschütterungen kann ohne genaue Kenntnis der Betriebszeiten nicht abgeschätzt werden. Die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ wird bei kürzeren Einwirkungszeiten jedoch grundsätzlich kleiner. Um dies zu berücksichtigen, erfolgt der Vergleich von A_r nicht mit der Amplitudenabnahme mit Sicherheitsbeiwert, sondern mit der mittleren Amplitudenabnahme (schwarz). Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die für das Obergeschoss ermittelte mittlere Amplitudenabnahmen für die maximalen, bewerteten Schwingstärken $KB_{F_{\max}}$ und zusätzlich die Amplitudenabnahme mit Sicherheitsbeiwert.

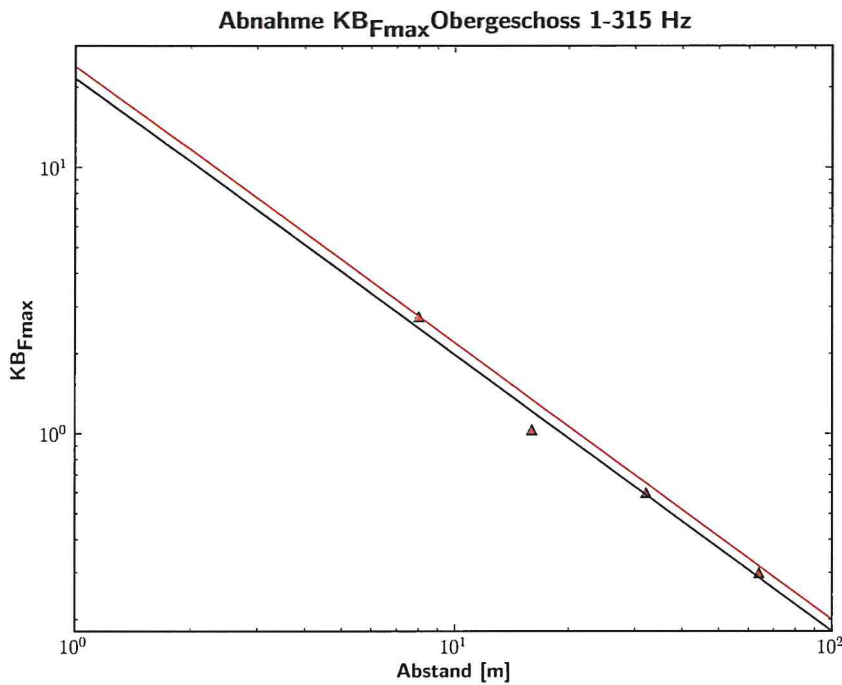


Abbildung 22: Amplitudenabnahme der Brecheranlage für KB_{Fmax} im Obergeschoss von Gebäuden

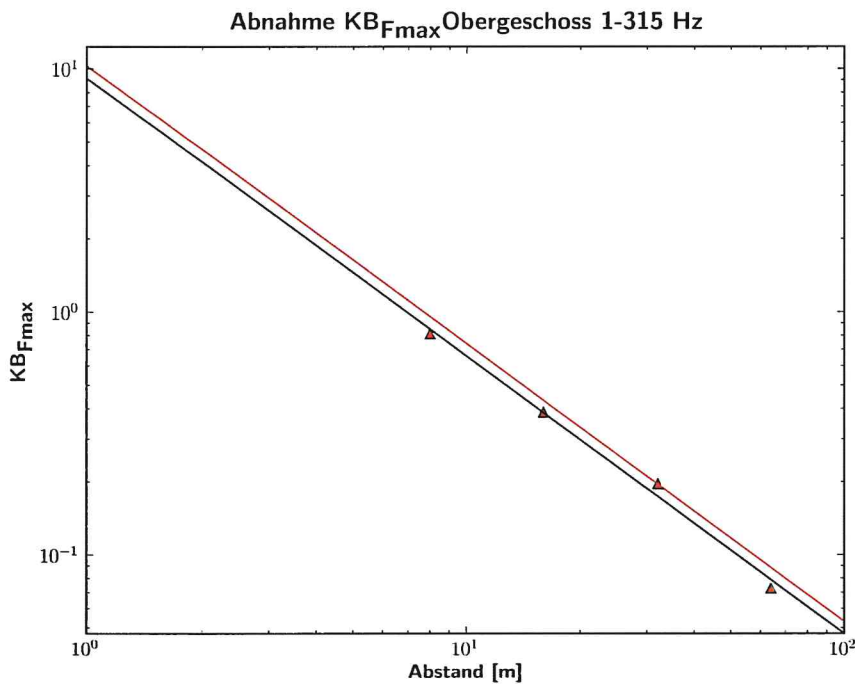


Abbildung 23: Amplitudenabnahme der Siebanlage für KB_{Fmax} im Obergeschoss von Gebäuden

9 Beurteilung der Erschütterungsimmissionen für sensible Geräte mit Hilfe der VC-Kurven

9.1 Beurteilung für die Brecheranlage

Bei Unterschreitung der Mindestabstände zur Erschütterungsquelle werden die VC-Kriterien für typische Nutzungen von sensiblen Geräten eingehalten.

Bei Unterschreitung der Mindestabstände zur Erschütterungsquelle werden die VC-Kriterien für typische Nutzungen von sensiblen Geräten eingehalten.

- Das VC-A Kriterium für typische Nutzungen „unter fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerungen“ wird in einem Mindestabstand von **11 m** eingehalten.
- Das VC-B Kriterium für typische Nutzungen „ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 µm Strukturbreite“ wird in einem Mindestabstand **39 m** eingehalten.
- Das VC-C Kriterium für typische Nutzungen „ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 µm Strukturbreite“ wird in einem Mindestabstand von **147 m** eingehalten.
- Das VC-D Kriterium für typische Nutzungen „unter fast allen Umständen passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM, TEM), E-Beam-Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden“ wird in einem Mindestabstand von **604 m** eingehalten.
- Die VC-E Kriterium für typische Nutzungen „Die Einhaltung dieses Kriteriums ist sehr schwierig; es kann nur in wenigen Fällen eingehalten werden, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten, erforderlich für Geräte höchster Präzision.“ wird in einem Mindestabstand von **2301 m** eingehalten.

9.2 Beurteilung für die Siebanlage

- Das VC-A Kriterium für typische Nutzungen „unter fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerungen“ wird in einem Mindestabstand von **8 m** eingehalten.
- Das VC-B Kriterium für typische Nutzungen „ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 μm Strukturbreite“ wird in einem Mindestabstand **15 m** eingehalten.
- Das VC-C Kriterium für typische Nutzungen „ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 μm Strukturbreite“ wird in einem Mindestabstand von **28 m** eingehalten.
- Das VC-D Kriterium für typische Nutzungen „unter fast allen Umständen passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM, TEM), E-Beam-Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden“ wird in einem Mindestabstand von **56 m** eingehalten.
- Die VC-E Kriterium für typische Nutzungen „Die Einhaltung dieses Kriteriums ist sehr schwierig; es kann nur in wenigen Fällen eingehalten werden, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten, erforderlich für Geräte höchster Präzision.“ wird in einem Mindestabstand von **107 m** eingehalten.

10 Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2

10.1 Beurteilung der Belästigungswirkung der Brecheranlage

Bei Unterschreitung der Mindestabstände zur Erschütterungsquelle werden die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 eingehalten und erhebliche Belästigungen durch Erschütterungseinwirkungen vermieden.

Tagsüber

- Der untere Anhaltswert $A_u = 0,3$ wird in einem Abstand von **68 m** unterschritten.
- Der obere Anhaltswert $A_o = 6$ wird in einem Abstand von **4 m** unterschritten.
- Der Anhaltswert $A_r = 0,15$ wird in einem Abstand von **132 m** unterschritten.

Dies bedeutet, dass wenn gewerbliche Nutzungen die ausschließlich tagsüber mit einer Brech- und Klassieranlage vergleichbare Erschütterungen hervorrufen in einem Mindestabstand von 68 m zu Bürogebäuden angesiedelt werden, erhebliche Belästigungen vermieden werden können.

Nachts

- Der untere Anhaltswert $A_u = 0,2$ wird in einem Abstand von **100 m** unterschritten.
- Der obere Anhaltswert $A_o = 0,4$ wird in einem Abstand von **52 m** unterschritten.
- Der Anhaltswert $A_r = 0,1$ wird in einem Abstand von **195 m** unterschritten.

Dies bedeutet, dass wenn gewerbliche Nutzungen die tagsüber und nachts mit einer Brech- und Klassieranlage vergleichbare Erschütterungen hervorrufen in einem Mindestabstand von 100 m zu Bürogebäuden angesiedelt werden, erhebliche Belästigungen vermieden werden können.

10.2 Beurteilung der Belästigungswirkung der Siebanlage

Bei Unterschreitung der Mindestabstände zur Erschütterungsquelle werden die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 eingehalten und erhebliche Belästigungen durch Erschütterungseinwirkungen vermieden.

Tagsüber

- Der untere Anhaltswert $A_u = 0,3$ wird in einem Abstand von **22 m** unterschritten.
- Der obere Anhaltswert $A_o = 6$ wird in einem Abstand von **2 m** unterschritten.
- Der Anhaltswert $A_r = 0,15$ wird in einem Abstand von **41 m** unterschritten.

Dies bedeutet, dass wenn gewerbliche Nutzungen die tagsüber mit einer Siebanlage vergleichbare Erschütterungen hervorrufen in einem Mindestabstand von 22 m zu Bürogebäuden angesiedelt werden, erhebliche Belästigungen vermieden werden können.

Nachts

- Der untere Anhaltswert $A_u = 0,2$ wird in einem Abstand von **32 m** unterschritten.
- Der obere Anhaltswert $A_o = 0,4$ wird in einem Abstand von **18 m** unterschritten.
- Der Anhaltswert $A_r = 0,1$ wird in einem Abstand von **58 m** unterschritten.

Dies bedeutet, dass wenn gewerbliche Nutzungen die nachts mit einer Siebanlage vergleichbare Erschütterungen hervorrufen in einem Mindestabstand von 32 m zu Bürogebäuden angesiedelt werden, erhebliche Belästigungen vermieden werden können.

11 Beurteilung nach DIN 4150, Teil 3

11.1 Kurzzeitige Erschütterungen durch die Brecheranlage

Bei Unterschreitung der Mindestabstände zur Erschütterungsquelle werden die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 3 eingehalten und leichte Schäden (z.B. Risse im Putz von Wänden) durch Erschütterungseinwirkungen vermieden.

Gewerbegebäude

- Der minimale Fundamentanhaltswert $v_{\max} = 20$ mm/s (frequenzabhängig) wird **im Nahbereich** der Brecheranlage unterschritten.
- Der minimale Anhaltswert für das Obergeschoss (vertikale Deckenschwingungen $v_z = 20$ mm/s) wird in **2 m** Abstand zur Brecheranlage eingehalten.

Wohngebäude / Bürogebäude

- Der minimale Fundamentanhaltswert $v_{\max} = 5$ mm/s (frequenzabhängig) wird **im Nahbereich** der Brecheranlage unterschritten.
- Der minimale Anhaltswert für das Obergeschoss (horizontale Erschütterungen in der obersten Deckenebene $v_{\max,xy} = 15$ mm/s) wird in **3 m** Abstand zur Brecheranlage eingehalten.

11.2 Dauererschütterungen durch die Siebanlage

Bei Unterschreitung der Mindestabstände zur Erschütterungsquelle werden die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 3 eingehalten und leichte Schäden (z.B. Risse im Putz von Wänden) durch Erschütterungseinwirkungen vermieden.

Gewerbegebäude

- Der Anhaltswert für horizontale Dauererschütterungen in der obersten Deckenebene $v_{\max,xy} = 10$ mm/s wird in **2 m** Abstand zur Siebanlage eingehalten.
- Der Anhaltswert für vertikale Deckenschwingungen $v_z = 10$ mm/s wird in **2 m** Abstand zur Siebanlage eingehalten.

Wohngebäude / Bürogebäude

- Der Anhaltswert für horizontale Dauererschütterungen in der obersten Deckenebene $v_{\max,xy} = 5$ mm/s wird in **3 m** Abstand zur Siebanlage eingehalten.
- Der Anhaltswert für vertikale Deckenschwingungen $v_z = 10$ mm/s wird in **2 m** Abstand zur Siebanlage eingehalten.

12 Messungen zur Überwachung der Erschütterungsimmissionen

Prognosen von Erschütterungsimmissionen sind immer mit großen Unsicherheiten behaftet. Es ist daher unverzichtbar die abgeschätzten Werte bei Probemessungen vor Ort zu überprüfen.

13 Erschütterungsmindernde Maßnahmen

Erschütterungen nehmen in der Regel mit zunehmendem Abstand von der Erregerquelle ab. Deshalb können Erschütterungseinwirkungen durch die Vergrößerung des Abstandes gemindert werden. Des Weiteren sind Maßnahmen am Emissions-Ort, am Übertragungsweg und am Immissions-Ort möglich. Eine konkrete Empfehlung kann jedoch immer nur für den Einzelfall ausgesprochen werden.

13.1 Maßnahmen am Emissionsort

Am Emissionsort sind erschütterungsmindernde Maßnahmen besonders effektiv anwendbar. Zu bewährten Minderungsmaßnahmen gehören beispielsweise:

- Schwingungsisolierung von Maschinen mit Feder- oder Dämpfungselementen, die auf die Kräfte und Massen der Maschinen und die Masse des Fundamentes abgestimmt werden
- Schaffung und Aufrechterhaltung optimaler Betriebsbedingungen durch regelmäßige Wartung von Maschinen
- Auswuchten und Verwendung von Massenausgleich

13.2 Maßnahmen am Übertragungsweg

Erschütterungen nehmen allgemein mit größerem Abstand zur Erregerquelle ab. Die auftretenden Erschütterungsimmissionen können deshalb durch Vergrößerung des Abstandes im Normalfall verringert werden. Analog zu einer Lärmschutzwand können Erschütterungen bei ihrer Ausbreitung durch einen Erschütterungsschutzgraben behindert werden. Lage, Tiefe und Aufbau des Schutzgrabens bestimmen hierbei die Wirksamkeit der Minderungsmaßnahme. Die Dimensionierung und Positionierung des Erschütterungsschutzgrabens hängt von der Art der Erschütterungen ab, insbesondere deren Stärke, deren Frequenzinhalt und der Wellenlänge. Die Wellenlänge einer Erschütterung errechnet sich aus der Frequenz und der Ausbreitungsgeschwindigkeit. Nachfolgende Abbildung 24 zeigt Erfahrungswerte zum Abschirmfaktor. Der Abschirmfaktor wird aus dem Verhältnis der Amplitude hinter dem Erschütterungsschutzgraben zur Amplitude im nicht abgeschirmten Fall ermittelt.

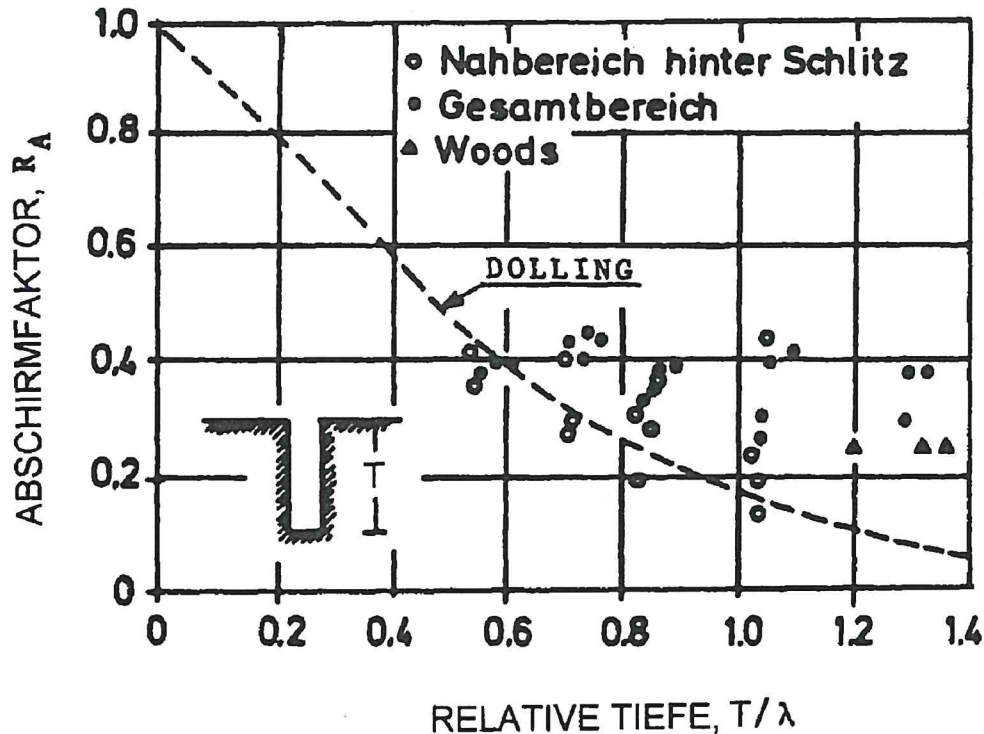


Abbildung 24: Abminderung durch Erschütterungsschutzgraben nach Dolling 1965 und Ergebnissen der Feldversuche von Woods 1968 und Haupt 1986; Quelle des Untergrundbilds: [Haupt 1986]

Der technische Aufbau eines Erschütterungsschutzgrabens hat zum Ziel, einen möglichst hohen seismischen Impedanzkontrast zu erreichen. Dieses wird eher durch einen Kontrast Boden-Luft oder Boden-Beton-grabenwand-Luft erreicht als durch einen Kontrast Boden-Beton, wie er durch eine HDI-Wand im Boden erreicht werden könnte. Bestmögliche Ergebnisse ergeben sich nach Abbildung 24 bei Installation eines Schlitzes im Nahbereich des Immissionsortes.

13.3 Maßnahmen am Immissionsort

Maßnahmen am Bauwerk wie Schwingungsisolierung, Einbau von Schwingungstilgern oder eine Anpassung der Gebäudestruktur zur Vermeidung von Resonanzen sind meist besonders aufwendig und kostenintensiv. Diese werden daher nur dann durchgeführt, wenn alle anderen möglichen Maßnahmen zu keiner Minderung führen.

Anlage 1: Die Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150

Die **DIN 4150** ist dreiteilig aufgebaut:

- **Teil 1 „Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Norm Juni 2001**
Dieser Teil gibt eine Anleitung für die Vorermittlung von Erschütterungen und enthält Angaben und Hinweise, auf deren Grundlage die Werte von Erschütterungsgrößen vorausgesagt werden können. Mit diesen Werten kann eine Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen nach DIN 4150-2 und DIN 4150-3 erfolgen.
- **Teil 2 „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Norm Juni 1999**
Zweck dieser Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. Es werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.
- **Teil 3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Norm Februar 1999**
Die Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken nicht eintreten.

Nachfolgend werden die Beurteilungsgrundlagen nach Teil 2 und Teil 3 der DIN 4150 auszugsweise vorgestellt. Für eine vollständige Beurteilung ist aufgrund einer Vielzahl von Hinweisen, Sonderregelungen, Anforderungen und Anhaltswerte auf die Originalfassung der DIN 4150 zurückzugreifen. Insbesondere nicht dargestellt sind die Ermittlung der Beurteilungsgrößen und Anforderungen an die Messgeräte und Maßnahmen zur Verminderung von Erschütterungen.

Anlage 1.1: DIN 4150, Teil 2 (Belästigungswirkung)

In der DIN 4150, Teil 2 „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel eine erhebliche Belästigung von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Gebäuden vermieden wird. Die Bewertung der Erschütterungsimmission erfolgt mit Hilfe der Anhaltswerte nach Tabelle A1 (Ausnahmen siehe Tabelle A2). Aus den Messwerten werden die Beurteilungsgrößen berechnet und mit den Anhaltswerten verglichen.

Tabelle A1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

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 (vgl. Industriegebiete §9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. 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 (vgl. Kern-, Misch-, Dorfgebiete BauNVO §§ 7, 6, 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (reines Wohngebiet, allgemeines Wohngebiet, Kleinsiedlungsgebiet BauNVO §§ 4, 3, 2).	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

Die Angaben in den Zeilen 1 bis 4 sind der Baunutzungsverordnung (BauNVO) angelehnt. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter den Zeilen 1 bis 4 ausschließlich nach den Gesichtspunkten der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die BauNVO aber auch planerischen Gesichtspunkten Rechnung trägt.

Die Beurteilungsgröße KB_{Fmax} stellt hierbei ein Einzelererschütterungskriterium dar und wird mit den einzuhaltenden Anhaltswerten A_u und A_o verglichen. Liegt der KB_{Fmax} – Wert zwischen A_u und A_o , ist zusätzlich noch die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} zu ermitteln. Die Beurteilungsgröße KB_{FTr} stellt hierbei ein Dosiskriterium dar und wird mit dem einzuhaltenden Anhaltswert A_r verglichen.

In Abbildung A1 ist der Ablauf des Beurteilungsverfahrens als Flussdiagramm dargestellt.

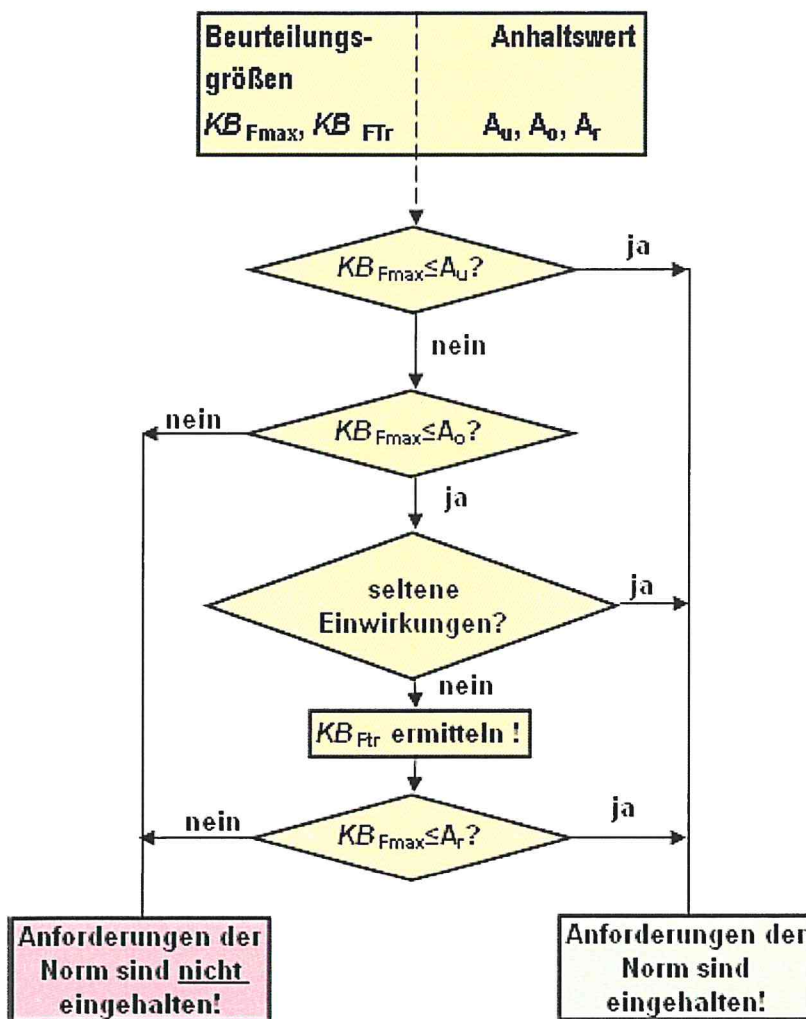


Abbildung A1: Beurteilungsverfahren der DIN 4150, Teil 2

Anlage 1.2: DIN 4150, Teil 3 (Schadenswirkung)

Die DIN 4150, Teil 3 nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung auch leichte Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes nicht eintreten. Werden diese Anhaltswerte überschritten, folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten. Bei deutlichen Überschreitungen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

Bei Wohngebäuden ist eine Verringerung des Gebrauchswertes z.B. gegeben, wenn Risse im Putz von Wänden auftreten, bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden oder Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen. Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen und zwischen Gesamtbauwerksschwingungen und Bauteilschwingungen.

Kurzzeitige Erschütterungen sind Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur Resonanz zu erzeugen. Dauererschütterungen sind Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft.

Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen

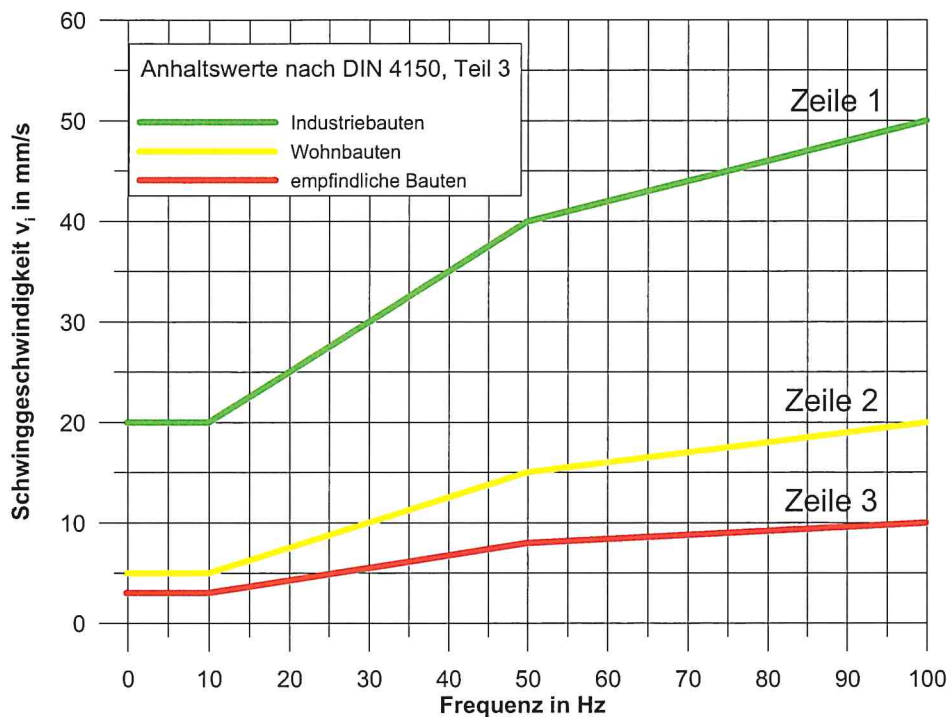
Tabelle A8 zeigt die einzuhaltenden Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen. Die Fundament-Anhaltswerte sind für verschiedene Frequenzbereiche der Erschütterungseinwirkungen unterschiedlich. In Abbildung A2 ist die Frequenzabhängigkeit graphisch dargestellt.

Bei Deckenschwingungen bis 20 mm/s sind bei Gebäuden nach Tabelle A8, Zeilen 1 und 2 keine Schäden zu erwarten.

Tabelle A8: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v in mm/s			
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 bis 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 ^{*)} Hz	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 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.


Abbildung A2: Graphische Darstellung der Frequenzabhängigkeit der Fundament-Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 3 (1999)

Anhaltswerte für Dauererschütterungen

Tabelle A9 zeigt die einzuhaltenden Anhaltswerte für horizontale Dauererschütterungen. Bei vertikalen **Deckenschwingungen bis 10 mm/s** sind bei Gebäuden nach Tabelle A9, Zeilen 1 und 2 erfahrungsgemäß keine Schäden zu erwarten.

Tabelle A9: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit 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 ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

Anlage 2: Allgemeine Kriterien für erschütterungsempfindliche Geräte nach VDI 2038

Die Anforderungen an ein erschütterungsempfindliches Produktionsgerät resultieren allgemein aus der geforderten Produktionsgenauigkeit und dem eigenen Schwingverhalten des Geräts. Von außen über die Geräteaufstellung auf die Produktionsmaschine einwirkende Erschütterungen führen zu ungewollten Bewegungen am sensiblen Fertigungsort. Gleichzeitig werden durch die Bewegungsabläufe der Maschine selbst Erschütterungen hervorgerufen, die zusätzlich auf den Fertigungsort einwirken. Da sich erschütterungsempfindliche Geräte teilweise sehr deutlich im Aufbau (Steifigkeit, Masse, innere Resonanzen), bei eingebauten aktiven und passiven erschütterungsmindernden Maßnahmen und der Dauer des sensiblen Fertigungsprozesses unterscheiden, sind Anhaltswerte für zulässige Erschütterungen nur selten eindeutig und vollständig angegeben. Häufig werden pauschal sehr konservative Anforderungen genannt oder Grenzwerte aus Messwerten an einer funktionierenden Anlage definiert.

Die in Tabelle 7 genannten VC-Kurven sind weit verbreitet und werden in Regel bei der Gestaltung von Produktionseinrichtungen genutzt, um dort erschütterungsempfindliche Geräte ohne Einschränkungen in der Funktionsweise betreiben zu können. Die VC-Kurven geben Grenzwerte für effektive Schwinggeschwindigkeits-Terzspektren für typische Nutzungen mit unterschiedlichen Produktionsgenauigkeiten und Strukturgrößen der Produkte an.

Anlage 2: Allgemeine Kriterien für erschütterungsempfindliche Geräte nach VDI 2038

Die Anforderungen an ein erschütterungsempfindliches Produktionsgerät resultieren allgemein aus der geforderten Produktionsgenauigkeit und dem eigenen Schwingverhalten des Geräts. Von außen über die Geräteaufstellung auf die Produktionsmaschine einwirkende Erschütterungen führen zu ungewollten Bewegungen am sensiblen Fertigungsort. Gleichzeitig werden durch die Bewegungsabläufe der Maschine selbst Erschütterungen hervorgerufen, die zusätzlich auf den Fertigungsort einwirken. Da sich erschütterungsempfindliche Geräte teilweise sehr deutlich im Aufbau (Steifigkeit, Masse, innere Resonanzen), bei eingebauten aktiven und passiven erschütterungsmindernden Maßnahmen und der Dauer des sensiblen Fertigungsprozesses unterscheiden, sind Anhaltswerte für zulässige Erschütterungen nur selten eindeutig und vollständig angegeben. Häufig werden pauschal sehr konservative Anforderungen genannt oder Grenzwerte aus Messwerten an einer funktionierenden Anlage definiert.

Die in Tabelle 7 genannten VC-Kurven sind weit verbreitet und werden in Regel bei der Gestaltung von Produktionseinrichtungen genutzt, um dort erschütterungsempfindliche Geräte ohne Einschränkungen in der Funktionsweise betreiben zu können. Die VC-Kurven geben Grenzwerte für effektive Schwinggeschwindigkeits-Terzspektren für typische Nutzungen mit unterschiedlichen Produktionsgenauigkeiten und Strukturgrößen der Produkte an.

Tabelle 10: VC-Linien nach VDI 2038 Blatt 2

VC-Linien (Vibration Criteria)	Schwingungs- pegel RMS- Terzspektren in $\mu\text{m/s}$	Typische Nutzungen	Struktur- größe/ Genauigkeit
Menschliche Fühlschwelle	100 ((4...80) Hz)	menschliche Fühlschwelle, für empfindliche Schlafbereiche, für Opernhäuser, Theater, für Mikroskope mit 100-facher Vergrößerung	8 μm
VC-A	50 ((4...80) Hz)	unter fast allen Umständen geeignet für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerungen	30 μm
VC-B	25 ((1...80) Hz)	ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 μm Strukturbreite	3 μm
VC-C	12,5 ((1...80) Hz)	ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 μm Strukturbreite	1 μm
VC-D	6,25 ((1...80) Hz)	unter fast allen Umständen passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REM, TEM), E-Beam-Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden	0,3 μm
VC-E	3,1 ((1...80) Hz)	Die Einhaltung dieses Kriteriums ist sehr schwierig; es kann nur in wenigen Fällen eingehalten werden, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten, erforderlich für Geräte höchster Präzision.	< 0,1 μm
VC-F	1,6 ((1...80) Hz)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet.	-
VC-G	0,8 ((1...80) Hz)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet.	-

Auftraggeber: Stadt Rostock
Auftragsnummer: EG-IG-12-136 Seite 1 von 3

Datum: ab 03.07.2013
Messbeginn: 11:02 Uhr

MESSORT Name: RO-BRECHER

Adresse: Am Heidenholt
18147 Rostock

Telefon: _____

Messpunkte: B, C, D

Bauwerk: Industrie/ Gewerbebau, Wohnbau, Denkmal oder bes. erhaltenswert
Gehöft, Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Bürogebäude, Fabrik,
_____, Baujahr: _____

Visueller Zustand: sehr gut, gut, mittel, schlecht, sehr schlecht

Vollgeschosse: 1 2 3 4, Unterkellert: ja / nein

Betondecken Keller, EG, 1.OG, 2.OG, _____

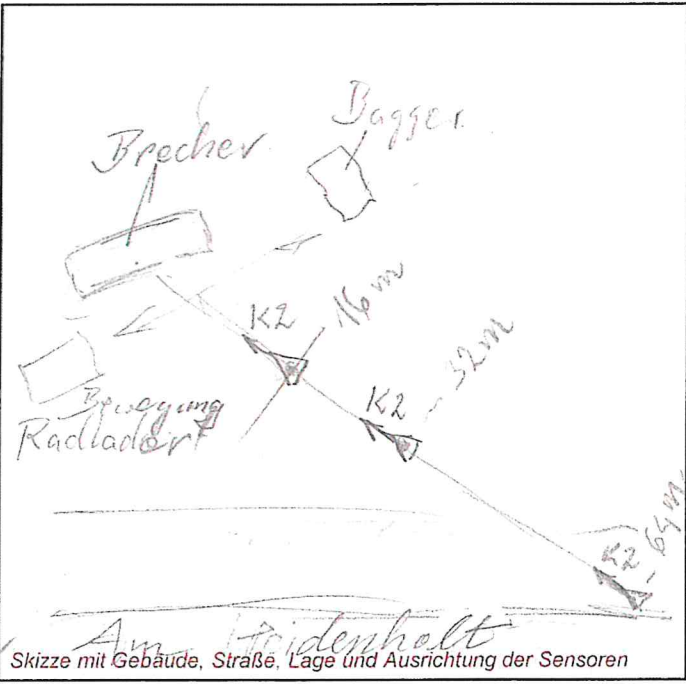
Holzdecken Keller, EG, 1. OG, 2. OG, _____

Erschütterungsquelle: Brecher

Fremderschütterungen: nein / ja durch Autobahn, Straße, U-Bahn

Eisenbahn, Baustelle, Fabrik, Bagger, LKW, Radlader

Gesteins/Bodenart: _____



Messpkt: A Aufnehmer: S Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht

Türschwelle Nicht aufgebracht

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff _____

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 1-3 Bem: _____

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand _____ K2: Parallel/Senkrecht Außenwand _____ K3: Vertikal

Messpkt: B Aufnehmer: S 313 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht

Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff _____

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 4-6 Bem: 16 m zum Brecher

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand Brecher K2: Parallel/Senkrecht Außenwand Brecher K3: Vertikal

Messpkt: C Aufnehmer: S 319 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht

Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff _____

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 7-9 Bem: 32 m zum Brecher

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand Brecher K2: Parallel/Senkrecht Außenwand Brecher K3: Vertikal

Messpkt: D Aufnehmer: S 305 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht

Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Strahlbo

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 10-12 Bem: 64 m zum Brecher

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand Brecher K2: Parallel/Senkrecht Außenwand Brecher K3: Vertikal

Sumo MC

Messapparatur: Typ HYDRA Nr/Bez 74 Abtastrate: 400 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz _____ Hz

Messbereich: 10 mm/s 20 mm/s 50 mm/s 130 mm/s _____ mm/s, Registrierzeit 2s 3s 4s 30 s, Vorlauf 1s, 2s, _____ s

Frequenzgang: 0-80 Hz, 0-315 Hz, 0-Nyquist, Geophone: 1 Hz, 4,5 Hz, _____ Hz

Triggerschwelle: 0,1 0,5 1,0 1,5 2,0 oder Kontinuierlich mm/s auf Kanal: 1 2 3 4 5 6

DCF-Uhr ja / nein Funkauslesung Telefon-Nr: _____

Bem: _____

Datum: 03.07.2013 Name: Dyballa

Unterschrift: 

Auftraggeber: Stadt Rostock
Auftragsnummer: EBIG-12-136 Seite 2 von 3

Datum: ab 03.07.2013
Messbeginn: 12:33 Uhr

MESSORT Name: RO - SIEB

Adresse: Am Heidenholt
18 147 Rostock

Telefon: _____

Messpunkte: A, B, C, D

Bauwerk: Industrie/ Gewerbebau, Wohnbau, Denkmal oder bes. erhaltenswert
Gehöft, Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Bürogebäude, Fabrik,
_____, Baujahr: _____

Visueller Zustand: sehr gut, gut, mittel, schlecht, sehr schlecht

Vollgeschosse: 1 2 3 4 _____, Unterkellert: ja / nein

Betondecken Keller, EG, 1.OG, 2.OG, _____

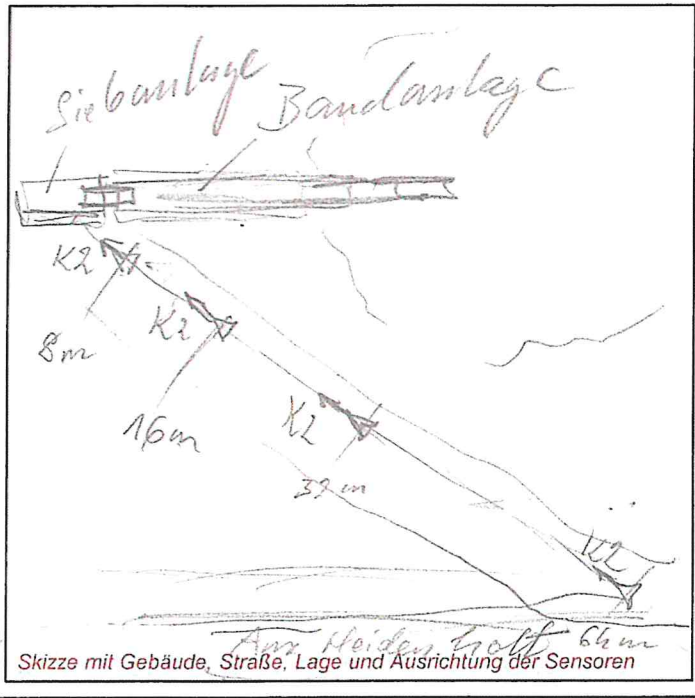
Holzdecken Keller, EG, 1. OG, 2. OG, _____

Erschütterungsquelle: Siebanlage

Fremderschütterungen: nein / ja durch Autobahn, Straße, U-Bahn

Eisenbahn, Baustelle, Fabrik, Windung durch Radlader

Gesteins/Bodenart: _____



Messpkt: A Aufnehmer: S 309 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschart
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Feiner Schotterweg

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 1-3 Bem.: _____

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand _____ K2: Parallel/Senkrecht Außenwand Siebanlage K3: Vertikal

Messpkt: B Aufnehmer: S 313 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschart
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Feine Schotterweg

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 4-6 Bem.: _____

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand _____ K2: Parallel/Senkrecht Außenwand Siebanlage K3: Vertikal

Messpkt: C Aufnehmer: S 319 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschart
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Feiner Schotterweg

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 7-9 Bem.: _____

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand _____ K2: Parallel/Senkrecht Außenwand Siebanlage K3: Vertikal

Messpkt: D Aufnehmer: S 305 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschart
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Feiner Schotterweg

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: _____ Bem.: _____

K1: Parallel/Senkrecht Außenwand _____ K2: Parallel/Senkrecht Außenwand Siebanlage K3: Vertikal

Sumo-MC

Messapparatur: Typ HYDRA Nr/Bez 74 Abtastrate: 400 Hz 1000 Hz 2000 Hz _____ Hz

Messbereich: 10 mm/s 20 mm/s 50 mm/s 130 mm/s _____ mm/s, Registrierzeit 2s 3s 4s 30 s Vorlauf 1s, 2s _____ s

Frequenzgang: 0-80 Hz, 0-315 Hz, 0-Nyquist, Geophone: 1 Hz, 4.5 Hz _____ Hz

Triggerschwelle: 0.1 0.5 1.0 1.5 2.0 oder Kontinuierlich mm/s auf Kanal: 1 2 3 4 5 6

DCF-Uhr ja / nein Funkauslesung Telefon-Nr. _____

Bem: _____

Datum: 03.07.2013

Name: Dyballa

Unterschrift: _____

Auftraggeber: Stadt Rostock
Auftragsnummer: EG EG-12-136 Seite 3 von 3

Datum: ab 03.07.2013
Messbeginn: 14:45 Uhr

MESSORT Name: RO-SCHL

Adresse: Am Granzschlachthof
18069 Rostock

Telefon: _____

Messpunkte: A, B, C, D

Bauwerk: Industrie/ Gewerbebau, Wohnbau, Denkmal oder bes. erhaltenswert

Gehöft, Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Bürogebäude, Fabrik,
_____, Baujahr: _____

Visueller Zustand: sehr gut, gut, mittel, schlecht, sehr schlecht

Vollgeschosse: 1 2 3 4, Unterkellert: ja / nein

Betondecken Keller, EG, 1.OG, 2.OG, _____

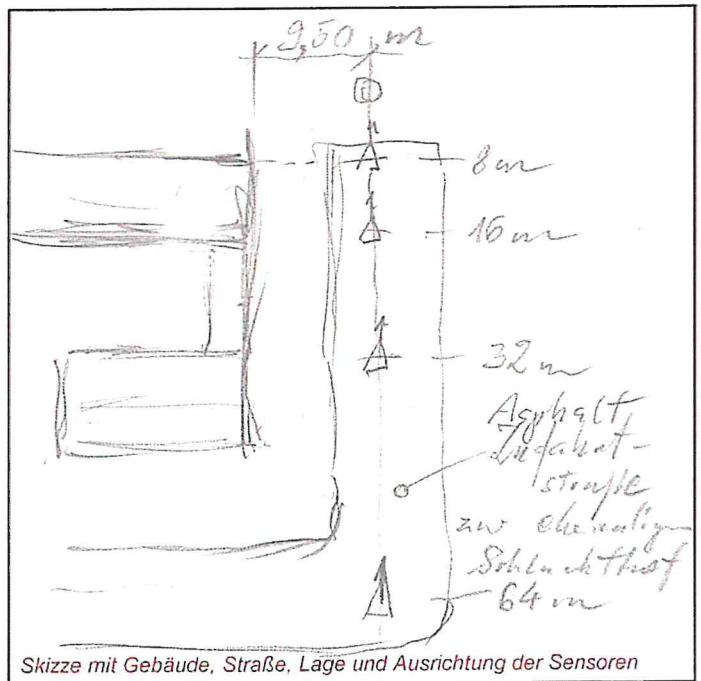
Holzdecken Keller, EG, 1. OG, 2. OG, _____

Erschütterungsquelle: Hammer-Schlag

Fremderschütterungen: nein ja durch Autobahn, Straße, U-Bahn

Eisenbahn, Baustelle, Fabrik, _____

Gesteins/Bodenart: _____



Messpkt: (A) Aufnehmer: S 309 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Asphalt

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 1-3 Bem.: runde Sensorfüße

(K1): Parallel/Senkrecht Außenwand (K2): Parallel/Senkrecht Außenwand Richtung Quelle (K3): Vertikal

Messpkt: (B) Aufnehmer: S 313 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Asphalt

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 4-6 Bem.: runde Sensorfüße

(K1): Parallel/Senkrecht Außenwand (K2): Parallel/Senkrecht Außenwand Richtung Quelle (K3): Vertikal

Messpkt: (C) Aufnehmer: S 319 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Asphalt

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 7-9 Bem.: runde Sensorfüße

(K1): Parallel/Senkrecht Außenwand (K2): Parallel/Senkrecht Außenwand Ri. Quelle (K3): Vertikal

Messpkt: (D) Aufnehmer: S 305 Ort: Keller oberstes Vollgeschoss EG 1.OG 2.OG DG Zimmer/Deckenmittig Außenwand Fensterbank Lichtschacht
Türschwelle _____

Untergrund: Beton, (schw.) Estrich, Fliesen, Holz, Parkett, Teppich, Teppichboden, Kunststoff Asphalt

Ankopplung: Aufgestellt Spur Nr im Seismogramm: 10-12 Bem.: runde Sensorfüße

(K1): Parallel/Senkrecht Außenwand (K2): Parallel/Senkrecht Außenwand Ri. Quelle (K3): Vertikal

Messapparat: Typ Hydra Nr/Bez 74 Abtastrate: 400 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz _____ Hz

Messbereich: 10 mm/s 20 mm/s 50 mm/s 130 mm/s 130 mm/s Registrierzeit 2s 3s 4s _____ s Vorlauf 1s, 2s, _____ s

Frequenzgang: 0-80 Hz, 0-315 Hz, 0-Nyquist _____ Hz Geophone: 1 Hz, 4,5 Hz _____ Hz

Triggerschwelle: 0,1 0,5 1,0 1,5 2,0 oder Kontinuierlich mm/s auf Kanal: 1 2 3 4 5 6

DCF-Uhr ja / nein Funkauslesung Telefon-Nr. _____

Bem: _____

Datum: 03.07.2013 Name: Dyballa

Unterschrift: [Signature]