

Christian Stülpner

Matrikel Nr. 19076

Untersuchung tieffrequenter Emissionen am Beispiel der
Gruppenkläranlage Niederwiesa und des Immissionsortes
„Zur Finkenmühle 5“.

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Mathematik, Physik und Informatik

Chemnitz, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr. J. Hübelt

Zweitprüfer: Dr. D. Schulz

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am: 01.02.2010

Bibliographische Beschreibung

Christian Stülpner:

Untersuchung tieffrequenter Emissionen am Beispiel der Gruppenkläranlage Niederwiesa und des Immissionsortes „Zur Finkenmühle 5“. - 2009 - 77 S.

Referat:

Am Beispiel der Kläranlage Niederwiesa soll geklärt werden in wie weit tieffrequente Signalanteile (8-1400 Hz) von Schallemissionen zur Belästigung im Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“ beitragen. Dazu werden Messungen in der Gruppenkläranlage Niederwiesa und im Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“ durchgeführt und ausgewertet. Besonderes Augenmerk soll auf die Signalanteile unterhalb der durchschnittlichen menschlichen Hörschwelle gelegt werden. Weiterhin werden Hörproben durchgeführt und diese ausgewertet. Zum Schluss erfolgt die Auswertung der Messergebnisse und der gewonnenen Erkenntnisse.

Schon die gemeine Erfahrung zeigt uns, dass alle tönenden Körper in Zitterungen begriffen sind. Wir sehen und hören dieses Zittern, und bei starken Tönen fühlen wir, selbst ohne den tönenden Körper zu berühren, das Schwirren der uns umgebenden Luft. Specieller zeigt die Physik, dass jede Reihe von hinreichend schnell sich wiederholenden Stößen, welche die Luft in Schwingung versetzt, in dieser einen Ton erzeugt.

Hermann von Helmholtz,
Vorlesung gehalten in Bonn, 1857

	Seite
2.2 Bestandsaufnahme der Maschinen und Anlagen in der näheren Umgebung des Wohnhauses	31
2.2.1 Mögliche Erschütterungs- und Schallquellen	31
2.2.2 Maschinen und Anlagen in der Gruppenkläranlage Niederwiesa und deren bauliche Beschaffenheit	32
3. Schall- und Erschütterungstechnische Untersuchungen	34
3.1 Durchführung der Schall- und Schwingungsmessung an der Gruppenkläranlage Niederwiesa und am Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“	34
3.1.1 Beschreibung der vorliegenden Situation	34
3.1.2 Luftschall- und Schwingungsmessungen am Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“	35
3.1.2.1 Messprotokoll „Zur Finkenmühle 5“	35
3.1.2.2 Messungen	36
3.1.2.3 Messergebnisse innerhalb des Hauses	39
3.1.2.4 Messergebnisse außerhalb des Hauses	43
3.1.3 Luftschall- und Schwingungsmessungen an der Kläranlage Niederwiesa	45
3.1.3.1 Messprotokoll Kläranlage Niederwiesa	45
3.1.3.2 Messungen	45
3.1.3.3 Messergebnisse in der KA Niederwiesa	47
4. Auswertung	51
4.1 Auswertungen der Messungen im Wohnhaus	52
4.1.1 Raum C	52
4.1.1.1 Messungen vom 03.07.09	52
4.1.1.2 Messungen vom 06.07.09	54
4.1.1.3 Messungen vom 08.07.09	56
4.1.1.4 Messungen vom 17.08.09	58
4.1.1.5 Messungen vom 08.09.09	59
4.1.2 Fußboden Raum I	60
4.1.2.1 Messungen vom 06.07.09	60
4.1.3 Außenmessung Garten	62
4.1.3.1 Messungen vom 08.07.09	62
4.1.4 Vergleich zu den Messreihen von Dr. Schulz und Dr. Kubicek	63
4.2 Auswertungen der Messungen an der Kläranlage Niederwiesa	65
4.2.1 Wand Wz ₁	65
4.2.2 Abluftrohr zu Sandfang, Laststufe (LS) 1 und 2	66
4.2.3 Sandfanggebläse, Laststufe (LS) 1 und 2	68
4.2.4 Belebungsgebläse	70
4.2.5 Kopfbügelmikrofonmessung Gebläseraum	71
4.3 Auswertung der Hörproben	72
5. Zusammenfassung	74

Literaturverzeichnis	Seite 76
Anhangsverzeichnis	Seite
Anhang 1	I
Anhang 2	II
Anhang 3	XXIV
Anhang 4	XXV
Anhang 5	XLVII
Anhang 6	XLVII
Anhang 7	LIV

Symbolverzeichnis

a	Abmessung der Erschütterungsquelle parallel zur Ausbreitungsrichtung [m]
B'	Biegesteifigkeit der Platte $\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$
c	Schallgeschwindigkeit [m/s]
c_B	Biegewellengeschwindigkeit [m/s]
c_L	Longitudinalwellengeschwindigkeit [m/s]
c_R	Rayleighwellengeschwindigkeit [m/s]
c_T	Transversalwellengeschwindigkeit [m/s]
D	Dämpfungsgrad
D_0	Systemdämpfung des Ersatzsystems „Bauwerk auf dem Boden“
E	Elastizitätsmodul [N/m^2], [Pa]
E_S	Kompressionsmodul [Pa]
f	Frequenz [Hz]
f_B	Bauwerkseigenfrequenz [Hz]
f_G	Grenzfrequenz [Hz]
f_N	Eigenfrequenz [Hz]
f_R	Raumeigenmoden [Hz]
G	Schubmodul [Pa]
h	Dicke der Platte [m]
iX	Reaktanz (Imaginärteil)
j	$= \sqrt{-1}$
k_0	resultierende Wellenkennzahl
k_{BU}	Federsteifigkeit Untergrund
k_B	Biegewellenkennzahl
L_{AF}	Schalldruckpegel mit der Frequenzbewertung „A“ und Zeitbewertung „F“ [dB]
L_{CF}	Schalldruckpegel mit der Frequenzbewertung „C“ und Zeitbewertung „F“ [dB]
L_{Lin}	unbewerteter Gesamtschalldruckpegel [dB]
m''	flächenbezogene Masse [kg/m^2]
m_B	Gebäudemasse [kg]
N	Anzahl der Maschinen
p	Druck [Pa]
P_1	eingespeiste Leistung [W]
p_a	flächenbezogen Kraft, Druck [Pa]

p_{Δ}	Luftdruckdifferenz [hPa]
R	Resistanz (Realteil)
R_2	Abstand Messpunkt zum Immissionsort [m]
R_I	Bezugsabstand [m]
t	Zeit [s]
λ	Wellenlänge [m]
v	Schallschnelle [m/s]
v_B	gemessener Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit beim Lauf von N_B Maschinen [m/s]
V_F	Übertragungswert
v_N	Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit auf dem Erdboden außerhalb des Maschinensaals [m/s]
x	kartesische Koordinaten und Abmessungen [m]
Z	Impedanz
Z_F	akustische Feldimpedanz
Z_M	mechanische Impedanz
α	Abklingkoeffizient [m^{-1}]
δ	Übergang in Wärme
ζ	zeitliche und örtliche Änderung der Ruhegröße eines Teilchens [m]
κ	Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Maschinen
λ_0	Wellenlänge im ungestörten Medium [m]
λ_B	Biegewellenlänge [m]
λ_R	Wellenlänge der Oberflächenwelle [m]
μ	Querkontraktionszahl/Poissonzahl
π	= 3,141592654....
ρ	Dichte des Materials [kg/m^3]
$\bar{\rho}$	Dichte der elastischen Struktur [kg/m^3]
ρ	Reflexionsgrad
ρ^*	Dichte der Flüssigkeit [kg/m^3]
ρ_A	Dichte einer zusätzlichen fiktiven Masse, welche die Koppelung zw. Flüssigkeit und Struktur berücksichtigt [kg/m^3]
σ	Abstrahlgrad
τ	Transmissionsgrad
ω	Winkelgeschwindigkeit [rad/s]

0. Einleitung

Im Rahmen dieser Arbeit soll geprüft werden in wie weit Luftschall- und Körperschallemissionen der Kläranlage Niederwiesa zu Beeinträchtigungen im Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“ führen oder ob andere akustische Quellen als Ursache in Betracht gezogen werden sollten. Seit mehreren Jahren ist am Immissionsort vom Eigentümer Herrn Barth ein tieffrequentes Geräusch zu vernehmen. Dieser schildert das Geräusch als pulsierendes, über mehrere Tage anhaltendes, tieffrequentes Brummen. Im Vorfeld dieser Arbeit haben Dr. D. Schulz (HTW Mittweida) und Dr. R. Kubicek (LRA Erzgebirgskreis) Untersuchungen ohne weitere Erkenntnisse über den Charakter der Geräuschsituation durchgeführt. Die Aufgabe liegt in der Charakterisierung der Geräuschsituation am Immissionsort und in der Kläranlage sowie in der Klärung der Frage, ob akustische oder nichtakustische Ursachen der geschilderten Belastung vorliegen. Dabei soll im Besonderen auf die Frage eingegangen werden auf welche Art und Weise tieffrequente Geräusche in der Umwelt auftreten sowie deren Wirkung auf den Menschen. Eine wichtige Frage ist dabei, was die A-Bewertung bei tieffrequenten Geräuschen für Vor- und Nachteile hat und welche Alternativen zur herkömmlichen Bewertung die DIN 45680 bei der Charakterisierung von tieffrequenten Geräuschen aufweist.

Weiterhin sollen die Auswirkungen der baulichen Gegebenheiten (Maschinen, Anlagen, Wände usw.) am Emissions- und Immissionsort geklärt werden. Das Wohnhaus liegt ca. 300m von der Kläranlage Niederwiesa entfernt. Daher stellt sich die Frage in wie weit Luft- und Körperschallübertragung der installierten Anlagen und der Übertragungsweg zum vernommenen Geräusch beitragen. Dabei soll die DIN 4150 Teil 1-3 Hilfestellungen geben und eventuelle Ergebnisse bekräftigen.

Die Ergebnisse werden anhand von Messungen im Wohnhaus und in der Kläranlage bewertet und Aussagen über ihre Relevanz getroffen. Bei den Messungen besteht das Hauptaugenmerk auf den tiefen Frequenzen zwischen 8Hz und 1400Hz, da besonders dieses Spektrum bei vorangegangenen Messungen sehr deutlich hervorgehoben war. Weiterhin sollen Herrn Barth Hörproben für eine psychoakustische Untersuchung vorgespielt und diese ausgewertet werden.

Zielstellung ist die Darstellung der Ausbreitung von Luft- und/oder Körperschall von der Kläranlage Niederwiesa zum Wohnhaus. Dabei wird auf die Fragestellung eingegangen, ob beeinträchtigende Emissionen von dieser ausgehen.

1. Grundlagen

1.1 Luft- und Körperschallentstehung und deren Übertragung

Im Rahmen dieser Arbeit ist zu unterscheiden zwischen Luft- und Körperschall. Zwischen den beiden Schallarten besteht eine enge Verbindung resultierend aus der Ausbreitung von Wellen. Luftschall entsteht durch Wellen, die sich über die Luft ausbreiten. Als Emissionsquellen kommen unter anderem das Wirken von Menschen, Tieren, Maschinen und Installationen in Frage. Luftschall besteht ausschließlich aus Longitudinalwellen und wird durch Anregung fester Körper zu Schwingungen hervorgerufen. Der dabei entstehende Körperschall wird auf die Luft übertragen und in sie abgestrahlt. Per Definition besteht Schall aus mechanischen Schwingungen elastischer Teilchen, die durch Elastizitäts- und Trägheitskräfte um ihre ursprüngliche Ruhelage periodisch hin und her pendeln. Das Auftreten von Schall ist an die Existenz von Materie gebunden und kann somit in festen, flüssigen sowie gasförmigen Körpern auftreten.

Körperschall breitet sich, wie der Name sagt, in Festkörpern und Fluiden aus. Festkörper können im Vergleich zu Fluiden Normal- und Schubspannungen aufnehmen. Daher breiten sich im allseitig unbegrenzten Festkörper Transversal- und Longitudinalwellen aus. Bei diesen beiden Wellenarten besteht folgender Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und Frequenz:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1}$$

λ	-	Wellenlänge [m]
c	-	Schallgeschwindigkeit [m/s]
f	-	Frequenz [1/s]

Die Schallgeschwindigkeit in festen und flüssigen Körpern wird durch drei Faktoren beeinflusst. Die Dichte, den Schub- und Elastizitätsmodul. Der Schubmodul ist eine Materialkonstante die Auskunft über die lineare elastische Verformung eines Bauteils infolge einer Scherkraft oder Schubspannung gibt und die Weiterleitung von Transversalwellen beeinflusst. Die SI-Einheit, N/m², ist somit die Einheit einer Spannung. Der Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert, der den Zusammenhang

zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt und Longitudinalwellen beeinflusst.

1.1.1 Wellenarten

In Festkörpern sind verschiedene Wellenarten für die Schallabstrahlung und Weiterleitung verantwortlich. Zu den Wichtigsten zählen die Transversal- und Longitudinalwellen, sowie deren Kombination und „Unterarten“.

1.1.1.1 Longitudinalwellen

Eine reine Longitudinalwelle, auch als Kompressions- oder Dilatationswelle bezeichnet, kann sich nur in einem unendlich ausgedehnten festen Körper ausbreiten (Abb. 1). Dabei haben alle Moleküle in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung die gleiche Amplitude und Schwingungsrichtung. Die einzelnen Moleküle bewegen sich vor und zurück, nur der Zustand in der Welle, z.B. die maximale Dichte, wandert im Material. Die Longitudinalwellengeschwindigkeit c_L , kann über das Schubmodul und die Querkontraktionszahl oder auch über den Kompressionsmodul berechnet werden. Sie berechnet sich zu:

$$c_L = \sqrt{\frac{G}{\rho} \frac{2-2\mu}{1-2\mu}} = \sqrt{\frac{E_S}{\rho}} \quad (2)$$

c_L - Longitudinalwellengeschwindigkeit [m/s]

G - Schubmodul [Pa]

μ - Querkontraktionszahl

E_S - Kompressionsmodul [Pa]

ρ - Dichte des Materials [kg/m³]

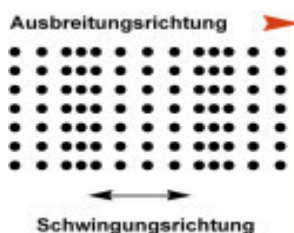


Abb. 1: Longitudinalwellenausbreitungs- und Schwingrichtung. Die Ausbreitungsrichtung ist hier von links nach rechts dargestellt [1]

In der Regel ist diese Wellenart nur von Interesse, wenn der untersuchte Körper verglichen mit der Wellenlänge sehr groß ist.

1.1.1.2 Transversalwellen

Bei reinen Transversalwellen (Abb. 2), in der Praxis auch Quer-, Schub- oder Scherwellen genannt, erfolgt eine Schubdeformation, d. h. eine Gestaltänderung, aber keine Volumenänderung. Die Transversalwellengeschwindigkeit wird bestimmt aus

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (3)$$

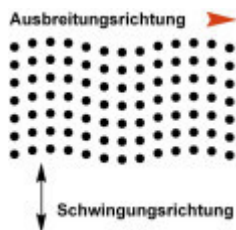


Abb. 2: Transversalwellenausbreitungs- und Schwingungsrichtung [1]

1.1.1.3 Biegewellen

Bei der Schallabstrahlung von festen Körpern ist die Biegewelle (Abb. 3) die bedeutendste Wellenart und wird im Folgenden näher beschrieben.

Diese Wellenart breitet sich hauptsächlich in Platten und in Stäben aus. Damit eine solche Welle entstehen kann, muss die Platten- oder Stabdicke klein im Verhältnis zur Biegewellenlänge sein. Die Teilchen führen transversale Schwingungen aus, wobei diese mit einer Kippbewegung um die Längsachse kombiniert werden. Dabei kommt es im Material zu Schub- und Dehnspannungen die durch ein Moment quer zur Achse des Materials entstehen (Abb. 4).

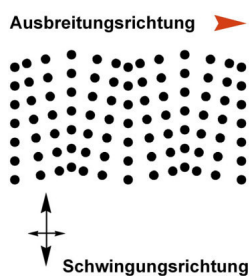


Abb. 3: Biegewellenausbreitungs- und Schwingungsrichtung [1]

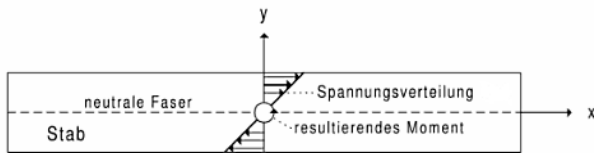


Abb. 4: Spannungsverteilung und Moment bei der elastischen Verbiegung von Stäben [2]

Die Ausbreitung von Biegewellen lässt sich mit einem Ansatz der homogenen Bewegungsgleichung für einen Stab erklären. Man erhält für die Biegewellenlänge:

$$\lambda_B = 2\pi \cdot \sqrt[4]{\frac{B}{m'} \frac{1}{\omega}}. \quad (4)$$

λ_B - Biegewellenlänge [m]

B - Biegesteifigkeit Stab $\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{s}^2} \right]$

m' - längenbezogene Masse [kg/m]

ω - Winkelgeschwindigkeit [rad/s]

Daraus resultiert die Biegewellenausbreitungsgeschwindigkeit zu

$$c_B = \sqrt[4]{\frac{B}{m'}} \sqrt{\omega}. \quad (5)$$

Biegewellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sind somit frequenzabhängig. Daraus ergibt sich ein großer Unterschied zwischen Luftschall- und Biegewellen.

„Geht man von der Betrachtung reiner Töne zu Zeitverläufen über, die aus mehreren spektralen Komponenten zusammengesetzt sind, so bewirkt die frequenzabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit, dass sich die spektralen Komponenten gegenseitig „davonlaufen“, und zwar um so mehr, je weiter der von ihnen zurückgelegte Weg und je größer ihr Frequenzabstand ist.“ [2] S.105.

Am Beispiel eines Stabes bedeutet es, dass die spektrale Zusammensetzung ortsabhängig ist und an unterschiedlichen Stellen auch verschiedene Zeitverläufe der Stabschnelle vorherrschen. Der Zeitverlauf wird längs der Biegewellenausbreitung verzerrt. Die Zunahme der Biegewellen-Ausbreitungsgeschwindigkeit mit der Frequenz wird als Dispersion bezeichnet. Die Anregung eines Bauteils durch einen kurzen Schlag bewirkt, dass die hochfrequenten Anteile einer sehr breitbandigen Anregung vor den tieferen eintreffen und im Messpunkt die Momentanfrequenz abnimmt (Abb. 5).

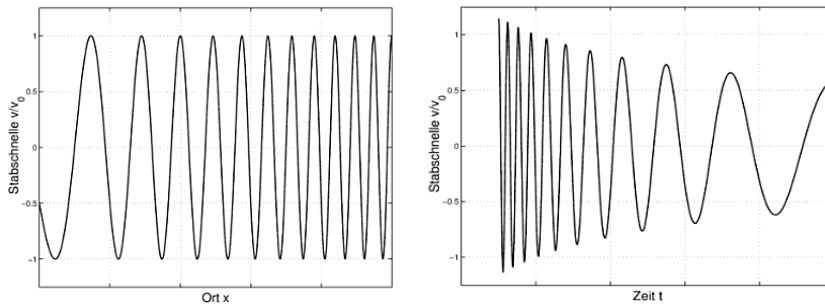


Abb. 5: Schnelle-Impulsantwort von Stäben. Links: Ortsverlauf für feste Zeit. Rechts: Zeitverlauf an einem festen Ort, [2] S.106

Durch die Dispersion der BiegeWellen in Stäben kann die BiegeWellenausbreitungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft kleiner, gleich oder größer sein.

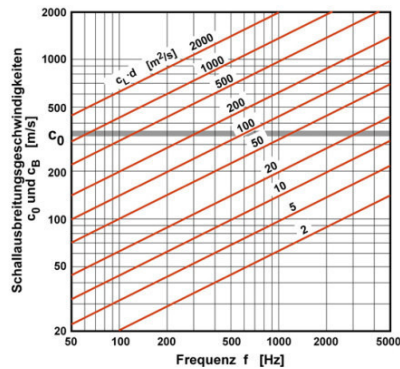


Abb. 6: Dispersion der BiegeWellen in plattenförmigen Bauteilen [1]

Abbildung 6 zeigt die Dispersion von BiegeWellen, d.h. das Anwachsen der BiegeWellengeschwindigkeit mit zunehmender Frequenz. Als Parameter dient dabei das Produkt aus Longitudinalgeschwindigkeit und Plattendicke.

1.1.1.4 Rayleigh-Wellen

Eine andere Wellenart ist die Rayleigh-Welle. Rayleigh-Wellen sind leicht anregbare Oberflächenwellen und treten an spannungsfreien, nicht fest eingespannten Oberflächen in Form einer freien Schwingung auf. Bei den Oberflächenwellen ist die Rayleigh-Welle die dominierende Wellenart da sie eine geringe geometrische Ausbreitungsdämpfung besitzt und bei bodendynamischen Untersuchungen eine besondere Rolle spielt. Die Rayleigh-Welle ist von der Poissonzahl abhängig und kann über ihre Kombination aus wirbel- und quellenfreien Anteilen beschrieben werden. Für ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit c_R gilt

$$c_R = c_T \frac{0,874 + 1,12\mu}{1 + \mu} \quad [3] . \quad (6)$$

c_T - Transversalwellengeschwindigkeit [m/s]

μ - Querkontraktionszahl

Für typische Materialien wie Stahl oder Beton nimmt die Geschwindigkeit im Abstand einer Wellenlänge um ca. 20% bis 30% ab und ist frequenzunabhängig. Die Bewegungsamplitude klingt exponentiell in Richtung des Körperinneren ab. Bei Rayleigh-Wellen rollt die Materialoberfläche in einer gegenläufig (retrograden) elliptischen Bewegung ähnlich wie Meereswellen. Dieses Rollen bewegt das Material sowohl auf und ab als auch hin und her in Ausbreitungsrichtung der Welle (Abb. 7). Die Ausbreitungsgeschwindigkeit beträgt etwa 700–4000 m/s. Die meisten Erschütterungen, die zum Beispiel bei einem Erdbeben gespürt werden, sind in der Regel Rayleigh-Wellen, deren Amplituden viel größer als die der übrigen Wellenarten werden können. Die zerstörerische Wirkung von Erdbeben geht daher weitgehend auf diesen Wellentyp zurück.

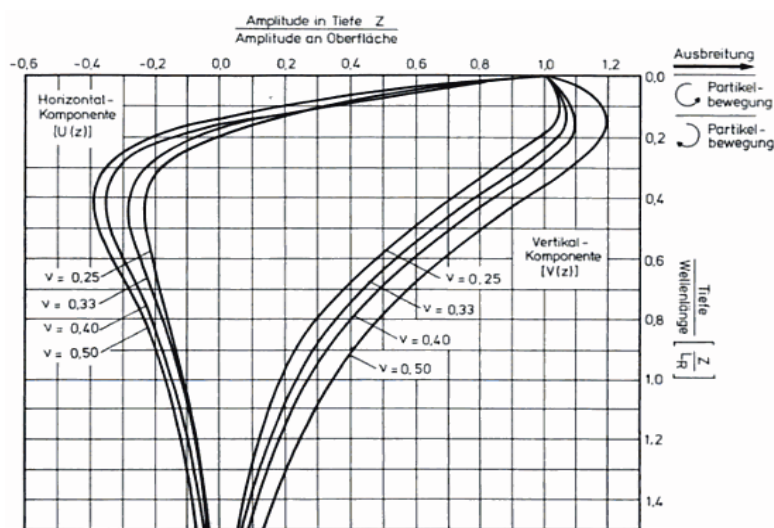


Abb. 7: Normalisierte Amplituden in Abhängigkeit der Tiefe für Rayleigh-Wellen (nach Richart et al. 1970) [4] S.43

1.1.2 Schallübertragung

Zur Beschreibung der vorliegenden Situation werden zwei Mechanismen unterschieden. Zum Einen der Luftschalldurchgang durch ein Hindernis (Trennwand) und zum Anderen die Einleitung von Körperschall in ein Hindernis und dessen Abstrahlung als Luftschall.

1.1.2.1 Schalldurchgang

Der Schalldurchgang entsteht durch das Eintreffen einer Schallwelle auf ein Hindernis und die in der Welle enthaltene Energie wird in verschiedene Anteile zerlegt (Gl. 7). Zum Einen werden Anteile der eintreffenden Welle reflektiert und ein weiterer Teil durch das Hindernis absorbiert. Der absorbierte Anteil ist weiter unterteilbar. Durch die Einleitung in das Hindernis kommt es zum Verlust durch Ableitung als Körperschall in angrenzende Bauteile und zu Verlust durch Umwandlung in Wärmeenergie. Das Hindernis strahlt, durch die Anregung von außen, Energie als Luftschall ab. Dies ist die so genannte Transmission. Es lässt sich eine Gesamtleistungsbilanz erstellen, die wie folgt lautet

$$P_1 = P_1\delta + P_1\tau + P_1\rho \quad (7)$$

P_1 - eingespeiste Leistung [W]

δ - Übergang in Wärme

ρ - Reflexionsgrad

τ - Transmissionsgrad

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich wenn der Schall als Körperschall direkt in das Hindernis eingeleitet und als Luftschall abgestrahlt wird. Das Verhältnis der Leistungsanteile in Gl. 7 ist stark abhängig von der flächenbezogenen Masse, der Biegesteifigkeit, der Abmessungen, der Materialdämpfung und den Einspannbedingungen des Bauteils. Außerdem wird das Abstrahlverhalten durch die Nebenwegübertragung auf flankierende Bauteile beeinflusst.

1.1.2.2 Abstrahlung von Körperschall durch eine Platte

Bei plattenförmigen Körpern ist die Abstrahlung abhängig von λ_B/λ_0 , Biegewellenlänge/Luftschallwellenlänge, von der Anregungsart, Randeinspannungen und möglichen Diskontinuitäten im Material. Die Biegewellenlänge und Schallwellenlänge haben

verschiedene Frequenzabhängigkeiten. Daraus resultiert, dass $\lambda_B = \lambda_0$ einer bestimmten Grenzfrequenz f_G (Kap. 2.1.2.1) entspricht. Für Abschätzungen der Abstrahlung von BiegeWellen unterhalb der Grenzfrequenz kann von einer vereinfachten Vorstellung ausgegangen werden. Die Luft vor der Platte wird nicht komprimiert, sondern zwischen Wellenberg und Wellental hin und her geschoben. Das ist der hydrodynamische Kurzschluss. In der Nähe der Platte wird ein Schalldruck erzeugt, der mit zunehmendem Abstand von dieser schnell abnimmt. Da keine Kompression der Luft stattfindet, kommt es auch zu keiner Abstrahlung der Schallleistung ins Fernfeld. Der Abstrahlgrad σ beschreibt eben diese Vorgänge. Er wird aus dem Verhältnis der Schallleistung, die von einer schwingenden Platte real abgestrahlt wird, zur fiktiven Schallleistung, die von derselben Fläche konphas als ebene Welle abgestrahlt wird, bestimmt. Es kommt zum Akustischen Kurzschluss bei $\lambda_B < \lambda_0$ und zur Abstrahlung wenn $\lambda_B > \lambda_0$. Mögliche Quellen der abgestrahlten Schallleistung sind in diesem Fall die Gebiete am Rand, an der Anregerstelle und an Diskontinuitäten, bei denen kein anschließendes Bauteil für den hydrodynamischen Kurzschluss zur Verfügung steht [5] S.327. Der Übergang von Schallwellen in Festkörpern auf Fluide kann über die Gl. 8 beschrieben werden.

$$G = \frac{E_s(1-2\mu)}{2-2\mu} \quad (8)$$

- G - Schubmodul [Pa]
 E_s - Kompressionsmodul [Pa]
 μ - Querkontraktionszahl

Für Fluide nimmt die Querkontraktionszahl μ Werte von 0,5 an, die Schubsteife G verschwindet damit, und Schubkräfte können nicht mehr übertragen werden. Die Wellengeschwindigkeit c_T der Transversalwellen wird damit zu Null (Gl. 3). Das Schallfeld in Gasen und Flüssigkeiten ist somit ausschließlich aus Longitudinalwellen, das in Festkörpern mit Schubsteife über Longitudinal- und Transversalwellen bestimmt.

1.1.2.3 BiegeWellenausbreitung auf Platten

Die 2-dimensionale BiegeWellengleichung für die homogene Platte lautet

$$\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 v}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 v}{\partial y^4} - \frac{m'''}{B'} \omega^2 v = \frac{j \omega p}{B'}. \quad (9)$$

- v - Schallschnelle [m/s]

Mit

$$m' = \rho h \quad (10)$$

h - Dicke der Platte [m]

ρ - Dichte der Platte [kg/m³]

und

$$B' = \frac{E}{(1-\mu^2)} \frac{h^3}{12} \quad (11)$$

Da Plattenvolumenelemente etwas steifer sind als Stabelemente wird die Querkontraktionszahl μ eingeführt. Stäbe haben die Möglichkeit, dass die Materialien bei Biegebeanspruchung zur Seite ausweichen können. Dies entfällt bei Platten. Je nach Material gilt für die Querkontraktionszahl $\mu < 0,5$. Bei $\mu^2 \ll 1$ kann der Term μ^2 vernachlässigt werden, da es im Rahmen der Genauigkeit kaum noch eine Rolle spielt. Bei der eindimensionalen Wellenausbreitung, angeregt durch eine auftreffende Schallwelle, ergibt sich aus Gl. (9) die Biegewellengleichung zu

$$\frac{1}{k_B^4} \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} - v = \frac{j p_a}{m' \omega} \quad (12)$$

k_B - Biegewellenkennzahl

mit

$$k_B^4 = \frac{m'}{B'} \omega^2 \quad (13)$$

Dabei entstehen die gleichen Abhängigkeiten für freie Biegewellen wie beim Stab (Kap. 1.1.1.3). Wie bei Stäben ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen frequenzabhängig und es kommt auch hier zur Dispersion. Der Quotient m'/B' wird bei praktischen Berechnungen durch überschaubarere Angaben ersetzt und $\mu^2 \ll 1$ wird vernachlässigt.

$$\frac{m'}{B'} = \frac{\rho h 12}{E h^3} = \frac{12}{c_L^2 h^2} \quad (14)$$

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (15)$$

Die Longitudinalwellengeschwindigkeit c_L dient häufig der Beschreibung akustischer Eigenschaften von Platten. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Biegewellenlänge erhält man leicht handhabbare Gleichungen:

$$c_B \approx 1,35\sqrt{hc_L f} \quad (16)$$

und

$$\lambda_B \approx 1,35\sqrt{\frac{hc_L}{f}}. \quad (17)$$

1.1.2.4 Die Impedanz

Als Impedanz werden die Widerstände, die der Ausbreitung von Wellen in einem bestimmten Umfeld entgegenwirken, zusammengefasst. Hindernisse, Übergänge zu anderen Ausbreitungsmedien, Eigenschaften eines Ausbreitungsmediums, Gegenstände und Flächen mit bestimmten akustischen Eigenschaften haben Einfluss auf die Impedanz. Die Impedanz ist eine komplexe Größe und setzt sich aus der Resistanz (Realteil) und der Reaktanz (Imaginärteil) zusammen.

$$Z = R + iX \quad (18)$$

Den Kehrwert der Impedanz bezeichnet man als Admittanz. Besitzen Materialien einen großen Impedanzunterschied, wird der meiste Teil der auftreffenden Schallenergie an der Grenzfläche reflektiert. Bei geringem Impedanzunterschied kommt es zur Transmission der Schallwellen. Die Feldimpedanz ist je nach Medium (z. B. Wasser, Luft) verschieden, dadurch wird beim Auftreffen auf eine Grenzfläche (z. B. von Luft auf Wasser) je nach Impedanzunterschied der Medien ein Teil der Schallenergie reflektiert und ein Teil durchgelassen. Grundsätzlich werden drei Impedanzdefinitionen in der Akustik angewendet. Die für diese Arbeit relevanten zwei Definitionen sind im Folgenden näher erklärt.

1.1.2.4.1 Akustische Feldimpedanz

Die Feldimpedanz Z_F wird auch als Schallkennimpedanz bezeichnet und beschreibt den Widerstand im freien Schallfeld, der der Schallausbreitung entgegengesetzt wird. Diese ergibt sich zu:

$$\underline{Z}_F = \frac{\underline{p}}{\underline{v}} \quad (19)$$

Hierbei sind die Feldimpedanz, Schalldruck und Schallschnelle komplexe Größen, die von der Frequenz f und dem Phasenwinkel φ abhängig sind. Befinden sich Schalldruck p und Schallschnelle v in Phase so ist die Feldimpedanz eine reelle Größe. Im freien Schallfeld (ebene Welle) wird die Feldimpedanz durch das Ausbreitungsmedium und seine Eigenschaften bestimmt:

$$Z_F = \rho c \quad (20)$$

1.1.2.4.2 Mechanische Impedanz

Diese Definition wird benutzt, um für mechanische Schwingungen den Widerstand zu beschreiben, der einer Schwingungsausbreitung entgegengesetzt wird.

$$\underline{Z}_M = \frac{\underline{F}}{\underline{v}} \quad (21)$$

Mechanische Impedanz, Kraft und Geschwindigkeit sind abhängig von der Frequenz und vom Phasenwinkel und werden als komplexe Größen beschrieben. Die Mechanische Impedanz ist eine reelle Größe wenn Kraft F und Geschwindigkeit in Phase sind.

1.1.3 Körperschallausbreitung im Boden

1.1.3.1 Übertragungen von Erschütterungen im Boden

Erschütterungen sind tieffrequente Schwingungen in Festkörpern mit belästigender oder schädigender Wirkung auf den Menschen und seine Umwelt. Eine Abgrenzung zwischen Erschütterung und Körperschall ist nicht möglich, da der Übergang fließend erfolgt. Zur Erfassung und Prognose werden je nach Frequenzbereich verschiedene Verfahren eingesetzt. Zur Abschätzung der Erschütterungsausbreitung gibt es eine Reihe von Untersuchungen, die zu dem Schluss kommen, dass diese

Prognoserechnungen wesentlich komplexer sind als beim Luftschall. Ursachen dafür sind die unterschiedliche Zusammensetzung der Boden und Gesteinsschichten, wobei Störungen in einheitlichen Gesteinsschichten ebenso auftreten können, wie die Tatsache, dass mehrere verschiedene Wellenarten auftreten können. Weitere Probleme bei Prognosen von Erschütterungen stellt die Ankopplung von Gebäuden an das Erdreich dar. Grundsätzlich könnte die Ausbreitung mit Hilfe der Elastizitätstheorie, Finite-Elemente-Methode, untersucht werden. Dazu müssten allerdings die genaue Zusammensetzung, wie Materialeigenschaften und Geometrie der einzelnen Bodenschichten, bekannt sein. Durch eine Verkettung ungünstiger Umstände kann es dazu führen, dass es zu einer deutlichen Verstärkung der durch künstlich erzeugte Erschütterungen im Boden angeregten Schwingungen kommt. Dies ist der Fall wenn typische Anregemaxima mit Eigenresonanzen der Gebäudebauteile zusammenfallen. Ausbreitungsvorgänge im Boden werden in der Regel über die Lamésche Gleichung (Gl. 22) [2] beschrieben.

$$G \left(\Delta \zeta + \frac{1}{1-2\mu} \operatorname{graddiv} \zeta \right) = \rho \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} \quad (22)$$

ζ - zeitliche und örtliche Änderung der Ruhegröße eines Teilchens

Der Boden wird als linear-elastisch isotropes Kontinuum dargestellt und zur Beschreibung in der Bodendynamik werden das Schubmodul und die Poissonzahl μ verwendet. Danach existieren in einem unbegrenztem Vollraum nur zwei Wellenarten: Kompressionswellen, auch Longitudinalwellen genannt, und Scherwellen, auch als Transversalwellen bekannt. An Schichtgrenzen und Oberflächen treten weitere Wellenarten auf, die im Kapitel 1.1.1 erläutert sind. Von besonderer Bedeutung sind hier die Rayleigh-Wellen (siehe Kap. 1.1.1.4). Über Gleichung (22) kann für Scherwellen in porösen, gesättigten und elastischen Materialien folgende Gleichung (Gl. 23) [4] S. 47 aufgestellt

$$G \nabla^2 \bar{\omega} = \left(\bar{\rho} + \frac{\rho^* \rho_A}{\rho^* + \rho_A} \right) \frac{\partial^2 \bar{\omega}}{\partial t^2} \quad (23)$$

ρ^* - Dichte der Flüssigkeit

$\bar{\rho}$ - Dichte der elastischen Struktur

ρ_A - Dichte einer zusätzlichen fiktiven Masse, welche die Koppelung zw.

Flüssigkeit und Struktur berücksichtigt

und darüber die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Wellenart ermittelt werden.

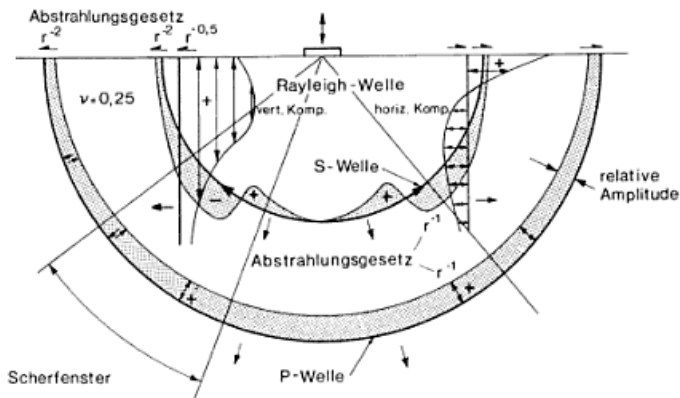


Abb. 8: Wellenausbreitung an einem vertikal schwingenden Kreisfundament auf elastischem Halbraum (Miller und Pursey 1954), [4] S.176

Mit Hilfe der in Abb. 8 dargestellten Wellenarten lassen sich alle dynamischen Vorgänge in einem unendlich ausgedehnten und horizontal geschichteten elastisch-isotropen Kontinuum darstellen [2] S. 789. Mit Hilfe von Wellenzahlen, die in die Koordinaten k_x, k_y und der Kreisfrequenz ω eingeteilt sind, kann die resultierende Wellenkennzahl an der Oberfläche bestimmt werden. Diese beträgt:

$$k_0^2 = k_x^2 + k_y^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \right)^2. \quad (24)$$

Damit kann abgeschätzt werden, welche Ausbreitungscharakteristik im Boden vorliegt. Es können drei Fälle unterschieden werden:

1. Fall: Die Wellenlänge λ_0 an der Oberfläche ist größer als die Wellenlänge der Longitudinalwelle. Es werden nur Raumwellen erzeugt.
2. Fall: Die Wellenlänge λ_0 an der Oberfläche ist größer als die Wellenlänge der Transversalwelle, aber kleiner als die Longitudinalwellenlänge. Es folgt eine Überlagerung aus einer Oberflächenwelle und einer Raumwelle im Boden. Dämpfung ist geringer als im 1. Fall und größer als im 3. Fall
3. Fall: Die Wellenlänge an der Oberfläche ist kleiner als die der Transversalwelle und somit kleiner als die der Longitudinalwellenlänge. Es werden nur Oberflächenwellen abgestrahlt.

Mit Hilfe der Transversal- und Longitudinalwellengeschwindigkeit, der Kreisfrequenz und der Wellenkennzahl lässt sich die mechanische Impedanz von Böden berechnen (Gl. 25) und mit anderen Materialien und typischen Gebäudeimpedanzen vergleichen.

$$Z(k_0, \omega) = \frac{G \left[\left(\left(\frac{\omega}{c_T} \right)^2 - 2k_0^2 \right)^2 + 4k_0^2 \sqrt{\left(\frac{\omega}{c_T} \right)^2 - k_0^2} \sqrt{\left(\frac{\omega}{c_L} \right)^2 - k_0^2} \right]}{\omega \left(\frac{\omega}{c_T} \right)^2 \sqrt{\left(\frac{\omega}{c_L} \right)^2 - k_0^2}} \quad (25)$$

Bei geschichteten Böden und mit Hilfe von entsprechenden Admittanzfunktionen können Übergangsbedingungen einfach formuliert werden. Bei dynamischen Untersuchungen kann man sich auf die obersten Bodenschichten beschränken, da die dominierenden Oberflächenwellen bei höherfrequenter Anregung an der Schichtgrenze fast ganz abgeklungen sind. Ein solches Abklingverhalten ist in Abb. 7 (Kap. 1.1.1.4) dargestellt. Die Größe der durch den Boden weitergeleiteten Schwingungen nimmt mit zunehmender Entfernung von der Erschütterungsquelle ab. Diese Abnahme wird im Wesentlichen durch die geometrische Amplitudenabnahme und die Materialdämpfung des Bodens bestimmt. Im Fernfeld ($R_2 > R_1$) wird die Abnahme der Amplitude der Schwinggeschwindigkeit \bar{v} näherungsweise beschrieben durch

$$\bar{v} = \bar{v}_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{-n} e^{[-\alpha(R-R_1)]}. \quad (26)$$

α - Abklingkoeffizient [m^{-1}]; $\alpha \approx 2\pi D / \lambda$

D - Dämpfungsgrad

Dabei ist

$$R_1 = \frac{a}{2} + \lambda_R. \quad (27)$$

R_1 - Bezugsabstand [m]

a - Abmessung der Erschütterungsquelle parallel zur Ausbreitungsrichtung [m]

λ_R - Wellenlänge der Oberflächenwelle [m]

Mit wachsender Entfernung zur Erschütterungsquelle und durch die Verminderung der Energiedichte kommt es zur entsprechenden Amplitudenabnahme $(R_2 / R_1)^{-n}$. Der

Exponent n ist abhängig vom geometrischen Quellentyp (Punktquelle (PQ) oder der Linienquelle (LQ)), vom zeitlichen Quellentyp (harmonisch/stationär (HS) oder impulsförmig (I)) und von der Wellenart (Raumwelle (R) oder Oberflächenwelle (O)). In Abb. 9 ist die Abnahme der Schwingungsamplitude dargestellt.

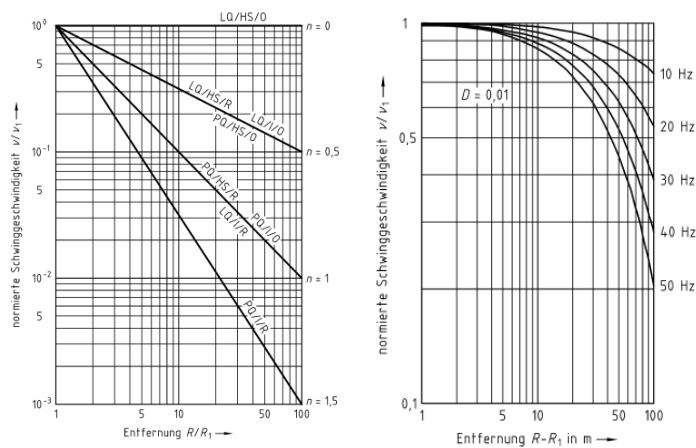


Abb. 9: links: Geometrische Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung; rechts: Anteil der Absorption der Schwingungsenergie im Boden an der Abnahme der Schwingungsamplitude mit der Entfernung in Abhängigkeit von der Frequenz für $D = 0,01$ und $c_s = 200\text{m/s}$ [6] S.6/7

Es können jedoch Abweichungen von der Näherung, Abb. 9 links, durch starke Gliederung des Bodens, vorhandene Bebauung, Geländesprünge und das Zusammenwirken mehrerer Erschütterungsquellen auftreten. Die angegebenen Grenzkurven werden daher als Anhalt genommen. Eine zusätzliche Minderung der Amplituden durch Materialdämpfung im Boden ist frequenzabhängig. Der Exponent $[-\alpha(R_2 - R_1)]$ (Gl. 26) berücksichtigt diese Dämpfung. Aus der Definition geht hervor, dass höherfrequente Schwingungen stärker gedämpft werden als tieffrequente Abb. 9 rechts [6] S. 4.

1.1.3.2 Erschütterungseinleitungen in Gebäude

Bei der Erschütterungseinleitung vom Boden auf das Bauwerk wird im Allgemeinen mit einer deutlichen Abnahme der Erschütterungsintensität gerechnet. Die Masse des Gebäudes spielt dabei eine große Rolle, da schwere Gebäude weniger stark angeregt werden. Durch die Elastizität des Baugrunds und die Gebäudemasse in Abhängigkeit von den Grundrissabmessungen im Verhältnis zu relevanten Wellenlängen werden Erschütterungen beim Übergang vom Boden auf das Fundament von Gebäuden, verändert. Die Übertragung der Erschütterungen ist stark frequenzabhängig und bei tiefen Frequenzen sind die Verluste sehr klein, zum Teil sind sogar Verstärkungen möglich. Bei höheren Frequenzen sind Amplitudenreduktionen bis zu 40%

möglich [4] S.127. Für harmonische Schwingungen in vertikaler Richtung und in unteren Frequenzbereichen können Wechselwirkungen durch die Übertragungsfunktion von Einmassen-Schwingern beschrieben werden, dessen Eigenfrequenz f_B gegeben ist durch

$$f_B = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{BU}}{m_B}} \quad [6]. \quad (28)$$

k_{BU} - Federsteifigkeit Untergrund

m_B - Gebäudemasse

Der Untergrund und die Gebäudemasse sind als phasengleich schwingend anzunehmen. Bei einer Scherwellengeschwindigkeit von $c_s=150$ bis 200 m/s ergeben sich folgende Eigenfrequenzen [6] S. 8.:

- 1- bis 2-geschossige Bauwerke: ≈ 15 Hz
- 2- bis 6-geschossige Bauwerke: ≈ 8 bis 12 Hz
- Bauwerke mit mehr als 6 Geschossen: < 8 Hz

Der maximale Übertragungswert V_F ergibt sich aus

$$V_F = \frac{1}{(2D_0)} \quad [6]. \quad (29)$$

D_0 - Systemdämpfung des Ersatzsystems „Bauwerk auf dem Boden“

Für Lockergestein darf diese mit mindestens $D_0 = 0,25$ angesetzt werden [7]. Für stark geschichtete, weiche oder felsige Böden ist D_0 im Einzelnen nachzuweisen.

1.2 Auftreten tieffrequenter Geräusche in der Umwelt

Emittenten von tieffrequentem Schall können unterschiedlicher Natur sein und werden in zwei Kategorien eingeteilt: in natürliche und künstliche Quellen.

1.2.1 Natürliche und künstliche Schallquellen

Bei natürlichen Quellen handelt es sich zum Beispiel um Wasserfälle und Meeresbrandung, um starke Windströmungen und Luftturbulenzen sowie um Vulkanausbrüche und Erdbeben. Dieser Schall kann sich in der Luft und im Boden mehrere tausend Kilometer weit ausbreiten und er besitzt zudem Infraschallanteile, deren Frequenzen unter 20 Hz liegen. Als Beispiel sei hier der Fallwind (Föhn) in Gebirgen genannt, der Frequenzen zwischen 0,01-0,1 Hz aufweist [8]. Dem gegenüber stehen künstliche Quellen, die vor allem in städtischer Umgebung überall anzutreffen sind. Darunter zählen:

- maschinenbetriebene Nutzgeräte wie Waschmaschinen, Gasturbinen oder Kompressoren und Pumpen
- Fahrzeuge aller Art (Bahn, Schiff, Flugzeug)
- Bauwerke wie Brücken, Hochhäuser oder Tunnel, die durch mechanische Einwirkung zu Schwingungen angeregt werden
- Beschallungsanlagen
- Sprengungen und Geschütze

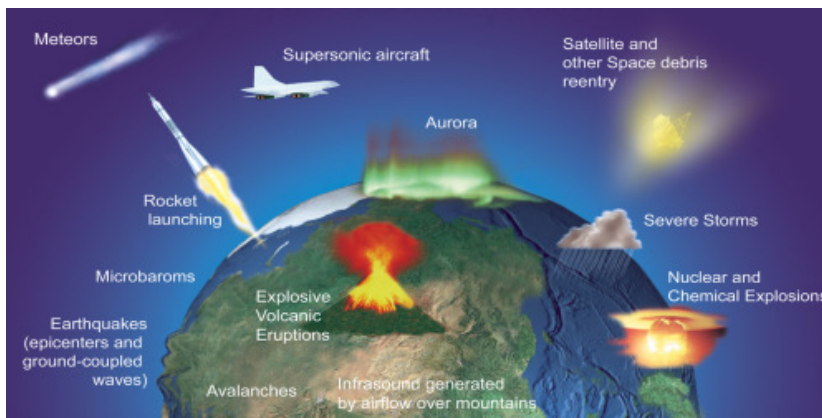


Abb. 10: Beispiele für natürliche und künstliche Schallquellen [8]

In der DIN 4150-1 werden weitere relevante Erschütterungsquellen mit Angaben zu Entstehungsmechanismen und Übertragung von Erschütterungen mit Beispielen aus der

Praxis, für die repräsentative Messergebnisse vorliegen, aufgezählt und beschrieben (siehe Kap. 1.2.2).

1.2.2 Anregung des Erdbodens durch Maschinenbetrieb

1.2.2.1 Allgemeine Betrachtungen

Für Anregungen aus Maschinenbetrieb gelten in der Regel die folgenden Aussagen [6] S. 13:

- Maschinen können einzeln oder in Gruppen innerhalb von Industrie- oder Gewerbeanlagen aufgestellt sein.
- Die Aufstellungsart beeinflusst stark das Emissionsverhalten. Die Aufstellungsart ist zu unterscheiden nach Aufstellung auf der Bauwerksfundamentplatte, auf getrennten Einzelfundamenten, auf Gebäudedecken oder auf schwingungsisolierenden Unterstützungen.
- Die Charakteristik der Anregung hängt von der Funktion und der Konstruktion der Maschine ab. Sie reicht von starken stoßartigen Anregungen bis zu geringen periodischen Anregungen.
- Betriebszeit und Betriebsdauer werden in erster Linie von wirtschaftlichen und produktionstechnischen Gesichtspunkten bestimmt und sind damit nur gering beeinflussbar.

Die Grundfrequenzen von breitbandigen Anregungsspektren sind durch die Drehzahl des Maschinenantriebs oder durch die Taktzahlen der sich bewegenden Maschinenteile bestimmt. Maschinen, bei denen die Bewegungsabläufe gleichmäßig, nahezu harmonisch erfolgen, weisen ein Anregungsspektrum mit deutlich erkennbarer Grundfrequenz und getrennten harmonischen Vielfachen auf. Je harmonischer der Bewegungsablauf ist, desto schmalbandiger wird das Spektrum. Die Anregungsspektren von Maschinen mit stoßartigen Bewegungsvorgängen sind meist dichter besetzt mit nicht so klar getrennten Einzelspektrallinien. Je kürzer die Stoßdauer ist, desto breiter wird das Frequenzband [6] S.13.

1.2.2.2 Maschinsäle

In der Umgebung von Maschinsälen können Erschütterungen auftreten, die mit einer mehr oder weniger großen Anzahl häufig gleichartiger arbeitender Maschinen bestückt sind. Die Maschinen in derartigen Maschinsälen sind meistens auf einer

gemeinsamen Stahlbeton-Bodenplatte oder auf einer Geschossdeckenplatte aufgestellt. Diese Erregungen können als stationär angesehen werden. Abschalten und Wiederhinzuschalten einzelner Maschinen beeinträchtigen diese Einstufung nur dann, wenn insgesamt nur wenige Maschinen im Maschinensaal betrieben werden. Bei dieser Art der Anregung des Bodens ist auf Schwebungen zu achten. Der Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit v_N auf dem Erdboden außerhalb des Maschinensaals im Beobachtungspunkt lässt sich annähernd nach Gl.30 abschätzen:

$$v_N = \kappa v_B N^{0,5} \quad (30)$$

v_N - Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit auf dem Erdboden außerhalb des Maschinensaals

κ - Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Maschinen

N - Anzahl der Maschinen

v_B - gemessener Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit beim Lauf von N_B Maschinen

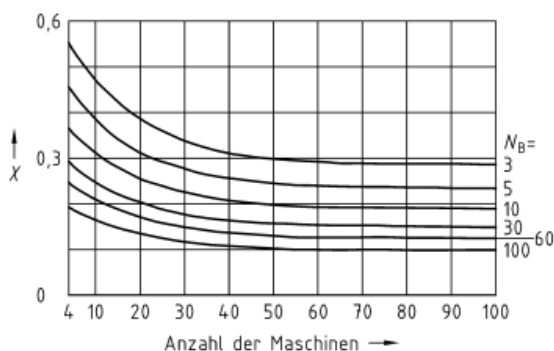


Abb. 11: Korrekturfaktor κ [6] S.14

κ ist der Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Maschinen und von der Anzahl der laufenden Maschinen (Abb.11). Bodenplatten, die auf dem Erdboden aufliegen, stellen flächenförmige Erregerquellen dar. Daher treten Resonanzschwingungen wegen der Schwingungsenergieabstrahlung in den Untergrund nur untergeordnet auf. Die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit, von einem Referenzpunkt außerhalb dieser Fläche ausgehend, kann nach den Gesetzmäßigkeiten einer räumlich begrenzten Linienquelle abgeschätzt werden (siehe Kap. 1.1.3.1).

1.2.2.3 Möglichkeiten zur Detektierung der betreffenden Körperschallsignalanteile

Zur Körperschallmessung sind in der Regel mechanische Körperschallaufnehmer im Einsatz. Es gibt jedoch noch weitere Verfahren, wie die Laserinterferometrie, mit denen

sich die Oberflächenbeschleunigung von sich bewegenden Körpern messen und darstellen lässt. Dies sind jedoch Systeme bei denen nur die Stärke der Erschütterung und nicht der Standort der betreffenden Körperschallquelle festgestellt werden kann. Zur Ortung dieser Signale kann man auf das System der Triangulation zurückgreifen, das in der Seismik bei Erdbebenerschütterungen angewandt wird. Dabei sind Messungen erforderlich, deren Messpunkte auf einer Karte erfasst und nach der Stärke der Beschleunigung oder Amplitude ausgewertet werden können. Somit ergibt sich ein Raster und der Standort der Quelle ist erfasst.

1.3 Auswirkungen auf Personen

1.3.1 Problemstellung

Betroffene Personen, die einer tieffrequenten Lärmeinwirkung ausgesetzt sind, berichten häufig von allgemeinem Unwohlsein. Neben den rein technischen und physiologischen Aspekten spielen auch soziale und psychologische Faktoren eine wichtige Rolle, z. B. die persönliche Einstellung zur Erschütterungs- oder Lärmquelle.

Der menschliche Körper reagiert auf ganz verschiedene Art und Weise auf Schall- und Erschütterungseinwirkungen aus seiner Umwelt. Organe und Gliedmaßen weisen spezifische Resonanzen in einem Frequenzbereich von 3 bis 100 Hz auf und diese führen in Folge von anhaltenden Expositionen zu gesundheitlichen Auswirkungen. Dies kann sein: Übelkeit, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten, Schlafstörungen, Kopfschmerzen, permanentes Druckgefühl und Beeinträchtigung der Atmung bei sehr hohen Pegeln.

1.3.2 Wahrnehmung und Wirkung

Tieffrequente Geräuschemissionen in der Nachbarschaft führen zum Teil auch dann zu Klagen und Beschwerden, wenn die anzuwendenden Beurteilungskriterien nach den eingeführten Regelwerken (z.B. TA Lärm) eingehalten sind. Untersuchungen zeigten, dass die Wahrnehmung und Wirkung tieffrequenter Geräusche deutlich von der Wahrnehmung und Wirkung mittel- oder hochfrequenter, schmal- oder breitbandiger Geräusche abweichen.

Im Frequenzbereich unter 20 Hz (Infraschall)

- besteht keine ausgeprägte Hörempfindung mehr, weil die Tonhöhenempfindung fehlt. Jedoch ist Infraschall nicht prinzipiell unhörbar! Die Hörschwelle wurde bis zu etwa 1 Hz gemessen [9]. Überschwellige Immissionen werden überwiegend als Pulsationen und Vibrationen wahrgenommen.
- Betroffene spüren einen Ohrendruck und klagen vielfach über Unsicherheitsgefühle. Als spezielle Wirkung ist bei Infraschall eine Herabsetzung der Atemfrequenz bekannt.
- Sekundäreffekte sind häufige Ursachen starker Belästigungen (Rütteln von Fenstern und Türen oder Gläserklirren, spürbare Vibrationen von Gebäudeteilen und Gegenständen).

Im Frequenzbereich von 20 Hz bis etwa 60 Hz

- sind die Geräusche bei entsprechenden Pegeln hörbar, jedoch ist die Tonhöhenempfindung nur sehr schwach ausgeprägt. Vielfach sind Schwebungen wahrzunehmen.
- die Betroffenen klagen oft über ein im Kopf auftretendes Dröhn-, Schwingungs- oder Druckgefühl, das auf die Dauer als unerträglich beurteilt wird und das nur bedingt von der Lautstärke abhängig ist und bei stationären Geräuschemissionen zu starken Belästigungen führt.
- wie im Infraschallbereich können Sekundäreffekte auftreten, die Belästigungen hervorrufen.

Im Frequenzbereich ab 60 Hz

- findet der Übergang zu normalen Tonhöhen- und Geräuschempfindungen statt.
- die Geräusche sind besonders belästigend, wenn sie tonhaltig sind.
- Sekundäreffekte sind unbedeutend.

Im Wohnbereich können tieffrequente Geräusche insbesondere zu Zeiten, wenn andere Geräuschbelastungen niedrig sind, schon dann zu erheblichen Belästigungen führen, wenn sie gerade wahrgenommen werden. In Wohn- und Arbeitsräumen normaler Größe können tieffrequente Eigenresonanzen angeregt werden. Es bauen sich stehende Wellen aus, indem sich durch Wandreflexion hin- und zurücklaufende Wellen überlagern und gegenseitig verstärken oder ganz bzw. teilweise aufheben. Dies führt zu sehr starken Schalldruckpegelanhebungen an bestimmten Orten des Raumes. Es kommt zu einer starken Orts-, Frequenz- und Zeitabhängigkeit des Schallfeldes. Üblicherweise sind dabei die Schallpegel vor Wänden und in Raumecken besonders laut. Eine Ortung der Schallquelle, d.h. die Richtungsbestimmung, ist den Betroffenen nicht möglich. Zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche muss von den herkömmlichen Mess- und Bewertungsverfahren abgewichen werden! Dies betrifft vor allem den Messort und die Frequenzbewertung.

1.3.3 A-Bewertung

Das menschliche Ohr ist bei konstantem Schalldruck für mittlere Frequenzen (1000-4000 Hz) empfindlicher als für tiefe und sehr hohe Frequenzen [10]. Aufgrund internationaler Vereinbarungen wird heute für die meisten Messungen des Schalldruckpegels ein Schallpegelmessgerät mit einem Filter eingesetzt, dem A-

Bewertungsfilter, dessen Frequenzgang dem des menschlichen Gehörs für „leise“ Töne ähnelt (Abb. 12).

„Durch die Verwendung des A-Bewertungsfilters wird eine Annäherung an die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Ohres bei „leisen“ Geräuschen erreicht. Da der A-Bewertungsfilter dieser Empfindung angepasst ist, sollte er insbesondere zur Beurteilung von „lauten“ tieffrequenten Geräuschmissionen nicht herangezogen werden, da eine Unterschätzung der Lautheit erfolgt“ [17]

In Deutschland wird zurzeit der „C-bewertete Schallpegel“ ergänzend verwendet (DIN 45680 [20]), der tieffrequente Geräusche im Frequenzbereich von etwa 10-80 Hz besser erfasst als die A-Bewertung (Abb. 12). Die DIN 45680 wird eingesetzt, wenn die Differenz zwischen dem A-bewerteten und C-bewerteten Schallpegel mindestens 20 dB beträgt. Die C-Bewertung schwächt den Signalanteil unterhalb 50 Hz ab und unterhalb 10 Hz in der Regel gar nicht berücksichtigt, daher ist auch der C-bewertete Schalldruckpegel nicht optimal zur Beurteilung von tieffrequentem Schall geeignet [11] [12]. Der C-bewertete Schallpegel hat sich jedoch vor allem für die Erfassung von tieffrequentem Schall in der Praxis (mit einer Kombination aus akustischen und mikroseismischen Messtechniken) als flexibel und wirkungsvoll erwiesen [13] S. 90-91. Dies verdeutlicht, dass es tieffrequente Belastungen gibt, die durch den A-Bewertungsfilter nicht erfasst werden. In Analogie zur A-Bewertung lässt dies aber vermuten, dass auch bei Anwendung des C-Bewertungsfilters unterhalb 50 Hz tieffrequente Belastungen existieren, die aufgrund seiner Schwächen unterschätzt werden. Im Frequenzbereich unter 20 Hz wird die G-Bewertung vorgeschlagen (ISO 7196, 1995), die bisher wenig Verwendung findet [12]. Sie legt zur Bewertung von Infraschallsignalen eine Frequenzgangkurve G fest, die nach Stand des Wissens die direkte Wahrnehmung von luftgeleitetem Infraschall repräsentiert. Die G-Bewertung berücksichtigt jedoch nicht die starke Annäherung der Kurven gleicher Lautstärke zu niedrigen Frequenzen. Dadurch ist eine wirkungsvolle Beurteilung erschwert. Es gibt Bestrebungen hier zu Fortschritten zu kommen, die allerdings bisher noch zu keinem tragfähigen Ergebnis geführt haben [14].

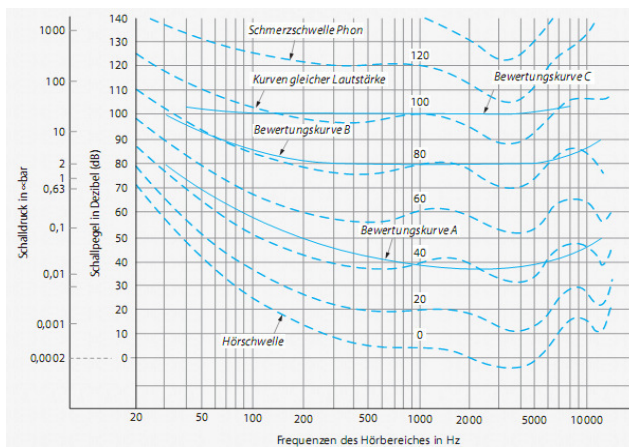


Abb. 12: Kurven gleicher Lautstärke und Frequenzbewertungskurven mit A-, B- und C-Bewertungsfilter [14] S. 1585

Bei tieffrequenten Geräuschemissionen und insbesondere bei Tonhaltigkeit können je nach Einwirkungsort und -zeit erhebliche Belästigungen bereits auftreten, wenn die Hörschwelle nur geringfügig überschritten ist. Wegen der unterschiedlichen Frequenzabhängigkeiten der A-Bewertungskurve einerseits und der Hörschwelle andererseits lässt sich anhand einer Einzahlangabe mit dem A-bewerteten Schalldruckpegel nicht sagen, ob und in welchem Umfang eine Hörschwellenüberschreitung vorliegt. Da die Bedeutung tiefer Frequenzen bei der in allen Immissions-Richtlinien weltweit vorgeschriebenen A-Bewertung, insbesondere bei höheren Schalldruckpegeln, nicht richtig zum Ausdruck kommt, sind zur gehörgerechten Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen ihre Terzpegel zu messen [18] (siehe Kap. 1.3.4 DIN 45680).

1.3.4 DIN 45680 [20]

In dieser Norm wird ein Verfahren zur Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in Gebäuden bei Luft oder Körperschallübertragung festgelegt. Dabei wird besonders auf den Bereich der tiefen Frequenzen eingegangen und Vorgehensweisen zur Problematik vorgeschlagen. Tieffrequenter Schall ist laut Definition, wenn seine vorherrschenden Energieanteile im Frequenzbereich unter 90 Hz liegen. Dies ist in der Regel der Fall, wenn $L_{CF} - L_{AF} > 20$ dB ist.

L_{CF} - Schalldruckpegel mit der Frequenzbewertung „C“ und Zeitbewertung „F“

L_{AF} - Schalldruckpegel mit der Frequenzbewertung „A“ und Zeitbewertung „F“

Der Bereich tiefer Frequenzen im Sinne dieser Norm umfasst die Terzbänder mit den Mittenfrequenzen von 10 Hz bis 80 Hz.

Nach dieser Norm wird eine erhebliche Belästigung bereits nach geringer Überschreitung eines Terzpegels, bezogen auf die Hörschwelle, angenommen. Die Differenzbildung unterschiedlicher Pegelbetrachtungen der Terzpegel nach der DIN 45680 ermöglicht eine bessere Beurteilung tieffrequenter Geräuschanteile. Pegelfluktuationen und zeitliche Muster im tieffrequenten Bereich bleiben weitestgehend unberücksichtigt. Allerdings können Störwirkungen tieffrequenter Geräusche auch unterhalb der Hörschwelle nicht ausgeschlossen werden und bedürfen einer weiteren Untersuchung.

2. Bauliche Gegebenheiten, Maschinen und Anlagen

2.1 Einfluss der Eigenschaften der Hauswände und der verwendeten Materialien im Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“

2.1.1 Ortsbeschreibung und verwendete Baumaterialien im Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“

Das Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“ liegt in einem Waldgebiet östlich von Niederwiesa/ Sachsen. Es befindet sich ca. 15m über dem angrenzenden Fluss Zschopau, der in ca. 60m Entfernung verläuft. Der Untergrund besteht aus verschiedenen Schichten. Die Deckschicht ist ca. 0,5 - 1m dicker Mutterboden, darunter befindet sich rotliegendes Schiefergestein, welches in der Region dominant ist (Abb. 13).

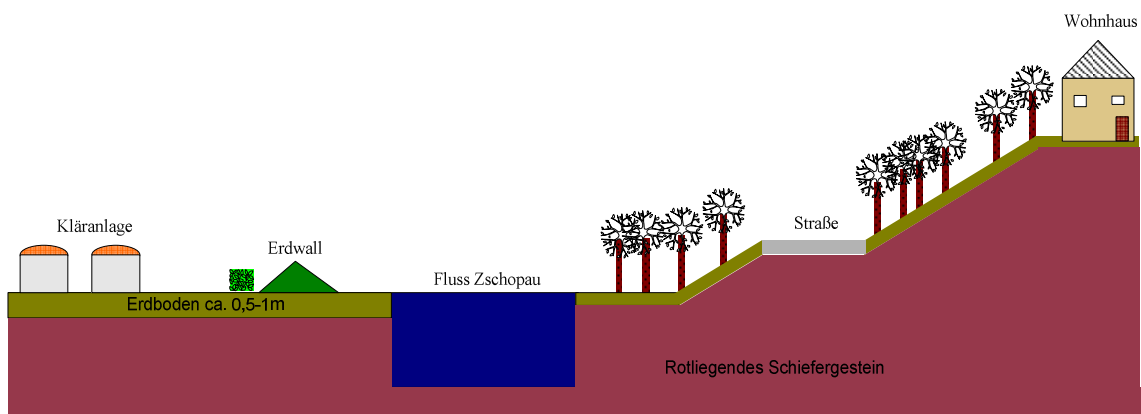


Abb. 13: Reliefansicht

Das Gebäude selbst steht am Hang, wurde 1998 komplett saniert, ist massiv gebaut und besteht aus Keller, 1. Obergeschoss und Dachgeschoss. Die Fundamente sind teilweise direkt mit dem Schiefergestein verbunden. Das Kellergeschoss besteht aus gemauerten Natursteinen (Original Außenwände) und gemauerten Ziegelwänden im Innenbereich. Die Stärke der Außenwände beträgt ca. 0,47m und ca. 1-2cm Putz auf Innen- und Außenseite. Die Decken bestehen aus Holzbalkendecken die mit Gipskarton verkleidet sind und die Fußböden sind mit Fliesen und Parkett ausgelegt. Das 1. Obergeschoss besteht aus den gleichen Materialien wie das Kellergeschoss. Das Dachgeschoss besteht nur im Innenbereich aus gemauerten Wänden und Ständerwänden mit Gipskarton. Das Dach ist ein Satteldach aus Holz.

2.1.2 Einfluss der Grenzfrequenzen, Eigenfrequenzen ausgewählter Wände und Eigenmoden im Wohnhaus

In dieser Arbeit wird ein Raum als Referenzraum zur Messung und Bestimmung der raumakustischen Eigenschaften des Wohnhauses „Zur Finkenmühle 5“ bestimmt. Es ist der im Plan (siehe Anhang A.1, Abb. 1 und 2) verzeichnete Raum C. Dieser besitzt annähernd kubische Raummaße und ist von der Begehrbarkeit am günstigsten gelegen.

2.1.2.1 Grenzfrequenzen

Die Grenzfrequenz einer einschaligen Wand (siehe 1.1.2.2) wird bestimmt aus

$$f_G = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m''}{B}} \quad (31)$$

Es ergibt sich daraus folgende empirische Gleichung

$$f_G = \frac{6,4 \cdot 10^4}{h} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \text{ Hz} \quad (32)$$

und beträgt für die Außenwand $Cw_1 f_G = 27 \text{ Hz}$.

Die Materialdaten sind in Tab. 1 enthalten.

Tabelle 1: Materialdaten der Wand Cw_1

Elastizitätsmodul $E \left[\frac{N}{m^2} \right]$	$60 \cdot 10^9$
Dichte $\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	2680
Dicke der Wand $h \left[m \right]$	0,5
Material	Naturstein

2.1.2.2 Eigenfrequenzen

Die Eigenfrequenz eines schwingfähigen Systems ist die Frequenz, mit der das System nach einmaliger Anregung schwingen kann. Bei Vernachlässigung der Dämpfung fallen die Eigenfrequenzen mit den Resonanzfrequenzen des Systems zusammen. Es gibt in solch einem System mehrere Eigenfrequenzen. Wenn diesem von außen Schwingungen aufgezwungen werden, deren Frequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt, reagiert das System mit besonders großen Amplituden, was man als Resonanz oder, wenn zerstörende Auswirkungen auftreten, Resonanzkatastrophe bezeichnet. Die Abmaße des betrachteten Raumes Cw_1 betragen $L = 6,81\text{m}$; $B = 4,74\text{m}$; $H = 3,14\text{m}$ (Länge; Breite; Höhe). Die Eigenfrequenzen der Wände ergeben sich aus folgenden Gleichungen

$$f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B'}{m''} \left[\left(\frac{n_a}{a} \right)^2 + \left(\frac{n_b}{b} \right)^2 \right]} \quad (33)$$

und

$$B' = \frac{E \cdot h^3}{12}. \quad (34)$$

In Tabelle 2 sind die resultierenden Eigenfrequenzen für die Außenwand Cw_1 abgebildet.

Tabelle 2: Resultierende Eigenfrequenzen der Außenwand Cw_1

Nr.	Eigenfrequenzen [Hz]	Nr.	Eigenfrequenzen [Hz]	Nr.	Eigenfrequenzen [Hz]
1	132,7	6	530,7	11	1008,0
2	202,5	7	647,0	12	1019,2
3	318,8	8	691,0	13	1077,8
4	460,9	9	809,9	14	1194,1
5	481,6	10	946,9	15	1275,1

2.1.2.3 Raumeigenmoden

Die Schallausbreitung in einem Raum bei tiefen Frequenzen wird durch seine Raumeigenmoden bestimmt. Es sind dreidimensionale stehende Wellen, die sich bei den charakteristischen Eigenfrequenzen des Raumes anregen lassen. Zu jeder Eigenmode gehört eine andere räumliche Schalldruckverteilung. Wird ein Schalldruckempfänger, wie z. B. ein Mikrofon, in einem Raum bewegt und bei einer solchen Eigenfrequenz angeregt, kann er stark schwankende Lautstärken wahrnehmen. Bei welchen Frequenzen diese Raumresonanzen auftreten und welche Schalldruckverteilung vorliegt, hängt von der Geometrie und der Größe des Raumes ab. Für rechteckige Räume lassen sich die Raumeigenmoden mit folgender Formel berechnen.

$$f_R = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L} \right)^2 + \left(\frac{n_y}{B} \right)^2 + \left(\frac{n_z}{H} \right)^2} \quad (35)$$

Für andere Raumformen werden aufwändige numerische Berechnungsverfahren benötigt. Um die Raumeigenmoden unterscheiden zu können, bedient man sich einer Kombination aus drei natürlichen Zahlen (n_x, n_y, n_z). Für eine gute Akustik in einem Raum sollten die Eigenfrequenzen gleichmäßig verteilt sein und keine Häufungen in der Nähe einer bestimmten Frequenz auftreten. Beispielsweise liegen dann die

Raumeigenmoden (2 0 0), (0 2 0) und (0 0 2), bei kubischen Raumabmaßen von je 2m, alle bei der Frequenz 171.5 Hz. Günstige Raumproportionen wären dagegen 1/1.4/1.9 oder 1/1.6/2.1. Es gibt drei Arten von Raumeigenmoden; Axial-, Tangential- und Obliquemoden (Abb. 14). Obliquemoden sind die aussagekräftigsten Moden, da sie alle Raumrichtungen mit betrachten, einschließlich Reflexionen.

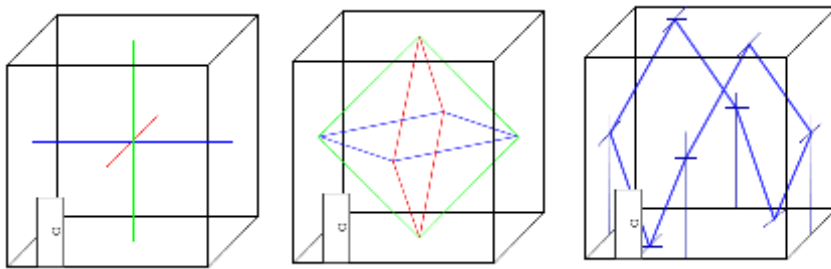


Abb. 14: Axial-, Tangential- und Obliquemoden (von links) [15]

In Tabelle 3 sind die ersten 36 Raumeigenmoden von Raum C angegeben.

Tabelle 3: Die ersten 36 Raummoden für Raum C mit den Abmaßen L; B; H

Nr.	n_x	n_y	n_z	Axial [Hz]	Tangential [Hz]	Oblique [Hz]	Nr.	n_x	n_y	n_z	Axial [Hz]	Tangential [Hz]	Oblique [Hz]
1	1	0	0	36	-	-	19	2	3	2	-	-	151
2	0	1	0	25	-	-	20	3	2	2	-	-	162
3	0	0	1	54	-	-	21	3	2	3	-	-	202
4	1	1	0	-	44	-	22	3	0	0	108	-	-
5	1	0	1	-	65	-	23	0	3	0	75	-	-
6	0	1	1	-	60	-	24	0	0	3	163	-	-
7	1	1	1	-	-	70	25	3	2	1	-	-	131
8	2	1	1	-	-	94	26	2	3	1	-	-	118
9	1	2	1	-	-	82	27	2	1	3	-	-	180
10	1	1	2	-	-	117	28	3	1	3	-	-	198
11	3	1	1	-	-	124	29	3	1	0	-	111	-
12	1	3	1	-	-	100	30	1	0	3	-	167	-
13	1	1	3	-	-	169	31	0	1	3	-	165	-
14	2	0	0	72	-	-	32	2	1	2	-	-	133
15	0	2	0	50	-	-	33	2	2	1	-	-	103
16	0	0	2	109	-	-	34	1	2	2	-	-	125
17	2	2	2	-	-	140	35	3	1	2	-	-	156
18	2	2	3	-	-	186	36	3	3	3	-	-	210

2.2 Bestandsaufnahme der Maschinen und Anlagen in der näheren Umgebung des Wohnhauses

Im Vorfeld dieser Arbeit wurden drei Messprotokolle an der Gruppenkläranlage Niederwiesa durch Herrn Dr. Schulz (HTW Mittweida) angefertigt. Es konnten jedoch keine tieffrequenten Geräuschanteile im Haus bzw. auf dem Grundstück „Zur Finkmühle 5“ auf der Grundlage der vorliegenden Messergebnisse bestätigt, aber auch nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund ist es nötig, weitere mögliche Quellen im Umkreis des Wohnhauses zu orten und zu bestimmen. Es wird davon ausgegangen, dass der hörbare Schallanteil nicht direkt als Luftschall übertragen, sondern Körperschall als Luftschall im Wohnhaus oder in der unmittelbaren Umgebung dessen abgestrahlt wird. Als Vorlage werden weitere mechanische Erschütterungsquellen, wie in der DIN 4150-1 vorgeschlagen, überprüft.

2.2.1 Mögliche Erschütterungs- und Schallquellen

In der näheren Umgebung (Radius 200m) des Wohnhauses (siehe Abb. 15, Nr.1) bestehen keine mechanischen Erschütterungs- oder Schallquellen, welche in Frage kommen tieffrequenten Schall als Luftschall abzustrahlen. In ca. 100m Entfernung (östlich) verläuft die Bundesstraße 180 und ca. 700m die Bundesstraße 173 (südlich). Diese werden als Emittent ausgeschlossen, da das tieffrequente Geräusch permanent, über einen längeren Zeitraum, andauert. 300m entfernt befindet sich die Gruppenkläranlage Niederwiesa (siehe Abb. 15, Nr.2) mit ihren zahlreichen Gebläsen, Rührwerken sowie einem Dekanter. Im Ortsteil Niederwiesa existiert weiterhin ein kleines Sägewerk (siehe Abb. 15, Nr.3) in ca. 2,3 km Entfernung sowie Holz verarbeitendes Gewerbe (siehe Abb. 15, Nr.4) in Flöha in ca. 3,0 km Entfernung. Ein weiterer möglicher Emissionsort ist ein Windrad (siehe Abb. 15, Nr.5) in ca. 2,2 km Entfernung, welches aber ebenfalls ausgeschlossen werden kann, da die Betriebszeiten nicht mit Beobachtungen des vorhandenen Geräusches übereinstimmen. Weiterhin sind diverse Nutztierhaltungsbetriebe (siehe Abb. 15, Nr.6) vorhanden, welche allerdings außerhalb eines Radius von 1,0 km stehen. In Niederwiesa existiert in ca. 1,1km Entfernung ein Gewerbegebiet, in welchem Metall verarbeitendes Gewerbe (siehe Abb. 15, Nr.7) ansässig ist. Dies wurde jedoch schon von Dr. Schulz ausgeschlossen, da bei seinen Messungen keine relevanten tieffrequenten Pegel vorhanden waren.



Abb. 15 Mögliche Erschütterungs- und Schallquellen in der weiteren Umgebung zum Wohnhaus

2.2.2 Maschinen und Anlagen in der Gruppenkläranlage Niederwies und deren bauliche Beschaffenheit

Betrachtet werden die Anlagen des Rechengebäudes der Kläranlage Niederwies im Kellergeschoss, da diese die wahrscheinlichste Schallquelle auf dem Gelände darstellen (siehe Anhang 3 Abbildung A. 3.1). Im Kellergeschoss des Rechengebäudes befinden sich sieben Drehkolbengebläse, die als Rootsverdichter ausgelegt sind und jeweils mit einem Elektromotor betrieben werden. 4 Gebläse des Typ GM 30 L der Fa. Aertzner belüften das Belebungsbecken und 3 Gebläse des Typ GM 3 S den Sandfang.

Die Belebungsgebläse (Typ GM 30 L) und die Motoren stehen auf einem gefliesten Podest, 2,30m x 1,35 x 0,23m, entkoppelt mit elastischen Maschinenfüßen, welche mit der darunter liegenden Bodenplatte verbunden sind. Die angesaugte Luft wird über ein Edelstahlrohr DN 400 zum Belebungsbecken geführt. Die das Gebläse umgebende Schallschutzhaube des Typs DN 150 kurz hat die gleichen Außenabmessungen wie das Podest. Drei Gebläse sind gleichzeitig in Betrieb, das 4. Gebläse ist als Reserve gedacht. Zwei Gebläse besitzen einen Frequenzumrichter, die anderen beiden laufen mit der Festfrequenz 50 Hz. Weitere Daten sind der folgenden Tabelle und dem Anhang 5 Abb. A. 5.1 zu entnehmen:

Tabelle: 4 Daten Drehkolbengebläse und Motor

Gebälse	GM 30 L	Motor	L 225 M/4K
Maschinen Nr.	737010	Maschinen Nr.	944213
Baujahr	1997	Baujahr	1997
Drehzahl	1400 n/min	Drehzahl	1477 n/min
Fördermenge	23,6 m ³ /min	Leistung	45 kW

Die im rechten Winkel zu den Belebungsgebläsen aufgestellten gleichwertigen drei Sandfanggebläse des Typs GM 3 S der Fa. Aerzen stehen auf Podesten, 1,29m x 0,78m x 0,23m. Die das Gebläse umgebende Schallschutzhaube des Typs DN 50 hat die gleichen Außenabmessungen wie das Podest. Zwei Gebläse sind gleichzeitig in Betrieb, das 3. Gebläse ist Reserve. Alle drei Gebläse besitzen zwei Drehzahlen. Tabelle 5 sowie Anhang 5 Abb. A. 5.2 zeigt die Kenndaten.

Tabelle: 5 Daten Drehkolbengebläse und Motor

Gebläse	GM 3 S	Motor	LR 100 /4-2K
Maschinen Nr.	738184	Maschinen Nr.	490866
Baujahr	1997	Baujahr	1997
Drehzahl	2880 n/min	Drehzahl	1470/2830 n/min
Fördermenge	2,1 m ³ /min	Leistung	1,8/2,2 kW

Eigenfrequenzen der Wand Wz₁

Tabelle 6: Materialeigenschaften der Wand Wz₁

Elastizitätsmodul $E \left[\frac{N}{m^2} \right]$	$3 \cdot 10^{10}$
Dichte $\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	2200
Dicke der Wand $h [m]$	0,3
Material	Beton

Tabelle 7: Eigenfrequenzen der Wand Wz₁

Nr.	$f [Hz]$	Nr.	$f [Hz]$
1	31,4	12	512
2	55,8	13	523
3	56,6	14	540
4	60	15	565
5	70	16	908
6	88	17	919
7	112,4	18	936
8	230	19	961
9	240	20	1418
10	257	21	1428
11	282		

3. Schall- und Erschütterungstechnische Untersuchungen

3.1 Durchführung der Schall- und Schwingungsmessung an der Gruppenkläranlage Niederwiesa und am Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“

Die Schall- und Schwingungsmessungen wurden an Tagen durchgeführt, an denen das Geräusch gar nicht, nur schwach oder sehr laut vom Eigentümer des Wohnhauses, Herrn Barth zu vernehmen war. Die Messungen fanden im Zeitraum von Juli bis September 2009 statt. Es wurden Schwingungsmessungen in der Kläranlage (KA) Niederwiesa und Schall- und Schwingungsmessungen am und im Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“ durchgeführt. Des Weiteren stehen die Messungen von Herrn Dr. Detlef Schulz (HTW Mittweida) von 2008 und Messungen von Dr. Rainer Kubicek (LRA Erzgebirgskreis) von 2007 zur Verfügung.

3.1.1 Beschreibung der vorliegenden Situation

Die belästigenden tieffrequenten Geräusche werden nur von Herrn Barth wahrgenommen. Der Untersuchende konnte an einem Besichtigungstag ein leichtes Brummen vernehmen. Dr. Schulz und Dr. Kubicek konnten nichts hören.

Entsprechend den von Dr. Barth beschriebenen Empfindungen kann vermutet werden, dass es sich um Komponenten im Bereich der unteren Hörgrenze des Menschen (ca. 20 Hz) handelt, sofern die Ursache akustischer Natur ist (vgl. z.B. „Wissenswertes über tieffrequenten Schall“, www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/publikationen/infraschall). Demnach führen diese Geräusche vielfach auch dann zu Beschwerden, wenn die Beurteilungskriterien nach TA Lärm eingehalten sind. Wahrnehmung und Wirkung weicht z.T. deutlich von der bei mittel- und hochfrequenten Geräuschen ab. Diese Geräusche können im Wohnbereich schon dann zu erheblichen Belästigungen führen, wenn sie gerade noch wahrgenommen werden, speziell bei besonders sensiblen Personen. Dazu trägt weiterhin bei, dass besonders im Bereich von ca. 25 – 60 Hz abhängig von den Abmessungen der Räume Raumresonanzen angeregt werden können. Die von Dr. Barth beschriebenen Geräusche treten unregelmäßig auf, halten dann aber meist über mehrere Tage an (häufig von Sonntagabend bis Donnerstag Früh / Mittag). Die Intensität ist nicht gleich bleibend, tendenziell soll sie während der letzten Wochen zugenommen haben. [16], S. 4-5

Als weitere Merkmale wurden von Herrn Barth u.a. angegeben:

- das Geräusch ist pulsierend/wabbernd, tieffrequent und mit einem hohen Ton hinterlegt

- das Geräusch ist abhängig von der Intensität teilweise auch außerhalb des Hauses wahrnehmbar (Einfahrt, Garage), aber nicht unmittelbar mit einem Höreindruck, sondern auch über die Haut, durch ein Kribbeln, verbunden
- innerhalb des Hauses ist es dann in allen Räumen hörbar und in gleich bleibender Intensität

Diese Aspekte könnten mit den o.g. Einflüssen von Umgebungsgeräuschen bzw. Raumresonanzen zusammenhängen (siehe Kap 1.3.2).

3.1.2 Luftschall- und Schwingungsmessungen am Wohnhaus zur „Finkenmühle 5“

Luftschall- und Schwingungsmessungen am und im Wohnhaus zur „Finkenmühle 5“ wurden jeweils parallel durchgeführt. Kopfbügelmikrofonmessungen sind als Ergänzung je nach Geräuschintensität durchgeführt worden.

3.1.2.1 Messprotokoll „Zur Finkenmühle 5“

Ort: Haus „Zur Finkenmühle 5“ in Niederwiesa, Messungen innerhalb und außerhalb des Hauses

Anlass der Messungen: Beschwerden des Bewohners über zeitweise auftretende „Brummgeräusche“

Messzeiten: 1) 03.07.2009, 09:30 - 15:00 Uhr
 2) 06.07.2009, 10:00 - 13:00 Uhr
 3) 08.07.2009, 08:50 - 12:30 Uhr
 4) 17.08.2009, 10:00 - 11:30 Uhr
 5) 08.09.2009, 20:00 - 22:00 Uhr

Ausführung: Christian Stülpner

Geräte: - 2-Kanal Frequenzanalysator B&K, Typ 2144 (BRÜEL & KJAER)
 S.-Nr.: 2102799
 - Binaurales Sondenmikrofon BHM III.2 HEAD acoustics
 S.-Nr.: 325114
 - Schwingungsaufnehmer B&K, Typ 4370
 S.-Nr.: 1922103
 - Mikrofon B&K, Typ 2669
 S.-Nr.: 1906372
 - Schallpegelkalibrator Brüel & Kjaer, Typ 4231 (94 dB, 1000 Hz)
 S.-Nr.: 1934162

- Schwingungsaufnehmerkalibrator Brüel & Kjaer, Typ 4294
- Tascam DAT Datrecorder PA-P1
S.-Nr.: 650167
- Verstärker BHM III.2 HEAD acoustics
S.-Nr.: 13060069

3.1.2.2 Messungen

Mittelung: - Messdauer pro Messpunkt (MP) jeweils 60s

Messgrößen: - Mittelungspegel L_{in} in dB, jeweils für die Messzeit von 60s

- Beschleunigung, jeweils für die Messzeit von 60s

- 1/24 Oktavspektrum, jeweils für die Messzeit von 60s

Position des Mikrofons: - jeweils 1m senkrecht zum Schwingungsaufnehmer entfernt

Wetter: - Außenmessung 2.2 und 3.2; Windstill, Verkehrslärm (entfernt) und Vogelgezwitscher

- Innenmessung; alle Geräuschquellen im Haus abgestellt, ruhig

Messungen innerhalb des Hauses

Lageplan siehe Anhang A.1

Messung 1.1: 03.07.2009, Luftschallmessung

Ort: Keller, Raum C, Wand CW_1

Dauer: 9 Messpunkte von je 1 min

Messung 1.2: 03.07.2009, Luftschallmessung

Ort: Keller, Raum D, Wand DW_2

Dauer: 15 Messpunkte von je 1 min

Messung 1.3: 03.07.2009, Luftschallmessung

Ort: Keller, Raum D, Stahlträger

Dauer: 6 Messpunkte von je 1 min

Messung 2.1: 06.07.2009, Luftschall- und Schwingungsmessung

Ort: 1. OG, Raum I, Wand IW_8

Dauer: 6 Messpunkte von je 1 min, Mikrofonhöhe 2,3m, im Abstand von 0,5m

Messung 2.3: 06.07.2009, Luftschall- und Schwingungsmessung

Ort: 1. OG, Raum I, Fußboden direkt über Raum C

Dauer: 9 Messpunkte von je 1 min, im Abstand von 0,5m

Messung 3.1: 08.07.2009, Luftschall- und Schwingungsmessung

Ort: Keller, Raum C, Wand Cw_1

Dauer: 5 Messpunkte von je 1 min

Messung 4.1: 17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung

Ort: Keller, Raum C

Dauer: 7 Messpunkte von je 30 - 70s

Messung 5.1: 08.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessung

Ort: Keller, Raum C

Dauer: 5 Messpunkte von je 30 - 70s

Messung 5.2: 08.09.2009, Schwingungsmessung

Ort: Keller, Raum C, Wand Cw_1

Dauer: 5 Messpunkte von je 1 min

Messungen außerhalb des Hauses

Messung 2.2: 06.07.2009, Luftschall- und Schwingungsmessung

Ort: Garten/Keller, Raum C, Außenwand Cw_1

Dauer: 10 Messpunkte von je 1 min

Messung 3.2: 08.07.2009, Luftschallmessung, Schwingungsmessung mit Erdnagel

Ort: Garten, Ausrichtung südöstlich

Dauer: 6 Messpunkte von je 1 min, Abstand von je 2m, Stablänge 1,16m

Messung am Freitag 03.07.2009

Ziel dieser Messung war es Geräuschbelastungen festzustellen. Es wurden nur Luftschallmessungen durchgeführt, um die Verteilung der Geräuschimmissionen im Haus zu lokalisieren und zu bewerten. An diesem Tag lag das Geräusch, laut Aussage von Herrn Barth, als deutliches Geräusch wahrnehmbar, in jedem Zimmer des Hauses und in der Einfahrt des Grundstückes, vor. Alle Geräuschquellen wie Lampen und Kühltruhen wurden ausgeschaltet. Leichter Niederschlag bis zum 02.07.2009 und am 03.07.2009.

Messung am Montag 06.07.2009

An diesem Messtag wurden Luftschall- und Schwingungsmessungen durchgeführt. Das Geräusch soll als störendes Geräusch vorgelegen haben. Diese Messungen sollten mit den vorhergehenden verglichen werden, die Schlussfolgerungen im Vergleich von Luftschall- zu den Schwingungsmessungen ermöglichen. Es wurden Messungen im Raum C Wand Cw_1 , Raum I Wand Iw_8 und auf dem Fußboden durchgeführt. Leichtes Nieseln und Regen am Messtag.

Messung am Mittwoch 08.07.2009

Es wurden weiterführende Messungen durchgeführt, da das Geräusch an Intensität zugenommen haben soll. Es wurde als stark störendes, belästigendes, auf und ab Brummen beschrieben. Die Messungen beschränkten sich auf den Raum C im Kellergeschoss sowie Messungen im Gartenbereich. Zwischenzeitliches Nieseln beeinflusste die Messung nicht. An den Tagen vorher fast durchgängiger Niederschlag mit kleinen Pausen.

Messung am Montag 17.08.2009

An diesem Messtag wurden Aufnahmen mit einem Kopfbügelmikrofon im Raum C durchgeführt, um Zusammenhänge zwischen Luftschall- und Schwingungsmessungen zu erstellen. Das Geräusch ist von Herrn Barth kaum wahrnehmbar. Vom 09.08.2009 bis 13.-14.08.2009 fast durchgehender Niederschlag in größeren Mengen und am 15. und 16.08.2009 sind ansteigende Temperaturen zu verzeichnen gewesen.

Messung am Dienstag 08.09.2009

Durchführung weiterer Messungen mit dem Kopfbügelmikrofon, nachdem sich das Geräusch von kaum bis gar nicht wahrnehmbar, in ein stark störendes und belästigendes ohne Pause durchgehendes Geräusch verändert hat. Zum Zeitpunkt der Messung ohne wahrnehmbares Geräusch. Das Geräusch kehrt kurz nach der Messung wieder zurück und hält mehrere Tage an. Weiterhin wurden Luftschall- und Schwingungsmessung zum Vergleich mit den Messungen des Kopfbügelmikrofons durchgeführt. Vom 29.08.2009 bis zum 05.09.2009 wurde leichter bis starker Niederschlag verzeichnet. Am Messtag selbst kein Regen, jedoch ist ein Anstieg der Temperaturen zu verzeichnen.

3.1.2.3 Messergebnisse innerhalb des Hauses

Als Referenzraum ist Raum C im Keller mit der dazu gehörigen Wand Cw_1 vorgesehen. Alle anderen Messungen sind in einem Diagramm für je Luftschall- und Schwingungsmessungen (siehe Diagramme) dargestellt. Weitere Diagramme zu Vergleichszwecken befinden sich im Anhang A.2.

Messung 1.1: 03.07.2009, Luftschallmessung (Diagramm 1)

Ort: Keller, Raum C, Wand Cw_1

Dauer: 9 Messpunkte von je 1 min, 1/24 Oktaven

$L_{lin}=47,6$ dB

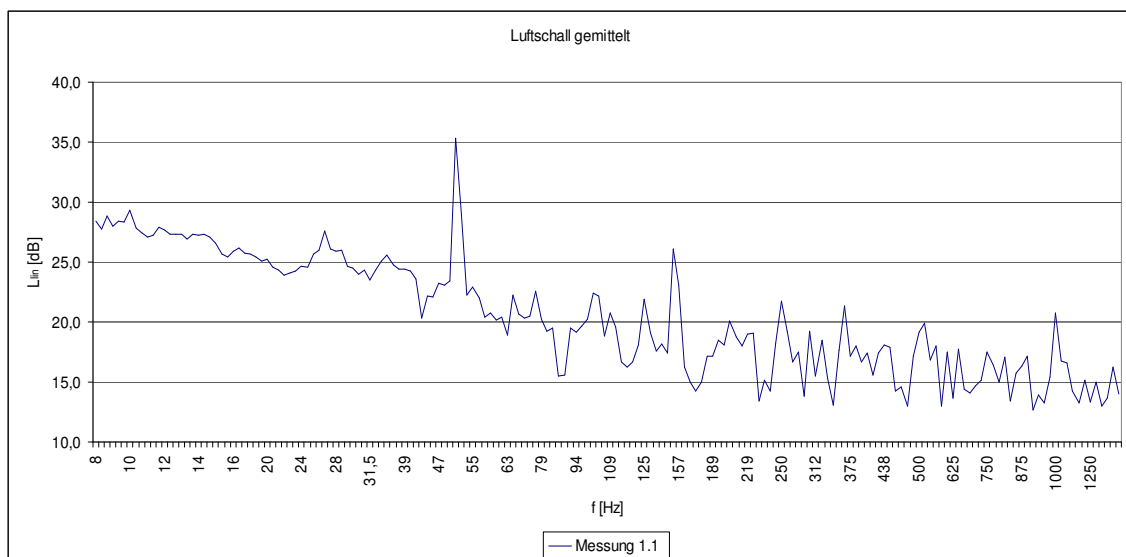


Diagramm 1: Messung 1.1, Luftschall gemittelt

Messung 1.2: 03.07.2009, Luftschallmessung (Diagramm 2)

Ort: Keller, Raum D, Wand Dw_2

Dauer: 15 Messpunkte von je 1 min, 1/24 Oktaven

$L_{lin}=68,8$ dB

Messung 1.3: 03.07.2009, Luftschallmessung (Diagramm 2)

Ort: Keller, Raum D, Stahlträger

Dauer: 6 Messpunkte von je 1 min, 1/24 Oktaven

$L_{lin}=62,2$ dB

Messung 2.1: 06.07.2009, Luft- und Schwingungsmessung (Diagramm 2 und 3)

Ort: 1. OG, Raum I, Wand Iw_8

Dauer: 6 Messpunkte von je 1 min, Mikrofonhöhe 2,3m, im Abstand von 0,5m

$L_{lin}=48,9$ dB

Messung 2.3: 06.07.2009, Luftschall- und Schwingungsmessung (Diagramm 2 und 3)

Ort: 1. OG, Raum I, Fußboden

Dauer: 9 Messpunkte von je 1 min, im Abstand von 0,5m

$L_{lin}=61,8$ dB

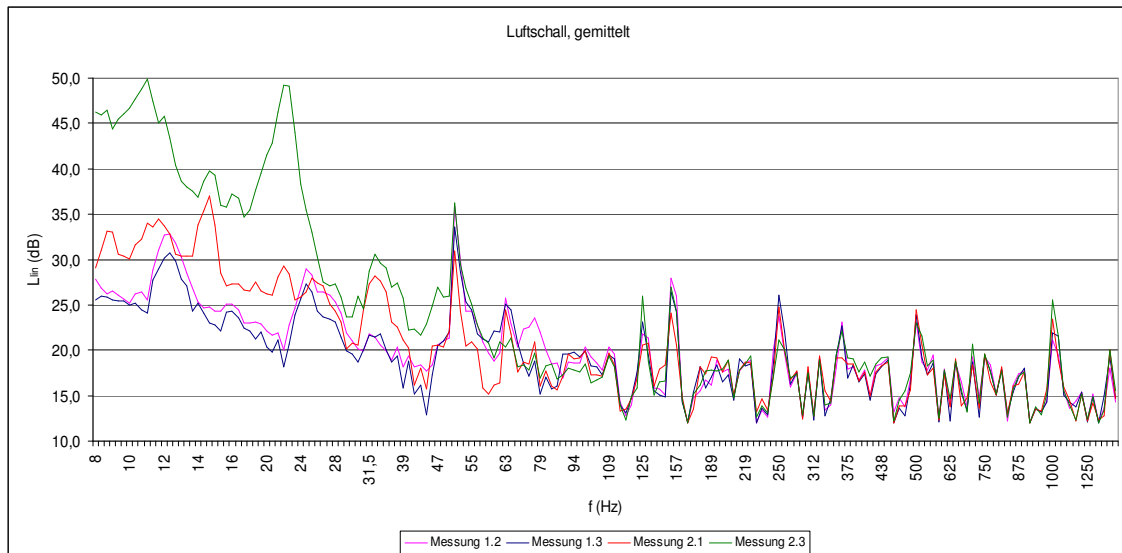


Diagramm 2: Messungen 1.2, 1.3, 2.1 und 2.3, Luftschall gemittelt

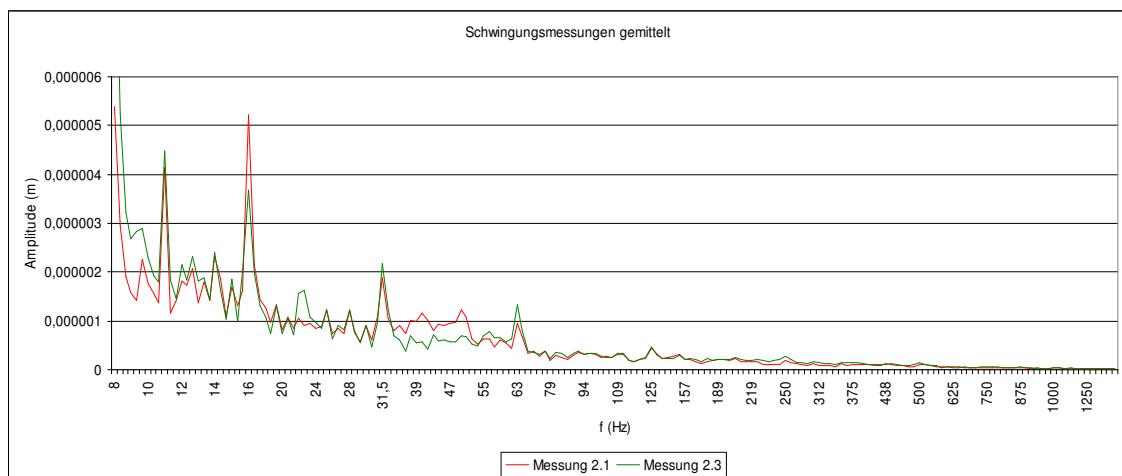


Diagramm 3: Messungen 2.1 und 2.3, Schwingungsmessung gemittelt

Messung 3.1: 08.07.2009, Luftschall- und Schwingungsmessung (Diagramm 4 und 5)

Ort: Keller, Raum C, Wand Cw_1

Dauer: 5 Messpunkte von je 1 min

$L_{lin}=43,3$ dB

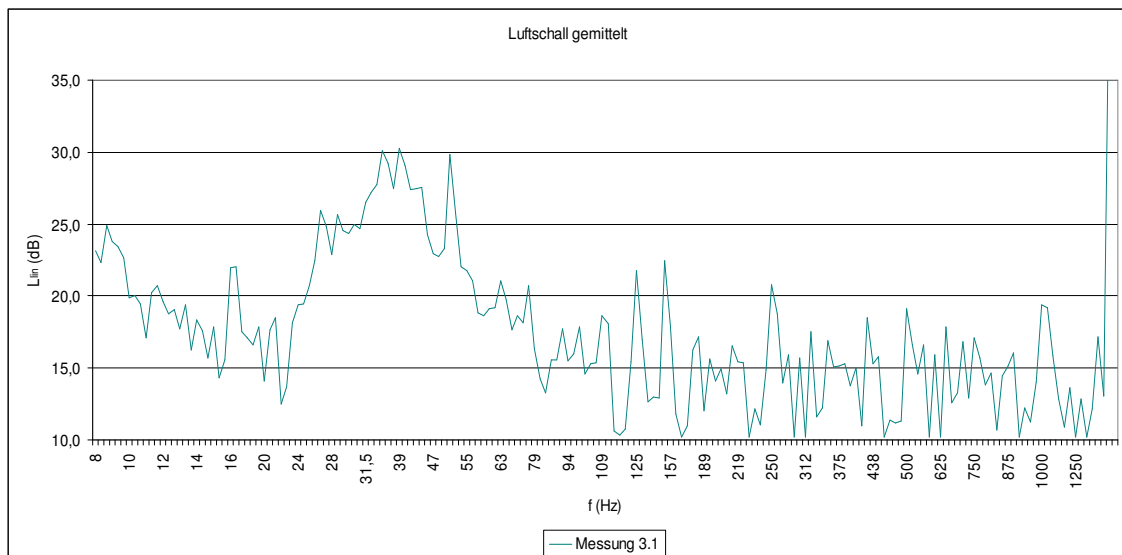


Diagramm 4: Messung 3.1, Luftschall gemittelt

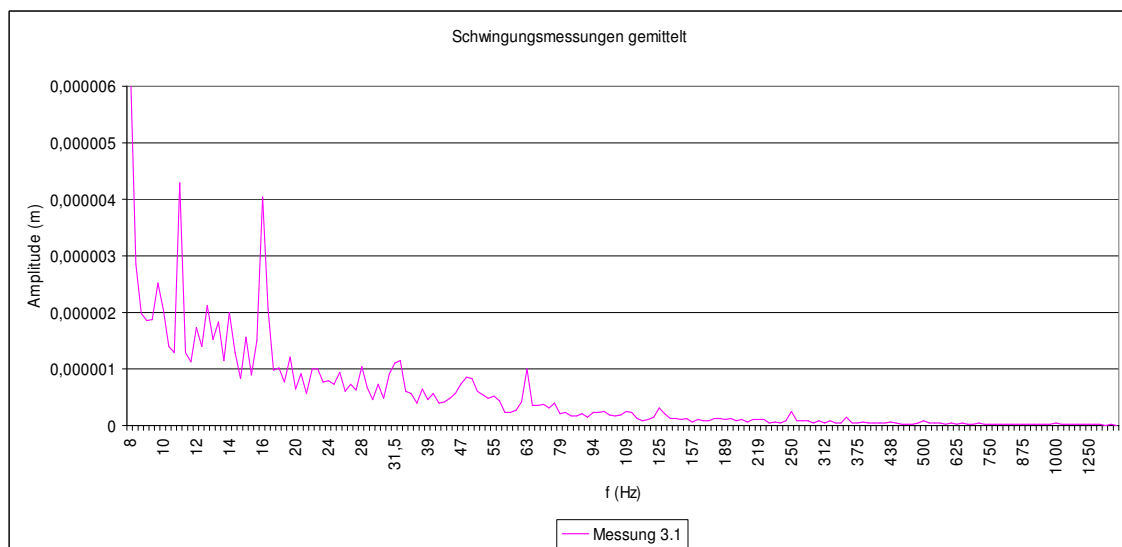


Diagramm 5: Messung 3.1, Schwingungsmessung gemittelt

Messung 4.1:17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung (Diagramm 6)

Ort: Keller, Raum C

Dauer: 7 Messpunkte von je 30 - 70s, Ausschnitt je 10s (Diagramm)

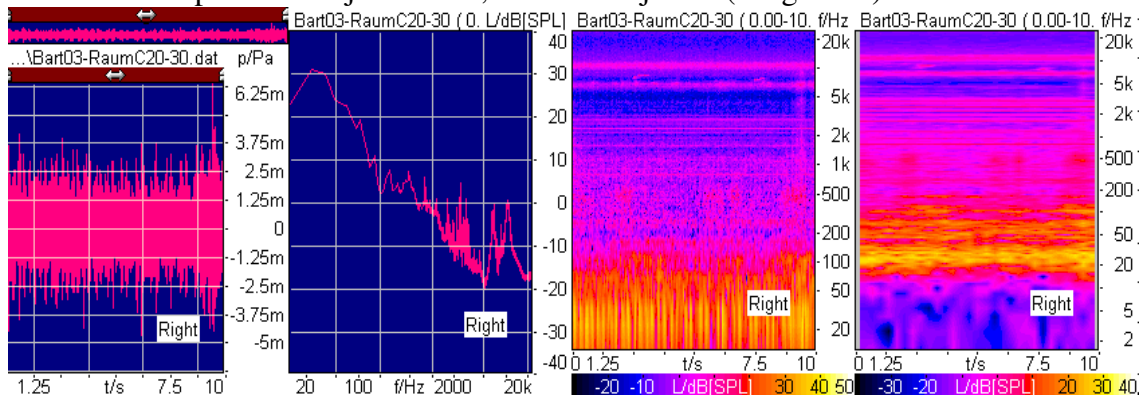


Diagramm 6: Kopfbügelmikrofonmessung; Zeitverlauf (links), Schalldruckpegel über die Frequenz (2. v. l.), FFT-Analyse gute Zeitauflösung (3.v.l.), FFT-Analyse gute Frequenzauflösung (rechts)

Messung 5.1:08.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessung (siehe Diagramm 7)

Ort: Keller, Raum C

Dauer: 5 Messpunkte von je 30 - 70s, Ausschnitt je 10s

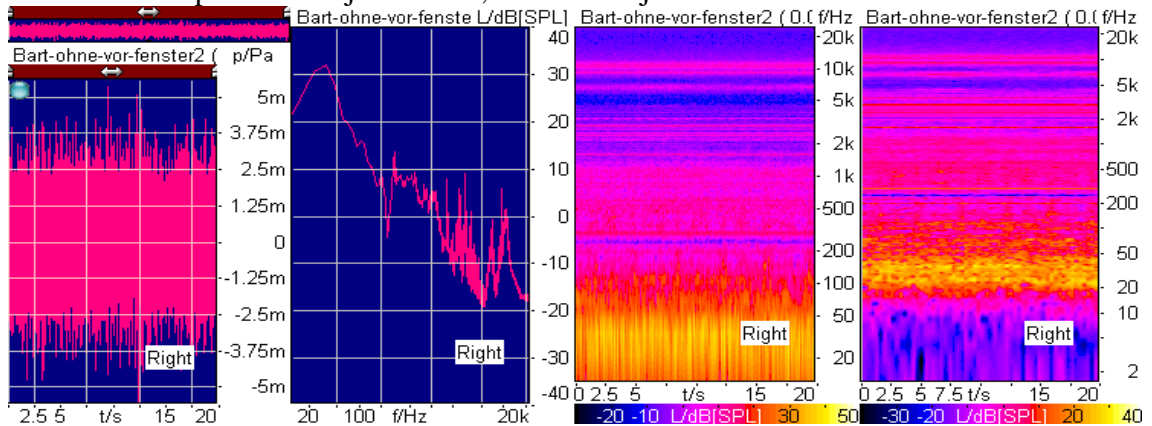


Diagramm 7: Kopfbügelmikrofonmessung; Zeitverlauf (links), Schalldruckpegel über die Frequenz (2. v. l.), FFT-Analyse hohe Zeitauflösung (3.v.l.), FFT-Analyse hohe Frequenzauflösung (rechts)

Messung 5.2: 08.09.2009, Schwingungsmessung (Diagramm 8)

Ort: Keller, Raum C, Wand Cw_1

Dauer: 5 Messpunkte von je 1 min

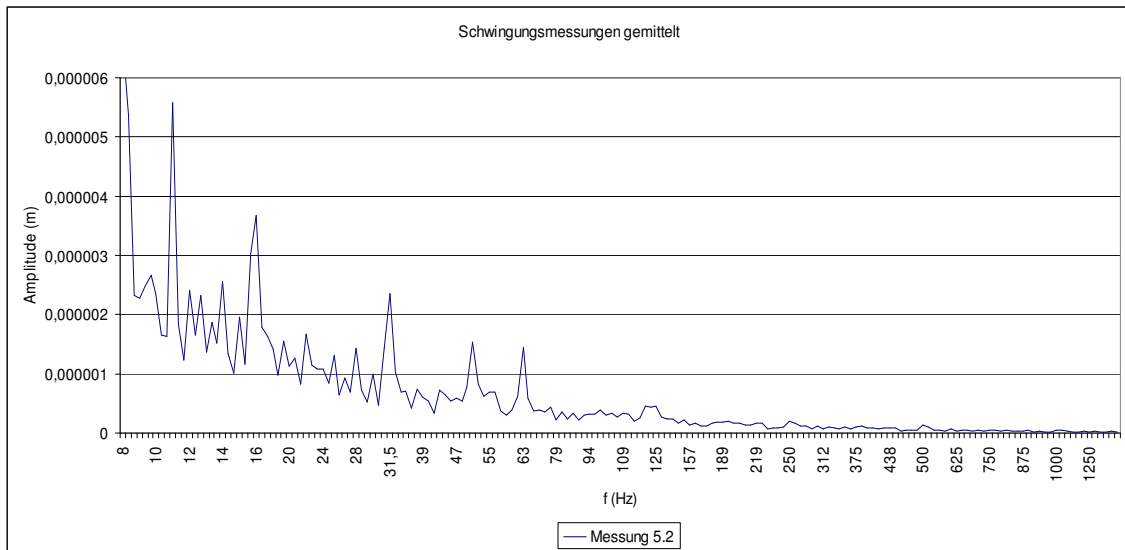


Diagramm 8: Messung 5.2, Schwingungsmessung gemittelt

3.1.2.4 Messergebnisse außerhalb des Hauses

Messung 2.2: 06.07.2009, Luftschall- und Schwingungsmessung (Diagramm 9 und 10)

Ort: Garten/Keller, Raum C, Außenwand Cw_1

Dauer: 10 Messpunkte von je 1 min

$L_{lin}=57,4$ dB

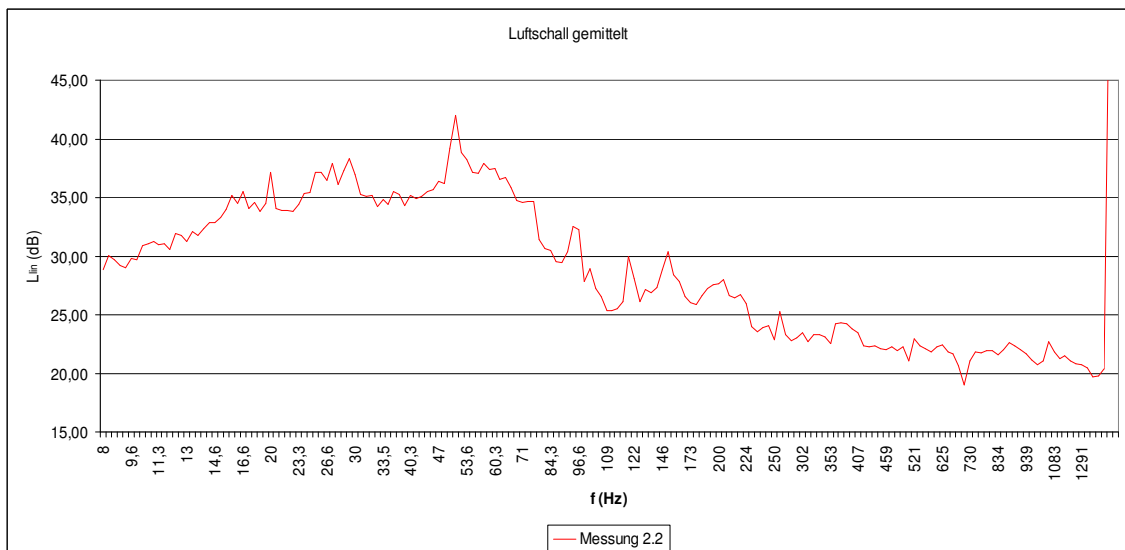


Diagramm 9: Messung 2.2, Luftschall gemittelt

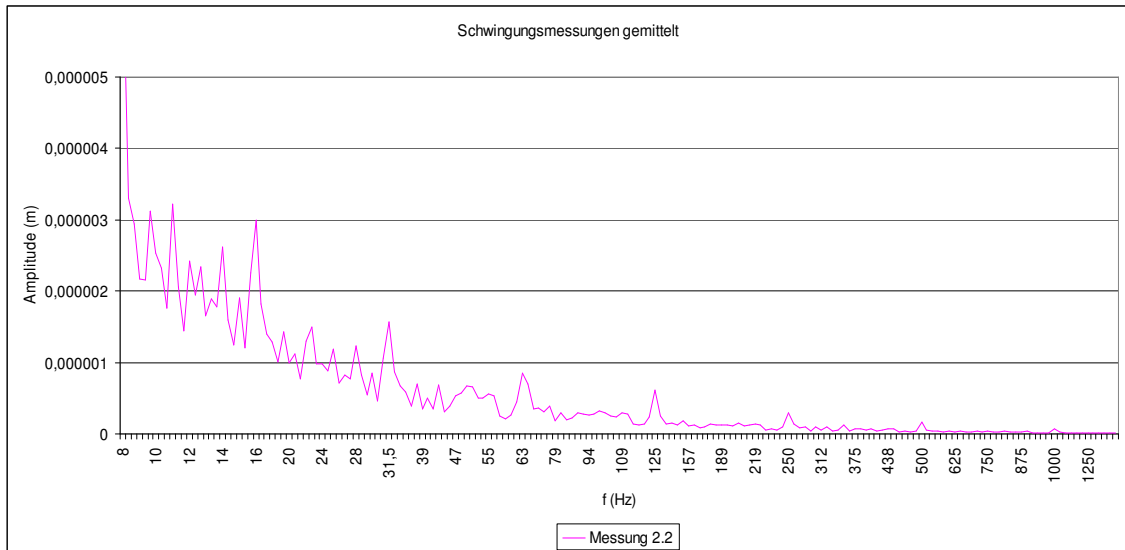


Diagramm 10: Messung 2.2, Schwingungsmessung gemittelt

Messung 3.2: 08.07.2009, Luftschallmessung, Schwingungsmessung mit Erdnagel
(Diagramm 11 und 12)

Ort: Garten, Ausrichtung südöstlich

Dauer: 5 Messpunkte von je 1 min, Abstand von je 2m, Stablänge 1,16m

$L_{lin}=65,5$ dB

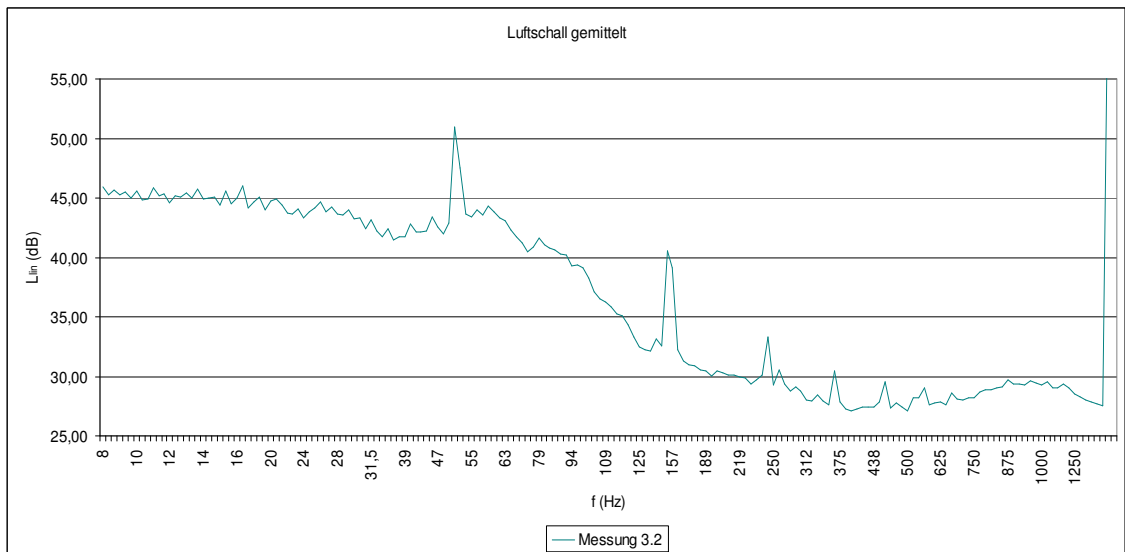


Diagramm 11: Messung 3.2, Luftschallmessung gemittelt

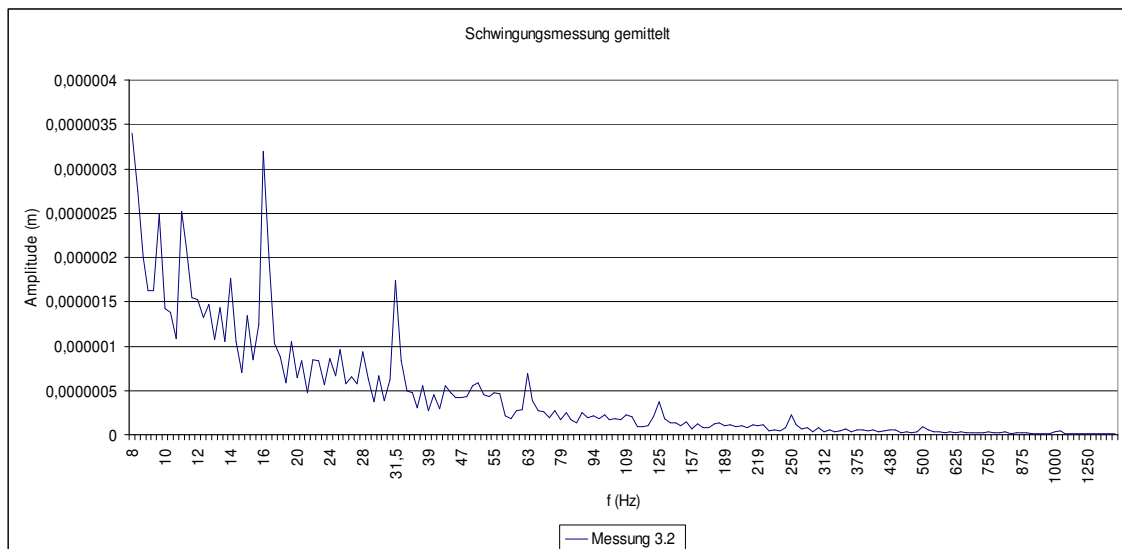


Diagramm 12: Messung 3.2, Schwingungsmessung Garten gemittelt

3.1.3 Luftschall- und Schwingungsmessungen an der Kläranlage Niederwiesa

3.1.3.1 Messprotokoll Kläranlage Niederwiesa

Ort: KA Niederwiesa, Messungen innerhalb des Gebläsegebäudes

Anlass der Messungen: Beschwerden eines Anwohners über zeitweise auftretende „Brummgeräusche“

Messzeiten: 1) 13.07.2009, 09:30 - 17:00 Uhr
2) 09.09.2009, 10:00 - 10:30 Uhr

Ausführung: Christian Stülpner

Geräte: siehe 3.2.1.1

3.1.3.2 Messungen

Mittelung: - Messdauer pro Messpunkt (MP) jeweils 60s

Messgrößen: - Mittelungspegel L_{lin} in dB, jeweils für die Messzeit von 60s
- Beschleunigung als Absolutwert in dB, jeweils für die Messzeit von 60s
- 1/24 Oktavspektrum, jeweils für die Messzeit von 60s

Position des Mikrofons: - jeweils 1m senkrecht zum Schwingungsaufnehmer entfernt

Wetter: - Innenmessung

Messungen im Kellergeschoss des Gebläsehauses

Messung 6.1: 13.07.2009, Schwingungsmessung

Ort: Keller, Gebläseraum

Dauer:

- Wand Wz₁ 11 Messpunkte (MP) von je 1 min
- Abluftrohre zu Sandfang, Laststufe 1 und 2, 13 MP je 1 min
- Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 1 und 2, je 4 MP vertikal und horizontal von je 1 min
- Fundament Belebungsgebläse, Normalbetrieb, je 16 MP vertikal und horizontal von je 1 min

Messung 6.2: 09.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessungen

Ort: Keller, Gebläseraum

Dauer: 4 Messpunkte von je 60s-120s

Messung am 13.07.2009

Die Messungen in der Kläranlage (KA) Niederwiesa sollen als Vergleichsmaterial zu den Messungen des Wohnhauses „Zur Finkenmühle 5“ genutzt werden und Rückschlüsse auf die Immissionen der KA im Wohnhaus ermöglichen. Besonderes Augenmerk soll auf die tieffrequenten Signalanteile gelegt werden. Dabei werden verschiedene Laststufen (1 und 2) der Gebläse gewählt, um einen realistischen Fall reproduzierbar zu simulieren und eventuelle Übereinstimmungen mit voran gegangenen Messungen festzustellen. Diese Messungen dienen als Vervollständigung zu den Luftschallmessungen von Dr. Schulz. Weiterhin soll geklärt werden, ob die tieffrequenten Signalanteile der Schwingungsmessungen im Gebläseraum in Übereinstimmung mit den Messungen von Dr. Schulz und Dr. Kubicek liegen.

Messung am 09.09.2009

Diese Messung soll Frequenzanteile sichtbar machen, welche mit den Luftschall- und Schwingungsmessungen nicht ausreichend hervorgehoben werden können.

3.1.3.3 Messergebnisse in der KA Niederwiesa

Weitere Diagramme zu Vergleichszwecken befinden sich im Anhang A.4.

Messung 6.1: 13.07.2009, Schwingungsmessung

Ort: Keller, Gebläseraum

- Dauer:
- Wand Wz_1 (siehe Anlage A.3) 11 Messpunkte (MP) von je 1 min
 - Abluftrohre zu Sandfang, Laststufe 1 und 2, 13 MP je 1 min
 - Fundament kleines Gebläse, Laststufe 1 und 2, je 4 MP vertikal und horizontal von je 1 min
 - Fundament großes Gebläse, Normalbetrieb, je 16 MP vertikal und horizontal von je 1 min

Messung 6.1.1: 13.07.2009, Wand Wz_1 , 11 Messpunkte (MP) von je 1 min

Ort: Gebläseraum

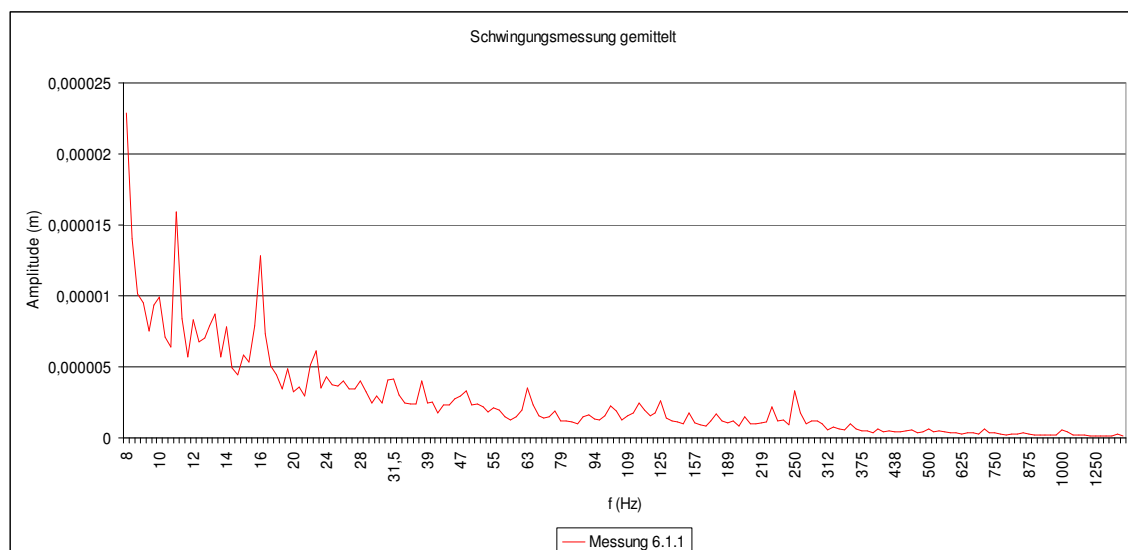


Diagramm 13: Messung 6.1.1, Schwingungsmessung 11 MP gemittelt

Messung 6.1.2: 13.07.2009, Abluftrohr zu Sandfang, Laststufe 1 und 2, 12 MP je 1 min

Ort: Gebläseraum

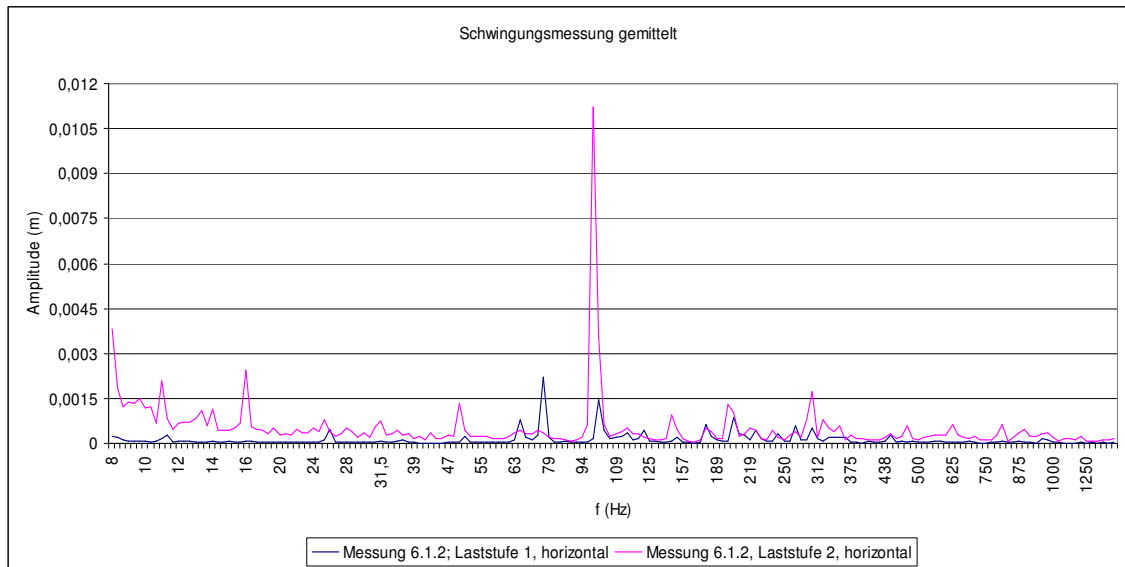


Diagramm 14: Messung 6.1.2, Schwingungsmessung, Laststufe 1 und 2 horizontal, 12 MP gemittelt

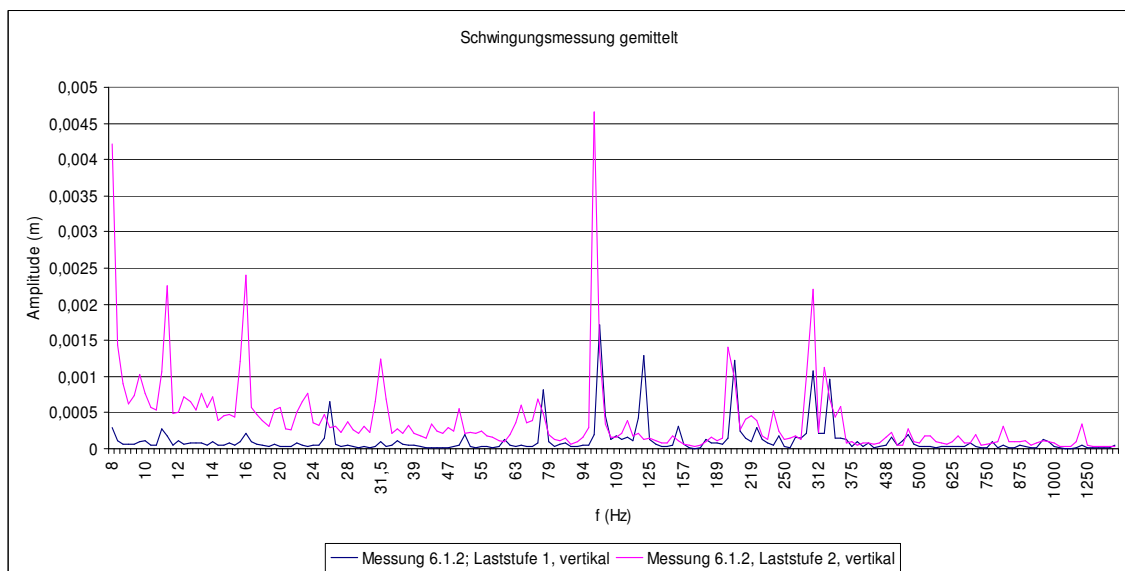


Diagramm 15: Messung 6.1.2, Schwingungsmessung, Laststufe 1 und 2 vertikal, 12 MP gemittelt

Messung 6.1.3: 13.07.2009, Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 1 und 2, je 4 MP vertikal und horizontal von je 1 min

Ort: Gebläseraum

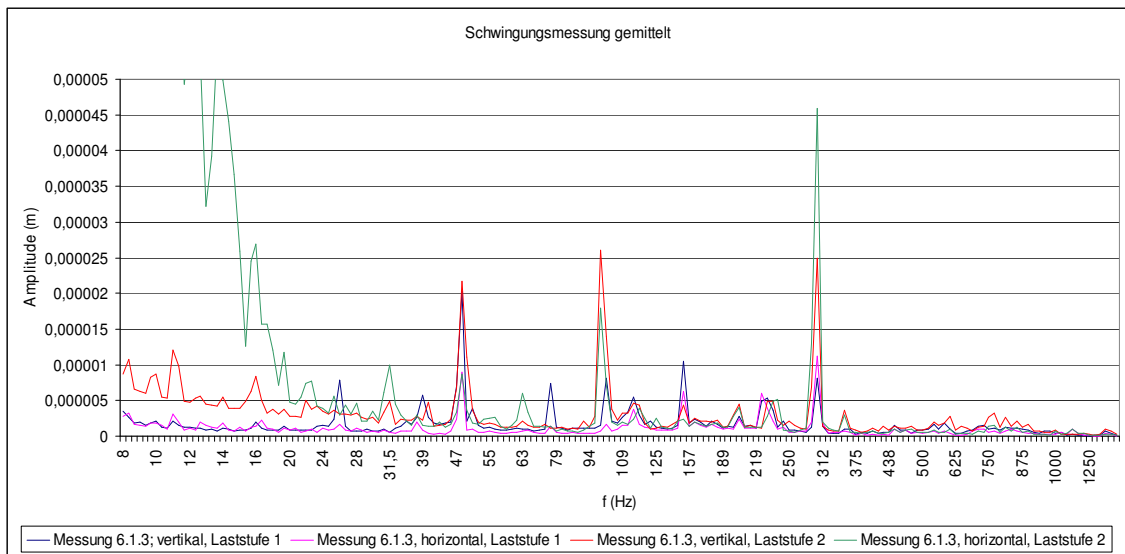


Diagramm 16: Messung 6.1.3, Schwingungsmessung, Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 1 und 2, je 4 MP vertikal und horizontal von je 1 min

Messung 6.1.4: 13.07.2009, Fundament Belebungsgebläse, Normalbetrieb, je 16 MP vertikal und horizontal von je 1 min

Ort: Gebläseraum

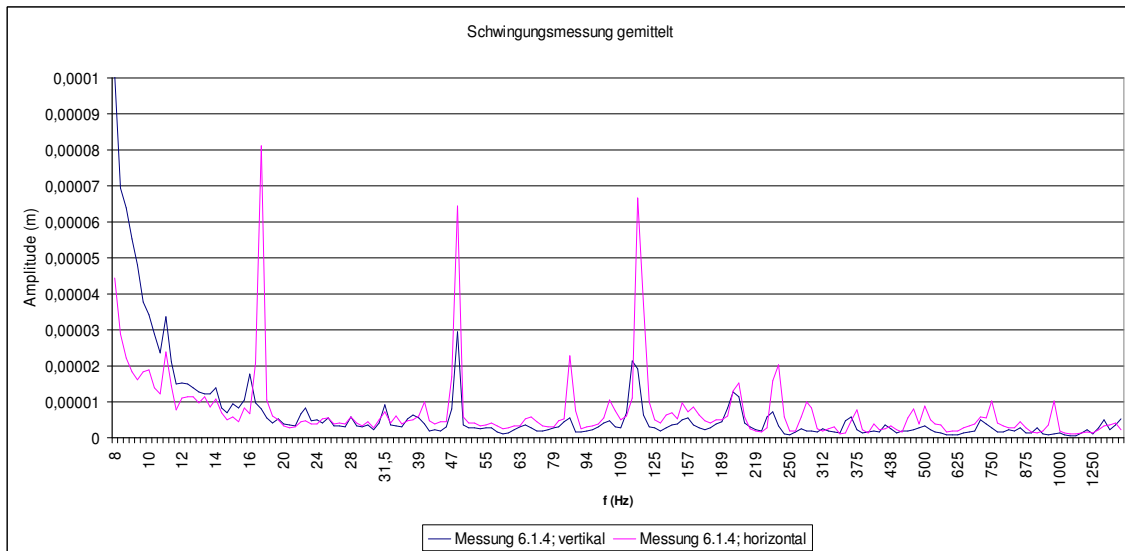


Diagramm 17: Messung 6.1.4, Schwingungsmessung, Fundament Belebungsgebläse, Normalbetrieb, je 16 MP vertikal und horizontal von je 1 min

Messung 6.2: 09.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessungen, linkes und rechtes Ohr

Ort: Gebläseraum

Dauer: 4 Messpunkte von je 60s-120s

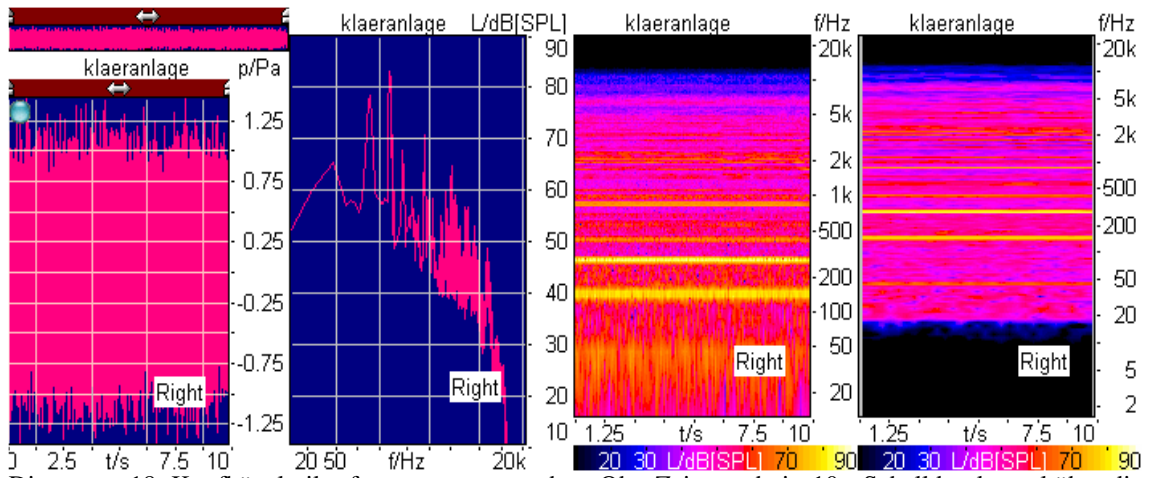


Diagramm 18: Kopfbügelmikrofonmessungen, rechtes Ohr, Zeitausschnitt 10s, Schalldruckpegel über die Frequenz (2. v.l.), FFT-Analyse hohe Zeitauflösung (3.v.l.), FFT-Analyse hohe Frequenzauflösung (rechts)

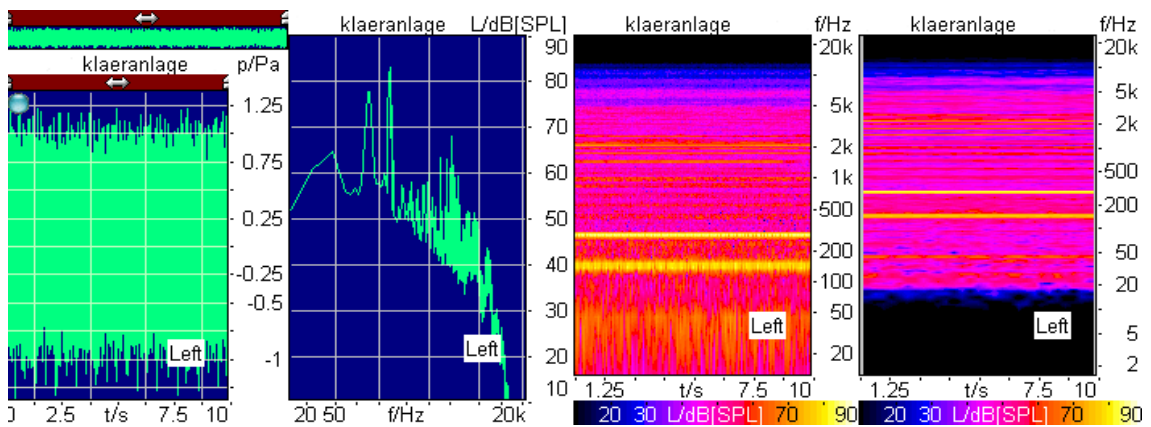


Diagramm 19: Kopfbügelmikrofonmessungen, linkes Ohr, Zeitausschnitt 10s; Schalldruckpegel über die Frequenz (2. v.l.), FFT-Analyse hohe Zeitauflösung (3.v.l.), FFT-Analyse hohe Frequenzauflösung (rechts)

4. Auswertung

Die markanten maximalen Peaks sind anhand der gemittelten Messwerte aufgeführt. Messpunkte, bei denen Peaks besonders deutlich oder auch gar nicht zu sehen sind, werden gesondert mit einem Verweis auf den jeweiligen Anhang genannt. Weiterhin sind Vergleiche zur Hörschwelle bis 100 Hz nach DIN 45680 [20] gezogen und bewertet worden. Die Aussagen zum Geräusch wurden von Herrn Barth getroffen. Zur Auswertung stehen:

- Raum C
 - Wand Cw_1 , Messungen vom 03.07.09 (Geräusch deutlich wahrnehmbar)
 - Außenwand Cw_1 , Messungen vom 06.07.09 (Geräusch störend)
 - Wand Cw_1 , Messungen vom 08.07.09 (Geräusch stark störend, belästigend)
 - Wand Cw_1 , Messungen vom 17.08.09 (Geräusch kaum wahrnehmbar)
 - Wand Cw_1 , Messungen vom 08.09.09 (ohne Geräusch)
- Fußboden Raum I, Messungen vom 06.07.09 (Geräusch störend)
- Außenmessung Garten vom 08.07.09
- Vergleich der ermittelten Werte mit den Werten von Dr. Schulz und Dr. Kubicek
- Kläranlagenmessung vom 13.07.09 und vom 09.09.09

4.1 Auswertung der Messungen im Wohnhaus

4.1.1 Raum C

Fett hervorgehobene Frequenzen in den Tabellen weisen auf eine Übereinstimmung mit Eigenfrequenzen (Tabelle 2, Seite 29) der Wand Cw_1 hin. Mit einem Stern gekennzeichnete Frequenzen weisen auf eine Übereinstimmung mit den Raumeigenmoden (Tabelle 3, Seite 30) hin. Vergleichend können hier die Messdaten von Dr. Kubicek (2007) sowie von Dr. Schulz [16] von 2008 herangezogen werden (siehe auch Kap. 4.1.4).

4.1.1.1 Messungen vom 03.07.09

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 1 (Messung 1.1), Anhang 2 (Diagr. A.2.1, Seite II) und Anhang 6 (Diagr. A. 6.8, Seite XLIX). In der folgenden Tabelle 8 sind die markanten Peaks mit ihren Maxima dargestellt. Es sind für den Luftschall die unbewerteten und A-bewerteten Pegel sowie die Differenz zur Hörschwelle dargestellt.

Tabelle 8: Peaks der Luftschallmessungen vom 03.07.09

Frequenz in Hz	Pegel in dB unbewertet	bei MP	Pegel in dB (A)	Differenz zur Hörschwelle in dB	Anmerkungen
26 *	31	MP 2	-13,7	-76,7	
35 *	33,5	MP 2	-4,5	-60	
51	49	MP 1	18,8	-21,2	
63	29	MP 7	2,8	-30,7	Diagr. A.2.1, Seite II
76 *	33	MP 9	10	-18	Diagr. A.2.1, Seite II
100 *	39	MP 2	19,9	-3,1	Diagr. A.2.1, Seite II, Diagr. 1
125 *	29	MP 7	12,9	-6,1	
150 *	36	MP 1	22	+6,5	
210 *	33	MP 2	22,5	+10,5	Diagr. A.2.1
250	30	MP 2	21,4	+11,4	Diagr. A.2.1
312	28	MP 2	21,4	+13,4	Diagr. A.2.1
360	31	MP 2	25,5	+18	
460	26	MP 7	22,2	+16,2	Diagr. A.2.1
500	26	MP 4	22,8	+17,8	Diagr. A.2.1
1000	28	MP 2	28	+24	
1042	28	MP 2	28	+28	Diagr. A.2.1

Im Diagramm A. 2.1 sind von 8 Hz bis 26 Hz keine nennenswerten Peaks zu erkennen. Das erste Maximum, bei dem alle MP gleichzeitig einen Peak verzeichnen, liegt bei 26 Hz. Das erste starke Maximum liegt bei ca. 51 Hz. Dieser Peak ist in allen weiteren Messungen ebenfalls sehr dominant vertreten (siehe folgende Luftschallmessungen und Anhang A. 2). Im Allgemeinen sticht bei dieser Messung der MP 2 stark hervor, da er die meisten Peaks zu verzeichnen hat. Man kann weiter sagen, dass in den Oktavmittenfrequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz und 1000 Hz in allen Messpunkten

Peaks zu erkennen sind. Diese Auffälligkeit lässt sich bei fast allen weiteren Messungen erkennen. Die Eigenfrequenzen Nr. 1-4 (Tabelle 2, Seite 28) stimmen annähernd mit den ermittelten Maxima überein. Weiterhin gibt es Übereinstimmungen mit den ermittelten Raumeigenmoden (Tabelle 6: *). Die Hörschwellenwerte liegen bis ca. 76 Hz so weit unterhalb der wahrnehmbaren Schallpegel, so dass bis dahin nicht damit zu rechnen ist, dass dies hörbar ist. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass diese anderweitig wahrgenommen werden (siehe Kap. 1.3). Ab 100 Hz liegen die Werte der Hörschwelle weniger als 10 dB unterhalb dieser und können von einem Menschen mit einem besonders gut ausgeprägten Gehör schon wahrgenommen werden. An diesem Messtag lag das Geräusch, laut Aussage von Herrn Barth, als deutlich wahrnehmbar in jedem Zimmer des Hauses und in der Einfahrt des Grundstückes vor. Daher wurde nach DIN 45680 Kapitel 3.2 und 4.1 eine Analyse der Terzpegel durchgeführt (siehe Kap. 1.3.4). Dabei wurde festgestellt, dass in den Terzbändern der Mittenfrequenzen von 10 Hz bis 80 Hz ein tieffrequentes Geräusch vorhanden ist, jedoch unterhalb der Hörschwelle (Vergleich Kap. 1.3.4).

$$L_{CF}-L_{AF} = \underline{22,9 \text{ dB}} > 20 \text{ dB} \quad (36)$$

Beobachtungen der Wetterlage (Anhang 6, Abb. A. 6.8) lassen darauf schließen, dass der Niederschlag am Tag zuvor und am Tag der Messung zu einer gesteigerten Maschinentätigkeit in der Kläranlage Niederwiesla führte.

4.1.1.2 Messungen vom 06.07.09

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 9 und 10 (Messung 2.2) und Anhang 2 (Diagr. A.2.22, A.2.23 und A.2.24 Seite XIX-XXI). In den folgenden Tabellen 9 und 10 sind die markanten Peaks mit ihren Maxima dargestellt. Es sind für den Luftschall die unbewerteten und A-bewerteten Pegel sowie die Differenz zur Hörschwelle dargestellt.

Tabelle 9: Peaks der Luftschallmessungen vom 06.07.09

Frequenz in Hz	Pegel in dB unbewertet	bei MP	Pegel in dB (A)	Differenz zur Hörschwelle in dB	Anmerkungen
20	38	MP 1	-12,5	-83,5	Breites max. von 16 Hz bis 80 Hz
27	47	MP 1	2,3	-61	
29	47	MP 1	7,6	-48	
37	45	MP 1	10	-39	Diagr. A.2.22
51	53	MP 2	22,8	-17,2	
73	43	MP 3	19,2	-10,3	Diagr. A.2.22
76	42	MP 1	18,8	-10,2	Diagr. A.2.22
96	38	MP 3	18,2	-5,8	Diagr. A.2.22
101	39	MP 3	19,9	-3,1	Diagr. A.2.22
162	36	MP 4	22,6	+7,6	Diagr. A.2.22, breites max. von 150 Hz bis 220 Hz
214	36	MP 4	25,1	+13,1	Diagr. A.2.22
363	29	MP 4	23,3	+16,3	Diagr. A.2.22
625	28	MP 5	26,1	+21,1	Diagr. A.2.22

Tabelle 10: Peaks der Schwingungsmessungen vom 06.07.09

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
8	$5,90 \cdot 10^{-6}$	MP 2	Diagr. A.2.23
10	$4,34 \cdot 10^{-6}$	MP 2	
11	$6,22 \cdot 10^{-6}$	MP 10	
14	$3,46 \cdot 10^{-6}$	MP 2	
16	$5,51 \cdot 10^{-6}$	MP 6	
23	$5,02 \cdot 10^{-6}$	MP 10	Diagr. A.2.24
31,5	$2,82 \cdot 10^{-6}$	MP 7	
43	$1,02 \cdot 10^{-6}$	MP 6	
51	$1,31 \cdot 10^{-6}$	MP 10	
90	$7,4 \cdot 10^{-7}$	MP 9/3	Diagr. A.2.23/24
125	$9,85 \cdot 10^{-7}$	MP 9	
157	$3,66 \cdot 10^{-7}$	MP 6	Diagr. A.2.24
250	$4,05 \cdot 10^{-7}$	MP 10	
353	$2,71 \cdot 10^{-7}$	MP 6	
500	$2,17 \cdot 10^{-7}$	MP 10	
710	$1,22 \cdot 10^{-7}$	MP 4	Diagr. A.2.23
1000	$7,95 \cdot 10^{-8}$	MP 5	Diagr. A.2.23

Markant ist hier der Peak bei 51 Hz, der wie bei allen Messungen weit herausragt. Bis 20 Hz ist ein stetiges Anwachsen der Pegel zu beobachten. Alle MP erreichen hier gemeinsam ein erstes Maximum. Bis ca. 76 Hz ist der MP 1 sehr hervorstechend. Von 150 Hz an ist MP 4 sehr auffallend, da dieser bis ca. 430 Hz die Luftschallmessung

dominiert. Ab 73 Hz liegen die Werte der Hörschwelle weniger als 10 dB unterhalb dieser und können von einem Menschen mit einem besonders gut ausgeprägten Gehör wahrgenommen werden. An diesem Tag lag das Geräusch, laut Aussage von Herrn Barth, als störendes Geräusch in jedem Zimmer des Hauses vor. Auffällig ist bei dieser Messung, dass keine der ermittelten Eigenfrequenzen der Wand mit den Luftschallmessungen übereinstimmen. Raumeigenmoden werden nicht betrachtet, da die Messung außerhalb des Gebäudes stattfand.

Im Vergleich zur Schwingungsmessung (Tabelle 8) ist der Peak bei 51 Hz deckungsgleich zur Luftschallmessung (Tabelle 7). Auffallend ist auch hier, dass ab 8 Hz in den Oktavmittenfrequenzen die Maxima erreicht werden (Diagr. A.2.23 und A.2.24 Seite XIX-XXI). Die Eigenfrequenzen der Wand stimmen nur bei ca. 1 kHz überein. Beobachtungen der Wetterlage (Anhang 6, Abb. A. 6.8) lassen darauf schließen, dass der Niederschlag am Tag der Messung zu einer gesteigerten Maschinentätigkeit in der Kläranlage Niederwiesla führte.

4.1.1.3 Messungen vom 08.07.09

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 4 und 5 (Messung 3.1) und Anhang 2 (Diagr. A.2.10 und A.2.11 Seite XI-XII). In den folgenden Tabellen 11 und 12 sind die markanten Peaks mit ihren Maxima dargestellt. Es sind für den Luftschall die unbewerteten und A-bewerteten Pegel sowie die Differenz zur Hörschwelle dargestellt.

Tabelle 11: Peaks der Luftschallmessungen vom 08.07.09

Frequenz in Hz	Pegel in dB unbewertet	bei MP	Pegel in dB (A)	Differenz zur Hörschwelle in dB	Anmerkungen
9	28	MP 3	-42,4	-137,4	Diagr. A.2.10
16	28	MP 2	-28,7	-107,7	
27	29	MP 4	-15	-78	breites max. von 26 Hz bis 56 Hz
35 *	32	MP 1	-7	-59	Diagr. A.2.10
39	32	MP 1	-2,6	-50,6	
51 *	31	MP 5	0,8	-39,2	
63	23	MP 4	-3,2	-30,3	
76 *	24	MP 2	1	-28	
90	23	MP 4	1,2	-24,3	Diagr. A.2.10
109 *	20	MP 2	2,4	-18,6	
125 *	31	MP 2	14,9	-4,1	
151 *	23	MP 2	9	-6	
178	20	MP 5	8	-5	Diagr. A.2.10
250	29	MP 2	20,4	+10,4	
353	24	MP 4	19	+11,5	Diagr. A.2.10
500	25	MP 4	21,8	+16,8	
709	23	MP 2	21,6	+17,6	
730	23	MP 1	21,7	+17,7	Diagr. A.2.10
1000	27	MP 1	27	+23	

Tabelle 12: Peaks der Schwingungsmessungen vom 08.07.09

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
9	$4,04 \cdot 10^{-6}$	MP 3	Diagr. A.2.11
11	$4,83 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
12	$2,63 \cdot 10^{-6}$	MP 3	Diagr. A.2.11
12,6	$2,21 \cdot 10^{-6}$	außer MP 3	alle MP außer MP 3
12,6	$2,42 \cdot 10^{-6}$	MP 3	
14	$2,31 \cdot 10^{-6}$	MP 4	
16	$5,57 \cdot 10^{-6}$	MP 5	
22	$1,67 \cdot 10^{-6}$	MP 3	Diagr. A.2.11
22,6	$2,02 \cdot 10^{-6}$	MP 1	Diagr. A.2.11
31,5	$1,48 \cdot 10^{-6}$	MP 5	
50/51	$1,40 \cdot 10^{-6}$	MP 5	Diagr. A.2.11
63	$1,24 \cdot 10^{-6}$	MP 5	
125	$5,35 \cdot 10^{-7}$	MP 1	

weiter Seite 57

Tabelle 12 weiter: Peaks der Schwingungsmessungen vom 08.07.09

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
178	$2,39 \cdot 10^{-7}$	MP 1	Diagr. A.2.11
250	$3,00 \cdot 10^{-7}$	MP 3	
353	$1,74 \cdot 10^{-7}$	MP 4	Diagr. A.2.11
500	$1,16 \cdot 10^{-7}$	MP 4	
1000	$5,62 \cdot 10^{-8}$	MP 4	

Bei dieser Messung wurde das Geräusch als stark störendes, belästigendes, auf und ab Brummen beschrieben. Laut der Aussage von Herrn Barth ist das Geräusch noch nie mit solch einer Intensität aufgetreten. Für Herrn Barth war das Geräusch nicht nur hörbar, sondern auch über die Finger und Arme spürbar. Daher wurde nach DIN 45680 Kapitel 3.2 und 4.1 eine Analyse der Terzpegel durchgeführt und festgestellt, dass in den Terzbändern der Mittenfrequenzen von 10 Hz bis 80 Hz ein tieffrequentes Geräusch vorhanden ist, jedoch unterhalb der Hörschwelle (Vergleich Kap. 1.3.4).

$$L_{CF}-L_{AF} = \underline{23,8 \text{ dB}} > 20 \text{ dB} \quad (37)$$

Auffallend bei der Luftschallmessung ist das breite Maximum von 24 Hz bis 55 Hz und die Pegel in den Oktavmittenfrequenzen ab 16 Hz. Bei der Frequenz 51 Hz ist wieder ein Peak in allen Messpunkten zu beobachten. Die schwachen Pegel in den tiefen Frequenzen ($f < 110$ Hz) machen das Hören unmöglich. Ab 125 Hz kann es sein, dass für einen Menschen mit einem sehr gut ausgeprägten Gehör etwas wahrnehmbar ist. Die Eigenfrequenzen stimmen nur bei ca. 1 kHz mit den Luftschallmessungen überein. Die Übereinstimmungen der Raumeigenmoden mit den Luftschallmessungen sind in Tabelle 9 mit einem * gekennzeichnet.

Die Schwingungsmessung zeigt teilweise Übereinstimmungen mit den Luftschallmessungen in den Oktavmittenfrequenzen ab 16 Hz, außer bei 31,5 Hz, und weitere bei 9 Hz, 51 Hz, 178 Hz und 353 Hz. Ab 16 Hz sind alle Oktavmittenfrequenzen mit hohen Amplituden zu erkennen. Beobachtungen der Wetterlage (Anhang 6, Abb. A. 6.8) lassen darauf schließen, dass der Niederschlag am Tag zuvor und am Tag der Messung zu einer gesteigerten Maschinentätigkeit in der Kläranlage Niederwiesa führte. Der Abbildung A. 6.8 ist noch zu entnehmen, dass an den Tagen vorher ein steiler Abfall ($p_{\Delta} = -12$ hPa) des Luftdruckes (grüne Linie) und am Tag der Messung ein Anstieg ($p_{\Delta} = +4$ hPa) ablesbar ist.

4.1.1.4 Messungen vom 17.08.09

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 6 (Messung 4.1) und Anhang 2 (Diagr. A.2.12 bis A.2.16, Seite XIII-XV). Das Geräusch ist von Herrn Barth kaum wahrnehmbar. Vom 09.-13.08.2009 fast durchgehender Niederschlag in größeren Mengen (vom 14.-17.08.2009 kein Niederschlag) und am 15. und 16.08.2009 sind ansteigende Temperaturen zu verzeichnen gewesen. Der Luftdruck ist bis zu diesem Tag abgesunken und bis zum 19.08.09 rapide angestiegen ($p_{\Delta} = +9$ hPa) (Diagr. Abb. A. 6.9, Seite L).

Auffällig bei den Einzeldiagrammen mit der hohen Frequenzauflösung (Diagr. A.2.12 bis A.2.16 ganz rechts) ist das Hervortreten der Pegel zwischen 20 Hz und 50 Hz. Bei diesen Messungen ist im Pegel- Frequenzverlauf (2. v. l.) zu erkennen, dass die tiefen Frequenzen (< 100 Hz) hohe Pegel von bis zu 40 dB erreichen und ab 1 kHz eine Verdichtung der angeregten Frequenzen stattfindet. Bei der hohen Zeitauflösung (3. v. l.) sind bis ca. 200 Hz hohe Pegel zu verzeichnen und dann ein sprunghafter Abfall der Pegel. Als Beispiel ist hier Diagramm 20 mit einem veränderten Farbspektrum gegeben.

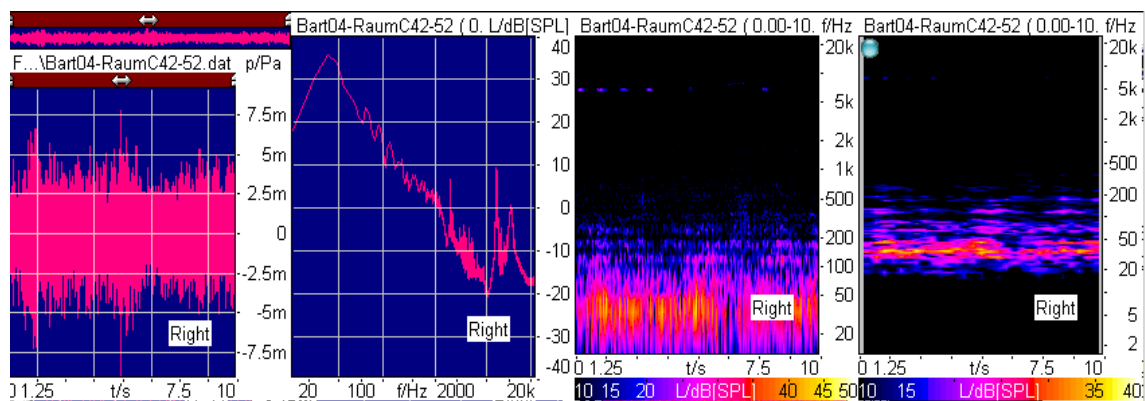


Diagramm 20 (A.2.12, verändertes Farbspektrum): Messung 4.1:17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, Raum C, Mitte Raum

Bei allen Messungen, und hier als Beispiel Diagramm 20 (links und 3. v. l.), ist ein Pulsieren in den tiefen Frequenzen (< 100 Hz) zu erkennen. Weiterhin ist auffällig, dass sich permanente Verläufe (kein Pulsieren), ab ca. 500 Hz in den unveränderten Diagrammen zeigen. Eine stark ausgeprägte Spektrallinie ist bei ca. 7 kHz zu erkennen, die von den Gebläsen und deren Motoren stammen könnte (siehe auch Kap. 1.2.2.1 und Kap. 4.2.5).

4.1.1.5 Messungen vom 08.09.09

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 7 und 8 (Messung 5.1 und 5.2) und Anhang 2 (Diagr. A.2.17 bis A.2.21, Seite XV-XVIII). In der folgenden Tabelle 13 sind die markanten Peaks mit ihren Maxima dargestellt.

Tabelle 13: Peaks der Schwingungsmessungen vom 08.09.09

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
9	$4,09 \cdot 10^{-6}$	MP 4	
11	$7,56 \cdot 10^{-6}$	MP 3	
12	$2,82 \cdot 10^{-6}$	MP 4	
12,6	$3,05 \cdot 10^{-6}$	MP 4	
13,3	$3,81 \cdot 10^{-6}$	MP 1	Diagr. A.2.21
14	$3,01 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
15	$2,18 \cdot 10^{-6}$	MP 5	
16	$5,20 \cdot 10^{-6}$	MP 3	
23	$2,57 \cdot 10^{-6}$	MP 2	
31,5	$2,76 \cdot 10^{-6}$	MP 3	
39	$1,81 \cdot 10^{-6}$	MP 2	Diagr. A.2.21
51*	$1,55 \cdot 10^{-6}$	MP 3	
63	$2,09 \cdot 10^{-6}$	MP 5	
125*	$9,19 \cdot 10^{-7}$	MP 2	Diagr. A.2.21
250	$3,56 \cdot 10^{-7}$	MP 6	
353	$2,07 \cdot 10^{-7}$	MP 1	Diagr. A.2.21
500	$1,66 \cdot 10^{-7}$	MP 5	
1000	$5,96 \cdot 10^{-8}$	MP 2	

Das Geräusch ist von Herrn Barth zum Zeitpunkt der Messung nicht wahrnehmbar. Beginn des Geräusches 09.09.09 00:30 Uhr. Vom 05.09.2009 bis zum Tag der Messung kein Niederschlag, jedoch sind ansteigende Temperaturen zu verzeichnen gewesen und somit ein Anstieg des Wasserverbrauchs (Diagr. Abb. A. 6.10, Seite L). Bei den Schwingungsmessungen liegen die maximalen Amplituden bei den Oktavmittenfrequenzen ab ca. 8Hz. Bei 11Hz und 51Hz ist ein Maximum in allen MP zu erkennen.

Die Kopfbügelmikrofonmessungen zeigen im Vergleich zu den vorangegangenen Messungen andere Merkmale auf. Im Gegensatz zu den Messungen mit Geräusch wird hier ein breiteres Frequenzspektrum (bis ca. 1,5-2kHz) mit höheren Pegeln angeregt (Diagr. A.2.20, Seite XVII). Die Zeitverläufe bei ca. 10-20kHz sind wie bei den vorangegangenen Messungen gleich geblieben. In Diagramm A.2.19 sind schwach Verdichtungen zu erkennen, die auf ein pulsierendes Geräusch hinweisen. Diese Verdichtungen (zwischen 100Hz und 200Hz) sind mit Änderung der Farbskala im folgenden Diagramm 21 besser zu erkennen.

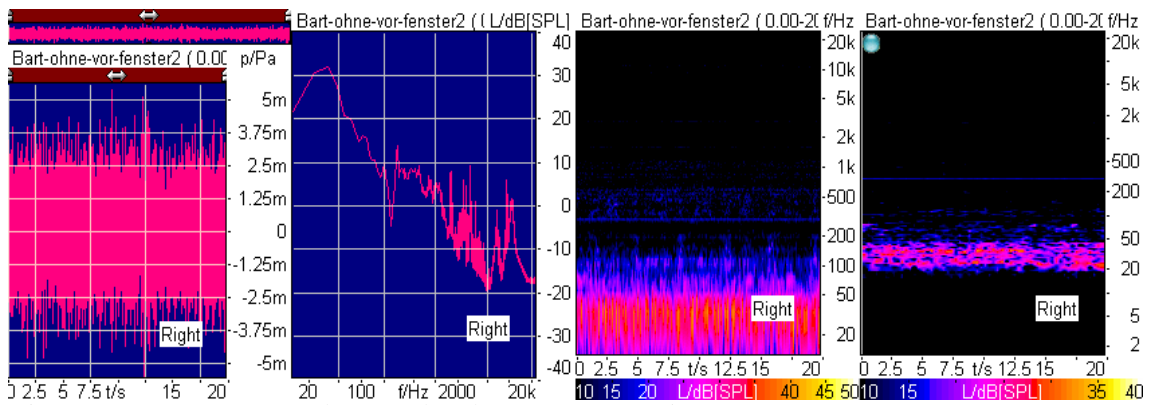


Diagramm 21 (A.2.18, verändertes Farbspektrum): Messung 5.1:08.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, ohne Geräusch vor Fenster

4.1.2 Fußboden Raum I

4.1.2.1 Messungen vom 06.07.09

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 2 und 3 (Messung 2.3) und Anhang 2 (Diagr. A.2.7, A.2.8 und A.2.9, Seite VIII-X). In den folgenden Tabellen 14 und 15 sind die markanten Peaks mit ihren Maxima dargestellt. Es sind für den Luftschall die unbewerteten und A-bewerteten Pegel sowie die Differenz zur Hörschwelle dargestellt.

Tabelle 14: Peaks der Luftschallmessungen vom 06.07.09

Frequenz in Hz	Pegel in dB unbewertet	bei MP	Pegel in dB (A)	Differenz zur Hörschwelle in dB	Anmerkungen
11	59	MP 2	-11,4	-106,4	Diagr. A.2.7
15	47	MP 2	-9,7	-90	Diagr. A.2.7
22	54	MP 2	3,5	-64,3	Diagr. A.2.7
33	36	MP 1	-3	-58,5	
51	36	MP 2	5,8	-34,2	
125	29	MP 1	12,9	-6,1	
151	28	MP 7	14	-2	
250	26	MP 1	17,4	+7,4	
360	23	MP 1	17,7	+9,7	
417	24	MP 3	19,5	+12,5	
500	25	MP 3	21,8	+16,8	
520	25	MP 5	25,5	+20,5	Diagr. A.2.7
710	22	MP 5	20,8	+16,3	
1000	27	MP 2	27	+23	
1416	22	MP 1	22,8	+19,8	

Tabelle 15: Peaks der Schwingungsmessungen Raum I Fußboden vom 06.07.09

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
9	$6,63 \cdot 10^{-6}$	MP 5	Diagr. A.2.8
11	$6,22 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
13	$3,27 \cdot 10^{-6}$	MP 5	Diagr. A.2.8
16	$6,85 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
22	$1,89 \cdot 10^{-6}$	MP 5	Diagr. A.2.8
31,5	$3,69 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
63	$2,0 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
84	$1,04 \cdot 10^{-6}$	MP 2	Diagr. A.2.8
125	$8,68 \cdot 10^{-7}$	MP 4	
178	$5,54 \cdot 10^{-7}$	MP 4	Diagr. A.2.8
250	$3,11 \cdot 10^{-7}$	MP 1	
375	$3,17 \cdot 10^{-7}$	MP 3	Diagr. A.2.8
438	$2,39 \cdot 10^{-7}$	MP 1	Diagr. A.2.8
500	$1,57 \cdot 10^{-7}$	MP 1	
1000	$5,82 \cdot 10^{-8}$	MP 5	

Bei dieser Messung im Raum I sind die höchsten Schalldruckpegel und Schwingungsamplituden im Haus gemessen worden. Das Geräusch soll als störendes Geräusch vorgelegen haben. Die Luftschallmessungen weisen schon bei den niedrigen Frequenzen sehr hohe Pegel (8 Hz bis 12 Hz und 15 Hz bis 24 Hz) von bis zu 55 dB auf. Wie bei anderen Messungen sind hier ebenfalls Maxima bei 51 Hz und in den Oktavmittenfrequenzen ab 8 Hz zu erkennen. Ab ca. 150 Hz bis 230 Hz und 360 Hz bis 450 Hz ist ein typischer Verlauf zu erkennen, wovon alle Luftschallmessungen betroffen sind. Die Werte bis 125 Hz liegen zu weit unter der Hörschwelle, als diese von einem Menschen wahrgenommen werden könnten.

Die Schwingungsmessungen weisen wieder typische Maxima bei den Oktavmittenfrequenzen ab ca. 8 Hz auf und haben in den tiefen Frequenzen eine gute Deckungsgleichheit mit den Luftschallmessungen. Herausragend ist hier der MP 8. Dieser tritt in den Peaks dominant auf. Der Vergleich zu Kap. 4.1.1.2 zeigt, dass im Bereich der Luftschallmessungen die dominanten Peaks nicht vergleichbar mit den Peaks dieser Messung sind. Jedoch ähnelt sich der Verlauf in den Oktavmittenfrequenzen, außer bei 63Hz, bei den Schwingungsmessungen. Beobachtungen der Wetterlage (Anhang 6, Abb. A. 6.8) lassen darauf schließen, dass der Niederschlag am Tag der Messung zu einer gesteigerten Maschinentätigkeit in der Kläranlage Niederwiesa führte.

4.1.3 Außenmessung Garten

4.1.3.1 Messungen vom 08.07.09

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 11 und 12 (Messung 3.2) und Anhang 2 (Diagr. A.2.25 und A.2.26, Seite XXII-XXIII). In den folgenden Tabellen 16 und 17 sind die markanten Peaks mit ihren Maxima dargestellt. Es sind für den Luftschall die unbewerteten und A-bewerteten Pegel sowie die Differenz zur Hörschwelle dargestellt.

Tabelle 16: Peaks der Luftschallmessungen vom 08.07.09

Frequenz in Hz	Pegel in dB unbewertet	bei MP	Pegel in dB (A)	Differenz zur Hörschwelle in dB	Anmerkungen
51	61	MP 5	30,8	-9,2	bis 50 Hz breites max.
60,3	48	MP 4	21,8	-11,2	
63	49	MP 4	22,8	-10,7	
79	47	MP 6	24,5	-3,5	
87	48	MP 2	26	+1	
151	50	MP 5	36	+20,5	
245	40	MP 5	31,4	+21,4	
363	36	MP 5	30,8	+22,8	
460	34	MP 5	30	+24	
563	32	MP 5	29,5	+24,5	
ab 600		alle	-		breites max. ohne herausragende Peaks bis 1460 Hz

Tabelle 17: Peaks der Schwingungsmessungen vom 08.07.09

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
8	$7,89 \cdot 10^{-6}$	MP 5	
9,6	$3,37 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
11	$4,45 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
11,6	$1,35 \cdot 10^{-5}$	MP 6	Diagr. A.2.26
13,3	$2,35 \cdot 10^{-6}$	MP 4	Diagr. A.2.26
14	$2,36 \cdot 10^{-6}$	MP 4	Diagr. A.2.26
16	$4,69 \cdot 10^{-6}$	MP 2	
22,6	$1,95 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
31,5	$2,12 \cdot 10^{-6}$	MP 1	
44,3	$1,05 \cdot 10^{-6}$	MP 6	
63	$1,19 \cdot 10^{-6}$	MP 5	
125	$8,19 \cdot 10^{-7}$	MP 3	
250	$2,49 \cdot 10^{-7}$	MP 5	
500	$1,45 \cdot 10^{-7}$	MP 5	
1000	$4,79 \cdot 10^{-8}$	MP 5	

Die Luftschallmessungen im Gartenbereich sind sehr interessant, da hier bei 51 Hz der höchste Pegel mit 61 dB (Linear) anlag. Bis dahin ist der MP 6 dominierend. Es wurden keine Peaks in den Oktavmittenfrequenzen gefunden, außer bei 63 Hz. Die Messpunkte (MP5 ca. 9m und MP6 ca. 11m), die am weitesten vom Haus entfernt sind, weisen einen Verlauf mit den höchsten Pegeln auf.

Die Schwingungsmessungen mit dem Erdnagel ergaben wiederum Peaks in den Oktavmittenfrequenzen ab 8 Hz und ein extremes Maximum bei ca. 11,6 Hz. Das

Geräusch soll sich, laut Herrn Barth, intensiviert haben. Zwischenzeitliches Nieseln beeinflusste die Messung nicht. An den Tagen vorher fast durchgängiger Niederschlag mit kleinen Pausen (Abb. A. 6.8, Seite XLIX).

4.1.4 Vergleich zu den Werten von Dr. Schulz und Dr. Kubicek

Es wurden in den vergangenen Jahren von Dr. Schulz (2008) und Dr. Kubicek (2007) Messdaten im Haus von Herrn Barth ermittelt. Diese brachten jedoch keine weiteren Erkenntnisse über die Art des Geräusches sowie die Zusammenhänge zur Kläranlage Niederwiesa. Dr. Kubicek führte Langzeitmessungen über mehrere Monate durch und kam zu dem Ergebnis, dass fast alle Werte unter 50 Hz teilweise weit unterhalb der Hörschwelle eines „Normalhörenden“ liegen. Die ersten starken Maxima liegen bei ca. 16 Hz und 20 Hz (siehe Diagr. A.4.23, Seite XLV). Allerdings lassen sich Rückschlüsse mit der Wetterlage an den Tagen mit Geräusch ziehen. In der folgenden Tabelle 16 sind Beispiele aus den Tagen der Messungen (Dr. Kubicek) mit den Wetterdaten und den Aufzeichnungen von Herrn Barth aufgelistet.

Tabelle 18: Darstellung der Wetterlage mit Aufzeichnungen von Herr Barth (Diagr. A.4.24 und A.4.23)

Datum	Geräusch	Wetterlage
25.02.2007	mittel	Schneefall mit Tauwetter am Tag der Messung
26.02.2007	stark/laut	Schneefall mit Tauwetter am Tag der Messung und am Tag vorher
28.02.2007	stark	starker Schneefall/Nieder -schlag mit Tauwetter am Tag der Messung und am Tag vorher
01.03.2007	leise	Schneefall/Niederschlag mit Tauwetter am Tag der Messung und am Tag vorher
25.03.2007	still/kein Geräusch	kein Niederschlag
24.09.2007	stark/laut	kein Regen, aber Anstieg der Temperaturen, Wochenende
30.09.2007	laut	am Tag vorher Niederschlag
03.10.2007	still/kein Geräusch	kein Regen am Tag vorher, aber am Tag der Messung leichter Niederschlag
04.10.2007	laut	Niederschlag am Tag vorher

An Tagen, an denen Niederschlag fiel und/oder die Lufttemperatur anstieg, ist für Herrn Barth das Geräusch nicht hörbar. Erst einige Stunden später stellt sich dieses ein und hält dann mehrere Stunden bis Tage an. An Tagen mit hohen Temperaturen, stellt sich das Geräusch ebenfalls ein. Das lässt vermuten, dass besonders an Wochenenden mit hohen Außentemperaturen ein erhöhter Wasserverbrauch zu verzeichnen sein sollte.

Der Vergleich mit den Messungen von Dr. Schulz (2008) weist teilweise Übereinstimmungen mit den Messungen, die im Rahmen dieser Arbeit gemacht wurden, auf. Die Luftschallmessungen im Haus besitzen ähnliche Maxima. Das folgende Diagramm 22 zeigt ein Beispiel aus den Messungen von Dr. Schulz.

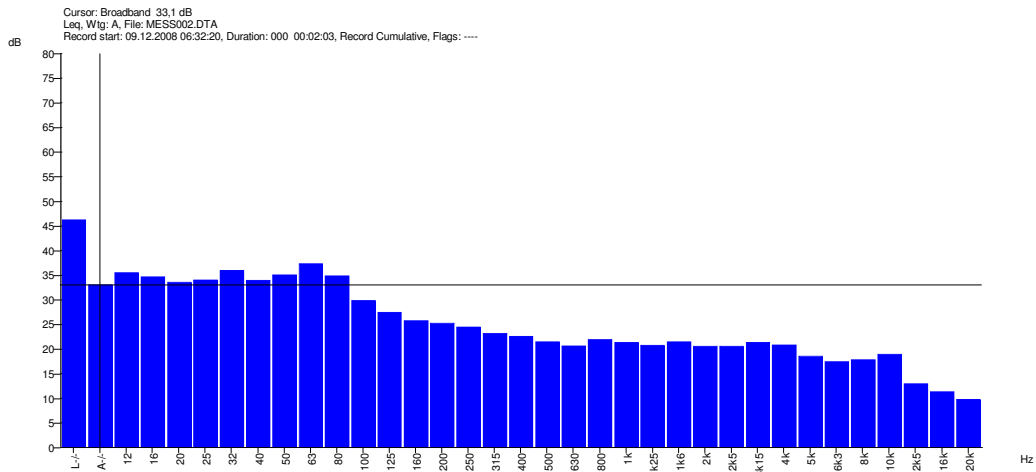


Diagramm 22: Messungen Dr. Schulz, Keller Wohnhaus, 09.12.08, Kap. 1.1.1 Pos.3 [16]

Am Tag der Messung gab es leichten Niederschlag und starken Niederschlag an den Tagen zuvor (Abb. A. 6.11, Seite LIII). In den tiefen Frequenzen sind mehrere Maxima zu erkennen die sich mit den voran gegangenen Messungen decken. Der Schwerpunkt liegt bei 12 Hz bis 80 Hz.

4.2 Auswertungen der Messungen an der Kläranlage Niederwiesa

Innerhalb des Gebläsehauses wurden keine Luftschallmessungen durchgeführt. Bei diesen Messungen wurde sich ausschließlich auf die Schwingungsmessungen an den Gebläsen, Gebläserohren sowie an der Außenwand Wz_1 konzentriert, da diese als mögliche „Strahler“ in Betracht kamen (Kap. 1.2.2.2). Laut Herrn Barth ist am Tag der Messung in der Kläranlage das Geräusch im Wohnhaus deutlich wahrnehmbar.

4.2.1 Wand Wz_1

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 13 (Messung 6.1.1) und Anhang 4 (Diagr. A.4.1 und A.4.2, Seite XXV-XXVI). In der folgenden Tabelle 19 sind die markanten Peaks mit ihren Maxima dargestellt.

Tabelle 19: Schwingungsmessung Wand Wz_1

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
10	$2,88 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
11	$2,65 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
13	$3,72 \cdot 10^{-4}$	MP 5	Diagr. A.4.1
16	$3,9 \cdot 10^{-4}$	MP 1	Diagr. A.4.2
22,6	$2,21 \cdot 10^{-4}$	MP 3	
27,3	$1,05 \cdot 10^{-4}$	MP 1	Diagr. A.4.1
31,5	$1,78 \cdot 10^{-4}$	MP 1	
44	$8,39 \cdot 10^{-5}$	MP 5	Diagr. A.4.1
63	$1,11 \cdot 10^{-4}$	MP 1	
89,6	$3,82 \cdot 10^{-5}$	MP 5	
101	$3,76 \cdot 10^{-6}$	MP 11	Diagr. A.4.2
151,6	$4,02 \cdot 10^{-6}$	MP 11	Diagr. A.4.2
229,6	$2,68 \cdot 10^{-6}$	MP 11	Diagr. A.4.2
250	$2,70 \cdot 10^{-5}$	MP 1	
291	$1,57 \cdot 10^{-6}$	MP 8	Diagr. A.4.2
500	$1,11 \cdot 10^{-5}$	MP 5	
1000	$4,73 \cdot 10^{-6}$	MP 4	

Auffällig sind hier die Frequenzen in den Oktavmittenfrequenzen, die mit den Frequenzen im Wohnhaus übereinstimmen. Werden diese Peaks aus den Oktavmittenfrequenzen verglichen, dann ergeben sich folgende prozentualen Verluste:

Tabelle 20: Ausgesuchte Messwerte und deren Verluste am Immissionsort

Frequenz [Hz]	Ausgangswert KA, Wz_1 [m], 100%	Werte der stärksten Amplituden [m], Cw_1	Prozentsatz der Immissionen	Verlust [%]
16	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$5,51 \cdot 10^{-6}$	1,41 %	98,59 %
31,5	$1,78 \cdot 10^{-4}$	$2,82 \cdot 10^{-6}$	1,04 %	98,96 %
63	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$1,66 \cdot 10^{-6}$	1,49 %	98,51 %
250	$2,70 \cdot 10^{-5}$	$4,05 \cdot 10^{-7}$	1,5 %	98,5 %
500	$1,11 \cdot 10^{-5}$	$2,17 \cdot 10^{-7}$	2,85 %	97,15 %
1000	$4,73 \cdot 10^{-6}$	$7,95 \cdot 10^{-8}$	1,68 %	98,32 %

Dies sagt allerdings nicht aus ob und inwieweit die abgeschwächten Werte zur Geräuschbildung führen.

Weitere Vergleiche zu den Kläranlagenmessungen sind in den Kapiteln 4.2.2 bis 4.2.4 erläutert.

4.2.2 Abluftrohr zu Sandfang, Laststufe (LS) 1 und 2

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 14 und 15 (Messung 6.1.2) und Anhang 4 (Diagr. A.4.3 bis A.4.6, Seite XXVII-XXX). In den folgenden Tabellen sind die markanten Peaks mit ihren Maxima vermerkt.

Die Messungen sollen nur den eigentlichen Verlauf darstellen. Die Stärke der Amplituden kann hierbei nicht betrachtet werden, da zum Zeitpunkt der Messung die Voraussetzungen zu einem fehlerfreien Messen nicht gegeben waren. Das Abluftrohr besteht aus Edelstahl, welches sich nach längeren Betriebszeiten extrem erhitzt und somit das Bienenwachs zum Befestigen der Messaufnehmer sehr elastisch wird. Weiterhin musste durch die starke Krümmung des Rohres sehr viel Wachs verwendet werden, was die Messergebnisse verfälschen kann. Daher kann keine absolute Aussage über die Relevanz der Schwingungseintragung in die Wand Wz_1 getroffen werden.

Bemerkung: Das Abluftrohr mündet ohne sichtbare Entkopplung in der Wand zum Sandfang.

Tabelle 21: Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, LS1 horizontal

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
8,3	$6,04 \cdot 10^{-4}$	MP 3	
11,3	$7,8 \cdot 10^{-4}$	MP 3	
26	$6,38 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
31,5	$2,52 \cdot 10^{-4}$	MP 3	Diagr. A.4.3
36,3	$1,9 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
51	$5,22 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
65,6	$8,88 \cdot 10^{-4}$	MP 1	
76,3	$3,07 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
101	$2,21 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
122,3	$6,8 \cdot 10^{-4}$	MP 3	
178	$7,23 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
204	$1,01 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
270	$6,13 \cdot 10^{-4}$	MP 3	
301	$6,18 \cdot 10^{-4}$	MP 3	
448	$3,7 \cdot 10^{-4}$	MP 3	
960	$2,53 \cdot 10^{-4}$	MP 2	Diagr. A.4.3

Tabelle 21 zeigt die maximalen Amplituden der Abluftrohre zum Sandfang. Der stärkste Peak erscheint bei 76,3 Hz mit einer Amplitude von 3,07 mm. Sichtbar starke und tiefe Frequenzen werden nur bei 8 Hz, 11 Hz und 26 Hz angeregt. Der Peak bei 101 Hz ist ebenfalls sehr markant und ist in jeder Messung des Abluftrohres und der

Sandfanggebläse (siehe Kap. 4.2.3) vertreten. Weitere Übereinstimmung mit den Sandfanggebläsemessungen gibt es bei 301 Hz, wobei allerdings das Edelstahlrohr die Amplitude zu stark beeinflusst.

Tabelle 22: Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, LS1 vertikal

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
8,3	$5,39 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
11,3	$3,19 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
16	$2,35 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
26	$7,33 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
31,5	$1,11 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
35	$1,72 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
51	$5,79 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
60	$2,13 \cdot 10^{-4}$	MP 1	
76,3	$9,39 \cdot 10^{-4}$	MP 1	
101	$2,95 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
122,3	$1,96 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
178	$7,23 \cdot 10^{-4}$	MP 2	
204	$2,43 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
301	$1,21 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
332	$1,06 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
448	$2,77 \cdot 10^{-4}$	MP 1	Diagr. A.4.4
480	$3,97 \cdot 10^{-4}$	MP 3	Diagr. A.4.4
960	$2,12 \cdot 10^{-4}$	MP 2	

Die Vertikalmessung zeigt, dass im Gegensatz zu den Horizontalmessungen einige Frequenzen nicht so stark zum Vorschein kommen und andere wiederum weit herausragen. Dies liegt im Schwingverhalten des Rohres begründet („Kreisatmung“). So ist zum Beispiel bei 76,3 Hz die Amplitude um eine Potenz niedriger. Allerdings steigt bei 101 Hz die Amplitude weiter an. Prinzipiell werden fast alle Frequenzen der Horizontalmessung angeregt jedoch mit einer abweichenden Amplitude.

Tabelle 23: Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, LS2 horizontal

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
8,3	$5,46 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
11	$2,77 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
13,3	$2,63 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
16	$3,39 \cdot 10^{-3}$	MP 2	
31,5	$1,01 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
50	$1,81 \cdot 10^{-3}$	MP 2	
60	$2,13 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
100	0,0165	MP 1	
178	$2,56 \cdot 10^{-3}$	MP 1	Diagr. A.4.5
200	$2,01 \cdot 10^{-3}$	MP 2	
301	$1,72 \cdot 10^{-3}$	MP 2	
480	$1,5 \cdot 10^{-3}$	MP 2	
625	$1,65 \cdot 10^{-3}$	MP 1	Diagr. A.4.5
897	$9,74 \cdot 10^{-4}$	MP 1	Diagr. A.4.5

Tabelle 24: Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, LS2 vertikal

Frequenz in Hz	Amplitude in m	bei MP	Anmerkungen
8,3	$7,28 \cdot 10^{-3}$	MP 1	Diagr. A.4.6
10	$1,33 \cdot 10^{-3}$	MP 1	Diagr. A.4.6
11,3	$3,6 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
16	$2,69 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
31,5	$1,87 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
50	$1,42 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
65	$7,64 \cdot 10^{-4}$	MP 2	Diagr. A.4.6
73	$9,85 \cdot 10^{-4}$	MP 2	Diagr. A.4.6
100	$8,67 \cdot 10^{-3}$	MP 2	
200	$1,88 \cdot 10^{-3}$	MP 2	
301	$2,37 \cdot 10^{-3}$	MP 3	
322	$1,98 \cdot 10^{-3}$	MP 1	
480	$6,98 \cdot 10^{-4}$	MP 3	Diagr. A.4.6
709	$7,66 \cdot 10^{-4}$	MP 1	Diagr. A.4.6
813	$6,38 \cdot 10^{-4}$	MP 1	Diagr. A.4.6
1208	$8,19 \cdot 10^{-4}$	MP 3	Diagr. A.4.6

Tabelle 23 und 24 zeigen alle auffälligen Peaks der Laststufe 2. Dabei haben sich bei den Horizontalmessungen weitere Peaks, zum Beispiel bei 16 Hz, ausgebildet. Weiterhin sind schon bestehende Amplituden stärker ausgebildet als bei Laststufe 1 (101 Hz). Andere Peaks wie bei 76,3 Hz ($7,5 \cdot 10^{-4}$ m) sind dabei schwächer geworden. Auffällig ist hier der Peak bei 301 Hz und 480 Hz da dieser bei den Messungen am Rohr immer vorhanden ist sowie der Peak bei ca. 50 Hz. Dieser ist bei fast allen Messungen in der Kläranlage mehr oder weniger stark ausgeprägt.

4.2.3 Sandfanggebläse, Laststufe (LS) 1 und 2

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 16 (Messung 6.1.3) und Anhang 4 (Diagr. A.4.7 bis A.4.12, Seite XXXI-XXXVI). Die Messungen sind in vertikal, horizontal, Laststufe 1 und 2 und Front- und Seitenmessung aufgeteilt. Um die Auswertung zu vereinfachen, sind hier Laststufe 1 und 2 jeweils getrennt bewertet.

Laststufe 1

Hier ist zu trennen von Messungen an der Seite und der Front des Gebläsefundaments, da erhebliche Unterschiede zu erkennen sind.

Bei den vertikalen Messungen (Diagramm A.4.7 und A.4.8) sind Übereinstimmungen der Frequenzen eindeutig erkennbar. Es gibt Unterschiede in der Amplitude, das ist allerdings abmessungsbedingt gegeben. Bis 312 Hz stimmen hier alle Peaks miteinander überein. Ab 625 Hz zeigen sich in der Frontmessung allerdings weitere Peaks, die bei der Seitenmessung nicht zu erkennen sind. Der höchste Wert, der hier erreicht wird, ist

eine Amplitude von ca. 0,0197 mm bei 48,3 Hz. Nach Koller [4] (Seite 130) liegt dieser Wert an der Grenze von „nicht spürbar“ zu „schwach spürbar“. Bei 750 Hz ist diese Schwelle überschritten und diese Erschütterungen sind in der näheren Umgebung wahrnehmbar. Im Vergleich zur Wand Wz_1 , stimmen einige Frequenzen der hier stark herausragenden Peaks mit denen der Wand überein. Dies sind die Frequenzen 16 Hz, 26-27 Hz, 50 Hz, 101 Hz, 151,6 Hz und 229,6 Hz.

Bei den horizontalen Messungen (Diagramm A.4.9 und A.4.10) ergibt sich kaum ein anderes Bild. Es gibt keine Übereinstimmung der Stärke der Peaks Front- und Seitenmessung. Die Amplituden unterscheiden sich in ihrer Stärke bei der Seitenmessung horizontal und vertikal sehr stark. Jedoch sind die Peaks immer noch bei den gleichen Frequenzen zu erkennen. Bei der Frontmessung horizontal und vertikal unterscheiden sich die Amplituden ebenso in ihrer Stärke, allerdings kaum bei ihrer Verteilung über die Frequenzskala. Das Maximum bei dieser Messung wird bei einer Frequenz von 301 Hz und einer Amplitude von $2,48 \cdot 10^{-5}$ m erreicht (Diagramm A.4.9). Wenn der Verlauf der Messung 6.1.1 (Diagramm A.4.2: Messung: 13.07.2009, Schwingungsmessung Wand Wz_1) mit dem Verlauf der Messung 6.1.3 verglichen wird, ist ein ähnlicher Verlauf, mit abgeschwächten Amplituden in der Wand, zwischen 100 Hz und 150 Hz erkennbar.

Hierbei ist nicht auszuschließen, dass die Sandfanggebläse bei Laststufe 1 den Erdboden und die Wand Wz_1 so anregen, dass Emissionen über das Erdreich weiter getragen werden.

Laststufe 2

Durch den Anstieg der Drehzahl der Gebläse und der Motoren wurden markante Peaks ausgebildet, die stärker sind als bei Laststufe 1.

In den Vertikal- und Horizontalmessungen sind sehr markante Peaks bei ca. 100 Hz und 301 Hz zu erkennen. Der 100 Hz Peak erscheint in der Wandmessung (Kap. 4.2.1, Tabelle 19) und Messung der Gebläse bei Laststufe 1 ebenso deutlich. In der Laststufe 2 werden tiefe Frequenzen von 8 Hz bis 16 Hz angeregt, die eine sehr hohe Amplitude besitzen.

Das lässt vermuten, dass die Wand durch eines oder mehrere der Sandfanggebläse angeregt wird.

Als Beispiel sei hier die 16 Hz Amplitude genannt. Der Vergleich zwischen den Messungen im Haus (mit und ohne Geräusch) und den Messungen in der Kläranlage

verdeutlicht, dass der Peak bei 16 Hz mit und ohne Geräusch im Wohnhaus variiert. Je stärker das Geräusch wahrgenommen wird, umso höher ist der Wert bei 16 Hz. Das sagt aber nicht aus, dass nicht noch andere Frequenzen im Wohnhaus zur Geräuschbildung beitragen.

4.2.4 Belebungsgebläse

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 17 (Messung 6.1.4) und Anhang 4 (Diagr. A.4.13 bis A.4.18, Seite XXXVII-XLII). Die Messungen sind in vertikal, horizontal und Front- und Seitenmessung aufgeteilt. Zum Zeitpunkt der Messungen liefen die Sandfanggebläse auf Laststufe 1.

Der Vergleich der Vertikal- und Horizontalmessungen zeigt, dass die Amplituden der horizontal gemessenen Werte sehr viel niedriger sind als die der vertikalen (Diagr. A.4.13 bis A.4.18). Das liegt unter anderem an der Drehbewegung der installierten Maschinen und der Auflagerung der Bodenplatte. Bei allen Messungen ist jedoch ein ausgeprägtes Maximum bei 119 Hz und bei 239 Hz (außer bei „Seite horizontal“, Diagramm A.4.18) zu erkennen. Maxima mit einem breiten Frequenzspektrum von 8 Hz bis 16 Hz sind überwiegend bei den Horizontalwerten, in den ersten fünf Messpunkten der Seitenmessung und in allen Messpunkten der Frontmessung, zu erkennen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Peaks, die mit den Messwerten aus der Sandfanggebläsemessung übereinstimmen, die Messungen aus Kap. 4.2.3 dominieren und überlagern.

Übereinstimmungen mit Messwerten der Wand lassen ebenfalls darauf schließen, dass Schwingungen über das Erdreich oder die Bodenplatte auf die Wand übertragen werden. Dominierend sind hier die vertikal eingetragenen Schwingungen, welche sich bei 16 Hz, 50 Hz, 117 Hz und 229 Hz befinden und auch mit den Frequenzen der Sandfanggebläse kongruieren. Das lässt den Schluss zu, dass die Schwingungen über die Gebäudegrenzen hinweg in das Erdreich und in angrenzende Gebiete eingetragen werden. Die Belebungsgebläse mit ihren angrenzenden Bauteilen stellen somit eine Quelle tieffrequenter Geräusche dar.

4.2.5 Kopfbügelmikrofonmessung Gebläseraum

Diagramme zum Vergleich siehe Diagramm 18 und 19 (Messung 6.2) und Anhang 4 (Diagr. A.4.19 bis A.4.22, Seite XLIII-XLIV). Zum Zeitpunkt der Messungen liefen die Sandfanggebläse auf Laststufe 1.

In den Aufzeichnungen sind sehr hohe Pegel bei ca. 150 Hz und 375 Hz zu ablesbar. Weiterhin lässt sich erkennen, dass zwischen 1 kHz und 5 kHz die Peaks sehr stark ausgeprägt beieinander liegen und Spektrallinien aufweisen die von den Gebläsen und deren Motoren stammen (siehe auch Kap. 1.2.2.1). Der auffallende hohe Pegel bei ca. 375 Hz lässt sich auch bei einer Messung im Wohnhaus wieder finden (Diagr. A.2.19, Seite XVI). Die Pegel unterhalb von 100 Hz (ca. $L_{lin}=65$ dB) sind ebenfalls im Wohnhaus (ca. $L_{lin}=35$ dB) vertreten.

4.3 Auswertung der Hörproben

Herrn Barth wurden verschiedene Hörproben aus dem Wohnhaus (Kopfbügelmikrofonmessungen aus Kap. 4.1) und der Kläranlage (Kopfbügelmikrofonmessungen Kap. 4.2) vorgespielt. Diese wurden in Originallautstärke sowie verstärkt über Lautsprecher und über Kopfhörer abgespielt. Dabei wurden verschiedene Frequenzen mit Filtern manipuliert, um die Art und die Zusammensetzung des Geräusches zu ermitteln. Der Proband wusste zum Zeitpunkt der jeweiligen Hörprobe nicht, ob es sich um eine Probe mit oder ohne Geräusch handelt und ob die Aufnahmen aus dem Wohnhaus oder der Kläranlage stammen. Die Proben sind im Anhang 7 mit den jeweiligen Filtern abgebildet. Die folgende Tabelle listet entsprechend die Ergebnisse auf.

Tabelle 25: Auswertung Hörprobe

Nr.	Geräuschart	Aussagen: Kopfhörer	Aussagen: Lautsprecher	Anhang
1	ohne Geräusch, Raum C, manipuliert, f<300 Hz, 114 dB	nicht erkannt	passt ungefähr, es fehlt eine höhere Frequenz	Diagr. A. 7.1
2	mit Geräusch, f<300Hz, Raum C, manipuliert, 114 dB	nicht erkannt	genau der Ton, Feinheiten fehlen (höhere Frequenz)	Diagr. A. 7.2
3	mit Geräusch, f<300Hz, Raum C, 114 dB	leicht zu hören	an- und abschwellen passt	Diagr. A. 7.3
4	KA Mitte Raum, f<300Hz, 94 dB	bekanntes Geräusch, allerdings fehlt eine Komponente	Klang ist gut, Frequenz (pulsieren) ist zu schnell	Diagr. A. 7.4
5	KA vor Belebungsgebläse, f<300Hz, 94 dB	nicht passend, untypisch	ohne Kommentar (nicht passend)	Diagr. A. 7.5
6	ohne Geräusch, Raum C, nicht manipuliert, 114 dB	bekanntes Brummen, im Hintergrund leicht vernommen	dumpfes Geräusch ist im Hintergrund zu erkennen	Diagr. A. 7.6
7	mit Geräusch, Raum C, nicht manipuliert, 114 dB	nicht erkannt	kein Geräusch erkannt	Diagr. A. 7.7
8	ohne Geräusch, Raum C, manipuliert, f<300Hz, 114 dB	nicht erkannt	im Hintergrund ist es zu hören, allerdings zu leise	Diagr. A. 7.8
9	mit Geräusch, Raum C, manipuliert, 114 dB	nicht erkannt	nicht erkannt	Diagr. A. 7.9

Die Aussagen von Herrn Barth am Tag der Aufnahme und am Tag der Hörprobe stimmen zum Teil nicht überein. Besonders bei den Hörproben mit Kopfhörer kommt es zu großen Abweichungen zwischen abgespielten Proben und den Aussagen. Die Kopfhörerproben wurden mit ca. 94 dB (Aufnahmepegel) und 114 dB (verstärkt) und die Lautsprecherproben mit ca. 105 dB (verstärkt) abgespielt. Die Lautsprecherproben haben zu einer besseren Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Herrn Barth

geführt, auch wenn das Geräusch an diesem Tag nicht anlag. Das kann daher kommen, dass die tiefen Frequenzen durch die Lautsprecher stärker angeregt wurden als mit den Kopfhörern. Zudem kam hinzu, dass der Raum durch die tiefen Frequenzen extrem angeregt wurde und erst dann eine Reaktion bei Herrn Barth eintrat. Das Ergebnis dieses Tests lässt vermuten, dass Herr Barth diese Geräusche zwar wahrnimmt, allerdings erst bei stark erhöhten Pegeln der tiefen Frequenzen (Diagr. A.6.2). Daher spielt nicht nur das Gehör, sondern auch die Wahrnehmung über andere Sinnesorgane (Haut, Finger usw. siehe Kap. 1.3.2) eine große Rolle. Es konnte jedoch nicht festgestellt werden, aus welchen Komponenten das Geräusch zusammengesetzt ist und wie sich der Frequenz-Zeitverlauf im Einzelnen gestaltet.

5. Zusammenfassung

Die vorstehende Arbeit behandelte das Thema Luft- und Körperschallübertragung tieffrequenter Geräusche. Im ersten Teil wurden die notwendigen Grundlagen bezüglich der Übertragung von Luftschall und Erschütterungen/Körperschall dargestellt sowie deren Wirkung, Bewertung und die Probleme, die daraus entstehen, diskutiert. Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden die baulichen Gegebenheiten und deren Besonderheiten, Eigenfrequenzen und Raumeigenmoden aufgezeigt und eventuelle Probleme durch weitere Emittenten dargestellt. Als einziger Emittent in unmittelbarer Umgebung kommt nur die Kläranlage Niederwiesa in Frage. In dieser und im Wohnhaus wurden im dritten Teil verschiedene Messungen durchgeführt und miteinander verglichen. Durch die somit gewonnen Messwerte, ca. 450 Messpunkte, konnte anhand der DIN 45680 eine Aussage über das von Herrn Barth wahrgenommene Geräusch getroffen werden. Die ermittelten Werte im Wohnhaus bis 100 Hz liegen zwar unterhalb der Hörschwelle, haben allerdings den Charakter eines tieffrequenten Geräusches nach dieser Norm (siehe Kap.4.1.1). Es ist damit aber nicht auszuschließen, dass diese Pegel unterhalb der Hörschwelle anderweitig vom Betroffenen über den Körper wahrgenommen werden. Der direkte Vergleich der Messungen mit und ohne Geräusch zeigt, dass die Werte der Schwingungsmessungen nur sehr gering voneinander abweichen. Weiterhin gibt es eine starke Abhängigkeit des wahrgenommenen Geräusches mit der Wetterlage. Es ist ein Zusammenhang zwischen Niederschlag, steigenden Temperaturen, Wochenenden und der Stärke des Geräusches nachgewiesen (Kap 4.1, Tabelle 18), was auf eine erhöhte Maschinentätigkeit in Folge des gesteigerten Zuführen von Wasser in die Kanalisation zurückzuführen ist.

Die Messungen im Gebläseraum der Kläranlage zeigen, dass die Belebungsgebläse die dort ermittelten Schwingungen dominieren und somit das Erdreich und die Wände anregen. Aus den Schwingungsmessungen der Wand Wz_1 geht hervor, dass diese mit den ermittelten Werten des Wohnhauses teilweise korrelieren jedoch die Auswirkungen durch die starken Verluste über den Ausbreitungsweg, ca. 98 %, nicht eindeutig abzuschätzen sind. Als mögliche weitere Quelle wurden die Abluftrohre der Gebläse zu den jeweiligen Becken identifiziert. Diese sind ohne sichtbare Entkoppelung in die Wände und dann ins Erdreich geführt. Wenn dies der Fall ist, sollte dieser Mangel behoben werden.

Auffallend ist, dass bei fast allen Schwingungsmessungen sehr starke Peaks in den Oktavmittenfrequenzen zu erkennen sind und sich diese auch teilweise in den Luftschallmessungen widerspiegeln.

Die Kopfbügelmikrofonmessungen weisen hohe Pegel unterhalb von 100Hz auf und Verdichtungen zwischen 20 Hz und 200 Hz, was auf ein pulsierendes Geräusch hinweist. Übereinstimmungen mit den Messungen aus der Kläranlage gibt es teilweise, jedoch besonders deutlich unterhalb von 100 Hz.

Bei den Hörproben mit Herrn Barth kommt es zu großen Abweichungen mit seinen gemachten Angaben zur Geräuschstärke und den zum Teil manipulierten Aufnahmen aus dem Wohnhaus und der Kläranlage. Die Kopfhörerproben wurden so gut wie nicht erkannt. Allerdings kam es zu Identifikationen der über die Lautsprecher abgespielten Proben (Kap. 4.3, Tabelle 25, Probe Nr. 2). Dabei stellte sich heraus, dass Frequenzen unterhalb von 300 Hz dominierend in dem Geräusch vorhanden sind und höhere Frequenzen nur einen geringen Anteil an der Geräuschbildung besitzen.

Zusammenfassend kann nicht eindeutig gesagt werden, ob nicht noch andere Emittenten auf dem Gelände der Kläranlage, wie zum Beispiel die Belebungsbecken mit den zahlreichen Düsen, zur Geräuschbildung beitragen. Bewiesen ist jedoch der Zusammenhang der Wetterlage mit der Stärke des Geräusches und das daraus resultierend Beeinträchtigungen in Form von tieffrequenten Geräuschen im Wohnhaus „Zur Finkenmühle 5“ entstehen. Daher sind weitere Messungen in der Kläranlage zwingend erforderlich. Darunter ist ein definiertes Ein-, Aus- und Zuschalten der Gebläse bei parallel durchgeführten Messungen im Wohnhaus sowie in der Kläranlage zu verstehen. Die Wahrnehmung von Herrn ist zu dabei zu dokumentieren und mit den durchgeführten Messungen zu vergleichen.

Literaturverzeichnis

- [1] URL: <<http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/>>, verfügbar am 16.07.09
- [2] Möser, M.: Taschenbuch der Technischen Akustik. - 6. Aufl. - Berlin: Springer-Verlag, 2005
- [3] Cremer, L.; Heckl, M.: Körperschall. - 2. Aufl. - Berlin: Springer-Verlag, 1996
- [4] Studer, J.; Koller, M.: Bodendynamik. - 3. Aufl. - Genf: Springer-Verlag, 2007
- [5] Müller, G.; Möser, M.: Taschenbuch der technischen Akustik. - 3. Aufl. München: Springer-Verlag, 2003
- [6] Norm DIN 4150-1 Teil 1,2 und 3: Erschütterungen im Bauwesen; 2001
- [7] Empfehlungen des Arbeitskreises 9 „Baugrunddynamik“ der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., Juli 1992, in „Bautechnik“ , Heft 9, 1992
- [8] URL: <<http://www.seismologie.bgr.de/infra/quelle/quelle.htm>>, verfügbar am 20.07.09
- [9] Békésy, von G.: Akust. Z. 1 (1936) 13-23; s. a.: ders.: Experiments in Hearing; McGraw Hill 1960, S. 257-267 - Yeowart, N. S.: Thresholds of hearing and loudness for very low frequencies; in: W. Tempest (Ed.): Infrasound and low frequency vibration. London: Academic Press 1976
- [10] Frey, D.: Psychologie in Gesellschaft, Kultur und Umwelt. - 1.Aufl. - Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union, 2005
- [11] Betke, K.; Remmers, H.: Messung und Bewertung von tieffrequentem Schall. URL: <<http://www.itap.de/tieffrequent.pdf> >, verfügbar am 27.07.2009

- [12] Becker, P., Schust, M.: Gesundheitsgefährdung durch Infraschall - Bestandsaufnahme. In: Broschüre der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. - Dortmund. - 1996
- [13] Przybilla T.: Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräusche.
In: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) Jahresbericht 2003,
- [14] Maschke, C., Borgmann, R.: Überarbeitung der DIN 45680 – aktueller Stand. In: Deutsche Gesellschaft für Akustik (Hrsg.) Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Fachbeiträge der 33. Deutschen Jahrestagung für Akustik DAGA 2007. DEGA, Stuttgart; URL: <[http://209.85.135.132/search?q=cache:Zx7uId6kqf8J:www.buengerfuereggebek.de/downloads/schnapp/RKI_InfraSchall.pdf+Maschke+C,+Borgmann+R+\(2007\)+%C3%9Cberarbeitung+der+DIN+45680+%E2%80%93+aktueller+Stand.+In:+Deutsche+Gesellschaft+f%C3%BCr+Akustik+\(Hrsg.\)+Fortschritte+der+Akustik:+Plenarvotr%C3%A4ge+und+Fachbeitr%C3%A4ge+der+33.+Deutschen+Jahrestagung+f%C3%BCr+Akustik+DAGA+2007.+DEGA,+Stuttgart&cd=2&hl=de&ct=clnk&gl=de](http://209.85.135.132/search?q=cache:Zx7uId6kqf8J:www.buengerfuereggebek.de/downloads/schnapp/RKI_InfraSchall.pdf+Maschke+C,+Borgmann+R+(2007)+%C3%9Cberarbeitung+der+DIN+45680+%E2%80%93+aktueller+Stand.+In:+Deutsche+Gesellschaft+f%C3%BCr+Akustik+(Hrsg.)+Fortschritte+der+Akustik:+Plenarvotr%C3%A4ge+und+Fachbeitr%C3%A4ge+der+33.+Deutschen+Jahrestagung+f%C3%BCr+Akustik+DAGA+2007.+DEGA,+Stuttgart&cd=2&hl=de&ct=clnk&gl=de)>; verfügbar am 27.07.2009
- [15] Sengpiel, E. <eberhard@sengpielaudio.com>: Berechnen der drei Raummoden von Rechteckräumen. URL: <<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-raummoden.htm>>, verfügbar am 19.08.2009
- [16] Schulz, D.: Messprotokoll, Messungen ZWA Niederwiesa vom 09.12.2008 bis 22.09.2008; HTW Mittweida; Fachbereich MPI
- [17] Schuschke G., Maschke C.: Lärm als Umweltfaktor. In: Dott W., Merk H.F., Neuser J., et al. (Hrsg.) Lehrbuch der Umweltmedizin. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart(2002), S. 251–273
- [18] Wissenswertes über tieffrequenten Schall; URL:<www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/infraschall.pdf>, verfügbar am 07.09.2009

- [19] Wandel, S. <mails@wetterstation-klaffenbach.de>: URL:< <http://www.wetterstation-klaffenbach.de/>>, verfügbar am 28.09.2009
- [20] Norm DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft; 1997

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Chemnitz, 30.10.2009

Bearbeitungsort, Datum

Unterschrift

Anhang

zur

DIPLOMARBEIT

Untersuchung tieffrequenter Emissionen am Beispiel der
Gruppenkläranlage Niederwiesa und des Immissionsortes
„Zur Finkenmühle 5“.

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Mathematik, Physik und Informatik

Chemnitz, 2009

Anhang

A.1

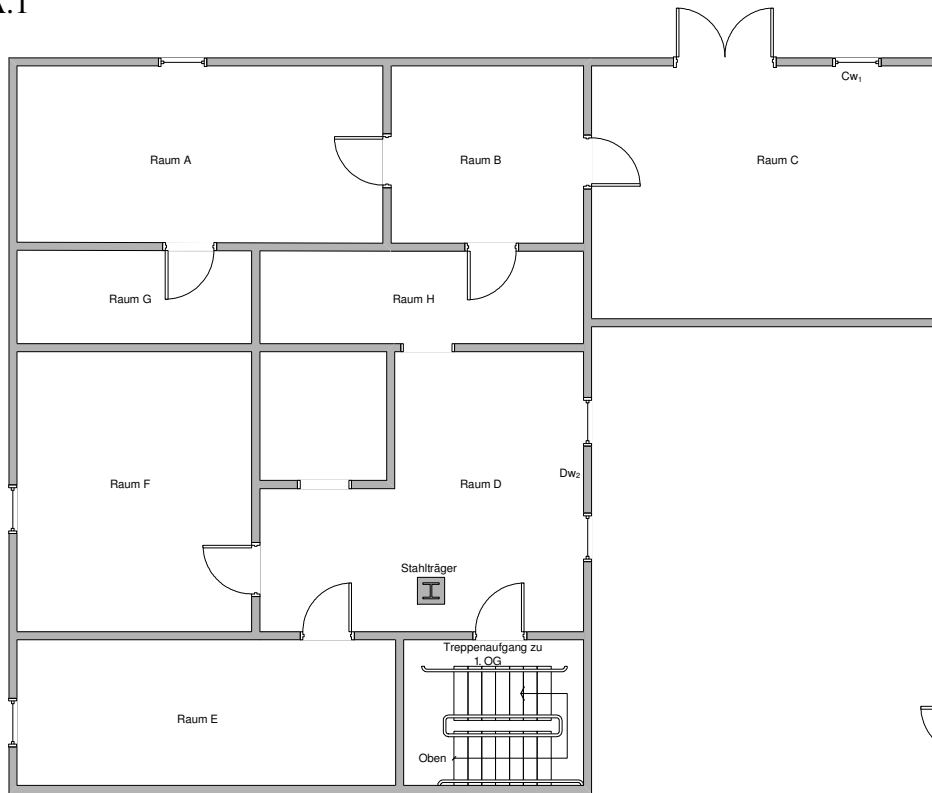


Abb. 1.1: Wohnhaus Keller

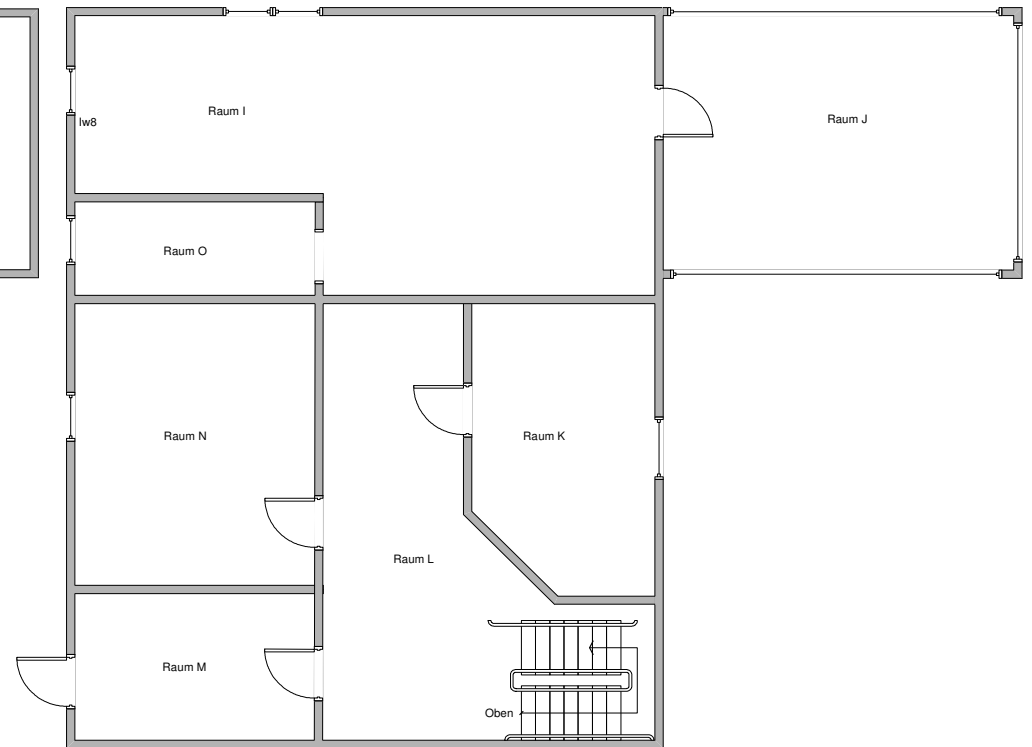


Abb. 1.2: Wohnhaus 1. OG

A.2

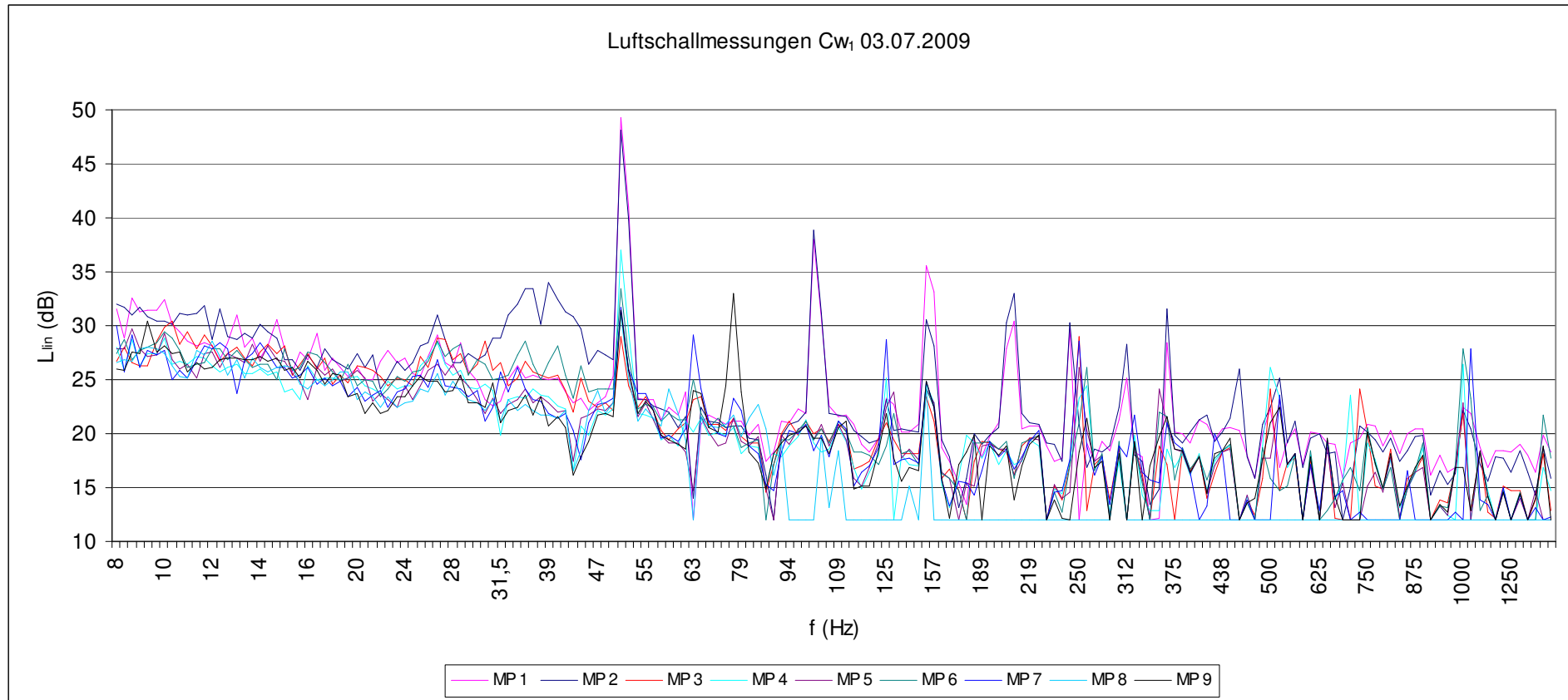


Diagramm A.2.1: Messung 1.1: 03.07.2009, Luftschallmessung

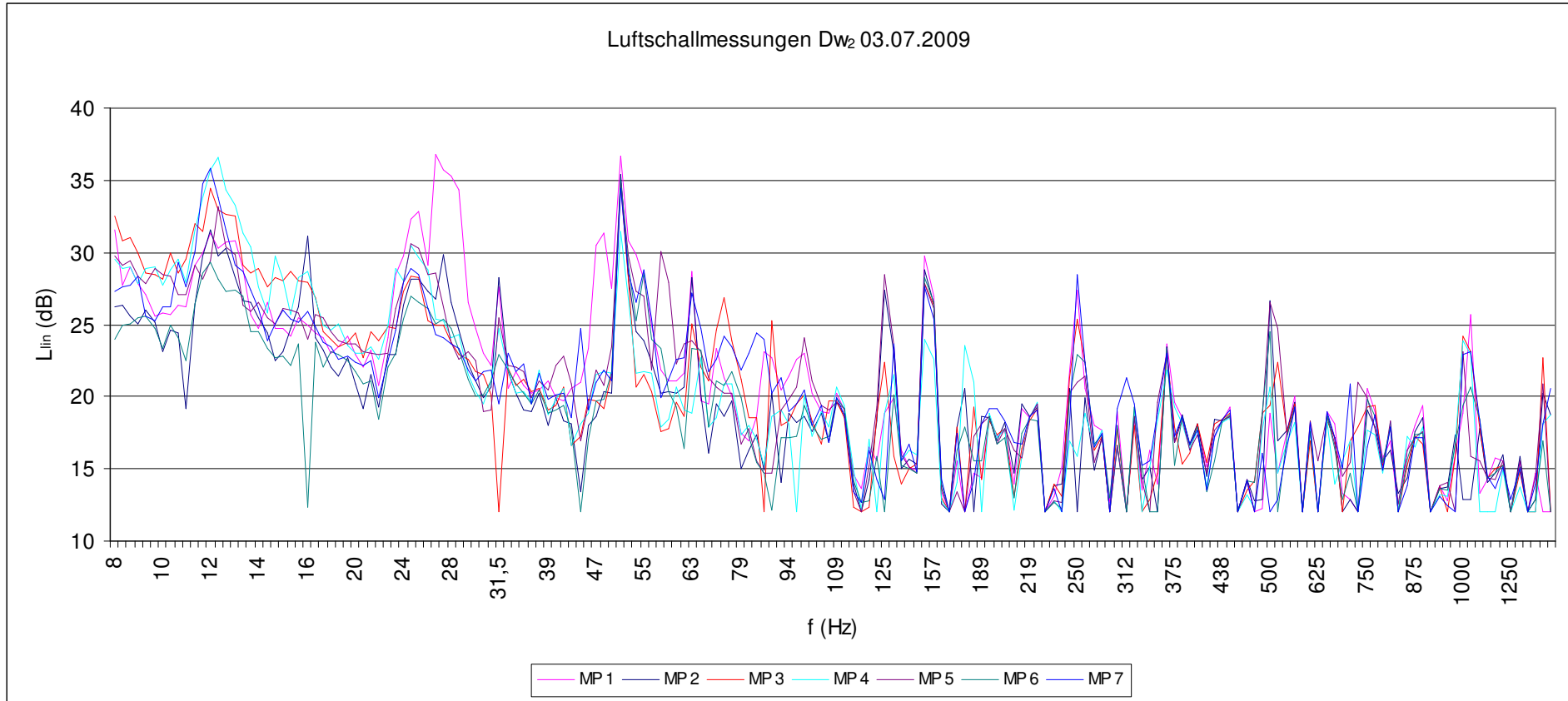


Diagramm A.2.2: Messung 1.2: 03.07.2009, Luftschallmessung

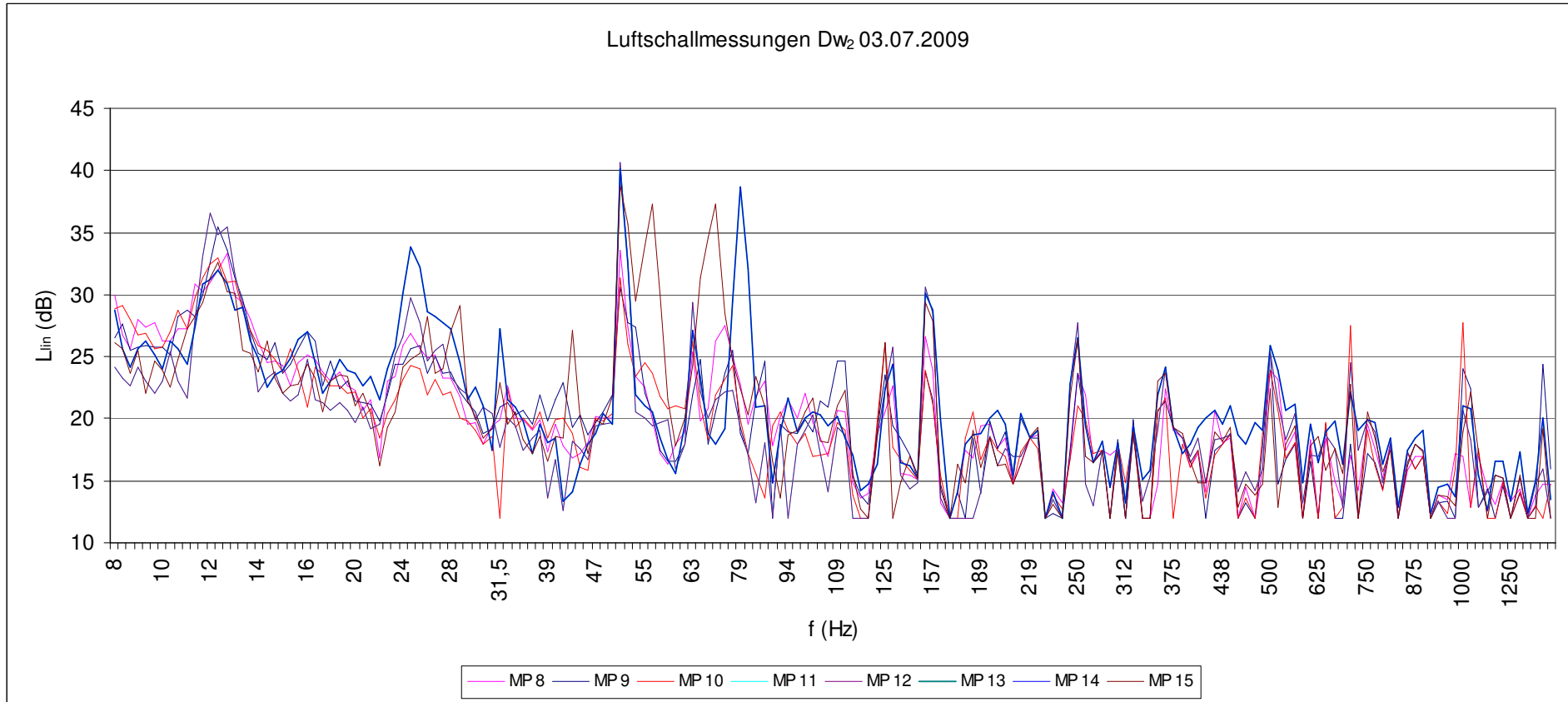


Diagramm A.2.3: Messung 1.2: 03.07.2009, Luftschallmessung

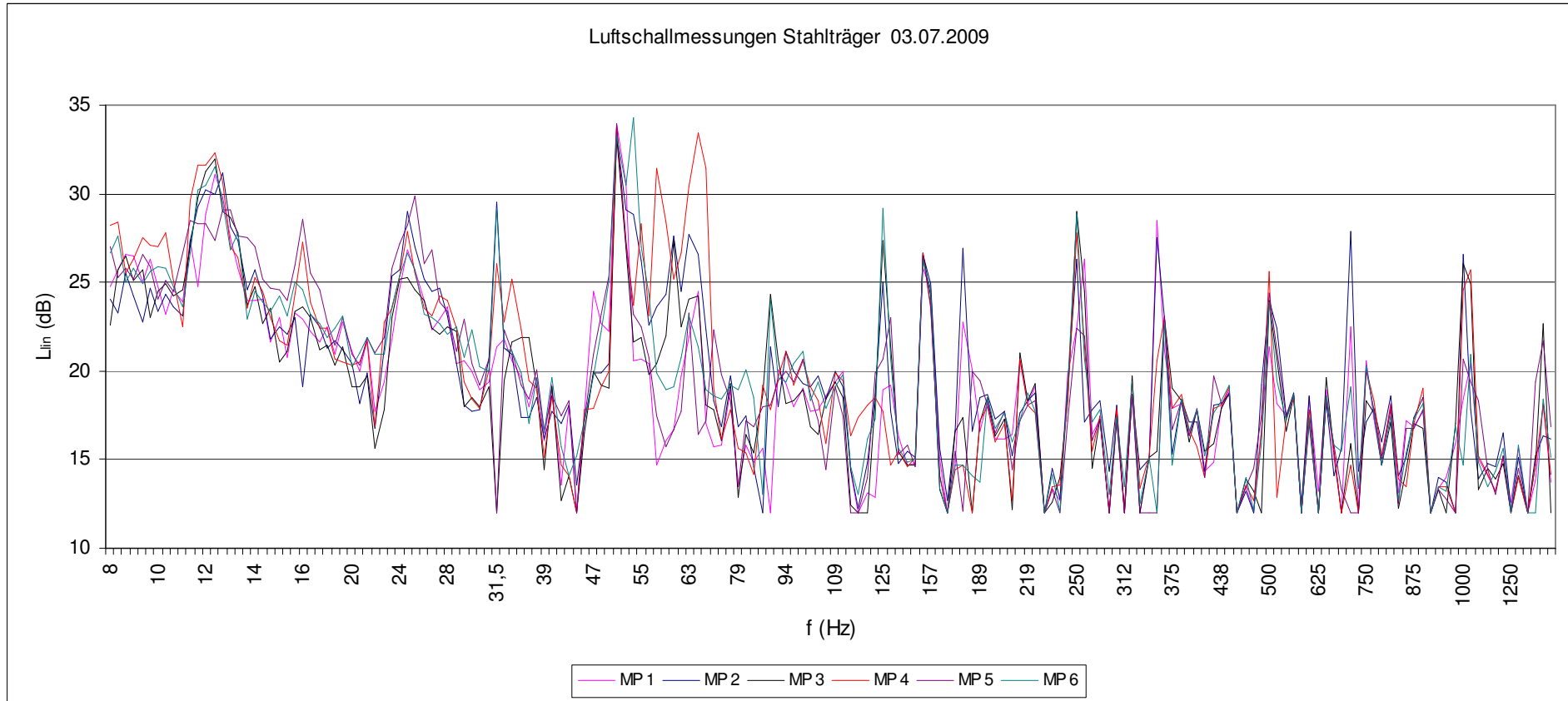


Diagramm A.2.4: Messung 1.3: 03.07.2009, Luftschallmessung

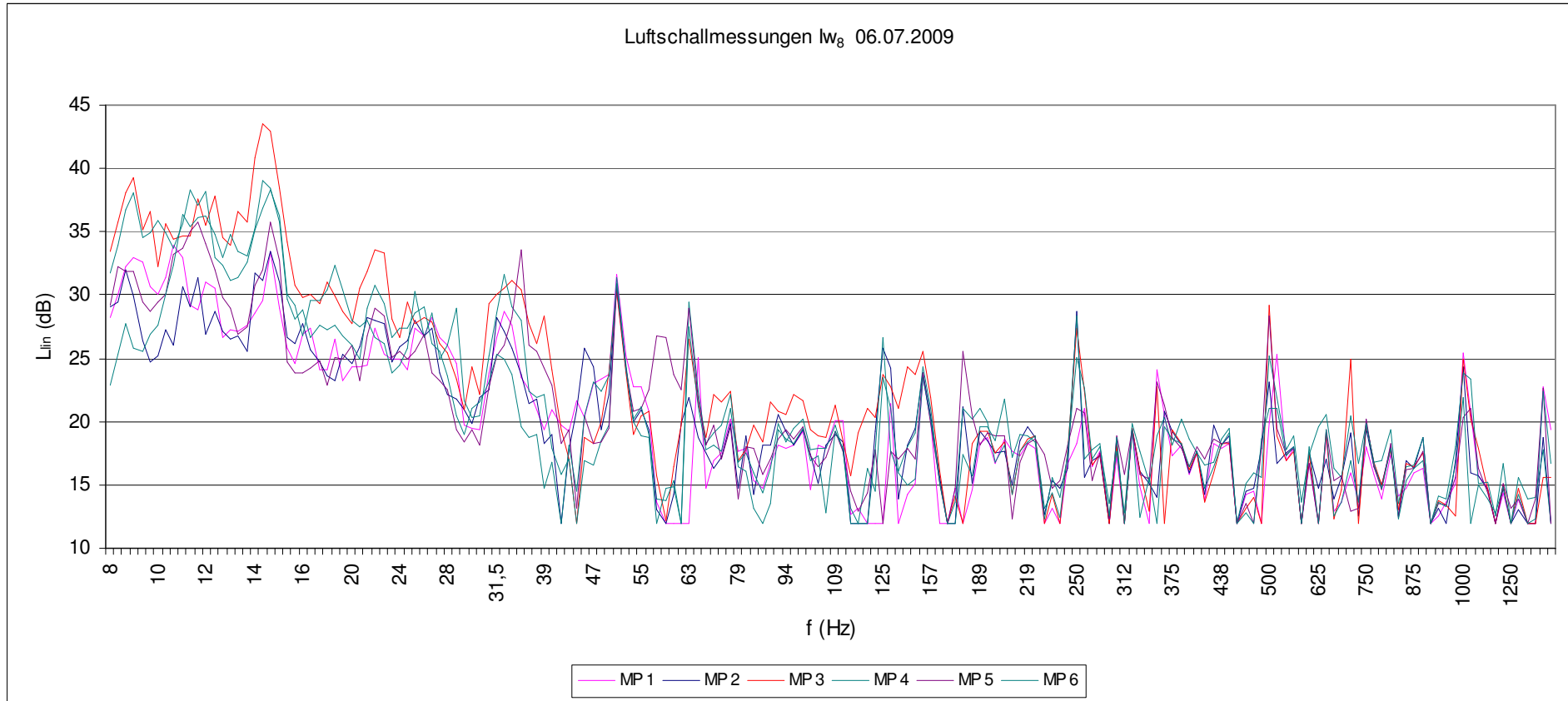


Diagramm A.2.5: Messung 2.1: 06.07.2009, Luftschallmessung

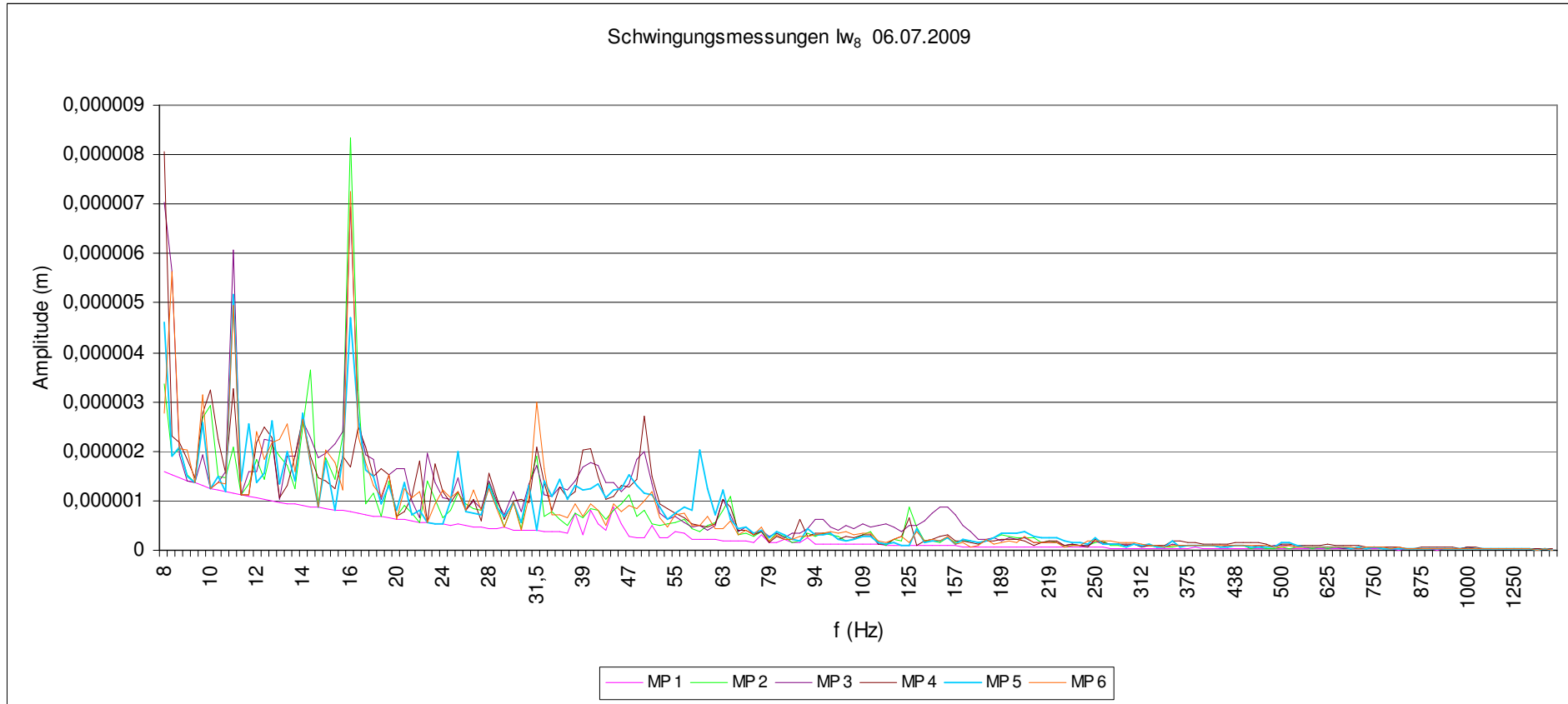


Diagramm A.2.6: Messung 2.1: 06.07.2009, Schwingungsmessung

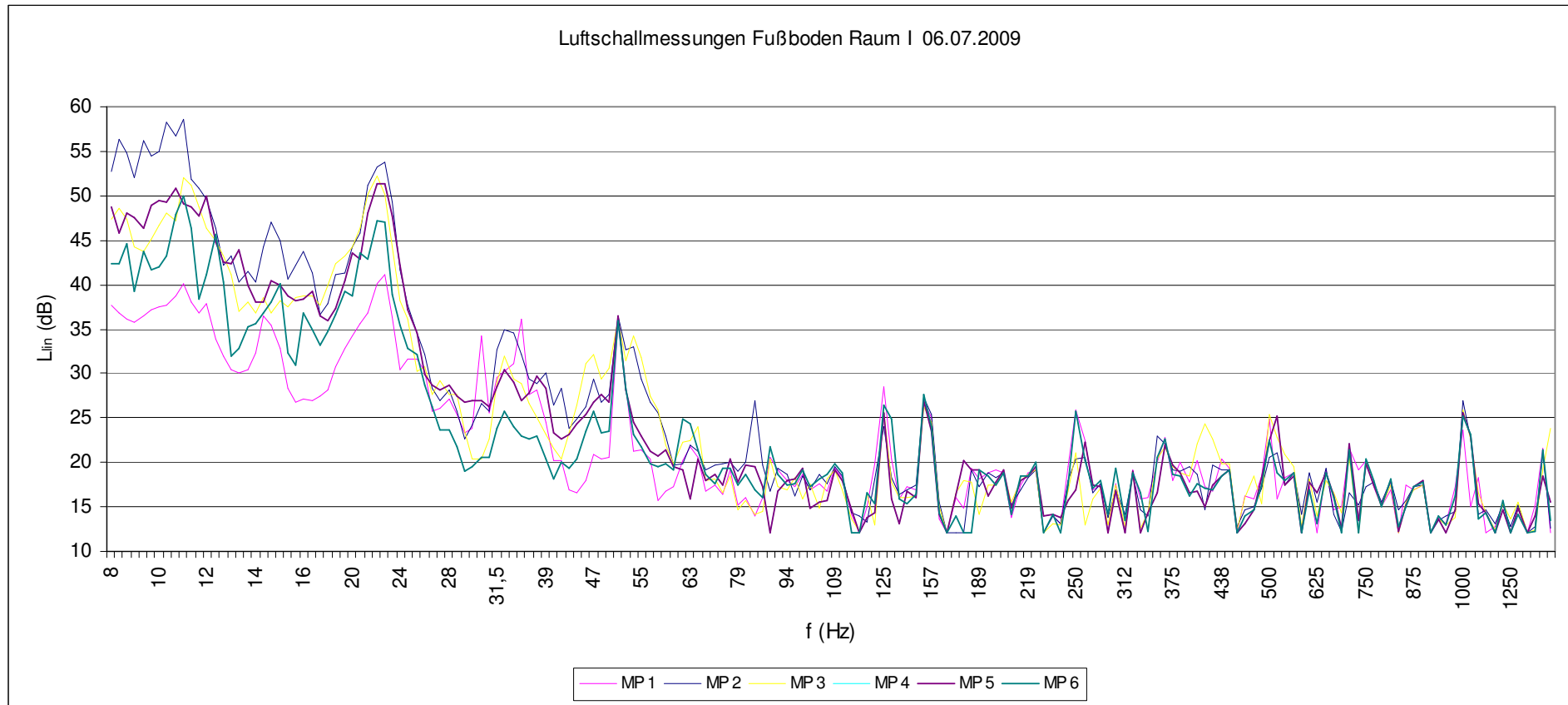


Diagramm A.2.7: Messung 2.3: 06.07.2009, Luftschallmessung

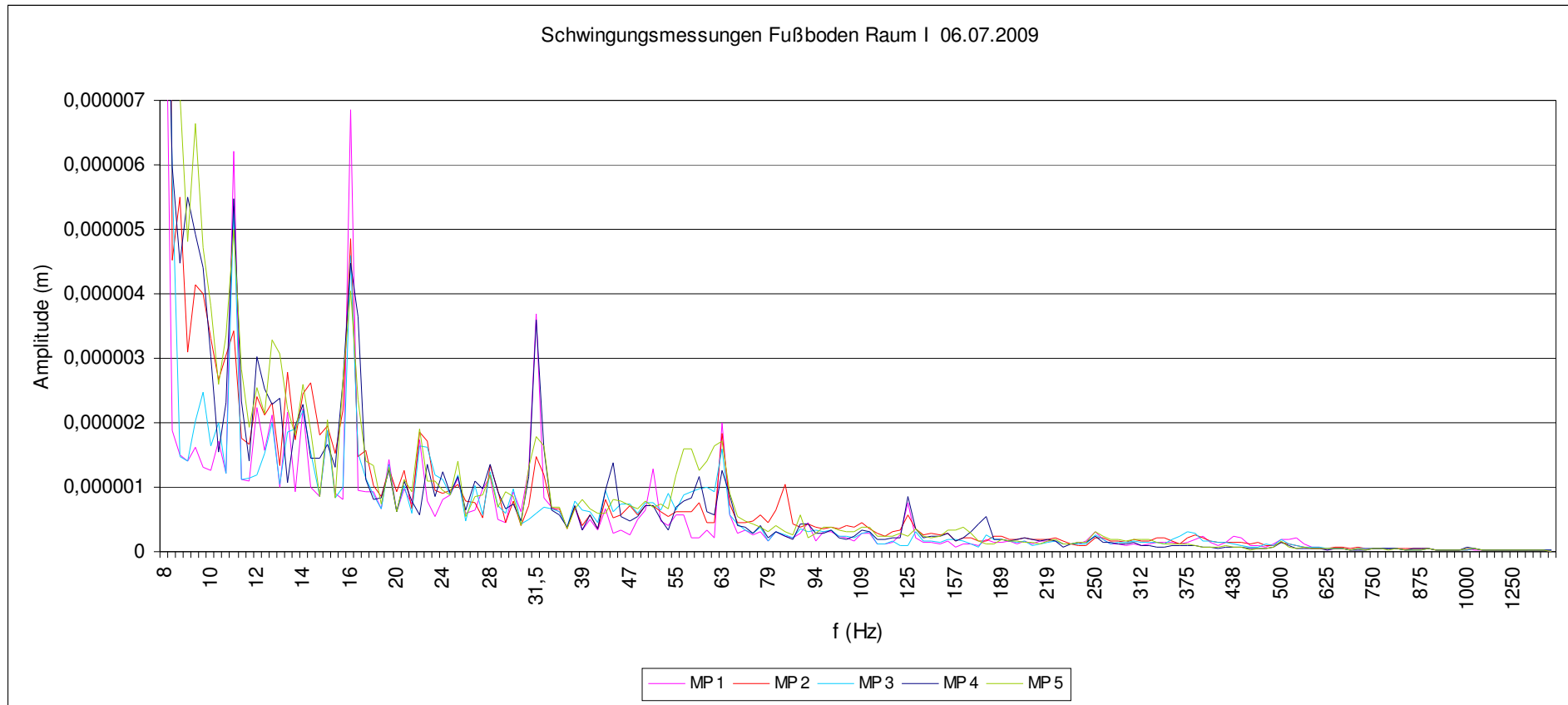


Diagramm A.2.8: Messung 2.3: 06.07.2009, Schwingungsmessung

Schwingungsmessungen Fußboden Raum I 06.07.2009

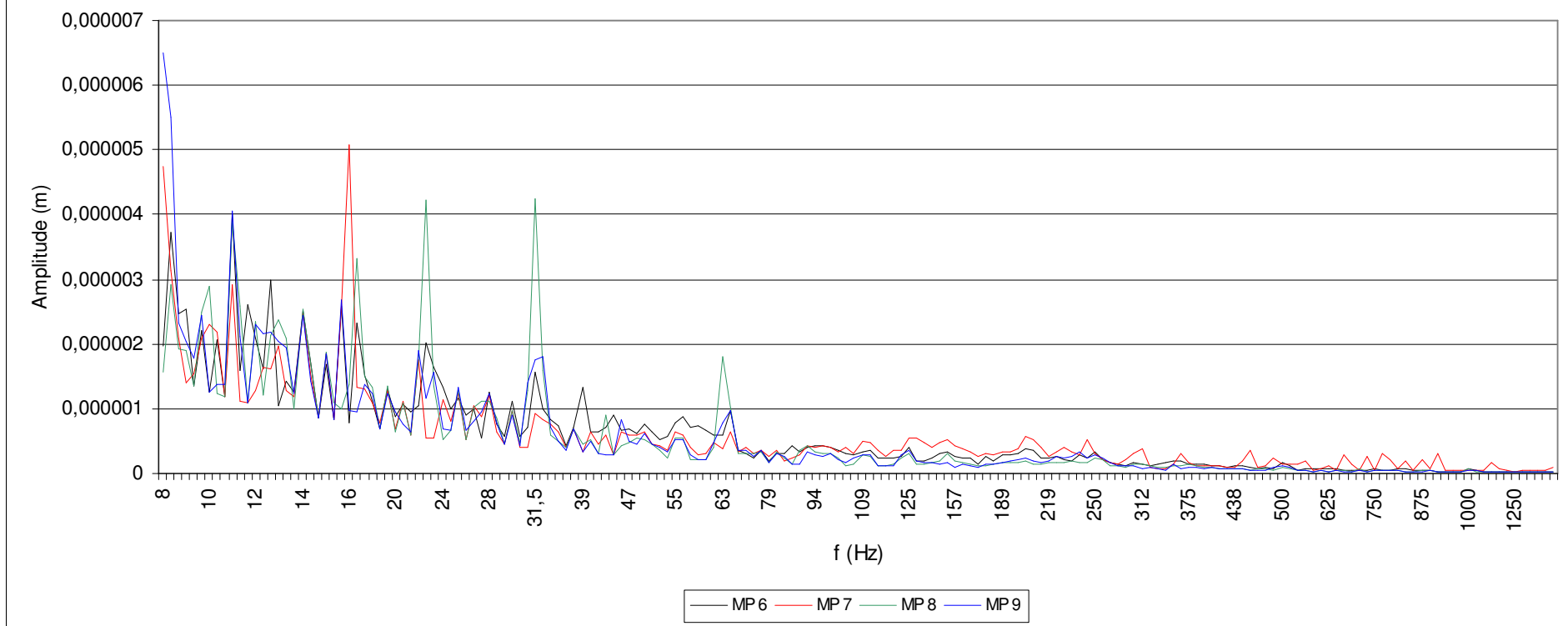


Diagramm A.2.9: Messung 2.3: 06.07.2009, Schwingungsmessung

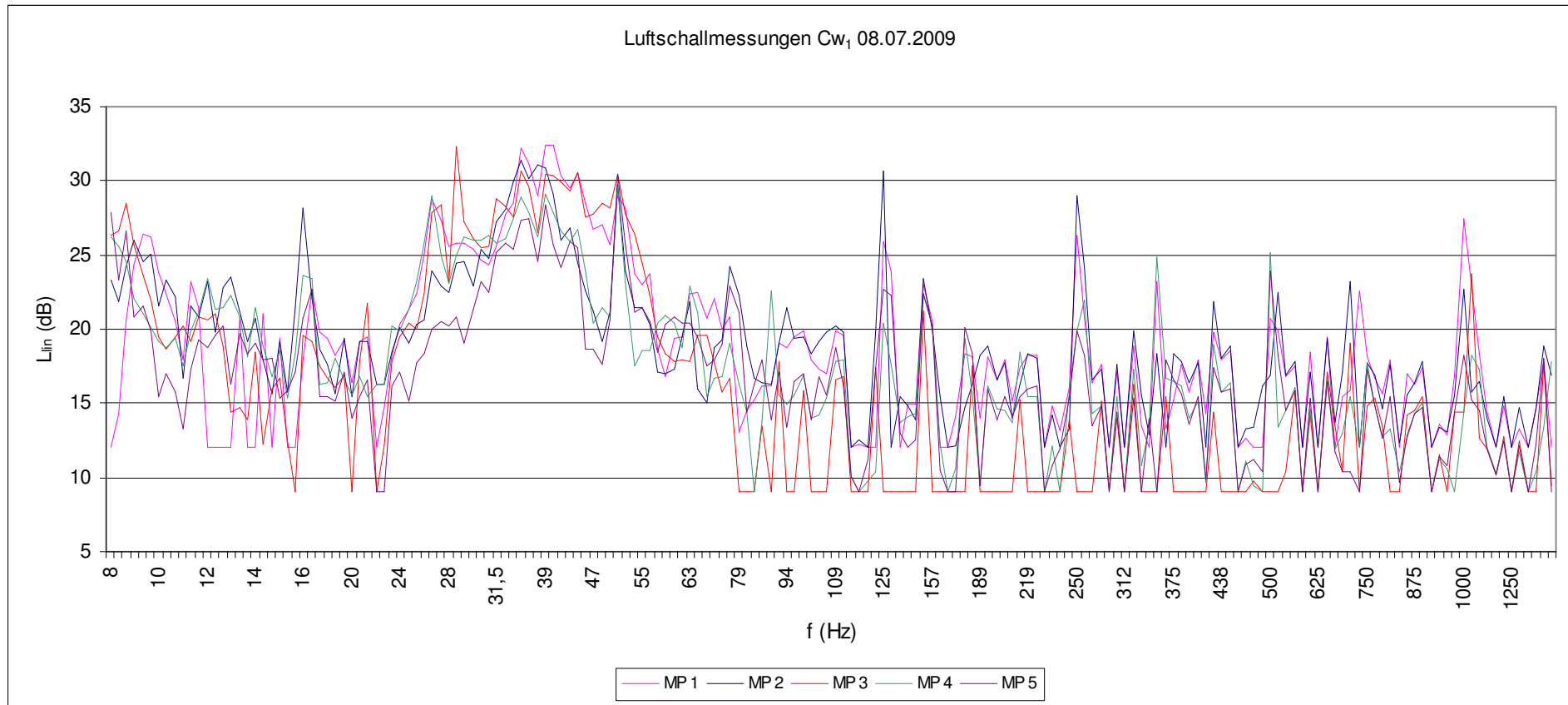


Diagramm A.2.10: Messung 3.1: 08.07.2009, Luftschallmessung

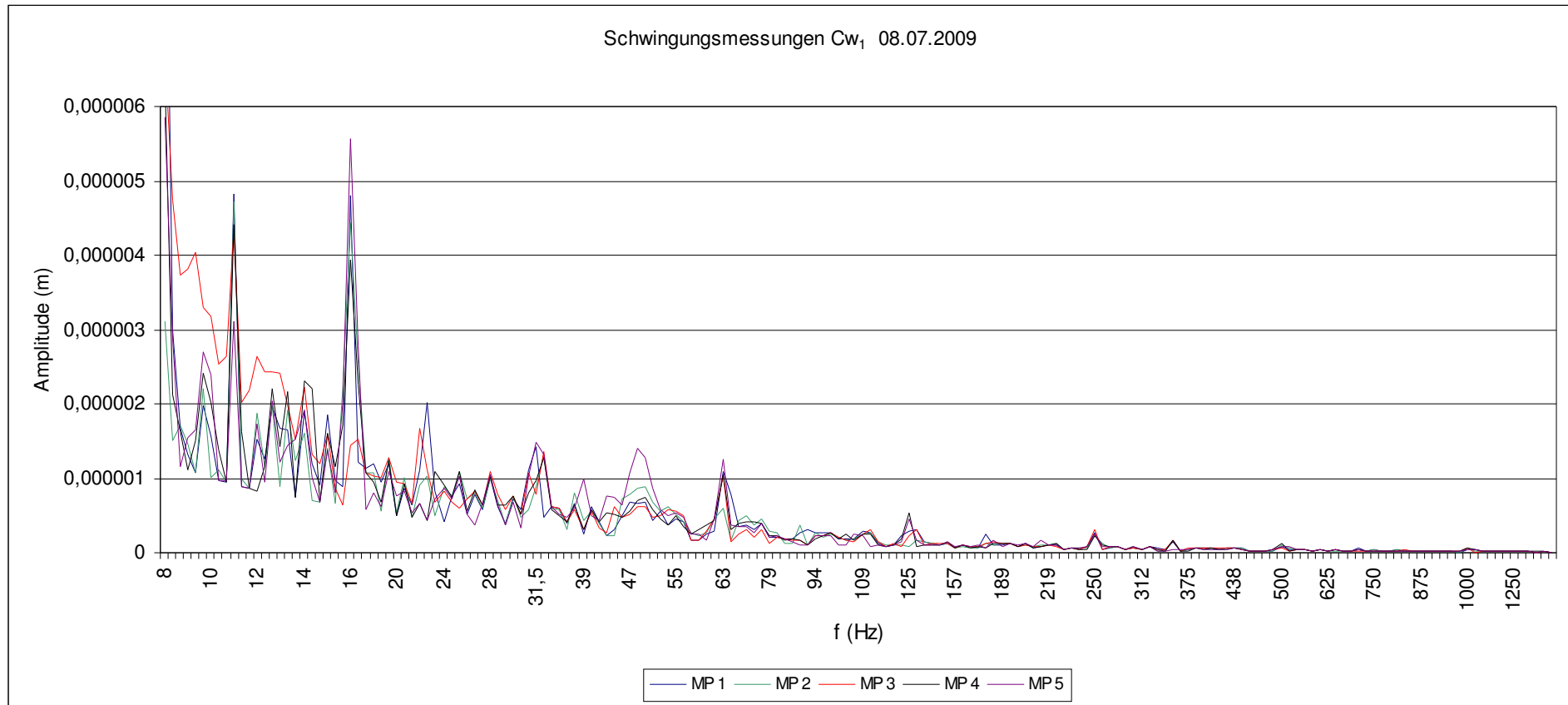


Diagramm A.2.11: Messung 3.1: 08.07.2009, Schwingungsmessung

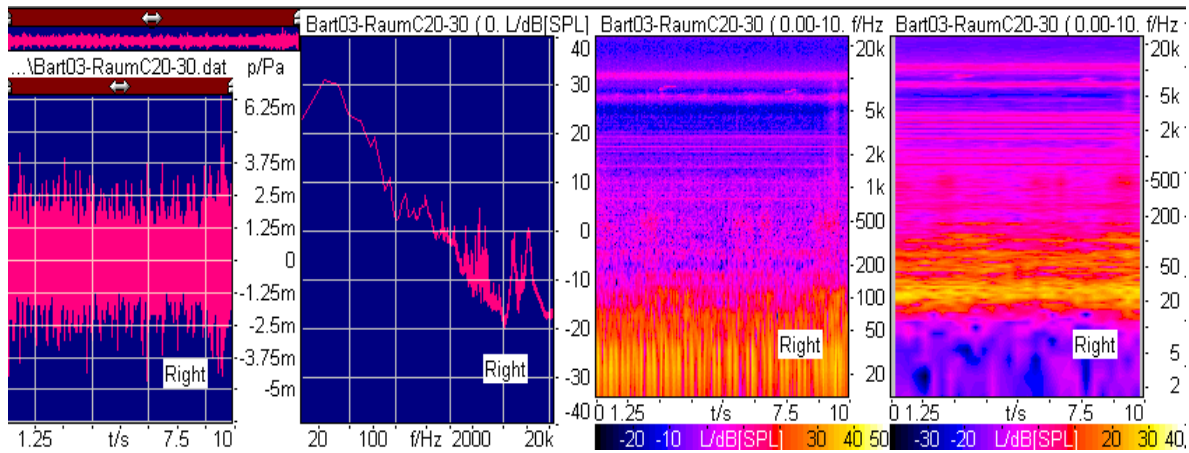


Diagramm A.2.12: Messung 4.1:17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, Raum C, Mitte Raum

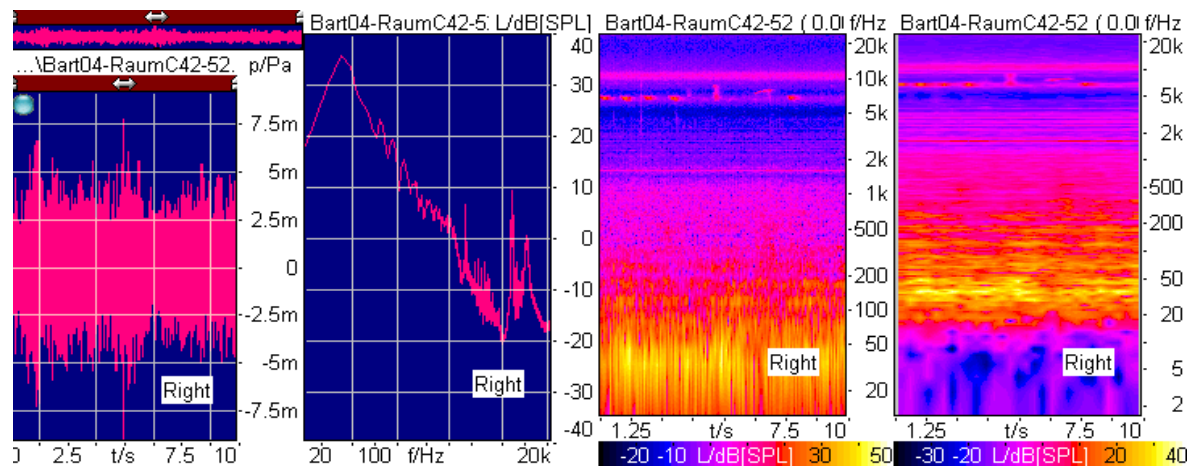


Diagramm A.2.13: Messung 4.1:17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, Raum C, Mitte Raum

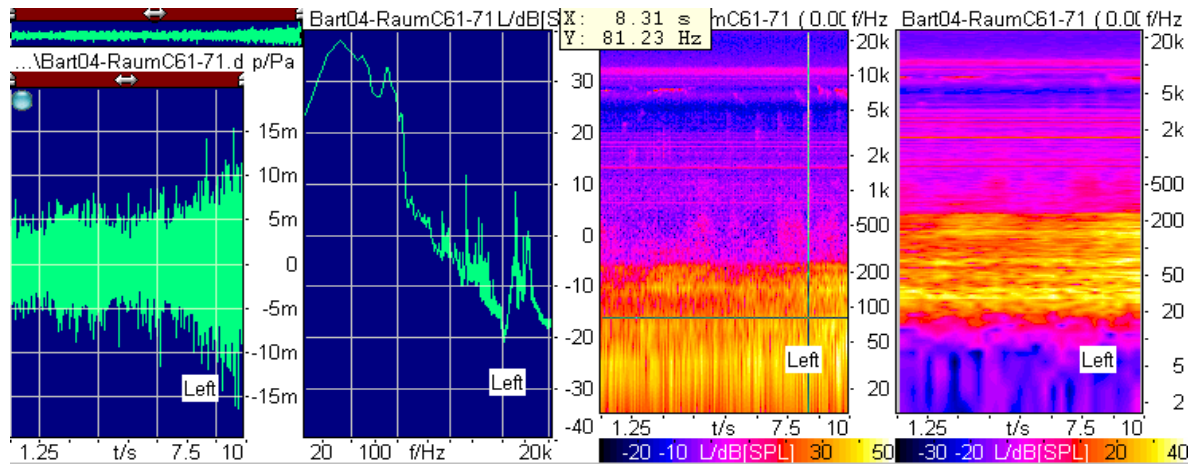


Diagramm A.2.14: Messung 4.1:17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, Raum C, Mitte Raum

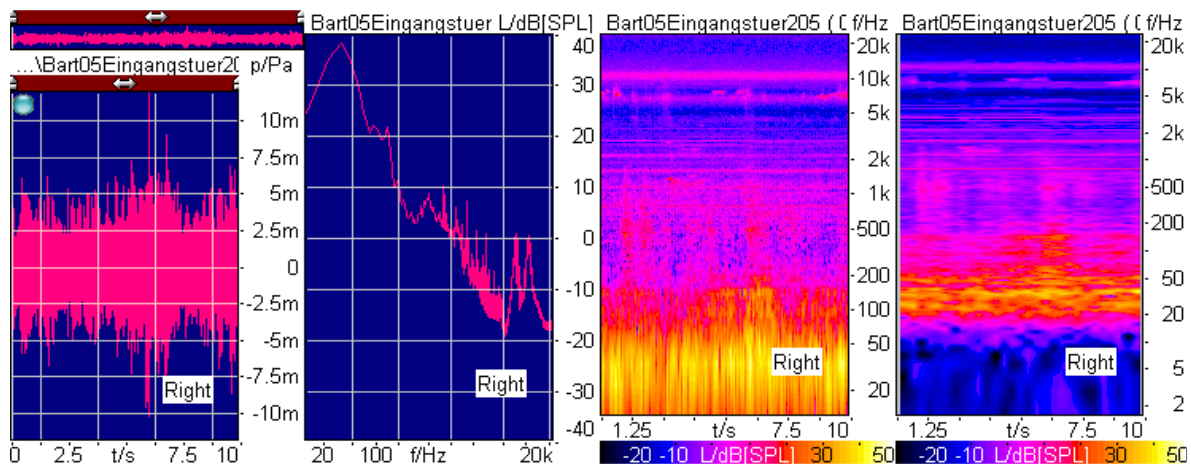


Diagramm A.2.15: Messung 4.1:17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, Raum C, Eingangstür

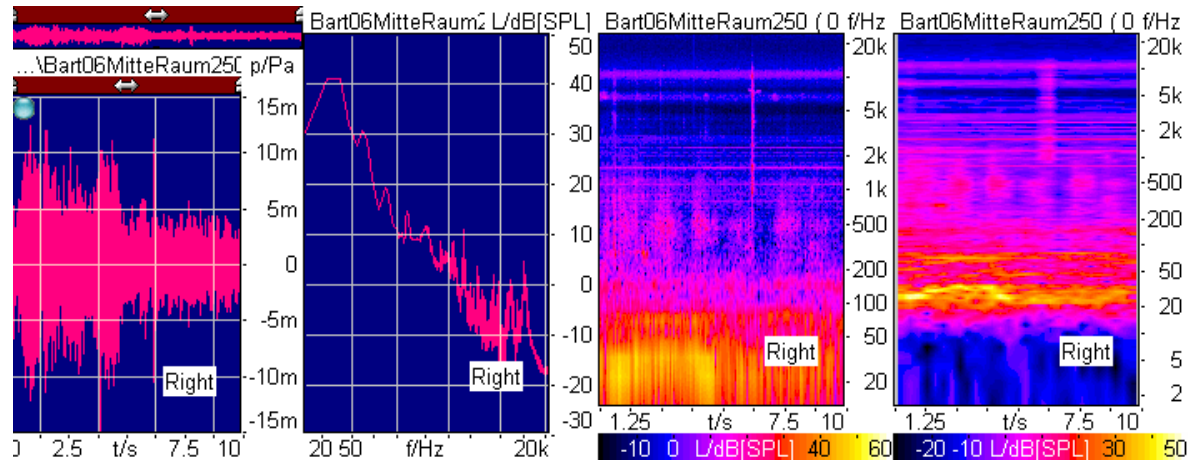


Diagramm A.2.16: Messung 4.1:17.08.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, Raum C, Mitte Raum

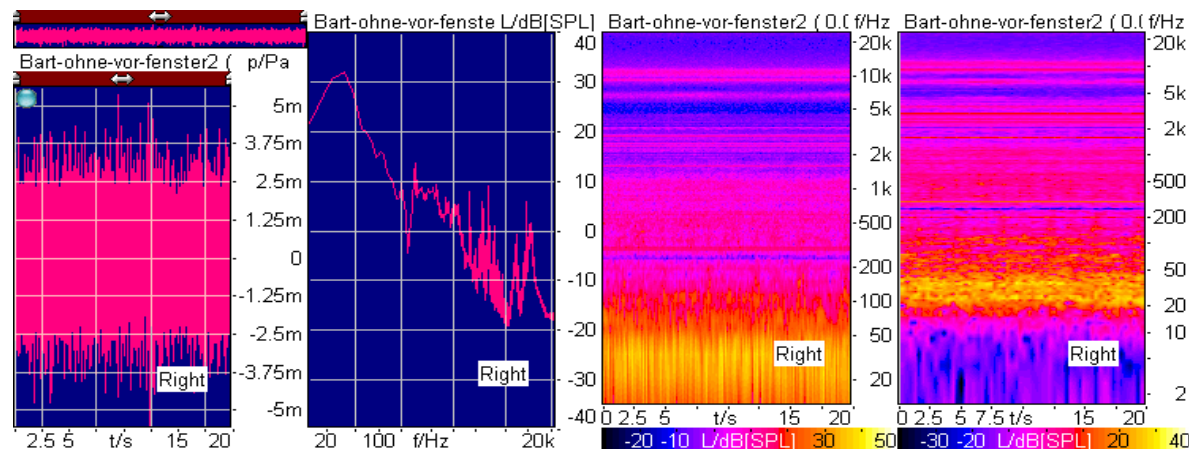


Diagramm A.2.17: Messung 5.1:08.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, ohne Geräusch vor Fenster

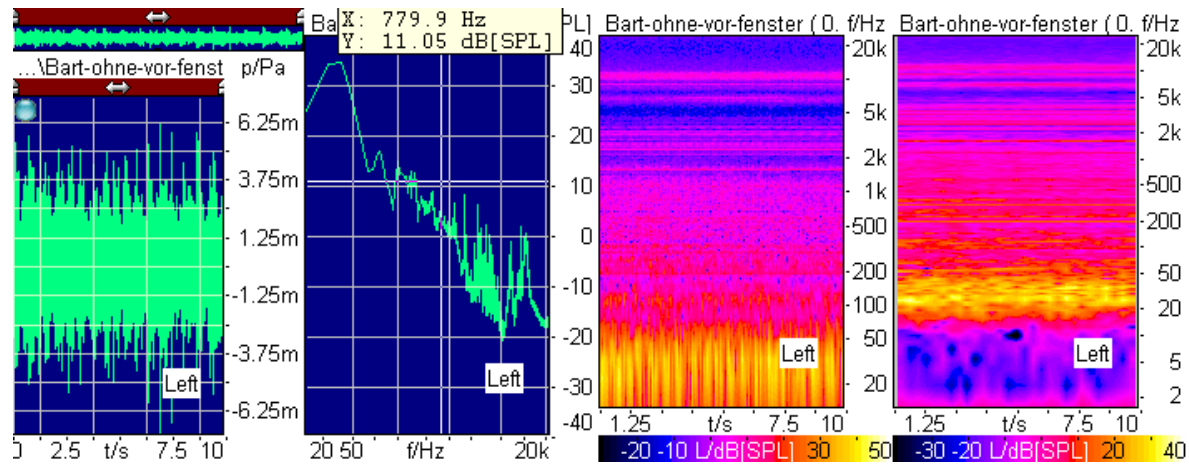


Diagramm A.2.18: Messung 5.1:08.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, ohne Geräusch vor Fenster

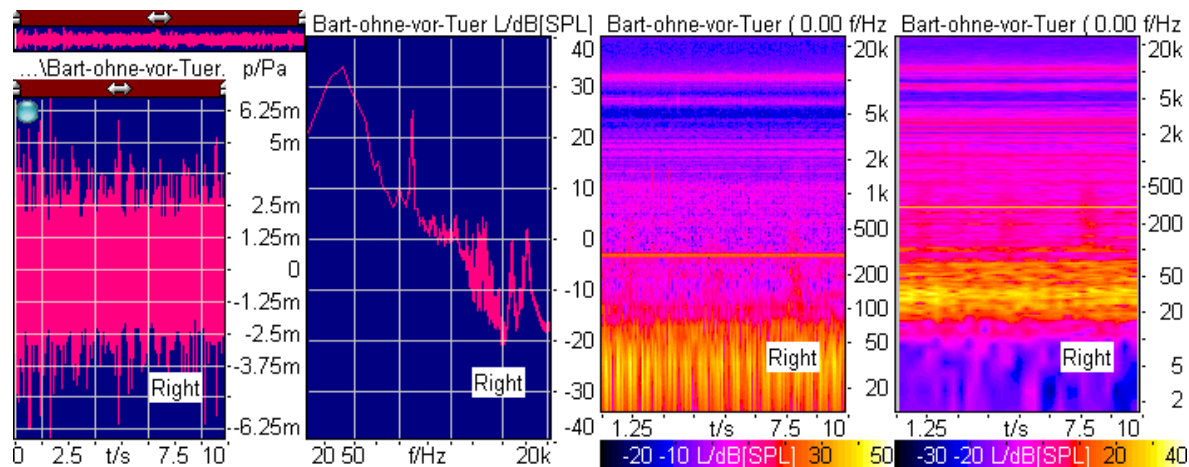


Diagramm A.2.19: Messung 5.1:08.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, ohne Geräusch vor Eingangstür

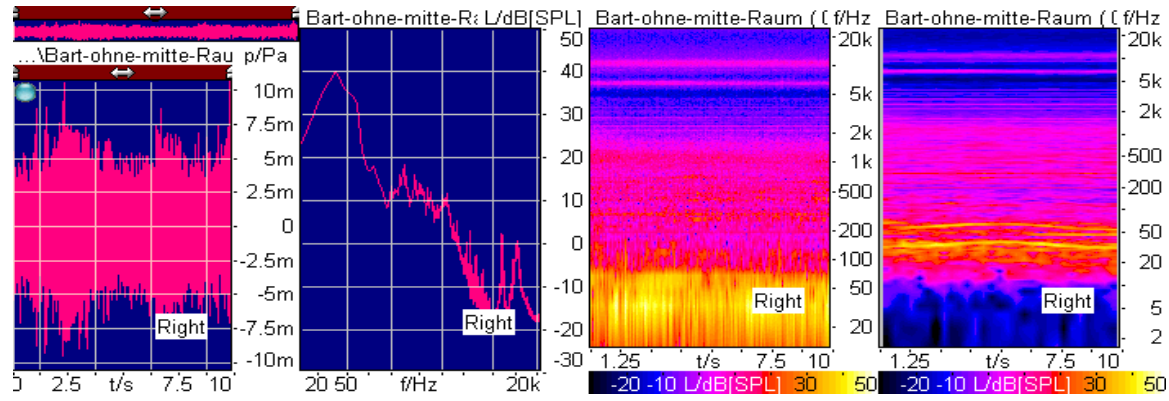


Diagramm A.2.20: Messung 5.1:08.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessung, ohne Geräusch Mitte Raum

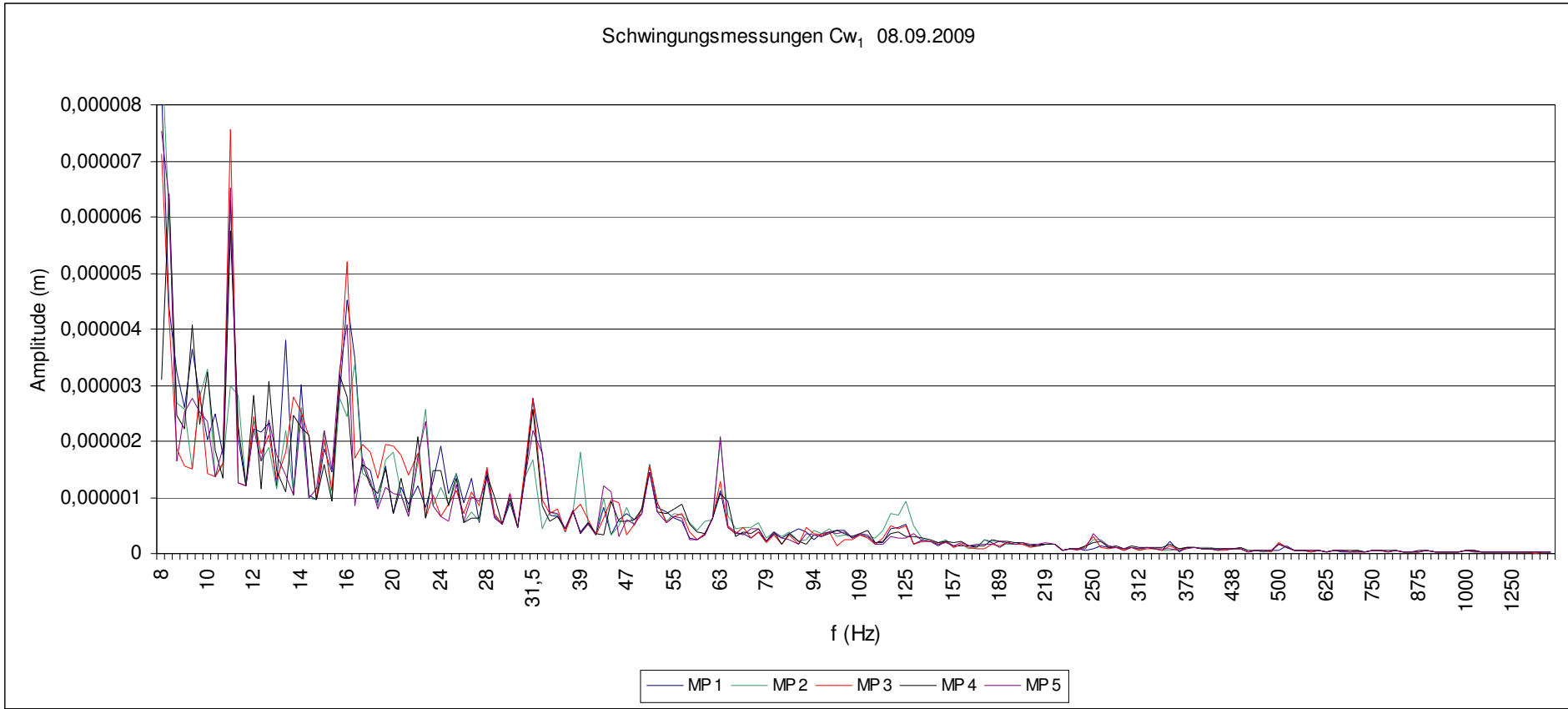


Diagramm A.2.21: Messung 5.2: 08.09.2009, Schwingungsmessung

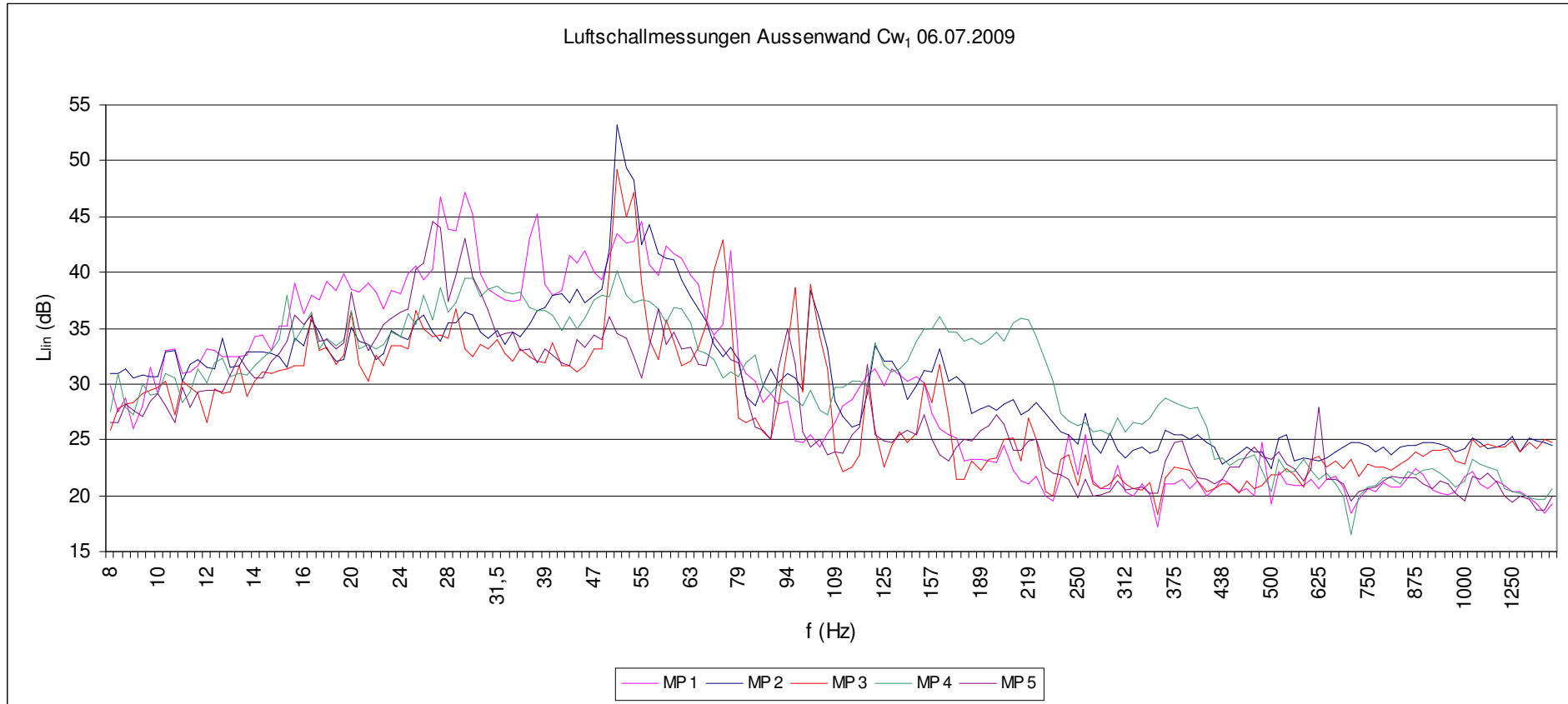


Diagramm A.2.22: Messung 2.2: 06.07.2009, Luftschallmessung

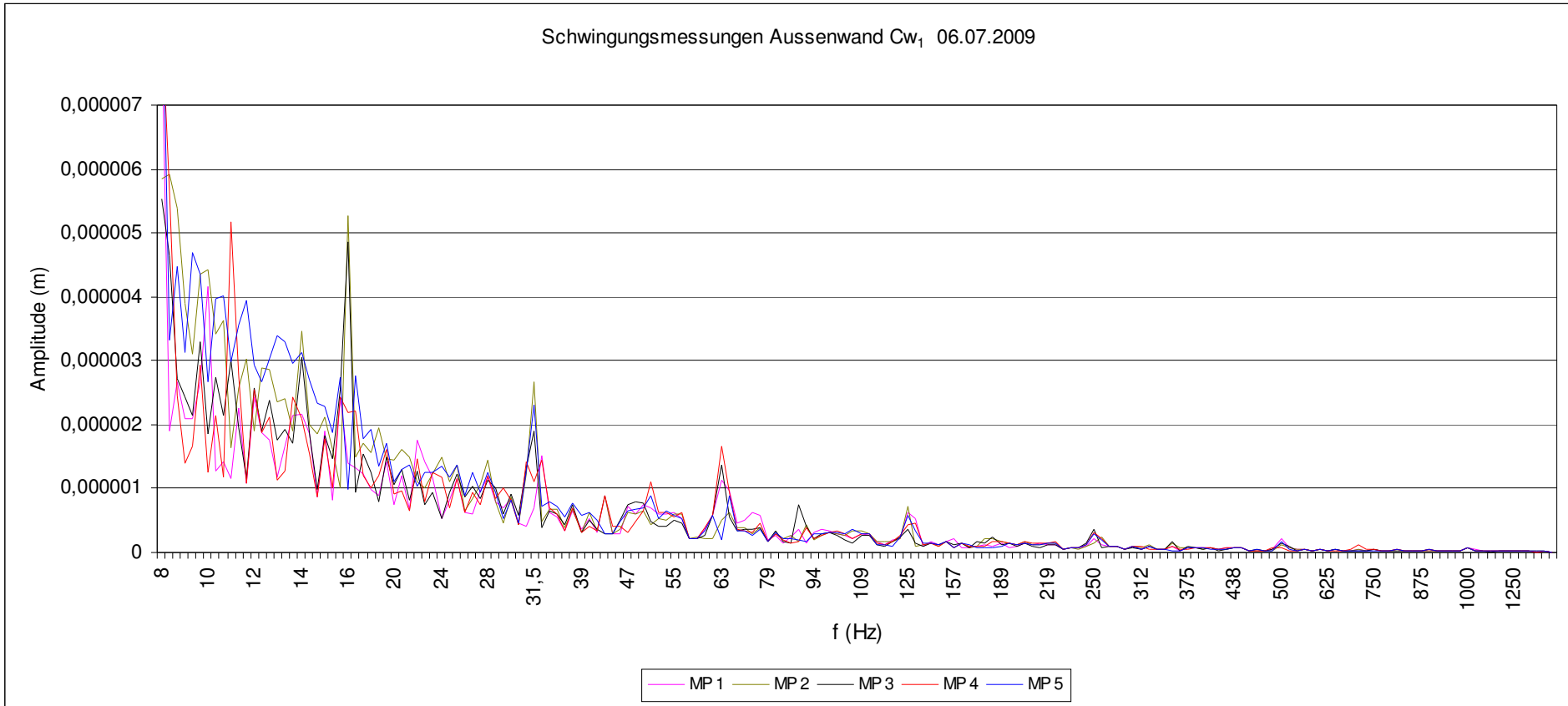


Diagramm A.2.23: Messung 2.2: 06.07.2009, Schwingungsmessung

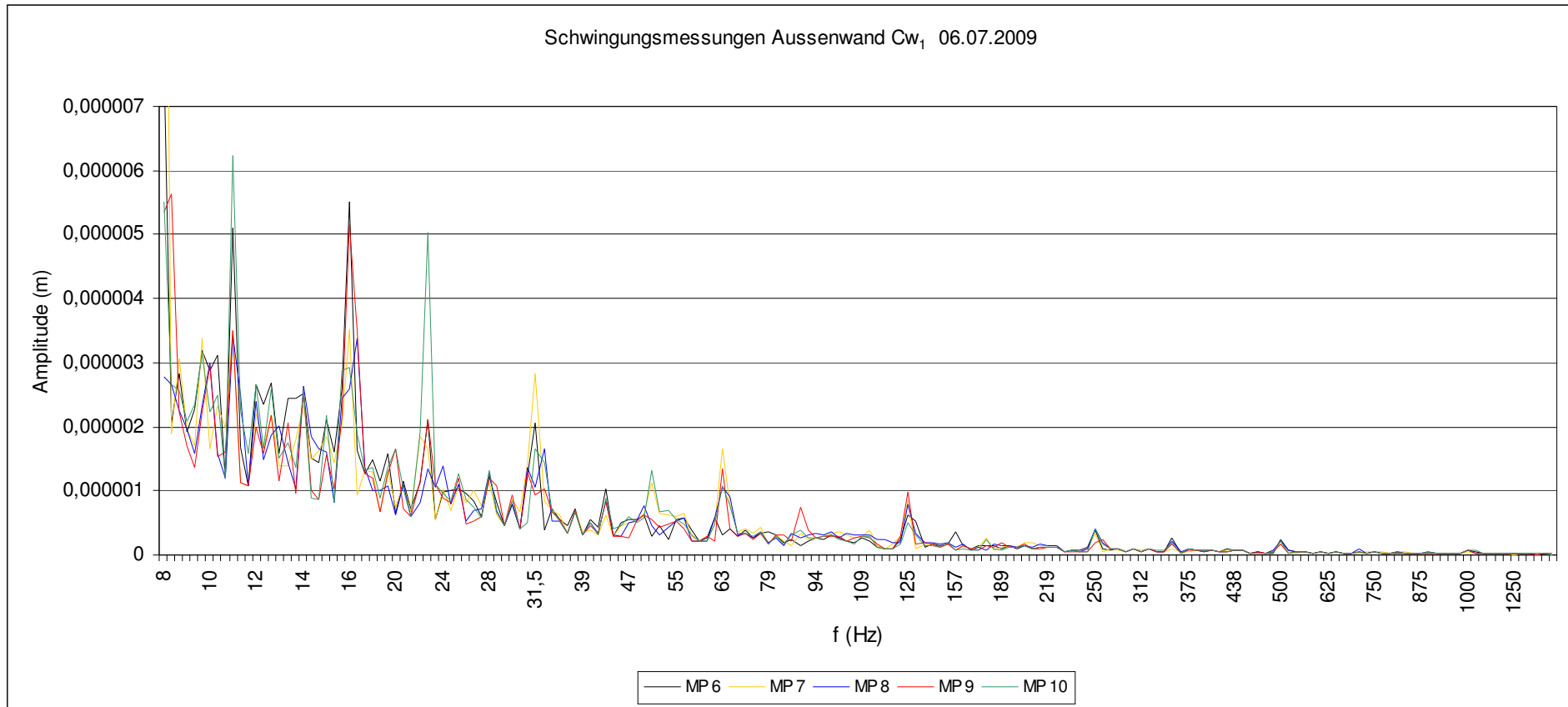


Diagramm A.2.24: Messung 2.2: 06.07.2009, Schwingungsmessung

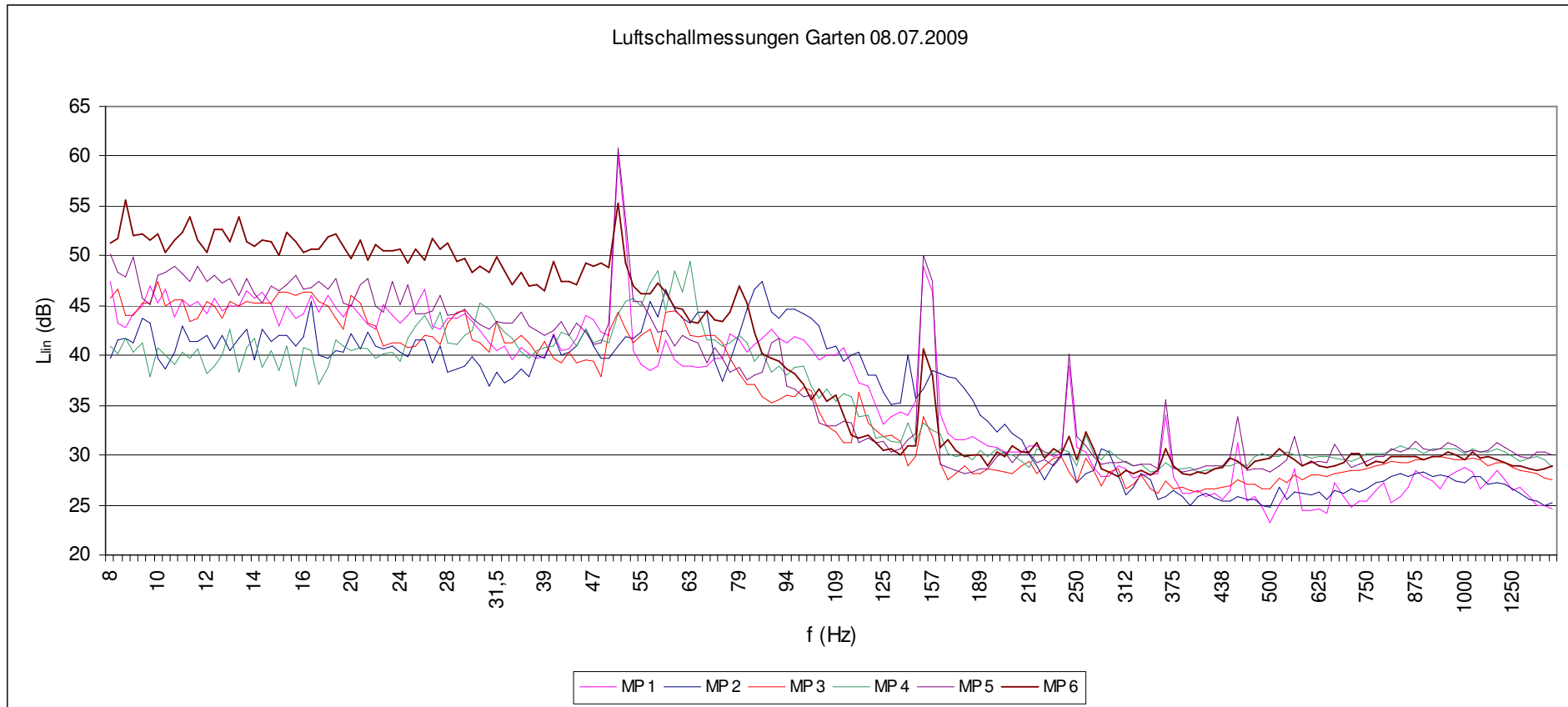


Diagramm A.2.25: Messung 3.2: 08.07.2009, Luftschallmessung

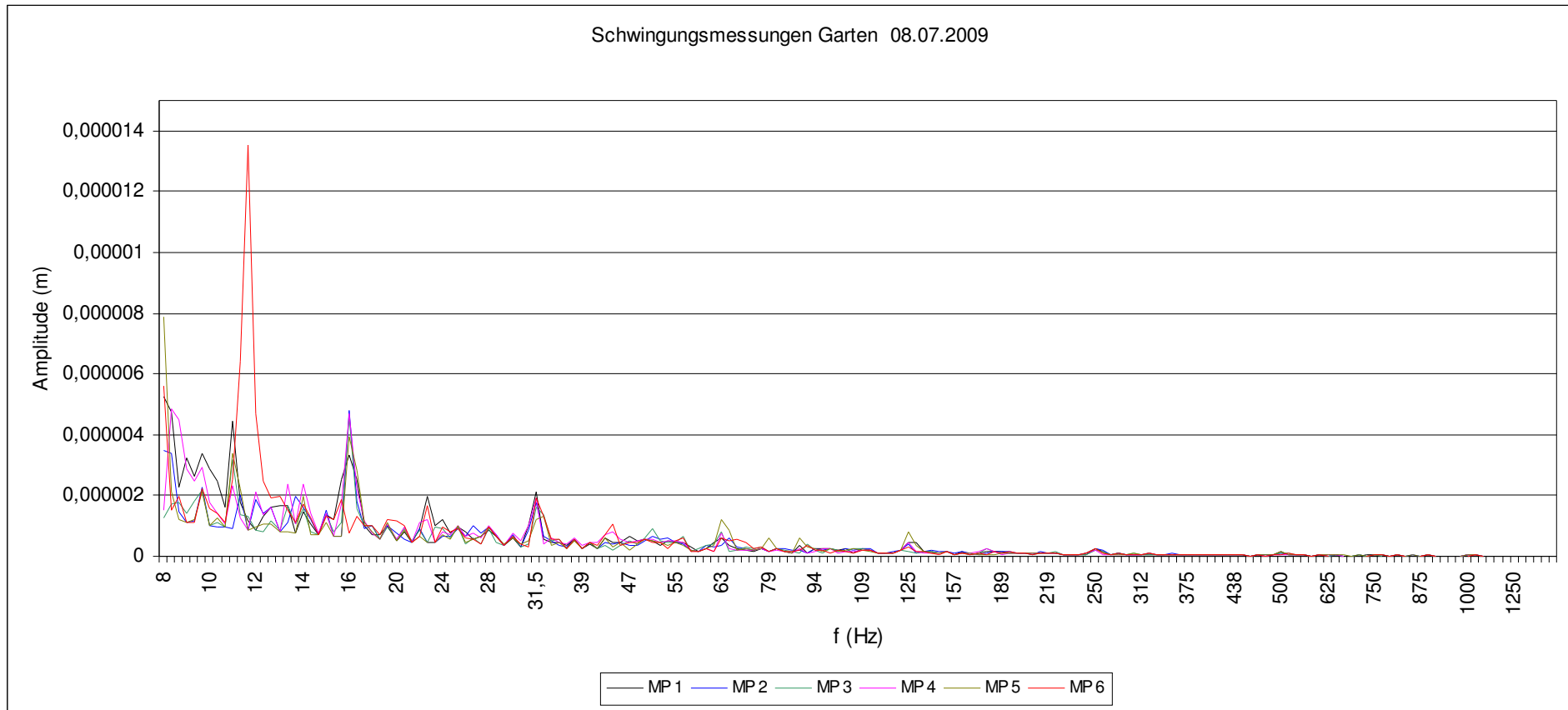


Diagramm A.2.26: Messung 3.2: 08.07.2009, Schwingungsmessung mit Erdnagel

A.3

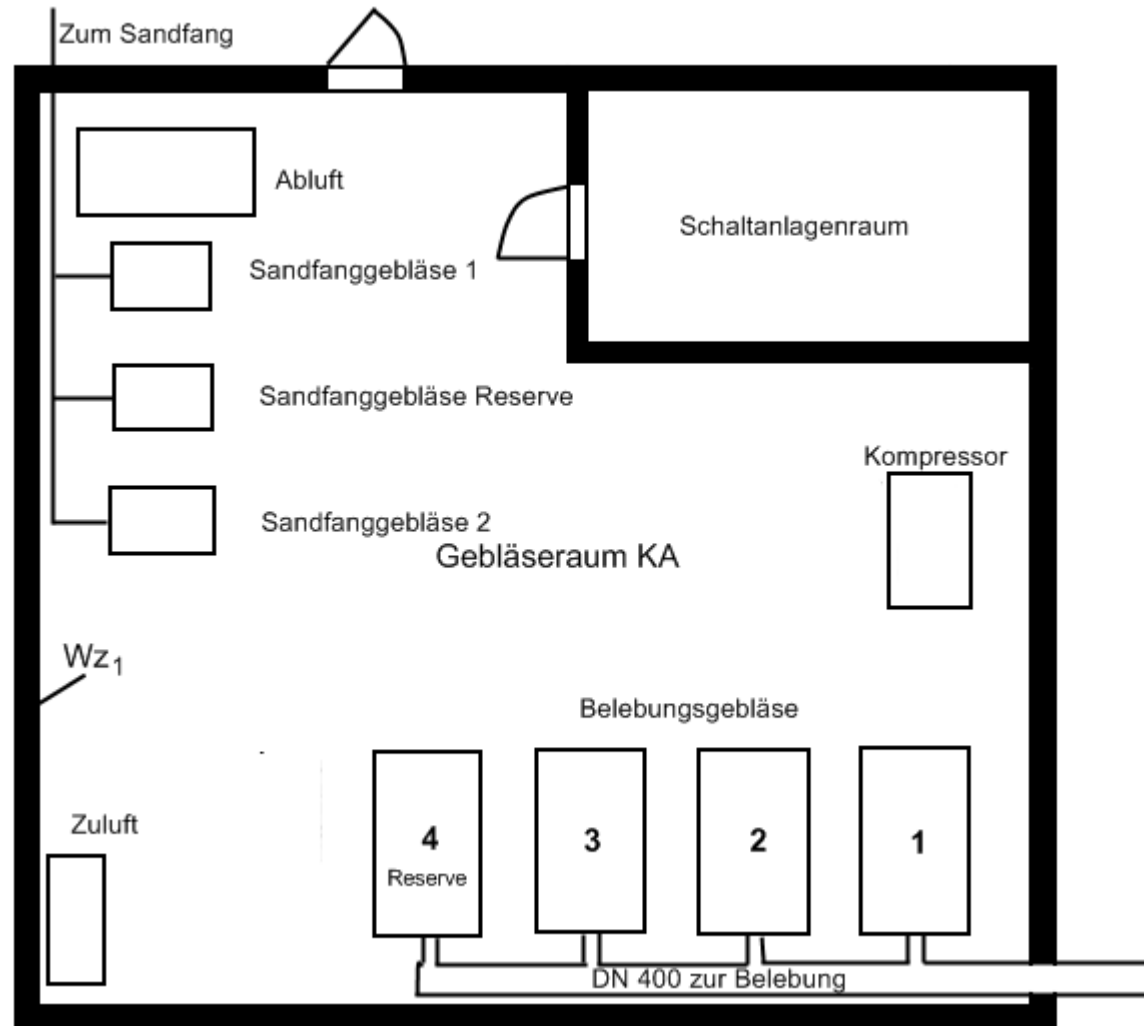


Abb. A.3.1: Grundriss Keller Gebläseraum

A.4

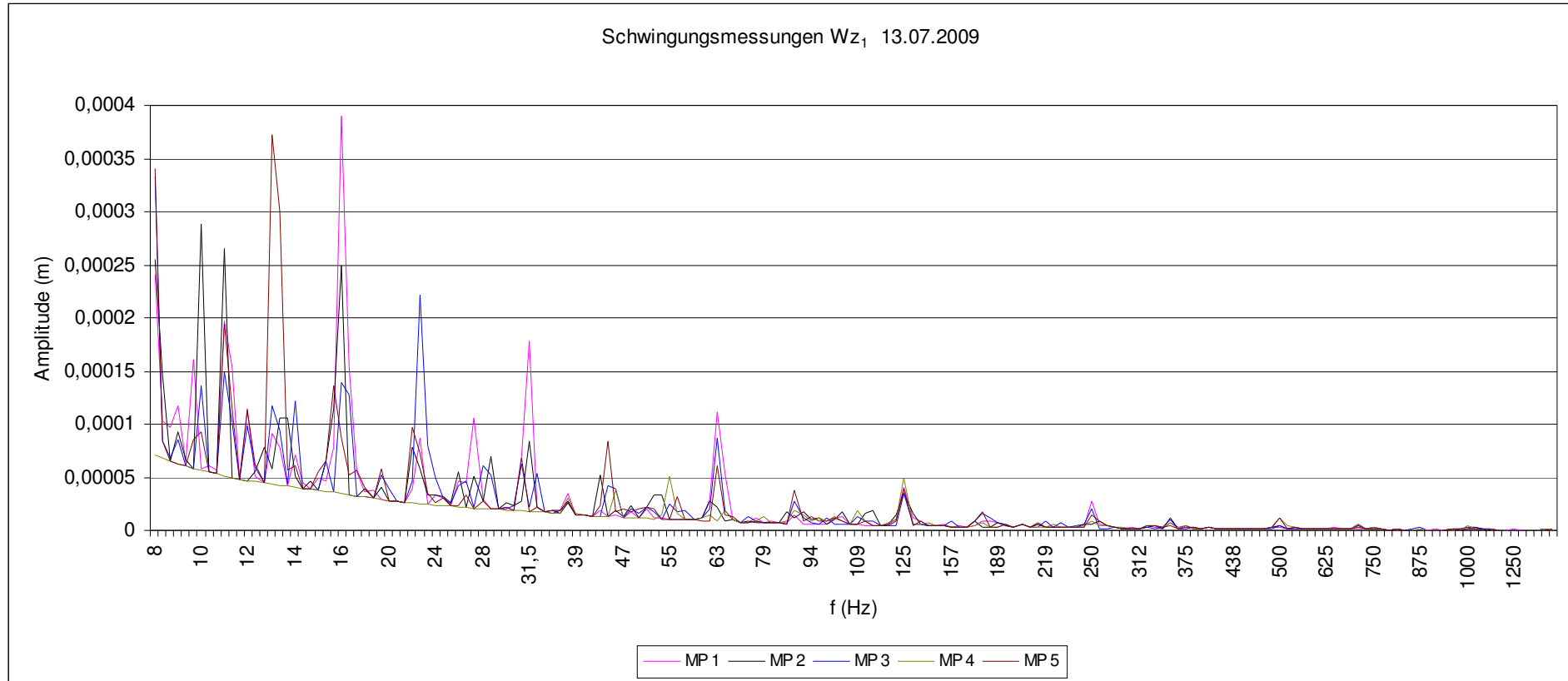


Diagramm A.4.1: Messung 6.1.1: 13.07.2009, Schwingungsmessung Wand Wz₁

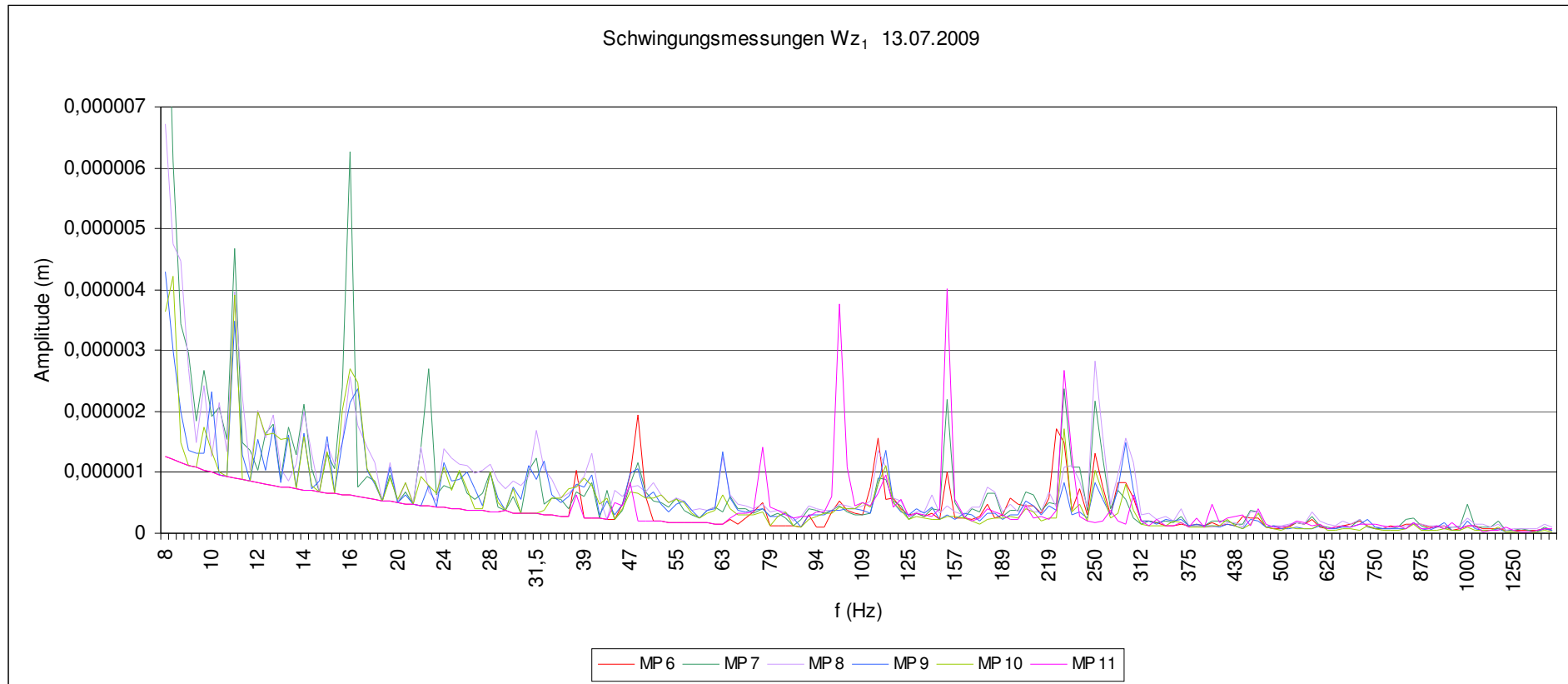


Diagramm A.4.2: Messung 6.1.1: 13.07.2009, Schwingungsmessung Wand Wz₁

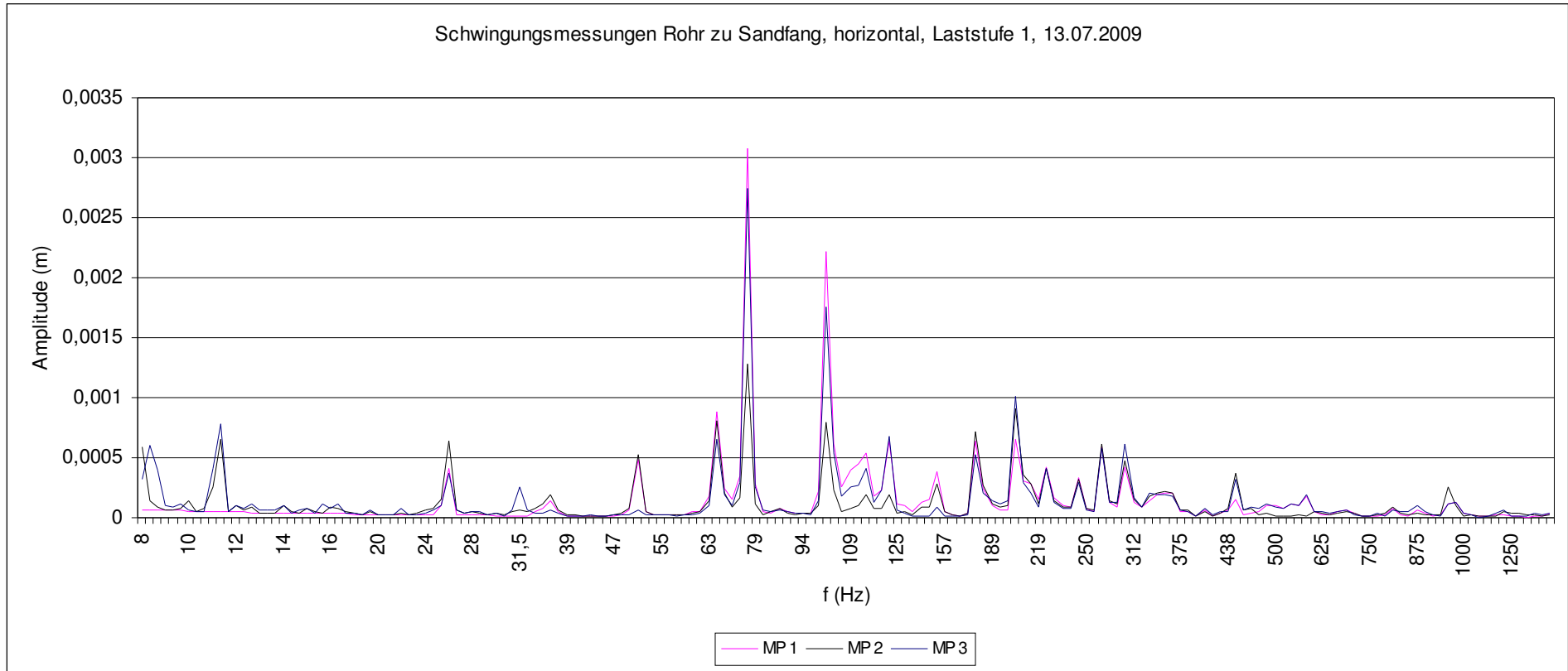


Diagramm A.4.3: Messung 6.1.2: 13.07.2009, Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, Laststufe 1, horizontal

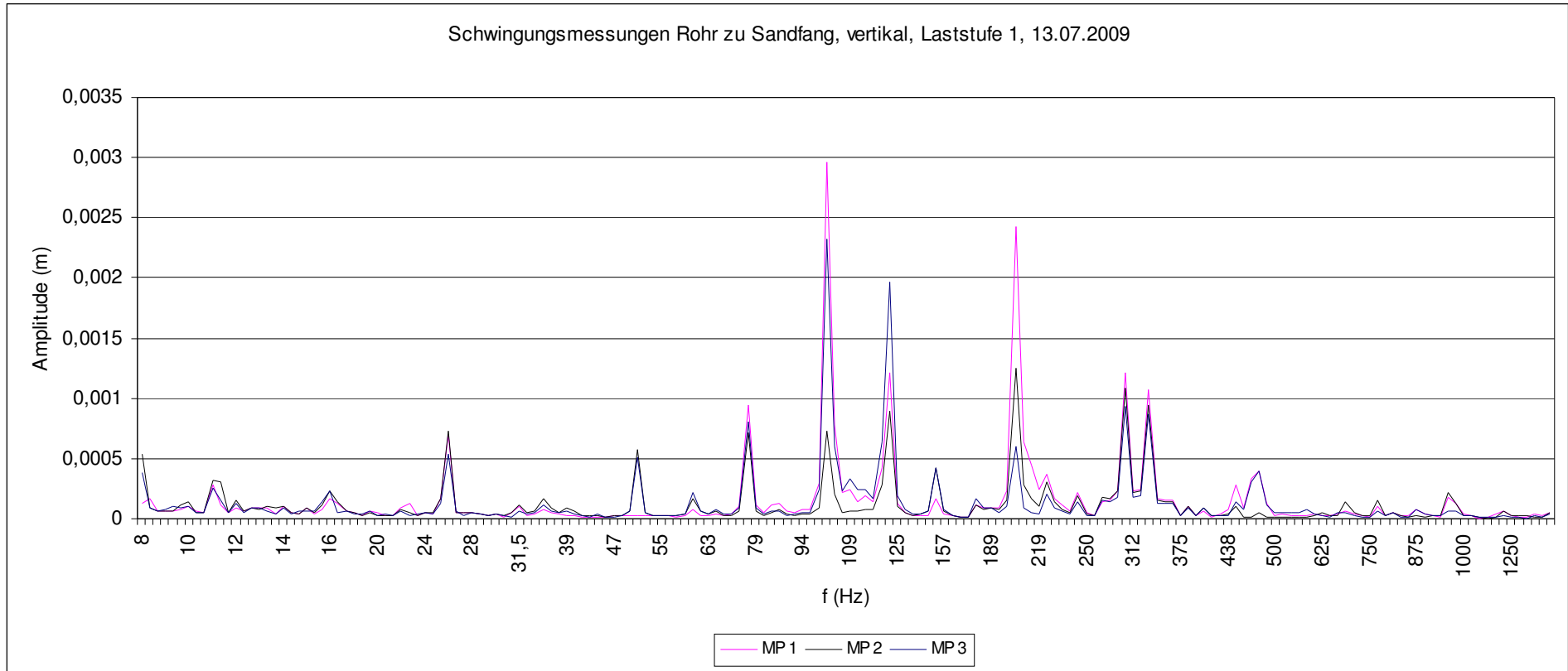


Diagramm A.4.4: Messung 6.1.2: 13.07.2009, Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, Laststufe 1, vertikal

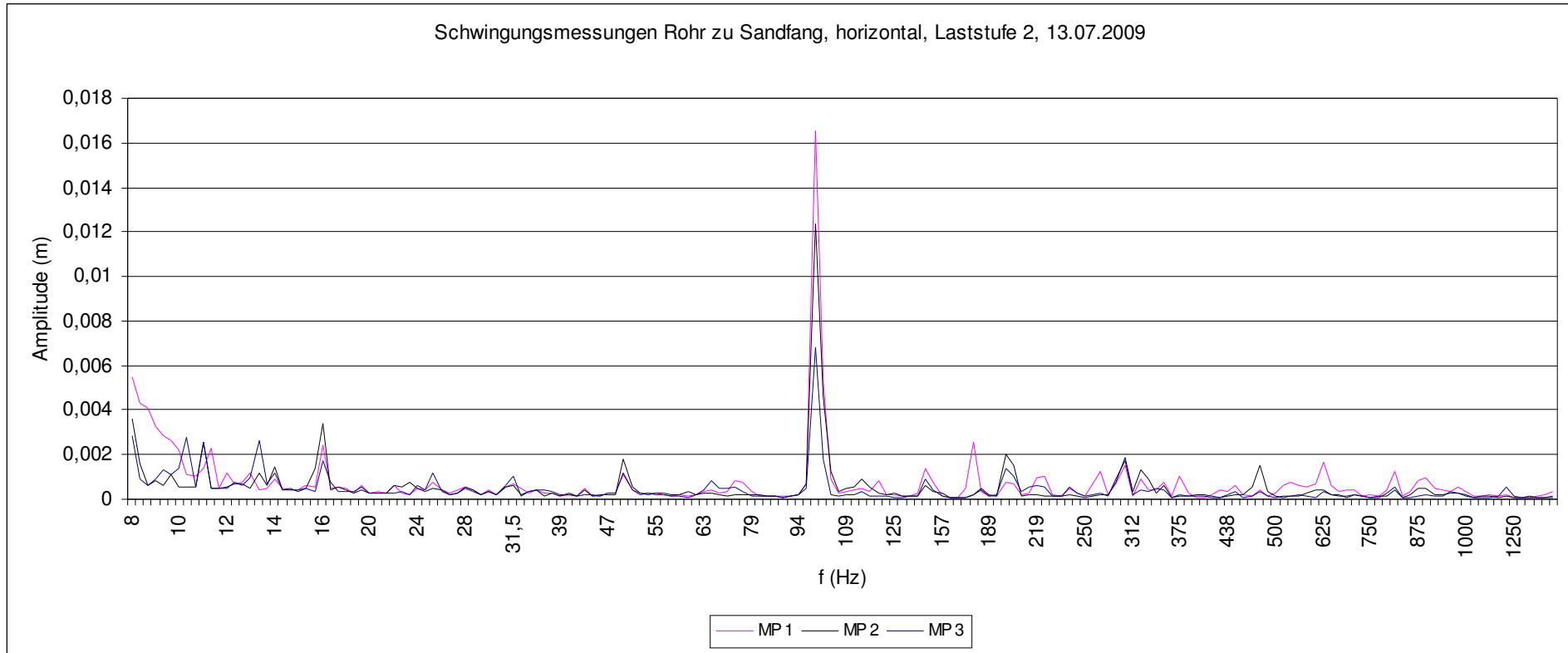


Diagramm A.4.5: Messung 6.1.2: 13.07.2009, Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, Laststufe 2, horizontal

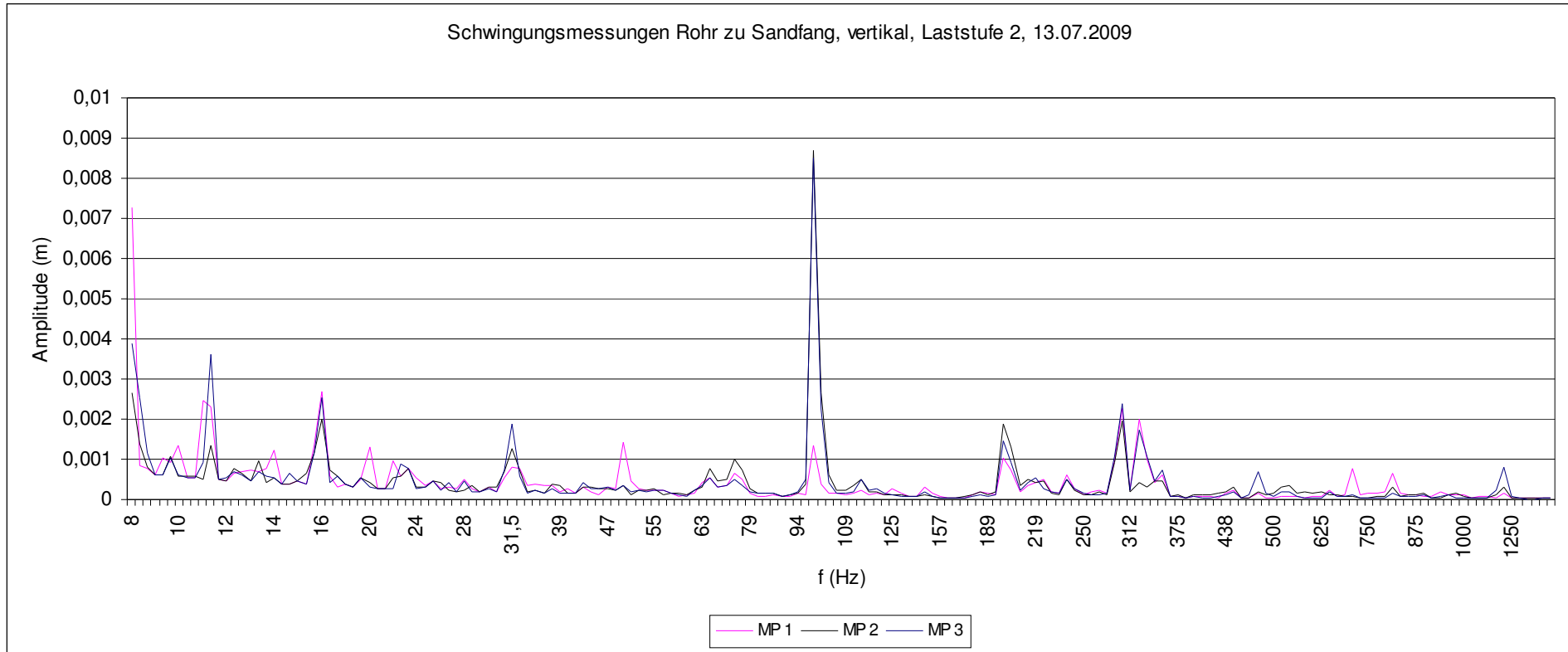


Diagramm A.4.6: Messung 6.1.2: 13.07.2009, Schwingungsmessung Abluftrohr zu Sandfang, Laststufe 2, vertikal

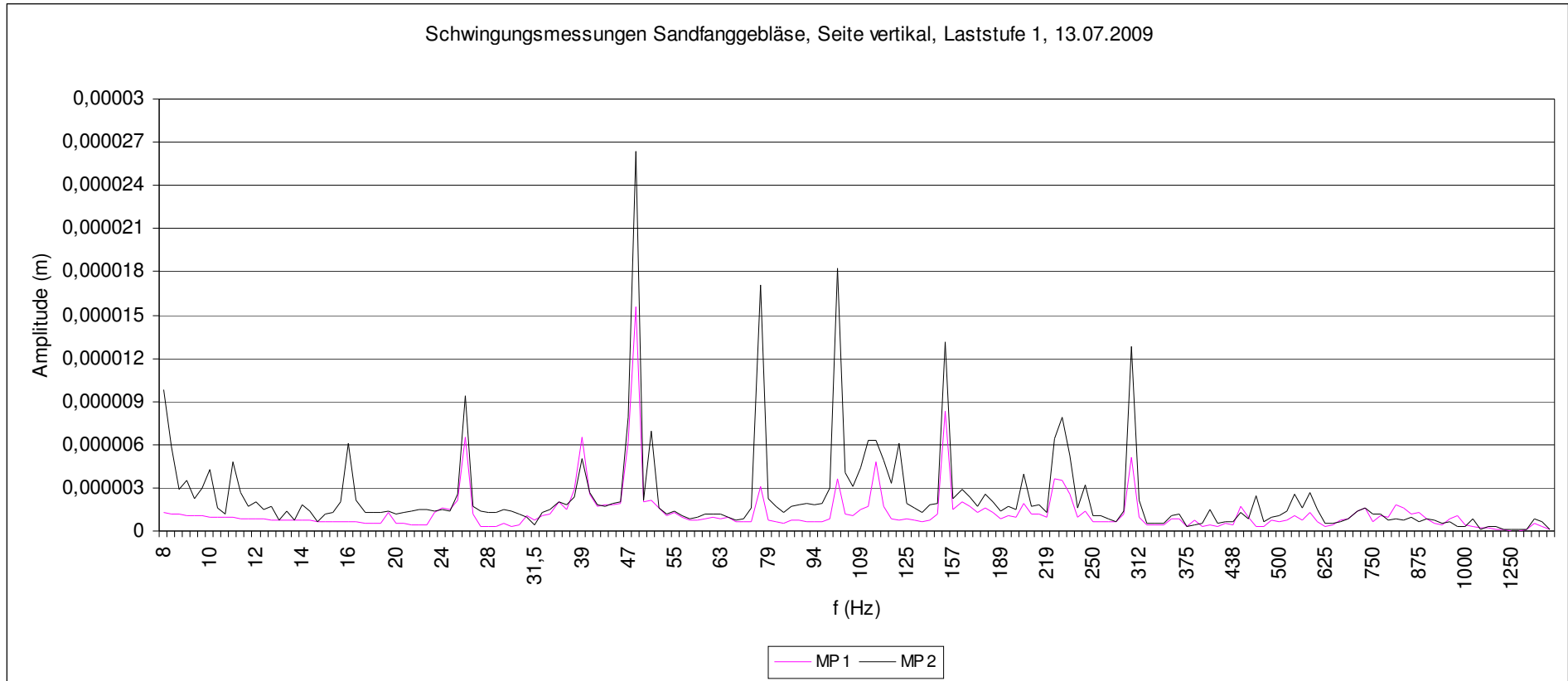


Diagramm A.4.7: Messung 6.1.3: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 1, Seite vertikal

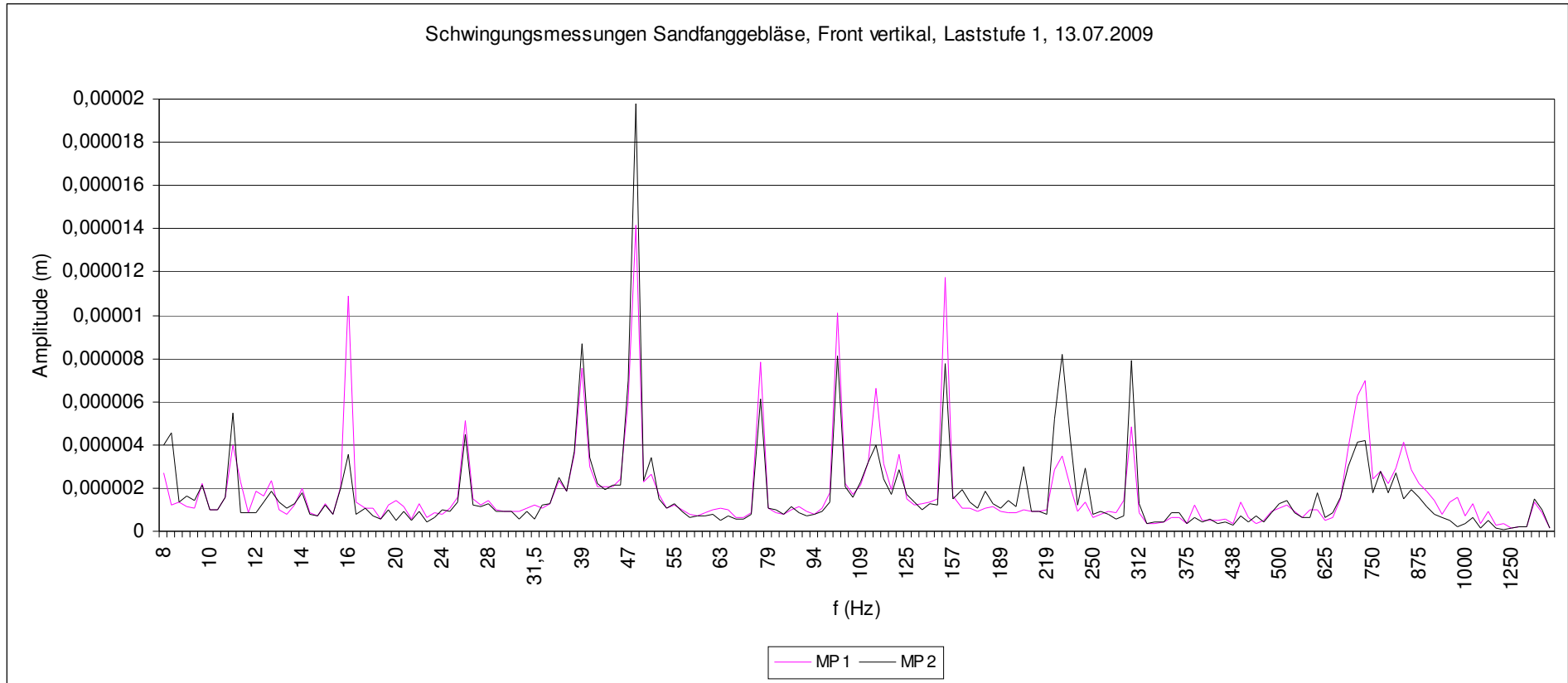


Diagramm A.4.8: Messung 6.1.3: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 1, Front vertikal

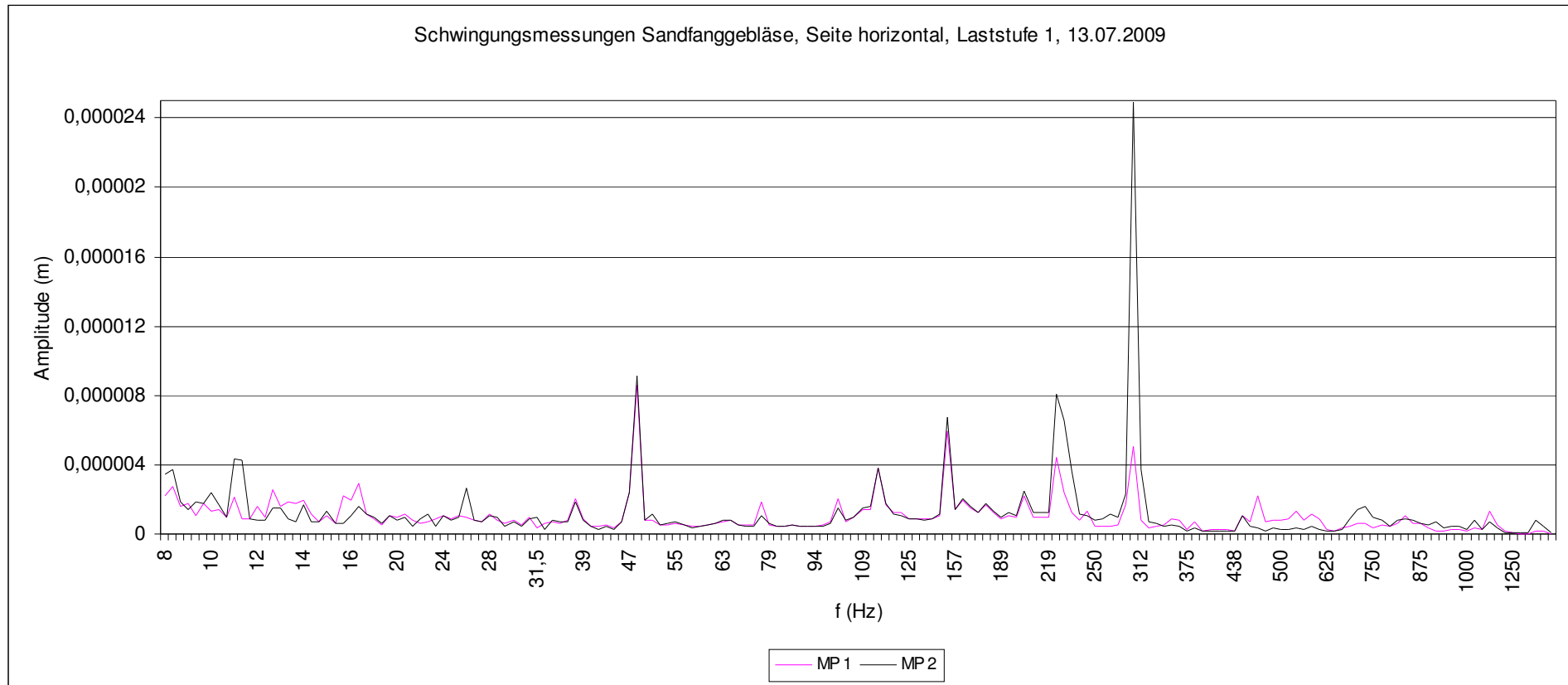


Diagramm A.4.9: Messung 6.1.3: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 1, Seite horizontal

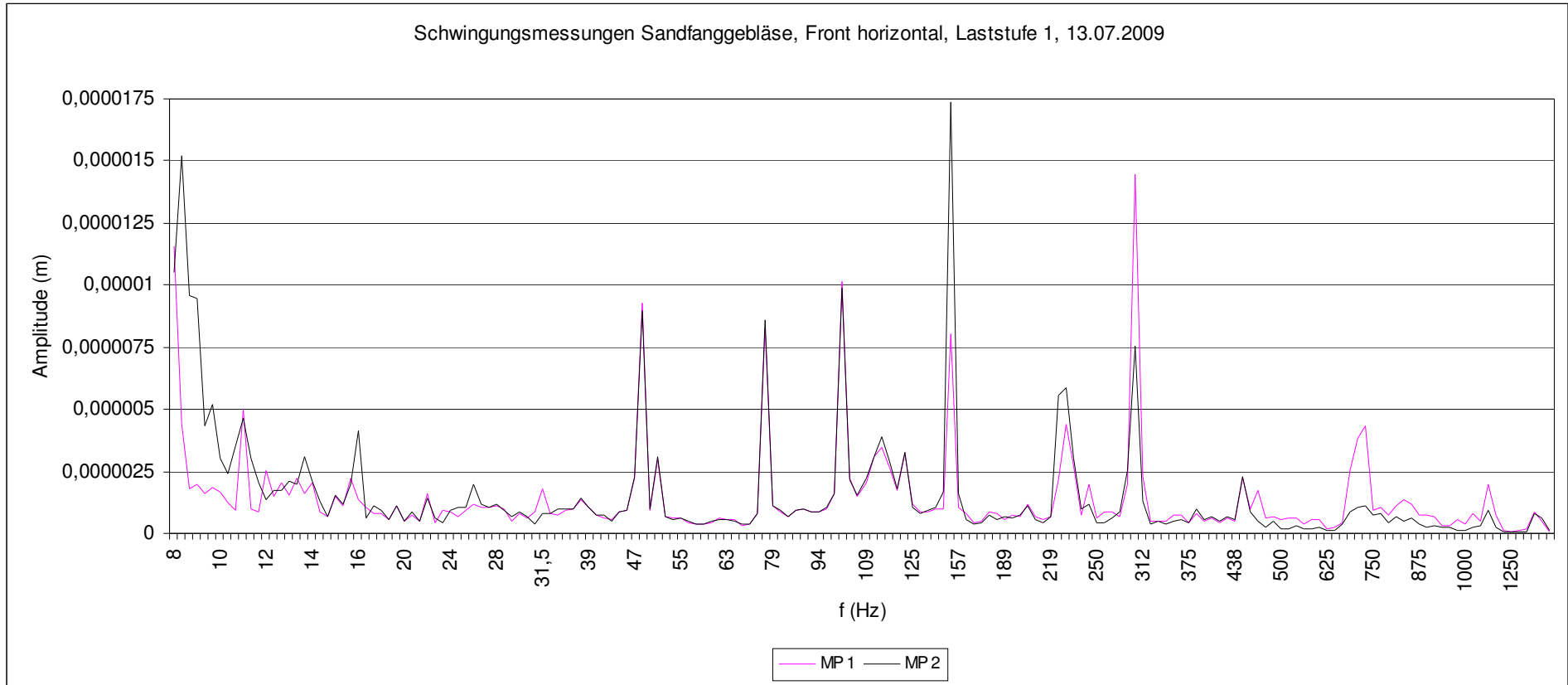


Diagramm A.4.10: Messung 6.1.3: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 1, Front horizontal

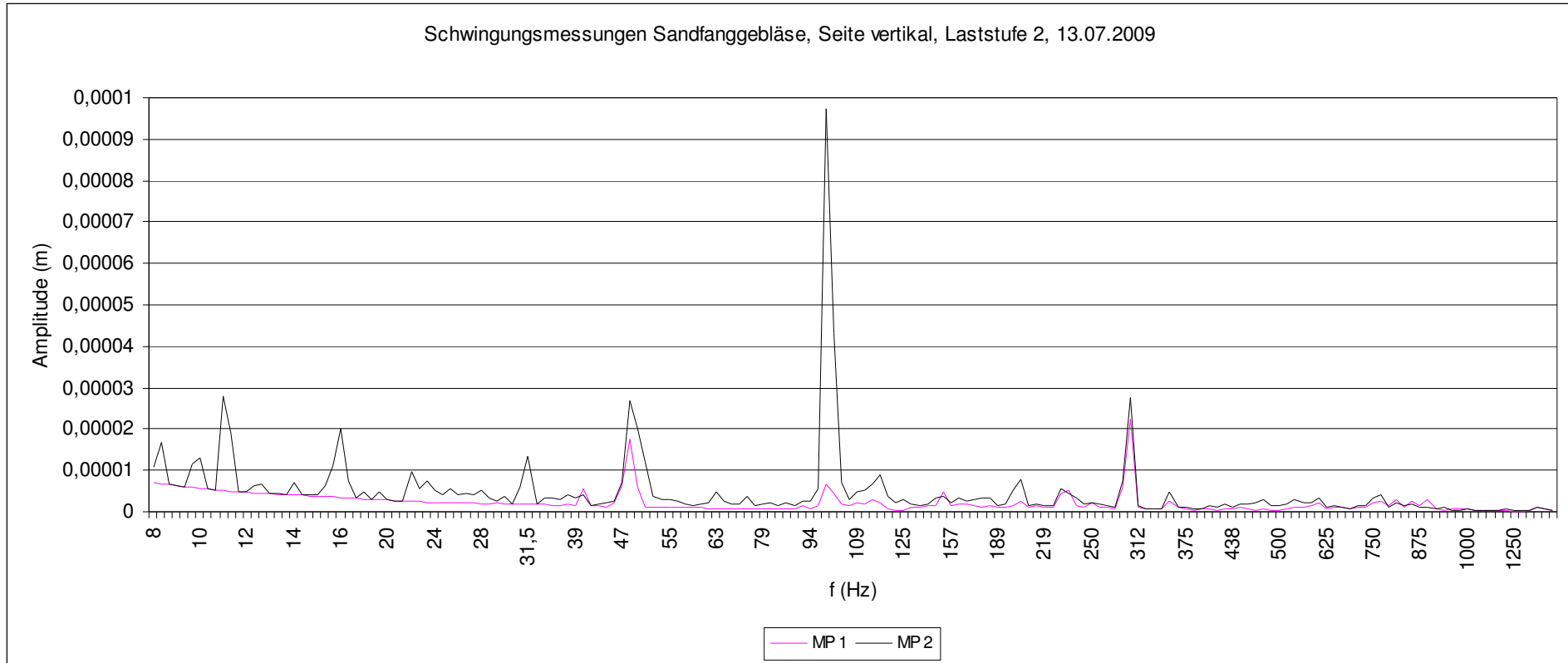


Diagramm A.4.11: Messung 6.1.3: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 2, Seite vertikal

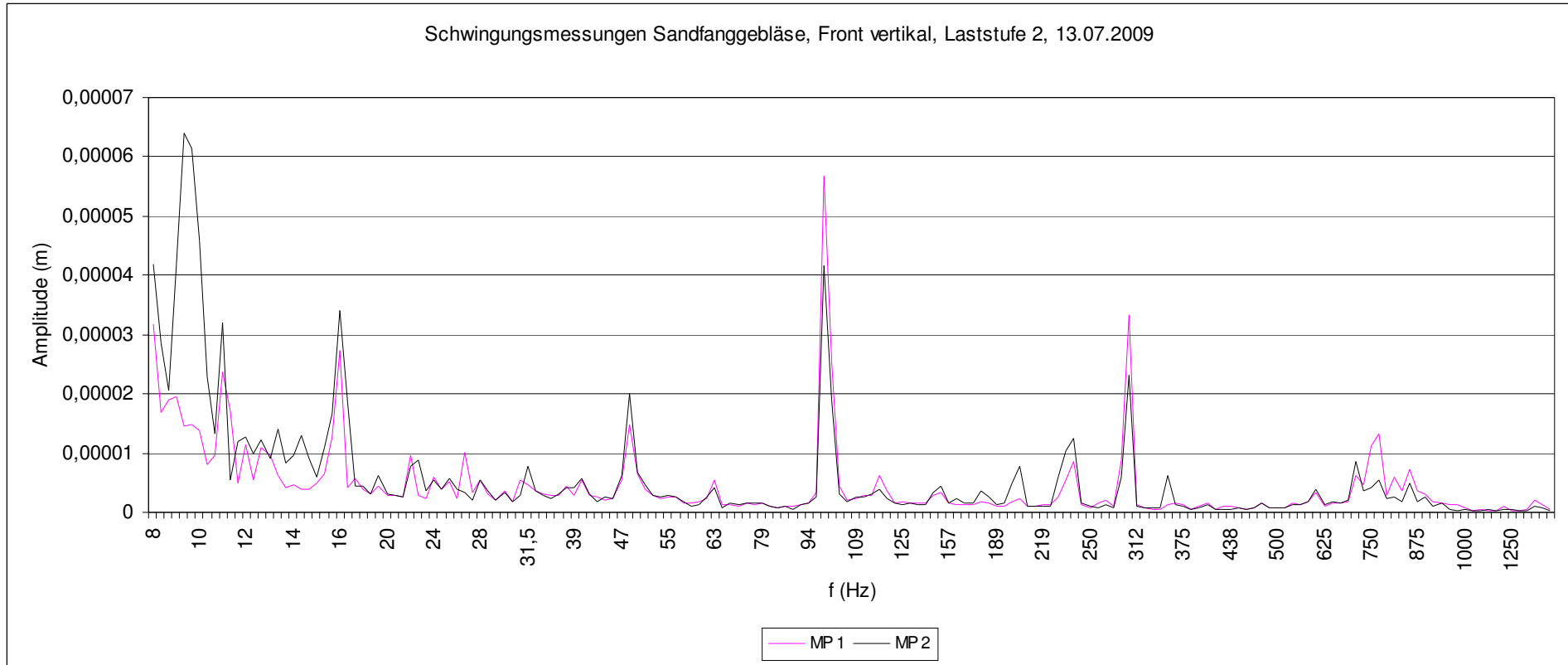


Diagramm A.4.12: Messung 6.1.3: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Sandfanggebläse, Laststufe 2, Front vertikal

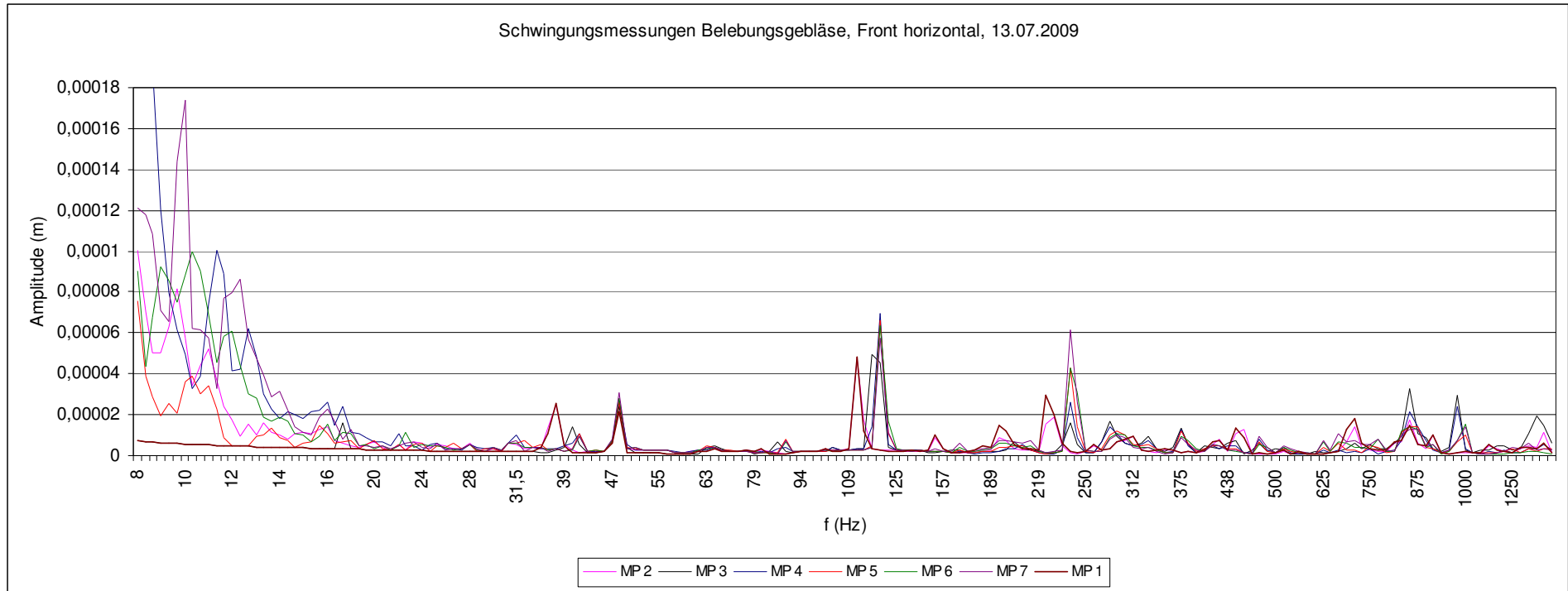


Diagramm A.4.13: Messung 6.1.4: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Belebungsgebläse, Front horizontal

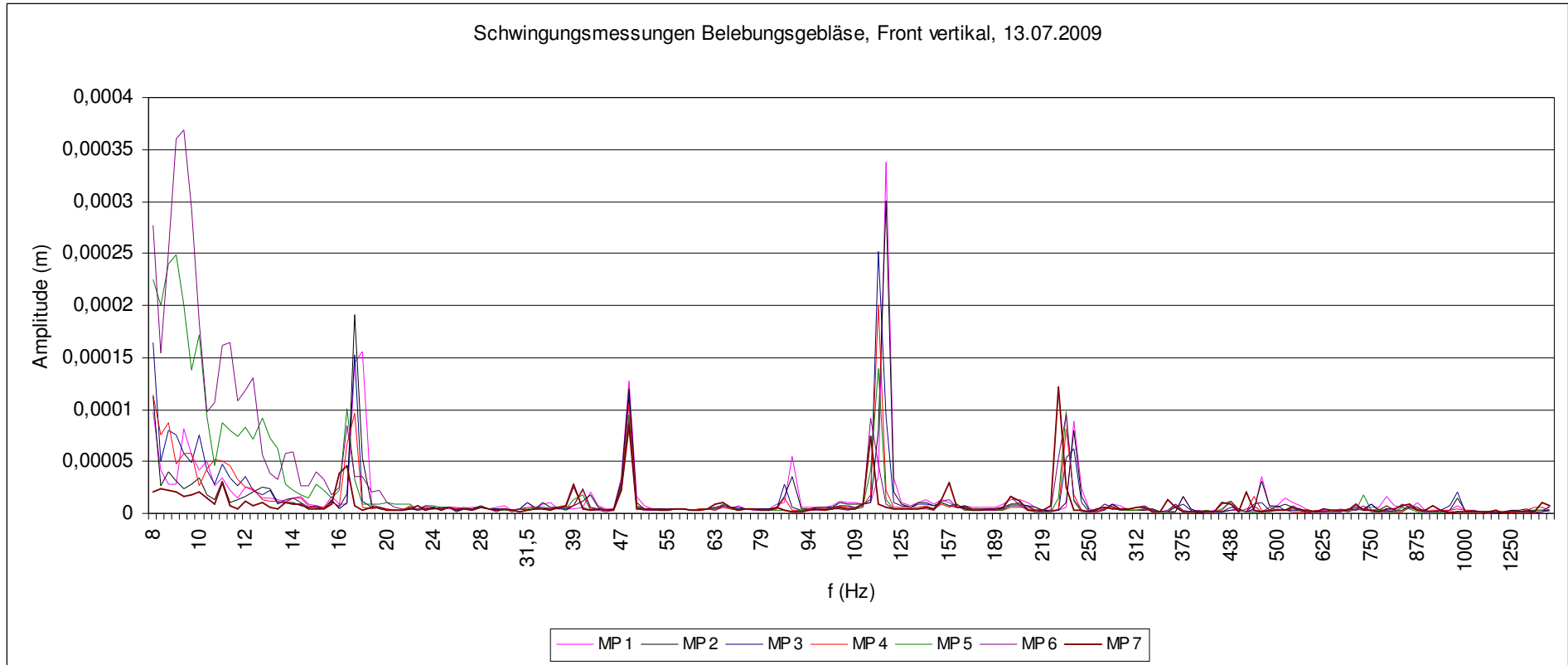


Diagramm A.4.14: Messung 6.1.4: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Belebungsgebläse, Front vertikal

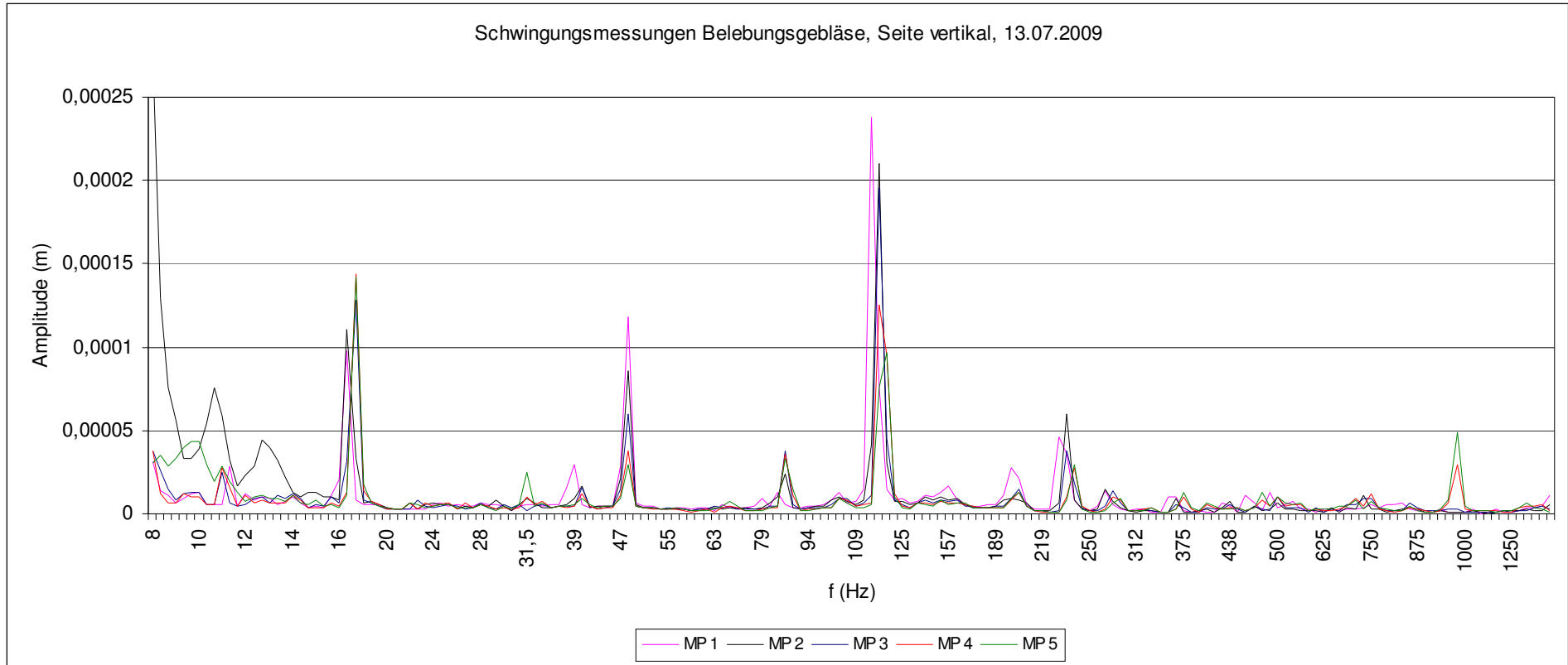


Diagramm A.4.15: Messung 6.1.4: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Belebungsgebläse, Seite vertikal

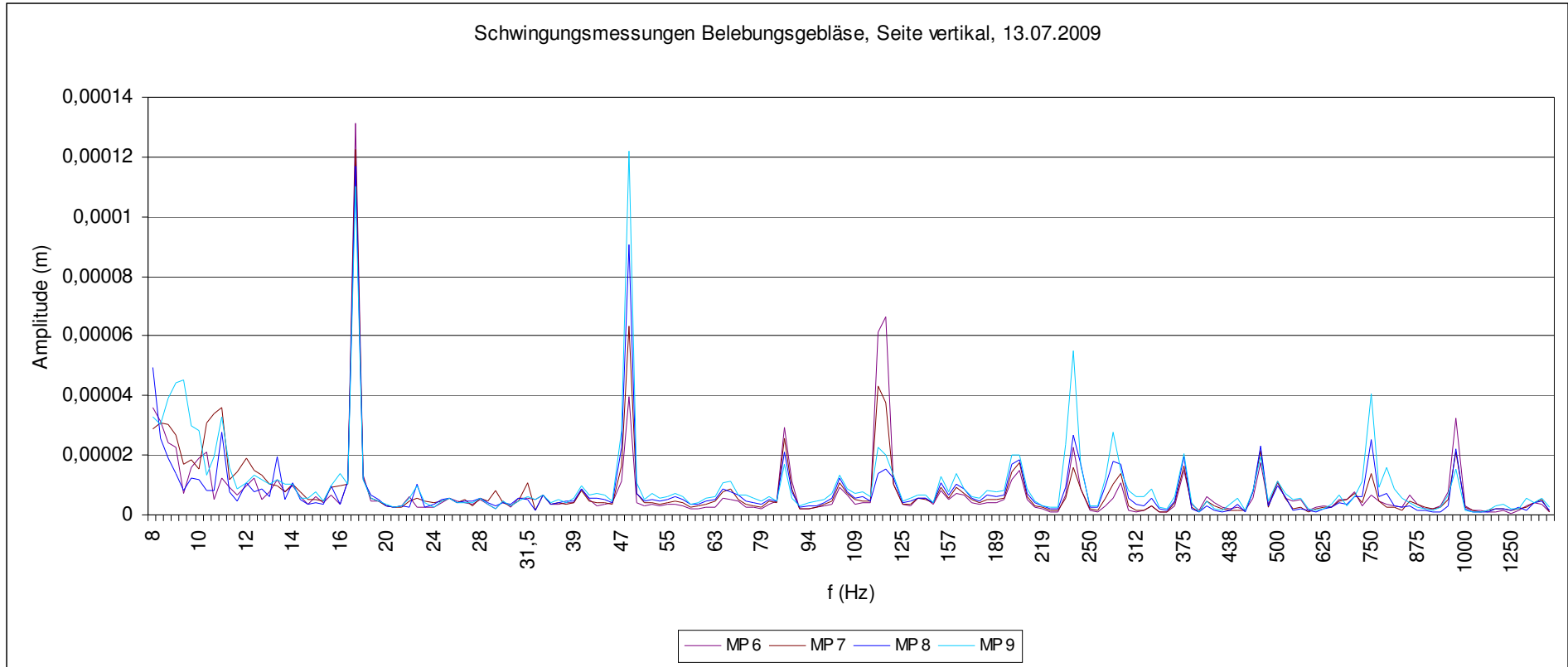


Diagramm A.4.16: Messung 6.1.4: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Belebungsgebläse, Seite vertikal

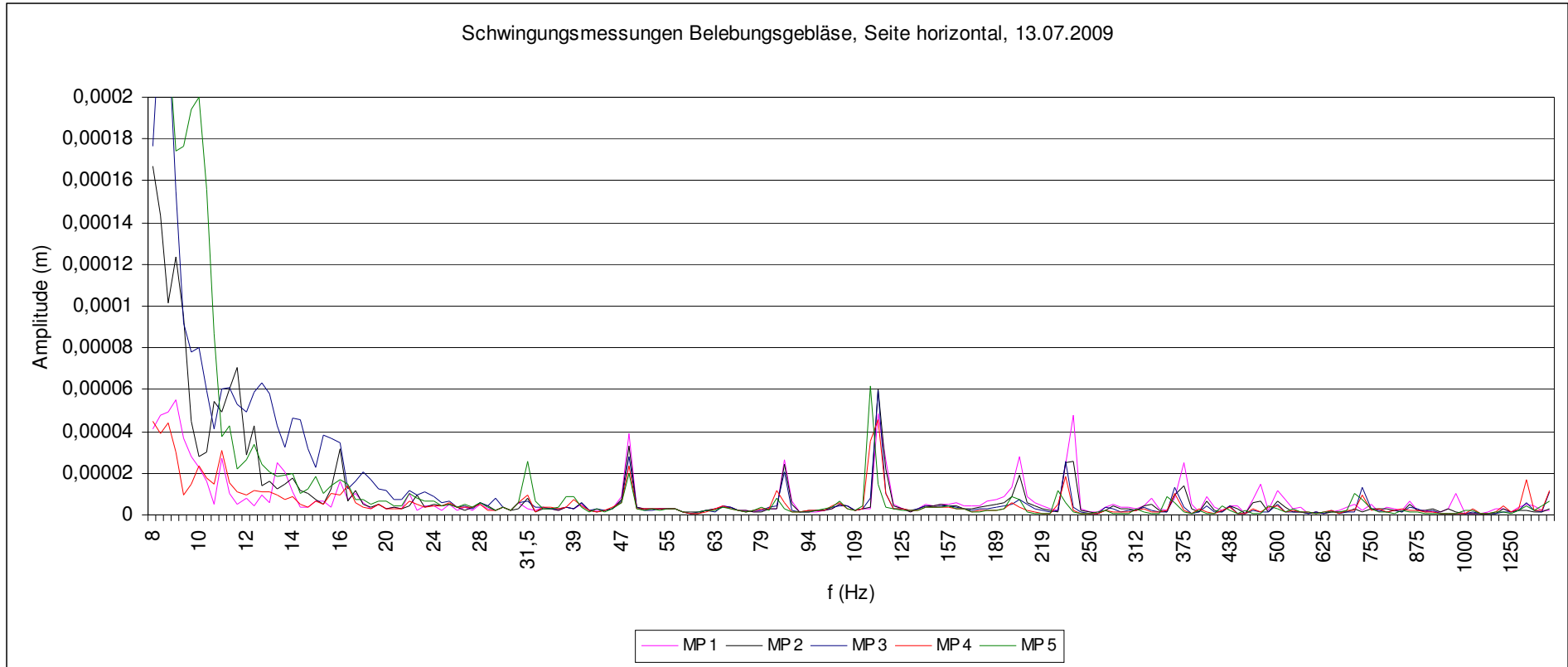


Diagramm A.4.17: Messung 6.1.4: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Belebungsgebläse, Seite horizontal

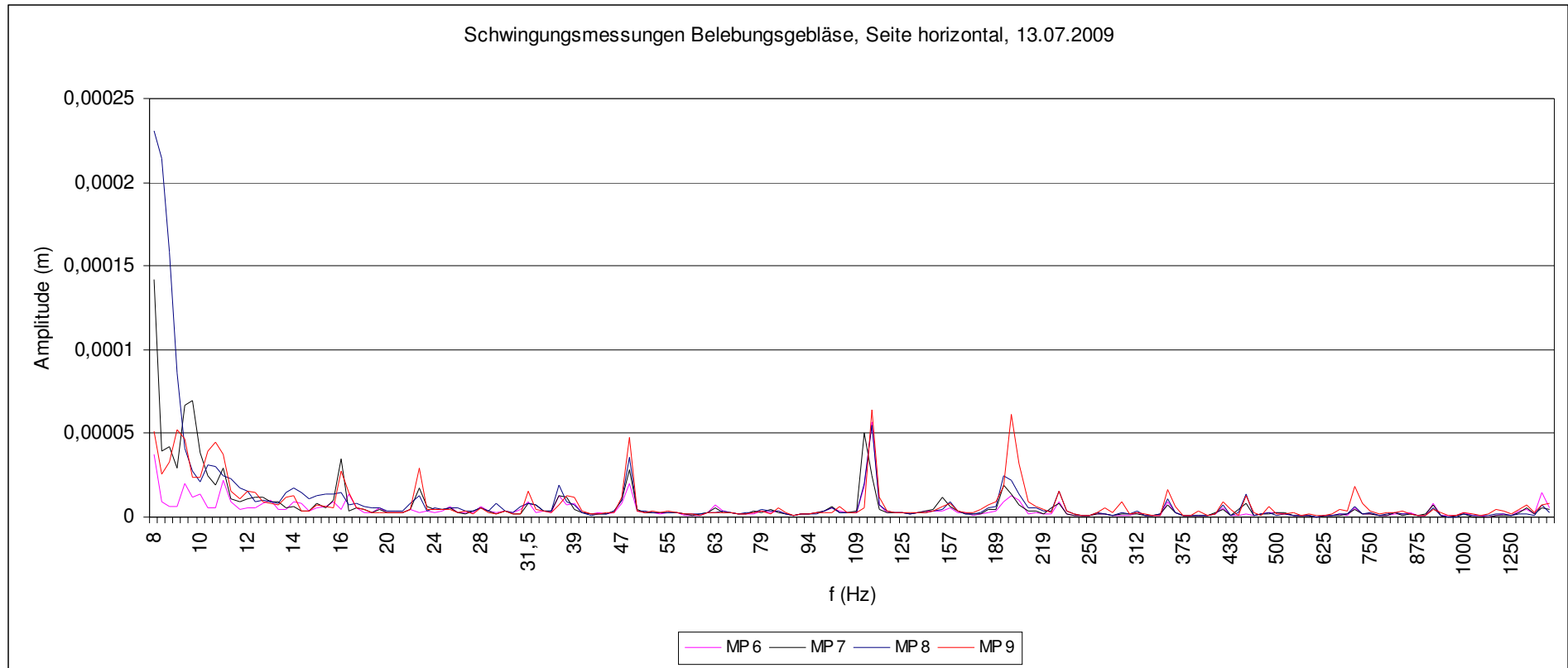


Diagramm A.4.18: Messung 6.1.4: 13.07.2009, Schwingungsmessung Fundament Belebungsgebläse, Seite horizontal

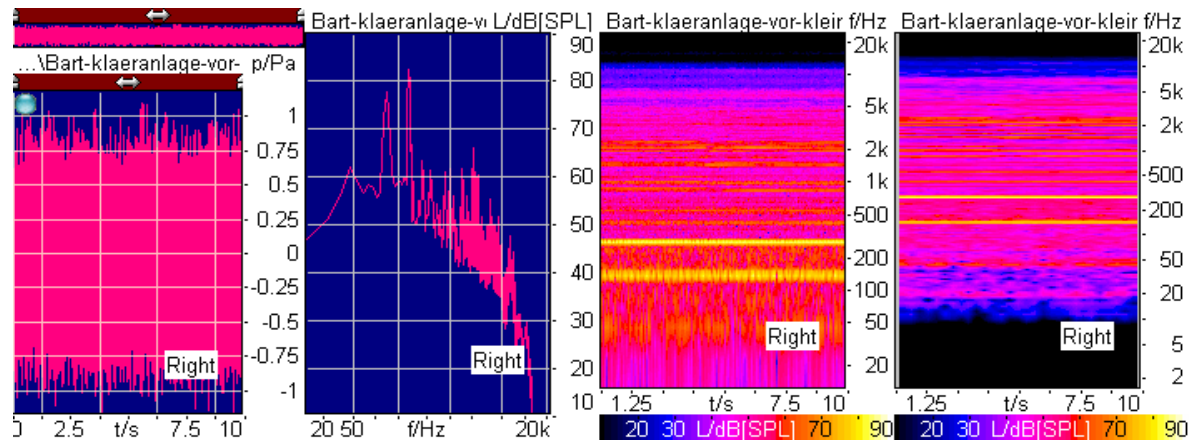


Diagramm A.4.19: Messung 6.2: 09.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessungen, Sandfanggebläse

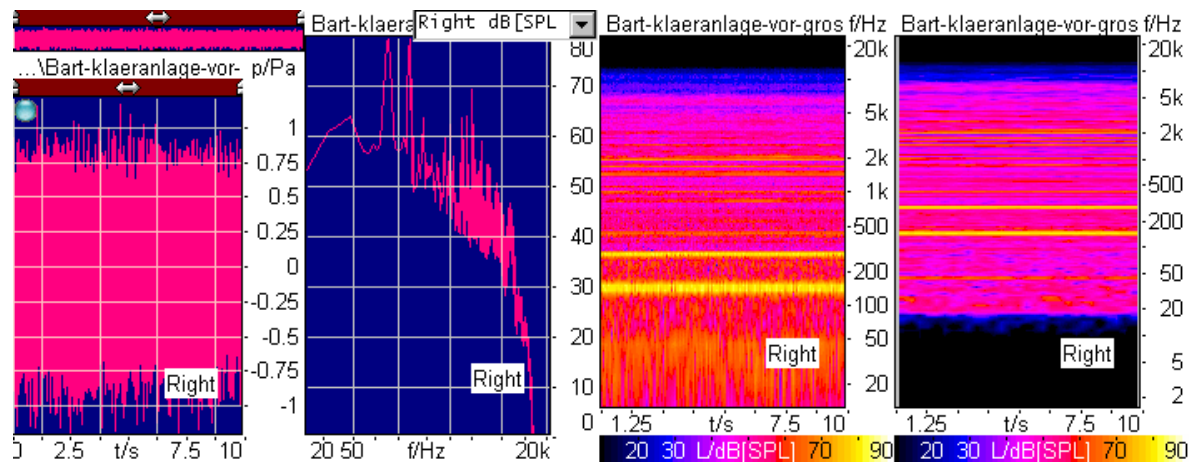


Diagramm A.4.20: Messung 6.2: 09.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessungen, Belebungsgebläse

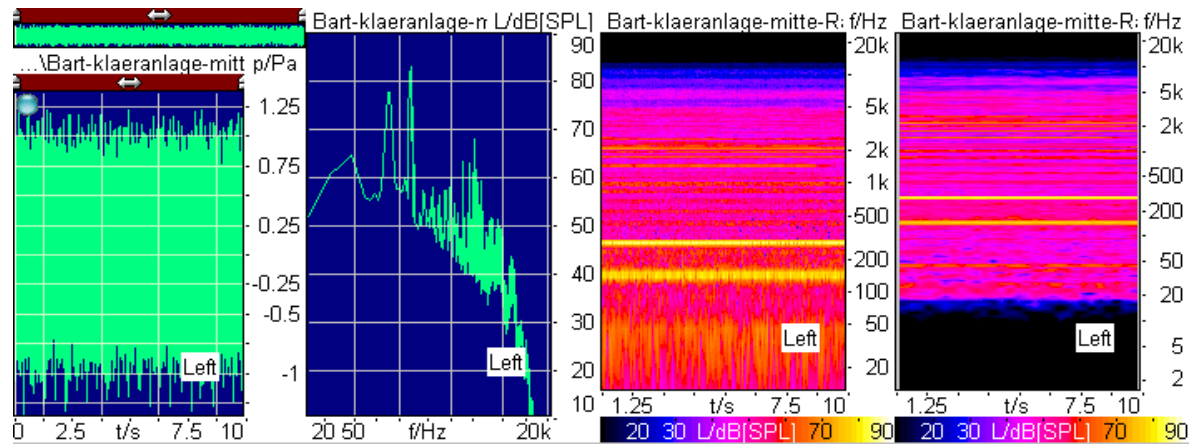


Diagramm A.4.21: Messung 6.2: 09.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessungen, Belebungsgebläse

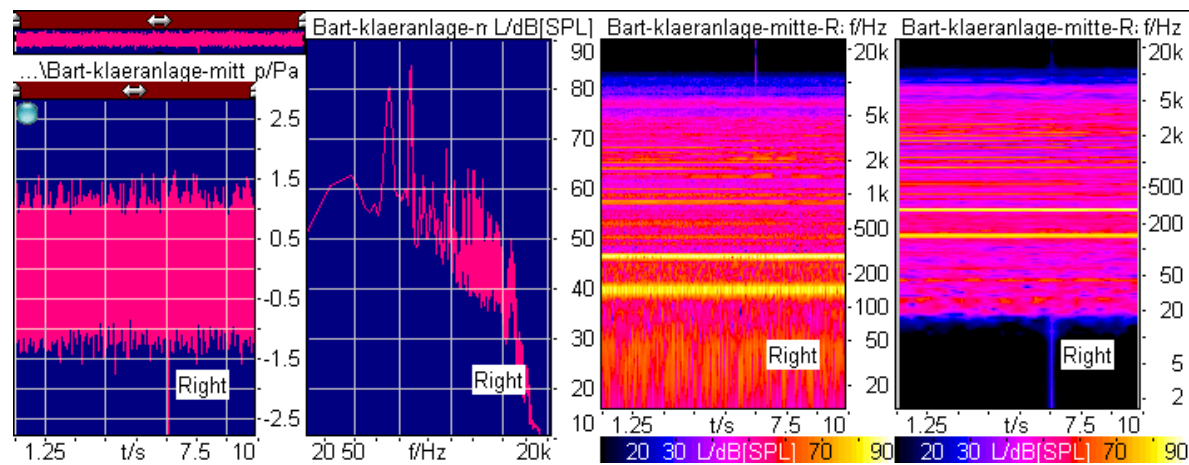


Diagramm A.4.22: Messung 6.2: 09.09.2009, Kopfbügelmikrofonmessungen, Mitte Raum

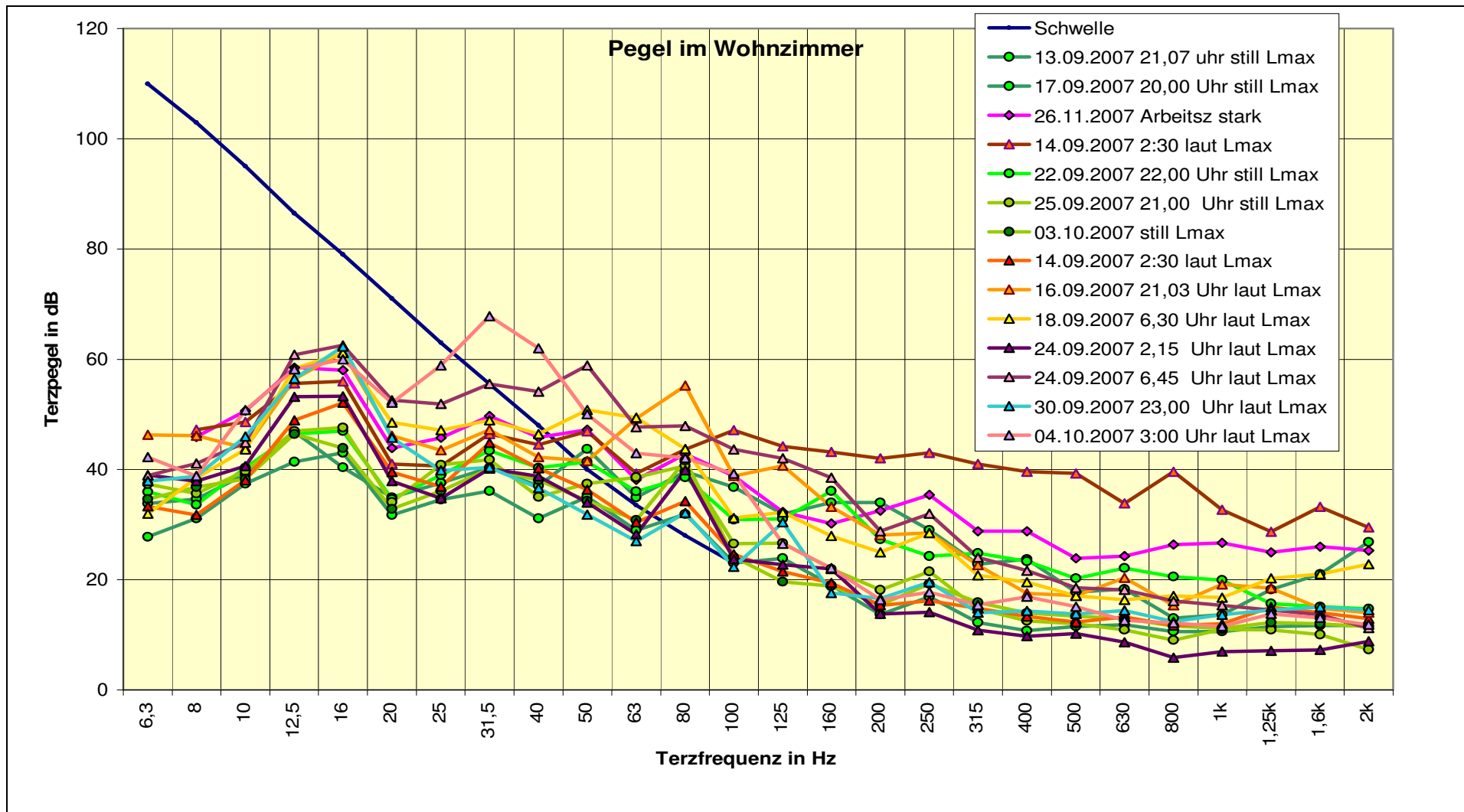


Diagramm A.4.23: Messung Dr. Kubicek September 2007

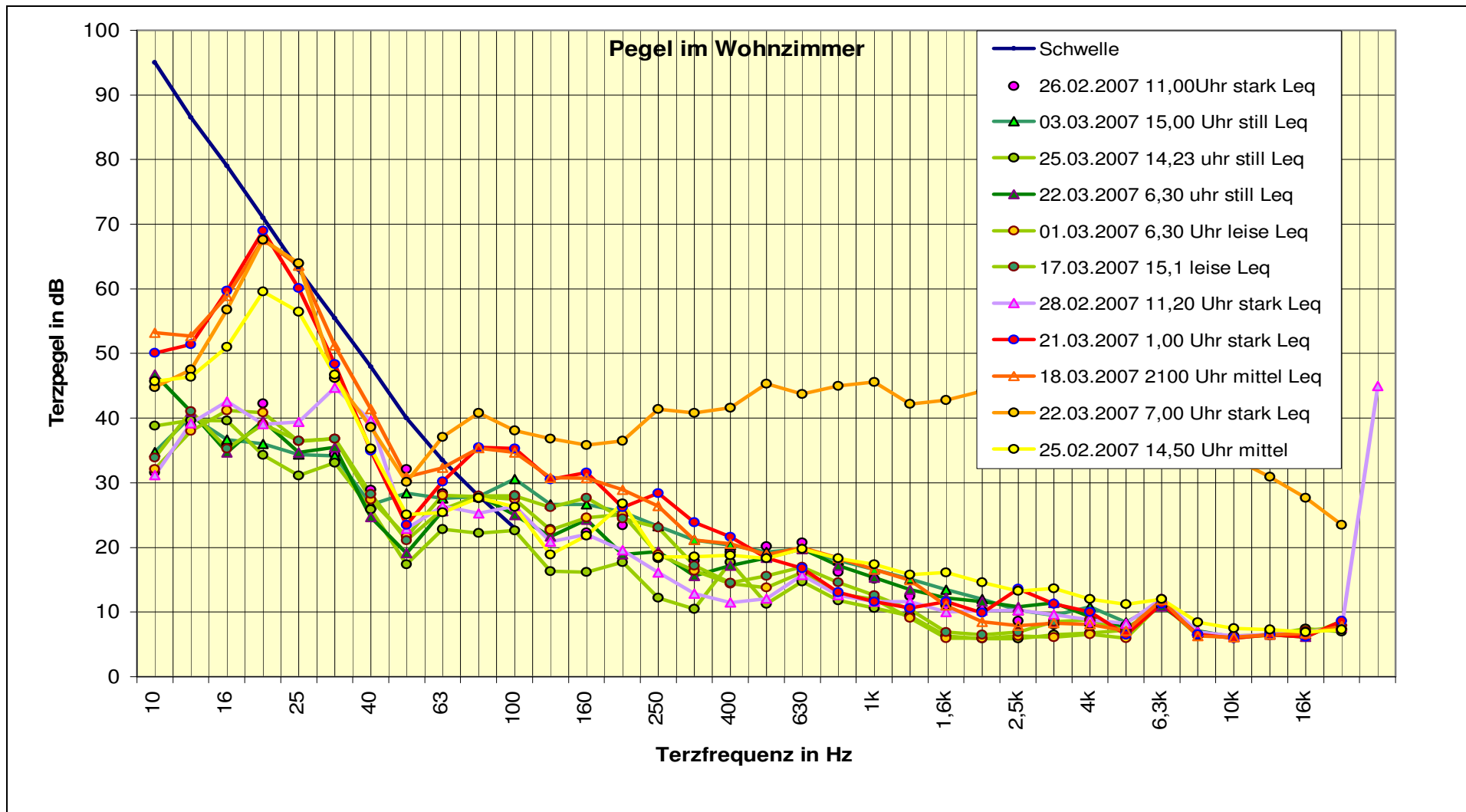


Diagramm A.4.24: Messung Dr. Kubicek Februar/März 2007

A.5

4 Gebläse Biologie

MASCHINENKARTEN immer 3 Gebläse in Betrieb
1 Reserve

Anlagenbezeichnung GKW "Mittleres Zschopautal"		Standort der Anlage Feldstraße 13 09577 Niederwiesa			
Agregatbezeichnung BB Gebläse 1		Standort des Aggregates Rechenhauskeller			
Hersteller AERZENER		Anschrift des Herstellers Aerzener Maschinenfabrik GmbH Reherweg 28 31855 Aerzen			
Ansprechpartner		Tel.: Fax:			
Baugruppe 1 Gebläsestufe					
Typ: GM 30 L		Maschinennummer 737010	Baujahr 1997		
n	1400	u/min	Kupplungsleistung	30,4	kW
Fördermenge	23,6	m³/min	P ₁ Druck Saugseite	1,0	bar
			Δp	500	mbar
			P ₂ max. Betriebsdruck	0,60	bar
Einbauart Mit Schalldämbung					
Baugruppe 2 Motor					
Typ: L225 M/4k		Maschinennummer 944213	Baujahr 1997		
Spannung	400 / 690	V	Strom	79	A
n	1477	u/min	P	45	kW
Baugruppe 3 Schalldämpfer					
Typ:		Maschinennummer	Baujahr		
Baugruppe 4 Sicherheitsventil					
Benennung : Druckventil (Ausrüstungsteil mit Sicherheitsfunktion)					
Ausführung :	B	Vertikaleinstelldruck :	650		[mbar]
Auftragsnr. :	74-147098-00	Max. zul. Druck (ps)	1,1		[bar]
Werkstoff Ventilsitz :	EN-GJL-250	Engster Strömungsquerschn.	24		[cm²]
Werkstoff Ventillocke :	Ms	Zul. min./max. Temp. (ts)	-10 / +150		[°C]
Mediengruppe	Z (Luft)	Q _{max}	17,300		[m³/min]

Stammblatt BB_Aerzener_Geb1_GM_30_L_737010.xls 13.10.2009

Abb. A. 5.1 Datenblatt Drehkolbengebläse Typ GM 30 L

3 Sandfanggebläse mit 2 Behältern

MASCHINENKARTEN 2 Gebläse in Betrieb
1 Gebläse Reserve

Anlagenbezeichnung GKW "Mittleres Zschopautal"		Standort der Anlage Feldstraße 13 09577 Niederwiesa			
Agregatbezeichnung Sandfanggebläse 1		Standort des Aggregates Rechenhauskeller			
Hersteller AERZENER		Anschrift des Herstellers Aerzener Maschinenfabrik GmbH Reherweg 28 31855 Aerzen			
Ansprechpartner		Tel.: Fax:			
Baugruppe 1 Gebläsestufe					
Typ: GM 3 S		Maschinennummer 738184	Baujahr 1997		
n	2880	u/min	Kupplungsleistung	1,73	kW
Fördermenge	2,1	m³/min	P ₁ Druck Saugseite	1,0	bar
			Δp		mbar
			P ₂ max. Betriebsdruck		bar
Einbauart Mit Schalldämbung					
Baugruppe 2 Motor					
Typ: LR 100 / 4-2 K		Maschinennummer 490866	Baujahr 1997		
Spannung	400	V	Strom	4,1 / 5,6	A
n	1470 / 2830	u/min	P	1,8 / 2,2	kW
Baugruppe 3 Schalldämpfer					
Typ:		Maschinennummer	Baujahr		
Baugruppe 4 Sicherheitsventil					
Benennung : Druckventil (Ausrüstungsteil mit Sicherheitsfunktion)					
Ausführung :	B	Vertikaleinstelldruck :	650		[mbar]
Auftragsnr. :	74-147098-00	Max. zul. Druck (ps)	1,1		[bar]
Werkstoff Ventilsitz :	EN-GJL-250	Engster Strömungsquerschn.	24		[cm²]
Werkstoff Ventillocke :	Ms	Zul. min./max. Temp. (ts)	-10 / +150		[°C]
Mediengruppe	Z (Luft)	Q _{max}	17,300		[m³/min]

Stammblatt SF_Aerzener_Geb2_GM_3_S_738184.xls 13.10.2009

Abb. A. 5.2 Datenblatt Drehkolbengebläse Typ GM 3 S

A. 6

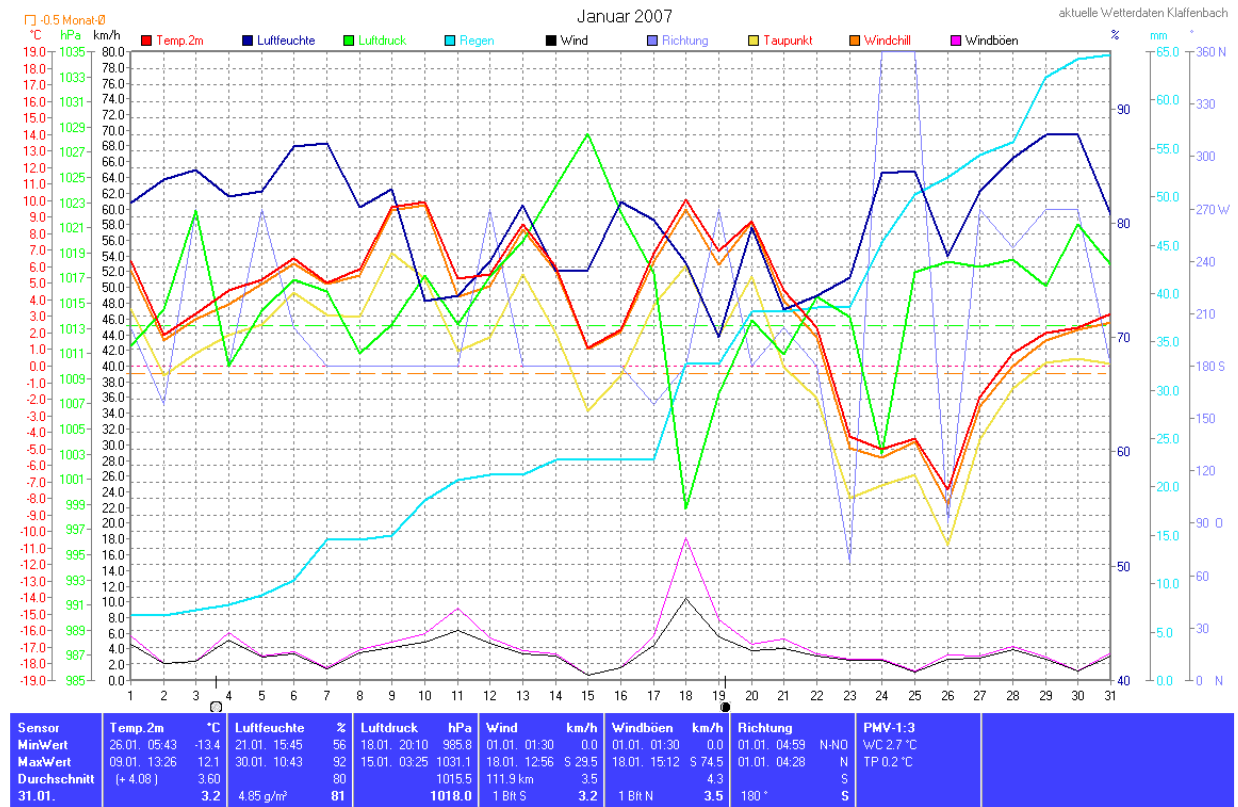


Abb. A. 6.1: Wetterdaten Januar 2007 [19]

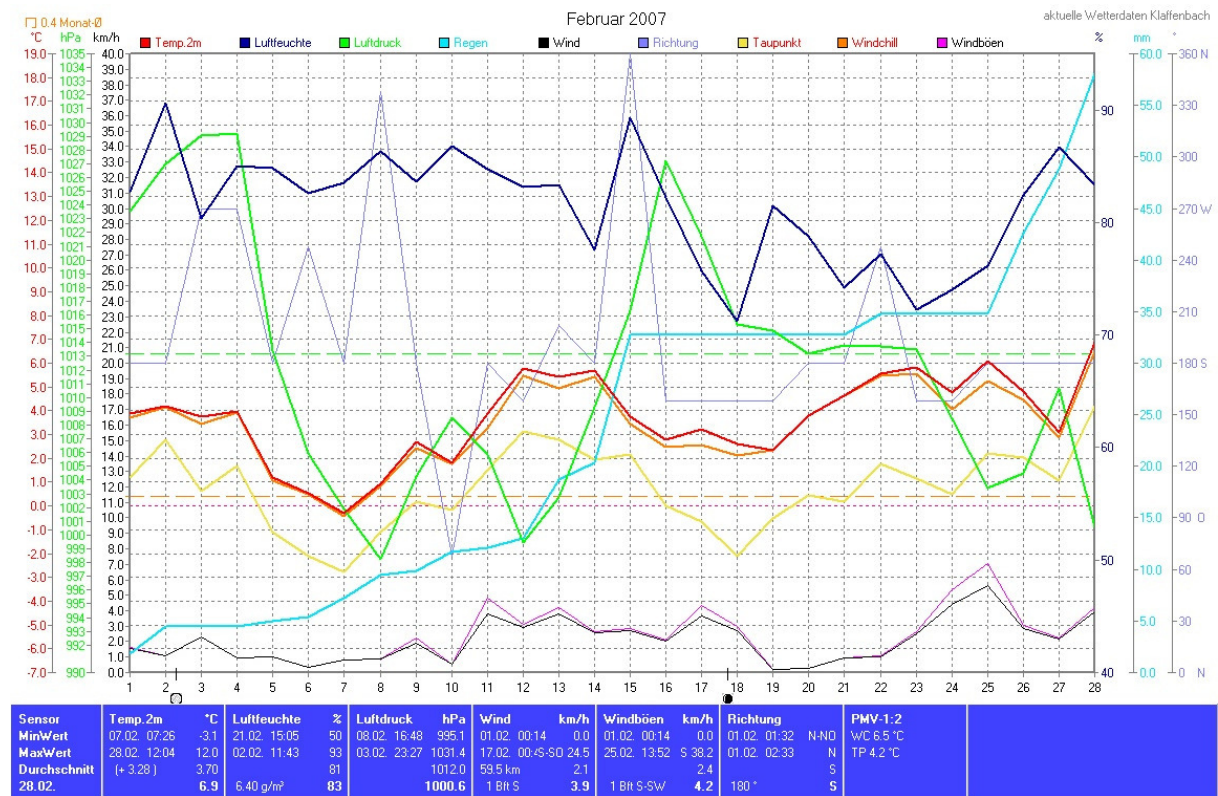


Abb. A. 6.2: Wetterdaten Februar 2007 [19]

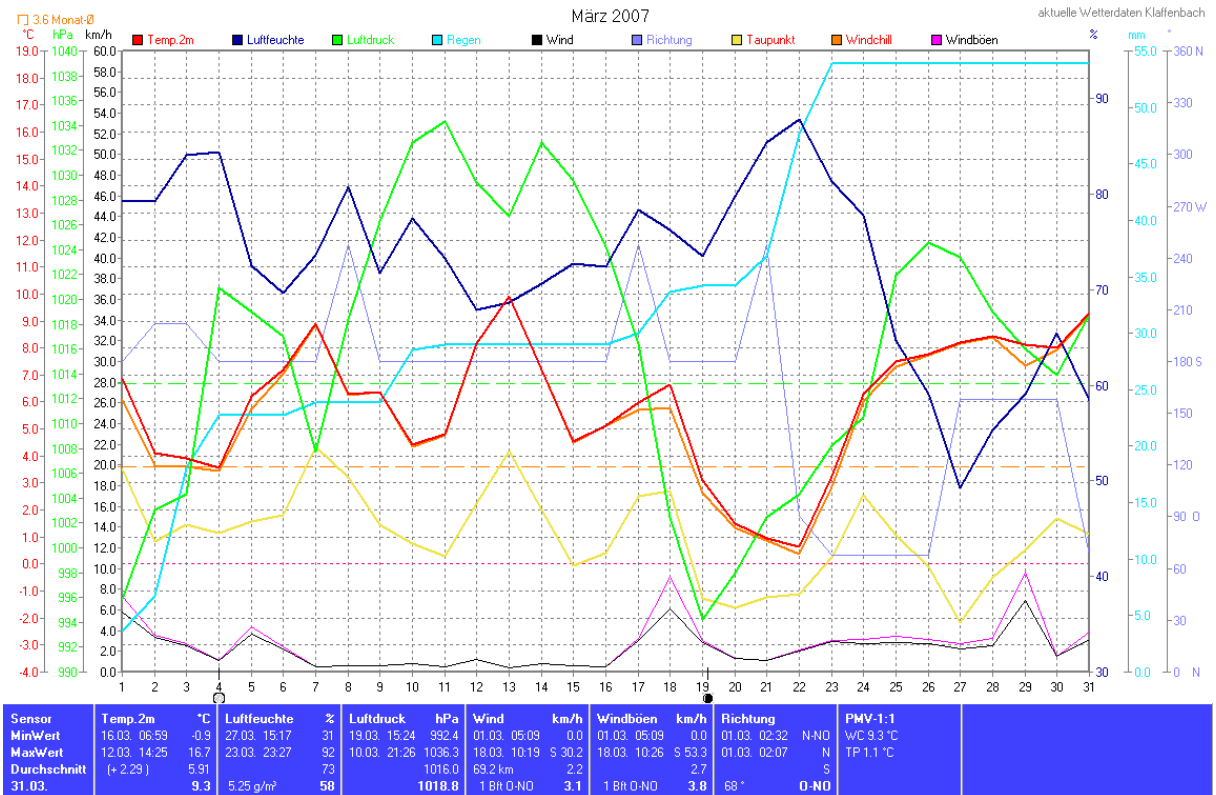


Abb. A. 6.3: Wetterdaten März 2007 [19]

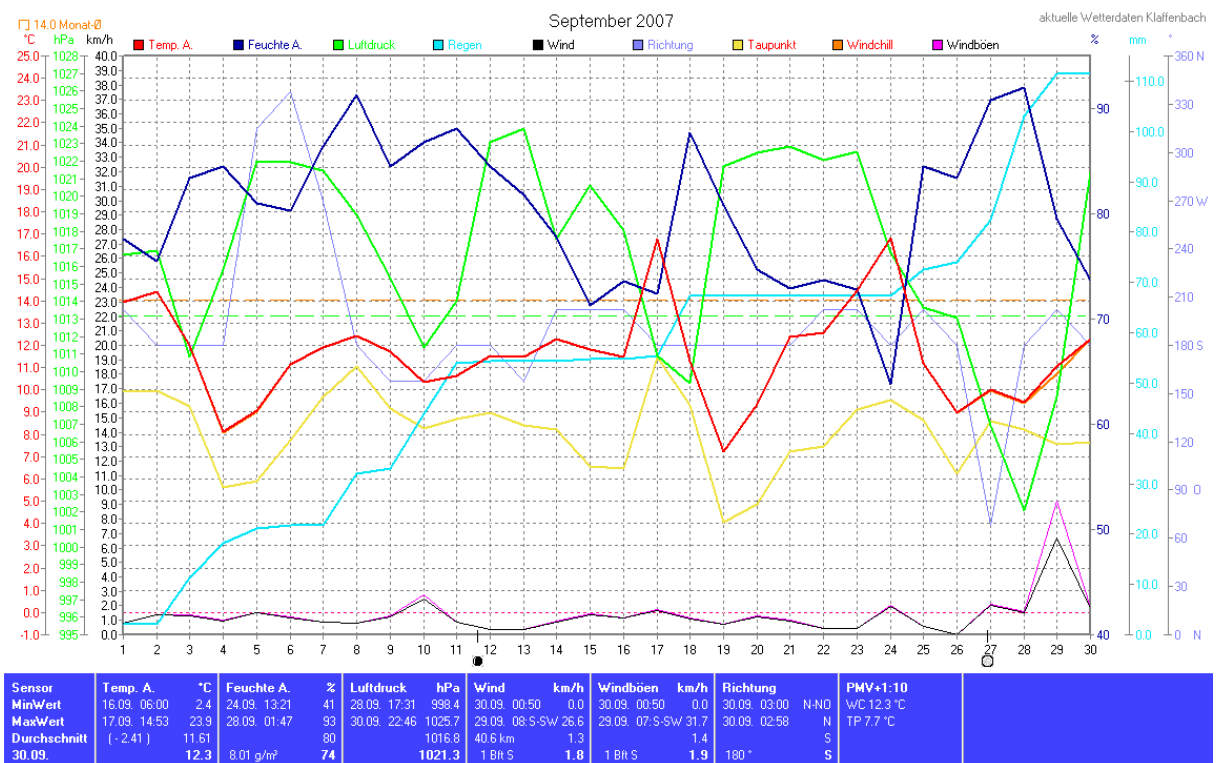


Abb. A. 6.4: Wetterdaten September 2007 [19]

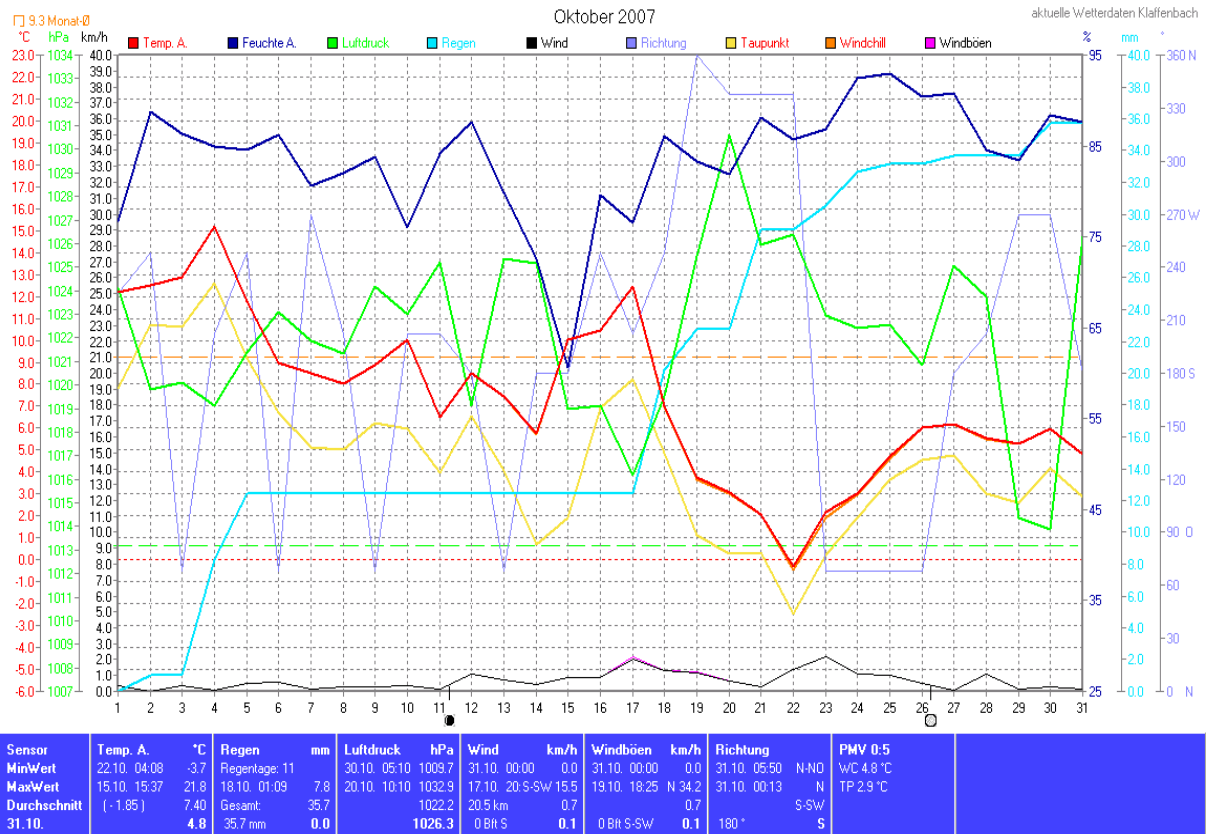


Abb. A. 6.5: Wetterdaten Oktober 2007 [19]

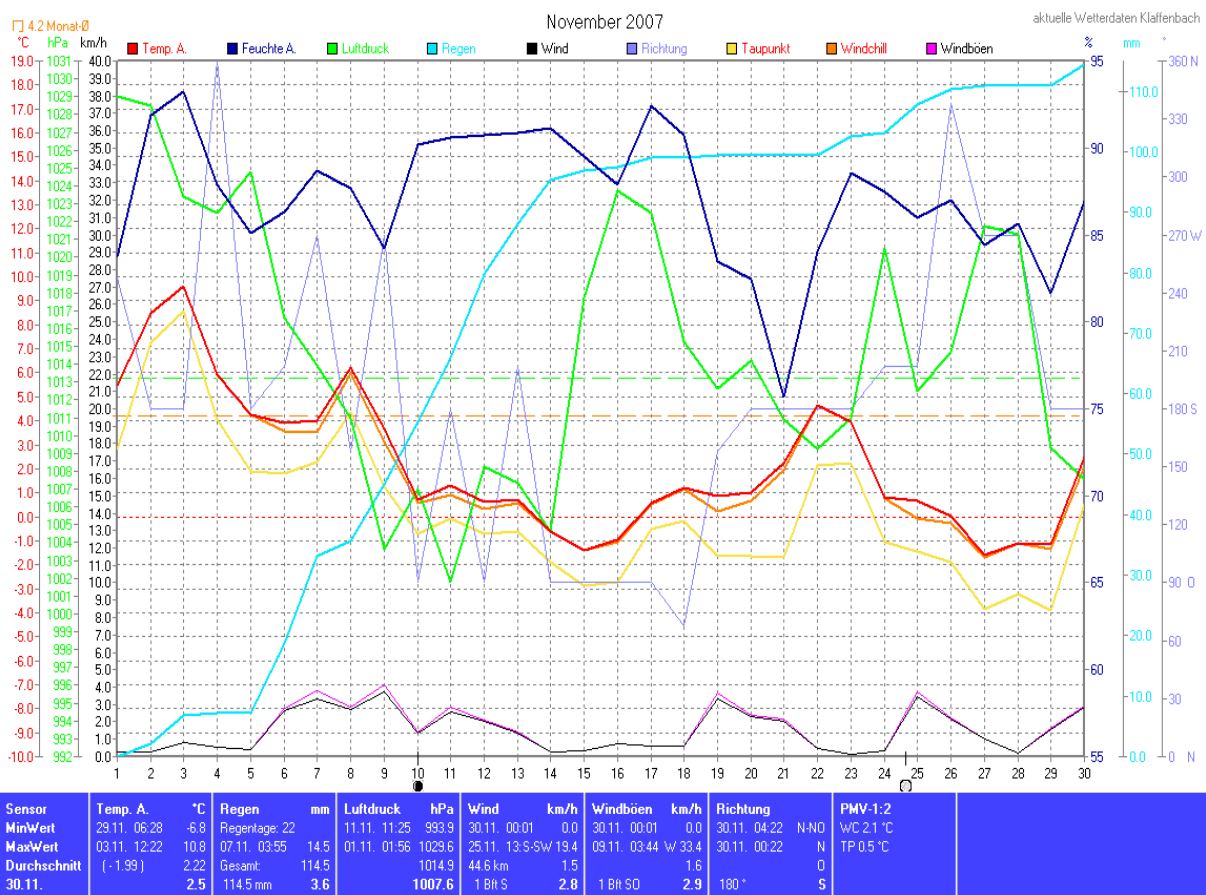


Abb. A. 6.6: Wetterdaten November 2007 [19]

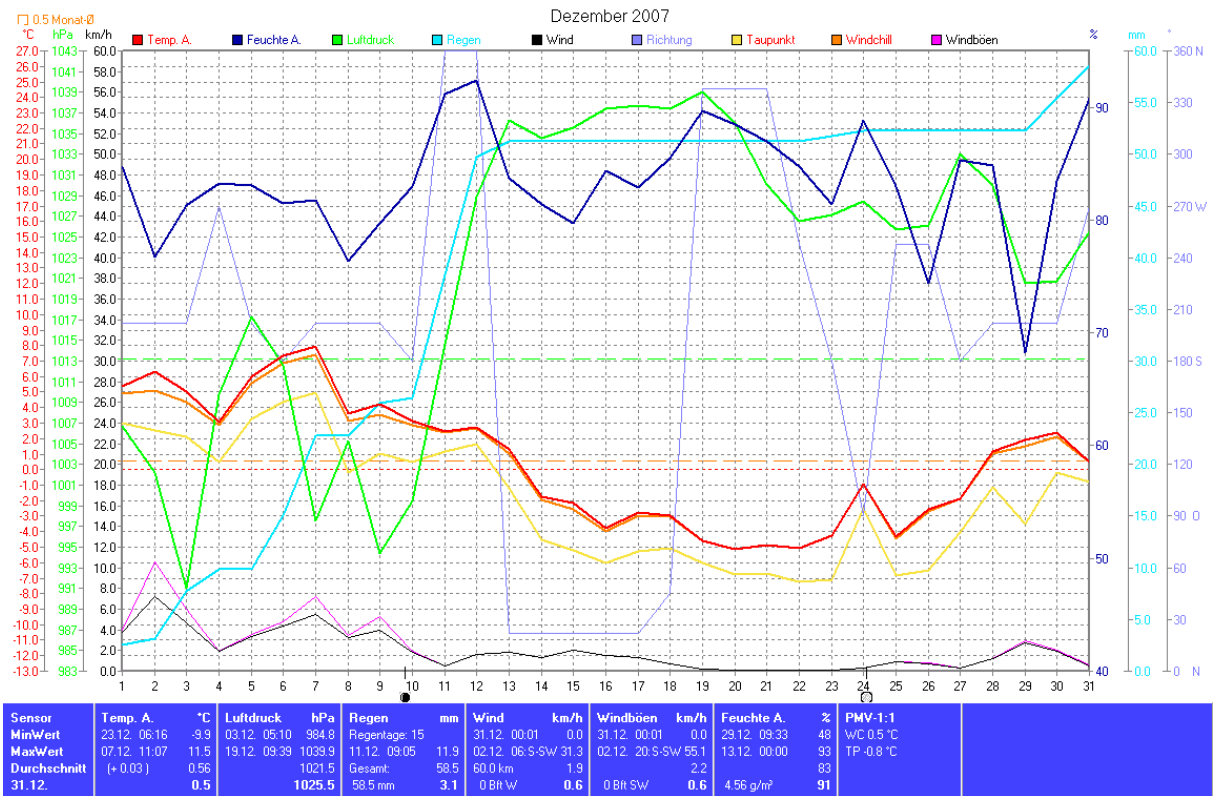


Abb. A. 6.7: Wetterdaten Dezember 2007 [19]

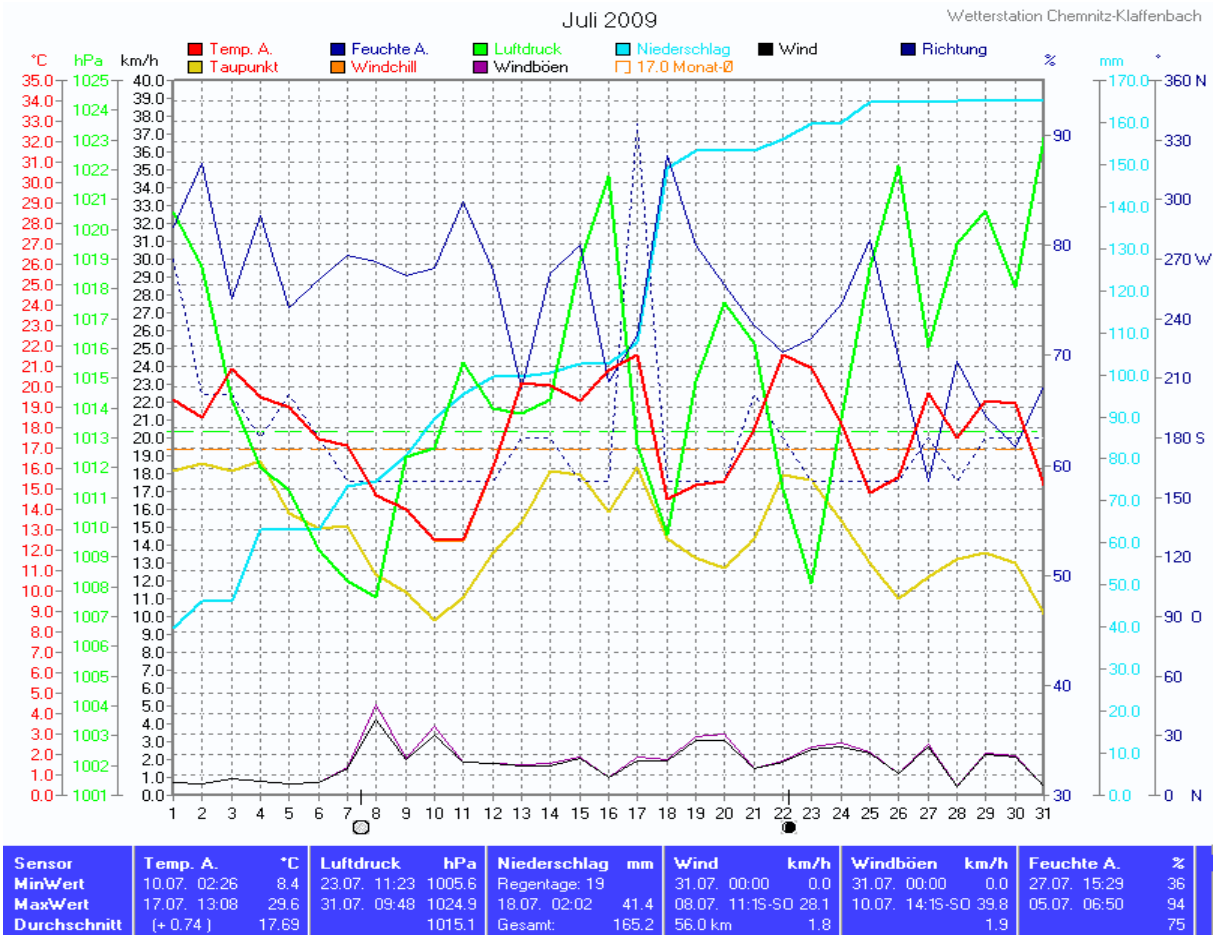


Abb. A. 6.8: Wetterdaten Juli 2009 [19]

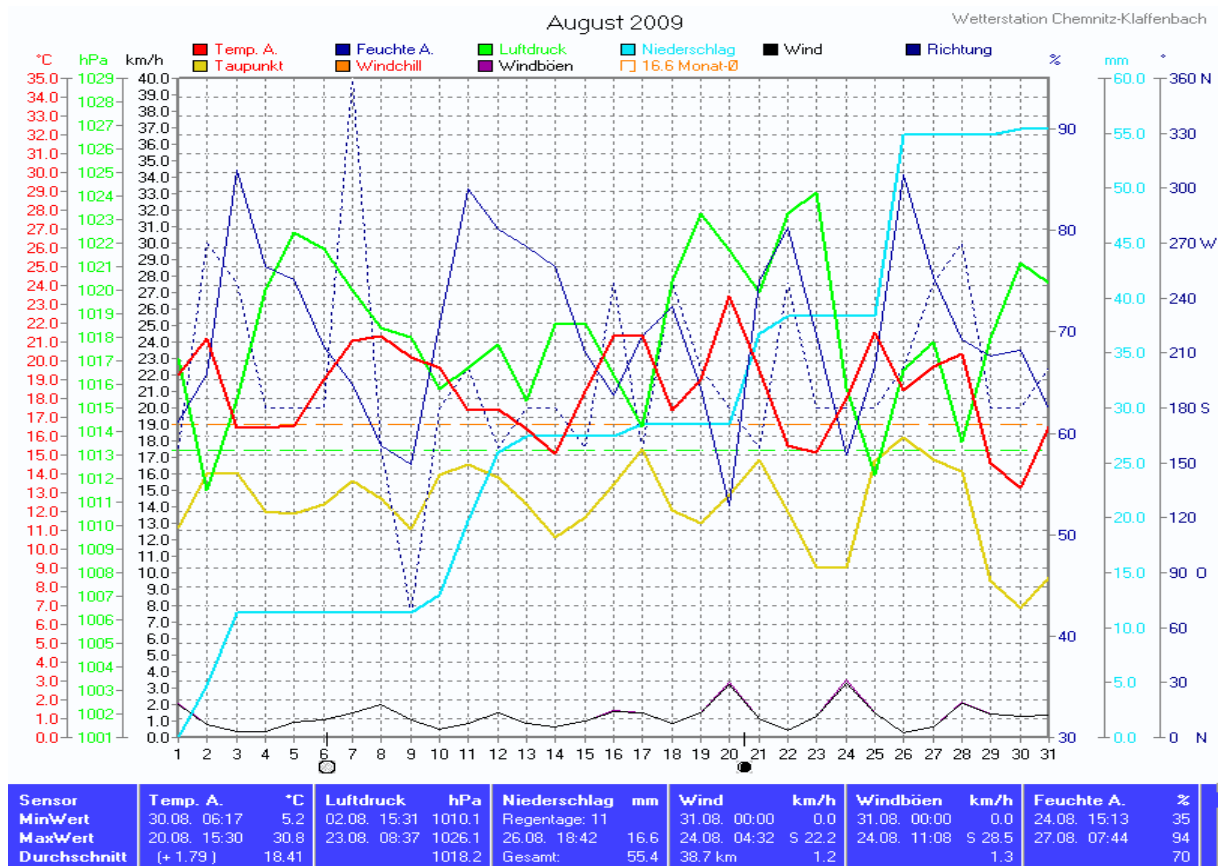


Abb. A. 6.9: Wetterdaten August 2009 [19]

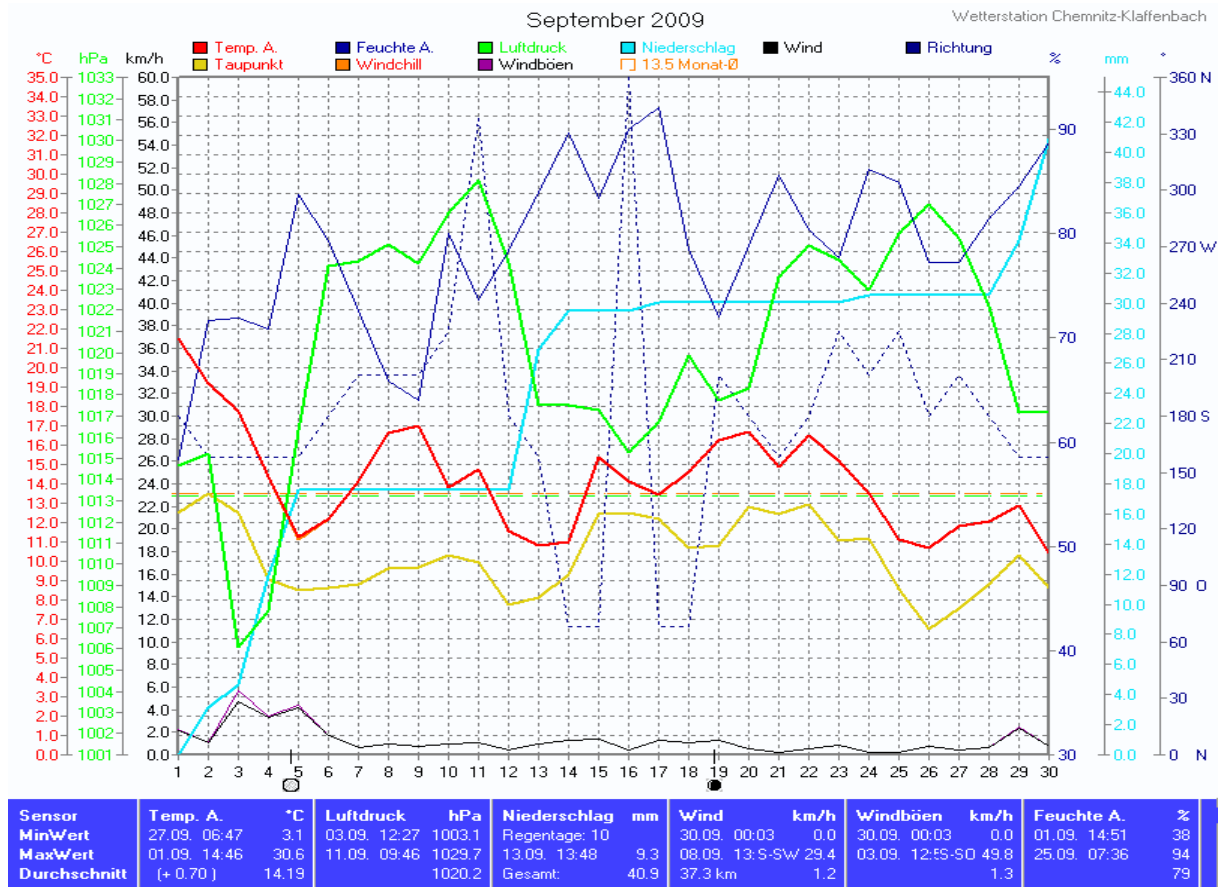


Abb. A. 6.10: Wetterdaten September 2009 [19]

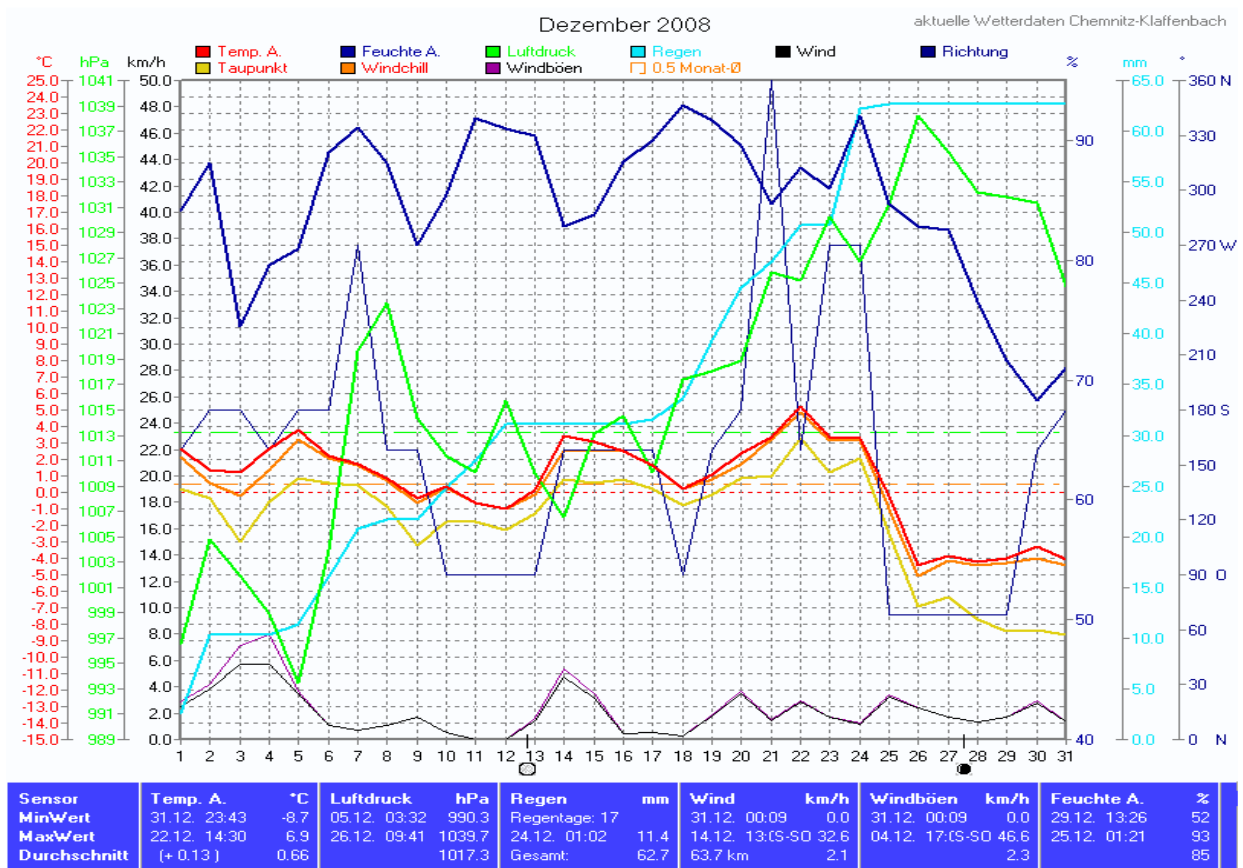


Abb. A. 6.11: Wetterdaten Dezember 2008 [19]

A. 7

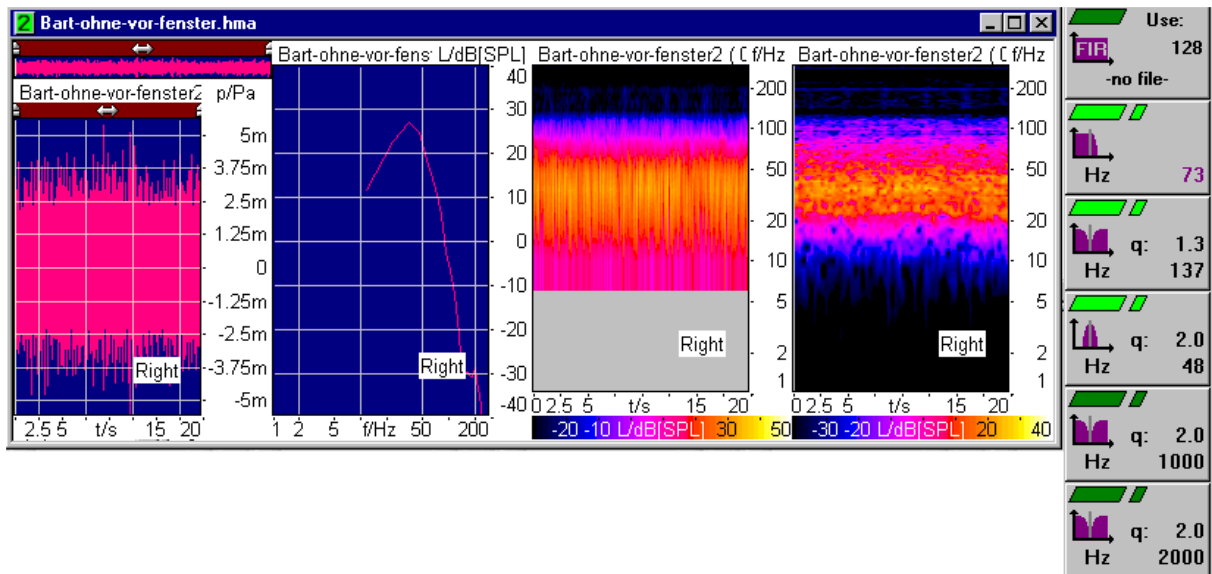


Diagramm A.7.1: Aufnahme mit manipulierten Frequenzen, $f < 300$ Hz

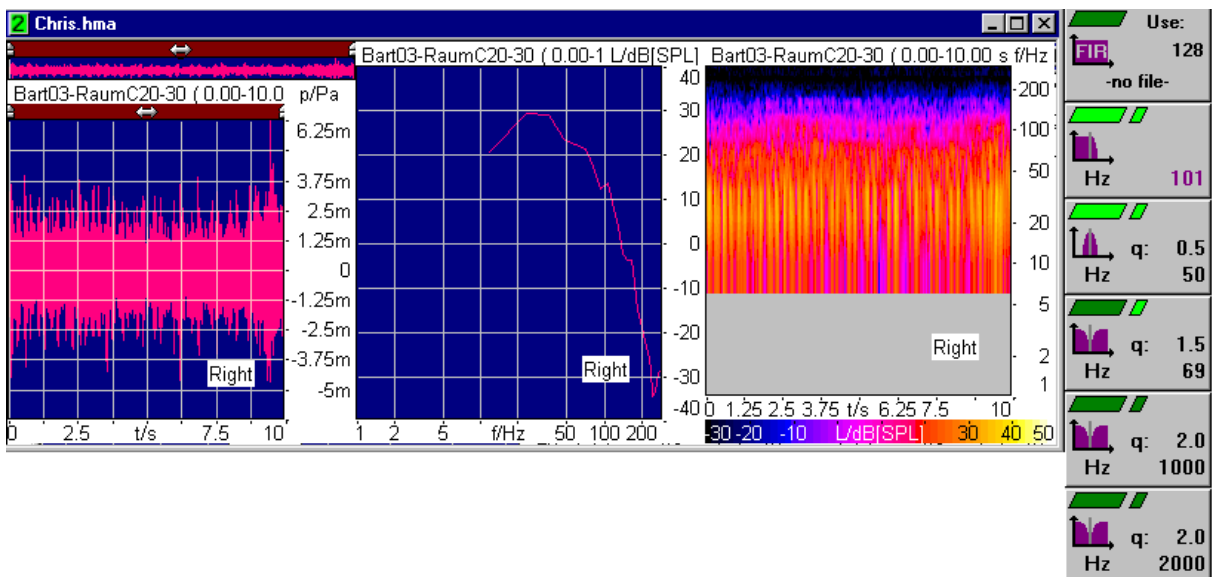


Diagramm A.7.2: Aufnahme mit manipulierten Frequenzen, $f < 300$ Hz

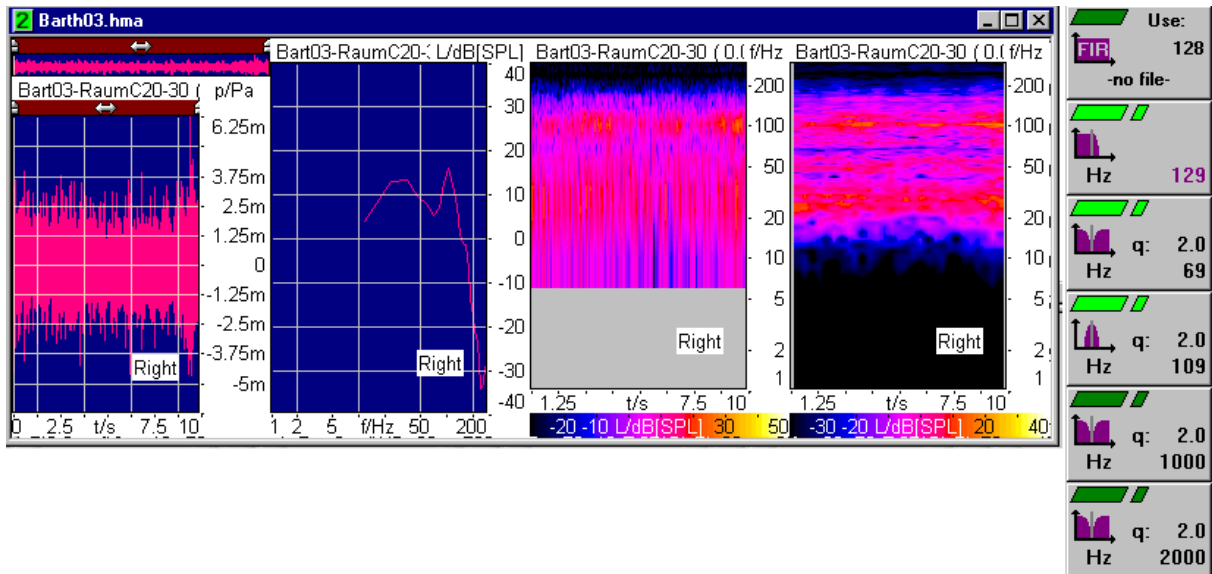


Diagramm A.7.3: Aufnahme mit manipulierten Frequenzen, $f < 300$ Hz

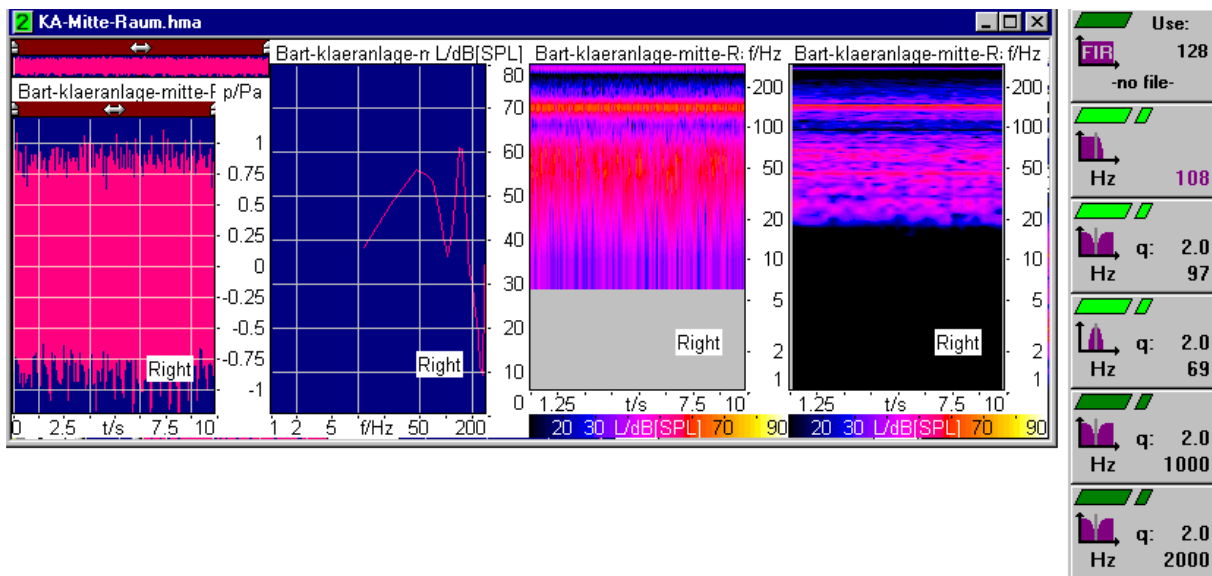


Diagramm A.7.4: Aufnahme mit manipulierten Frequenzen, $f < 300$ Hz

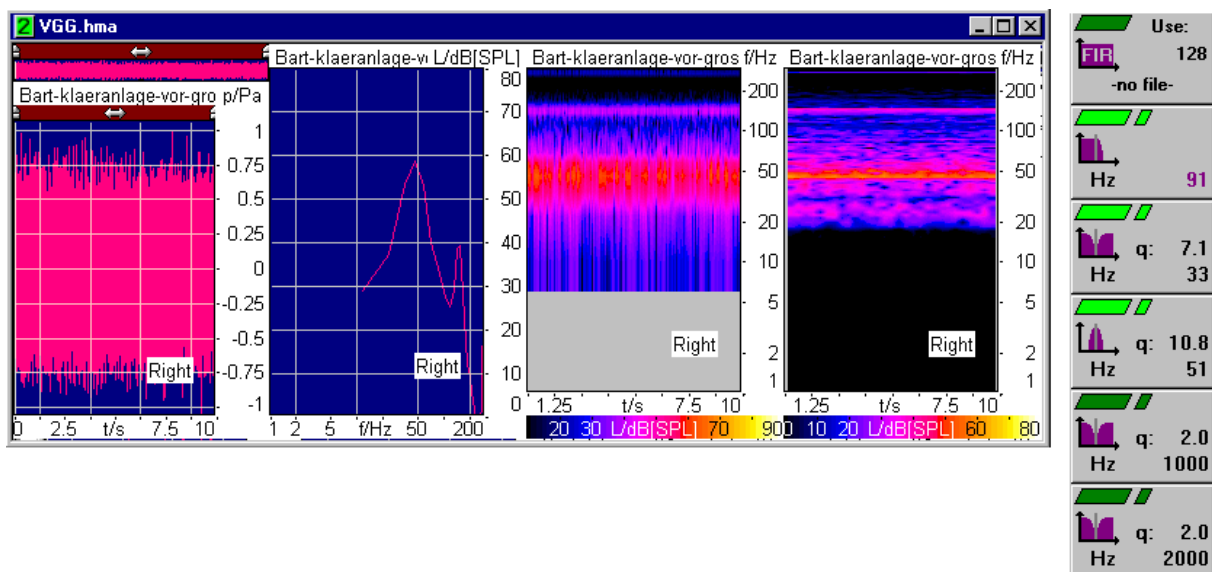


Diagramm A.7.5: Aufnahme mit manipulierten Frequenzen

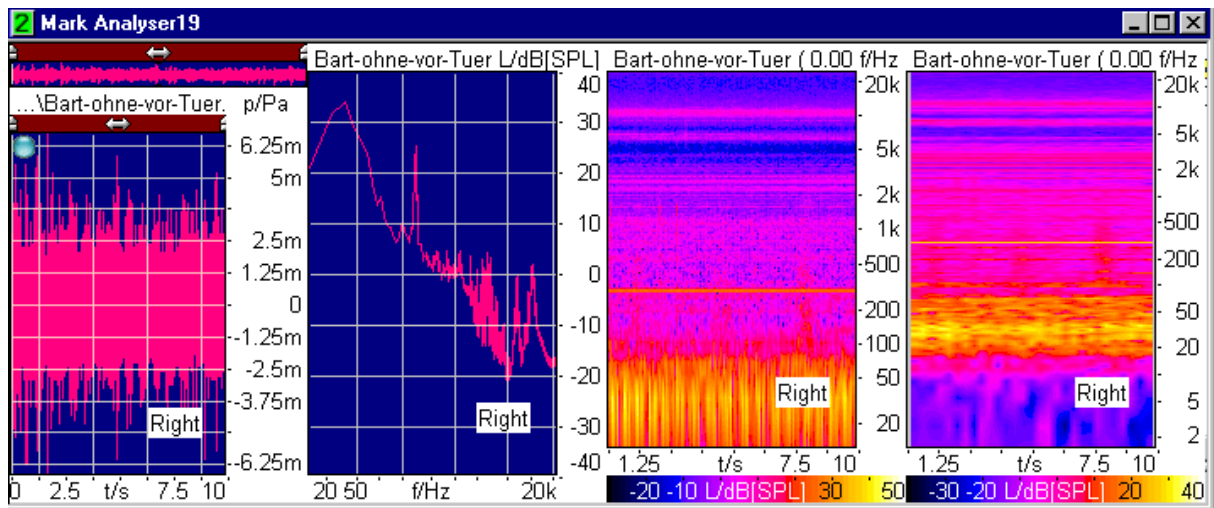


Diagramm A.7.6: Aufnahme ohne manipulierte Frequenzen, gesamtes Aufnahmespektrum

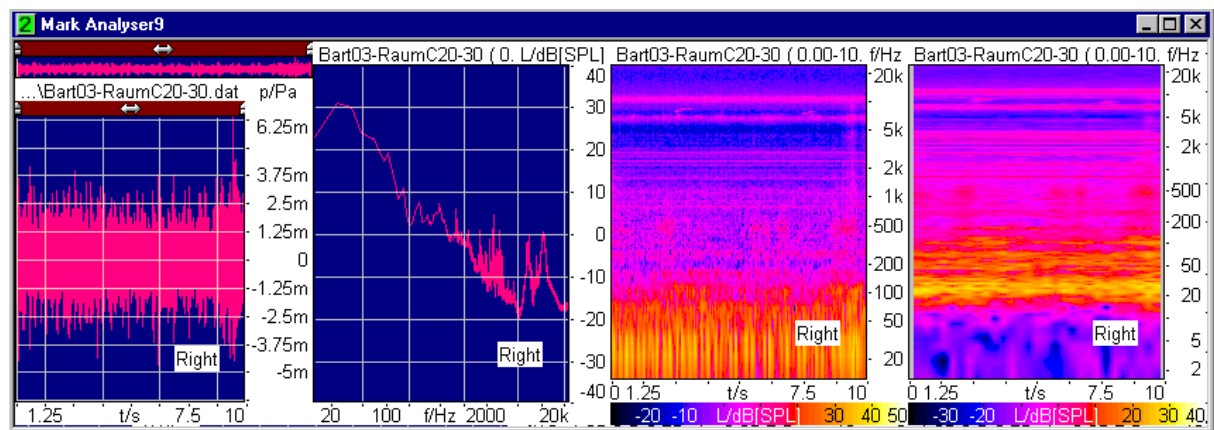


Diagramm A.7.7: Aufnahme ohne manipulierte Frequenzen, gesamtes Aufnahmespektrum

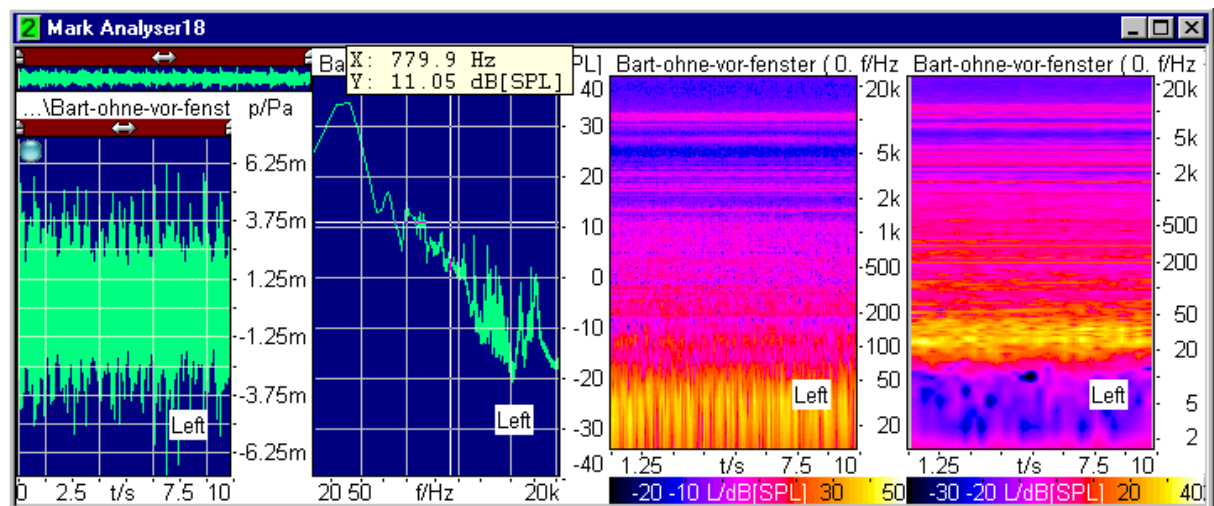


Diagramm A.7.8: Aufnahme ohne manipulierte Frequenzen, gesamtes Aufnahmespektrum

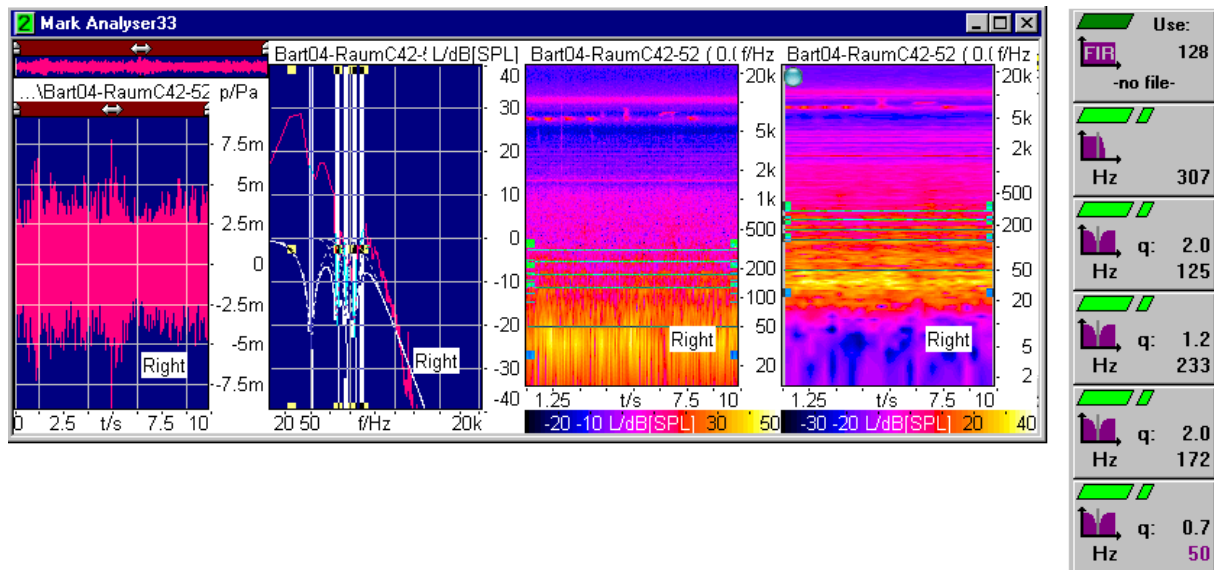


Diagramm A.7.9: Aufnahme mit manipulierten Frequenzen, alle Anteile herausgeschnitten