



Materials Science & Technology

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch

Bundesamt für Umwelt
Abteilung Lärm und NIS

3003 Bern

Untersuchungsbericht Nr. 5214.003524 int. 595.2611

Tieffrequente Lärmmessungen

BAFU Auftrags-Nr. 00.0334.PZ / M393-2424

Inhalt

1. Auftrag.....	2
2. Situation.....	2
3. Messungen.....	2
4. Analysen.....	4
5. Messergebnisse.....	5
6. Messunsicherheit.....	5
7. Diskussion.....	6
8. Beilagen.....	6

In Absprache mit dem Bundesamt für Umwelt, BAFU, Herr Bögli, und Eidgenössischer Material-Prüfungsanstalt, EMPA, Herr Eggenschwiler wurden eigene Parallelmessungen zeitgleich durch mich, Petra Biedermann, durchgeführt.

Siehe dazu Bericht 3, Teil 1, auf www.infraschallglobal.ch unter Downloads.

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dübendorf, 31. März 2014

Abteilungsleiter / Abteilungsleiterin:
Kurt Eggenschwiler

Anmerkung: Bericht und Unterlagen werden 10 Jahre aufbewahrt. Angaben zur Messunsicherheit können beim Labor angefordert werden.

1. Auftrag

Mit Schreiben vom 1. Oktober 2013 erteilte das BAFU Abt. Lärm und NIS der Empa den Auftrag, im Rahmen eines konkreten Falles während einem Tag synchrone Schallpegelmessungen an verschiedenen Messpositionen vorzunehmen, die Messungen mit besonderer Fokus auf den tieffrequenten Bereich auszuwerten und in einem Bericht zu dokumentieren.

2. Situation

Eine Bewohnerin eines Quartiers von Tennwil (AG) beklagt sich über Störungen durch vermutete tieffrequente Geräusche, welche sie nicht nur am Wohnort sondern auch andernorts, besonders aber in der Nähe der vermuteten Schallquelle in Döttingen wahrnimmt. **Ortsname falsch. Richtig: Dottikon**

Neben den im folgenden dokumentierten Messungen fanden auch Besprechungen mit dem BAFU (16. Januar 2014) und mit dem BAFU zusammen mit der betroffenen Person (24. März 2014) statt. Zudem wurden die umfangreichen Unterlagen der betroffenen Person im Rahmen dieses Auftrages sorgfältig studiert.

Innerhalb des Kostendachs des Auftrags war es nicht möglich, alle vorhandenen Messdaten nach dem gleichen Muster zu untersuchen, wie es hier in diesem Messbericht für die erste halbe Stunde dargestellt wurde. Die anderen halben Stunden wurden aber mittels der Analysesoftware im Überblick gesichtet und stichprobenartig feinere Auswertungen gemacht, aber hier nicht dokumentiert.

3. Messungen

Die Messungen fanden am 3. Oktober 2013 synchron in Dottikon, Villmergen und Tennwil statt.

1.1. Messpositionen

Es wurden an folgenden Messpositionen Tonaufnahmen zur späteren Auswertung im Labor durchgeführt:

- Dottikon Landeskoordinaten 661'215 / 247'065 = ca. 150 bis 200 Meter Entfernung Luftlinie zur Quelle
- Villmergen Landeskoordinaten 660'800 / 244'135 = 3 Kilometer Entfernung Luftlinie zur Quelle
- Tennwil Landeskoordinaten 659'445 / 239'400 = 8 Kilometer Entfernung Luftlinie zur Quelle

In den Beilagen 1 – 3 sind die Messpositionen dokumentiert.

In Tennwil wurden die Messgeräte in Absprache mit der Bewohnerin in einem Zimmer östlich installiert, wo sich auch ein Teil ihrer eigenen Messeinrichtungen befanden. Das Fenster war während den Messungen offen.

1.2. Messgeräte

Es wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Messgeräte eingesetzt.

Tabelle 1 Messgeräte

Position	Mic	Wandler	Audiorecorder
Tennwil	B&K 4189 #2'345'497	MV220 P48 #0111	702T#21
Villmergen	B&K 4189 #2'695'370	MV220 P48 #0168	702T#22
Dottikon	B&K 4189 #2'386'110	MV220 P48 #0169	702T#23
Überall Kalibrator B&K 4231 #15			

Der Frequenzgang des Mikrofons ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt. Der Impedanzwandler hat vergleichbare Spezifikationen.

Fig. 1 Typical free-field response of the microphone with protection grid. The low-frequency response is valid when the vent is exposed the sound field

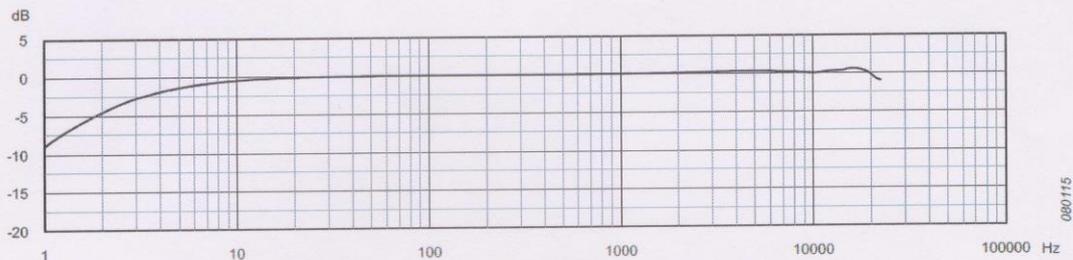


Abbildung 1 Frequenzgang des verwendeten Mikrofons B&K 4189 (Quelle: Product data „1/2“ Prepolarized Free-field Microphone Type 4189“, Brüel & Kjaer BP2210 11 2008-06

1.3. Messzeit

Die synchrone Messung konnte zwischen 11 Uhr und 14 Uhr durchgeführt werden. Vorher und nachher wurde immer an einer Messposition aufgebaut oder abgebaut.

4. Analysen

Die Analysen wurden mit Software Famos Version 6.1 im Labor durchgeführt.

Da völlig ungewiss war, welcher Art das störende Geräusch ist, wurden Schritt für Schritt feinere Analyseverfahren verwendet.

Vorerst wurde nur die erste halbe Stunde analysieren und für Spektralanalysen nochmals in 5-Minuten-Abschnitte.

Folgende Analysen wurden vorgenommen:

- A1 Zeitlicher Verlauf des A-bewerteten Schalldruckpegels, Zeitkonstante FAST
- A2 Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 8 Hz Oktavband
- A3 Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 16 Hz Oktavband
- A4 Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 31.5 Hz Oktavband
- A5 Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 63 Hz Oktavband
- A6 Zeitlicher Verlauf des C-bewerteten Schalldruckpegels, Zeitkonstante FAST
- A7 Differenz von A1 und A6
- A8 A-bewerteter Mittelungspegel L_{Aeq}
- A9 C-bewerteter Mittelungspegel L_{Ceq}
- A10 Differenz von A8 und A9 $L_{Ceq} - L_{Aeq}$
- A11 Terzbandspektren 10 Hz – 5000 Hz für 5-Minuten-Abschnitte (Mittelwerte)
- A12 Terzbandspektren 8 Hz – 125 Hz mit Vergleich zur Wahrnehmbarkeitsschwelle W_{Terz} gemäss E DIN 45680(2013) für 5-Minuten-Abschnitte Maximalwerte pro Terzband
- A13 Schmalbandspektrum FFT 0 -250 Hz für 5-Minuten-Abschnitte (Mittelwerte)

Markierung durch P.B.

Begründung:

- Die Analysen von A1 - A6 zeigen einen Vergleich der zeitlichen Schallpegelverläufe an den Messpositionen und ermöglicht einen Überblick – auch bezüglich synchronen Ereignissen.
- A7, die Differenz von A1 und A6 zeigt den zeitlichen Verlauf der Differenz der A- und C-bewerteten Schalldruckpegel und gibt damit einen Hinweis auf den Anteil tiefer Frequenzen im Geräusch.
- A10 zeigt die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$, als des C-bewerteten und A-bewerteten Mittelungspegel die in A8 und A9 ermittelt wurden. Die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ ist in der Norm E DIN 45680(2013) im Sinne einer Vorerhebung ein Kriterium dafür, ob eine detailliertere Hauptuntersuchung bezüglich Störwirkung tieffrequenten Lärms durchgeführt werden soll. Dies ist der Fall, wenn die Differenz grösser als 15 dB ist. (siehe hierzu Markierung auf Seite 6)

- A11 zeigt Mittelwert-Terzbandspektren und gibt einen Anhaltspunkt für das Vorhandensein tiefer Frequenzen
- A12 zeigt die *maximalen* innerhalb von 5 Minuten aufgetretenen Pegel pro Terzband im Vergleich zur Wahrnehmbarkeitsschwelle W_{Terz} der Norm E DIN 45680(2013) und beantwortet damit die Frage, ob die Intensität in einem Terzband irgendeinmal gross genug war, um wahrgenommen werden zu können.
- Die Schmalbandspektren (A13) sollen in feinerer Auflösung Aufschluss geben über das Auftreten tieffrequenter Anteile. Wenn gemäss Analysen A12 die Komponenten innerhalb eines Terzband nicht hörbar sind, gilt dies auch für die gemäss A13 ausgewerteten Spektren.

Die oben dargestellten Analysen werden in diesem Bericht für die erste halbe Stunde wiedergegeben. Weitere Analysen wurden im Labor ohne spezielle Dokumentation in dem Sinne gemacht, dass Auffälligkeiten gesucht wurden, welche sich von der ersten halben Stunde unterscheiden.

5. Messergebnisse

Die Messergebnisse sind in Beilage 4 - Beilage 19 dargestellt.

6. Messunsicherheit

Die Genauigkeit der Messergebnisse wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst:

1. *Unsicherheit der Kalibration, der elektrischen Messkette und der Auswertesoftware*
Der zur Anwendung kommenden Kalibratoren erfüllt die Anforderungen gemäss IEC 940, class 1. Die gemäss dieser Norm ausgewiesene maximal zulässige Abweichung des Kalibrationswerts beträgt ± 0.2 dB. Es wird angenommen, dass die Analysesoftware die gleichen Anforderungen erfüllt wie Schallpegelmessers class 1 gemäss IEC 651 und IEC 804. Basierend auf den Erfahrungen in der Abteilung Akustik / Lärmbekämpfung kann die gesamte Unsicherheit der Kalibration, der elektrischen Messkette und der Auswertesoftware damit auf ± 0.5 dB im Sinne einer Standardabweichung angegeben werden.
Da bei dieser Messung bis zu Frequenzen unterhalb 20 Hz gemessen wird, ist besonders in diesem Bereich die Unsicherheit zu diskutieren. Ein Blick auf Abbildung 1 zeigt, dass das verwendete Mikrofon gegen tiefe Frequenzen weniger empfindlich ist. Im 8Hz-Terzband liegt der gemessene Frequenzgang aber nur höchstens 2 dB tiefer als im Bereich ab 20 Hz. Vom Impedanzwandler vom Aufzeichnungsgerät ist keine wesentliche Verschlechterung zu erwarten.
2. *Einflüsse bei der Messstelle.*
Bei dieser Messung wurde genau die Stelle beurteilt wo das Mikrofon stand
3. *Grundgeräuschabstand*
Da es gerade darum geht, dass das Geräusch unbekannt ist, kann über den Einfluss von Fremdgeräuschen keine Aussage gemacht werden.

4. *Variationen bei der Emission (Quellenvariationen wie z.B. Verkehrszusammensetzung oder Geschwindigkeit, Betriebszustand)*
Da die Quelle nur vermutet wird, kann zu diesem Punkt keine Aussage gemacht werden
5. *Variationen auf dem Ausbreitungsweg (Wetter, Bodenzustand)*
Falls die Quelle in Ort Quelle angenommen wird, sind die Variationen auf dem Ausbreitungsweg bei Ort Quelle als relativ gering einzuschätzen, d.h. etwa auf 2 dB im Sinne einer Standardabweichung.
Für die aus akustischer Sicht sehr weit entfernten Messpunkte in 3 km und 8 km ist keine Aussage möglich, so lange das Geräusch an der Quelle nicht beschrieben werden kann.
Falls es sich um eine andere Quelle handelt, sind Aussagen ohne Kenntnis der Quelle nicht möglich.

!!!

Der Gesetzgeber sagt: Was man nicht hört, schadet nicht.

**Wie soll ein Geräusch beschrieben werden, das man nicht hören - sondern nur spüren kann?!
Hier beisst sich die Katze in den Schwanz.**

7. Diskussion

Bei der Interpretation der Messergebnisse ist der Frequenzgang der verwendeten Mikrofone (siehe Abbildung 1) in Betracht zu ziehen. Unter 20 Hz fällt der Frequenzgang nur um maximal 5 dB ab.

Die Auswertungen zeigen vorerst vor allem, dass die Geräusch gemäss den neuesten Entwurf der DIN 45680:2013-09 (Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen) nicht „tieffrequent“ ist:

In der Norm ist eine Vorerhebung durchzuführen, in der die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ bestimmt wird. Wenn die Differenz grösser als 15 dB ist, dann ist das Geräusch tieffrequent, und es kann mit der Hauptuntersuchung begonnen werden, die komplizierter ist. Eine solche Analyse muss aber hier nicht durchgeführt werden, weil die Differenz überall unter 15 dB liegt, in 8 km ist sie sogar wesentlich unter 15 dB. Trotzdem haben wir einen Vergleich mit Wahrnehmbarkeitsschwelle der Norm dargestellt (Beilage 12, Beilage 13). Es zeigt sich, dass alle gemessenen Geräusche im Bereich unter 20 Hz (zum Teil weit) unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegen.

Insgesamt kann im Übrigen bei den Geräuschen keine Besonderheit festgestellt werden.

Bei den nur im Labor ohne Dokumentation gesichteten Daten zeigte sich in der halben Stunden zwischen 12 und 13.20 Uhr keine Differenz von $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ welche grösser 17 dB betrug.* Weitere Anlaysen und Abhören von diversen Stellen zeigten aber keine Besonderheiten. Markierung durch: P.B.

Das sorgfältige Studium der Berichte der betroffenen Person zu den eigenen Messungen erbrachte ebenfalls keine neue Erkenntnisse. Die den Berichten aufgeführten Vermutungen zur Ursache der Störungen und deren (akustischen) Charakter konnten in akustisch-physikalisch nicht nachvollzogen werden.

* **Wie in markiertem Bereich auf Seite 4 begründet, ist hiermit das Kriterium für eine detaillierte Hauptuntersuchung bezüglich Störwirkung tieffrequenten Lärms erfüllt.**

Wären auch die Messungen an der Quelle und in 3 km Entfernung bewertet worden, hätte dies in jedem Falle zu Messergebnissen mit zwingendem Handlungsbedarf geführt. Vergleiche entsprechende Spektren in an Quelle und in 3 km.

8. Beilagen

Beilage 1: Messposition in Dottikon



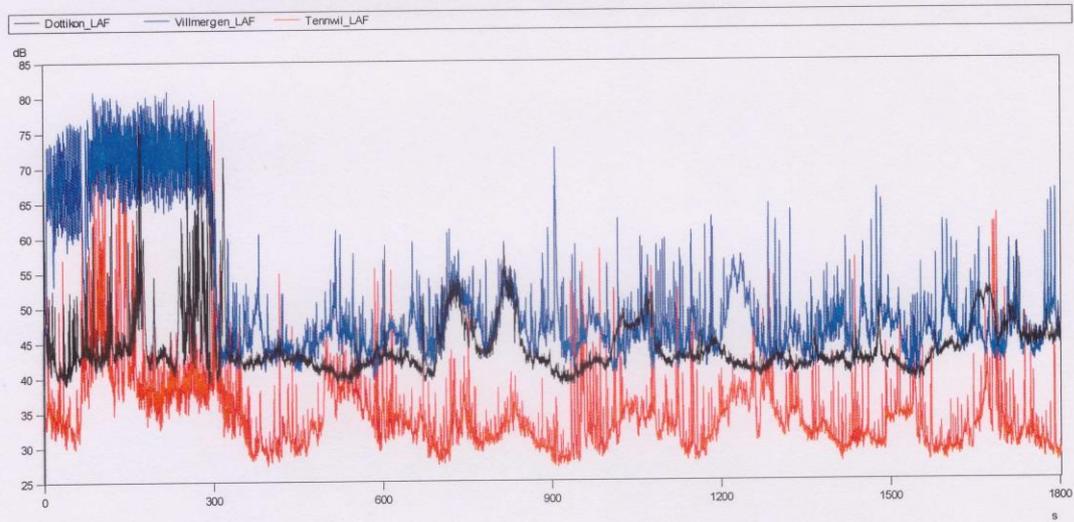
Beilage 2: Messposition in Villmergen



Beilage 3: Messposition in Tennwil

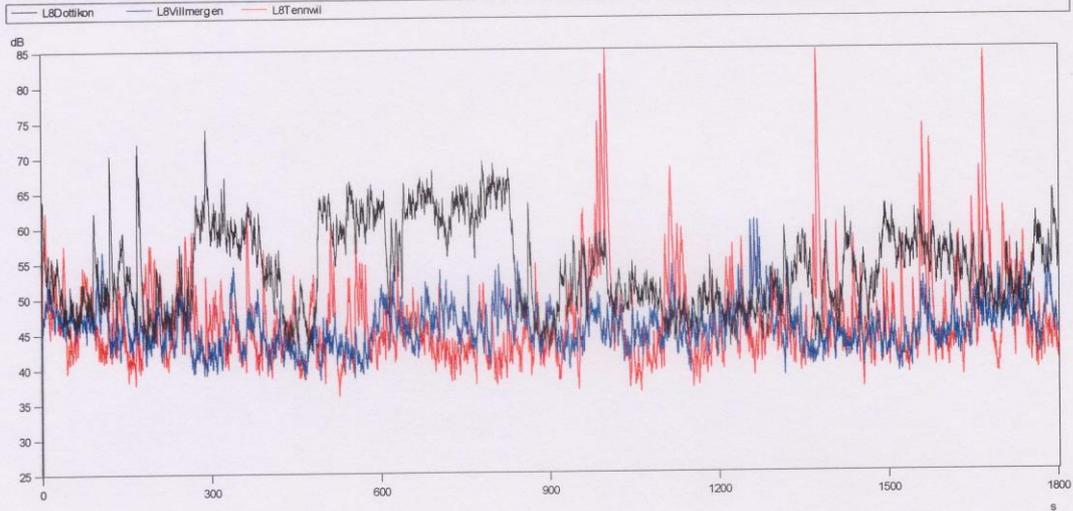


Beilage 4: 11.00 - 11.30 Uhr
Zeitlicher Verlauf des A-bewerteten Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST
(in Villmergen zu Beginn Glockengeläut)

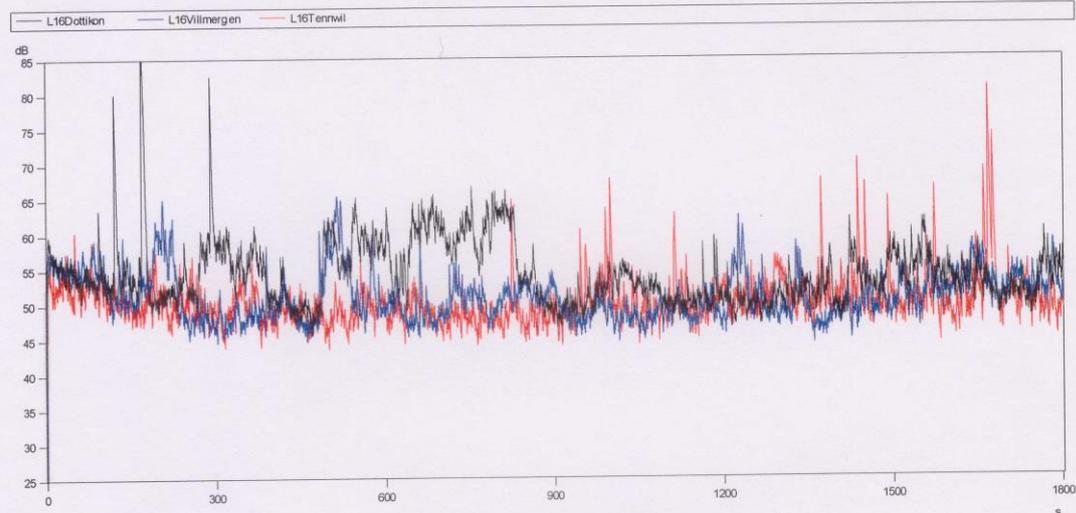


Beilage 5: 11.00 - 11.30 Uhr
Zeitlicher Verlauf des A-bewerteten Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST
im 8 und 16 Hz Oktavband

Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 8 Hz Oktavband

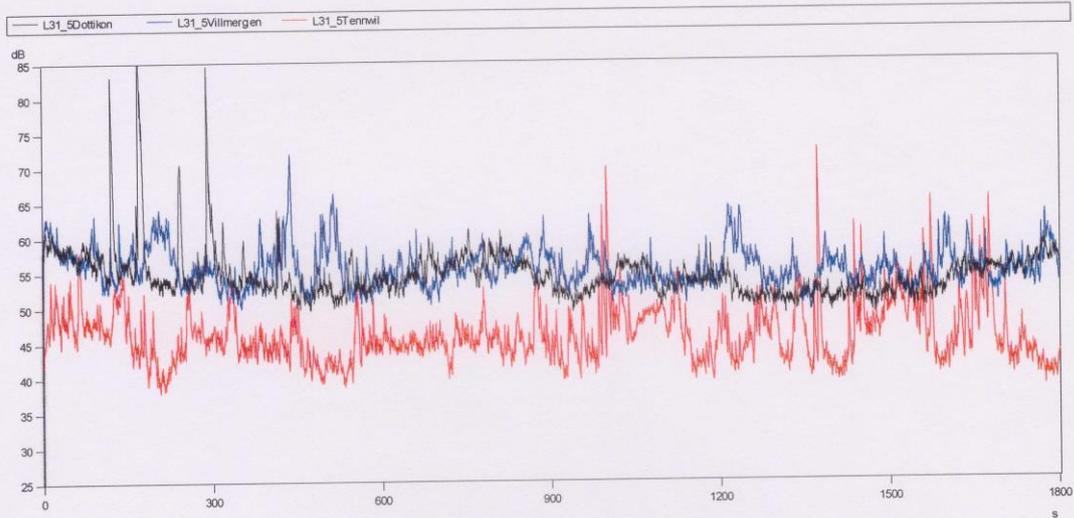


Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 16 Hz Oktavband

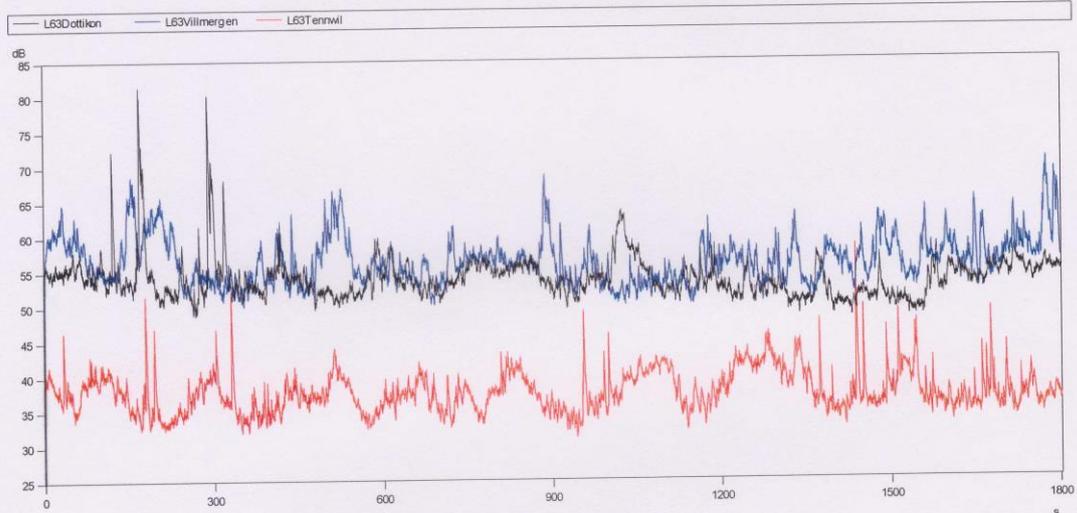


Beilage 6: 11.00 - 11.30 Uhr
Zeitlicher Verlauf des A-bewerteten Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST
im 31.5 und 63 Hz Oktavband

Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 31.5 Hz Oktavband



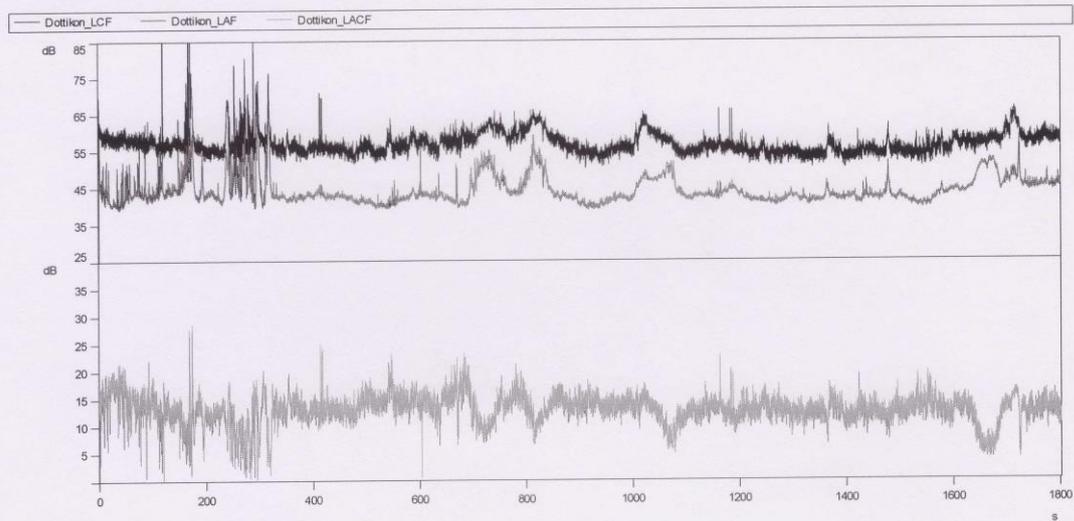
Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels mit der Zeitkonstante FAST im 63 Hz Oktavband



Beilage 7: 11.00 - 11.30 Uhr
Zeitlicher Verlauf A- und C-Pegel Zeitkonstante FAST + Differenz - Mittelungspegel
Dottikon

Dottikon

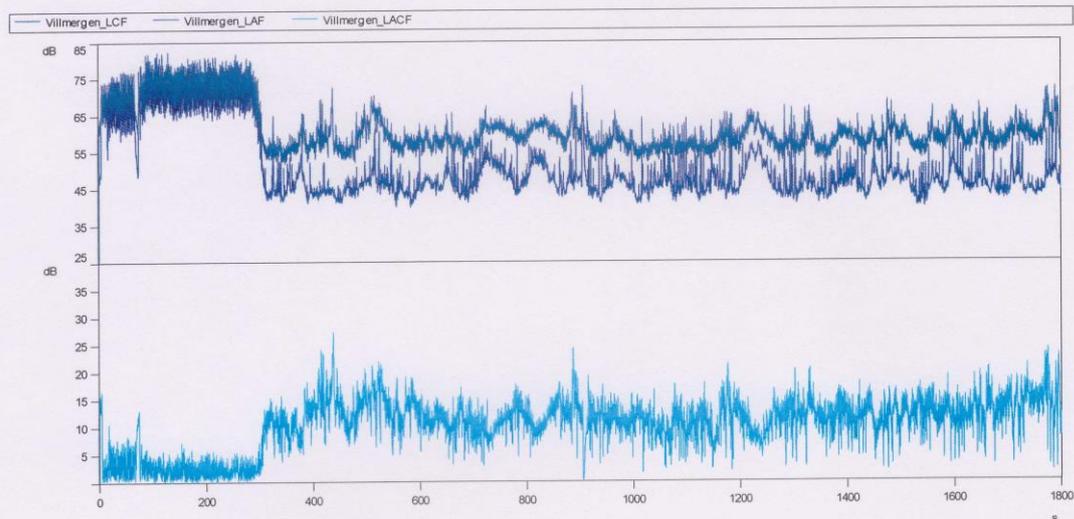
$L_{Aeq} = 49.1 \text{ dB}$; $L_{Ceq} = 62.0 \text{ dB}$; $L_{Ceq} - L_{Aeq} = 12.9 \text{ dB}$



Beilage 8: 11.00 - 11.30 Uhr
Zeitlicher Verlauf A- und C-Pegel Zeitkonstante FAST + Differenz - Mittelungspegel
Villmergen

Villmergen

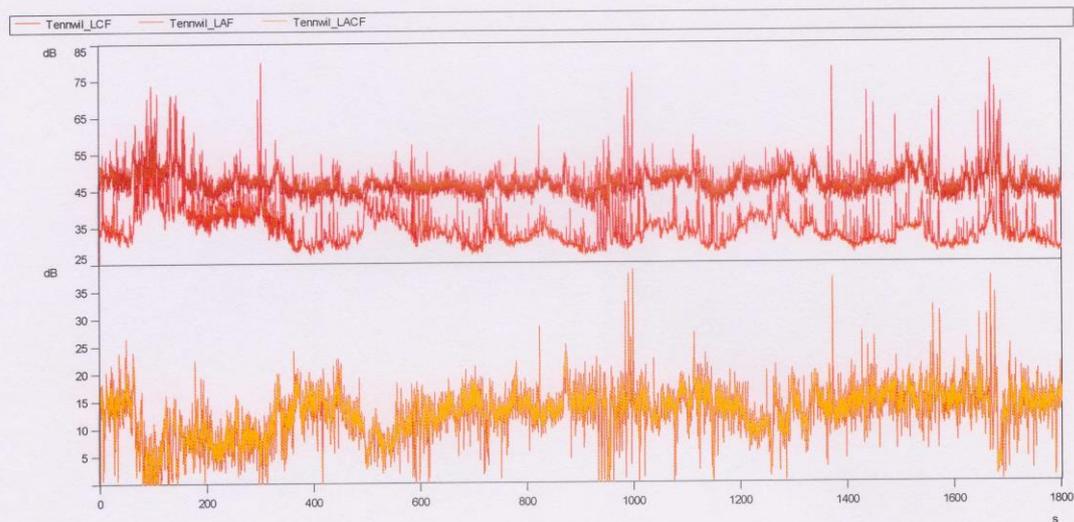
$L_{Aeq} = 65.0 \text{ dB}$; $L_{Ceq} = 67.3 \text{ dB}$; $L_{Ceq} - L_{Aeq} = 2.3 \text{ dB}$



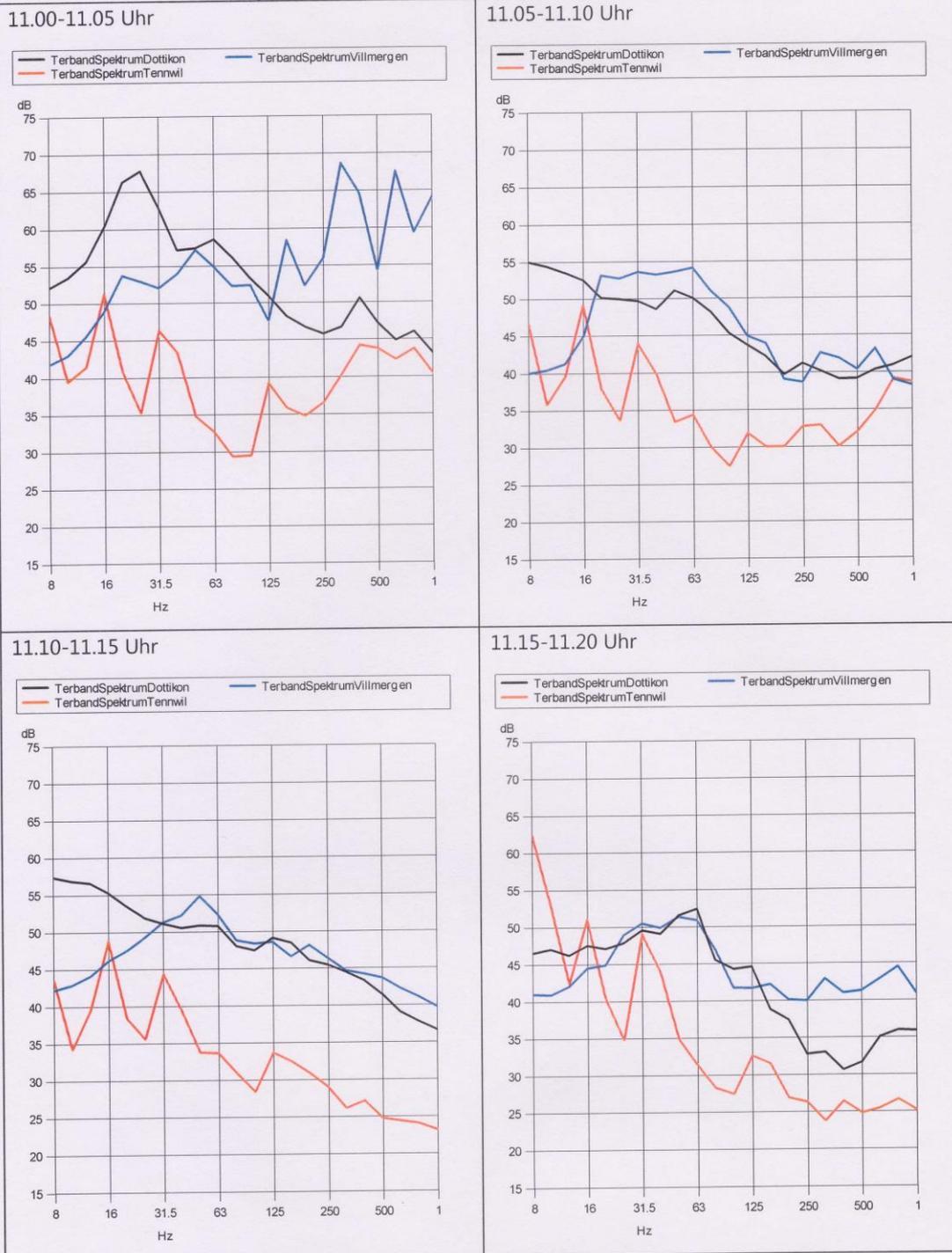
Beilage 9: 11.00 - 11.30 Uhr
Zeitlicher Verlauf A- und C-Pegel Zeitkonstante FAST + Differenz - Mittelungspegel
Tennwil

Tennwil

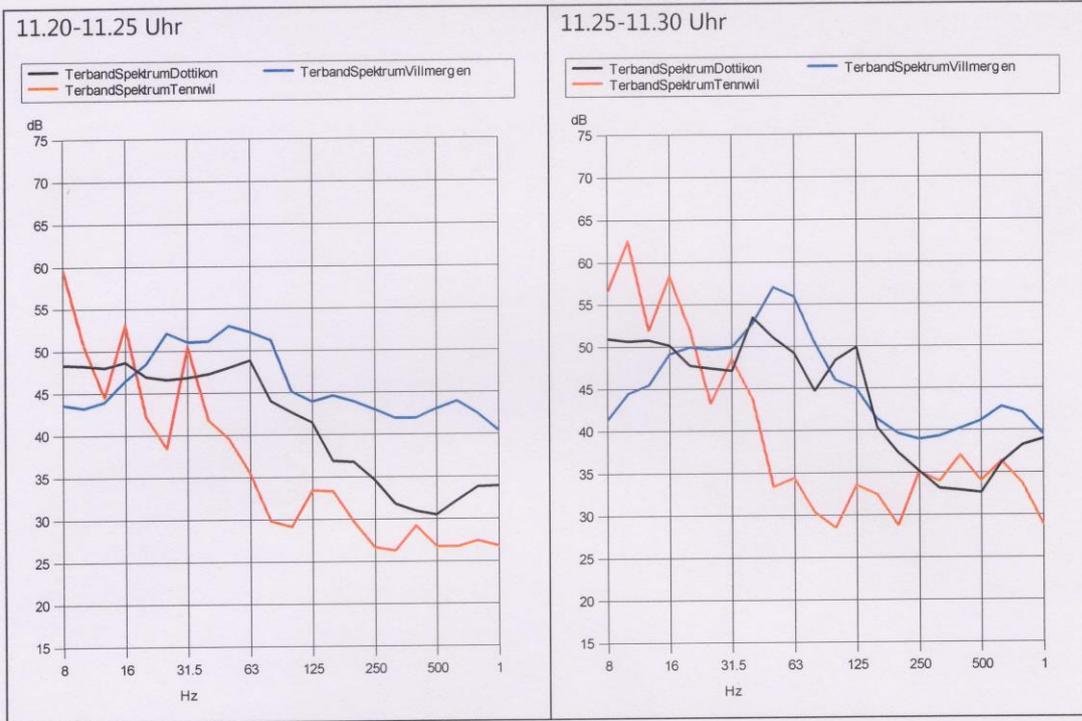
$L_{Aeq} = 45.8 \text{ dB}$; $L_{Ceq} = 52.0 \text{ dB}$; $L_{Ceq} - L_{Aeq} = 6.3 \text{ dB}$



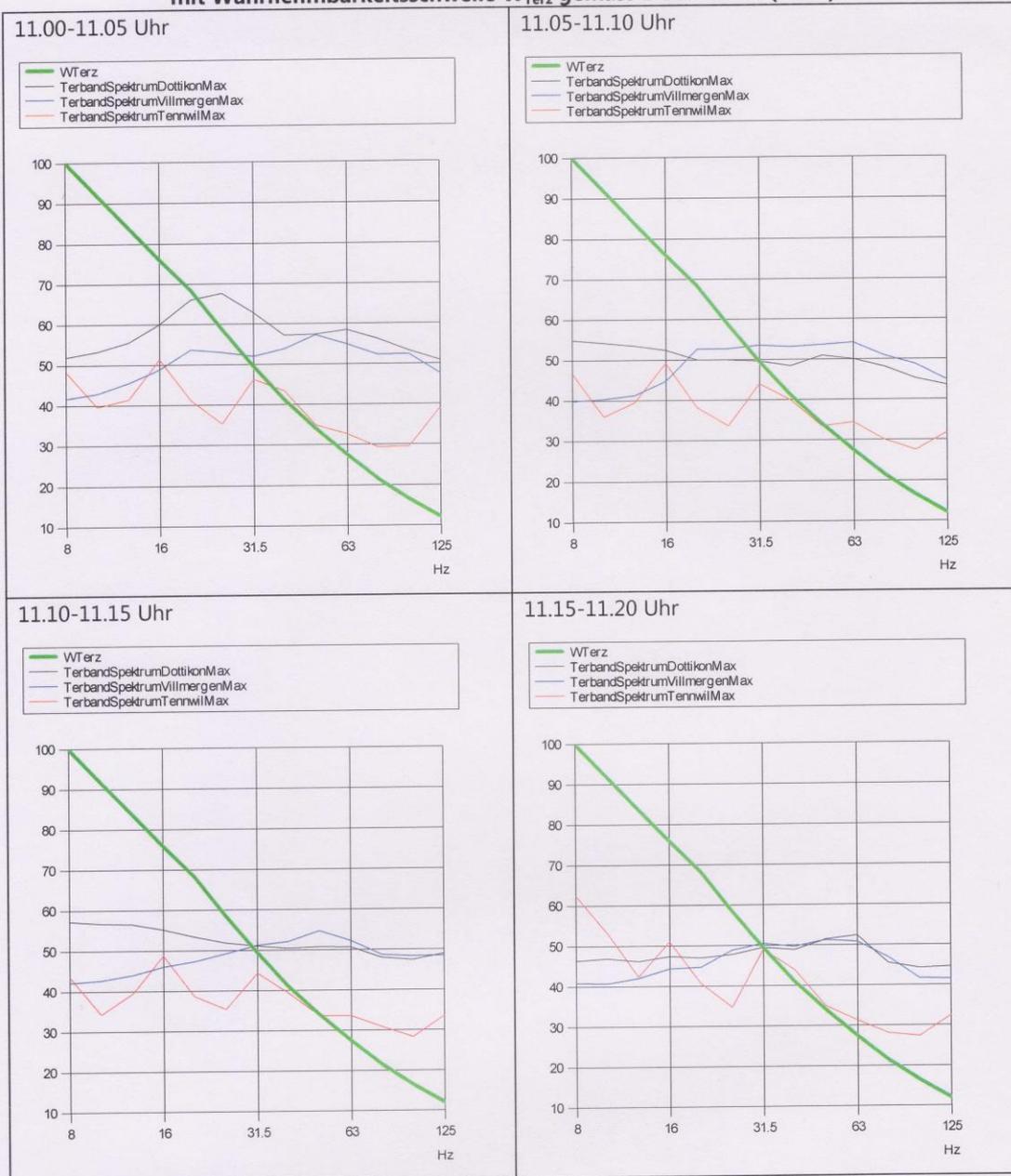
Beilage 10: 11.00 - 11.20 Uhr
Terzbandspektrum von 10 Hz - 5000 Hz



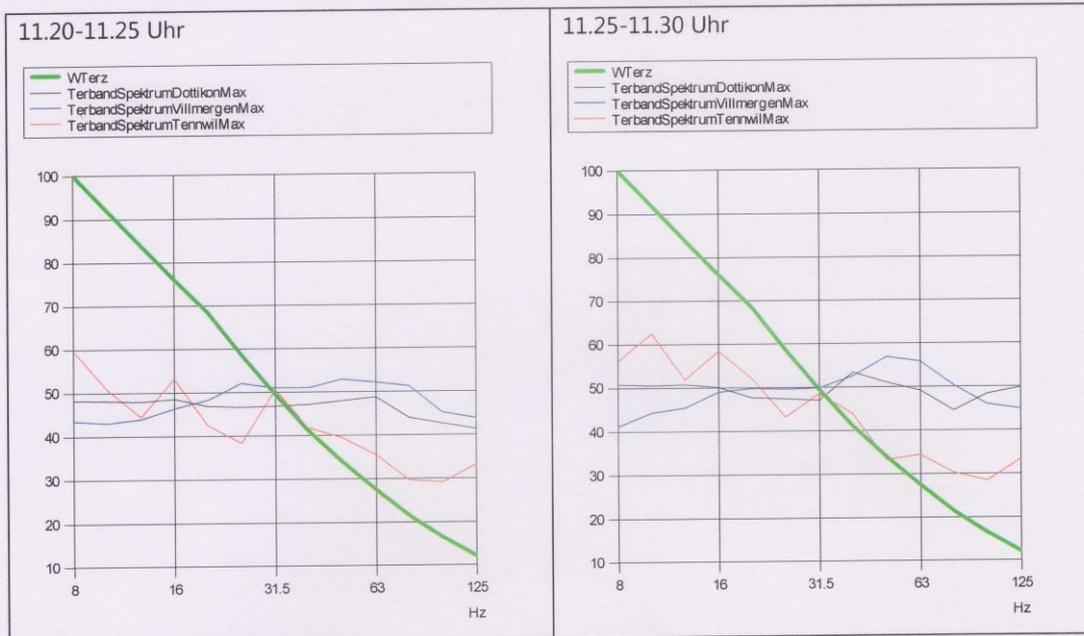
Beilage 11: 11.20 - 11.30 Uhr
Terzbandspektrum von 10 Hz - 5000 Hz



Beilage 12: 11.10 - 11.20 Uhr
Max Terzbandspektrum von 8 Hz - 125 Hz
mit Wahrnehmbarkeitsschwelle W_{Terz} gemäss E DIN 45680(2013)

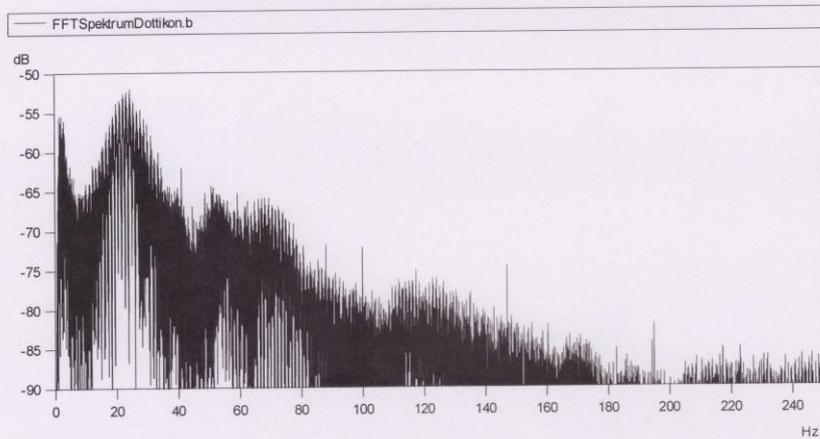


Beilage 13: 11.20 - 11.30 Uhr
Max Terzbandspektrum von 8 Hz – 125 Hz
mit Wahrnehmbarkeitsschwelle W_{Terz} gemäss E DIN 45680(2013)



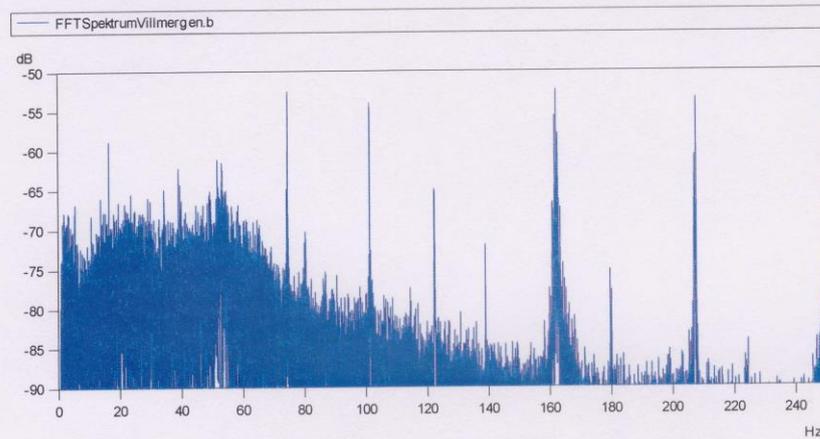
Beilage 14: FFT-Spektrum 11.00-11.05 Uhr

Dottikon



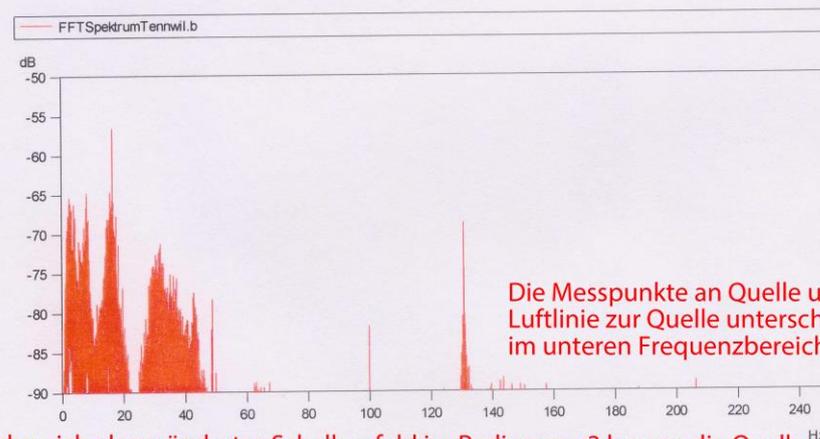
An Quelle

Villmergen



3 km (3000 Meter)
Entfernung Luftlinie von Quelle

Tennwil



8 km (8000 Meter)
Entfernung Luftlinie von Quelle

Die Messpunkte an Quelle und in 3 km Entfernung
Luftlinie zur Quelle unterscheiden sich bei allen Spektren
im unteren Frequenzbereich von 0 Hz bis ca. 120 Hz nur wenig.

Dies bezeichne ich als verändertes Schallumfeld im Radius von 3 km um die Quelle.

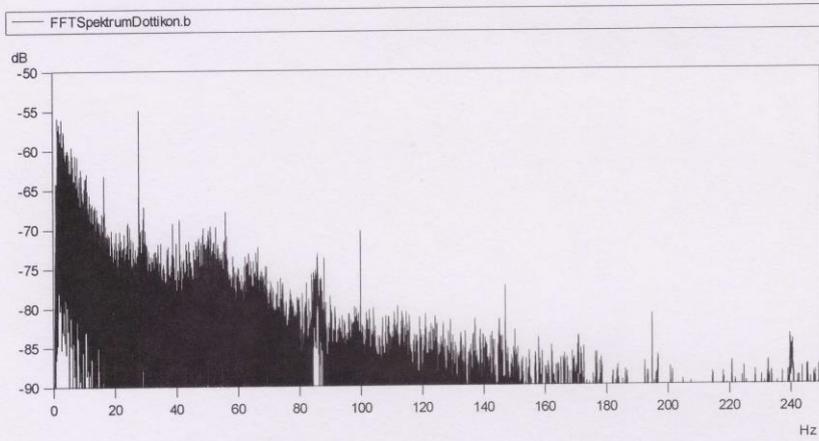
Mit einem ungewöhnlichen Schall-Provokationstest konnte nachgewiesen werden, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall innerhalb dieses veränderten Schallumfeldes anders ist als ausserhalb dieses 3 km Radius um die Quelle.

In gewisser Weise liegt hier demnach ein rund 30 km² grosses künstliches „Hochdruckgebiet“ vor.

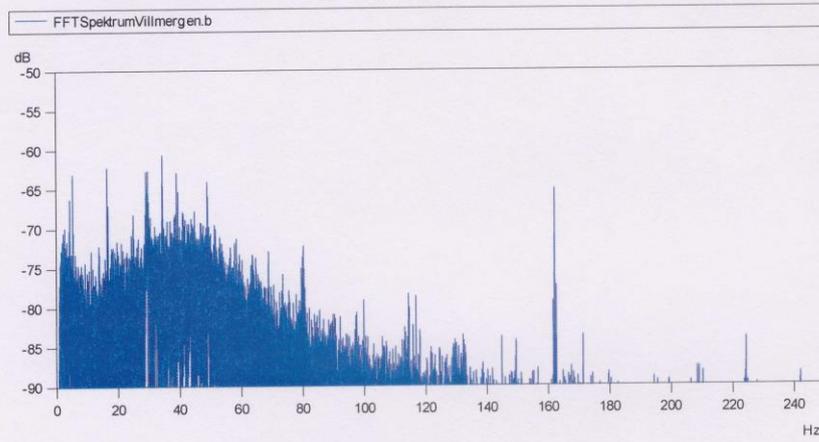
Siehe dazu Bericht 3, Teil 2, auf www.infraschallglobal.ch unter Downloads.

Beilage 15: FFT-Spektrum 11.05-11.10 Uhr

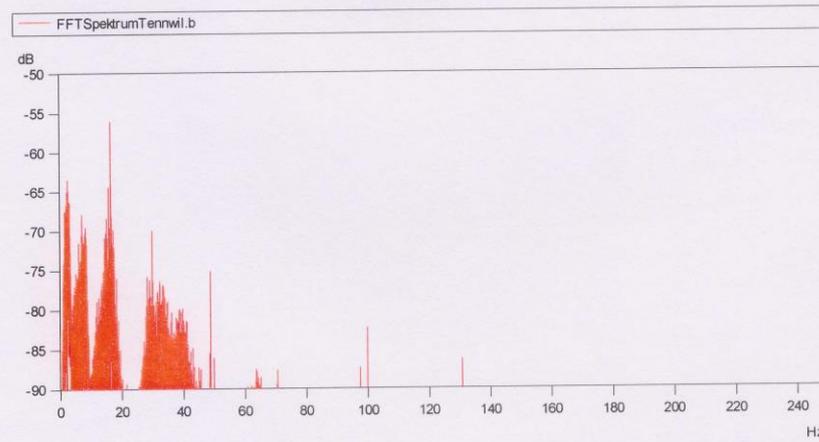
Dottikon



Villmergen

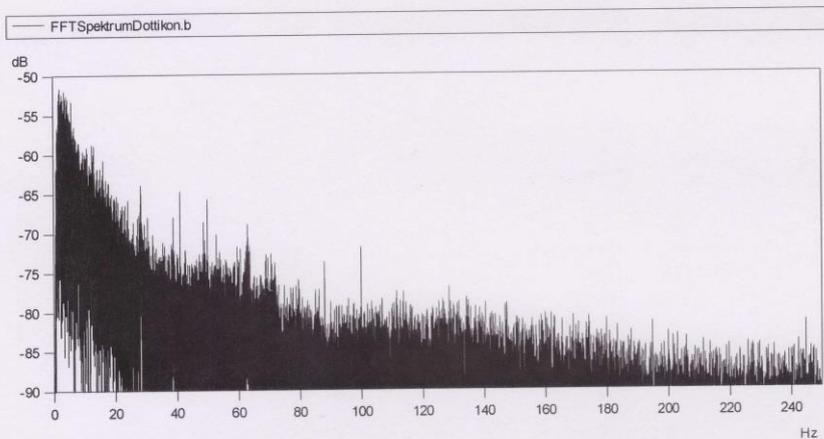


Tennwil

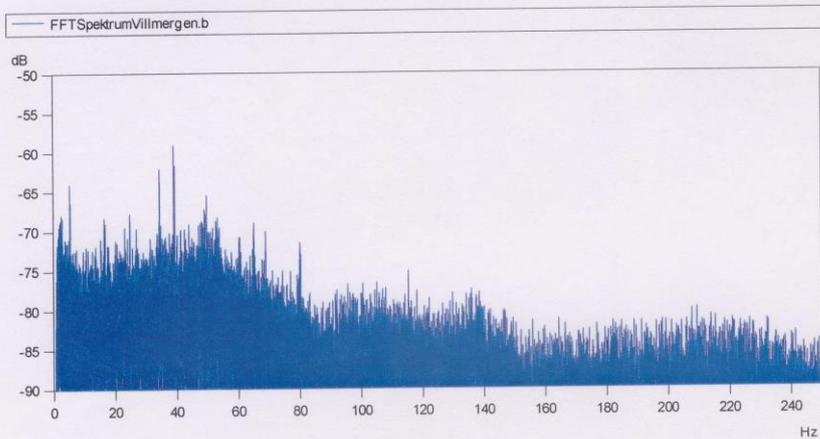


Beilage 16: FFT-Spektrum 11.10-11.15 Uhr

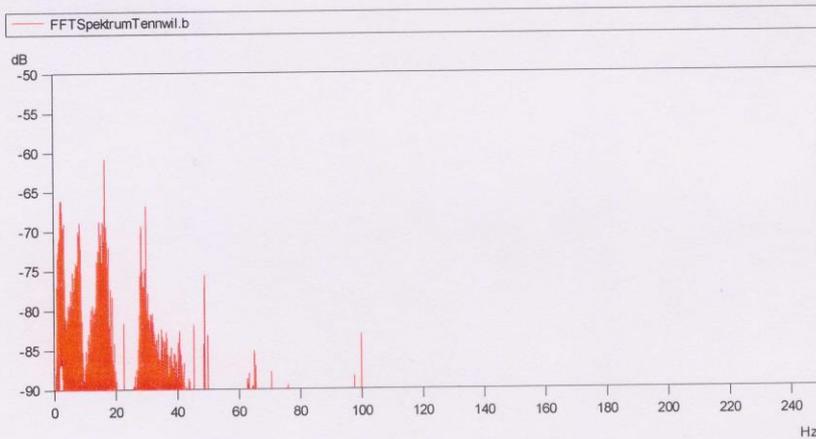
Dottikon



Villmergen

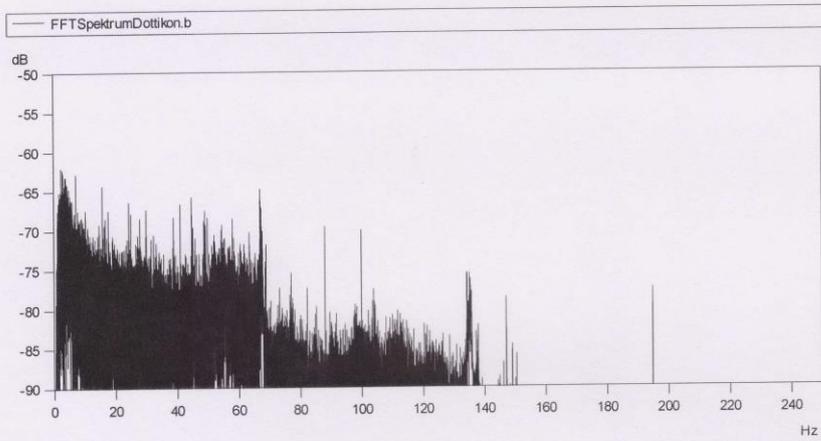


Tennwil

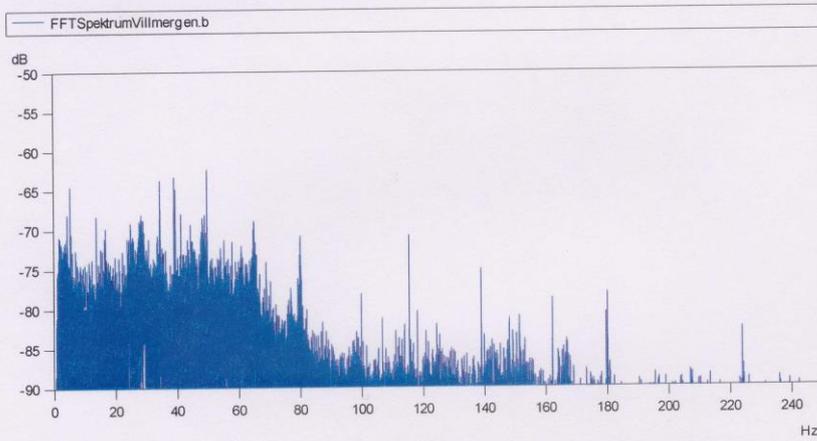


Beilage 17: FFT-Spektrum 11.15-11.20 Uhr

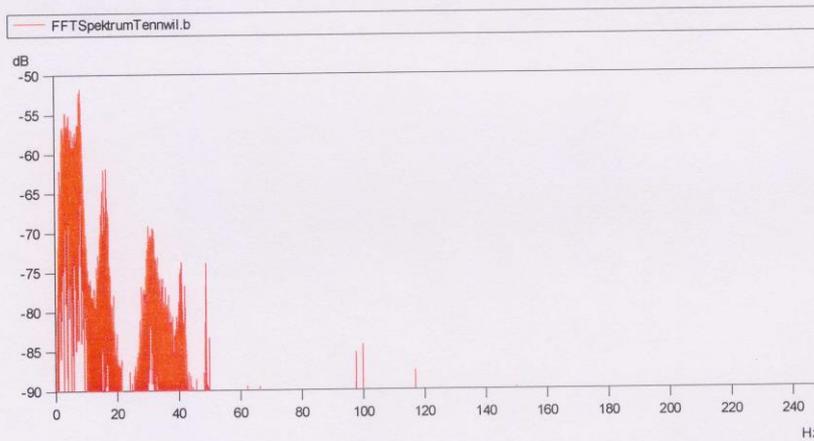
Dottikon



Villmergen

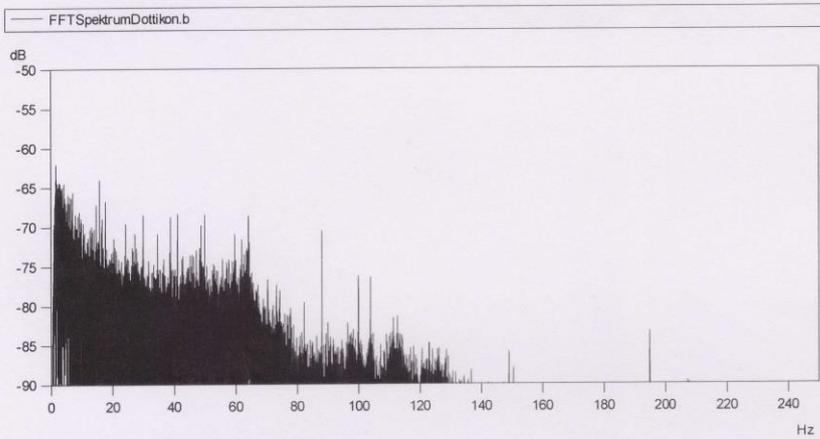


Tennwil

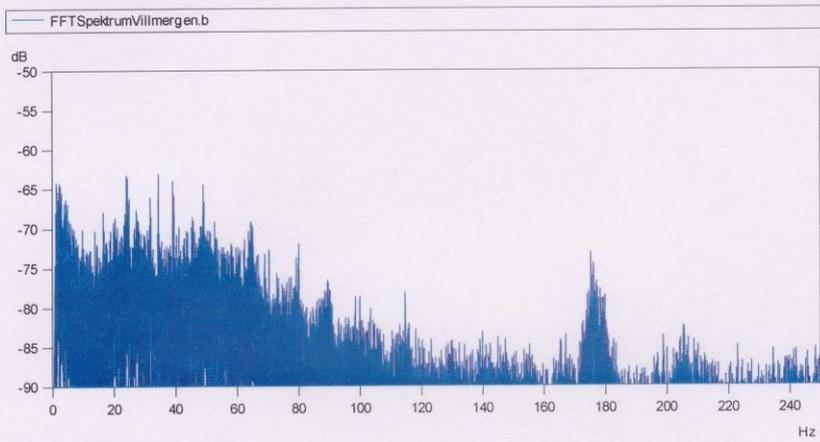


Beilage 18: FFT-Spektrum 11.20-11.25 Uhr

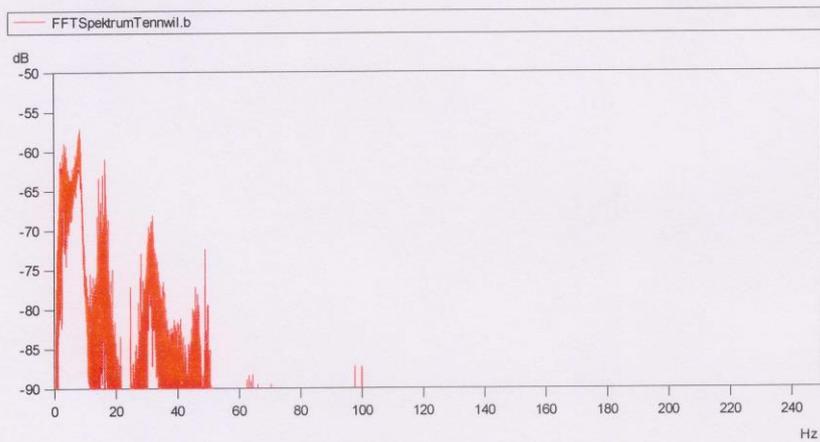
Dottikon



Villmergen

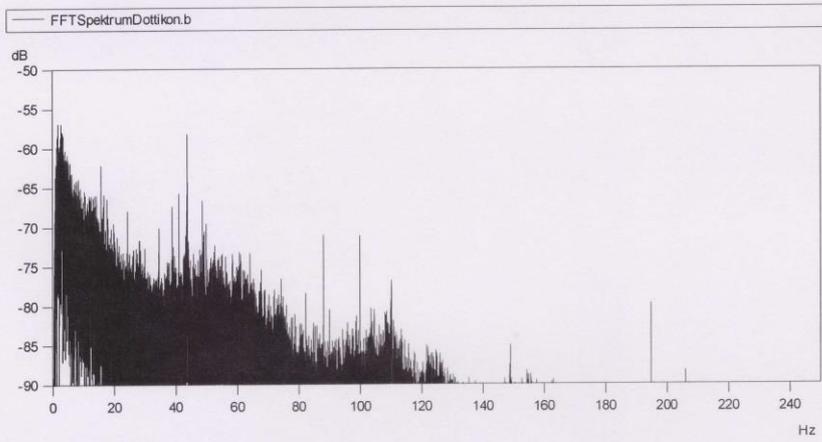


Tennwil

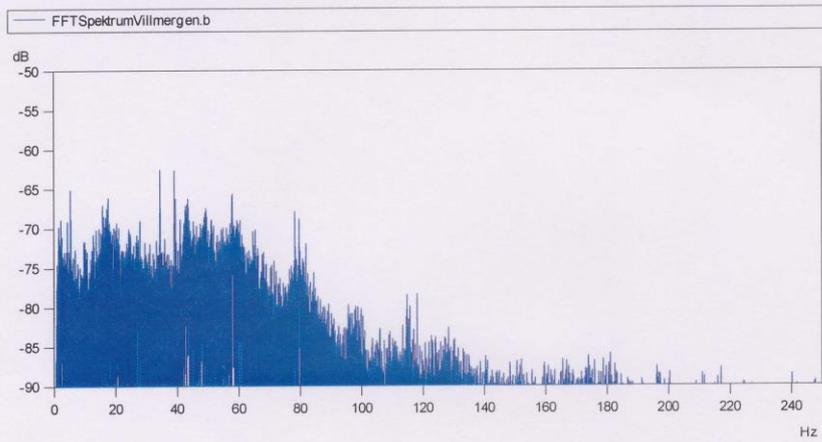


Beilage 19: FFT-Spektrum 11.25-11.30 Uhr

Dottikon



Villmergen



Tennwil

