

Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T +41 44 823 55 11  
F +41 44 821 62 44  
www.empa.ch



Materials Science & Technology

BAFU  
Abt. Oekonomie und Forschung  
Hr. Klaus Kammer  
Postfach  
3003 Bern

## Untersuchungsbericht Nr. 442'405b, int. 511.2310b

**Auftrag:** Strassenlärmimmissionsberechnungen Camignolo

Anzahl Seiten: 12

### Inhalt

- 1 Zusammenfassung
- 2 Auftrag
- 3 Ausgangslage
- 4 Situation
- 5 Berechnungen

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt  
Dübendorf, 6. Februar 2007  
Dr. Kurt Heutschi

Jan Hofmann

Abteilungsleiter:  
Kurt Eggenschwiler

## 1 Zusammenfassung

Im Auftrag des BAFU bzw. des Ufficio prevenzione rumori des Kt. Tessin, führte die Empa, Abteilung Akustik mit dem neuen Modell SonRoad-M Strassenlärmimmissionsberechnungen für die Situation Camignolo durch. Als Eingabegrössen wurden die Verkehrs- und Meteodaten verwendet, die während der Messung vom 24. bis 26. Oktober 2005 erfasst wurden. Die rechnerischen Simulationen der Ausbreitungsdämpfung reproduzieren die Messergebnisse zufriedenstellend. Eine systematische Abweichung zeigt sich beim Bodeneffekt im Vergleich des 4.5 und 9 m hohen Punktes (P1 und P2). Während die Messung stets eine Höhenabhängigkeit zeigt, resultieren in der Simulation unter neutralen bzw. förderlichen Bedingungen praktisch identische Werte. Die Ursache dürfte in der Feinstruktur des modellierten Terrains liegen, ist aber noch nicht ganz verstanden.

## 2 Auftrag

Im Auftrag des BAFU, Hr. Klaus Kammer bzw. des Ufficio prevenzione rumori des Kt. Tessin, Hr. Marco Andretta, führte die Empa, Abteilung Akustik Strassenlärmimmissionsberechnungen mit dem neuen Modell SonRoad-M durch mit dem Ziel, die während der Messkampagne Camignolo 2005 gefundenen Immissionspegel nachzubilden.

## 3 Ausgangslage

Im Rahmen des **Monitoring Flankierende Massnahmen Umwelt** (MFM-U) werden systematisch Strassenlärm-Emissionsmessungen an den beiden Nord-Süd Haupttransitachsen (A2 und A13) durchgeführt. Um letztlich Aussagen hinsichtlich der Störfwirkung bei der Bevölkerung treffen zu können, besteht zusätzlich ein Interesse an Immissionswerten im bewohnten Gebiet. Es ist vorgesehen, dazu mit dem Werkzeug der Lärmdatenbank Schweiz dem ganzen Nord-Süd Korridor entlang flächendeckend Belastungskarten zu erstellen. Da diese Berechnungen auf Grund des Rechenaufwandes auf vereinfachten Modellen basieren müssen, ist vorgesehen, in sogenannten Hot-Spots mittels Messungen und aufwändigeren Berechnungen genauere Erkenntnisse zu gewinnen.

Ein erstes Element stellen die Strassenlärmimmissionsmessung vom 24. bis 26. Oktober 2005 in Camignolo (siehe Bericht IFEC) dar. Ein zweites Element sollen Berechnungen mit dem neuen Strassenlärmmodell SonRoad-M bilden. Dabei wurden die während der Messung angetroffenen Meteo- und Verkehrsbedingungen als Eingabeparameter im Modell verwendet und darauf aufbauend die Immissionspegel an den messtechnisch untersuchten Mikrofonpositionen bestimmt.

## 4 Situation

Abbildung 1 zeigt die Situation mit den verwendeten Messpunkten, Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen je die Sicht von den Messpunkten P3 und P4 auf die Autobahn. Als Eingabegrössen für die Berechnung standen die MFM-U Daten als halbstündige Leq(A) Werte bzw. daraus abgeleitet die Freifeldemissionspegel in 1 m Abstand sowie Meteoangaben in Form von zeitlich hochaufgelösten dreidimensionalen Windgeschwindigkeiten (Ultraschallanemometerdaten), Temperaturdifferenzen zwischen 10 und 2 m über Boden (Temperatursensoren bei der MFM-U Station) sowie Wetterbeobachtungen von Marco Andretta zur Verfügung.

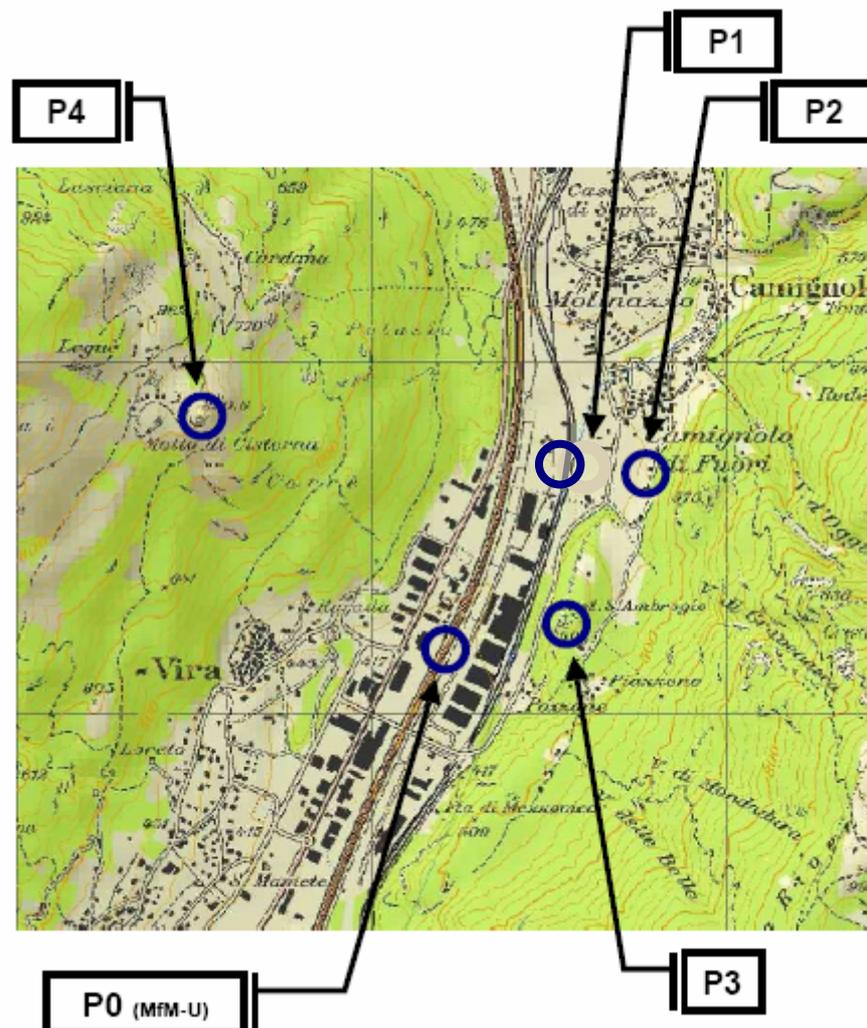


Abbildung 1: Situation Camignolo mit den Messpunkten: P0 bezeichnet die MFM-U Station (Emissionsmessung), P1 (715'540/106'713) und P2 (715'760/106'679) stehen für zwei Messpositionen in der Ebene, wobei jeweils zwei Mikrophonpunkte auf 4.5 und 9 m über Boden eingerichtet wurden. Die Punkte P3 (715'548/106'249) und P4<sup>1</sup> liegen an den Talflanken und sind 82 bzw. 407 m über Talgrund (*Plan IFEC*).



Abbildung 2: Sicht von Messpunkt P3 aus in Richtung A2 (*Foto IFEC*).

<sup>1</sup> Siehe Abschnitt 5.2.



**Abbildung 3: Sicht von Messpunkt P4 aus in Richtung A2 (Foto IFEC).**

## 5 Berechnungen

### 5.1 SonRoad-M

Das im Auftrag des ASTRA neu an der Empa entwickelte Strassenlärmmodell für grosse Abstände (SonRoad-M) basiert auf dem Modell SonRoad<sup>2</sup>, ergänzt dieses aber zusätzlich um eine Meteokorrektur. Diese Meteokorrektur berücksichtigt die gekrümmte Schallausbreitung als Folge von Inhomogenitäten der Schallausbreitungsgeschwindigkeit. Diese kommen durch inhomogene Temperaturschichtung und Windgeschwindigkeitsgradienten zu stande. Die anhand von Meteodaten geschätzten Profile der effektiven Schallgeschwindigkeit bilden den Input für einen „ray tracing“ Algorithmus zur Verfolgung der Schallausbreitung. Aus dem Vergleich der Ausbreitungsrechnung mit bzw. ohne Wetter wird schliesslich eine Meteokorrektur ermittelt.

### 5.2 Durchführung

Zur Berechnung der Geländeprofile standen für den Talboden Vektordaten im DXF-Format zur Verfügung. Für Bereiche, welche vom Vektormodell nicht abgedeckt wurden, wurde auf das DHM-25-Rastermodell zurückgegriffen. Die im DXF-Vektorformat zur Verfügung stehenden Gebäudedaten wurden bei der Simulation ebenfalls berücksichtigt.

Das Vektorgeländemodell enthält in der Region des Messpunktes P3 nur sehr wenige Höhenlinien. Die resultierenden Geländeprofile unterbrechen über weite Strecken die Sichtverbindung zur A2. Da dies gemäss dem Panoramafoto des Messpunktes (siehe Abbildung 2) nicht der Realität entspricht, wurde für die Simulationen für P3 auf die Vektor-Geländedaten verzichtet. Die so berechneten Profile stehen in Übereinstimmung mit dem Panoramafoto.

Für das Gelände beim Messpunkt P4 standen keine Vektordaten zur Verfügung. Die aus dem DHM-25-Geländemodell resultierenden Profile zeigen, dass die Positionierung von P4 sehr heikel ist. Eine Verschiebung um wenige Meter kann zu deutlichen Abschattungen führen. Für die Simulation wurde P4 auf die Landeskoordinaten 714'529/106'832 gesetzt. Damit passten die berechneten Geländeprofile zum Panoramafoto.

Zur Berechnung der Meteoprofile wurden auf die Temperaturmessungen in 2 und 10 m Höhe sowie auf die Windmessungen in 4 und 10 m Höhe zurückgegriffen. Aus den Windmessungen konnten mit der

<sup>2</sup> SonRoad, Berechnungsmodell für Strassenlärm, Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, BUWAL, 2004

Randbedingung  $V(0) = 0$  für jede halbe Stunde ein logarithmisches Windgeschwindigkeitsprofil bezüglich der Höhe  $h$  über Boden bestimmt werden:

$$V(h) = V_1 \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0} + 1\right)$$

Aus den Temperaturmessungen wurden unter der Annahme einer Rauigkeitslänge  $z_0$  von 0.1 m für jede halbe Stunde ein Schallgeschwindigkeitsprofil bezüglich der Höhe  $h$  über Boden bestimmt:

$$C(h) = C_0 + C_1 \cdot \ln\left(\frac{h}{0.1 \text{ m}} + 1\right)$$

In den Simulationen wurden für jedes der 82 Metoprofile die Ausbreitungsdämpfung bezogen auf die Freifeldemission in 1 m Entfernung einer idealisierten, 0.45 m über der Mitte der A2 platzierten Linienquelle berechnet.

Die zur Berechnung der Immissionspegel benötigten Emissionsdaten wurden anhand folgender Methode bestimmt:

1. Zusammenfassen der gemessenen 30-Minuten Pegel-Daten bei P0 zu Stundenwerten
2. Berechnung der Mikrofonpegel P0 auf beiden Strassenseiten (Ch1 und Ch2) anhand der Verkehrsdaten und Geschwindigkeiten mit SonRoad
3. Anpassen der SonRoad Emissionswerte G getrennt für PW und LKW für beste Übereinstimmung mit den gemessenen Mikrofonpegeln
4. Berechnen der Freifeldemissionen pro Stunde anhand der Verkehrsdaten und Geschwindigkeiten mit SonRoad mit angepassten Emissionswerten ( $G_{PW} = +0.8$ ,  $G_{LKW} = -1.0$ )

### 5.3 Ergebnisse

Die Abbildungen 4 bis 7 zeigen die aus den Emissionswerten und Ausbreitungsdämpfungen berechneten Immissionspegel an den Messpunkten. Zum Vergleich sind die Messwerte gemäss Untersuchung IFEC ebenfalls aufgeführt. Die Abbildungen 8 bis 11 zeigen die Ausbreitungsdämpfungen alleine, wiederum simuliert, d.h. berechnet im Vergleich zu den Messungen. Die Abbildungen 12 bis 17 zeigen die Spektren aller simulierten Ausbreitungsdämpfungen.

Auffallend ist der eher geringe Meteoeinfluss auch bei den Situationen mit Ausbreitung dicht über ebenem Terrain (P1 und P2). Hier stimmen Messung und Simulation überein. Betrachtet man allerdings die kurzzeitigen Schwankungen der Ausbreitungsdämpfungen, so sind kaum Korrelationen zwischen Messung und Berechnung auszumachen.

Die simulierten Ausbreitungsdämpfungen für P1 und P2 sind bei neutralen und förderlichen Ausbreitungsbedingungen nur schwach von der Messhöhe abhängig; die simulierten Pegel sind dort in 4.5 und 9 m Höhe über Boden praktisch identisch. Eine zusätzliche Simulation wurde mit perfekt flachem Terrain durchgeführt; dort zeigen sich Pegelunterschiede zwischen den beiden Messhöhen, welche mit den Messungen vergleichbar sind. Demzufolge ist die Feinstruktur des Geländes für dieses Resultat verantwortlich. Ob diese Feinstruktur nicht der Realität entspricht, oder ob der Bodeneffekt-Algorithmus Feinheiten des Terrains berücksichtigt und dabei deren Auswirkungen aufgrund von nicht berücksichtigten Wellenphänomenen überschätzt, lässt sich mit unserem derzeitigen Wissensstand nicht beantworten.

Insgesamt stimmen die simulierten Immissionen mit den Messungen recht gut überein.

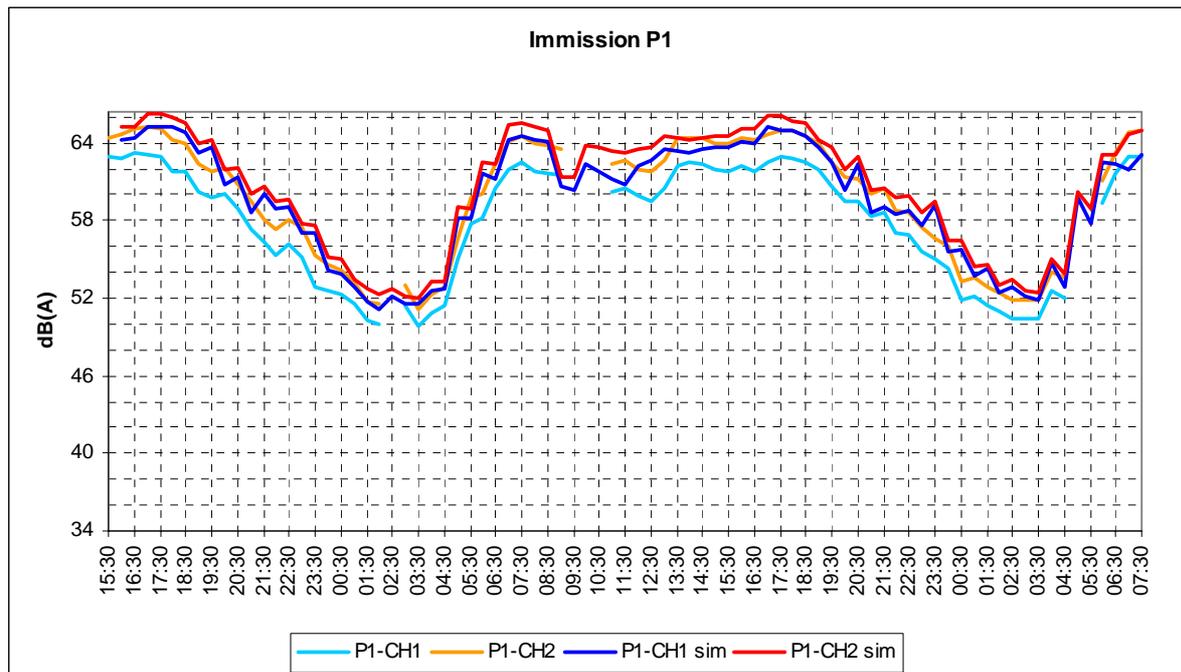


Abbildung 4: Vergleich der simulierten (sim) mit den gemessenen A-bewerteten Immissionspegeln vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P1, 4,5 (CH1) bez. 9m (CH2) über Boden. Dazu wurde für jedes 30'-Intervall Wind- und Temperatur-Profile bestimmt.

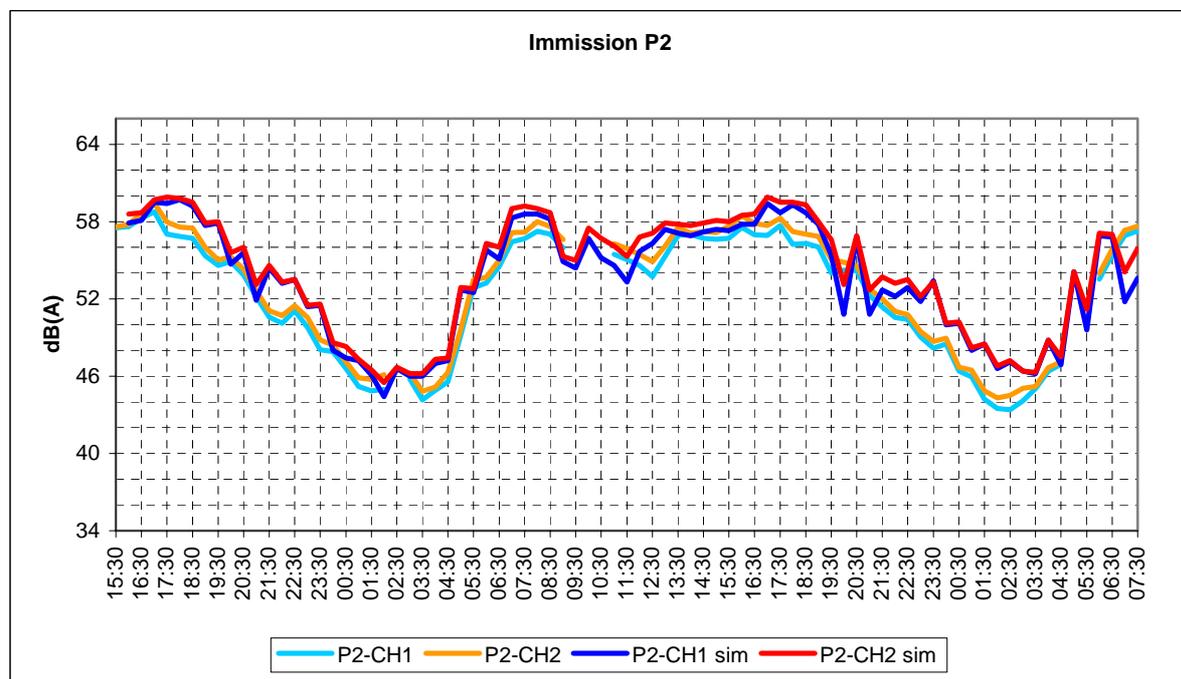


Abbildung 5: Vergleich der simulierten (sim) mit den gemessenen A-bewerteten Immissionspegeln vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P2, 4,5 (CH1) bez. 9m (CH2) über Boden. Dazu wurde für jedes 30'-Intervall Wind- und Temperatur-Profile bestimmt.

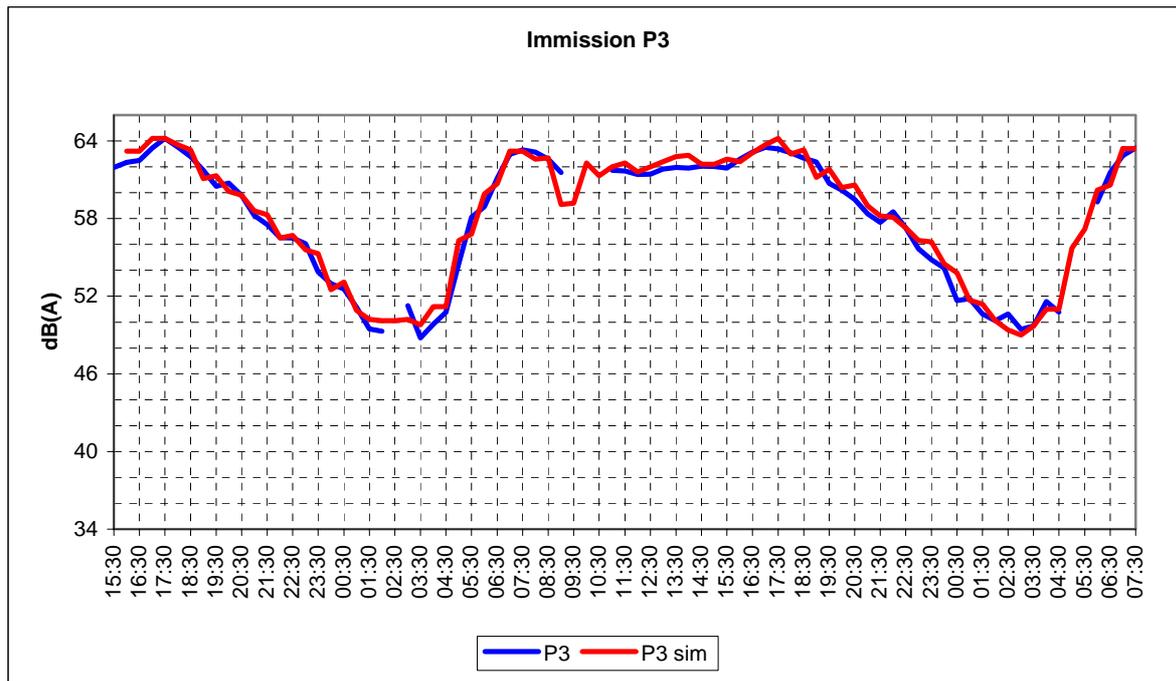


Abbildung 6: Vergleich der simulierten (sim) mit den gemessenen A-bewerteten Immissionspegeln vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P3. Dazu wurde für jedes 30'-Intervall Wind- und Temperatur-Profile bestimmt.

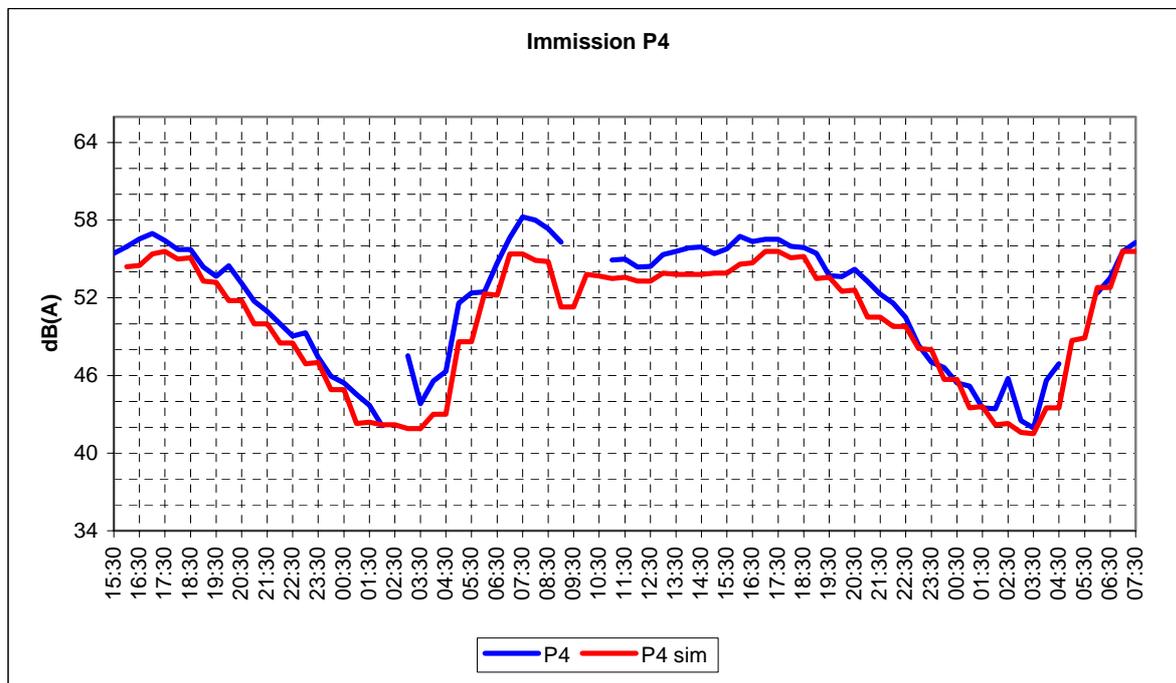


Abbildung 7: Vergleich der simulierten (sim) mit den gemessenen A-bewerteten Immissionspegeln vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P4. Dazu wurde für jedes 30'-Intervall Wind- und Temperatur-Profile bestimmt.

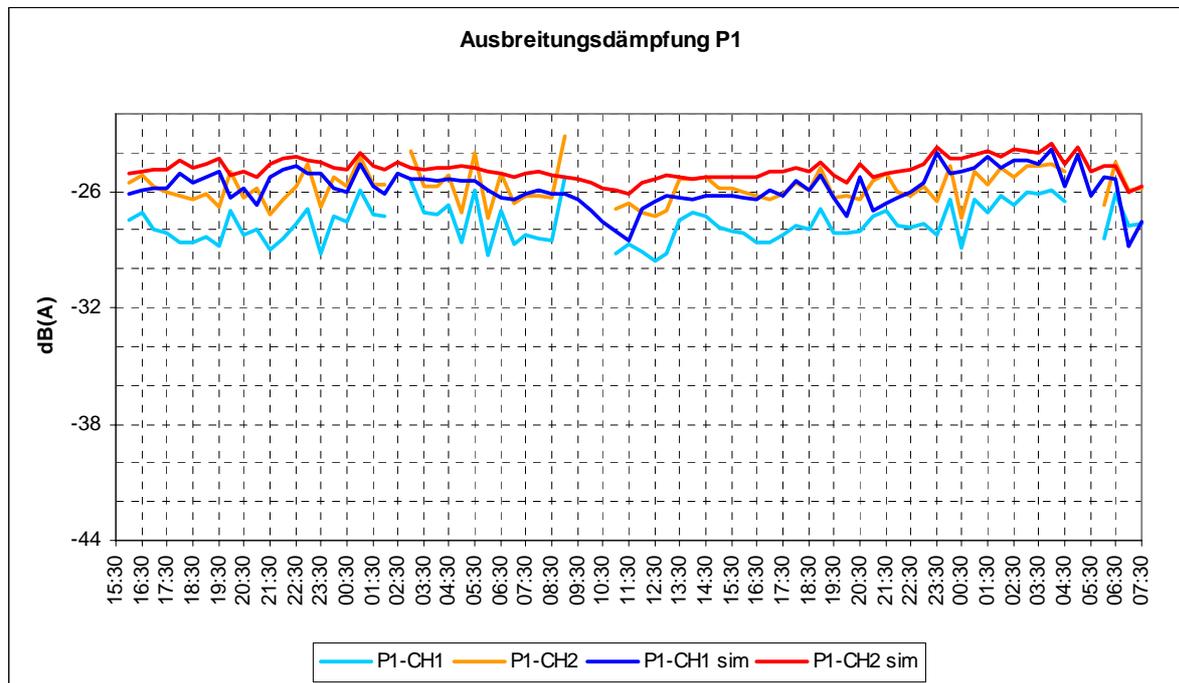


Abbildung 8: Vergleich der simulierten (sim) mit den aus den Messungen abgeleiteten Ausbreitungsdämpfungen vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P1, 4.5 (CH1) bez. 9m (CH2) über Boden.

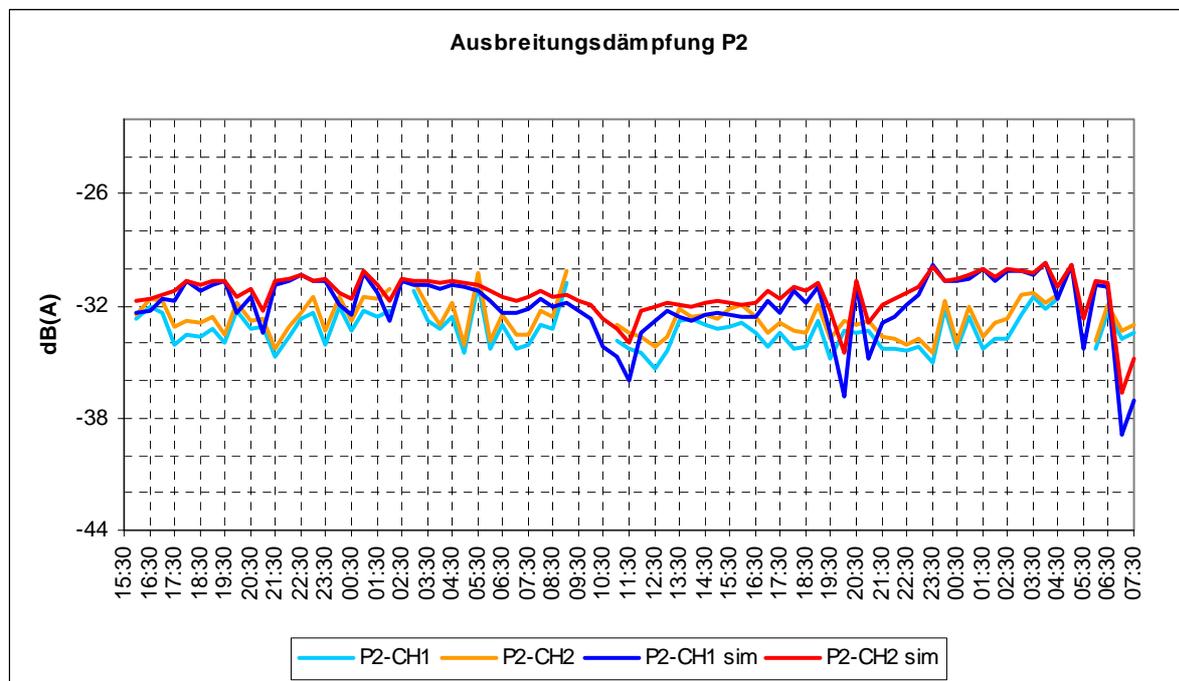


Abbildung 9: Vergleich der simulierten (sim) mit den aus den Messungen abgeleiteten Ausbreitungsdämpfungen vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P2, 4.5 (CH1) bez. 9m (CH2) über Boden.

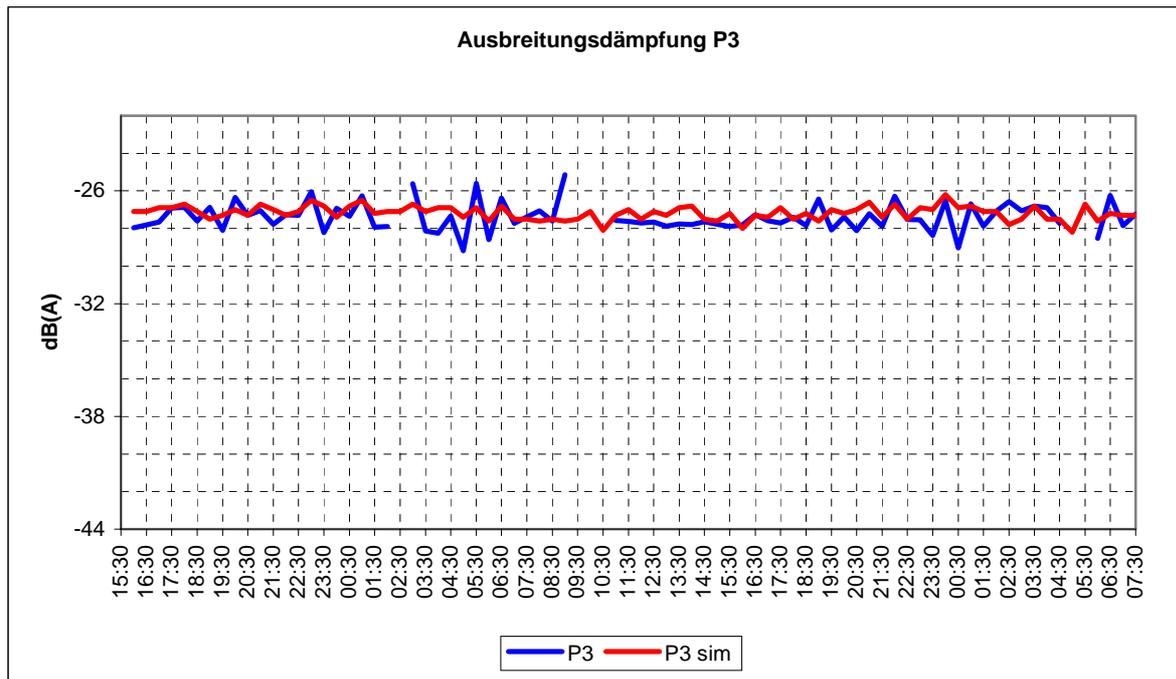


Abbildung 10: Vergleich der simulierten (sim) mit den aus den Messungen abgeleiteten Ausbreitungsdämpfungen vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P3.

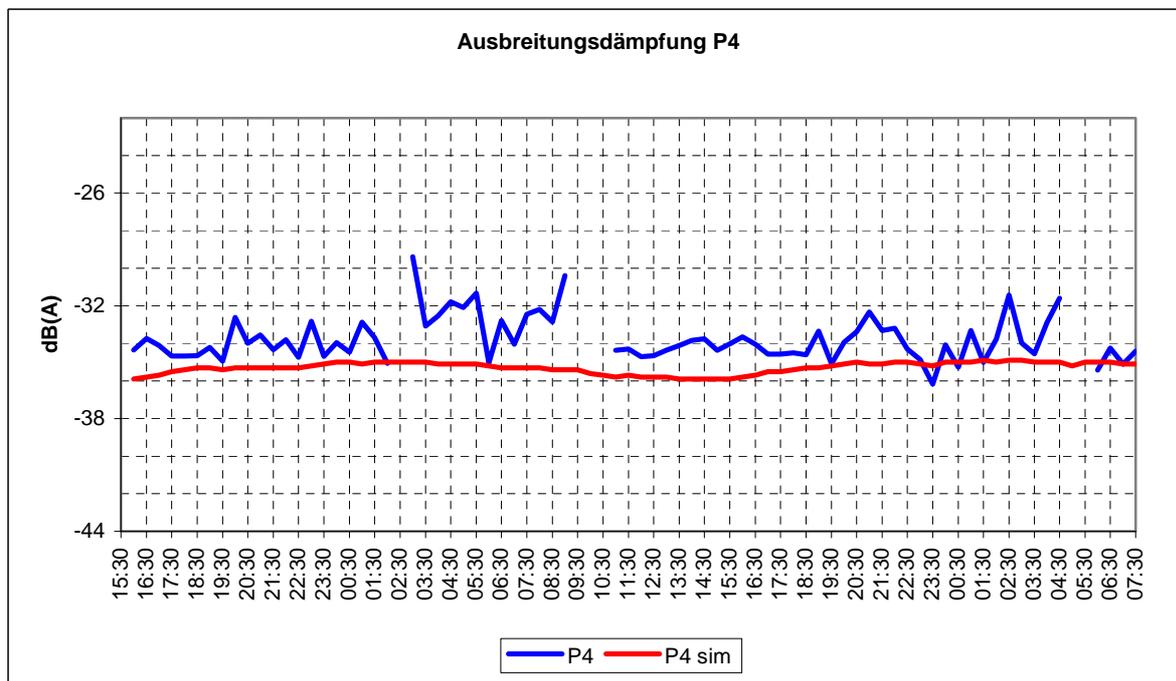


Abbildung 11: Vergleich der simulierten (sim) mit den aus den Messungen abgeleiteten Ausbreitungsdämpfungen vom 24. bis zum 26. Oktober 2005 für den Messpunkt P4.

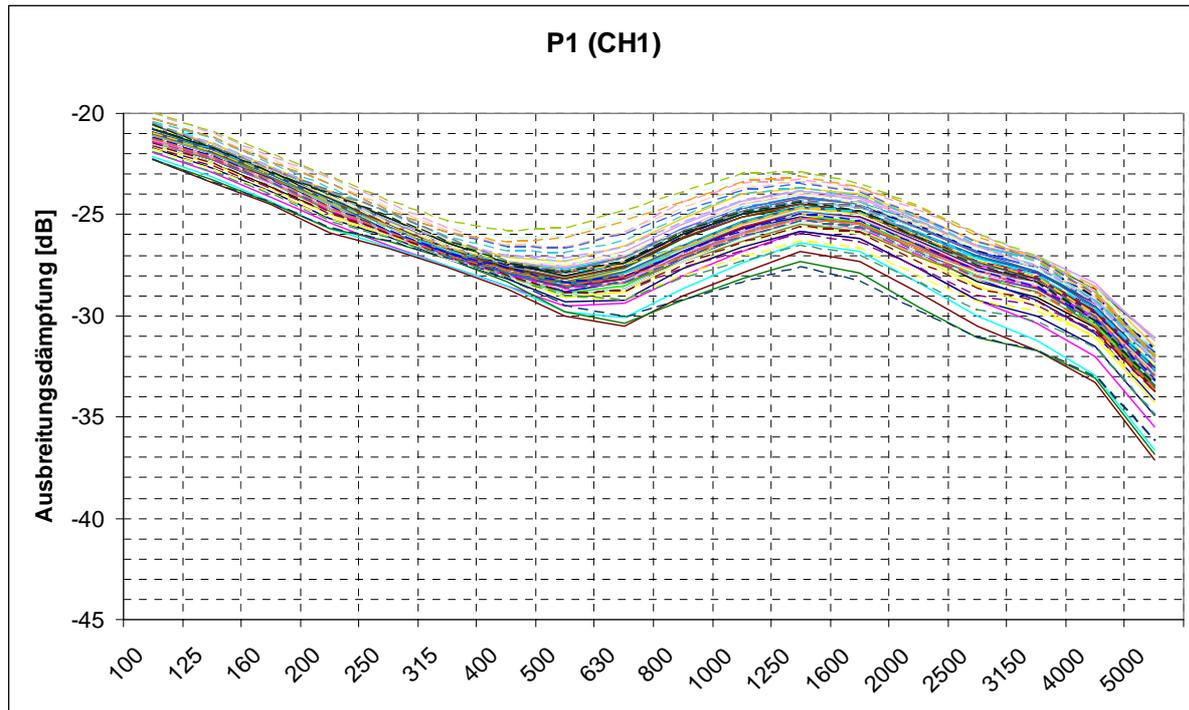


Abbildung 12: Die simulierten spektralen Ausbreitungsdämpfungen für den Messpunkt P1, 4.5 m über Boden, und den Zeitraum vom 24. bis zum 26. Oktober 2005.

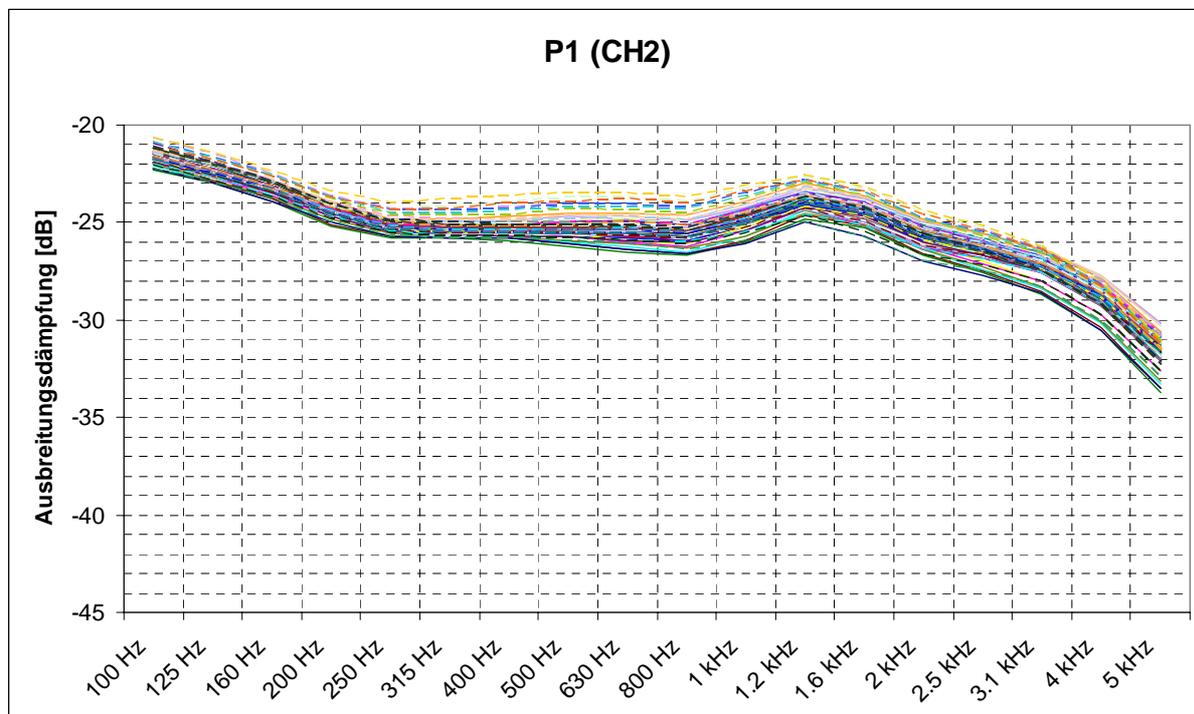


Abbildung 13: Die simulierten spektralen Ausbreitungsdämpfungen für den Messpunkt P1, 9 m über Boden, und den Zeitraum vom 24. bis zum 26. Oktober 2005.

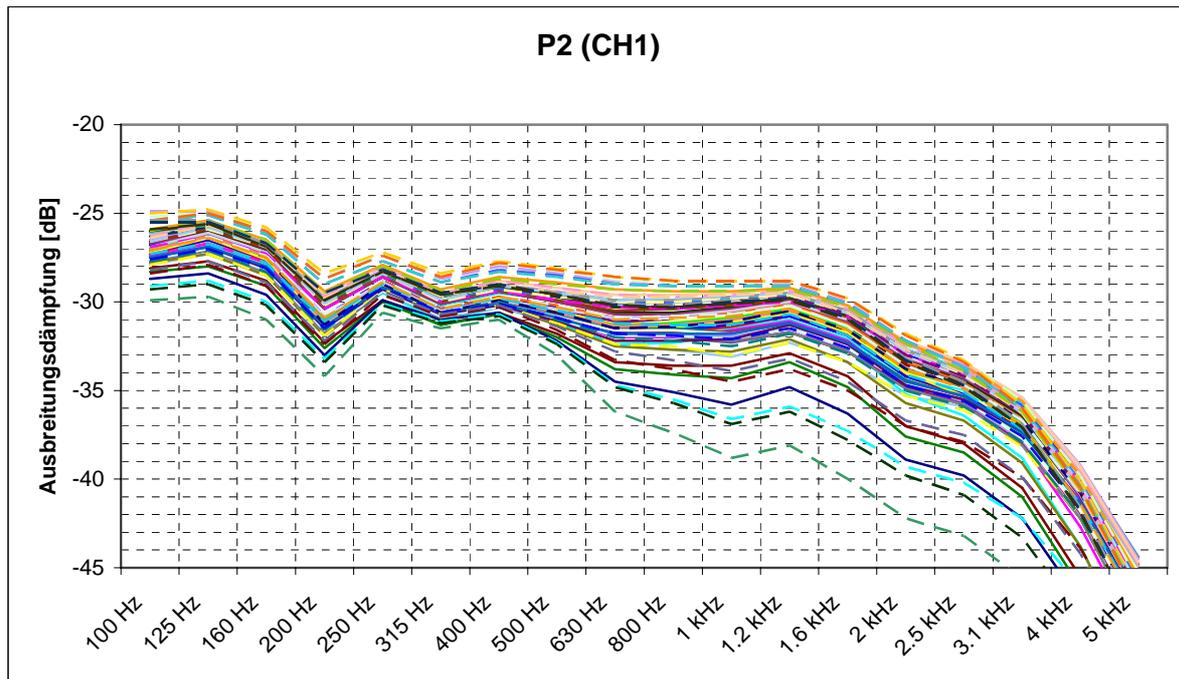


Abbildung 14: Die simulierten spektralen Ausbreitungsdämpfungen für den Messpunkt P2, 4.5 m über Boden, und den Zeitraum vom 24. bis zum 26. Oktober 2005.

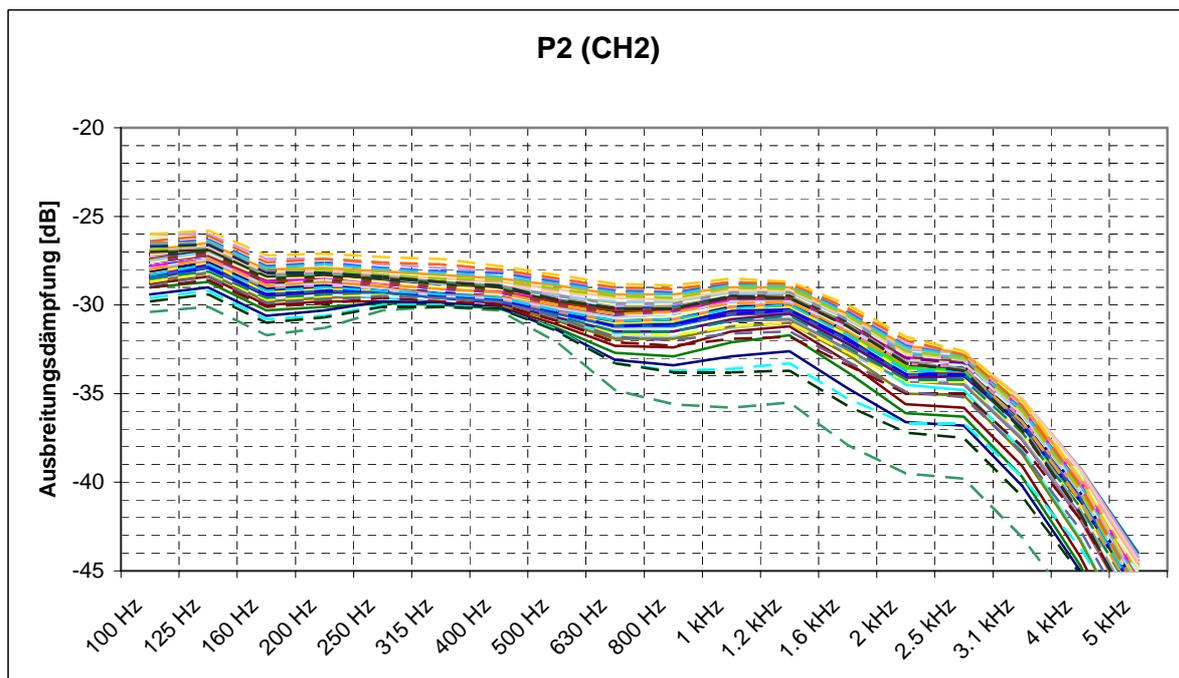


Abbildung 15: Die simulierten spektralen Ausbreitungsdämpfungen für den Messpunkt P2, 9 m über Boden, und den Zeitraum vom 24. bis zum 26. Oktober 2005.

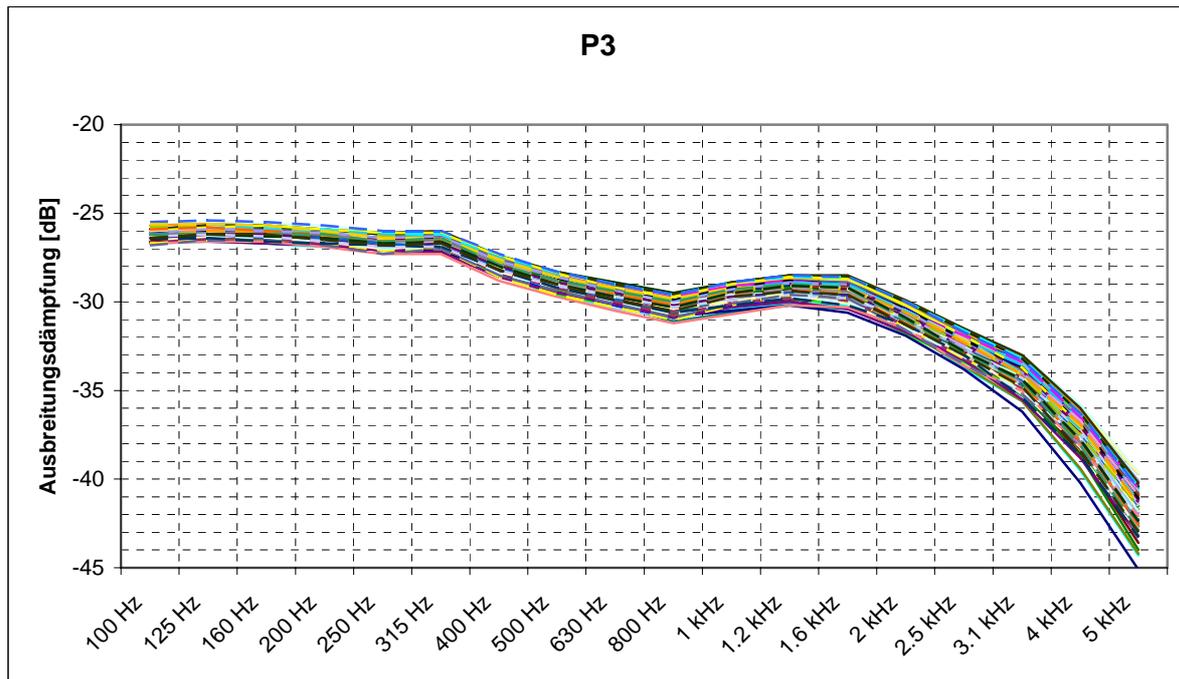


Abbildung 16: Die simulierten spektralen Ausbreitungsdämpfungen für den Messpunkt P3 und den Zeitraum vom 24. bis zum 26. Oktober 2005.

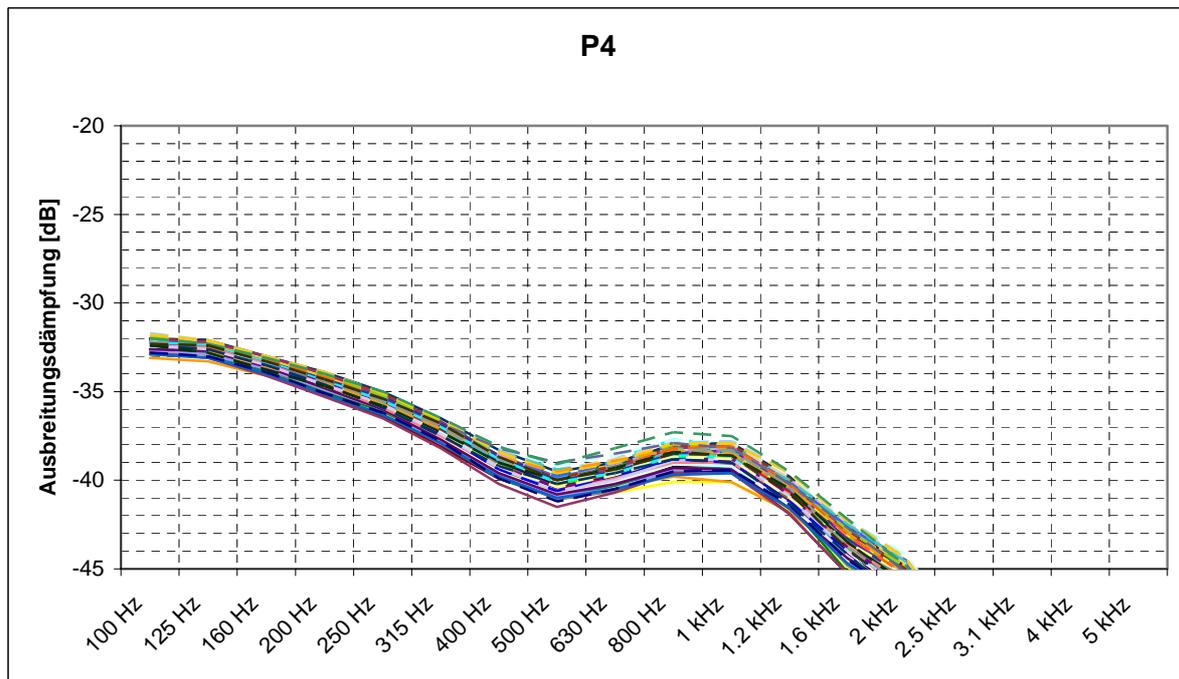


Abbildung 17: Die simulierten spektralen Ausbreitungsdämpfungen für den Messpunkt P4 und den Zeitraum vom 24. bis zum 26. Oktober 2005.