

MFM-U: Untersuchungen zu Strassenlärm in grossen Abständen am Beispiel Camignolo

Kurt Heutschi*, Dario Bozzolo**

*Empa - Materials Science & Technology, Dübendorf

**IFEC SA, Rivera

2008-04-18



Materials Science & Technology



Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ MFM-U Strassenlärmmonitoring → detaillierte Kenntnisse zur Emission
- ▶ Übersetzung in Immissionsaussagen
 - ▶ LDBS Korridorberechnungen
 - ▶ exemplarische "hot-spot" Untersuchungen (Messungen, Berechnungen) → Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Schallausbreitung über grosse Abstände
- ▶ Schallausbreitung in Talsituationen
- ▶ Strassenlärmmessungen Camignolo
- ▶ Strassenlärmberechnungen Camignolo

Schallausbreitung über grosse Abstände

Schallausbreitung über grosse Abstände

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

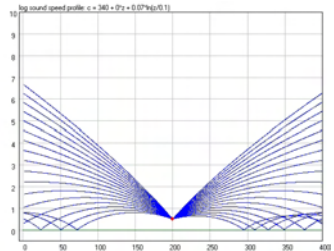
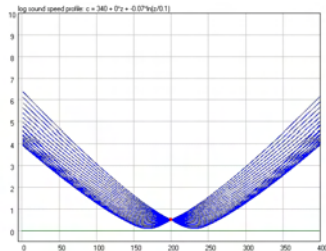
Geometrie
Meteorologie
Meteorologie - Schall
Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ bedeutende Luftdämpfung → spektrale Gewichtung
- ▶ grosser Bodeneffekt
- ▶ grosse Variation der Ausbreitungsdämpfung infolge wechselnder meteorologischer Einflüsse
 - ▶ systematische Tag/Nachtunterschiede



Schallausbreitung in Talsituationen

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie
Meteorologie
Meteorologie - Schall
Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

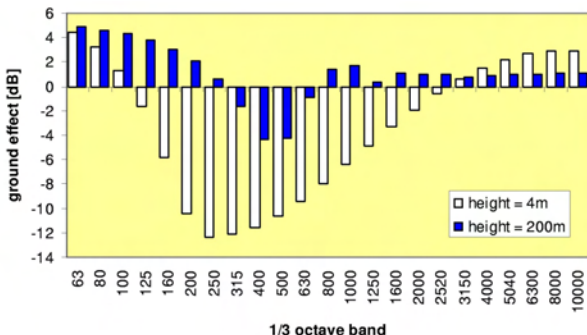
Literatur

- ▶ Konsequenzen der Talgeometrie
 - ▶ Schallausbreitung hoch über Boden → Bodeneffekt
 - ▶ mögliche Fokussiereffekte an der empfängerseitigen Talflanke
 - ▶ mögliche Reflexionen an der gegenüberliegenden Talflanke
- ▶ meteorologische Effekte
 - ▶ Temperaturschichtungen
 - ▶ Windfelder

Konsequenzen der Talgeometrie hinsichtlich der Schallausbreitung

Bodeneffekt für Empfänger auf den Talflanken

- ▶ Empfängerlage hoch über Talgrund → geringer Bodeneffekt
- ▶ Beispiel: Quellenhöhe 0.5 m, Distanz 500 m:



Fokussiereffekte der Talflanke 1(2)

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Empfänger auf den Talflanken können mehr als eine Bodenreflexion erhalten
- ▶ Normalfall: je eine Reflexion am Talboden und an Talflanke
- ▶ in besonderen Situationen sind viele Bodenreflexionen möglich → Fokussierung

Fokussiereffekte der Talflanke 2(2)

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

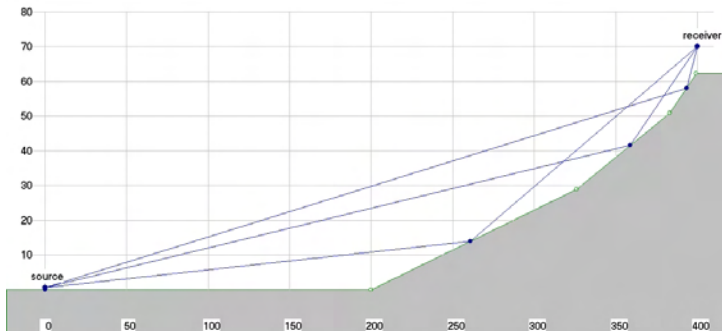
Camignolo

Messungen

Camignolo

Berechnungen

Literatur



Reflexionen an der gegenüberliegenden Talflanke

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Steile Talflanken in engen Tälern → Zusatzreflexionen
- ▶ Felswände → typisch bedeutende Strukturierung bzgl. λ → diffuse Reflexion

Konsequenzen der Meteorologie hinsichtlich der Schallausbreitung

MFM-U:
Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

Meteorologie in Tälern

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

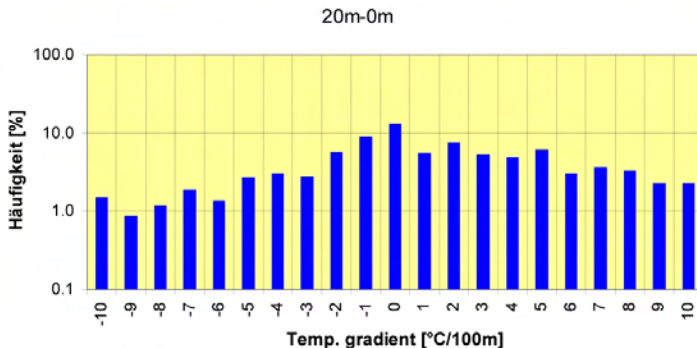
Literatur

Topographie von Tälern kann folgende meteorologische Effekte bewirken

- ▶ ungleiches Aufwärmen der Talflanken → Hangwinde
- ▶ Hauptluftbewegungen folgen Talachse → talauf- und talab-Winde
- ▶ Ausbildung von Kaltluftseen
- ▶ Ausbildung von warmen Talabwinden, z.B. (*Föhn*)

Exemplarische Statistik des Temperaturprofils im Urner Reusstal

Temperaturmessungen auf Talflanke:



Konsequenzen der Meteorologie in Tälern auf die Schallausbreitung

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Strassen laufen parallel zu Talwinden
- ▶ → typisch Querwind → keine bedeutende Wirkung auf Ausbreitung
- ▶ starke Winde beeinflussen Temperaturschichtung

Konsequenzen der Temperaturschichtung

Schallstrahlensimulation für warmen *Föhn* über einem Kaltluftsee (Talquerschnitt)

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

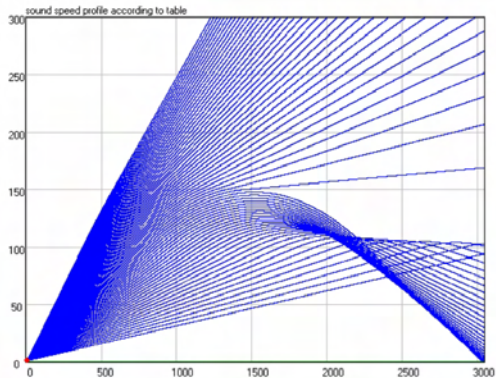
Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur



MFM-U:
Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

Folgerungen

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ deutlich geringere Ausbreitungsdämpfungen für Empfänger auf Talflanken im Vergleich zu Empfängern in der Ebene
- ▶ relativ geringe Variation der Ausbreitungsdämpfungen für Empfänger auf Talflanken
- ▶ in besonderen Fällen Verstärkung gegenüber Freifeldausbreitung:
 - ▶ mehrfache Bodenreflexionen (Fokussierungen)
 - ▶ extreme Temperaturgradienten (*Föhnwinde* über Kaltluftseen)

MFM-U:
Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

Strassenlärmmessungen in Camignolo

Strassenlärmmessungen in Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

**Camignolo
Messungen**

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Planung und Durchführung: IFEC, Nicola Dellea
- ▶ Zeitraum: 24.10. bis 26.10.2005

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Messkonzept:
 - ▶ Schalldruckmessungen:
 - ▶ MFM-U Station Camignolo ("Emission")
 - ▶ P1: 150 m, 4.5 m / 9 m
 - ▶ P2: 380 m, 4.5 m / 9 m
 - ▶ P3: 280 m, 4.5 m
 - ▶ P4: 860 m, 4.5 m
 - ▶ Meteomessungen
 - ▶ Temperatur
 - ▶ Temperaturgradient
 - ▶ Feuchte
 - ▶ Windgeschwindigkeit
 - ▶ Stabilitätsparameter

Strassenlärmmessungen in Camignolo: Messpunkte

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

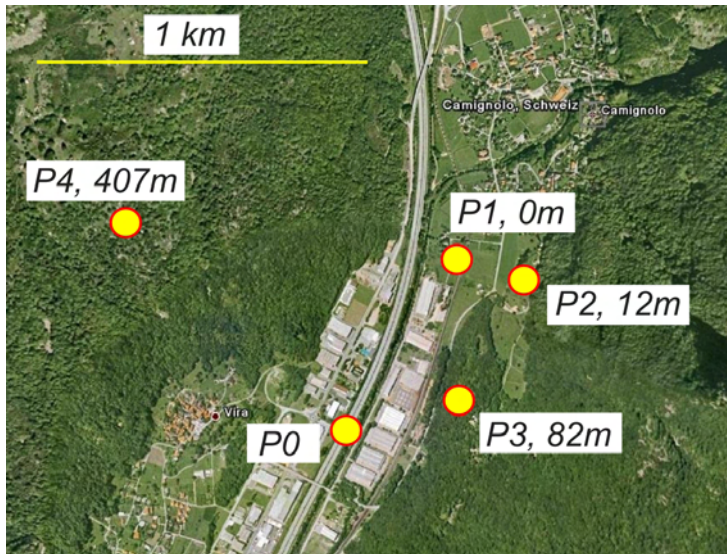
Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur



Strassenlärmmessungen in Camignolo: Meteomessungen

Windgeschwindigkeiten:

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

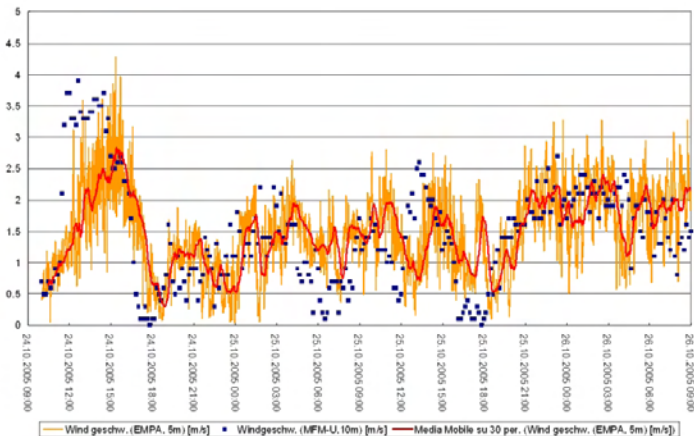
Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur



Strassenlärmmessungen in Camignolo: Meteomessungen

Temperaturschichtung:

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

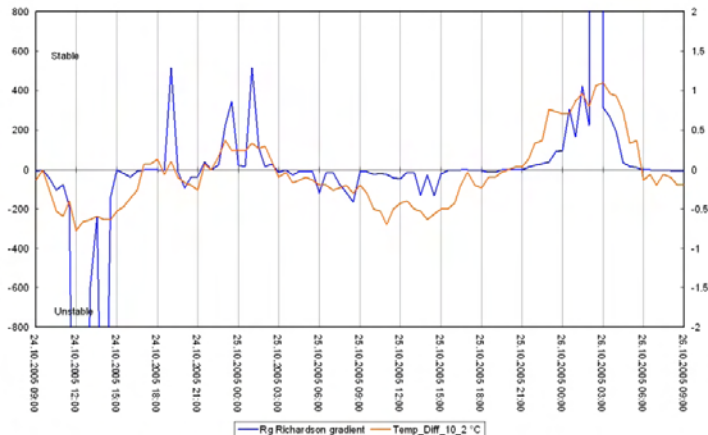
Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur



Strassenlärm-berechnungen in Camignolo

Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Rechenmodell: SonRoad-M
 - ▶ kalibriertes Emissionsmodell
 - ▶ Bodeneffekt als Interferenz aller Ausbreitungspfade
 - ▶ berücksichtigte Meteeffekte (Wind, Temperatur)
 - ▶ Strahlverfolgung
 - ▶ empirische Lösung für Schattenzonen

Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Resultate:
 - ▶ Einzelpunktuntersuchungen für Messorte
 - ▶ Ausbreitungsdämpfungen bzgl. 1 m Freifeld in Funktion der Zeit (Auflösung: 30 Minuten)
 - ▶ Vergleich der Messungen und Berechnungen
 - ▶ Belastungskarten
 - ▶ Immissions-Stundenwerte

Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Schall in grossen
Abständen

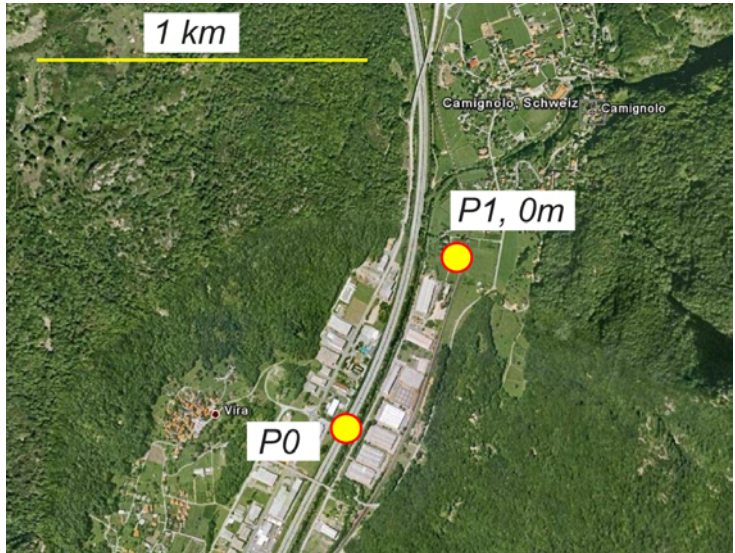
Schall in Tälern

Geometrie
Meteorologie
Meteorologie - Schall
Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur



Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Vergleich Ausbreitungsdämpfungen Messung und Berechnung MP1 (Abstand 150 m)

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

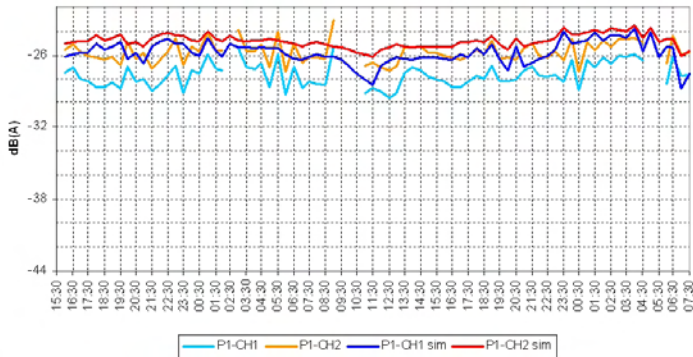
Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

Ausbreitungsdämpfung P1



Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

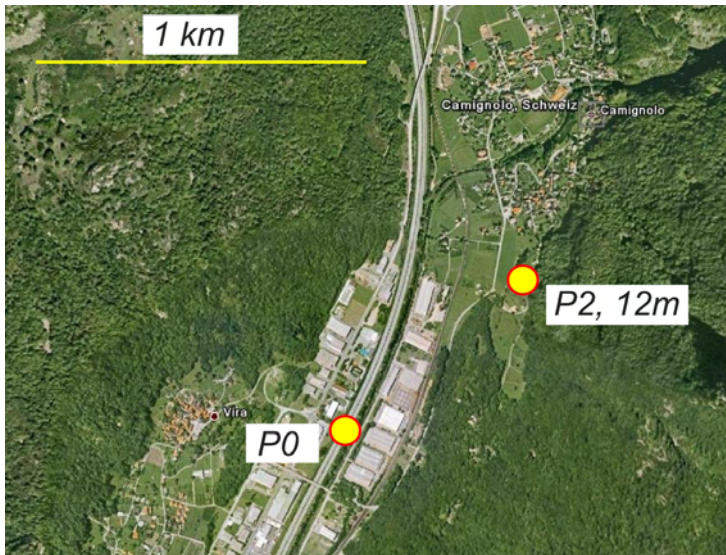
Schall in Tälern

Geometrie
Meteorologie
Meteorologie - Schall
Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur



Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Vergleich Ausbreitungsdämpfungen Messung und Berechnung MP2 (380 m)

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

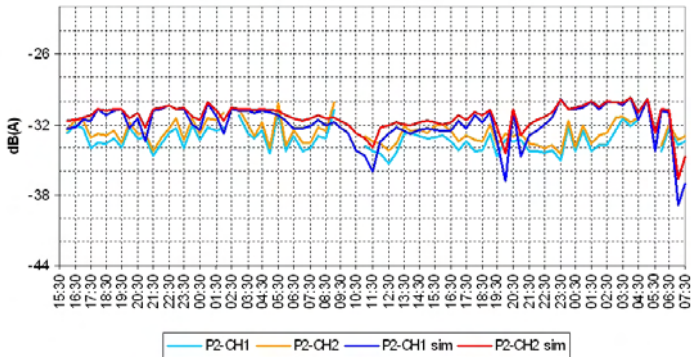
Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

Ausbreitungsdämpfung P2



Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

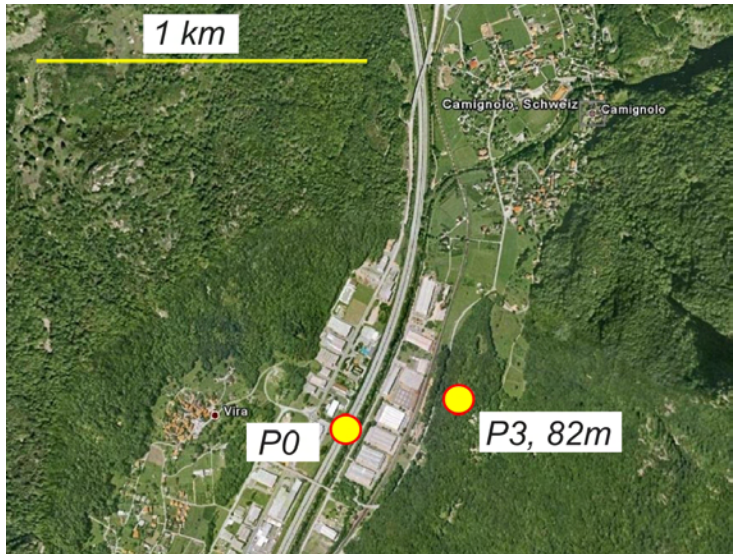
Schall in Tälern

Geometrie
Meteorologie
Meteorologie - Schall
Folgerungen

Camignolo
Messungen

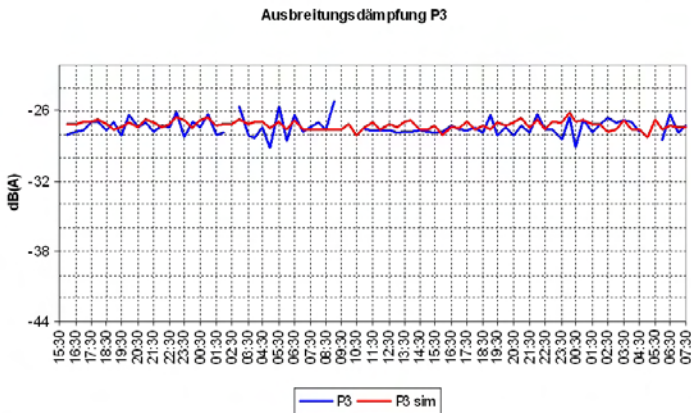
Camignolo
Berechnungen

Literatur



Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Vergleich Ausbreitungsdämpfungen Messung und Berechnung MP 3 (280 m)



Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Schall in grossen
Abständen

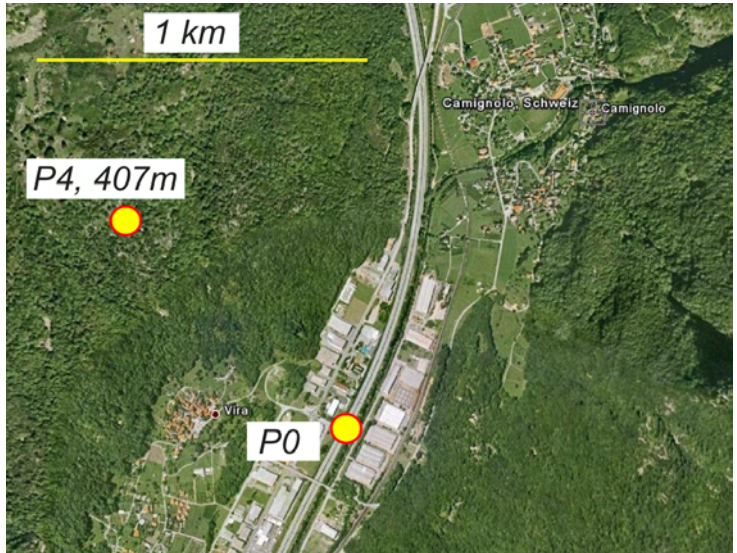
Schall in Tälern

Geometrie
Meteorologie
Meteorologie - Schall
Folgerungen

Camignolo
Messungen

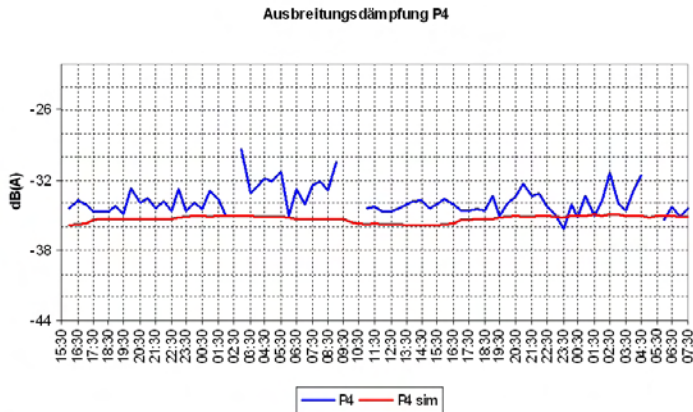
Camignolo
Berechnungen

Literatur



Strassenlärmrechnungen in Camignolo

Vergleich Ausbreitungsdämpfungen Messung und Berechnung MP 4 (860 m)



Fazit: Vergleich Rechnung-Messung

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

- ▶ Rechenmodell bildet die wesentlichen Ausbreitungsaspekte ab
- ▶ befriedigende Übereinstimmung Rechnung-Messung bis zu grossen Abständen
- ▶ Verbesserungen bei Geometrieaufbereitung (Terrainglättung) notwendig

tageszeitliche Lärmkarten in Camignolo

Strassenlärm Berechnungen in Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Lärmkarte 2 Uhr

Schall in grossen
Abständen

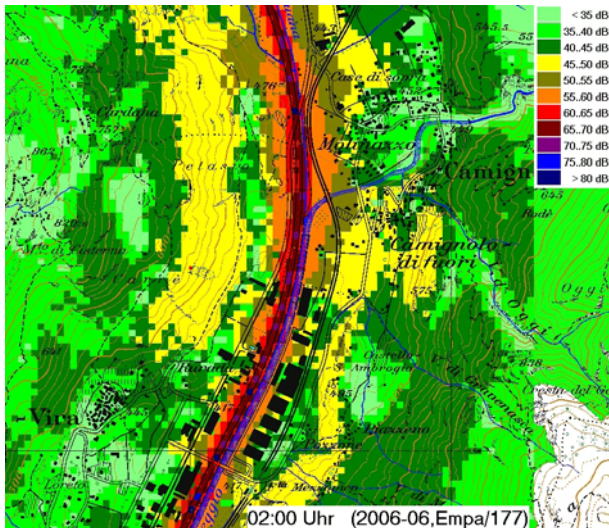
Schall in Tälern

Geometrie
Meteorologie
Meteorologie - Schall
Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur



Lärmkarte 7 Uhr

Meteorologie

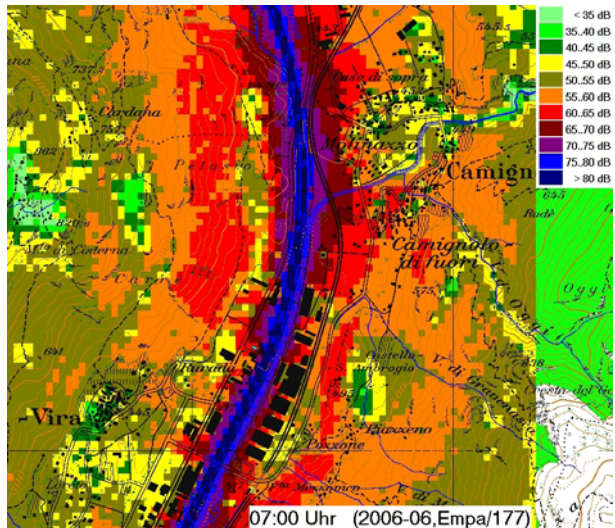
Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo

Berechnungen

Literatur



Lärmkarte 14 Uhr

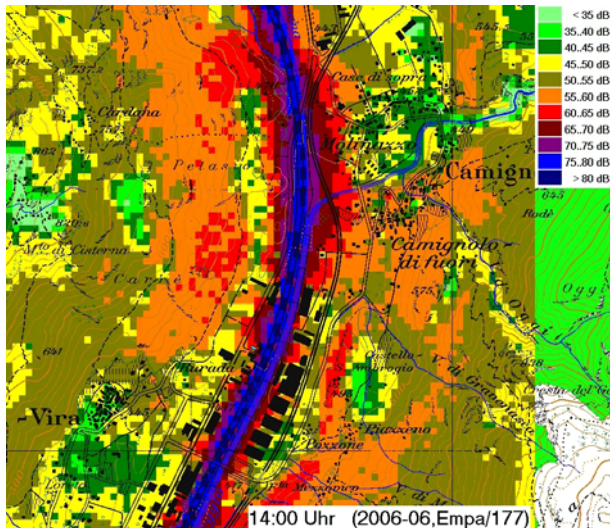
Meteorologie

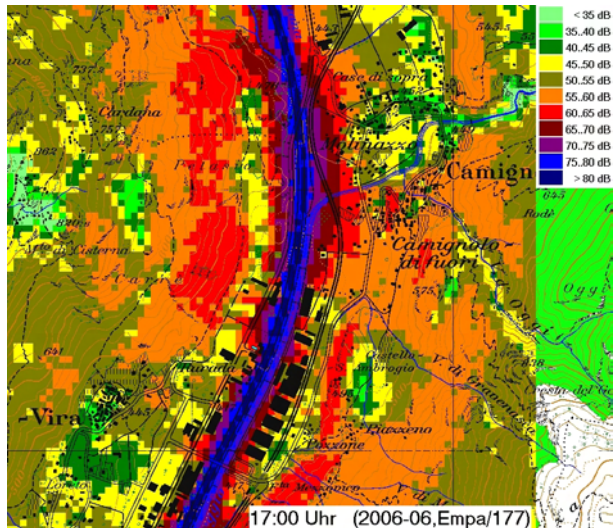
Meteorologie - Schall

Camignolo

Berechnungen

Literatur





Strassenlärm Berechnungen in Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Lärmkarte 22 Uhr

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

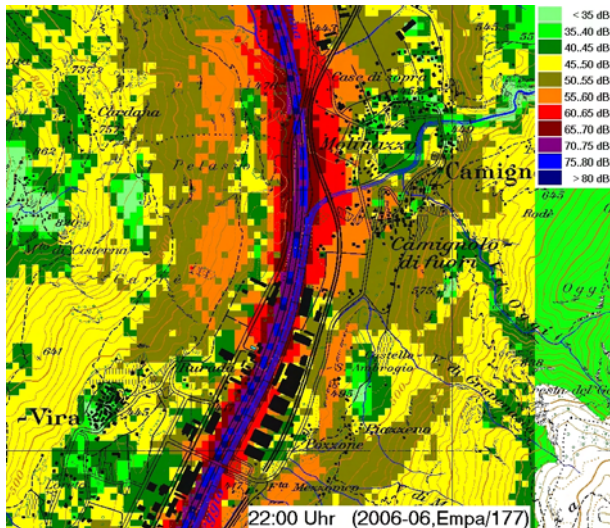
Camignolo

Messungen

Camignolo

Berechnungen

Literatur



MFM-U:
Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

weiterführende Literatur

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

SonRoad K. Heutschi, SonRoad: New Swiss Road Traffic Noise Model, Acta Acustica united with Acustica, vol. 90, 548-554 (2004).

Talsituationen K. Heutschi, On the sound propagation in Alpine valleys, International Conference Euronoise 2006.

Terrainglättung K. Heutschi, Ground effect calculations for micro structured terrain, International Congress on Acoustics 2007.

MFM-U:
Camignolo

Kurt Heutschi*,
Dario Bozzolo**

Schall in grossen
Abständen

Schall in Tälern

Geometrie

Meteorologie

Meteorologie - Schall

Folgerungen

Camignolo
Messungen

Camignolo
Berechnungen

Literatur

end