

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

Bundesamt für Umwelt (BAFU)  
Abt. Lärmbekämpfung/NIS  
Postfach  
CH-3003 Bern

## sonARMS – Validierung im Vergleich zu Messungen

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5211.00381.100.01-2, int. 510.2571  
Ihr Auftrag vom: 30. Oktober 2012  
Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 53

---

Dübendorf, 10. Juli 2013

Der Projektleiter:



Jean Marc Wunderli

Abteilung Akustik / Lärminderung

Der Abteilungsleiter:



Kurt Eggenschwiler

## **Inhaltsverzeichnis**

- 1 Auftrag
- 2 Zur Vorgehensweise und Darstellung der Resultate
- 3 Vugelles 1996 und 1998
- 4 Sion – Pro Bardy 1997
- 5 St. Maurice 1999
- 6 Fontana 1999
- 7 Chésopelloz 2000
- 8 Bure 2001
- 9 Thun 2002
- 10 Chur 2003
- 11 Tegital 2009
- 12 Torre und Olivone 2011
- 13 Gamprin-Bendern 2011
- 14 Abschätzung einer mittleren Modellunsicherheit
- 15 Abschätzung der Prognosegenauigkeit von Beurteilungspegeln
- 16 Diskussion

## Zusammenfassung

Im Rahmen der Validierungsuntersuchung wurden gesamthaft 293 Quellen-Empfänger-Kombinationen aus Messungen an 13 verschiedenen Gebieten zusammengefasst und mit sonARMS-Berechnungen verglichen. Die mittlere Abweichung zwischen Messung und Berechnung beträgt  $-0.1$  dB(A) und zeigt, dass es im Mittel über alle Situationen zu keinen systematischen Über- oder Unterschätzungen bei Berechnungen mit sonARMS kommt. Die Standardabweichung liegt bei  $4.4$  dB(A). Dabei wurde kein Zusammenhang mit der Ausbreitungssituation (direktschall- oder reflexions-dominiert), der Quellenart (Mündungsknall oder Geschosknall) oder der Empfangspunktsituation (Freifeld- oder Gebäudepunkt) festgestellt.

Relativ zur Ausbreitungsdämpfung betrachtet, resultiert eine repräsentative Modellunsicherheit bei der Beschreibung von einzelnen Ausbreitungssituationen von  $3.8\%$ . Daraus lässt sich ableiten, dass Prognosen im Bereich der Immissionsgrenzwerte sowohl nach LSV Anhang 7 als auch Anhang 9 eine Unsicherheit von  $1 - 2$  dB(A) im Sinne einer Standardabweichung aufweisen.

## 1 Auftrag

Im Auftrag des BAFU wurde durch die Empa das Schiesslärmmodell sonARMS entwickelt, welches auf dem allgemein formulierten Ausbreitungsmodell mit der Bezeichnung sonX basiert. Es ist vorgesehen, sonARMS im Verlauf des Jahres 2013 inkl. einer Benutzerumgebung als Standardmodell für die Schweiz einzuführen. Das BAFU beauftragte die Empa mit Vertrags-Nr. 00.0334.PZ/L391-0591, eine Validierung des sonX-Ausbreitungsmodells sowie der beiden abgeleiteten Modelle sonRAIL und sonARMS durchzuführen. Die Validierung von sonARMS erfolgt im Vergleich zu Schiesslärmmessungen, welche die Empa im Verlauf der letzten rund 15 Jahre durchgeführt hat. Im Rahmen dieses Berichtes werden die resultierenden Vergleiche zwischen Messung und Berechnung dokumentiert und es wird daraus eine Abschätzung der Modellunsicherheit abgeleitet.

## 2 Zur Vorgehensweise und Darstellung der Resultate

In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Messsituationen in chronologischer Reihenfolge aufgeführt. Die Dokumentation wird dabei knapp gehalten. Für detaillierte Informationen sei auf die entsprechenden Messberichte verwiesen. Empfangspunkte werden mit *E* und Meteosituationen mit *M* bezeichnet und pro Situation durchnummeriert.

Bei den Messungen wurden viele Situationen mit bedeutenden Wettereffekten auf die Schallausbreitung sowie diffusen Reflexionen von Waldrändern und Felswänden erfasst. Der Rechenkern wird deshalb mit wenigen Ausnahmen mit den Varianten Basic, Meteo und Forest betrieben. Situationen mit bedeutenden Reflexionen an Gebäuden und anderen künstlichen Objekten wurden jedoch kaum gemessen. Entsprechend kann auf Basis dieser Messungen keine Validierung des Moduls Reflect vorgenommen werden.

Die Vergleichsberechnungen wurden mit dem sonARMS Rechenkern Version V1.9.T vom 13. Mai 2013 durchgeführt. Diese Version wurde nach Abschluss der Validierungen in Version 2.0 umgewandelt.

Als Eingangsgrößen für die Simulationen wurden folgende Grundlagendaten verwendet:

- Topographie: Digitales Terrain Modell von Swisstopo in einem 5 m Raster
- Landnutzung: Primärflächendatensatz des Vektor25-Modells von Swisstopo
- Gebäude: Als Basis wurde der Gebäudedatensatz des Vektor25-Modells von Swisstopo verwendet. Die Gebäudehöhen wurden dabei aus der Differenz des digitalen Oberflächenmodells mit dem digitalen Terrainmodell ermittelt.

Die meteorologischen Grundlagen wurden den Messberichten entnommen. Da die Erfassung der Meteorologie oft nur auf Beobachtungen bzw. punktuellen Messungen basierte, bestand bei der Zuordnung zu den Meteoklassen, welche in sonARMS verwendet werden, bzw. zur genauen Windrichtung ein gewisser Interpretationsspielraum. Wenn mehrere Optionen für die Definition der Meteobedingungen möglich waren (zwei verschiedene Meteoklassen möglich, Windrichtung nur  $\pm 30^\circ$  bekannt), wurde die Variante mit der besten Übereinstimmung verwendet.

Bei den Messungen wurden in der Regel keine Spektren sondern nur A-bewertete Pegel erfasst. Als Vergleichsgrösse werden deshalb für alle Beispiele A-bewertete Ereignispegel  $L_{AE}$  oder Maximalpegel  $L_{AFmax}$  verwendet. Die Messungen bestehen typischerweise aus Serien von 5 bis 10 Schuss. Zum Vergleich mit den Berechnungsergebnissen wird ein energetischer Mittelwert verwendet. Zur Visualisierung der Streuung der Messwerte wird in den Abbildungen neben dem energetischen Mittelwert zusätzlich ein Bereich  $\pm$  einer Standardabweichung dargestellt. Falls aus den Unterlagen ersichtlich werden zusätzlich Maximal- und Minimalwerte ergänzt. Die berechneten Werte sind in den Graphiken als rote Punkte eingetragen. Zusätzlich in tabellarischer Form werden für jede Berechnungssituation die mittlere Abweichung  $\mu$  (Messung – Be-

rechnung), die Standardabweichung  $\sigma$  und der mittlere Fehler  $m$  ausgewiesen. Der mittlere Fehler berechnet sich dabei gemäss nachfolgender Formel aus der mittleren Abweichung und der Standardabweichung.

$$m = \sqrt{\mu^2 + \sigma^2}$$

Als weitere Grösse wird ein prozentualer Fehler berechnet. Dieser berechnet sich als Mittelwert der absoluten Differenzen zwischen Messung und Berechnung, geteilt durch die Ausbreitungsdämpfung. Die Ausbreitungsdämpfung bestimmt sich als Differenz der berechneten Ereignispegel und der Schallenergiepegel<sup>1</sup> der Quelle, unter Vernachlässigung einer möglichen Richtwirkung. Es wird dabei auf die berechneten Werte abgestützt, da bei den Messungen teilweise nur Maximalpegel erfasst wurden und deshalb auf Basis der Messdaten keine einheitliche Ermittlung möglich wäre.

### 3 Vugelles 1996 und 1998

Der Waffenplatz Vugelles - la Mothe liegt zwischen den Gemeinden Vugelles, Novalles und Orges, nordwestlich von Yverdon-les-Bains. Der Waffenplatz wird einerseits für Schiessen mit Panzern bzw. gepanzerten Fahrzeugen aus dem Bereich "rive droite" (RD) und andererseits für Aktivitäten mit Infanterie-Waffen im Bereich "rive gauche" (RG) verwendet. Die Empa hat zwei Messkampagnen auf dem Waffenplatz durchgeführt. Bei einer ersten Messung aus dem Jahre 1996 wurden Ereignisse von "rive droite" und "rive gauche" beim Dorf Vugelles gemessen (siehe Empa-Bericht 163'251). Bei der zweiten Messung aus dem Jahre 1998 wurden in Ergänzung zu den früheren Messungen Schiessen mit Infanteriewaffen beim Dorf Novalles gemessen (siehe Empa-Bericht 173'560).

#### 3.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	29. August 1996, morgens und nachmittags 14., 15. Juli und 4. August 1998 (4 Wiederholungen)
Wetter:	29. August 1996: Bewölkt, zunehmende Westwinde mit 2 – 6 m/s (aufziehendes Gewitter) 29. August 1996: Leicht bewölkt, Wind mit 0 – 2 m/s aus Südosten 14. und 15. Juli 1998: leicht böiger Westwind mit 2 – 8 m/s, 4. August 1998: Ostwind mit 2 – 6 m/s (Windmesser bei Messpunkt 3)
Quelle(n):	Mg64(12.7m) und Stgw90(GwPat90) aus zwei Positionen, nachfolgend mit S1 und S2 bezeichnet.
Messpunkte:	1996: Bei drei Gebäuden, im offenen Fenster 1998: Drei Messpunkte im Freien auf 4 m Höhe
Messgrösse:	L <sub>AE</sub>
Bemerkungen:	In Vugelles teilweise Abschirmungen und Reflexionen durch Gebäude.

#### 3.2 Angaben zur Simulation

Modus: Basic + Meteo + Forest (+ Reflect)

<sup>1</sup> Der Schallenergiepegel entspricht dem Schallleistungspegel für Dauergeräusche. Im Vergleich zu Schalldruckpegeln in einem Referenzabstand von einem Meter weist der Schallenergiepegel 11 dB höhere Pegel auf.

Meteo:	1996: Meteoklasse: N2, Windrichtung: 290°, Temperatur: 18 °C, relative Feuchtigkeit: 55%
	1998, M1: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 270°, Temperatur: 20 °C, relative Feuchtigkeit: 50%
	1998, M1: Meteoklasse: N4, Windrichtung: 270°, Temperatur: 20 °C, relative Feuchtigkeit: 50%
	1998, M1: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 90°, Temperatur: 20 °C, relative Feuchtigkeit: 50%
Speziell:	Geschosknall in Vugelles, teilweise dominante Waldreflexionen

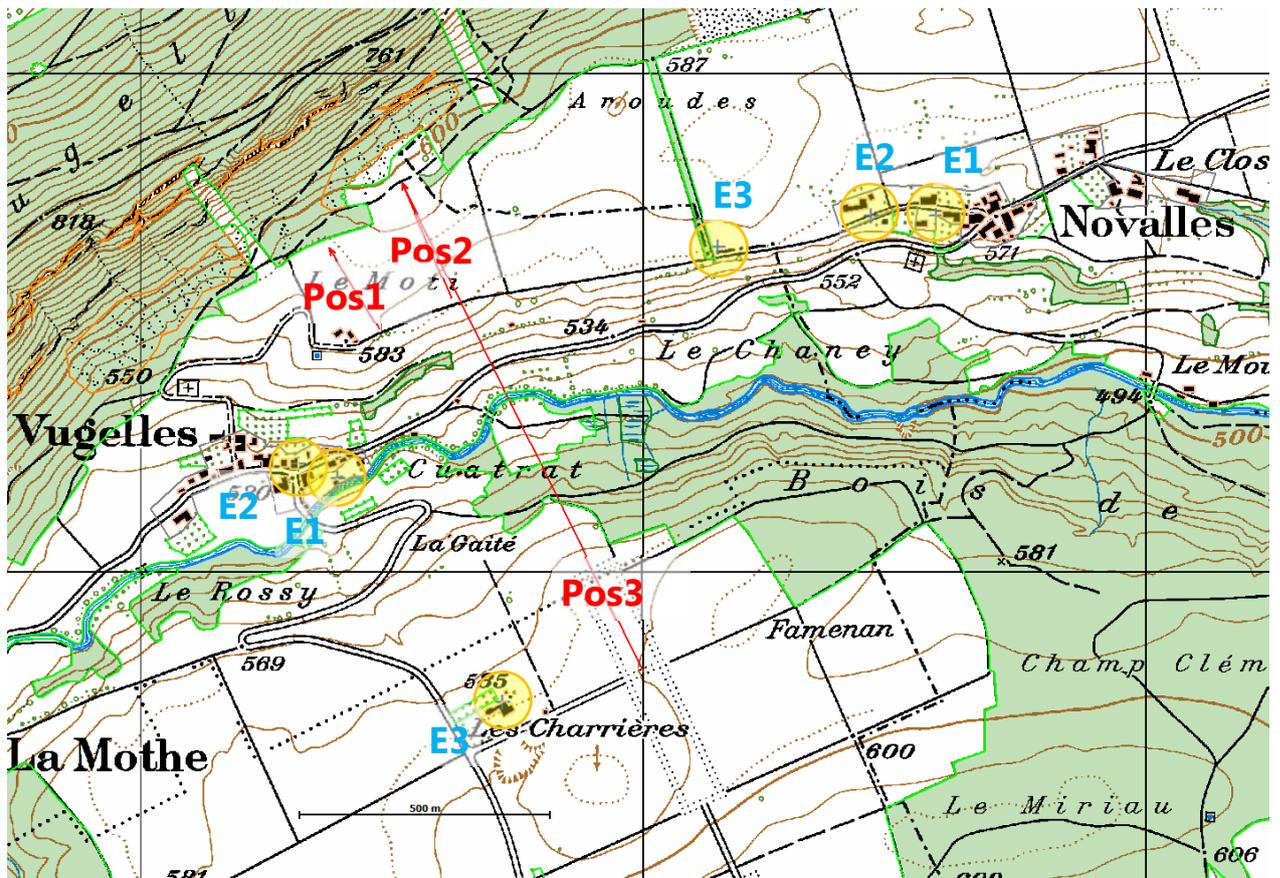


Abbildung 1: Übersichtskarte Vugelles und Novalles.

### 3.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standardabweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Vugelles	0.9 dB(A)	3.2 dB(A)	3.3 dB(A)	3.3%
Novalles S1	-2.3 dB(A)	2.3 dB(A)	3.2 dB(A)	2.7%
Novalles S2	0.9 dB(A)	3.2 dB(A)	3.3 dB(A)	2.7%

### Vugelles 1996 (Quelle: Mg64 (Pos4) und Stgw90 (Pos 1 und 2))

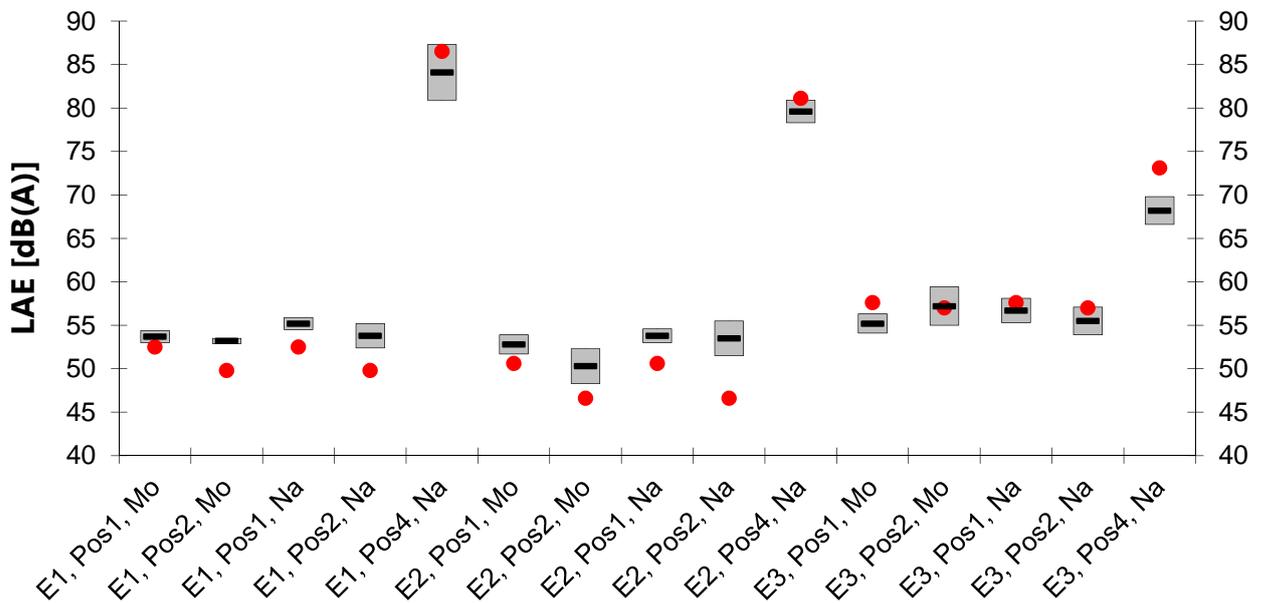


Abbildung 2: Vergleich Messung und Berechnung für Vugelles 1996 (Mo = Morgen, Na = Nachmittag).

### Novalles 1998 (Quelle: Stgw90, Position S1)

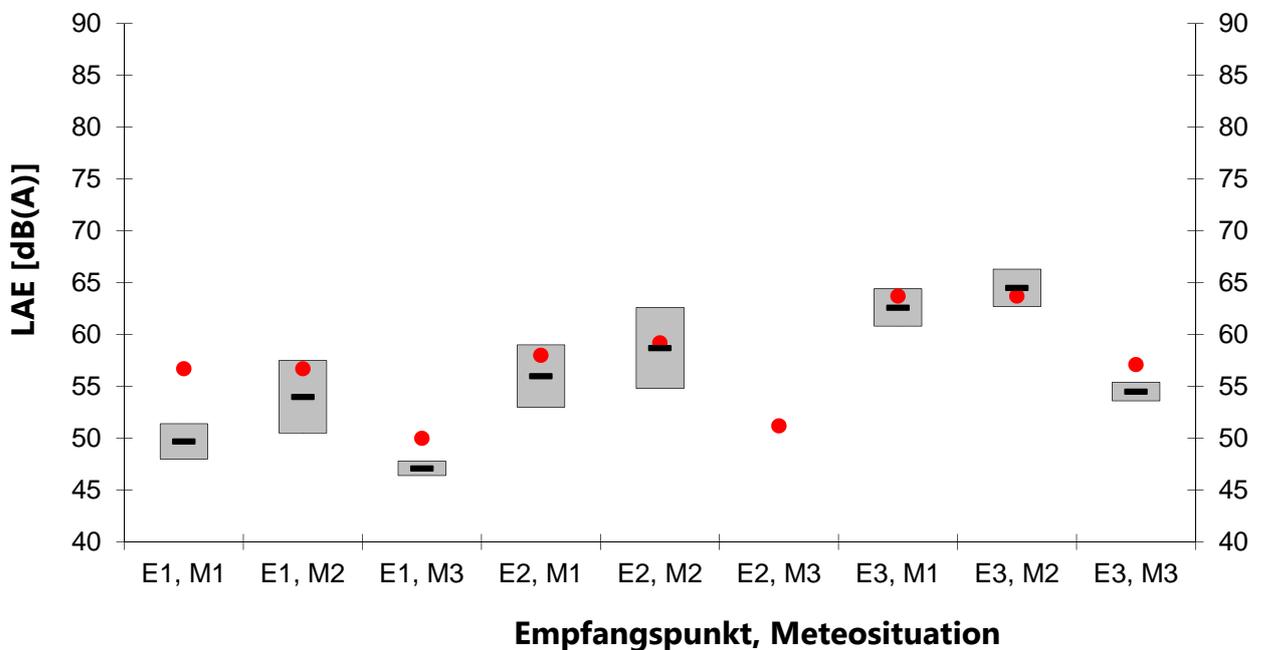


Abbildung 3: Vergleich Messung und Berechnung für Novalles 1998, Position S1.

### Novalles 1998 (Quelle: Stgw90, Position S2)

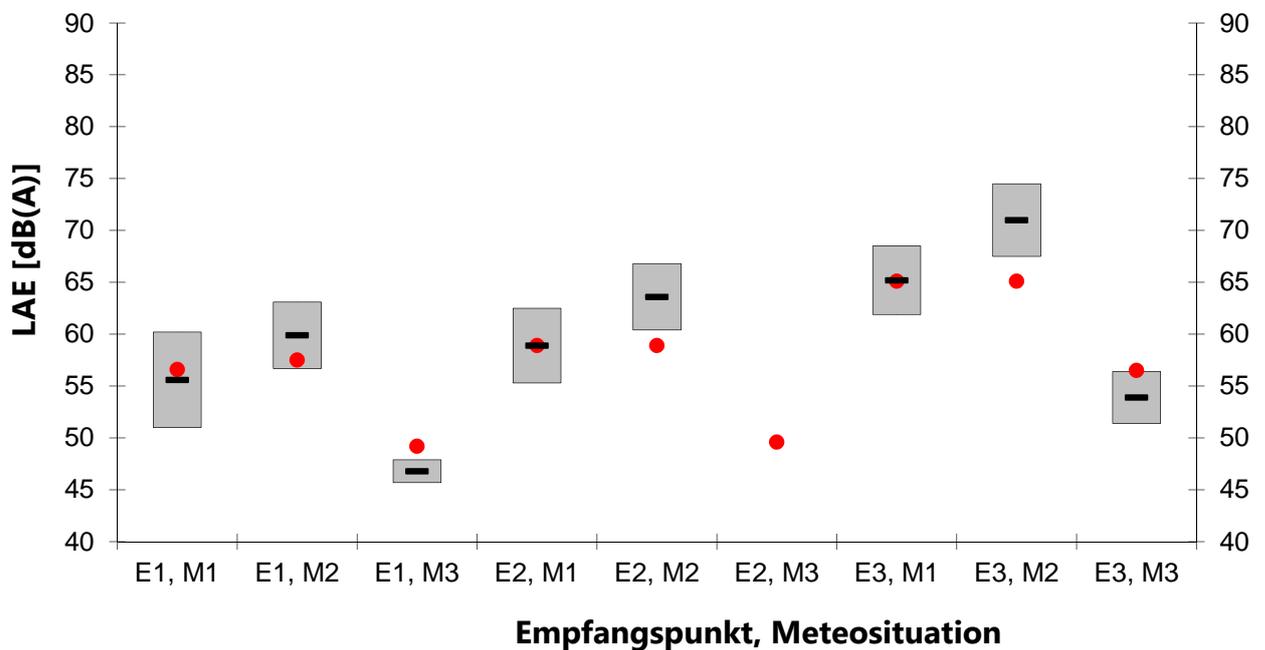


Abbildung 4: Vergleich Messung und Berechnung für Novalles 1998, Position S2.

## 4 Sion – Pro Bardy 1997

Der Schiessplatz Pro Bardy ist Teil des Waffenplatzes Sion und liegt nördlich von Sion neben der Gemeinde Aproz. Die Empa hat 1997 im Auftrag des Amtes für Bundesbauten dort Messungen durchgeführt (Empa-Bericht Nr. 165'836).

### 4.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit: 14. März 1997, nachmittags und 15. März 1997, vormittags

Wetter: 14. März: Westwind mit 5 m/s (10 Knoten), bewölkt

Situation 1

15. März: Ostwind mit 0 – 2 m/s, bewölkt

Situation 2

(Meteoangaben des Flugplatzes Sion)

Quelle(n): Stgw90

Messpunkte: Vier Empfangspunkte im Freien, in 4 m Höhe.

Messgrösse:  $L_{AFmax}$

Bemerkungen: Die Situation weist einen bedeutenden Beitrag an Reflexionen durch die sich hinter dem Zielraum befindliche Felswand auf. Die Ausbreitung zu zwei Empfangspunkten erfolgt teilweise über Wasserflächen.

### 4.2 Angaben zur Simulation

Modus: Basic + Meteo + Forest

Meteo: M1: Meteoklasse: N3, Windrichtung: 240°, Temperatur: 12 °C, relative Feuchtigkeit: 45%  
 M2: Meteoklasse: N1, Windrichtung: 80°, Temperatur: 12 °C, relative Feuchtigkeit: 45%

Speziell: Felsreflexionen, Ausbreitung über Wasser

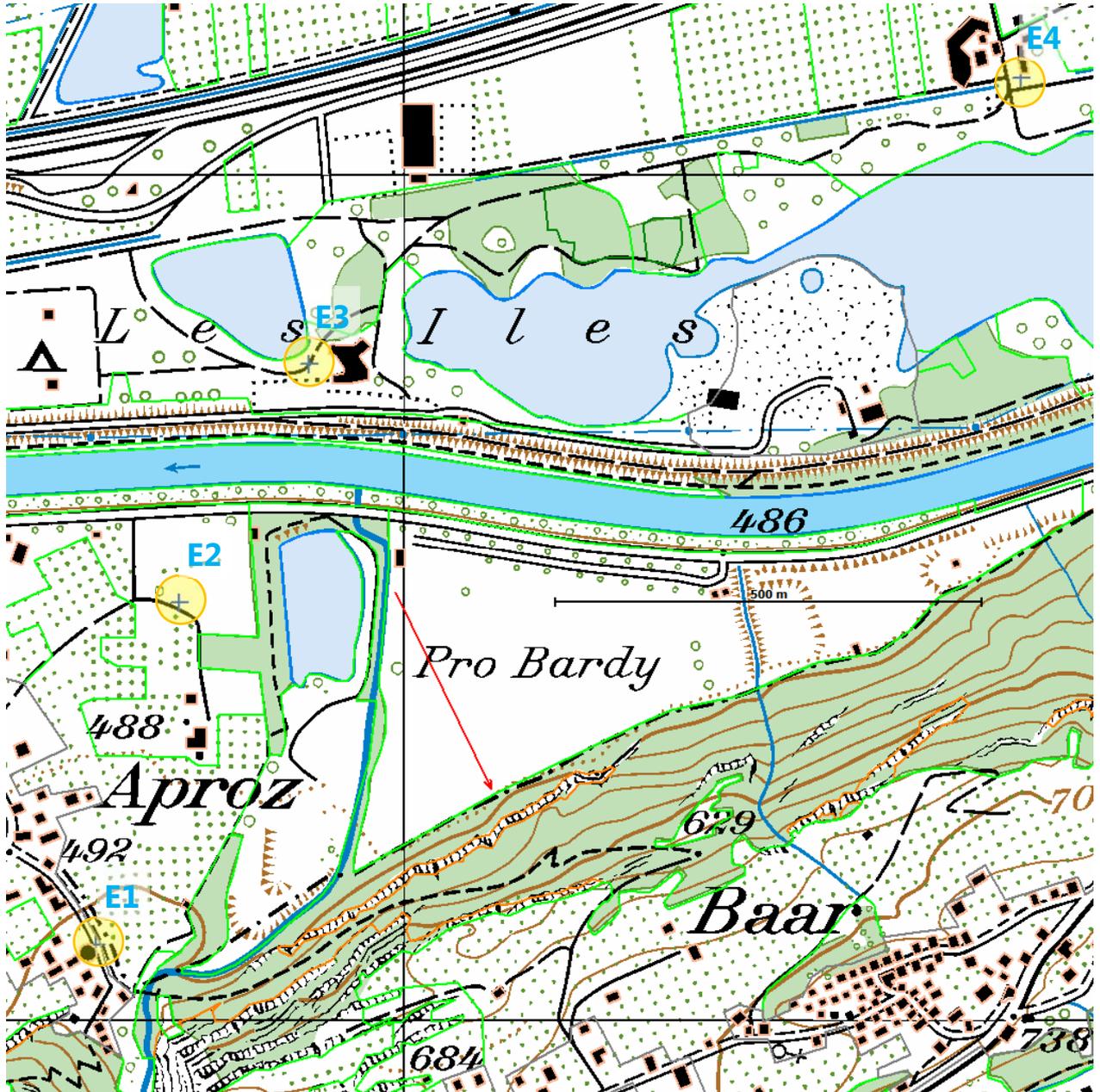


Abbildung 5: Übersichtskarte Sion – Pro Bardy.

### 4.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standardabweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Sion – Pro Bardy	2.3 dB(A)	4.7 dB(A)	5.2 dB(A)	5.1%

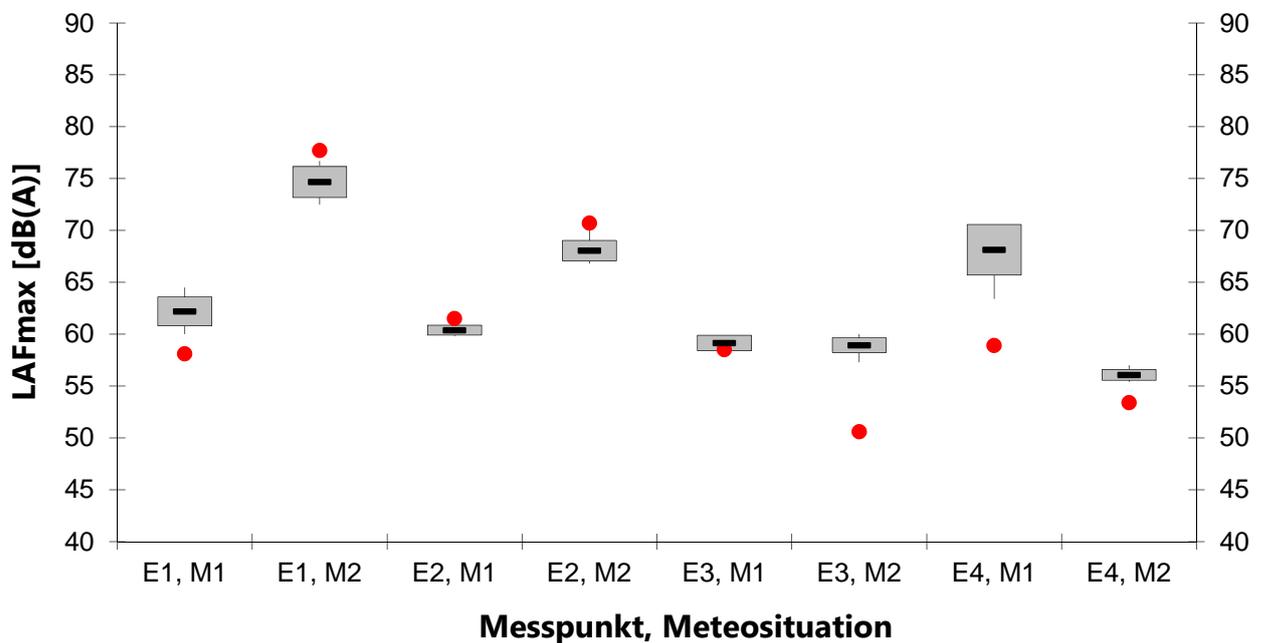
**Sion (Quelle: Stgw90)**

Abbildung 6: Vergleich Messung und Berechnung für Sion – Pro Bardy.

**5 St. Maurice 1999**

Der Schiessplatz Verolliey ist Teil des Waffenplatzes St. Maurice im Kanton Wallis. Die Empa hat im Sommer 1999 in Verolliey Lärmmessungen durchgeführt, welche im Empa-Bericht 740'132 dokumentiert sind. Kennzeichnend für die akustische Situation sind die starken Schallreflexionen an den Felswänden, welche sich hinter dem Zielraum befinden.

**5.1 Angaben zur Messung**

Datum, Uhrzeit: 1. Juli 1999, Nachmittag und 2. Juli 1999, Morgen

Wetter: 1. Juli 1999: sonnig, Nordwind mit 5 m/s

Situation 1

2. Juli 1999: sonnig, Südwind mit 3-5 m/s

Situation 2

(Windmesser beim 300m-Stand in 10 m Höhe)

Quelle(n): Mg51(GP11) (10-er Serien), Stgw90(GwPat90)

Messpunkte: Sechs Freifeldmesspunkte in 4 m Höhe.

Messgrösse:  $L_{AE}$

Bemerkungen: Die Pegel wurden teilweise durch Felsreflexionen dominiert.

**5.2 Angaben zur Simulation**

Modus: Basic + Meteo + Forest

Meteo: M1: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 350°, Temperatur: 18 °C, relative Feuchtigkeit: 45%

M2: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 140°, Temperatur: 18 °C, relative Feuchtigkeit: 45%

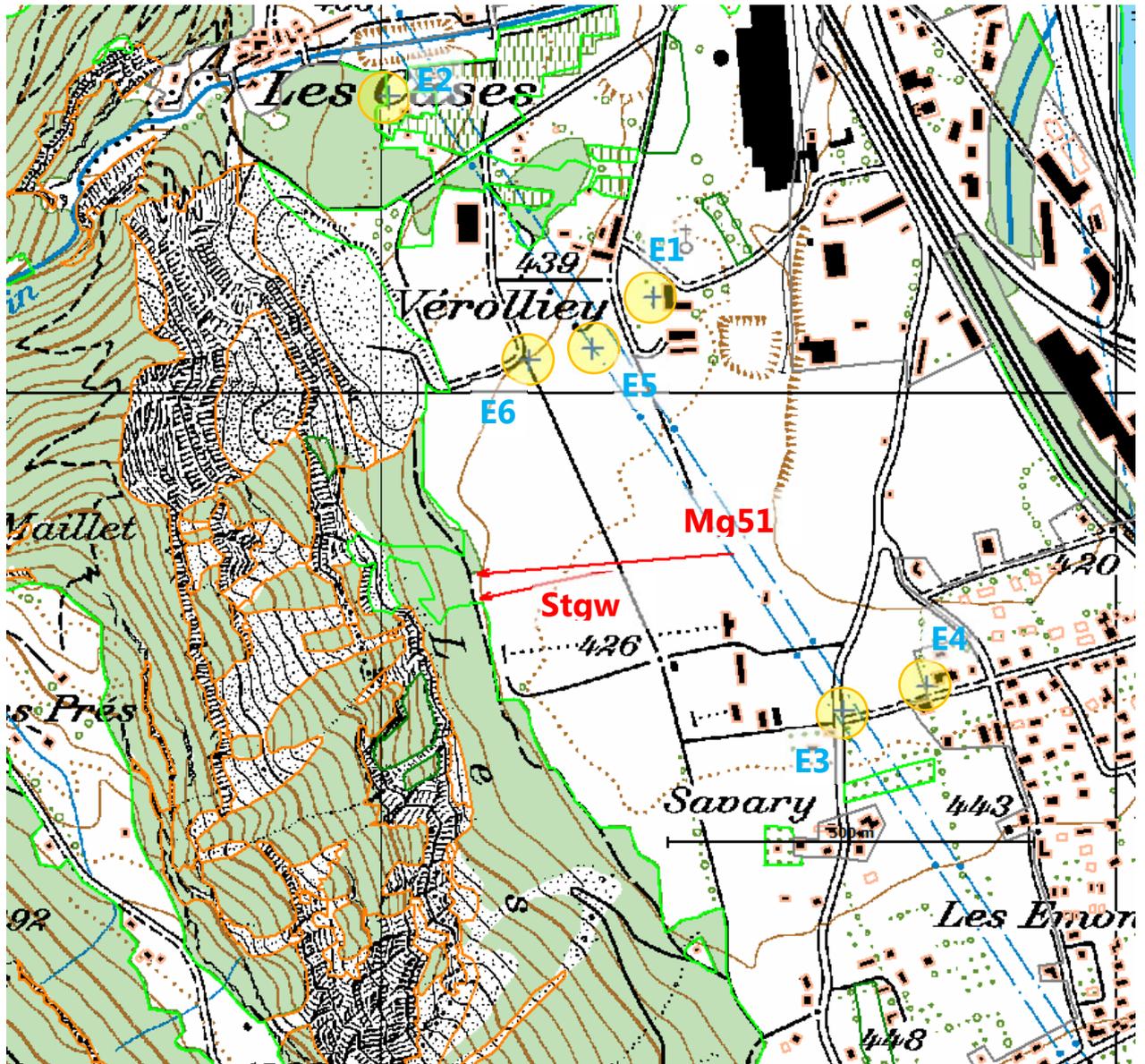


Abbildung 7: Übersichtskarte St. Maurice.

### 5.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Stgw90	0.2 dB(A)	3.8 dB(A)	3.8 dB(A)	3.1%
Mg51	3.2 dB(A)	5.7 dB(A)	6.6 dB(A)	7.8%

Kommentar:

- Bei den Schiessen mit Mg51 treten namentlich bei den Punkten mit Geschosknall (E2, E5 und E6) grosse Abweichungen zwischen Messung und Berechnung auf, welche nicht durch die Ausbreitungsbedingungen erklärt werden können.

### St. Maurice (Quelle: Stgw90)

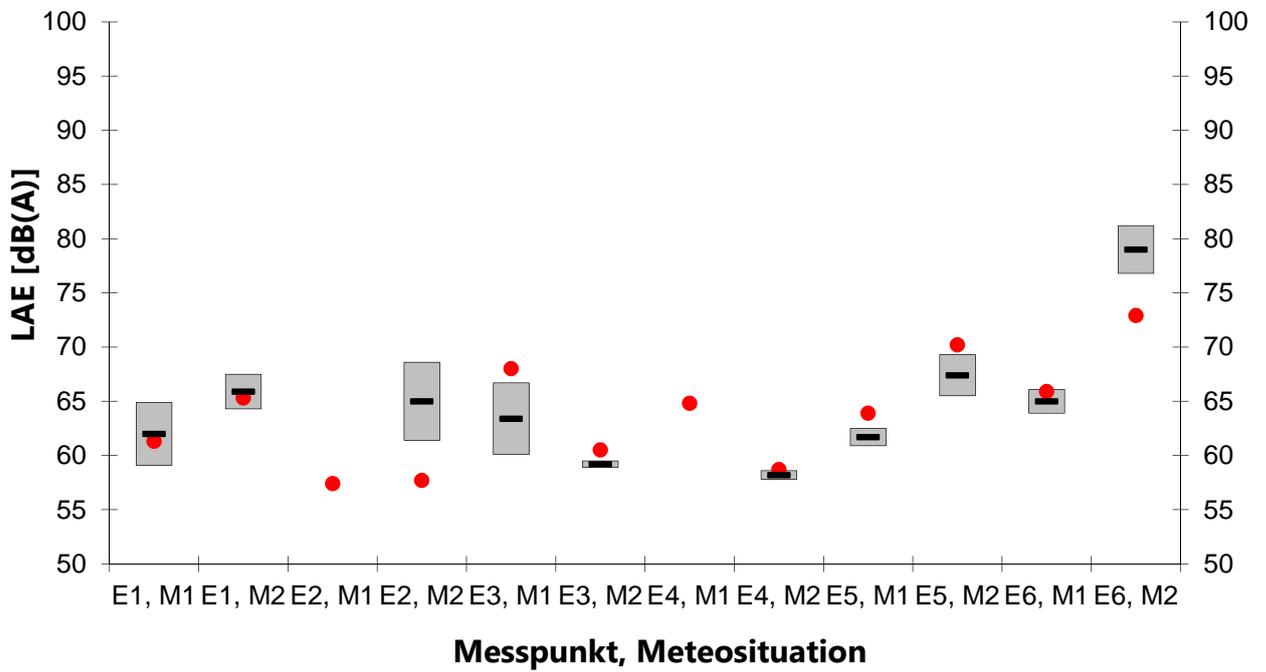


Abbildung 8: Vergleich Messung und Berechnung für St. Maurice, Schiessen mit Sturmgewehr.

### St. Maurice (Quelle: Mg51)

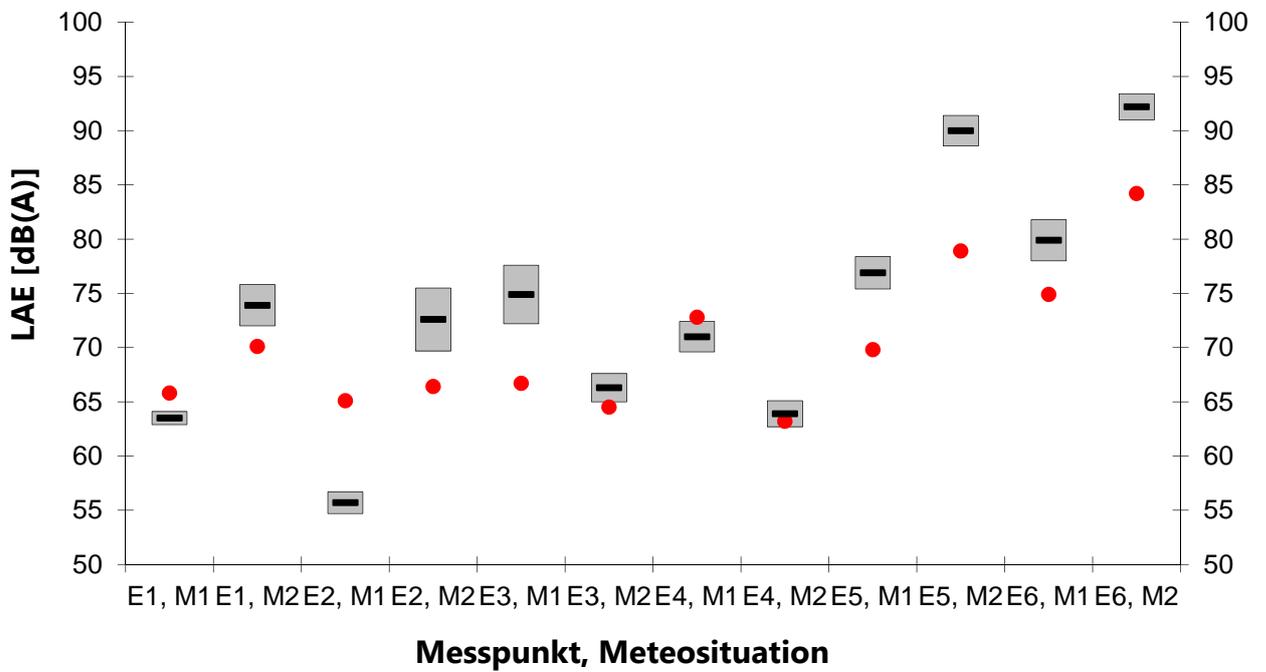


Abbildung 9: Vergleich Messung und Berechnung für St. Maurice, Schiessen mit Maschinengewehr.

## 6 Fontana 1999

Der Schiessplatz Fontana ist Teil des Waffenplatzes Airolo und befindet sich oberhalb von Airolo im Bedretto-Tal. Auf dem Schiessplatz Fontana wurden auf Vorschlag der Empa umfangreiche Schallschutzmassnahmen realisiert. Die Umsetzung und Wirksamkeit dieser Massnahmen wurde durch Messungen kontrolliert und im Empa-Bericht 740'514 dokumentiert.

### 6.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	7. September 1999, nachmittags (2 Serien) und 8. September 1999, vormittags
Wetter:	7. September 1999: Leicht bewölkt, Wind mit 0 – 2 m/s aus Südosten 8. September 1999: Klarer Himmel, Wind mit 0 – 2 m/s aus Südosten (Windmesser bei Stellung B mit 10 m Messhöhe)
Quelle(n):	Stgw90, aus 10 verschiedenen Positionen
Messpunkte:	Bei drei Gebäuden, im offenen Fenster
Messgrösse:	$L_{AE}$
Bemerkungen:	Die Pegel zwischen den Messtagen unterschieden sich nur geringfügig. Die Pegel wurden teilweise durch Wald- und Felsreflexionen bestimmt.

### 6.2 Angaben zur Simulation

Modus:	Basic + Meteo + Forest
Umsetzung:	Da das Wetter während den drei Messdurchführungen ähnlich war, wurde bei der Berechnung nur eine Wettersituation modelliert.
Meteo:	Meteoklasse: N1, Windrichtung: 80°, Temperatur: 14 °C, relative Feuchtigkeit: 70%
Speziell:	Relevante Schallpfade seitlich um Hindernisse. Wirkung der Massnahmen durch diffuse Reflexionen limitiert.

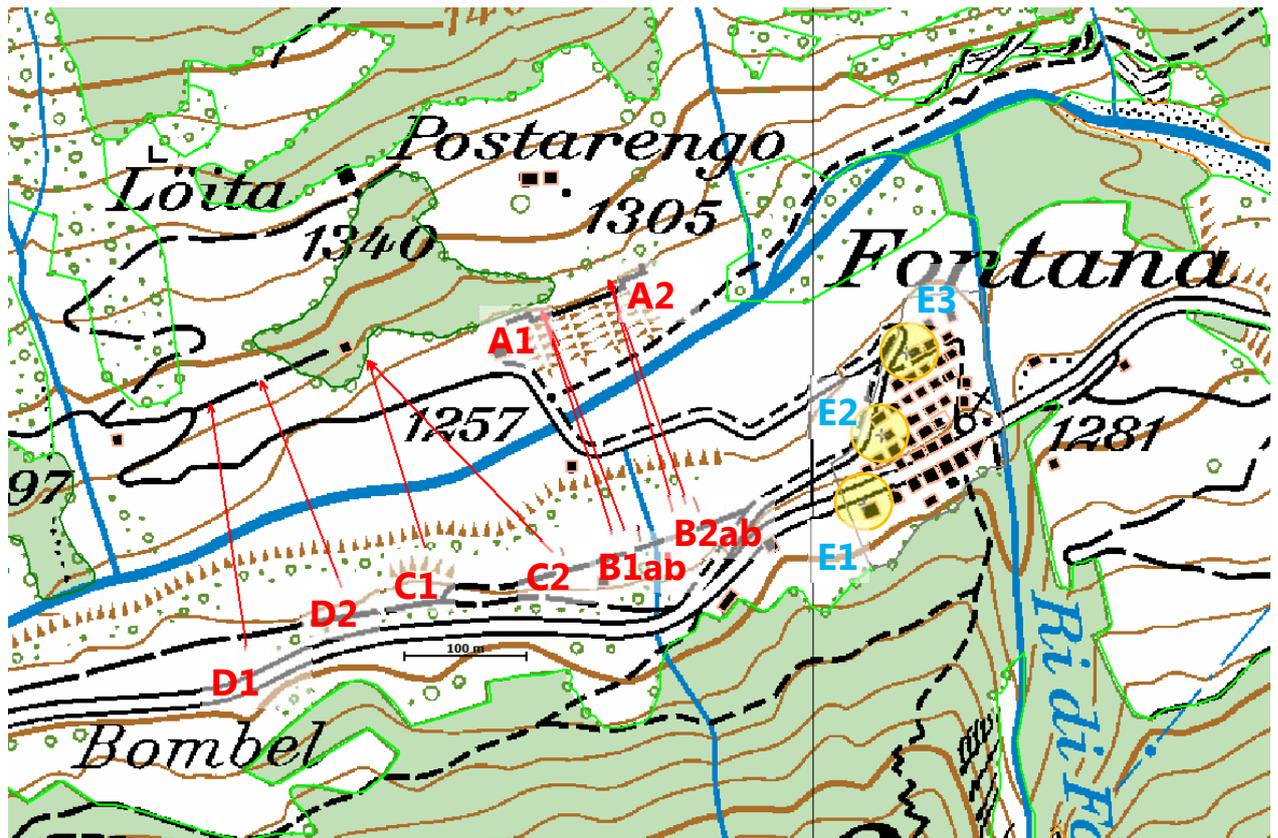


Abbildung 10: Übersichtskarte Fontana.

### 6.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Fontana E1	-0.5 dB(A)	3.4 dB(A)	3.4 dB(A)	3.6%
Fontana E2	-0.7 dB(A)	2.9 dB(A)	3.0 dB(A)	3.2%
Fontana E3	-0.9 dB(A)	3.2 dB(A)	3.3 dB(A)	4.0%

### Fontana, Messpunkt 1 (Quelle: Stgw90)

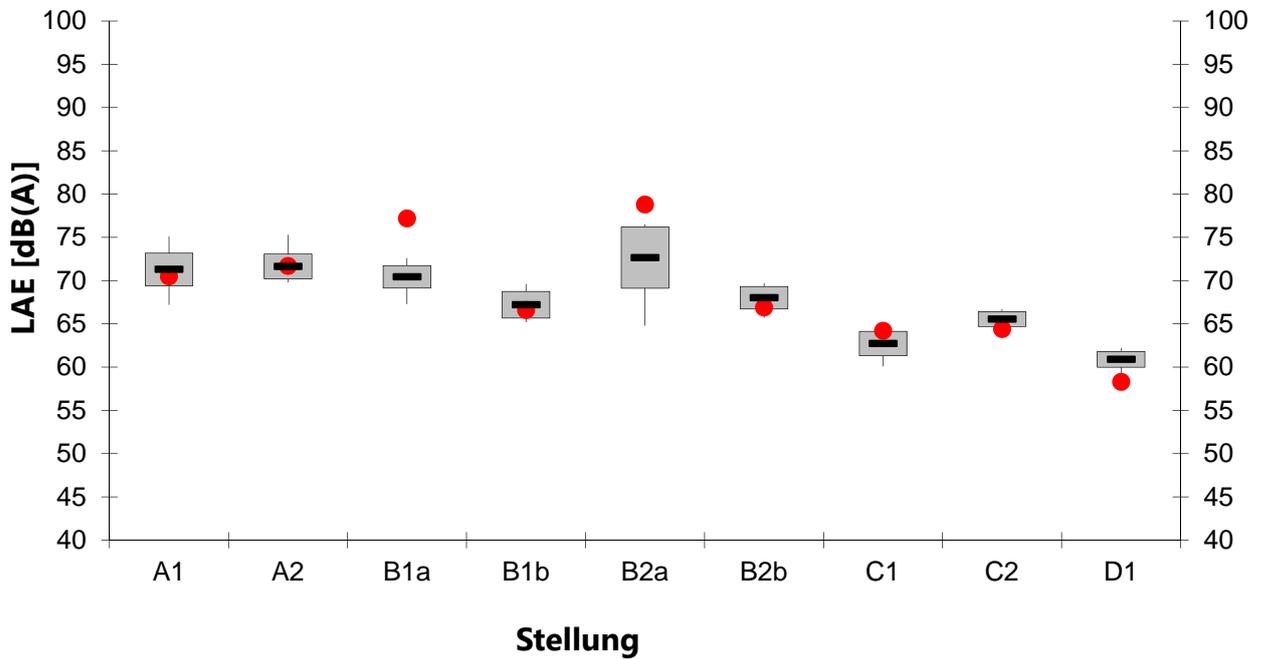


Abbildung 11: Vergleich Messung und Berechnung für Messpunkt 1 in Fontana.

### Fontana, Messpunkt 2 (Quelle: Stgw90)

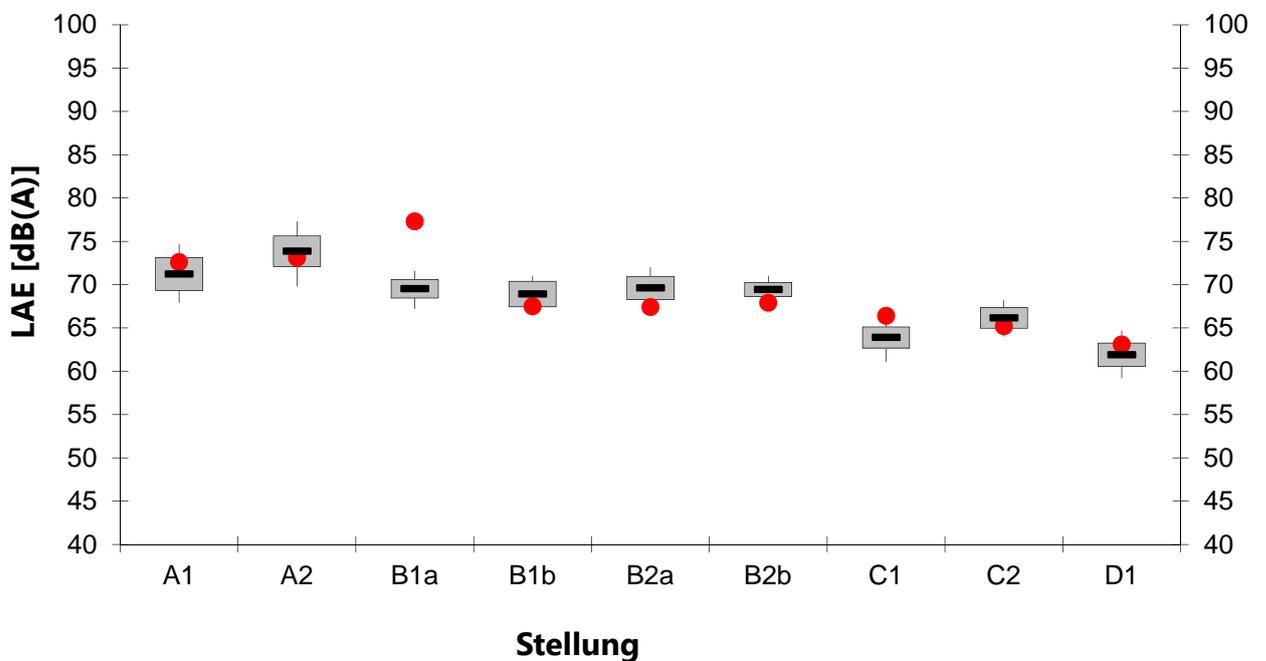


Abbildung 12: Vergleich Messung und Berechnung für Messpunkt 2 in Fontana.

## Fontana, Messpunkt 3 (Quelle: Stgw90)

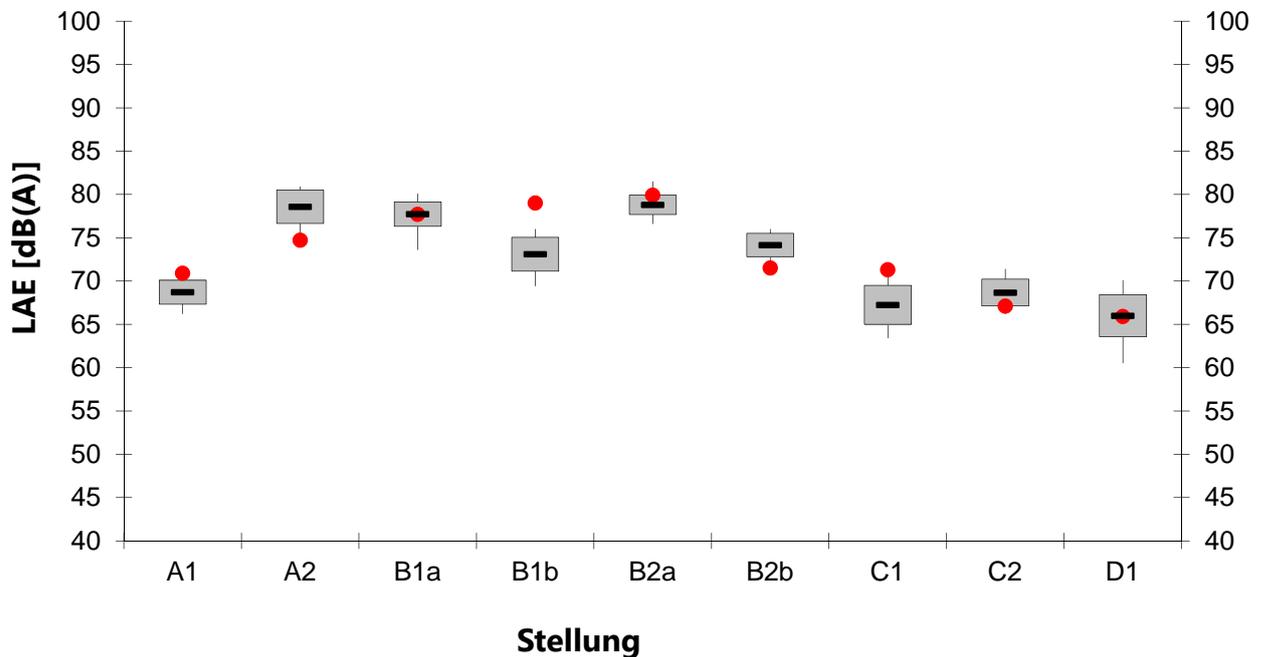


Abbildung 13: Vergleich Messung und Berechnung für Messpunkt 3 in Fontana.

## 7 Chésopelloz 2000

Der Schiessplatz Chésopelloz befindet sich nordwestlich von Freiburg in stark kupertem Gelände. Im Jahr 2000 wurden auf dem Schiessplatz durch die Empa Abteilung Akustik umfangreiche Messungen durchgeführt, welche im Empa-Bericht Nr. 410'354 dokumentiert sind.

### 7.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	28. März 2000, morgens und nachmittags (Serien A und B), 4. April 2000, morgens und nachmittags (Serien C und D)	
Wetter:	Serie A: Nachlassender Schneeregen, 5 °C, 2 m/s NNO Serie B: bewölkt, 5 °C, 4 m/s NNO, böig Serie C: sonnig, leicht bewölkt, 0 - 2 m/s N Serie D: sonnig, 1 - 3 m/s S (Windmesser beim 300m Stand mit 10 m Messhöhe)	Situation 1 Situation 2 Situation 3 Situation 4
Quelle(n):	Stgw90 aus 3 Positionen (Widerstandsnest TAA69 (S2), NGST Box 1 (S6), Nachtschiessposition (S8))	
Messpunkte:	Fünf Messpunkte im offenen Fenster von Gebäuden	
Messgrösse:	$L_{AFmax}$	
Bemerkungen:	Bei der ersten Messdurchführung wurde eine Serie weniger geschossen.	

## 7.2 Angaben zur Simulation

Modus: Basic + Meteo + Forest

Meteo: M1: Meteoklasse: N1, Windrichtung: 330°, Temperatur: 5 °C, relative Feuchtigkeit: 90%  
 M2: Meteoklasse: N2, Windrichtung: 15°, Temperatur: 5 °C, relative Feuchtigkeit: 70%  
 M3: Meteoklasse: N1, Windrichtung: 330°, Temperatur: 10 °C, relative Feuchtigkeit: 65%  
 M4: Meteoklasse: L1, Windrichtung: 225°, Temperatur: 14 °C, relative Feuchtigkeit: 50%

Speziell: Quellen befinden sich in einer Talmulde.

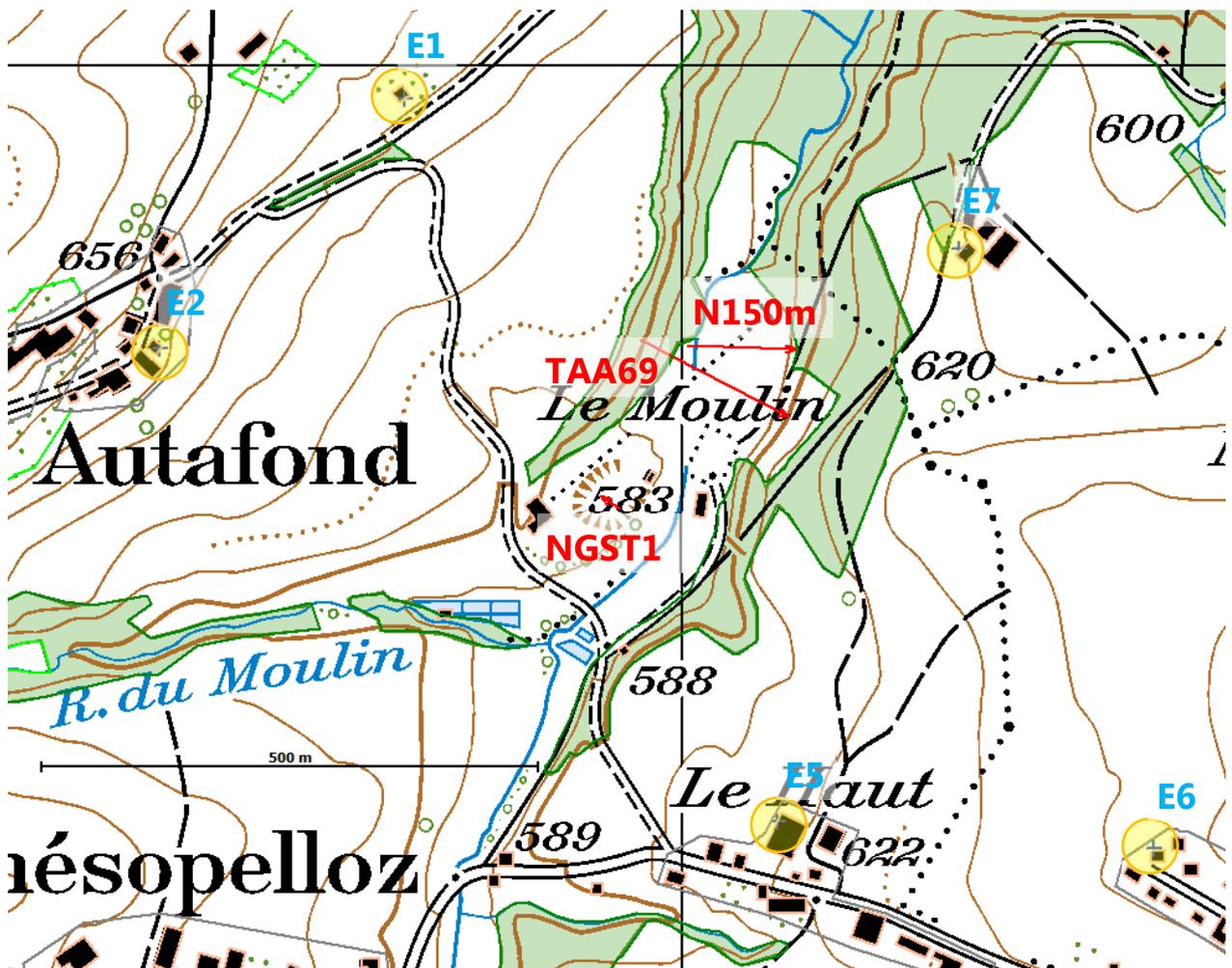


Abbildung 14: Übersichtskarte Fontana.

## 7.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standardabweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Serie A	1.1 dB(A)	4.0 dB(A)	4.1 dB(A)	4.7%
Serie B	1.2 dB(A)	4.1 dB(A)	4.2 dB(A)	4.7%
Serie C	1.3 dB(A)	3.4 dB(A)	3.7 dB(A)	4.0%
Serie D	2.5 dB(A)	3.7 dB(A)	4.4 dB(A)	4.8%

### Chésopelloz, Serie A (Quelle: Stgw90)

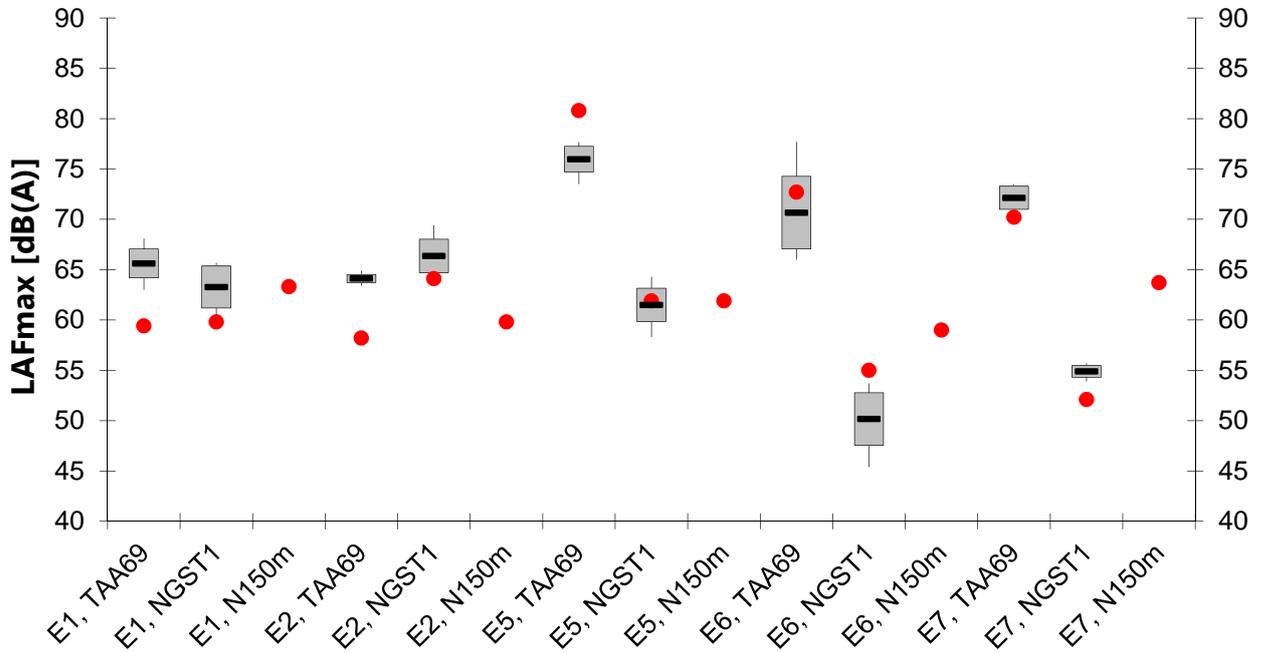


Abbildung 15: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie A.

### Chésopelloz, Serie B (Quelle: Stgw90)

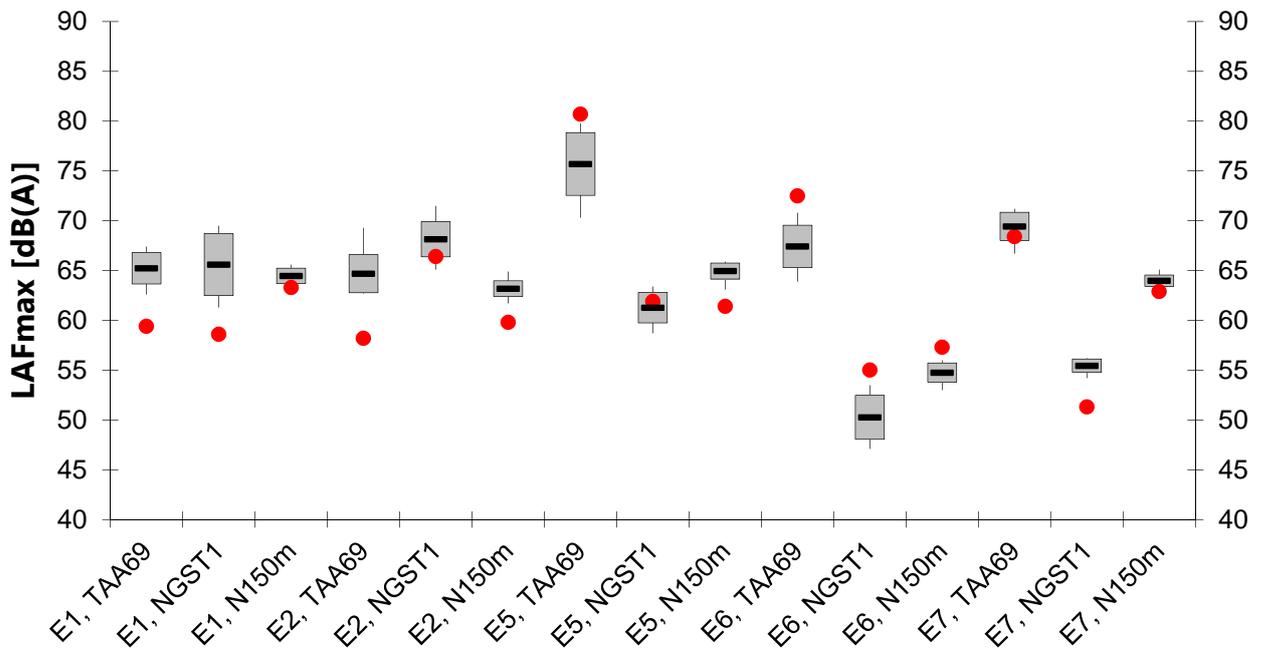


Abbildung 16: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie B.

### Chésopelloz, Serie C (Quelle: Stgw90)

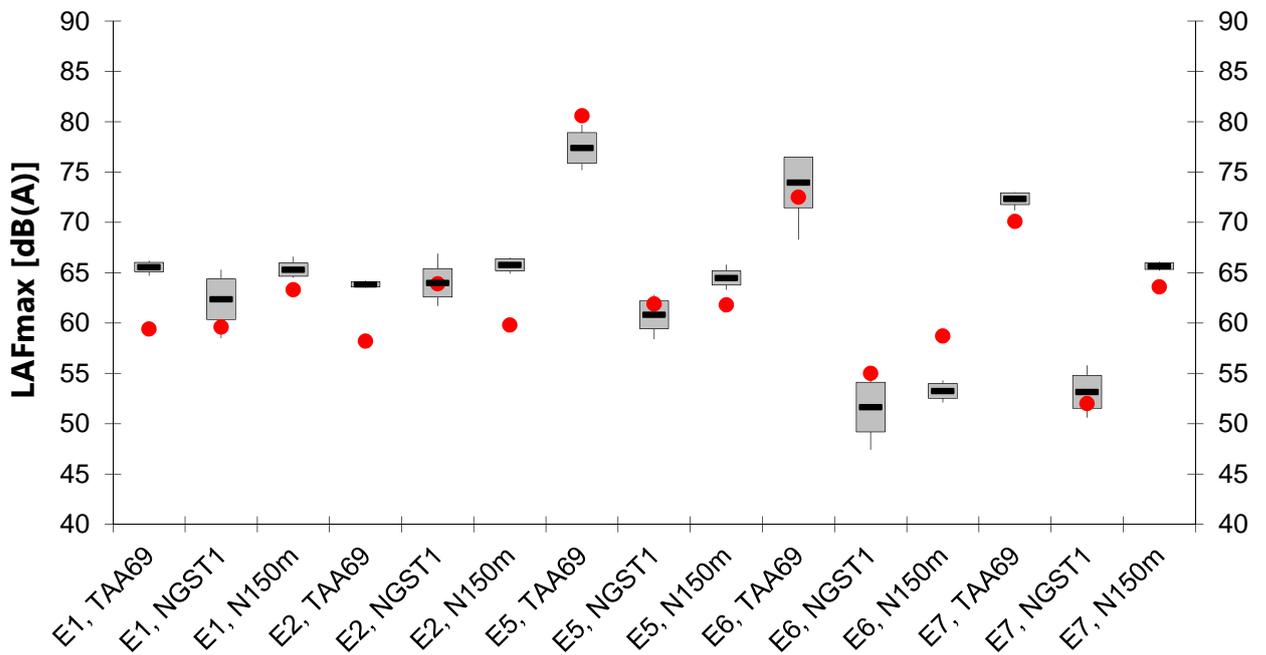


Abbildung 17: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie C.

### Chésopelloz, Serie D (Quelle: Stgw90)

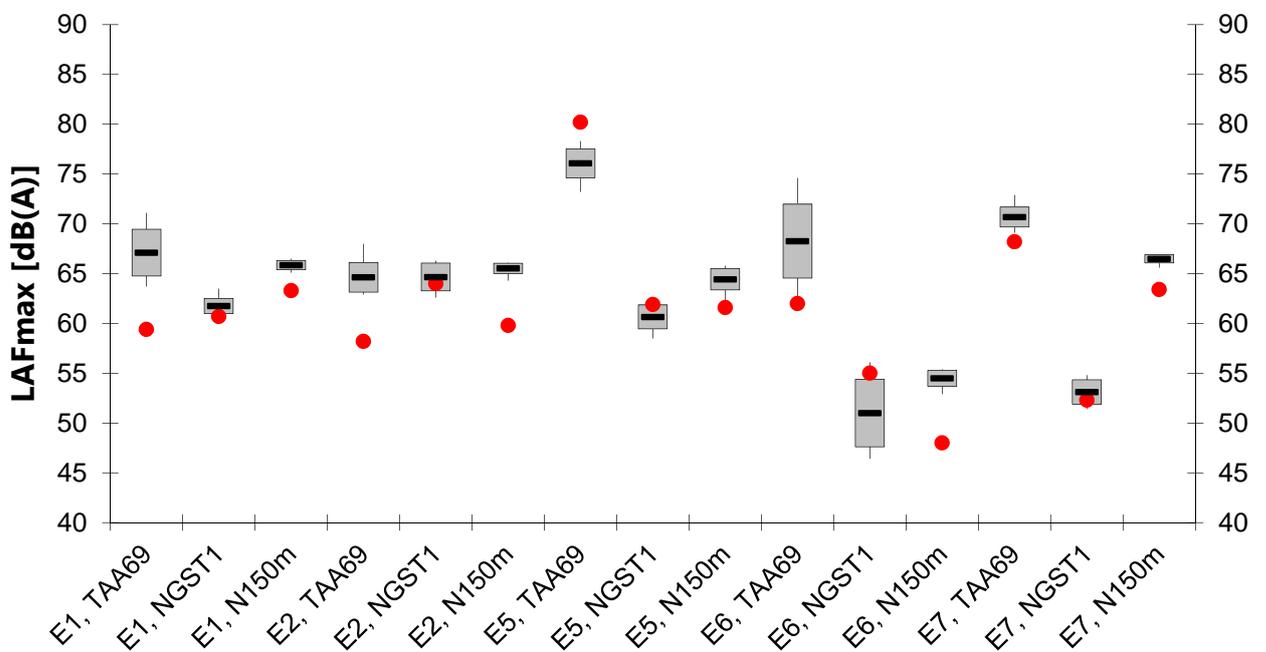


Abbildung 18: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie D.

## 8 Bure 2001

Der Waffenplatz Bure liegt nordwestlich von Porrentruy im Kanton Jura. Im Rahmen einer grösseren Untersuchung der Lärmbelastung auf dem Waffenplatz wurden im Mai 2001 Schiesslärmmessungen durchgeführt, welche im Empa-Bericht 415'232-2 dokumentiert sind. Die grossen Abstände zwischen den Quellen und Empfangspunkten und das leicht hügelige Gelände führen zu starken Wettereinflüssen auf die Schallausbreitung, welche den Platz für Vergleichsberechnungen attraktiv machen.

### 8.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	22. Mai (Na), 23. Mai (Mo), 29. Mai (Na) und 30. Mai (Mo) 2001 (4 Wiederholungen)	
Wetter:	22. Mai (Na): sonnig, NO 4 – 8 m/s	Situation 1
	23. Mai (Mo): sonnig, NO 2 – 5 m/s	Situation 2
	29. Mai (Na): sonnig, NW 2 – 6 m/s	Situation 3
	30. Mai (Mo): sonnig, NO 0 – 3 m/s	Situation 4
	(Windmesser am Rand des Waffenplatzes in Bure mit 10 m Messhöhe)	
Quelle(n):	EUHG85	
Messpunkte:	Drei Messpunkte im Freien auf 4 m Höhe	
Messgrösse:	$L_{AFmax}$	
Bemerkungen:	Ausbreitung über 1 – 2 km.	

### 8.2 Angaben zur Simulation

Modus:	Basic + Meteo
Umsetzung:	Temperatur und Feuchte waren nicht gemessen worden. Es wurden deshalb Standardwerte verwendet.
Meteo:	M1: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 60°, Temperatur: 15 °C, relative Feuchtigkeit: 65%
	M2: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 45°, Temperatur: 15 °C, relative Feuchtigkeit: 65%
	M3: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 280°, Temperatur: 15 °C, relative Feuchtigkeit: 65%
	M4: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 25°, Temperatur: 15 °C, relative Feuchtigkeit: 65%
Speziell:	Ausbreitung über grosse Distanzen

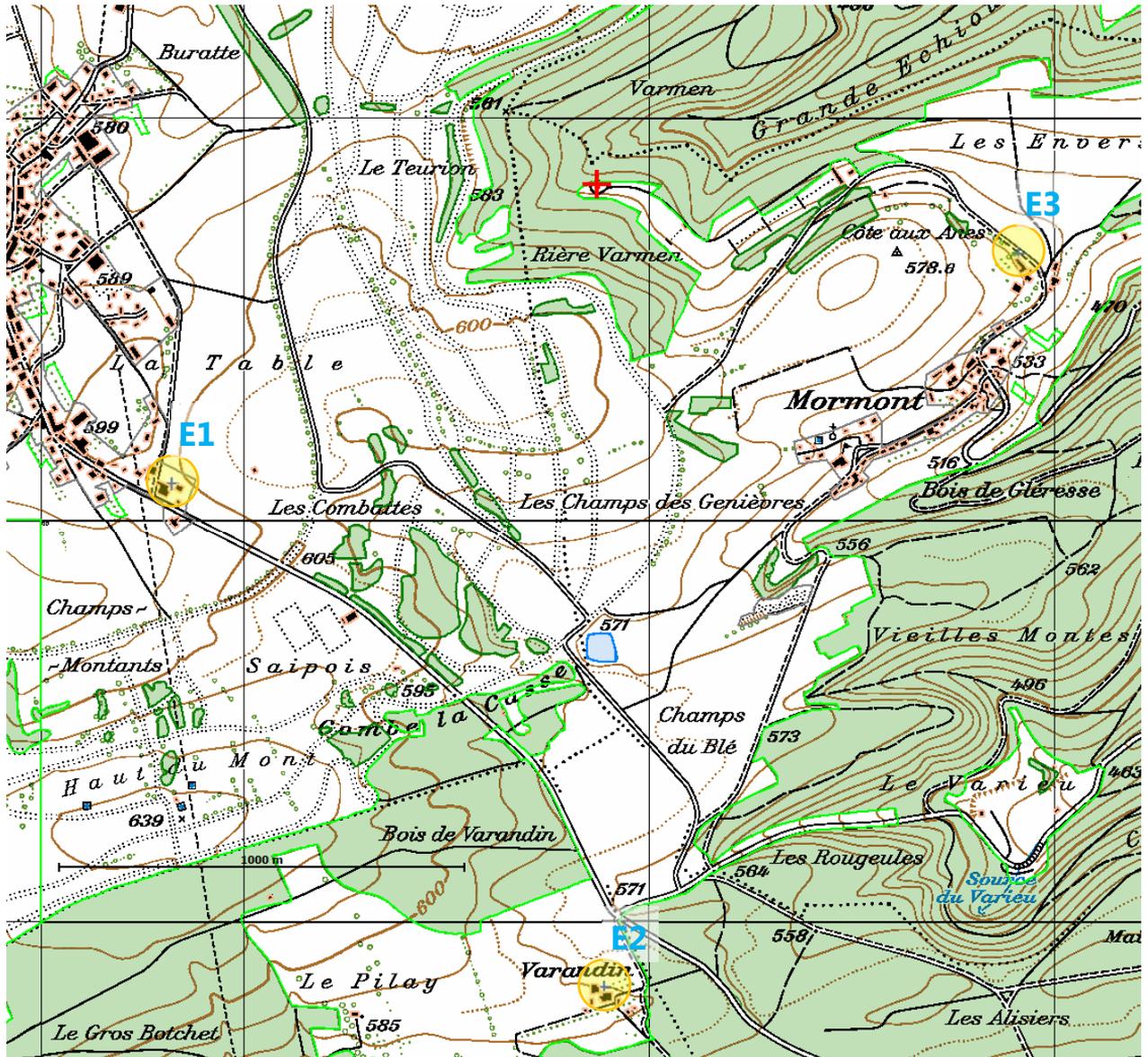


Abbildung 19: Übersichtskarte Bure. Der Quellenstandort ist mit einem roten Kreuz gekennzeichnet.

### 8.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
M1 – M4	-0.5 dB(A)	3.1 dB(A)	3.1 dB(A)	2.4%

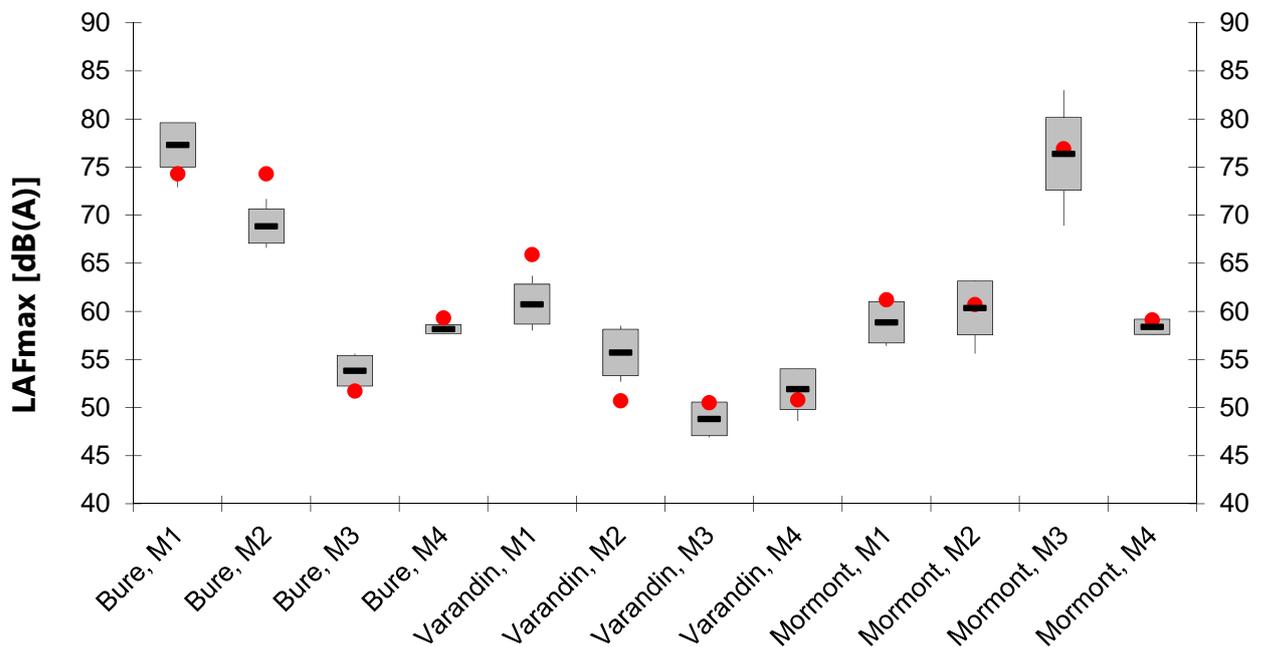
**Bure** (Quelle: EUHG85, Rièrè Varmen)

Abbildung 20: Vergleich Messung und Berechnung in Bure für drei Messpunkte und vier Meteorosituationen.

## 9 Thun 2002

Im Sommer / Herbst 2002 wurde auf der Thuner Allmend in Zusammenarbeit mit der armasuisse eine umfangreiche Messkampagne durchgeführt. U.a. wurden Sprengungen von 200 g TNT ab Stahlplatte an zwei Messketten mit Abständen bis zu 1 km erfasst, wobei eine Messkette teilweise über bewaldetes Gebiet verlief. Ziel dieser Anordnung war es, meteorologische Einflüsse auf die Schallausbreitung sowie Walddämpfung und -reflexionen zu studieren.

### 9.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit: 27. Juni (9:15 - 10:45) , 4. Juli (8:15 - 11:15), 31. Oktober (8:40 - 9:00)

Wetter: 27. Juni: kaum Wind, weitgehend wolkenfrei (starke Einstrahlung) Situation 1  
 4. Juli: Wind mit 2 - 4 m/s aus NNW, bewölkt Situation 2  
 31. Oktober: schwache Winde aus SSO, nächtliche Inversion in Auflösung, nur schwache Einstrahlung Situation 3  
 (Meteostation Reinhard mit Messhöhe 10 m beim Restaurant Tempel in Allmendingen, Ultraschallanemometer mit Messhöhe 4 m auf der Allmend bei Messpunkt R2)

Quelle(n): Sprengungen von 200 g TNT ab Stahlplatte

Messpunkte: Je vier Messpunkte in zwei Linien. Linie W führt über ein Waldstück, Linie R daran vorbei. Messhöhe war 4 m über Terrain.

Messgrösse:  $L_{AE}$

Bemerkungen: Waldreflexionen und Walddämpfung.

## 9.2 Angaben zur Simulation

Modus: Basic + Meteo + Forest

Meteo: M1: Meteoklasse: L0, Windrichtung: 0°, Temperatur: 22 °C, relative Feuchtigkeit: 47%  
 M2: Meteoklasse: N3, Windrichtung: 330°, Temperatur: 14 °C, relative Feuchtigkeit: 56%  
 M3: Meteoklasse: S2, Windrichtung: 135°, Temperatur: 10 °C, relative Feuchtigkeit: 55%

Speziell: Waldreflexionen und Walddämpfung

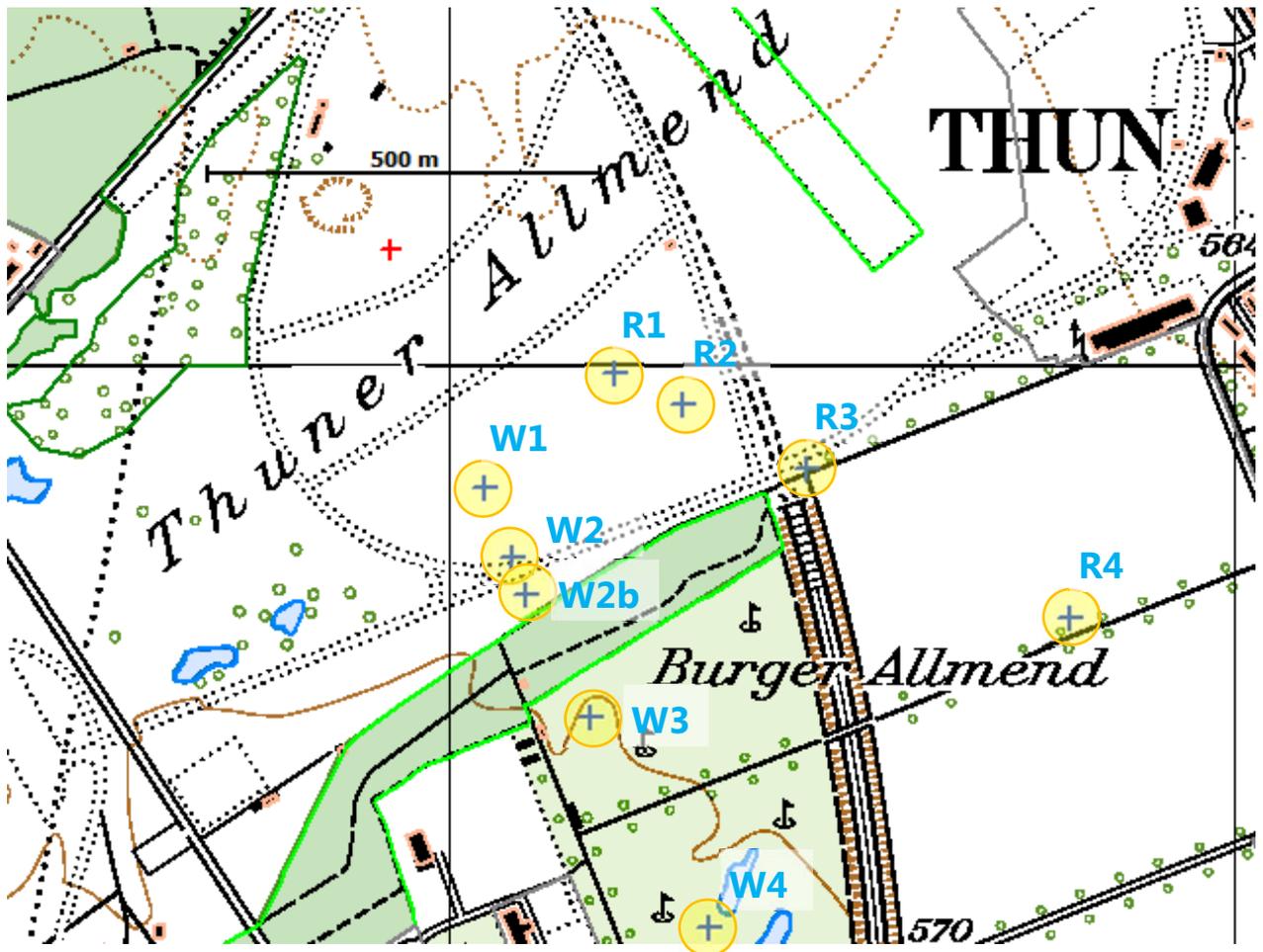


Abbildung 21: Übersichtskarte Thun.

## 9.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standardabweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Linie W	0.1 dB(A)	2.8 dB(A)	2.8 dB(A)	2.9%
Linie R	-0.3 dB(A)	4.0 dB(A)	4.0 dB(A)	4.3%

### Thun - Messlinie W (Quelle: 200 gr TNT ab Stahlplatte)

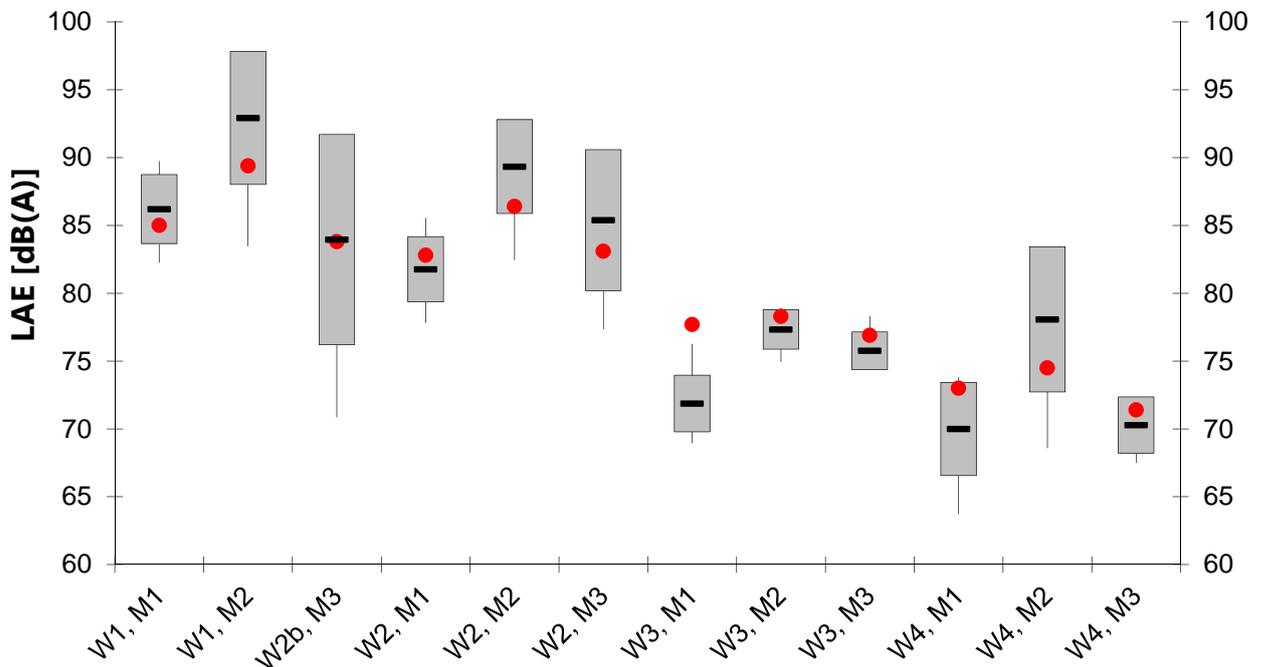


Abbildung 22: Vergleich Messung und Berechnung in Thun, Messlinie W.

### Thun - Messlinie R (Quelle: 200 gr TNT ab Stahlplatte)

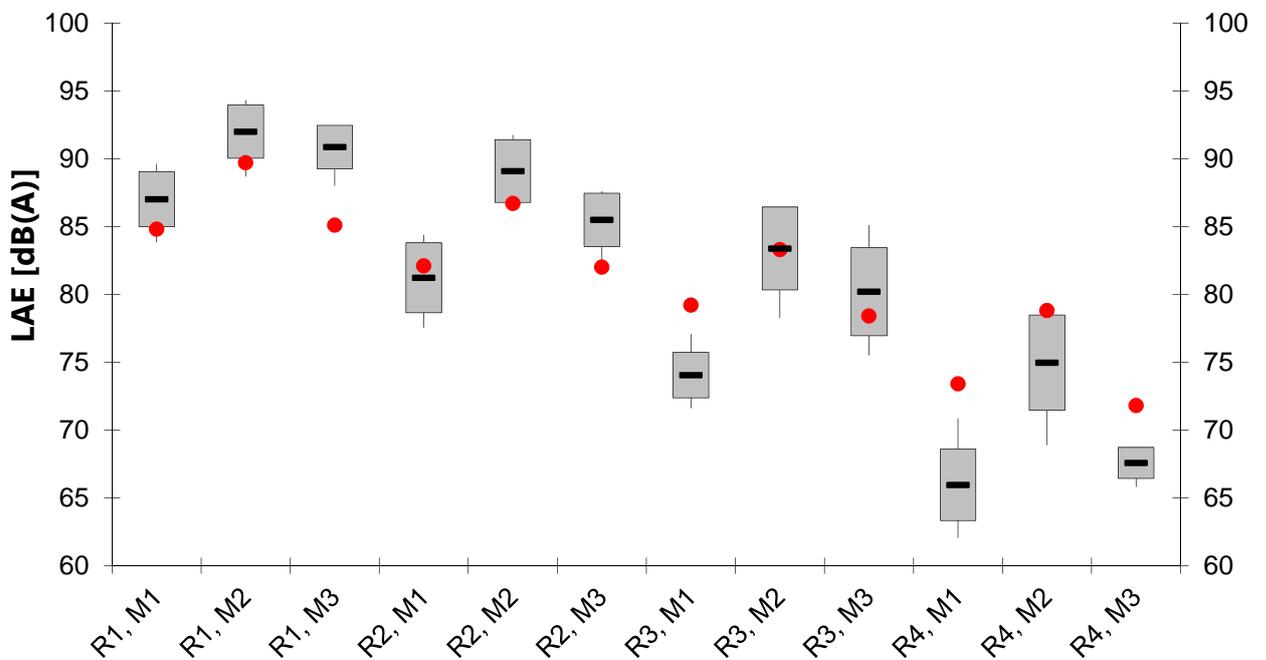


Abbildung 23: Vergleich Messung und Berechnung in Thun, Messlinie R.

## 10 Chur 2003

Im Jahr 2003 wurden auf dem Waffenplatz Chur umfangreiche Messungen durchgeführt, welche im Empa-Bericht 429'827 dokumentiert sind. Es wurden dabei vor allem die Immissionen der Mg64 ab Piranha Radschützenpanzer gemessen. Die Situation auf dem Waffenplatz Chur ist für Vergleichsberechnungen aus zwei Gründen interessant. Zum einen treten starke Reflexionen an den Felswänden des Zielgebietes Calanda auf. Zum anderen herrschen meist starke Winde vor, die als Folge des Aufeinandertreffens von drei Tälern komplexe Windverhältnisse hervorrufen.

### 10.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	8. Juli 2003 nachmittags, 16. September vormittags und nachmittags	
Wetter:	08.07.03 (Na): klarer Himmel, 4 - 5 m/s aus NNO	Situation 1
	16.09.03 (Vo): klarer Himmel, 0 – 2.5 m/s aus SSW	Situation 2
	16.09.03 (Na): klarer Himmel, ca. 3 m/s aus NNO (Meteostation Reinhard bei Messpunkt E1)	Situation 3
Quelle(n):	Radschützenpanzer mit 12.7mm MG(PzSprPat 93 Lsp) aus drei Schiesspositionen	
Messpunkte:	Drei Messpunkte im Freien auf 4 m Höhe	
Messgrösse:	L <sub>AE</sub>	
Bemerkungen:	Es konnten nicht alle Ereignisse bei allen Wetterlagen gemessen werden. Es wurden keine Einzelschüsse, sondern Salven geschossen. Die Angaben zur Standardabweichung bezieht sich deshalb auf einzelne Serien. Eine Angabe von Maximal- und Minimalpegeln pro Einzelschuss kann nicht gemacht werden.	

### 10.2 Angaben zur Simulation

Modus:	Basic + Meteo + Forest
Meteo:	M1: Meteoklasse: L4, Windrichtung: 75°, Temperatur: 26 °C, relative Feuchtigkeit: 35%
	M2: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 235°, Temperatur: 13 °C, relative Feuchtigkeit: 59%
	M3: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 75°, Temperatur: 22 °C, relative Feuchtigkeit: 38%
Speziell:	Starke Meteeffekte, Felsreflexionen von Mündungs- und Geschosknall.

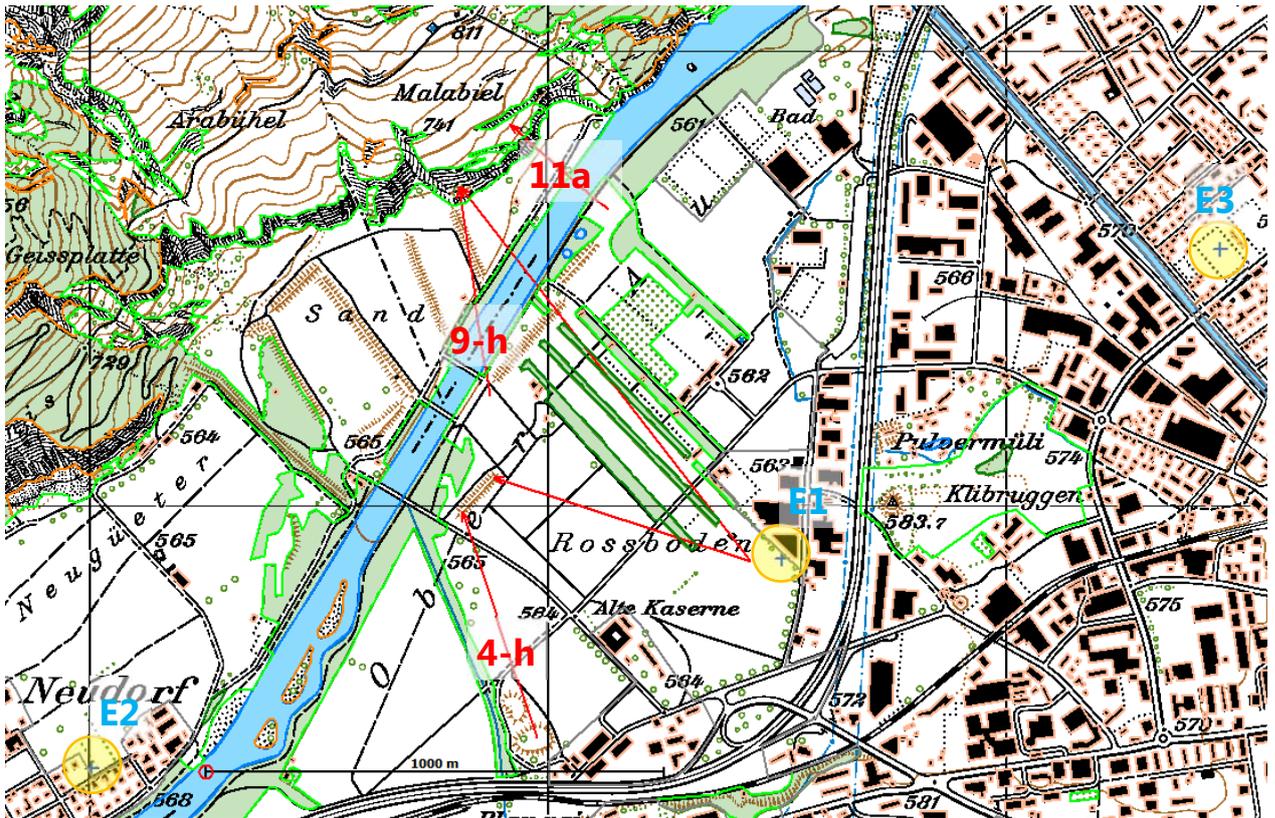


Abbildung 24: Übersichtskarte Chur.

### 10.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Serie A	1.9 dB(A)	5.6 dB(A)	6.0 dB(A)	5.3%
Serie B	5.3 dB(A)	2.1 dB(A)	5.7 dB(A)	7.5%
Serie C	2.1 dB(A)	6.3 dB(A)	6.7 dB(A)	5.7%

Kommentar:

- Bei Messpunkt E1 dominieren z.T. bei der Berechnung fälschlicherweise Waldreflexionen. Diese stammen von den nahe gelegenen Heckenstreifen, welche jedoch keinen echten Baumbestand aufweisen. Als Massnahme wurde mit Version 2.0.5 eine minimale Waldtiefe von 20 m eingeführt.

### Chur, Serie A (Quelle: Radschützenpanzer Mg64)

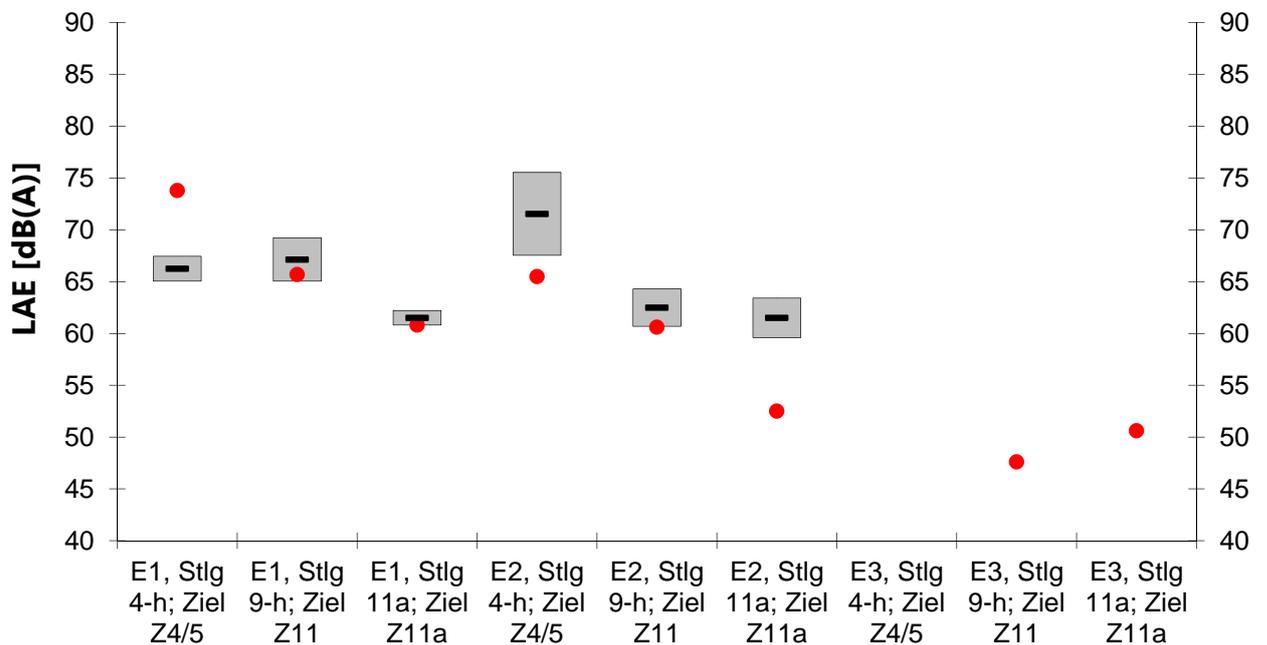


Abbildung 25: Vergleich Messung und Berechnung in Chur, Serie A.

### Chur, Serie B (Quelle: Radschützenpanzer Mg64)

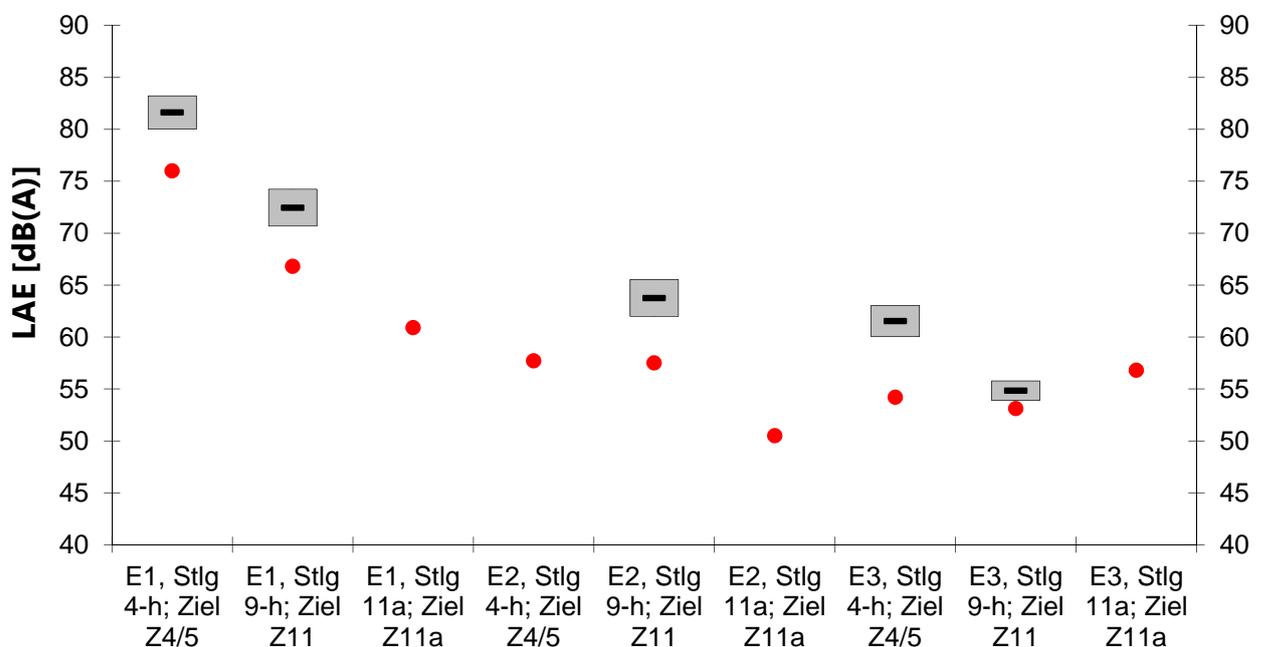


Abbildung 26: Vergleich Messung und Berechnung in Chur, Serie B.

### Chur, Serie C (Quelle: Radschützenpanzer Mg64)

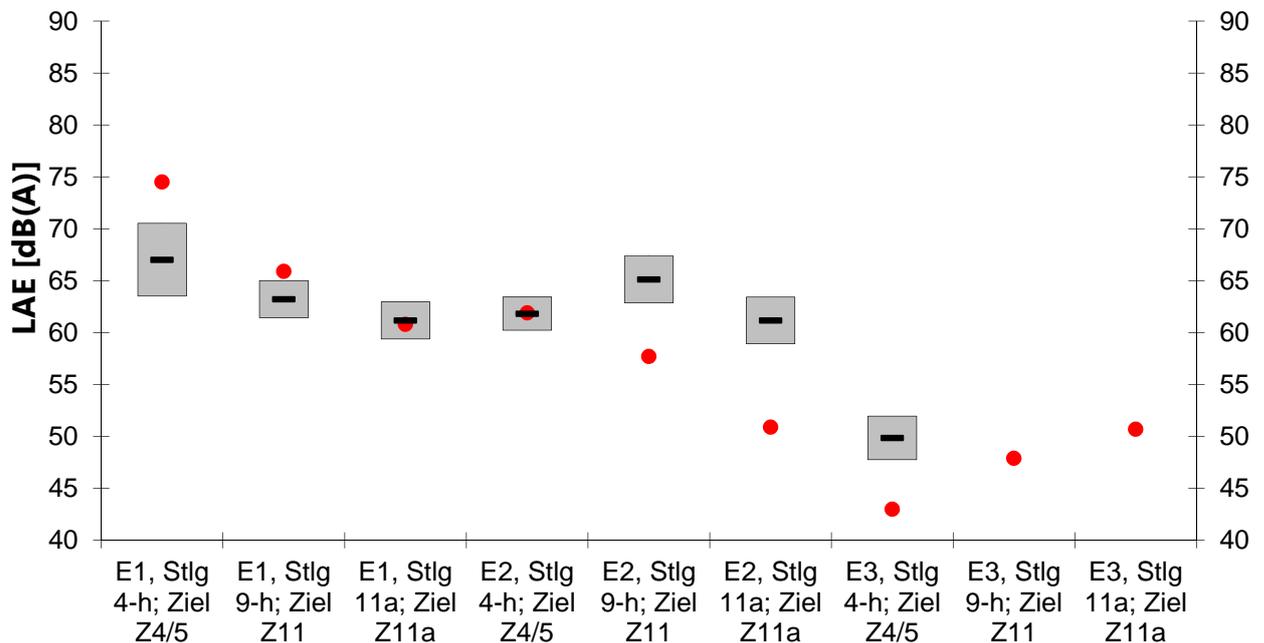


Abbildung 27: Vergleich Messung und Berechnung in Chur, Serie C.

## 11 Tegital 2009

Im Jahr 2009 wurden auf dem Schiessplatz Tegital, Waffenplatz Kloten-Bülach Kontrollmessungen bei einem benachbarten Empfangspunkt durchgeführt. Als Ereignisse wurden dabei Sturmgewehr-Schüsse aus vier Kurzdistanzboxen gemessen. Die Messungen sind im Empa-Bericht 442'349 dokumentiert.

### 11.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit: 3. August 2009 nachmittags  
 Wetter: bewölkt, teilweise Nieselregen, rund 16°C, 85% relative Luftfeuchtigkeit, ca. 1 m/s, Gegen- bis Seitenwind  
 (Wind erfasst auf dem freien Feld vor dem Gebäude mit einem Handwindmesser)  
 Quelle(n): Stgw90, stehend, Distanz zum Ziel 30 m, 4 Schiesspositionen  
 Messpunkte: Ein Messpunkt auf dem geschlossenen Fenster im 1. Stock  
 Messgrösse:  $L_{AFmax}$   
 Bemerkungen: Die Messwerte auf dem geschlossenen Fenster wurden gemäss BUWAL-Mitteilung zur Lärmschutzverordnung Nr. 7 aus dem Jahre 1995 mit einer Korrektur von -5 dB(A) auf Werte im offenen Fenster umgerechnet.

### 11.2 Angaben zur Simulation

Modus: Basic + Meteo + Forest  
 Meteo: Meteoklasse: L1, Windrichtung: 300°, Temperatur: 16 °C, relative Feuchtigkeit: 85%

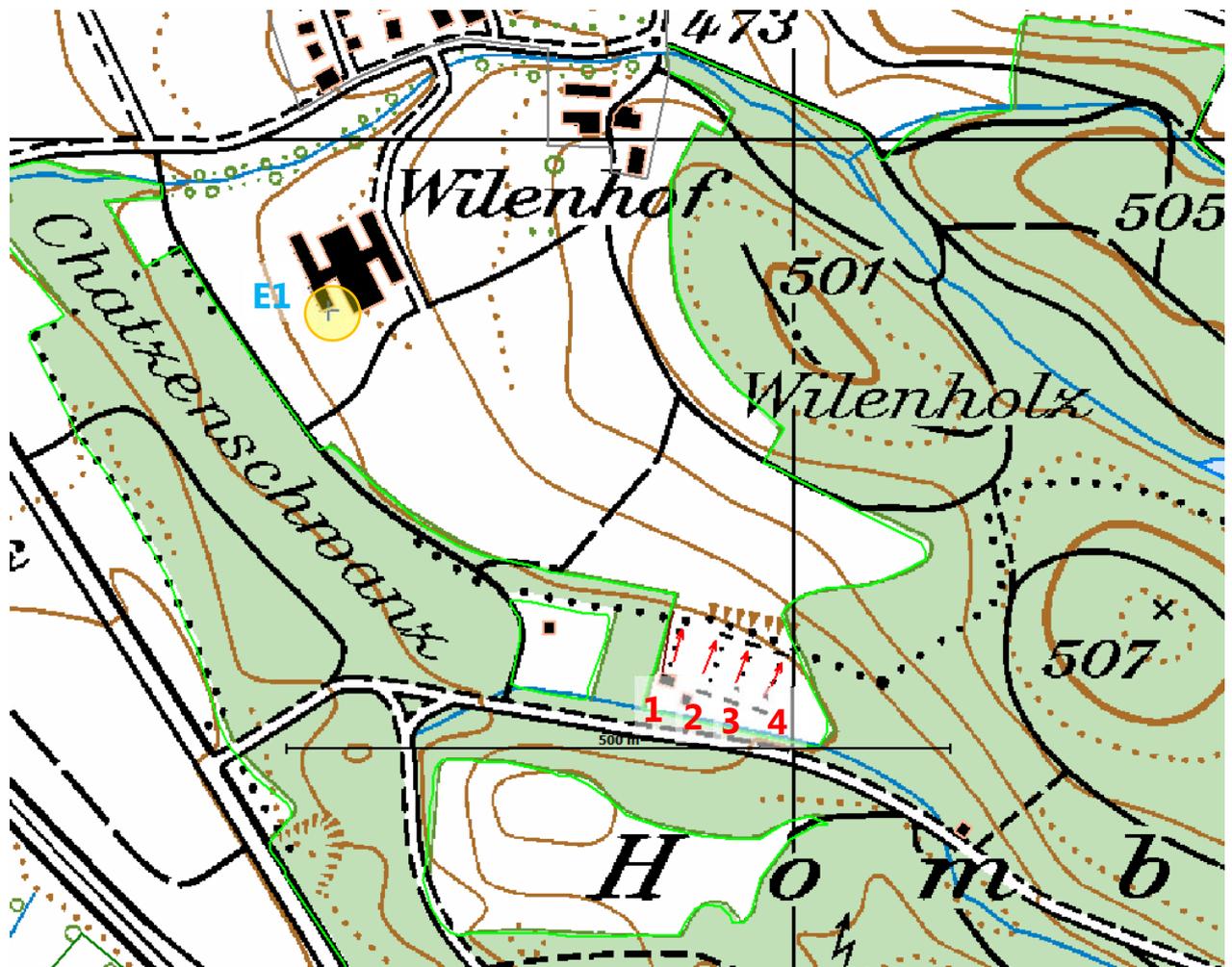


Abbildung 28: Übersichtskarte Tegital.

### 11.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
-	-0.4 dB(A)	1.5 dB(A)	1.5 dB(A)	1.3%

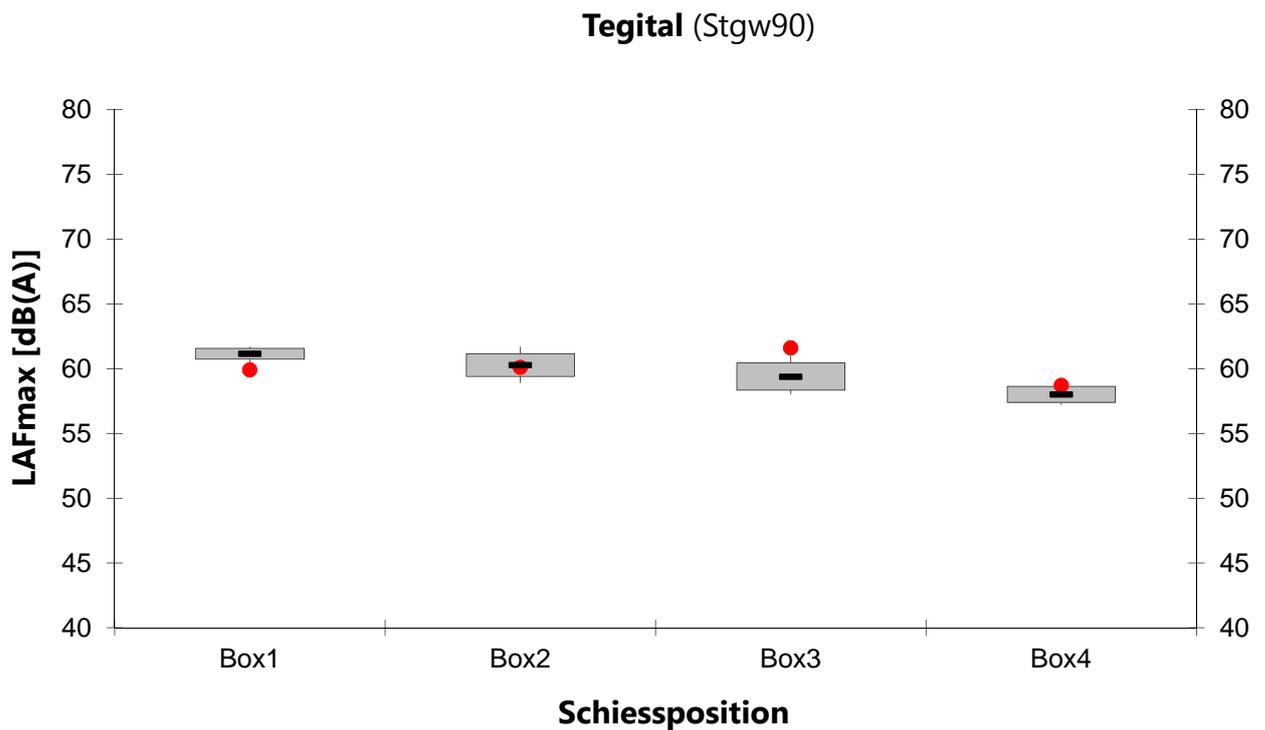


Abbildung 29: Vergleich Messung und Berechnung in Tegital.

## 12 Torre und Olivone 2011

In Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Bonalumi und Ferrari wurden im Jahr 2011 im Bleniotal Schiesslärmmessungen bei zwei Ortschaften, Torre und Olivone durchgeführt. Die Messungen fanden am Morgen des 11. Mai 2011 bei sonnigem, mehrheitlich windstillem Wetter statt. In der 300m-Schiessanlage von Torre wurden zwei Quellen gemessen, Stgw90 und Stgw57, beide durch einen Schiessstunnel geschossen. Es wurden jeweils Serien à 8 Schuss abgefeuert. Das Messprogramm wurde zwei Mal wiederholt, wobei jeweils Messungen an 3 Empfangspunkten durchgeführt wurden. Die Messungen in Olivone fanden direkt im Anschluss an die Messungen in Torre statt. Es wurden dabei 3 Messpunkte und 12 verschiedene Quellen erfasst. Die deutlich grössere Anzahl verschiedener Ereignisse ist darauf zurück zu führen, dass die Schiessanlage in Olivone neben einem 300m-Stand und einem Pistolenstand mit 25 und 50 m Distanz zusätzlich über einen Jagdstand mit 150m Schussdistanz sowie über einen 30m-Flintenstand und eine Tontauben-Schiessanlage verfügt. Wiederum wurden jeweils Serien à 8 Schuss abgefeuert. Gesamthaft wurden 12 Serien geschossen, wobei beim 300m-Stand als mögliche Schallschutzmassnahme auch 2 Serien mit Schiessstunnels durchgeführt wurden.

### 12.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit: 11. Mai 2011 vormittags

Wetter: keine Messung – nur Beobachtung

Quelle(n): Sturmgewehre mit und ohne Schallschutztunnel, Gross- und Kleinkaliberpistolen, Jagdgewehre und Schrotflinten

Torre: zwei Quellen

Olivone: 12 Quellen

Messpunkte:	Torre: Sieben Messpunkte in Gebäuden. Olivone: Drei Messpunkte in Gebäuden.
Messgrösse:	$L_{AFmax}$
Bemerkungen:	Die Messpunkte wiesen z.T. Gebäudeseitige Abschirmungen auf, entweder aufgrund dicker Mauern und kleine Fenster (Rusticci) durch die Fassade selbst oder durch andere Gebäudeteile (ein Messpunkt lag z.B. in einem Innenhof). Die Messpegel wurden z.T. durch Waldreflexionen bestimmt.

## **12.2 Angaben zur Simulation**

Modus:	Basic + Forest
Meteo:	Torre: Meteoklasse: L0, Windrichtung: 0°, Temperatur: 15 °C, relative Feuchtigkeit: 63% Olivone: Meteoklasse: L0, Windrichtung: 0°, Temperatur: 15 °C, relative Feuchtigkeit: 63%
Umsetzung:	Für die Gross- und Kleinkaliberpistolen, Jagdgewehre und Schrotflinten wurden Klassenmittelwerte verwendet.
Speziell:	Stark strukturiertes Gelände und Gebäudeabschirmungen. Waldreflexionen von Mündungs- und Geschossknall.

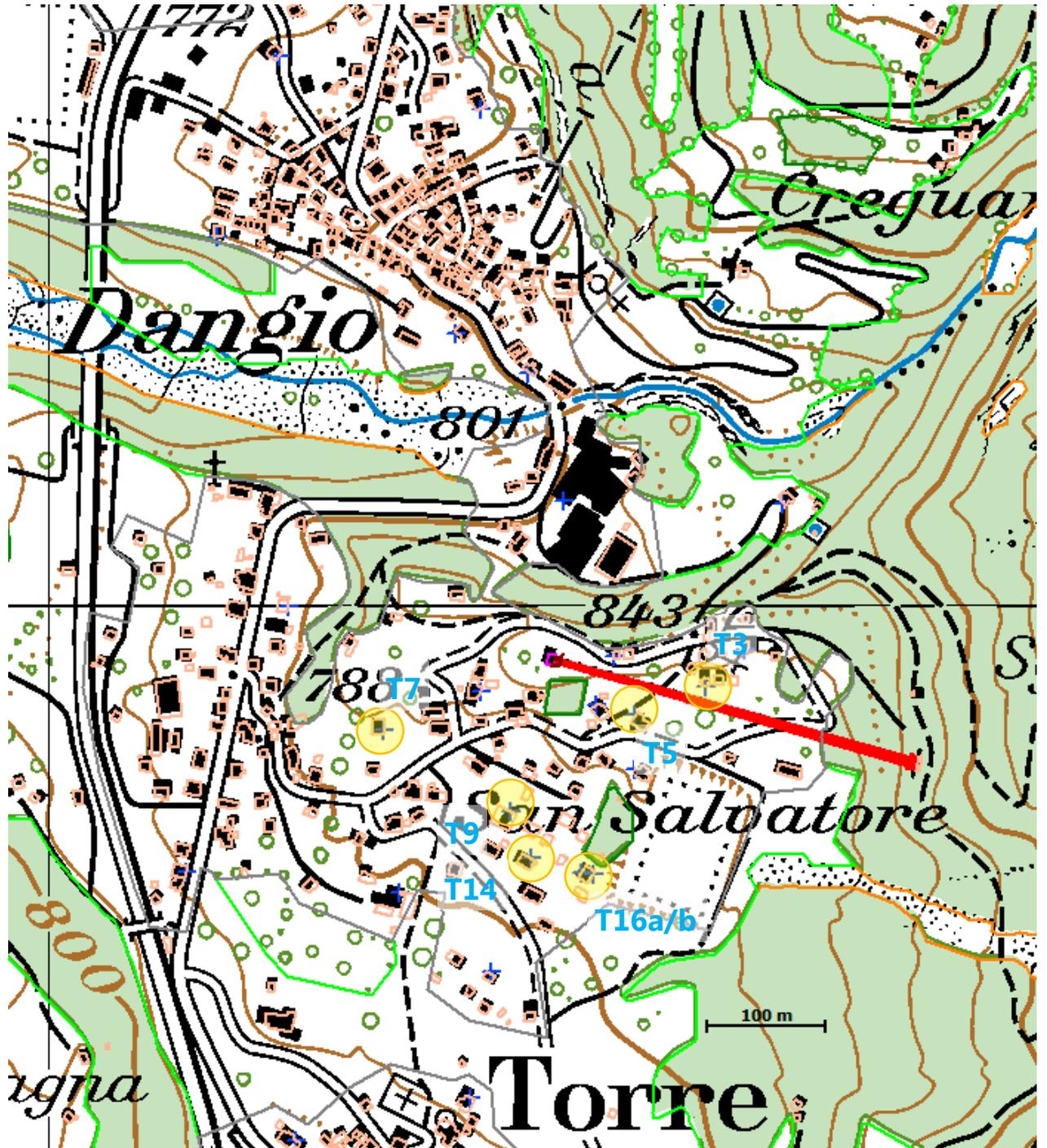


Abbildung 30: Übersichtskarte Torre.

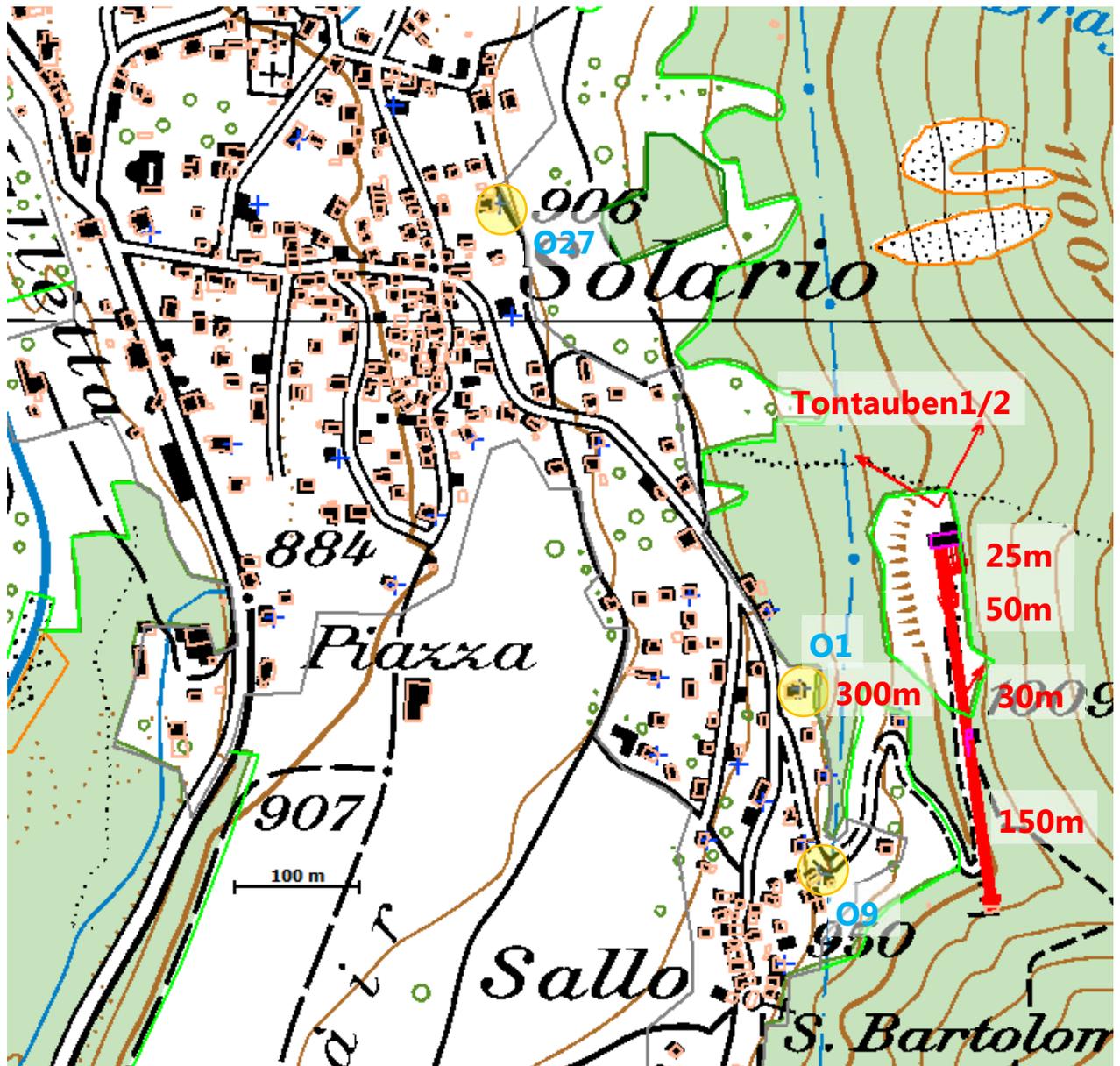


Abbildung 31: Übersichtskarte Olivone.

### 12.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Torre	0.2 dB(A)	6.5 dB(A)	6.5 dB(A)	8.6%
Olivone O1	-2.8 dB(A)	4.2 dB(A)	5.1 dB(A)	5.5%
Olivone O9	-4.7 dB(A)	3.2 dB(A)	5.6 dB(A)	6.7%
Olivone O27	0.4 dB(A)	6.2 dB(A)	6.2 dB(A)	6.7%

## Kommentar:

- Grössere Abweichungen sind teilweise auf gebäudeseitige Einflüsse zurück zu führen, die im Modell nicht abgebildet werden können
- Die Klassenmittelwerte Gross- und Kleinkaliberpistolen, Jagdgewehre und Schrotflinten weisen im Vergleich zu bekannten Einzelwaffen eine zusätzliche Unsicherheit bei den Emissionen auf
- Dies gilt auch für die Wirkung der Schiesstunnels welche ebenfalls eine grössere quellenseitige Unsicherheit zur Folge haben
- Die Prognose des Maximalpegels aufgrund von Waldreflexionen ist speziell anspruchsvoll.

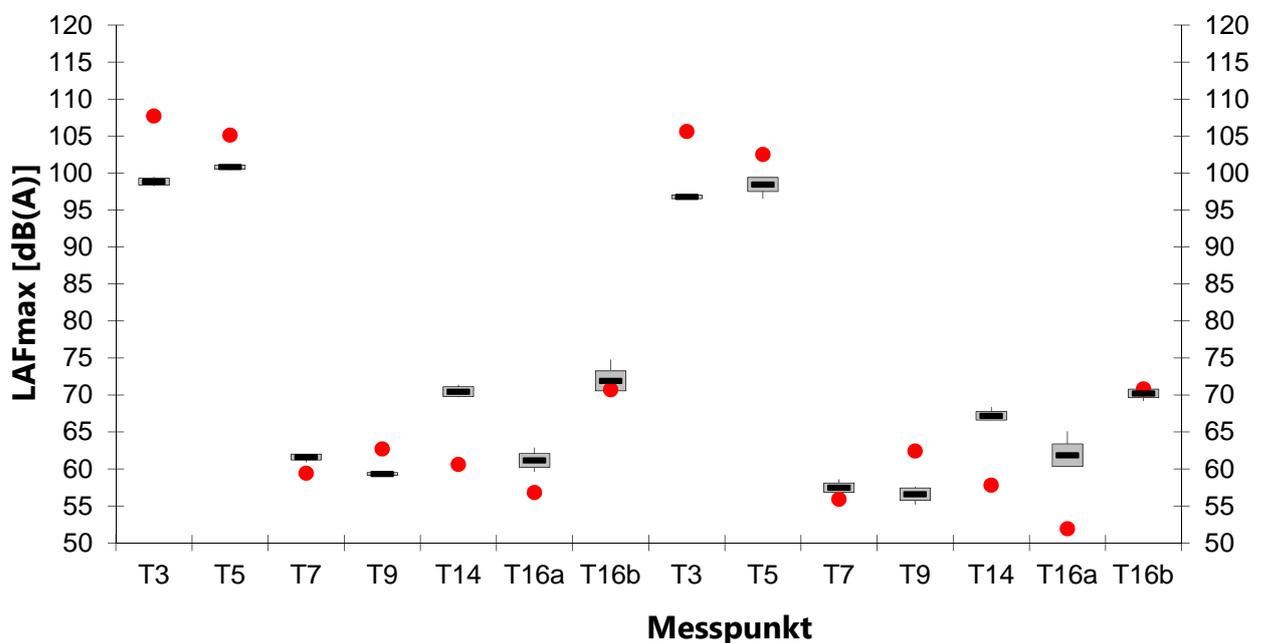
**Torre (300m Stgw57 und Stgw90 mit Schallschutztunnel)**

Abbildung 32: Vergleich Messung und Berechnung in Torre.

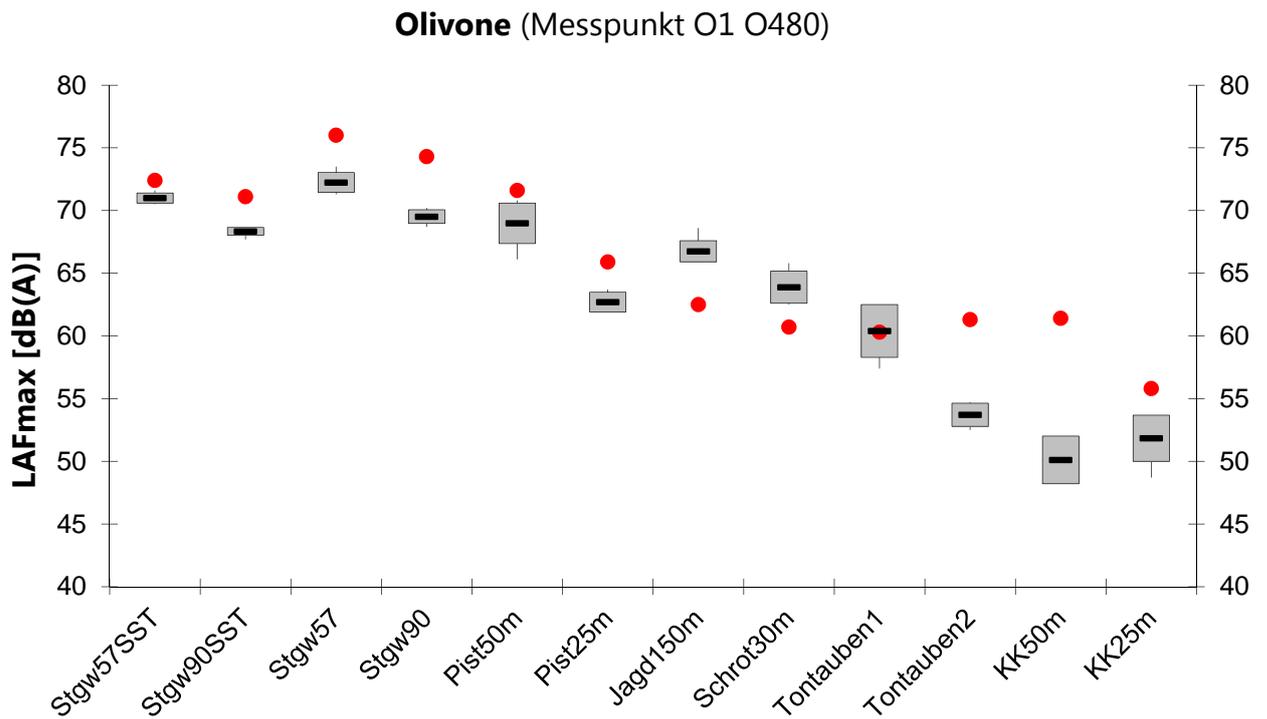


Abbildung 33: Vergleich Messung und Berechnung in Olivone, Messpunkt O1.

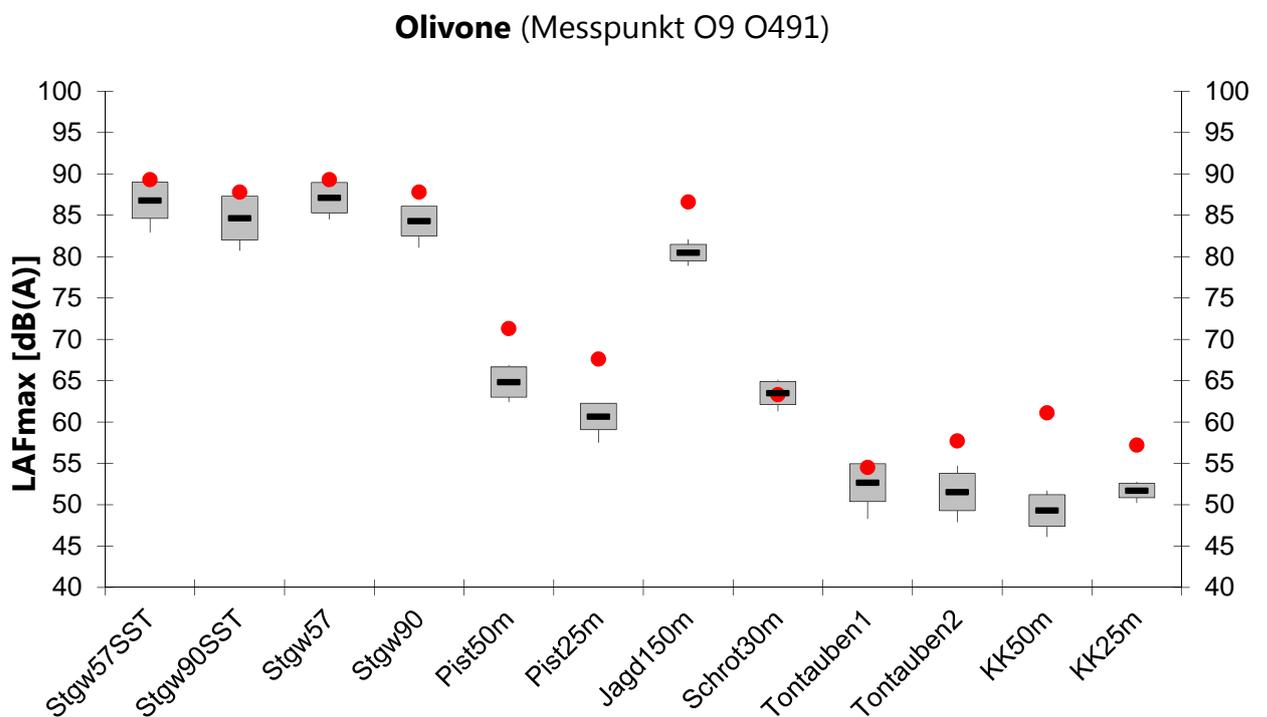


Abbildung 34: Vergleich Messung und Berechnung in Olivone, Messpunkt O9.

### Olivone (Messpunkt O27 O224)

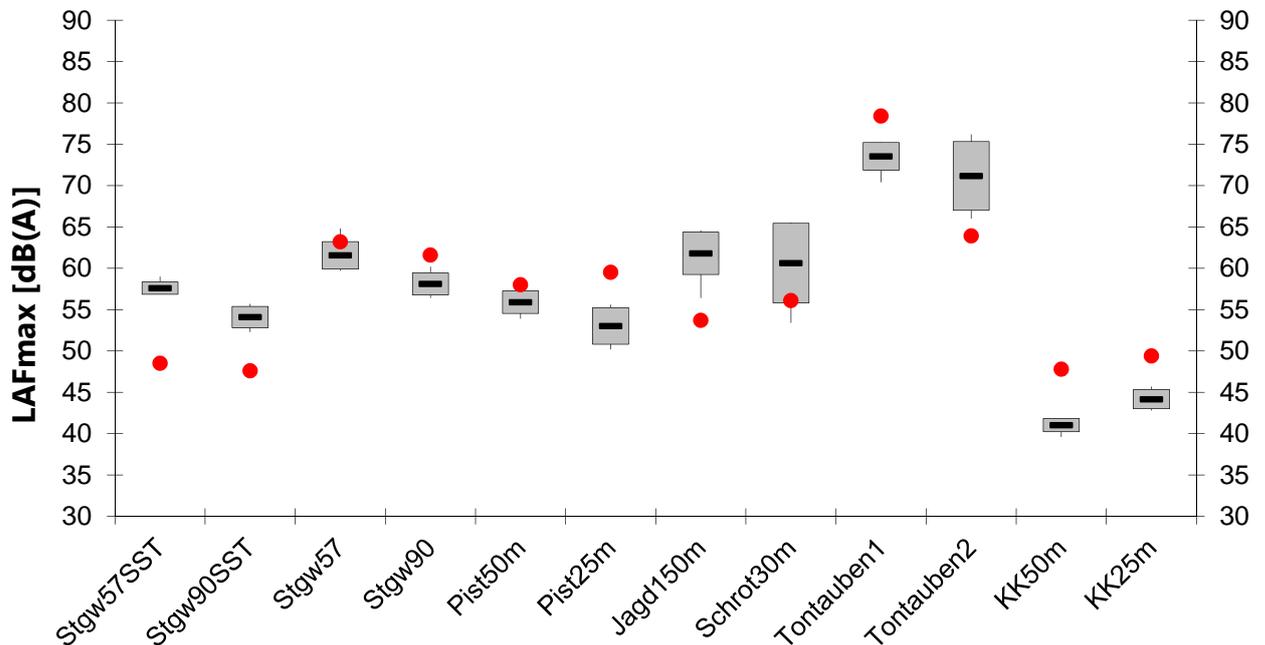


Abbildung 35: Vergleich Messung und Berechnung in Olivone, Messpunkt O27.

## 13 Gamprin-Bendern 2011

In der Gemeinde Gamprin-Bendern im Fürstentum Liechtenstein befindet sich die Freizeitanlage Grossabünt. Im Rahmen einer lärmtechnischen Optimierung der Anlage führte die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung im November 2011 Messungen mit einem akustischen Impulsgeber WBAG Typ 94 (modifizierte Pistole vom Typ Smith&Wesson, Kaliber 0.38) als Schallquelle durch.

### 13.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit: 24. November 2011 zwischen 11:30 Uhr und 12:30 Uhr  
 Wetter: Stark bewölkt, Temperatur 2.4° C, Luftfeuchtigkeit 89%, Wind aus nördlicher Richtung mit einer Geschwindigkeit von im Mittel 1.5 m/s mit einzelnen Spitzen von bis zu 3 m/s.  
 Quelle(n): Acht Quellenpositionen, modifizierte Pistole vom Typ Smith&Wesson, Kaliber 0.38  
 Messpunkte: Fünf Messpunkte im Freien.  
 Messgrösse:  $L_{AFmax}$   
 Bemerkungen: Pro Quellenposition wurden jeweils 5 Schuss abgegeben.

### 13.2 Angaben zur Simulation

Modus: Basic + Meteo  
 Meteo: Meteoklasse: N1, Windrichtung: 20°, Temperatur: 2 °C, relative Feuchtigkeit: 89%

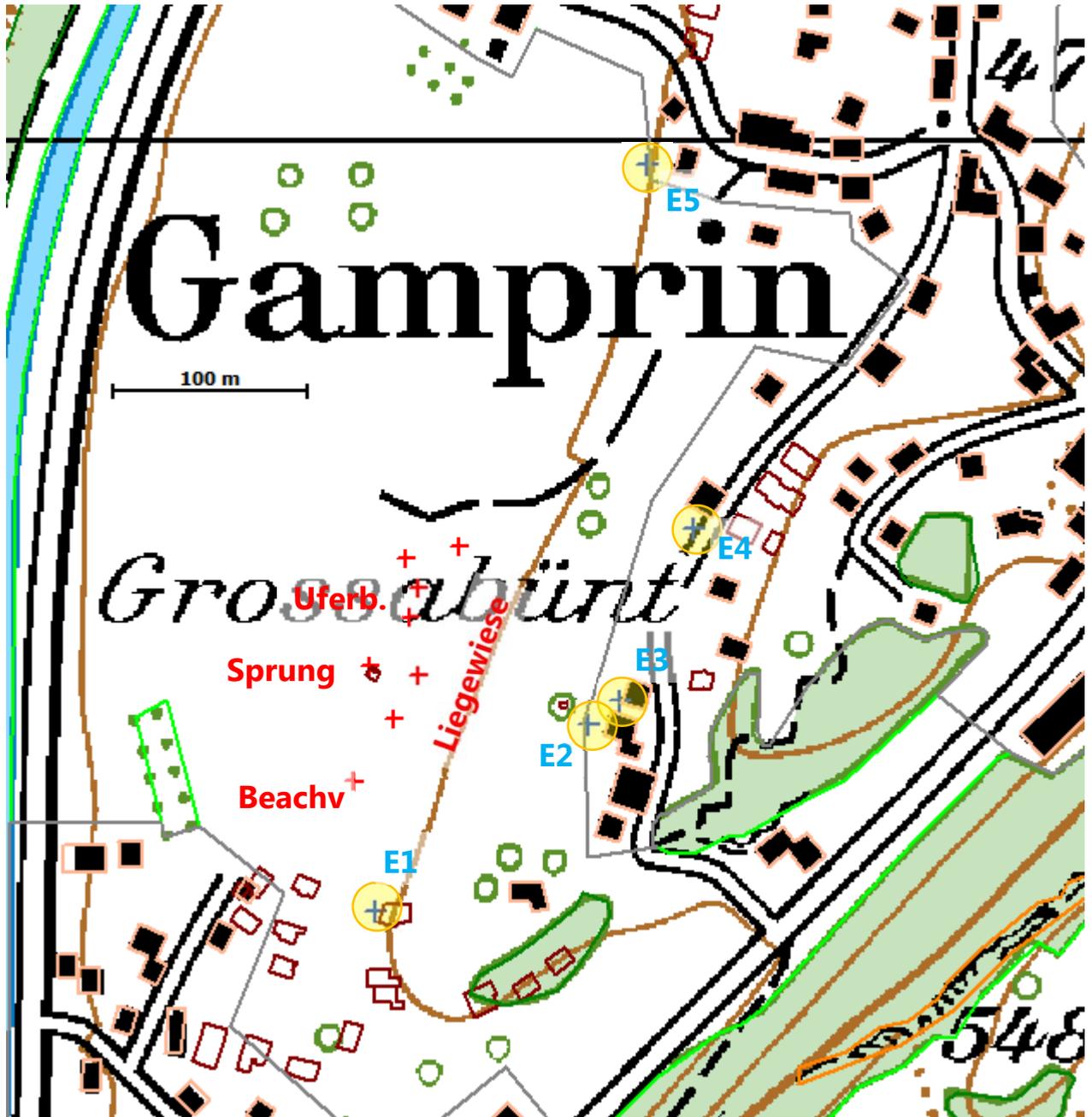


Abbildung 36: Übersichtskarte Gamprin.

### 13.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standardabweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
E1	-2.5 dB(A)	1.6 dB(A)	2.9 dB(A)	4.6%
E2	-2.7 dB(A)	5.3 dB(A)	6.0 dB(A)	7.4%
E3	-2.1 dB(A)	1.3 dB(A)	2.5 dB(A)	4.2%
E4	0.7 dB(A)	1.8 dB(A)	1.9 dB(A)	2.7%
E5	-6.9 dB(A)	3.0 dB(A)	7.5 dB(A)	9.9%

Kommentar:

- Vor den Messpunkten E2 und E3 befindet sich ein kleiner Baumbestand und ein Schuppen, die in den Grundlagendaten nicht enthalten sind und teilweise Abschirmungen zur Folge haben.

**Grossabünt, E1** (Quelle: Impulsgeber WBAG Typ 94)

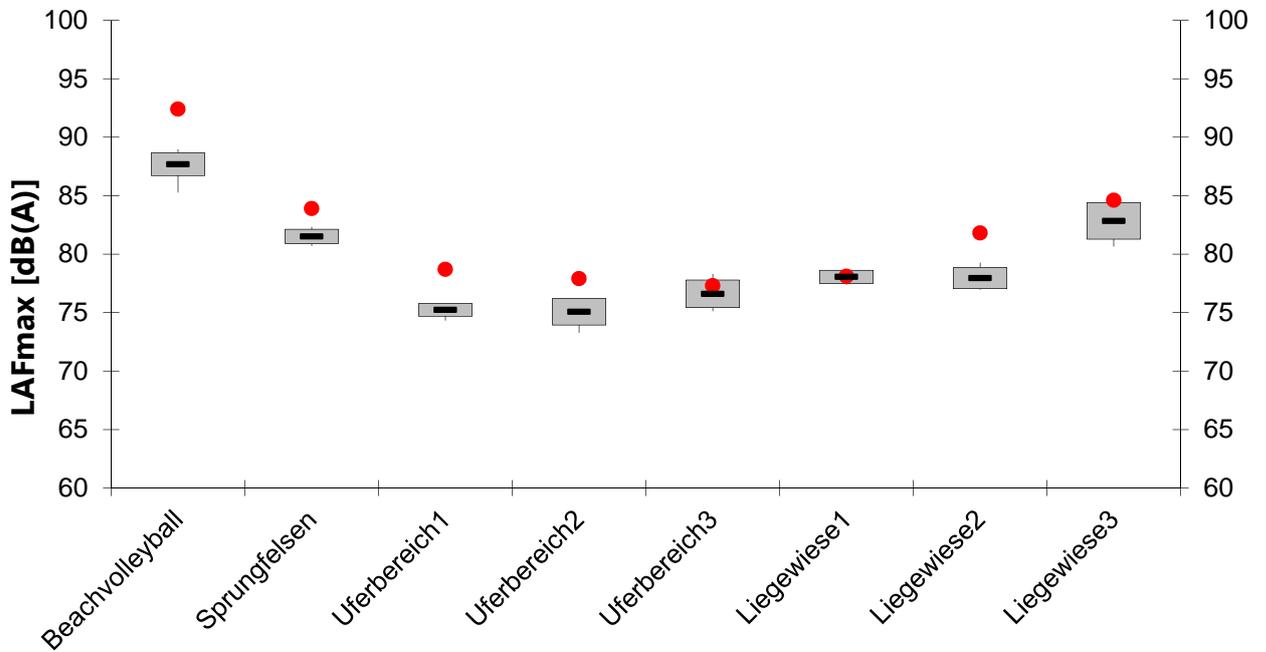


Abbildung 37: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E1.

**Grossabünt, E2** (Quelle: Impulsgeber WBAG Typ 94)

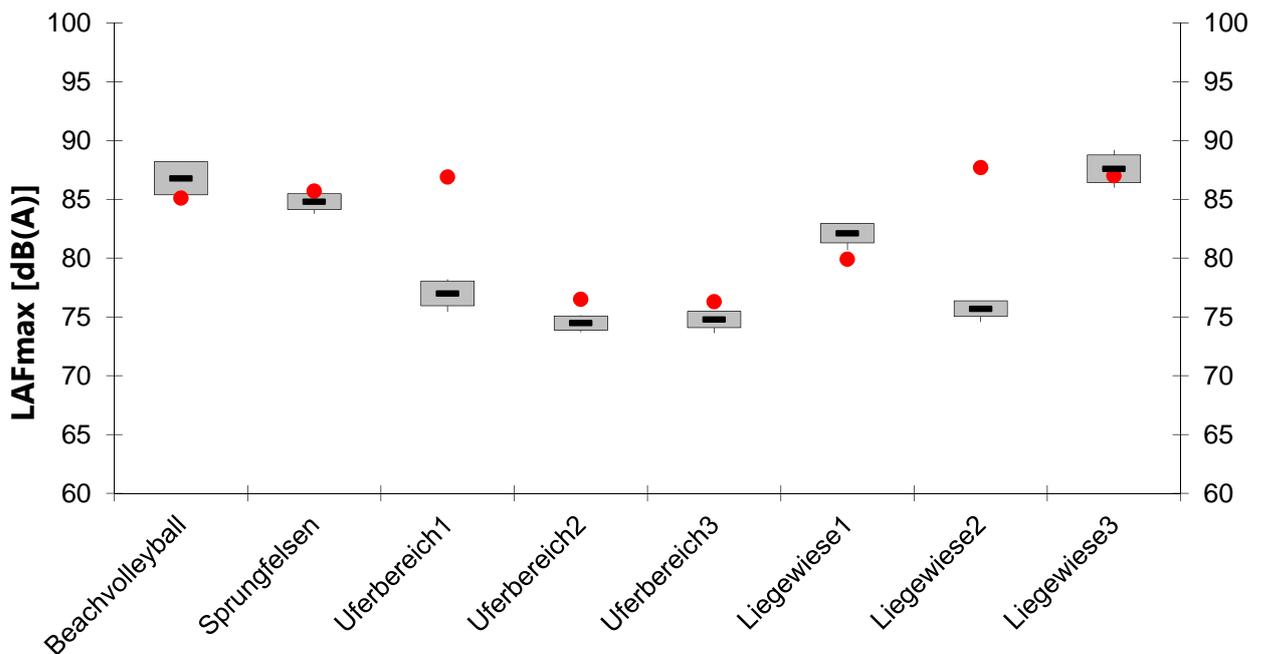


Abbildung 38: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E2.

**Grossabünt, E3 (Quelle: Impulsgeber WBAG Typ 94)**

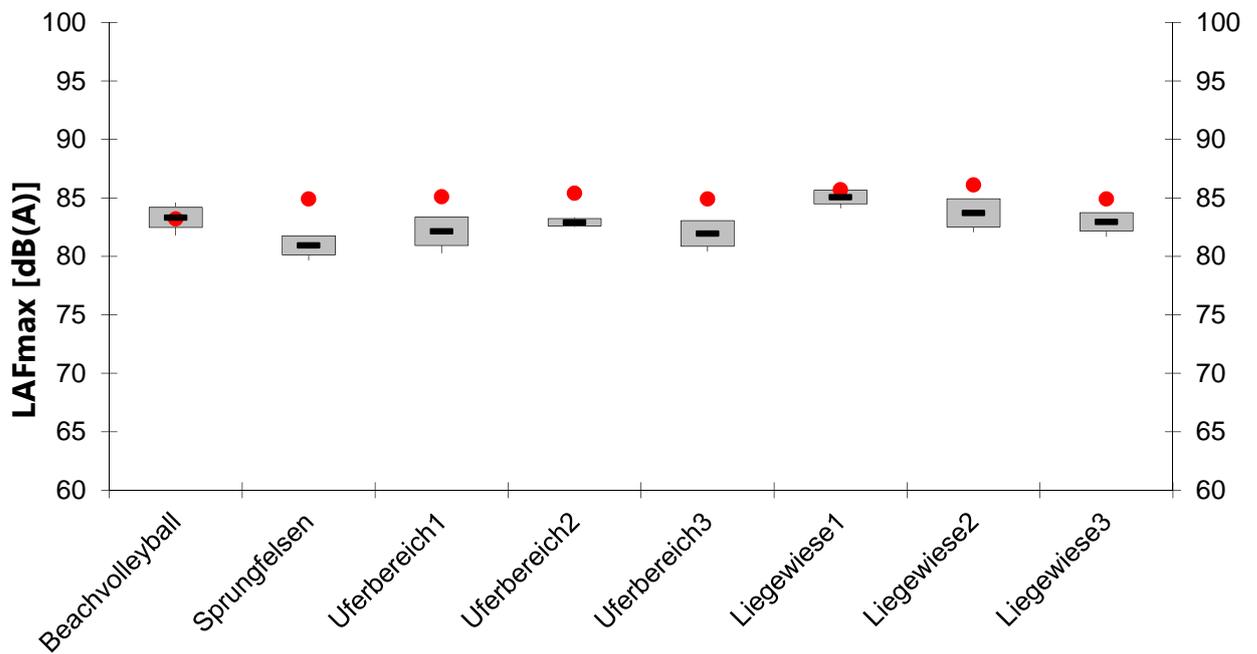


Abbildung 39: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E3.

**Grossabünt, E4 (Quelle: Impulsgeber WBAG Typ 94)**

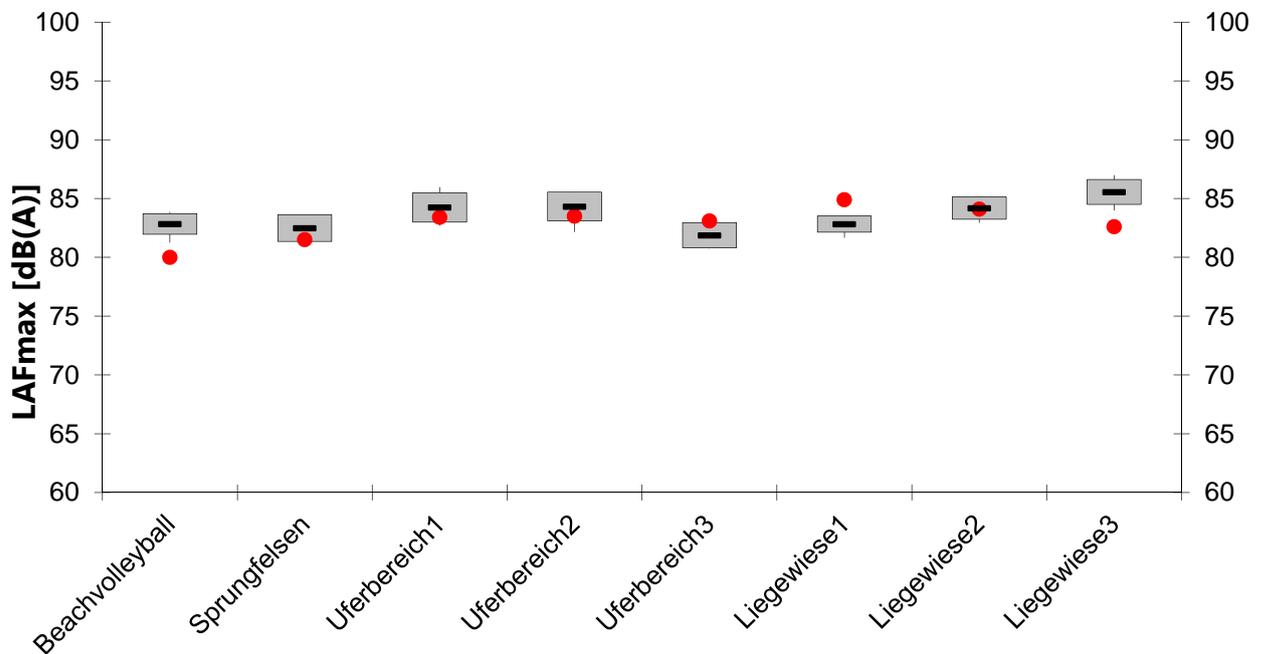


Abbildung 40: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E4.

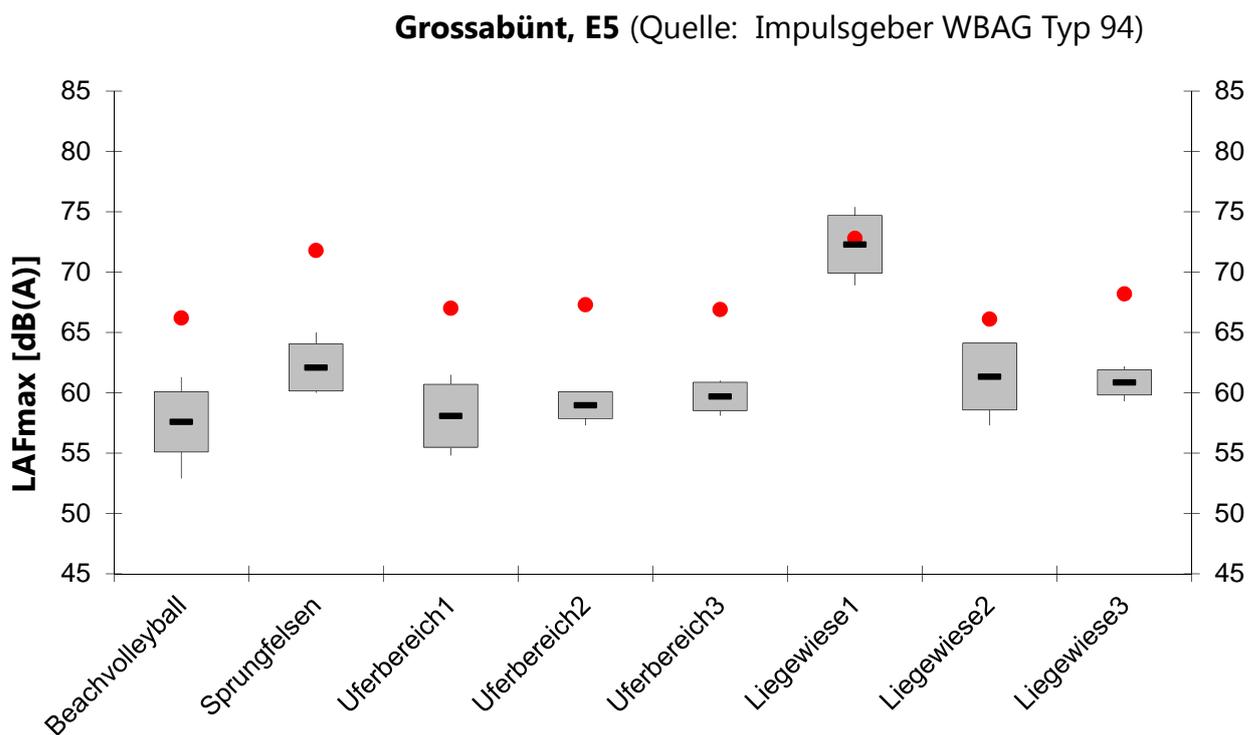


Abbildung 41: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E5.

## 14 Abschätzung einer mittleren Modellunsicherheit

Die Genauigkeitsanforderungen an ein Berechnungsmodell sind relativ zur Komplexität der Ausbreitungssituation zu definieren. Mit anderen Worten: Es kann von einem Berechnungsmodell erwartet werden, dass es einfache Ausbreitungssituationen mit höherer Genauigkeit reproduzieren kann als anspruchsvolle Bedingungen, beispielsweise aufgrund grosser Distanzen, Abschirmungen oder dominierender Reflexionen. Als Mass für die Komplexität einer Situation kann die Ausbreitungsdämpfung, d.h. die Differenz zwischen der Schalleistung und dem Ereignispegel, verwendet werden. In Abbildung 42 sind die Abweichungen zwischen Messung und Berechnung relativ zur Ausbreitungsdämpfung aufgetragen. Ebenfalls in der Abbildung eingetragen sind der Median sowie die 25% und 75% Quartile. In 25% der Fälle beträgt die prozentuale Abweichung weniger als 1.7%, in 50% weniger als 3.8%. In 25% der Fälle sind jedoch Abweichungen von mehr als 7.3% der Ausbreitungsdämpfung festzustellen. Im Mittel über alle Fälle beträgt die Abweichung 4.9%.

In Abbildung 43 sind zusätzlich sämtliche berechneten und gemessenen Immissionspegel – je nach Fall A-bewertete Ereignis- oder Maximalpegel – gegenübergestellt. Tabelle 1 zeigt ergänzend die zugehörigen statistischen Kenngrössen. Werden sämtliche Ereignisse gemeinsam ausgewertet, so resultiert eine mittlere Abweichung zwischen Messung und Berechnung von -0.1 dB(A) bei einer Standardabweichung von 4.4 dB(A). Dieser Vergleich beschreibt die Unsicherheit mit welcher mit einer sonARMS-Berechnung eine einzelne Messung bei einer bestimmten Meteosituation reproduziert werden kann.

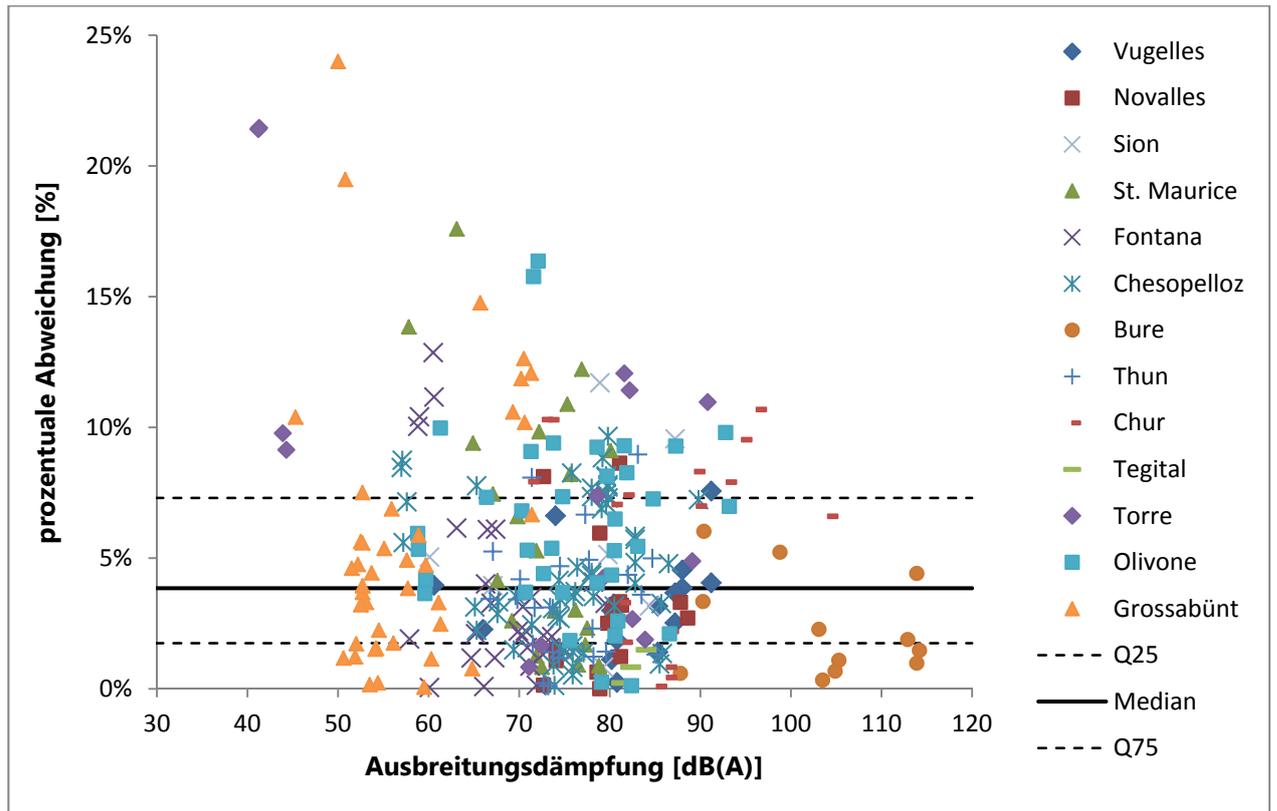


Abbildung 42: Zusammenstellung der prozentualen Abweichungen für sämtliche Validierungsfälle.

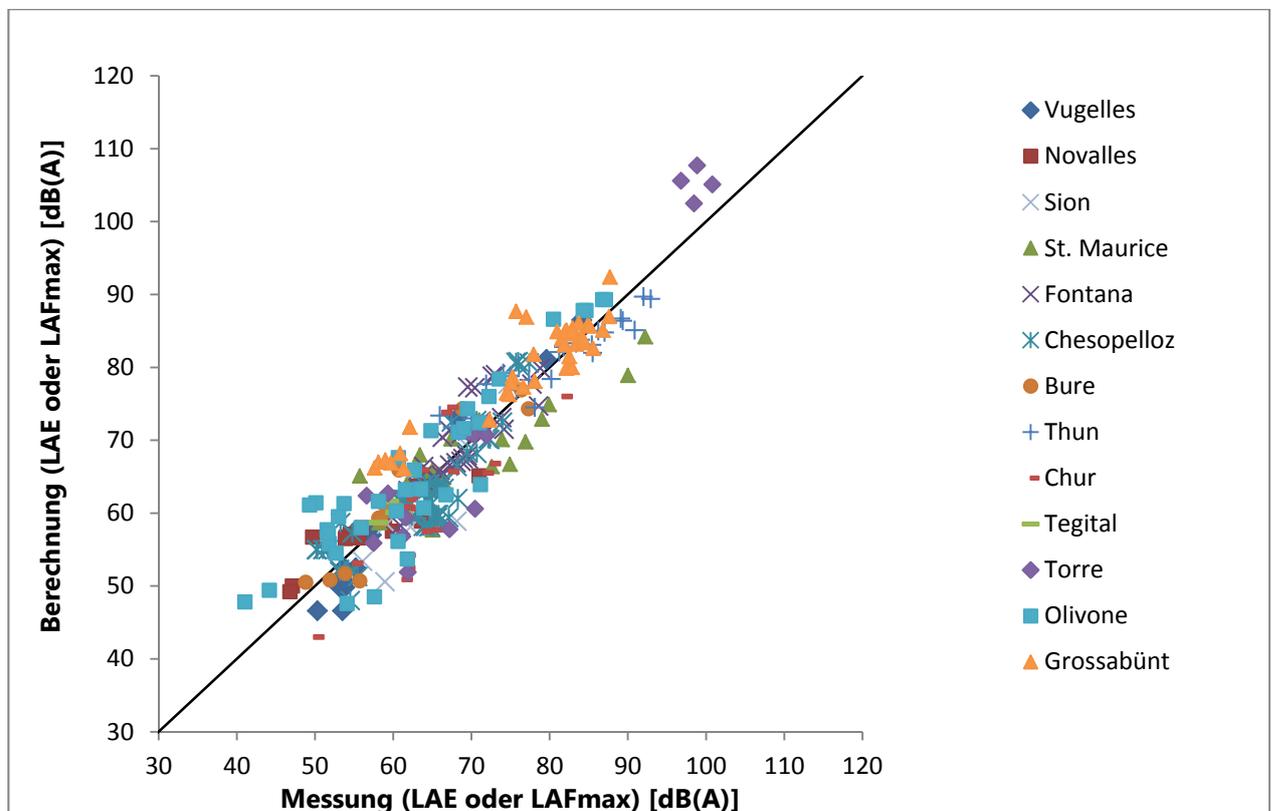


Abbildung 43: Vergleich Messung und Berechnung für sämtliche Validierungsfälle.

Auswertung	Anzahl	Absolute Abweichung [dB(A)]		Prozentuale Abweichung [%]		
		Mittelwert	Stabw	Q25	Q50	Q75
<b>Sämtliche Ereignisse</b>	<b>293</b>	<b>-0.1</b>	<b>4.4</b>	<b>1.7%</b>	<b>3.8%</b>	<b>7.3%</b>
Messgrösse LAE	124	0.6	4.1	1.5%	3.2%	6.6%
Messgrösse LAFmax	169	-0.6	4.6	2.1%	4.4%	7.4%
Freifeldmesspunkt	139	-0.1	4.5	1.5%	3.4%	7.0%
Gebäudepunkt	154	0.0	4.4	2.0%	4.0%	7.3%
Direktschall dominant	207	-0.7	4.1	1.7%	3.6%	6.7%
Reflexionen dominant	86	1.3	5.0	1.8%	4.5%	8.0%
Geschosknall relevant	65	1.1	5.3	3.4%	6.6%	9.1%

Tabelle 1: Zusammenstellung sämtlicher Validierungsfälle inkl. thematischen Gruppierungen.

Zusätzlich in Tabelle 1 dargestellt sind ergänzende Auswertungen für verschiedene Gruppierungen der Daten, wobei folgende Schlussfolgerungen gezogen werden können:

- Die Unterteilung nach Messgrössen ergibt zwei praktisch gleich grosse Gruppen. Wie zu erkennen ist, resultiert beim  $L_{AFmax}$  eine leicht grössere Abweichung als beim  $L_{AE}$ . Dies ist zum einen dadurch zu erklären, dass der Ereignispegel als integrierende Grösse generell ein etwas gutmütigeres Verhalten aufweist. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass  $sonX$  für Energie-basierte Grössen wie den  $L_{AE}$  entwickelt wurde und die Maximalpegelberechnung erst in einem zweiten, nachgeschalteten Schritt erfolgt. Entsprechend ergeben sich bei dieser abgeleiteten Grösse zusätzliche Unsicherheitsquellen.
- Auch die Gruppen der Freifeld- und Gebäudepunkte sind praktisch gleich gross. Es zeigen sich keine systematischen Unterschiede.
- Ebenfalls wurde eine Unterscheidung zwischen Direktschall- und Reflexions-dominierten Ereignissen vorgenommen, wobei die Zuordnung aufgrund der Berechnungsergebnisse erfolgte, da nur dort entsprechend detaillierte Teilergebnisse vorliegen. Es zeigt sich, dass in rund 30% der Fälle Reflexionen entscheidend für den resultierenden Ereignispegel waren. Wird noch berücksichtigt, dass in einer Vielzahl weiterer Fälle die Reflexionen zwar nicht dominieren, aber gleichwohl einen Einfluss auf die resultierenden Ereignispegel haben (siehe dazu die detaillierte Aufstellung sämtlicher Ereignisse in den Beilagen), wird deutlich, wie bedeutend die Berücksichtigung von Reflexionen bei der Schiesslärm-berechnung ausfällt.

Der Vergleich der beiden Gruppen zeigt, dass die Prognose Reflexions-dominierten Ereignisse mit einer etwas grösseren Unsicherheit behaftet ist. Ebenso fällt auf, dass die mittlere Abweichung mit 1.3 dB(A) grösser ausfällt als bei den anderen Teilanalysen. Dies kann allenfalls als Hinweis auf eine leichte rechnerische Unterschätzung der Reflexionsphänomene interpretiert werden. Es gilt jedoch zu bedenken, dass Reflexionen den Ereignispegel in der Regel in Situationen dominieren, in denen der Direktschall abgeschirmt ist oder sich aufgrund hinderlicher meteorologischer Bedingungen tiefe Direktschallpegel ergeben. Somit könnte die leichte rechnerische Unterschätzung auch die Folge zu tief ausgewiesener Direktschallpegel sein.

- Als letzte Teilgruppe wurden die Ereignisse mit einem bedeutenden Geschosknallbeitrag separat analysiert. Auch hier zeigt sich eine leicht grössere Unsicherheit und eine leichte Tendenz zur Unterschätzung der Messwerte.

sonARMS besteht aus einem Quellen- und einem Ausbreitungsmodell, welche grundsätzlich je durch eine eigene Unsicherheit beschrieben werden können. Als zusätzliche Unsicherheitsquelle könnten ergänzend Sondereffekte in unmittelbarer Nähe des Messpunktes ausgewiesen werden. Aufgrund der vorhandenen

Datenlage ist es jedoch kaum möglich, diese Teilunsicherheiten eindeutig zu separieren. Die grössere Unsicherheit bei der Prognose von Geschossknallpegeln beispielsweise könnte sowohl eine Folge der Quellen- als auch der Ausbreitungsmodellierung sein, welche sich beide grundlegend von den anderen Quellenarten unterscheiden. Entsprechend wird auf eine Aufteilung in Teilschallquellen verzichtet. Ein Vergleich mit Empa-Bericht Nr. 5211.00381.100.01-1, in welchem die Unsicherheit des sonX-Ausbreitungsmodells mit einer mittleren Abweichung von 3.2% bzw. einem Median von 2.8% ausgewiesen wird, bestärkt jedoch die Vermutung, dass bei der sonARMS-Validierung neben der Unsicherheit der Ausbreitungsrechnung noch weitere Unsicherheitskomponenten eine Rolle spielen.

## 15 Abschätzung der Prognosegenauigkeit von Beurteilungspegeln

Wie bereits erwähnt, beschreiben die ausgewiesenen Unsicherheiten die Fähigkeit des sonARMS-Modells einzelne Schiessereignisse zu reproduzieren. Die Berechnungen erfolgen dabei mit standardisierten Modelleinstellungen, beispielsweise in Bezug auf die Eigenschaften des Untergrundes oder die meteorologischen Bedingungen. Abweichungen können somit nicht nur aus Schwächen des Modells sondern auch aus unzureichenden Eingangsgrössen resultieren. Wie im sonX-Validierungsbericht Nr. 5211.00381.100.01-1 aufgezeigt, ist das Ausbreitungsmodell grundsätzlich in der Lage, die Auswirkungen der erwähnten und weiterer Einflussgrössen korrekt abzubilden. Im Einzelfall resultieren aber gleichwohl teilweise grössere Abweichungen, weil beispielsweise die Modellierung des Windfeldes nicht der Realität entsprochen hat oder der Strömungswiderstand des Bodens sich signifikant von den zugeordneten Standardwerten unterscheidet. Die Vergleichsberechnungen sowohl in diesem Bericht als auch im sonX-Validierungsbericht haben keine massgeblichen systematischen Abweichungen zwischen Messung und Berechnung gezeigt. Es kann deshalb gefolgert werden, dass die Schwankungen primär stochastischer Natur sind.

Beurteilungspegel basieren für den Schiesslärm auf akustischen Grössen, welche als Jahresmittelwerte zu interpretieren sind. Sie setzen sich in aller Regel aus einer Vielzahl von Ereignissen zusammen, welche zu unterschiedlichen Zeiten, von unterschiedlichen Standorten und mit unterschiedlichen Waffen abgegeben werden. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass sich die stochastischen Unsicherheiten der Einzelereignisprognose zu einem gewissen Teil ausmitteln werden. Nachfolgend wird exemplarisch die resultierende Unsicherheit eines berechneten Beurteilungspegels im Bereich der Immissionsgrenzwerte ausgewiesen, einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung einer stochastischen Ausmittlung. Die Berechnung erfolgt mit dem Median der prozentualen Abweichungen aller Ereignisse von 3.8%. Die mittlere Abweichung wird nicht verwendet, da sie stark von einzelnen Ausreissern beeinflusst wird und diese, wie in den Kommentaren erwähnt, oft Ursache von Spezialsituationen sind (Abschirmung durch das eigene Gebäude, Hindernisse, welche nicht in den Grundlagendaten enthalten sind usw.).

Als Referenzsituation wird eine Schiessanlage mit 100'000 Schuss mit Stgw90 und 70 Schiesshalbtagen angenommen. Zur Vereinfachung der Rechnung werden weder Sonntagsschiessen gemäss Anhang 7 LSV noch Dämmerungsschiessen gemäss Anhang 9 ausgewiesen. Die Pegelkorrektur nach Anhang 7 ergibt entsprechend -10.5 dB. Nach Anhang 9 lassen sich die Anzahl Schuss, die Beurteilungszeit sowie die Pegelkorrektur K2 zu einer Gesamtkorrektur von -5.5 dB kombinieren. Bei einem Immissionsgrenzwert von 60 dB gemäss Empfindlichkeitsstufe II darf der mittlere Einzelschusspegel gemäss Anhang 7 somit maximal 70.5 dB(A) und gemäss Anhang 9 maximal 65.5 dB(A) betragen. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass der Einzelschusspegel gemäss Anhang 7 als Maximalpegel und gemäss Anhang 9 als Ereignispegel definiert ist. Ausgehend von einer Pegeldifferenz zwischen  $L_{AFmax}$  und  $L_{AE}$  von 9 dB(A) wird der Grenzwert für militärische Schiessanlagen somit bei rund 4 dB(A) höheren Immissionspegeln, d.h. in kürzerem Abstand von der Quelle erreicht; zumindest bei diesem Rechenbeispiel ist Anhang 9 das strengere Kriterium. Im Vergleich zum Schallleistungspegel des Sturmgewehr-Mündungsknalles von 137.8 dB(A) können daraus Ausbreitungsdämpfungen von 76.3 (Anh. 7) bzw. 72.3 dB(A) (Anh. 9) abgeleitet werden, so dass eine Unsicherheit der

Immissionsprognose von 2.8 dB(A) im Sinne einer Standardabweichung für LSV Anhang 9 und 2.9 dB(A) für Anhang 7 resultiert. Analog können die Unsicherheiten für andere Grenzwerte abgeleitet werden. In Tabelle 2 sind zusätzlich die Immissionsgrenzwerte bei Empfindlichkeitsstufe III dargestellt.

Im Alternativ-Beispiel wird davon ausgegangen, dass sich der mittlere Einzelschusspegel aus fünf gleich lauten Quellen, beispielsweise verschiedenen Schiesspositionen, zusammensetzt. Zusätzlich wird angenommen, dass sich die meteorologischen Bedingungen im Jahresverlauf in zehn Klassen zusammenfassen lassen, welche gleich häufig sind und jeweils 1.5 dB(A) abweichende Einzelschusspegel erzeugen. Gesamthaft beträgt die Wettersensitivität der Situation somit 15 dB(A). Der mittlere Einzelschusspegel aus diesen zehn Einzelpegeln entspricht wiederum den Vorgaben des obigen Beispiels, d.h. es resultiert ein mittlerer Maximalpegel von 70.5 dB(A) für die Beurteilung nach Anhang 7 und ein mittlerer Ereignispegel von 65.5 dB(A) für die Beurteilung nach Anhang 9. Für jedes dieser 5x10 Einzelereignisse wird eine eigene Ausbreitungsdämpfung und folglich auch eine eigene prozentuale Unsicherheit bestimmt. Die resultierende Standardabweichung  $s$  des mittleren Einzelschusspegels berechnet sich gemäss nachfolgender Formel aus den Standardabweichungen der Einzelereignisse  $s_n$  und ihrer Pegel  $L_n$ <sup>2</sup>:

$$s = \frac{\sqrt{\sum (s_n \cdot 10^{0.1 \cdot L_n})^2}}{\sum 10^{0.1 \cdot L_n}}$$

In Tabelle 2 sind die resultierenden Unsicherheiten zusammengestellt. Wie zu erkennen ist, ergeben sich bei einer Berücksichtigung der stochastischen Ausmittlung der Fehler mit rund 0.5 dB(A) deutlich tiefere Prognoseunsicherheiten.

Unsicherheit Lr [dB(A)]	keine Ausmittlung stochastischer Fehler		Mit Ausmittlung stochastischer Fehler	
	A7	A9	A7	A9
IGW ES II	2.93	2.78	0.48	0.51
IGW ES III	2.74	2.59	0.44	0.47

Tabelle 2: Zusammenstellung der resultierenden Prognoseunsicherheiten bei der Berechnung von Beurteilungspegeln.

Die Unsicherheit von Jahresmitteln in konkreten Situationen hängt zum einen davon ab, wie viele Teil-schallquellen einen relevanten Beitrag zu den resultierenden Beurteilungspegeln liefern und zum anderen inwieweit die Annahme rein stochastischer Fehler gerechtfertigt ist. Die resultierende Unsicherheit wird sich in einem Zwischenbereich der Werte aus Tabelle 2 bewegen und kann auf eine Standardabweichung von 1 - 2 dB(A) abgeschätzt werden.

## 16 Diskussion

Im Rahmen der Validierungsuntersuchung wurden gesamthaft 293 Quellen-Empfänger-Kombinationen aus Messungen in 13 verschiedenen Gebieten zusammengefasst. Mit Abstand am häufigsten wurden Schiessen mit Sturmgewehren erfasst, vereinzelt kamen auch Maschinengewehre, Sprengungen und leichte Hand- und Faustfeuerwaffen zum Einsatz. In der Regel waren Mündungsknalle für die Immissionen verantwortlich,

<sup>2</sup> Quelle: W. Probst, U. Donner, "Die Unsicherheit des Beurteilungspegels bei der Immissionsprognose", Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Vol. 49 Nr. 3 (Mai 2002).

bei etwas über 20% der Ereignisse waren die Ereignispegel durch Geschosknall dominiert oder zumindest beeinflusst. Die Schüsse wurden in der Regel im Freien abgegeben, lediglich bei zwei Standorten wurde aus Schützenhäusern, wie sie im zivilen Bereich zum Einsatz kommen, geschossen. Entsprechend muss gefolgert werden, dass die Datenlage in diesem Bereich etwas knapp ausfällt. In der Mehrzahl der Fälle traten Reflexionen von Waldrändern und Felswänden auf, welche teilweise auch den Einzelschusspegel dominierten. Dies verdeutlicht die Bedeutung dieser diffusen Reflexionen für den Schiesslärm. Reflexionen an Gebäuden und Wänden waren jedoch mit wenigen Ausnahmen nicht massgeblich. Dieser Modellteil von sonARMS kann deshalb im Rahmen dieser Untersuchung nicht validiert werden. Abgesehen von dieser Einschränkung und der Tatsache, dass Schützenhaussituationen eher untervertreten sind, kann der zugrunde liegende Datensatz jedoch als repräsentativ und für eine Validierung als geeignet angesehen werden.

Mit sonARMS können sowohl Ereignispegel als auch Maximalpegel berechnet werden. Bei den Vergleichen mit Messungen, welche in diesem Bericht zusammengestellt sind, sind  $L_{AE}$  als auch  $L_{AFmax}$  basierte Messungen in etwa gleich häufig vertreten. Bei der Ermittlung der mittleren Modellunsicherheit wurde eine leicht höhere Unsicherheit für den  $L_{AFmax}$  festgestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die grössere Prognoseunsicherheit  $L_{AFmax}$  primär in Situationen mit dominierenden Reflexionen besteht und die beiden Masse beim Direktschall eine vergleichbare Genauigkeit aufweisen. Dies hat zum einen damit zu tun, dass der  $L_{AFmax}$  durch eine einzelne Reflexion dominiert werden kann, während beim  $L_{AE}$  eine Aufintegration der Schallenergie über eine längere Zeit stattfindet und sich dadurch gewisse Unsicherheiten ausmitteln. Zum anderen wird der  $L_{AFmax}$  in sonARMS als abgeleitete Grösse ermittelt, so dass potenziell zusätzliche Unsicherheitsquellen, beispielsweise bei der Laufzeit-Ermittlung, ins Spiel kommen können. Bei den Reflexionen an künstlichen Oberflächen wird in sonARMS nur eine vereinfachte Laufzeitberechnung gemacht und die gesamte reflektierte Schallenergie der ersten Reflexion zugeordnet. Dies hat zur Folge, dass die daraus resultierende Schätzung des Maximalpegels in der Tendenz zu einer Überschätzung der Immissionen neigt. Der Vergleich zwischen Messung und Berechnung hat jedoch weder eine systematische Unter- noch Überschätzung ergeben. Die mittlere Abweichung beträgt lediglich  $-0.1 \text{ dB(A)}$ , dies bei einer Standardabweichung von  $4.4 \text{ dB(A)}$ . Als Grösse zur Beurteilung der Modellunsicherheit wird der Median der prozentualen Abweichungen verwendet, welcher  $3.8\%$  beträgt. Daraus abgeleitet lässt sich eine Prognoseunsicherheit im Bereich der Immissionspegel für die Ermittlung von Beurteilungspegeln von  $1 - 2 \text{ dB(A)}$  abschätzen.

## Beilagen

### B.1 Tabellarische Zusammenstellung Vergleiche Messung und Berechnung

In den nachfolgenden Tabellen sind sämtliche Mess- und Berechnungswerte, die Abweichung zwischen Messung und Berechnung (Delta), die berechnete Ausbreitungsdämpfung A sowie die prozentuale Abweichung zwischen Messung und Berechnung dargestellt. Als zusätzliche Information wird für jede Quellen-Empfänger-Kombination der dominante Schallweg angegeben, wie er aus der Berechnung resultiert. Dabei steht D für Direktschall, R für Reflexionen an Gebäuden, W für Reflexionen an Waldrändern und F für Reflexionen an Felswänden. Mehrere Schallpfade werden angegeben, wenn die Differenz zwischen den Beiträgen weniger als 5 dB(A) beträgt. Die Identifikation des dominanten Schallpfades basierte bei allen Ereignissen auf Basis des  $L_{AE}$ . Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass diffuse Reflexionen sehr deutlich dominieren müssen, um auch den Maximalpegel zu bestimmen. In der letzten Spalte wird zusätzlich die dominante Quelle spezifiziert, wobei M für Mündungsknall, G für Geschosknall und D für Detonation steht. Wiederrum werden mehrere Quellen angegeben, wenn die Beiträge mehrerer Quellen innerhalb von 5 dB(A) liegen.

Standort	Vugelles	Messpunkt	Gebäude	Messgrösse	LAE	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	
					Quelle	
53.7	52.5	1.2	85.3	1.4%	D	M
53.2	49.8	3.4	88.0	3.9%	D	M
55.2	52.5	2.7	85.3	3.2%	D	M
53.8	49.8	4.0	88.0	4.5%	D	M
84.1	86.5	-2.4	60.6	4.0%	D+R	G
52.8	50.6	2.2	87.2	2.5%	D	M
50.3	46.6	3.7	91.2	4.1%	D	M
53.8	50.6	3.2	87.2	3.7%	D	M
53.5	46.6	6.9	91.2	7.6%	D	M
79.6	81.1	-1.5	66.0	2.3%	D	G
55.2	57.6	-2.4	80.2	3.0%	D	M
57.2	57.0	0.2	80.8	0.2%	D	M
56.7	57.6	-0.9	80.2	1.1%	D	M
55.5	57.0	-1.5	80.8	1.9%	D	M
68.2	73.1	-4.9	74.0	6.6%	D+R	M+G

Standort	Novalles	Messpunkt	Freifeld	Messgrösse	LAE	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	
					Quelle	
49.7	56.7	-7.0	81.1	8.6%	D	M
54.0	56.7	-2.7	81.1	3.3%	D	M
47.1	50.0	-2.9	87.8	3.3%	D	M
56.0	58.0	-2.0	79.8	2.5%	D	M
58.7	59.2	-0.5	78.6	0.6%	D	M
	51.2		86.6			
62.6	63.7	-1.1	74.1	1.5%	D	M
64.5	63.7	0.8	74.1	1.1%	D	M
54.5	57.1	-2.6	80.7	3.2%	D	M
55.6	56.6	-1.0	81.2	1.2%	D	M
59.9	57.5	2.4	80.3	3.0%	D	M
46.8	49.2	-2.4	88.6	2.7%	D	M

58.9	58.9	0.0	78.9	0.0%	D	M
63.6	58.9	4.7	78.9	6.0%	D	M
	49.6		88.2			
65.2	65.1	0.1	72.7	0.1%	D	M
71.0	65.1	5.9	72.7	8.1%	D	M
53.9	56.5	-2.6	81.3	3.2%	D	M

Standort	Vugelles	Messpunkt	Freifeld	Messgrösse	LAFmax	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	Quelle
62.2	58.1	4.1	79.8	5.1%	W	M+G
74.7	77.7	-3.0	60.1	5.0%	W	M+G
60.4	61.5	-1.1	76.3	1.5%	W+F	M
68.1	70.7	-2.6	67.1	3.9%	W+F	M
59.2	58.5	0.7	79.3	0.8%	W+F	M
58.9	50.6	8.3	87.2	9.6%	W+F	M
68.1	58.9	9.2	78.9	11.7%	W	M
56.1	53.4	2.7	84.4	3.2%	W	M

Standort	St. Maurice	Messpunkt	Freifeld	Messgrösse	LAE	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	Quelle
62.0	61.3	0.7	76.5	0.9%	W+F	M+G
65.9	65.3	0.6	72.5	0.8%	D+W+F	M
	57.4		80.4			
65.0	57.7	7.3	80.1	9.1%	W+D+F	M
63.4	68.0	-4.6	69.8	6.6%	D	M
59.2	60.5	-1.3	77.3	1.7%	W+F	M+G
	64.8		73.0			
58.2	58.7	-0.5	79.1	0.6%	W+F	M+G
61.7	63.9	-2.2	73.9	3.0%	W+F+D	M+G
67.4	70.2	-2.8	67.6	4.1%	D	M
65.0	65.9	-0.9	71.9	1.3%	D	M+G
79.0	72.9	6.1	64.9	9.4%	D	M
63.5	65.8	-2.3	76.2	3.0%	D	M
73.9	70.1	3.8	71.9	5.3%	D+W+F	M
55.7	65.1	-9.4	76.9	12.2%	W	M+G
72.6	66.4	6.2	75.6	8.2%	W+D+F	M+G
74.9	66.7	8.2	75.3	10.9%	D+W+F	M
66.3	64.5	1.8	77.5	2.3%	W+F+D	M
71.0	72.8	-1.8	69.2	2.6%	D	M
63.9	63.2	0.7	78.8	0.9%	W+F	M
76.9	69.8	7.1	72.2	9.8%	D+F+W	M+G
90.0	78.9	11.1	63.1	17.6%	D	G+M
79.9	74.9	5.0	67.1	7.5%	D+W+F	M+G
92.2	84.2	8.0	57.8	13.8%	D	G

Standort	Fontana	Messpunkt	Gebäude	Messgrösse	LAE	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	Quelle
71.3	70.5	0.8	67.3	1.2%	D+W	M
71.6	71.7	-0.1	66.1	0.1%	D	M

70.4	77.2	-6.8	60.6	11.2%	D	M
67.2	66.6	0.6	71.2	0.9%	D+W	M
72.7	78.8	-6.1	59.0	10.4%	D	M
68.0	66.9	1.1	70.9	1.6%	D+W	M
62.7	64.2	-1.5	73.6	2.0%	W+D	M+G
65.6	64.4	1.2	73.4	1.6%	W+D	M+G
60.9	58.3	2.6	79.5	3.3%	W	M
62.8	59.6	3.2	78.2	4.1%	W	M
71.2	72.6	-1.4	65.2	2.1%	D	M
73.9	73.1	0.8	64.7	1.2%	D	M
69.5	77.3	-7.8	60.5	12.9%	D	M
68.9	67.5	1.4	70.3	2.0%	D+W	M
69.6	67.4	2.2	70.4	3.1%	D+W	M
69.4	67.9	1.5	69.9	2.2%	D+W	M
63.9	66.4	-2.5	71.4	3.5%	D+W	M+G
66.2	65.2	1.0	72.6	1.3%	W+D	M+G
61.9	63.1	-1.2	74.7	1.6%	D	M
63.6	65.1	-1.5	72.7	2.0%	D+W	M
68.7	70.9	-2.2	66.9	3.3%	D+W	M
78.6	74.7	3.9	63.1	6.1%	D	M
77.7	77.7	0.0	60.1	0.1%	D	M
73.1	79.0	-5.9	58.8	10.0%	D	M
78.8	79.9	-1.1	57.9	1.9%	D	M
74.2	71.5	2.7	66.3	4.0%	D	M
67.3	71.3	-4.0	66.5	6.1%	D	M
68.7	67.1	1.6	70.7	2.2%	D+W	M
66.0	65.9	0.1	71.9	0.1%	D	M
66.3	70.4	-4.1	67.4	6.1%	D	M

Standort	Chesopelloz	Messpunkt	Gebäude	Messgrösse	LAFmax
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg
65.6	59.4	6.2	79.8	7.8%	W
63.3	59.8	3.5	78.0	4.5%	D
	63.3		74.5		
64.1	58.2	5.9	79.6	7.4%	W
66.4	64.1	2.3	73.7	3.1%	D
	59.8		78.0		
76.0	80.8	-4.8	57.0	8.5%	D
61.5	61.9	-0.4	75.9	0.5%	W
	61.9		75.9		
70.7	72.7	-2.0	65.1	3.1%	D
50.2	55.0	-4.8	82.8	5.8%	W
	59.0		78.8		
72.1	70.2	1.9	67.6	2.9%	D
54.9	52.1	2.8	85.7	3.3%	D
	63.7		74.1		
65.2	59.4	5.8	79.8	7.3%	W
65.6	58.6	7.0	79.2	8.8%	D
64.5	63.3	1.2	74.5	1.6%	W

64.7	58.2	6.5	79.6	8.1%	W	M+G
68.2	66.4	1.8	71.4	2.5%	D	M
63.2	59.8	3.4	78.0	4.3%	W	M+G
75.7	80.7	-5.0	57.1	8.7%	D	M
61.3	61.9	-0.6	75.9	0.8%	W	M
65.0	61.4	3.6	76.4	4.7%	W+D	M
67.4	72.5	-5.1	65.3	7.8%	D	M
50.3	55.0	-4.7	82.8	5.7%	W	M
54.8	57.3	-2.5	80.5	3.2%	D	M
69.4	68.4	1.0	69.4	1.5%	D	M
55.4	51.3	4.1	86.5	4.8%	D	M
64.0	62.9	1.1	74.9	1.4%	D	M
65.6	59.4	6.2	79.8	7.7%	W	M+G
62.4	59.6	2.8	78.2	3.5%	D	M
65.3	63.3	2.0	74.5	2.7%	W	M+G
63.8	58.2	5.6	79.6	7.1%	W	M+G
64.0	63.9	0.1	73.9	0.1%	D	M
65.8	59.8	6.0	78.0	7.7%	W	M+G
77.4	80.6	-3.2	57.2	5.6%	D	M
60.8	61.9	-1.1	75.9	1.4%	W	M
64.5	61.8	2.7	76.0	3.5%	W+D	M
74.0	72.5	1.5	65.3	2.2%	D	M
51.7	55.0	-3.3	82.8	4.0%	W+D	M
53.3	58.7	-5.4	79.1	6.9%	D	M
72.4	70.1	2.3	67.7	3.3%	D	M
53.2	52.0	1.2	85.8	1.3%	D	M
65.7	63.6	2.1	74.2	2.8%	D	M
67.1	59.4	7.7	79.8	9.7%	W	M+G
61.8	60.7	1.1	77.1	1.4%	D	M
65.9	63.3	2.6	74.5	3.4%	W	M+G
64.6	58.2	6.4	79.6	8.1%	W	M+G
64.7	64.0	0.7	73.8	0.9%	D	M
65.5	59.8	5.7	78.0	7.4%	W	M+G
76.1	80.2	-4.1	57.6	7.2%	D	M
60.7	61.9	-1.2	75.9	1.6%	W	M
64.4	61.6	2.8	76.2	3.7%	W+D	M
68.3	62.0	6.3	75.8	8.3%	D	M
51.0	55.0	-4.0	82.8	4.8%	W	M
54.5	48.0	6.5	89.8	7.2%	D	M
70.7	68.2	2.5	69.6	3.6%	D+W	M+G
53.1	52.3	0.8	85.5	0.9%	D	M
66.5	63.4	3.1	74.4	4.2%	D	M

Standort	Bure	Messpunkt	Freifeld	Messgrösse	LAFmax
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg
77.3	74.3	3.0	90.3	3.3%	D
68.9	74.3	-5.4	90.4	6.0%	D
53.8	51.7	2.1	112.9	1.9%	D
58.2	59.3	-1.1	105.3	1.1%	D

60.7	65.9	-5.2	98.8	5.2%	D	D
55.7	50.7	5.0	113.9	4.4%	D	D
48.8	50.5	-1.7	114.2	1.5%	D	D
51.9	50.8	1.1	113.9	1.0%	D	D
58.9	61.2	-2.3	103.1	2.3%	D	D
60.4	60.7	-0.3	103.5	0.3%	D	D
76.4	76.9	-0.5	87.8	0.6%	D	D
58.4	59.1	-0.7	104.9	0.7%	D	D

Standort	Thun	Messpunkt	Freifeld	Messgrösse	LAE	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	Quelle
86.2	85.0	1.2	71.5	1.7%	D	D
92.9	89.4	3.5	67.1	5.3%	D	D
84.0	83.8	0.2	72.7	0.2%	W+D	D
81.8	82.8	-1.0	73.7	1.4%	D+W	D
89.3	86.4	2.9	70.1	4.2%	D	D
85.4	83.1	2.3	73.4	3.1%	D+W	D
71.9	77.7	-5.8	78.8	7.4%	D	D
77.3	78.3	-1.0	78.2	1.2%	D	D
75.8	76.9	-1.1	79.6	1.4%	D	D
70.0	73.0	-3.0	83.5	3.6%	D	D
78.1	74.5	3.6	82.0	4.4%	D	D
70.3	71.4	-1.1	85.1	1.3%	D	D
87.0	84.8	2.2	71.7	3.1%	D	D
92.0	89.7	2.3	66.8	3.4%	D	D
90.9	85.1	5.8	71.4	8.1%	D	D
81.2	82.1	-0.9	74.4	1.2%	D	D
89.1	86.7	2.4	69.8	3.4%	D	D
85.5	82.0	3.5	74.5	4.7%	D	D
74.0	79.2	-5.2	77.3	6.7%	D	D
83.4	83.3	0.1	73.2	0.1%	D	D
80.2	78.4	1.8	78.1	2.3%	D	D
65.9	73.4	-7.5	83.1	9.0%	D	D
75.0	78.8	-3.8	77.7	4.9%	D	D
67.6	71.8	-4.2	84.7	5.0%	D	D

Standort	Chur	Messpunkt	Freifeld	Messgrösse	LAE	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	Quelle
66.3	73.8	-7.5	73.3	10.3%	W+D	M+G
67.1	65.7	1.4	81.4	1.8%	W+F	M
61.5	60.8	0.7	86.3	0.8%	F	M
71.5	65.5	6.0	81.6	7.4%	D	M
62.5	60.6	1.9	86.5	2.2%	F+D	M
61.5	52.5	9.0	94.6	9.5%	D+F	M
	39.8		107.3			
	47.6		99.5			
	50.6		96.5			
81.6	76.0	5.6	71.1	7.9%	D+W	M+G
72.5	67.1	5.4	80.0	6.7%	W+D+F	M

	60.9		86.2			
	57.6		89.5			
63.8	57.2	6.6	89.9	7.3%	F	M
	50.6		96.5			
61.5	55.5	6.0	91.6	6.6%	D	M
54.8	56.1	-1.3	91.0			
	58.1		89.0			
67.0	74.6	-7.6	72.5	10.4%	W+D	M+G
63.2	66.0	-2.8	81.1	3.4%	W+F+D	M
61.2	60.9	0.3	86.2	0.3%	F	M
61.8	63.2	-1.4	83.9	1.6%	D+F+W	M
65.1	57.7	7.4	89.4	8.3%	F	M
61.2	51.8	9.4	95.3	9.8%	F+D	M
49.9	43.3	6.6	103.8	6.3%	D+F	M
	48.0		99.1			
	50.7		96.4			
61.2	59.9	1.3	84.0	1.5%	D+W	M
60.3	60.1	0.2	81.3	0.2%	W+D	M+G
59.4	61.6	-2.2	81.2	2.7%	W+D	M+G
58.0	58.7	-0.7	82.3	0.8%	W	M

Standort	Torre	Messpunkt	Gebäude	Messgrösse	LAFmax	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	
					Quelle	
98.8	107.7	-8.9	41.3	21.5%	D	G
100.8	105.1	-4.3	43.9	9.8%	D	G
61.6	59.4	2.2	82.5	2.7%	D	M
59.3	62.7	-3.4	79.3	4.3%	W+D	G
70.4	60.6	9.8	81.6	12.1%	W+D	G+M
61.2	56.8	4.4	89.1	4.9%	W+D	G+M
71.9	70.7	1.2	72.4	1.7%	W+D	G+M
96.8	105.6	-8.8	41.2	21.4%	D	G
98.4	102.5	-4.1	44.3	9.1%	D	G
57.5	55.9	1.6	83.9	1.9%	D	M
56.6	62.4	-5.8	78.6	7.4%	W+D	G
67.2	57.8	9.4	82.2	11.4%	W	G+M
61.9	51.9	10.0	90.8	11.0%	W+D	G+M
70.2	70.8	-0.6	71.1	0.8%	W+D	G+M

Standort	Olivone	Messpunkt	Gebäude	Messgrösse	LAFmax	
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg	
					Quelle	
71.0	72.4	-1.4	75.6	1.8%	D	G
68.3	71.1	-2.8	74.8	3.7%	D	G
72.2	76.0	-3.8	70.9	5.3%	D+W	M+G
69.5	74.3	-4.8	70.3	6.8%	D+W	M+G
69.0	71.6	-2.6	70.7	3.7%	D+W	M
62.7	65.9	-3.2	72.7	4.4%	W+D	M
66.8	62.5	4.3	80.5	5.3%	W	G
63.9	60.7	3.2	78.6	4.0%	D+W	M

60.4	60.3	0.1	82.4	0.1%	D+W	M
53.7	61.3	-7.6	81.6	9.3%	W+D	M
50.1	61.4	-11.3	71.6	15.8%	W+D	M
51.8	55.8	-4.0	73.6	5.4%	W+D	M
86.8	89.3	-2.5	59.7	4.2%	D	G
84.7	87.8	-3.1	58.9	5.3%	D	G
87.1	89.3	-2.2	59.6	3.6%	D	G
84.3	87.8	-3.5	58.8	5.9%	D	G
64.8	71.3	-6.5	71.3	9.1%	D+W	M
60.7	67.6	-6.9	73.8	9.4%	D+W	M
80.5	86.6	-6.1	61.3	10.0%	D	G
63.5	63.3	0.2	79.1	0.3%	W+D	M
52.7	54.5	-1.8	86.6	2.1%	D+W	M
51.5	57.7	-6.2	84.8	7.3%	D+W	M
49.3	61.1	-11.8	72.1	16.4%	D+W	M
51.7	57.2	-5.5	74.8	7.4%	D+W	M
57.6	48.5	9.1	92.8	9.8%	W	M+G
54.1	47.6	6.5	93.2	7.0%	W	M+G
61.6	63.2	-1.6	80.6	2.0%	W	M
58.1	61.6	-3.5	80.2	4.4%	W	M
55.9	58.0	-2.1	80.9	2.6%	W	M
53.0	59.5	-6.5	79.7	8.1%	W	M
61.8	53.7	8.1	87.3	9.3%	W+D	M+G
60.6	56.1	4.5	83.1	5.5%	D	M
73.5	78.4	-4.9	66.4	7.3%	D+W	M
71.2	63.9	7.3	78.6	9.2%	W	M
41.0	47.8	-6.8	81.9	8.3%	W	M
44.2	49.4	-5.2	80.6	6.5%	W	M

Standort	Grossabünt	Messpunkt	Freifeld	Messgrösse	LAFmax
Msg	Ber	Delta	A	Delta%	Schallweg
87.7	92.4	-4.7	45.2	10.4%	D
81.5	83.9	-2.4	53.7	4.4%	D
75.2	77.1	-1.9	60.5	3.1%	D
75.1	76.7	-1.6	61.0	2.7%	D
76.6	75.9	0.7	61.8	1.2%	D
78.1	77.3	0.8	60.3	1.3%	D
78.0	81.7	-3.7	55.9	6.7%	D
82.8	84.6	-1.8	53.0	3.3%	D
86.8	82.1	4.7	55.6	8.4%	D
84.8	85.6	-0.8	52.0	1.5%	D
77.0	86.3	-9.3	51.4	18.1%	D
74.5	76.2	-1.7	61.5	2.8%	D
74.8	75.3	-0.5	62.4	0.8%	D
82.1	78.6	3.5	59.0	6.0%	D
75.7	82.8	-7.1	54.9	12.9%	D
87.6	84.9	2.7	52.7	5.1%	D
83.3	83.2	0.1	54.4	0.2%	D
80.9	84.9	-4.0	52.7	7.5%	D

---

82.1	85.1	-3.0	52.5	5.6%	D	M
82.9	85.4	-2.5	52.2	4.8%	D	M
82.0	84.9	-2.9	52.7	5.6%	D	M
85.1	85.7	-0.6	51.9	1.2%	D	M
83.7	86.2	-2.5	51.5	4.8%	D	M
83.0	79.5	3.5	58.1	5.9%	D	M
82.8	80.0	2.8	57.6	4.9%	D	M
82.5	81.1	1.4	56.5	2.4%	D	M
84.2	83.4	0.8	54.2	1.6%	D	M
84.3	78.6	5.7	59.1	9.7%	D	M
81.9	83.2	-1.3	54.5	2.4%	D	M
82.8	84.6	-1.8	53.0	3.4%	D	M
84.2	84.1	0.1	53.5	0.2%	D	M
85.6	82.6	3.0	55.0	5.4%	D	M
57.6	64.5	-6.9	73.1	9.4%	D	M
62.1	71.1	-9.0	66.5	13.5%	D	M
58.1	66.0	-7.9	71.7	11.0%	D	M
59.0	65.6	-6.6	72.0	9.2%	D	M
59.7	64.4	-4.7	73.3	6.4%	D	M
72.3	70.6	1.7	67.0	2.5%	D	M
61.3	65.2	-3.9	72.4	5.3%	D	M
60.9	67.5	-6.6	70.1	9.5%	D	M