

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 2019**

Untersuchungsbericht:	Empa-Nr. 5211.01543.100-2
Ihr Auftrag vom:	18. Juni 2018
Anzahl Seiten inkl. Beilagen:	66

---

Dübendorf, 2. April 2019

Der Projektleiter:



Jean Marc Wunderli

Abteilung Akustik / Lärminderung

Der Abteilungsleiter:



Kurt Eggenschwiler

## Inhaltsverzeichnis

- 1 Auftrag
- 2 Zur Vorgehensweise und Darstellung der Resultate
- 3 Grancia 1988 und Ponto Valentino 1992
- 4 Vugelles 1996 und 1998
- 5 Sion – Pro Bardy 1997
- 6 St. Maurice 1999
- 7 Fontana 1999
- 8 Chésopelloz 2000
- 9 Bure 2001
- 10 Thun 2002
- 11 Chur 2003
- 12 Tegital 2009
- 13 Torre und Olivone 2011
- 14 Gamprin-Bendern 2011
- 15 Zürich, Albisgüetli 2014
- 16 Dübendorf und Wangen-Brütisellen 2016
- 17 Klosters 2018
- 18 Jussy 2018
- 19 Abschätzung einer mittleren Modellunsicherheit
- 20 Diskussion
- 21 Abschätzung der Prognosegenauigkeit von Beurteilungspegeln

## Zusammenfassung

Im Rahmen der Validierungsuntersuchung wurden gesamthaft 401 Quellen-Empfänger-Meteo-Kombinationen aus Messungen von jeweils fünf bis zehn Schuss an 19 verschiedenen Standorten zusammengefasst und mit sonARMS-Berechnungen verglichen. Die mittlere Abweichung zwischen Messung und Berechnung der Serienmittelwerte beträgt -0.5 dB(A) bei einer Standardabweichung von 4.0 dB(A). Relativ zur Ausbreitungsdämpfung betrachtet, resultiert eine repräsentative Modellunsicherheit bei der Beschreibung von einzelnen Ausbreitungssituationen von 3.7%. 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.

Die Validierung ergab zwei Tendenzen zur Überschätzung bei den Berechnungen. So wurde festgestellt, dass das Reflexionsmodell für Gebäude und andere künstliche Objekte unter der Annahme schallharter Flächen im Mittel zu hohe Pegel ausweist. Es wird deshalb empfohlen, pauschal den Oberflächentyp sämtlicher Gebäude von schallhart (ID 501) zu leicht absorbierend (ID 502) anzupassen. Ebenfalls zeigte sich, dass die Maximalpegel im Mittel um 1.3 dB(A) höher als die Messungen liegen. Dies wird damit erklärt, dass sonX für Energie-basierte Grössen wie den  $L_{AE}$  entwickelt wurde und die Maximalpegelberechnung erst in einem zweiten, nachgeschalteten Schritt erfolgt. Dabei werden namentlich zwei Annahmen getroffen, (a) dass es sich beim Direktschall um einen idealen Impuls handelt und (b) dass sämtliche Gebäudereflexionen vom dominanten Reflektor stammen. Diese Annahmen sind konservativ gewählt und können in entsprechenden Fällen zu Überschätzungen führen.

Die resultierende Genauigkeit ist nur geringfügig besser als bei der Validierung aus dem Jahr 2013; die Modellunsicherheit damit vergleichbar. Allerdings wurde 2013 das Reflexionsmodell bei der Validierung nicht berücksichtigt.

Die aktuelle Version von sonARMS liefert in der Tendenz etwas tiefere Immissionen als die Version von 2013, dies namentlich aufgrund von drei Anpassungen am Modell:

- Pauschale Reduktion des Geschossknalles um ca. 1.8 dB(A) aufgrund einer Zwischenvalidierung im Jahr 2016
- Anpassung der Hindernisformel im Hinblick auf die aktuelle Veröffentlichung, so dass auch bei freier Sicht zwischen Quelle und Empfänger eine Hinderniswirkung auftreten kann.
- Pauschale Reduktion der Gebäudereflexionen durch Anpassung der Oberflächeneigenschaften der Gebäude von schallhart auf leicht absorbierend.

# 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. Im Jahr 2013 war eine umfangreiche Validierung des sonX-Ausbreitungsmodells sowie des abgeleiteten Schiesslärmmodells sonARMS durchgeführt worden (siehe Empa-Bericht Nr. 5211.00381.100.01-2). Seit 2013 wird sonARMS auf der Bafu-Homepage gratis zur Verfügung gestellt und als Standardmodell für die Schiesslärmmodellierung empfohlen. Seither wurden verschiedene Anpassungen und Verbesserungen am Modell durchgeführt, welche zur aktuellen Rechenkernversion V5.0.0 geführt haben. Das BAFU beauftragte die Empa mit Vertrags-Nr. 00.5097.PZ/R222-0221, eine neuerliche Validierung von sonARMS durchzuführen. Die Validierung erfolgt im Vergleich zu Schiesslärmmessungen, welche die Empa und andere im Verlauf der letzten rund 20 Jahre durchgeführt haben. 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.

Die Vergleichsberechnungen wurden mit dem sonARMS Rechenkern Version V4.9.E vom 5. März 2019 bzw. mit der Version V5.0.0 vom 14. März 2019 durchgeführt. Der Rechenkern wird in allen Fällen mit den Varianten Basic, Meteo, Forest und Reflect betrieben. Es kommen die empfohlenen Standardeinstellungen zum Einsatz. Da erste Tests eine Tendenz zu übermässigen Reflexionen ergeben haben, wurde der Oberflächentyp sämtlicher Gebäude von schallhart (ID 501) zu leicht absorbierend (ID 502) angepasst.

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 werden in den Abbildungen neben dem energetischen Mittelwert zusätzlich Boxplots mit den 25 und 75% Quartilen dargestellt. Falls aus den Unterlagen ersichtlich, werden zusätzlich Maximal- und Minimalwerte ergänzt. Die berechneten Werte sind in den Graphiken als rote Punkte eingetragen. Als zusätzliche Information werden als rote Striche die maximalen und minimalen Berechnungswerte eingezeichnet,

welche aus einer Berechnung mit statistischem Wetter mit 80% Abdeckung resultierten. Liegen diese bei den Striche weit auseinander, so ist dies ein Hinweis auf einen dominanten Direktschall und einen grossen Wettereinfluss. Im gegenteiligen Fall ist der Wettereinfluss klein oder der Immissionspegel wird durch eine Reflexion dominiert.<sup>1</sup>

In tabellarischer Form werden für jede Berechnungssituation<sup>2</sup> die mittlere Abweichung  $\mu$  (Mittelwert von Messung – Berechnung) und die Standardabweichung  $\sigma$  ( der Grösse Messung – Berechnung) ausgewiesen. und der mittlere Fehler  $m$  ausgewiesen. Zusätzlich wird der mittlere Fehler dargestellt, welcher sich gemäss nachfolgender Formel aus der mittleren Abweichung und der Standardabweichung berechnet. Damit wird berücksichtigt, dass die Abweichung zwischen Messung und Berechnung einerseits statistische und andererseits systematische Fehler als Ursache haben kann.

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

Als weitere Grösse wird pro Situation der Mittelwert des prozentualen Fehlers ausgewiesen. Der prozentuale Fehler berechnet sich pro Quellen-Empfänger-Meteo-Kombination 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>3</sup> des Mündungsknalls, 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.

Pro Situation wird ergänzend auf Besonderheiten der Situation und auf mögliche Gründe für grössere Abweichungen zwischen Messungen und Berechnungen hingewiesen.

---

<sup>1</sup> In seltenen Fällen liegen die berechneten Einzelwerte ausserhalb des Bandes, welches aus der Wetterstatistik resultiert. Dies ist dann der Fall, wenn die spezifische Wetterlage nicht durch die in der Wetterstatistik abgebildeten Einzelwetterlagen abgebildet wird. Dies kann primär an einer abweichenden Windrichtung oder an den Angaben für Temperatur und Feuchte liegen.

<sup>2</sup> Eine Berechnungssituation kann mehrere Empfänger, Quellen oder Meteosituationen eines Messstandortes umfassen.

<sup>3</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.

### 3 Grancia 1988 und Ponto Valentino 1992

Das Ingenieurbüro Bonalumi Ferrari Partner SA erstellt für den Kanton Tessin Schiesslärmkaster. Für einige Standorte lagen dazu auch ältere Messdaten vor, welche für Vergleiche zwischen Messungen und Berechnungen verwendet werden können und der Empa zu diesem Zweck zur Verfügung gestellt wurden.

#### 3.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	Grancia: 6. September 1988 Ponto Valentino: 23. Oktober 1992
Wetter:	keine Messung – nur Beobachtung Grancia: schönes Wetter, ohne Wind, 25°C Ponto Valentino: bewölkt, ohne Wind, 10°C
Quelle(n):	Sturmgewehr 57
Messpunkte:	Grancia: Fünf Messpunkte im Freien. Ponto Valentino: Acht Messpunkte im Freien .
Messgrösse:	$L_{AFmax}$
Bemerkungen:	Es liegen keine Einzelschüsse, sondern nur Serienmittelwerte vor. In Porto Valentino wurden drei Schiesspositionen modelliert und jeweils der energetische Mittelwert verwendet.

#### 3.2 Angaben zur Berechnung

Meteo:	Grancia: Meteoklasse: L0, Windrichtung: 0°, Temperatur: 25 °C, relative Feuchtigkeit: 70% Ponto Valentino: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 60°, Temperatur: 10 °C, relative Feuchtigkeit: 70%
Bemerkung:	Stark strukturiertes Gelände und Gebäudeabschirmungen. Waldreflexionen von Mündungs- und Geschossknall.

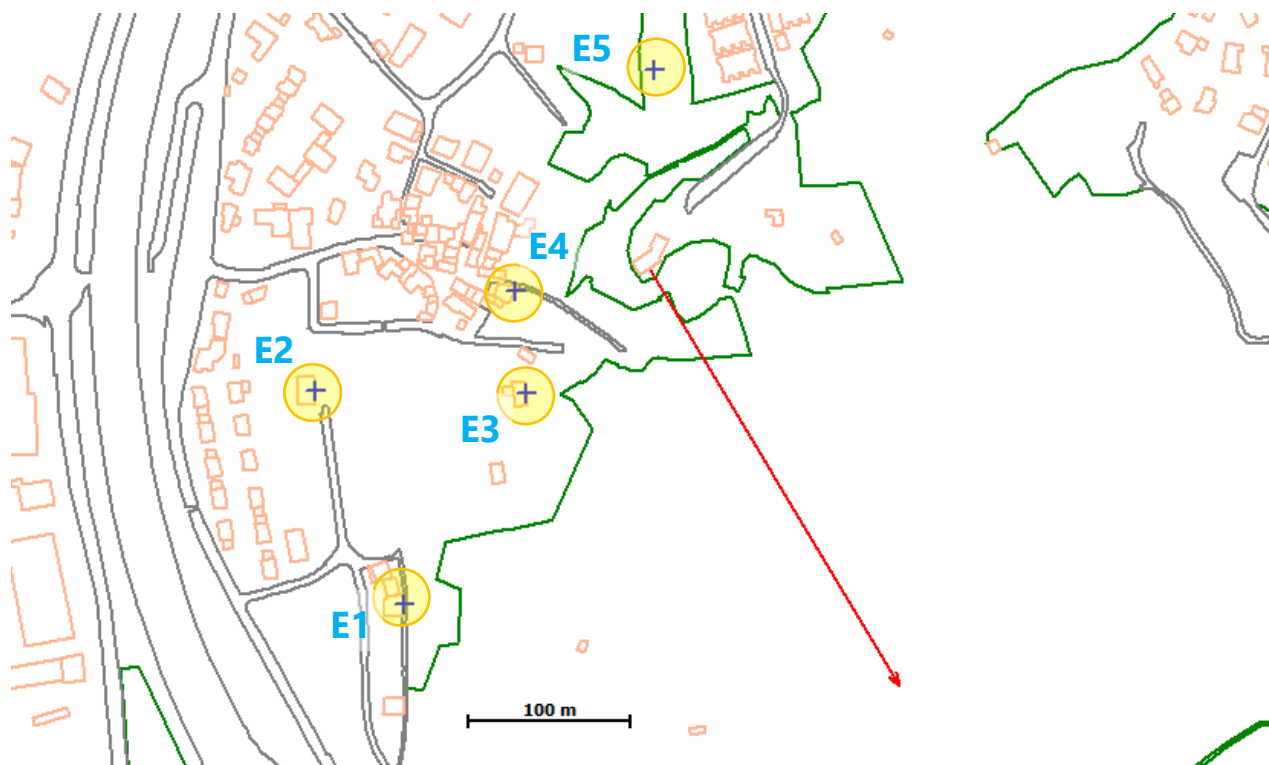


Abbildung 1: Übersichtskarte Grancia.

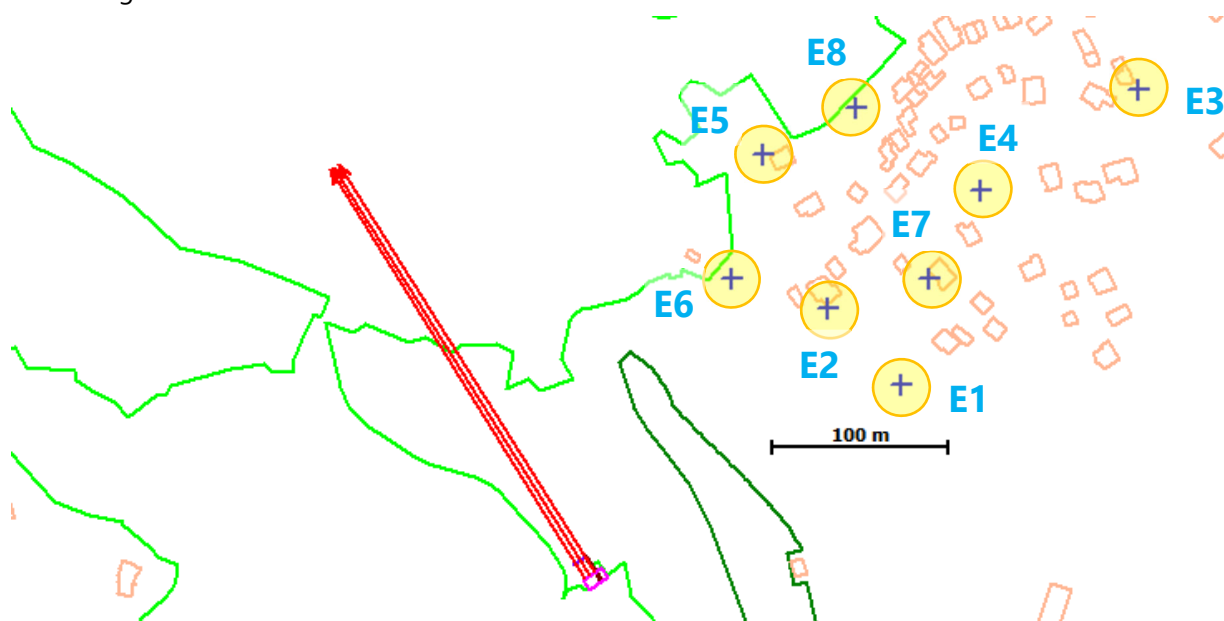


Abbildung 2: Übersichtskarte Ponto Valentino.

### 3.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Grancia	0.4 dB(A)	3.8 dB(A)	3.8 dB(A)	5.1%
Ponto Valentino	-0.3 dB(A)	3.2 dB(A)	3.3 dB(A)	3.3%

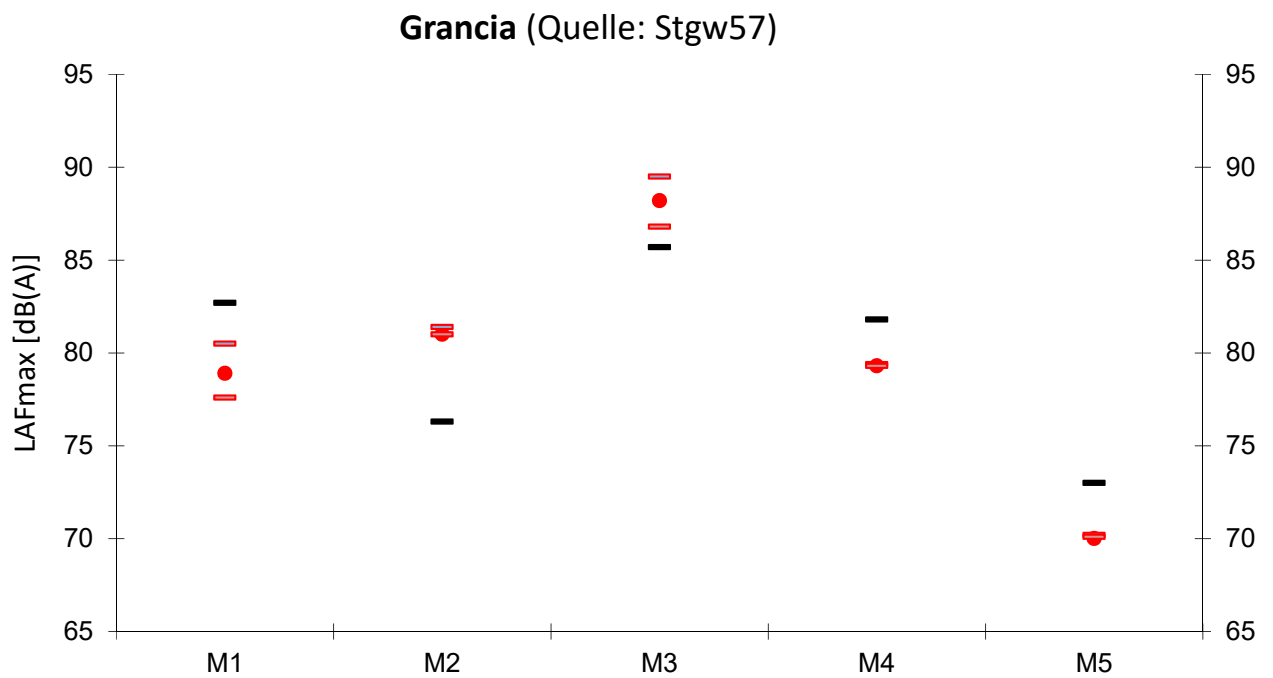


Abbildung 3: Vergleich Messung und Berechnung in Grancia.

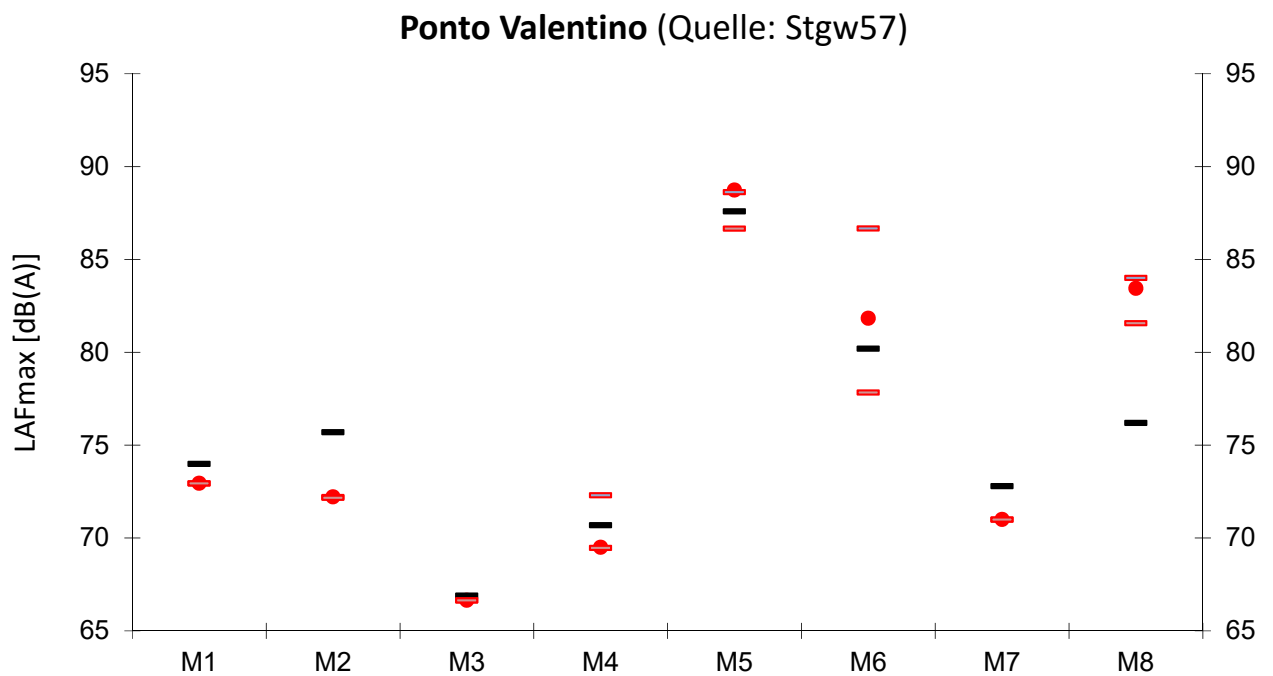


Abbildung 4: Vergleich Messung und Berechnung in Ponto Valentino.



## 4 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).

### 4.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	29. August 1996, morgens und nachmittags 14., 15. Juli und 4. August morgens und nachmittags 1998 (4 Wiederholungen, wobei die Morgenmessungen des 4. August nicht verwertbar waren)
Wetter:	29. August 1996: Bewölkt, zunehmende Westwinde mit 2 – 6 m/s (aufziehendes Gewitter), am Nachmittag abnehmende Bewölkung und schwächere Winde 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 4.5 m Höhe
Messgrösse:	$L_{AE}$

### 4.2 Angaben zur Simulation

Meteo:	1996: Meteoklasse: N2, Windrichtung: 290°, Temperatur: 18 °C, relative Feuchtigkeit: 55% 14. Juli 1998, M1: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 270°, Temperatur: 20 °C, relative Feuchtigkeit: 50% 15. Juli 1998, M2: Meteoklasse: N4, Windrichtung: 270°, Temperatur: 20 °C, relative Feuchtigkeit: 50% 4. August 1998, M3: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 90°, Temperatur: 20 °C, relative Feuchtigkeit: 50%
Bemerkungen :	In Vugelles teilweise Abschirmungen und Reflexionen durch Gebäude. Geschossknall in Vugelles, teilweise dominante Waldreflexionen

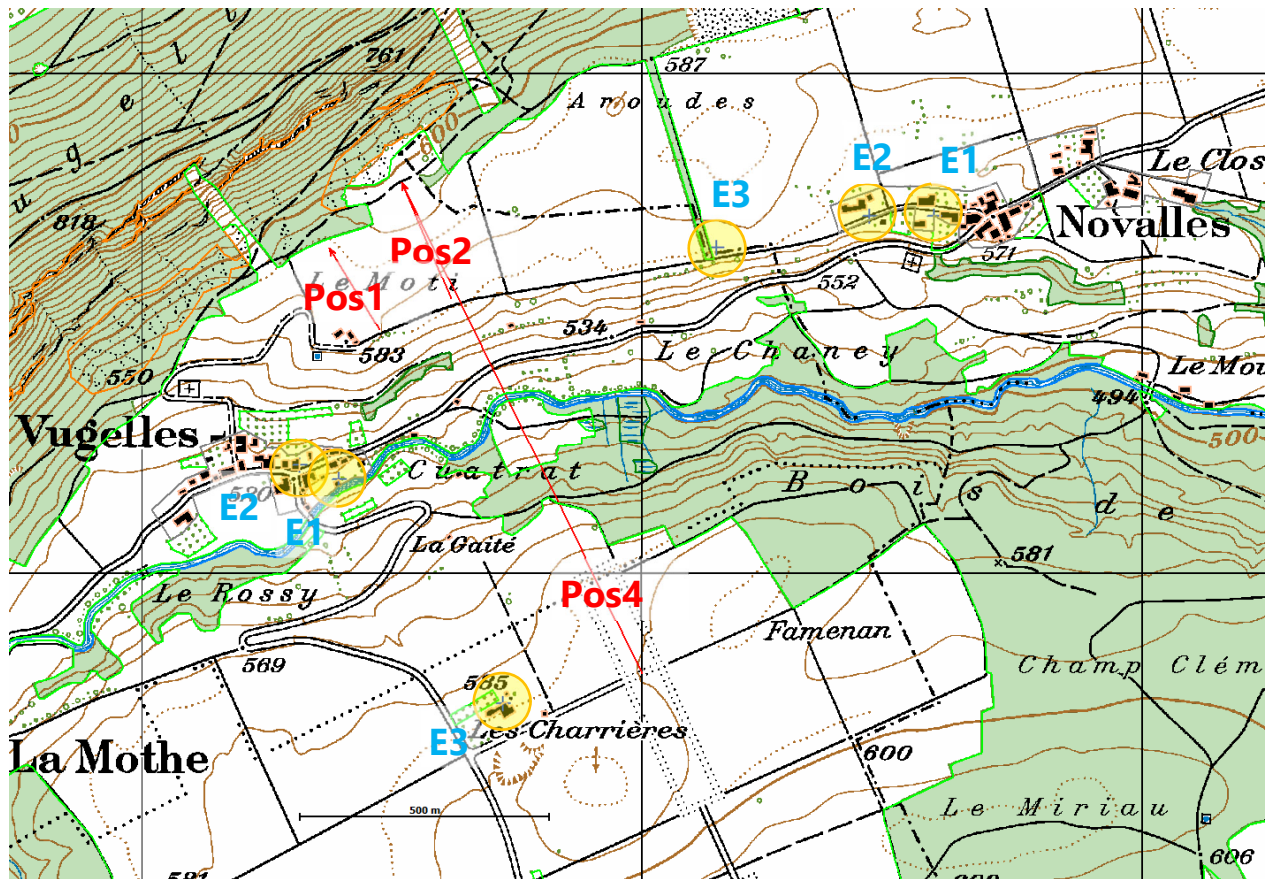


Abbildung 5: Übersichtskarte Vugelles und Novalles.

### 4.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Vugelles	0.8 dB(A)	2.4 dB(A)	2.6 dB(A)	2.5%
Novalles S1	-0.4 dB(A)	2.5 dB(A)	2.5 dB(A)	2.1%
Novalles S2	0.4 dB(A)	3.4 dB(A)	3.4 dB(A)	3.1%

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

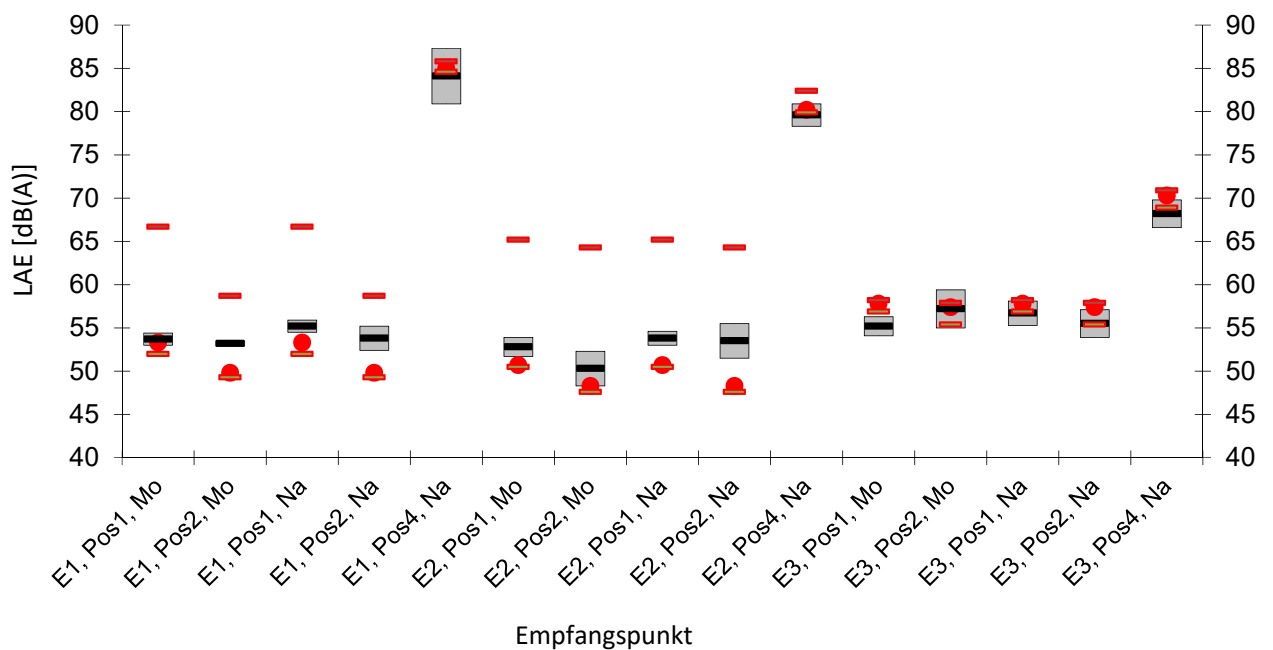


Abbildung 6: Vergleich Messung und Berechnung für Vugelles 1996 (Mo = Morgen, Na = Nachmittag).

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

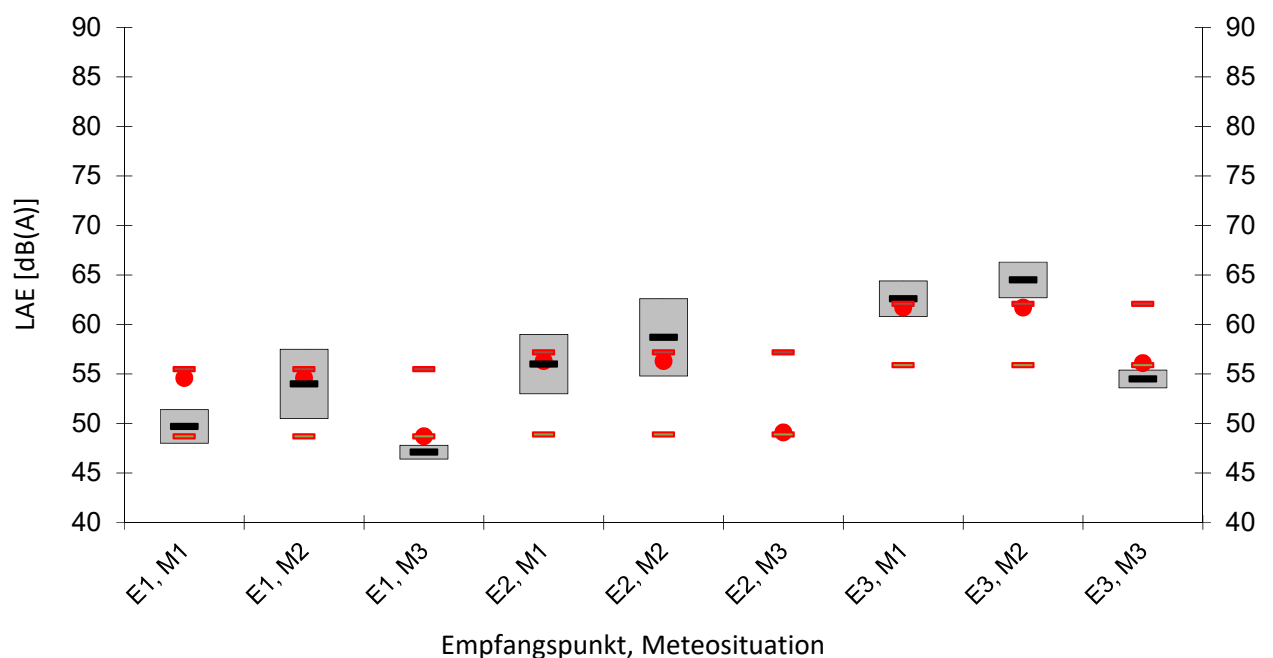


Abbildung 7: Vergleich Messung und Berechnung für Novalles 1998, Position S1.

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

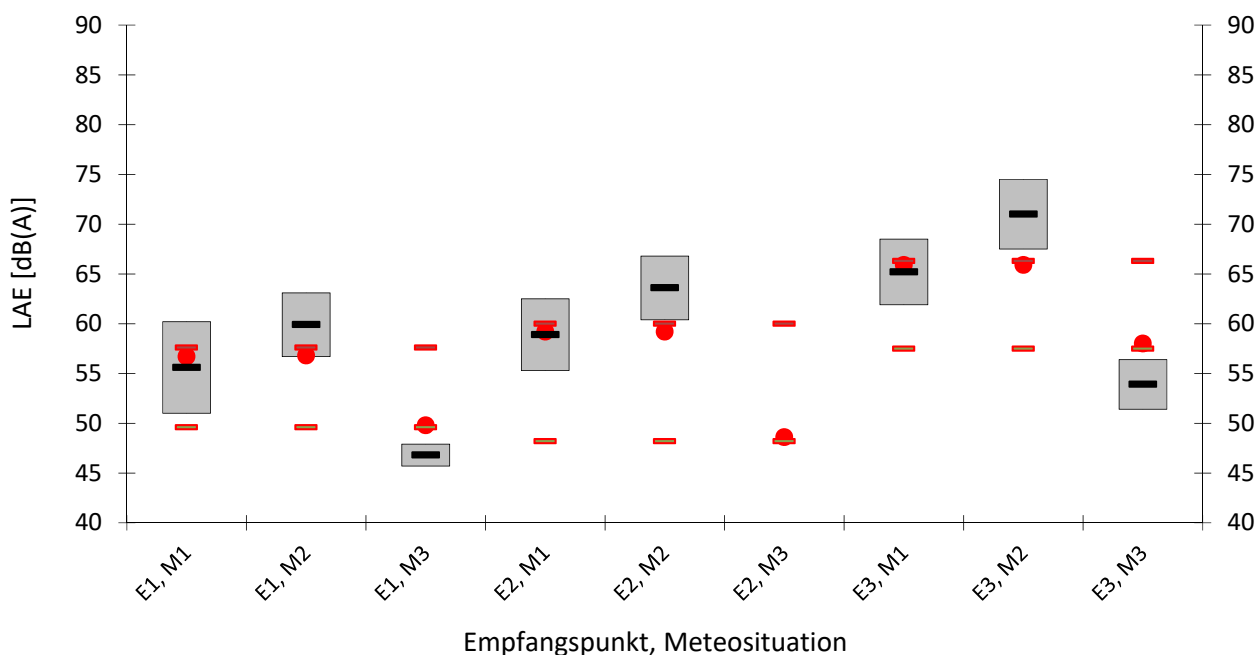


Abbildung 8: Vergleich Messung und Berechnung für Novalles 1998, Position S2.

## 5 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).

### 5.1 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. Bei mehreren Empfangspunkten wird die Sichtlinie knapp durch natürliche Hindernisse unterbrochen.

## 5.2 Angaben zur Simulation

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

M2: Meteoklasse: N1, Windrichtung: 80°, Temperatur: 12 °C, relative Feuchtigkeit: 45%

Bemerkungen : Wald- und Felsreflexionen, Ausbreitung über Wasser, Hindernisse

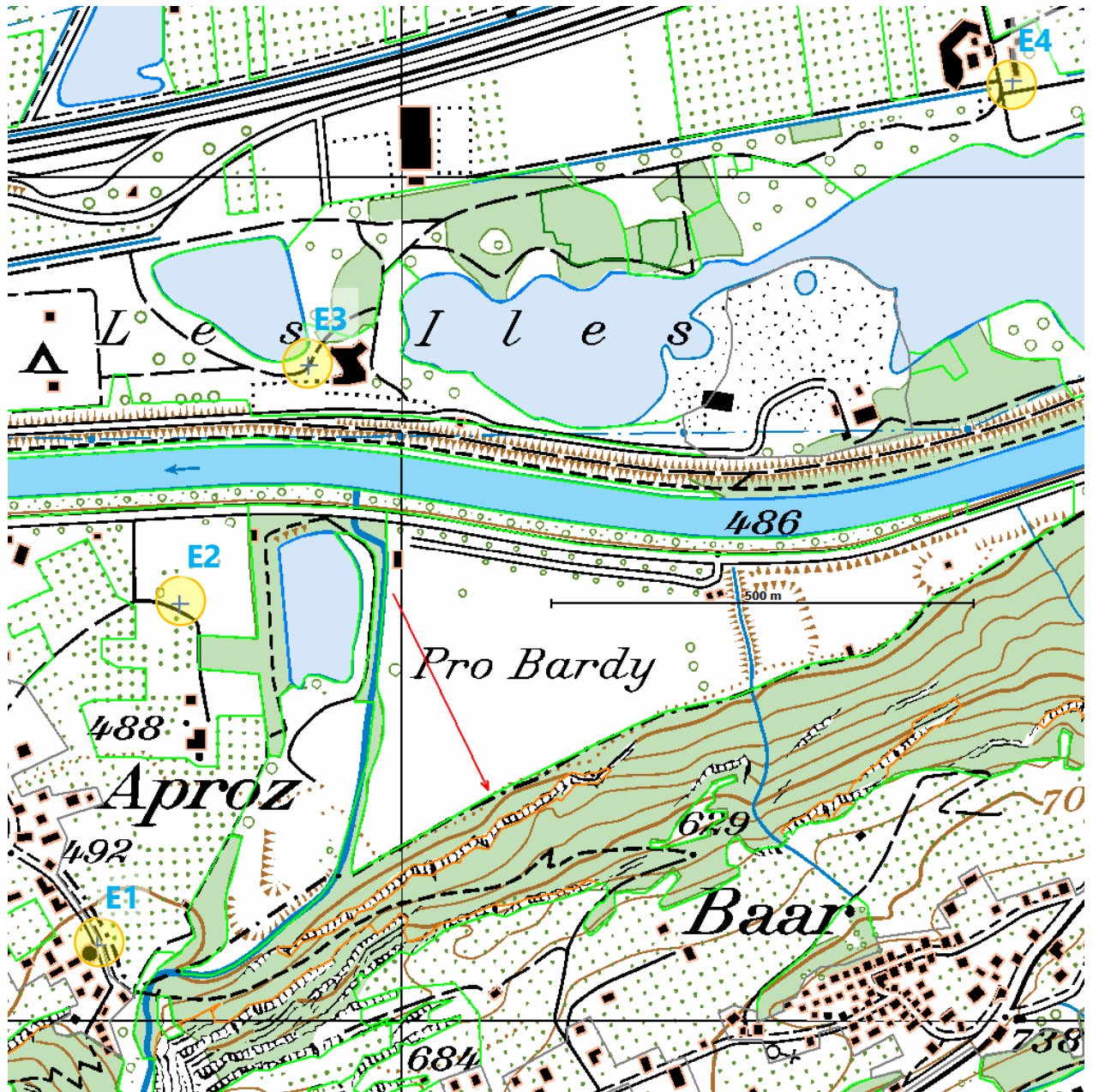


Abbildung 9: Übersichtskarte Sion – Pro Bardy.

## 5.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Sion – Pro Bardy	1.4 dB(A)	5.7 dB(A)	5.7 dB(A)	6.1%

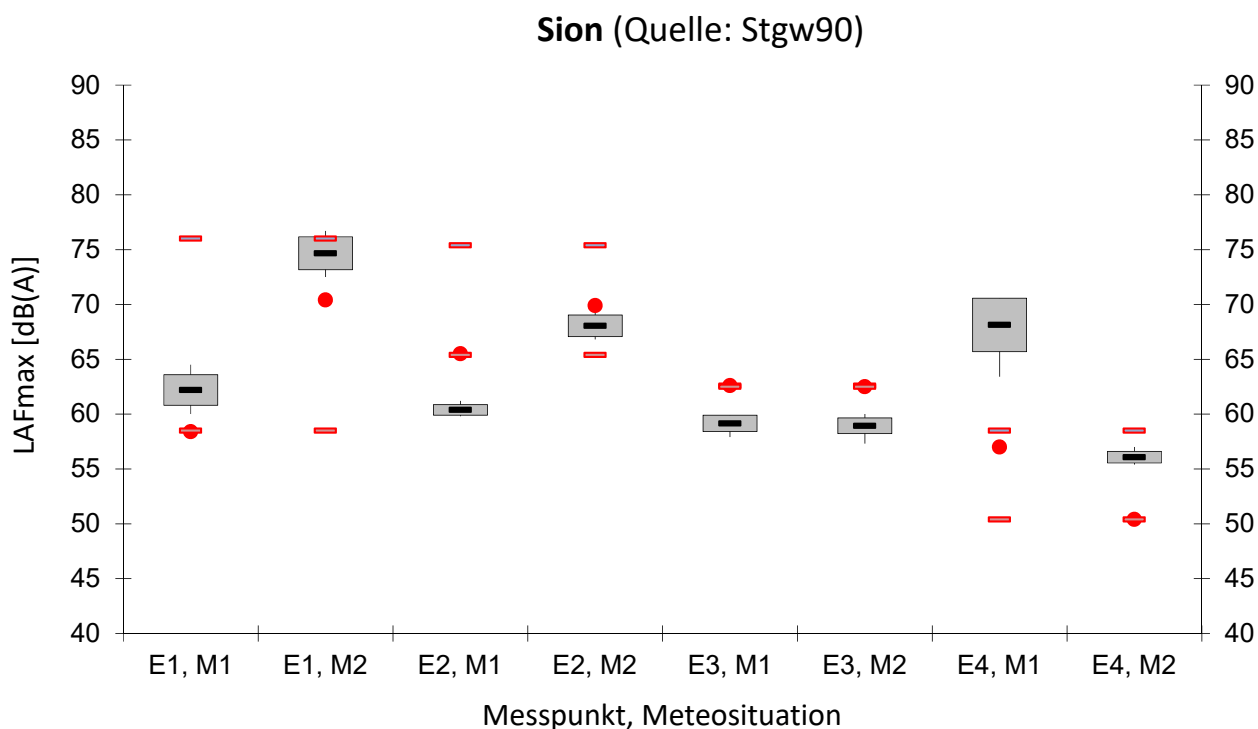


Abbildung 10: Vergleich Messung und Berechnung für Sion – Pro Bardy.

## 6 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.

### 6.1 Angaben zur Messung

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

Wetter: 1. Juli 1999: sonnig, Nordwind mit 5 m/s  
 2. Juli 1999: sonnig, Südwind mit 3-5 m/s  
 (Windmesser beim 300m-Stand in 10 m Höhe)

Situation 1

Situation 2

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.

### 6.2 Angaben zur Simulation

Modus: Basic + Meteo + Forest + Reflect

Meteo: M1: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 350°, Temperatur: 18 °C, relative Feuchtigkeit: 45%  
 M2: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 140°, Temperatur: 18 °C, relative Feuchtigkeit: 45%



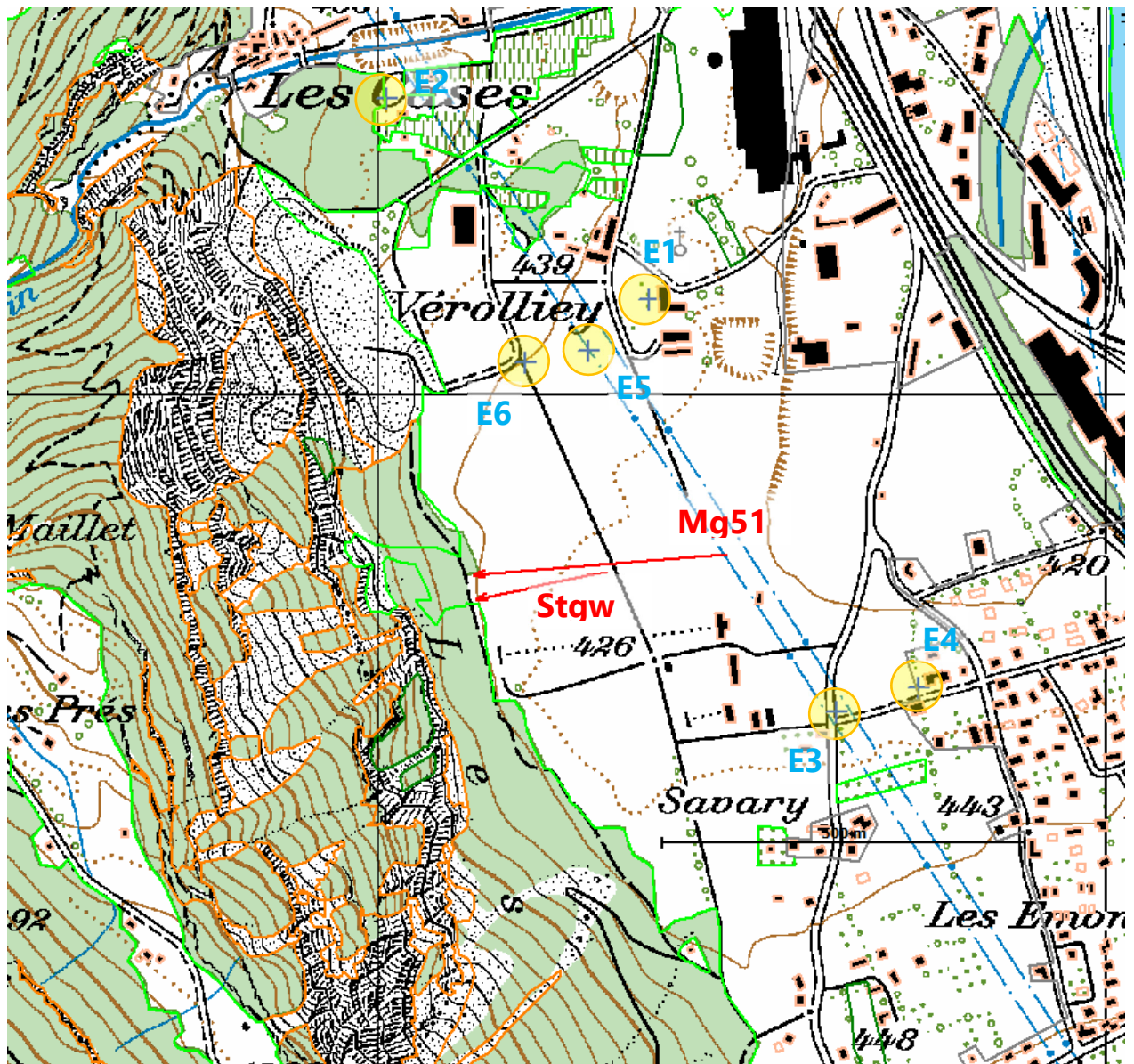


Abbildung 11: Übersichtskarte St. Maurice.

### 6.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Stgw90	0.3 dB(A)	3.4 dB(A)	3.4 dB(A)	3.0%
Mg51	-2.4 dB(A)	5.9 dB(A)	6.3 dB(A)	7.1%

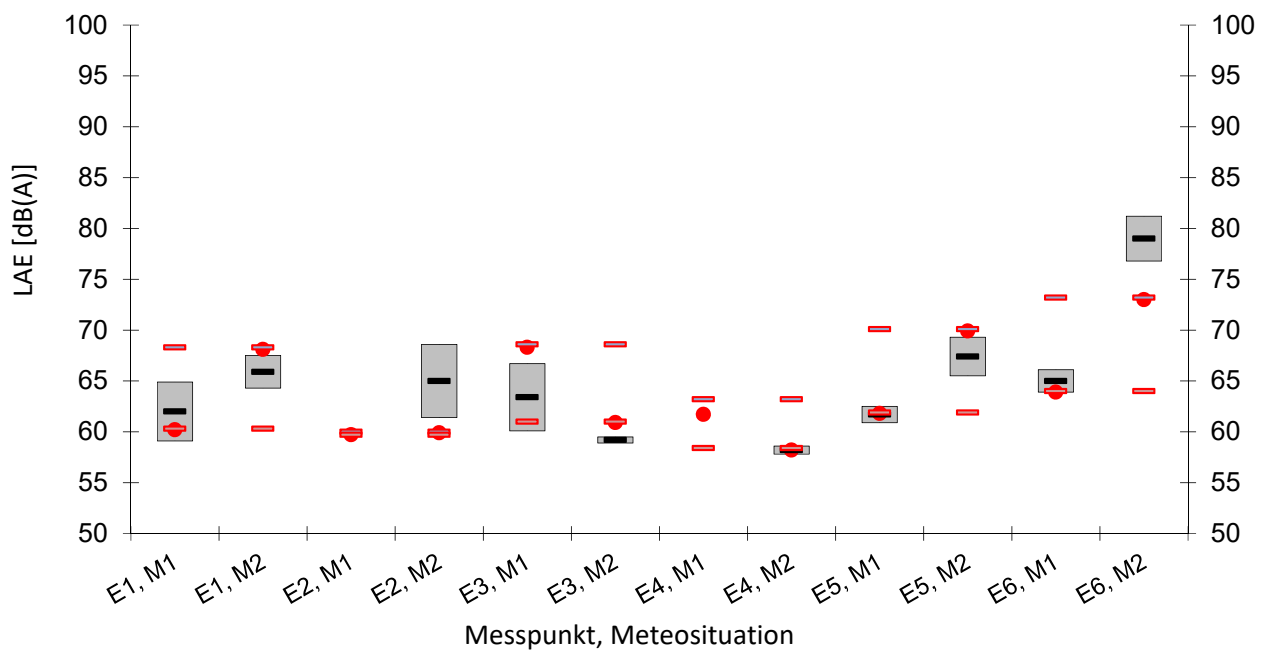
**St. Maurice (Quelle: Stgw90)**

Abbildung 12: Vergleich Messung und Berechnung für St. Maurice, Schiessen mit Sturmgewehr.

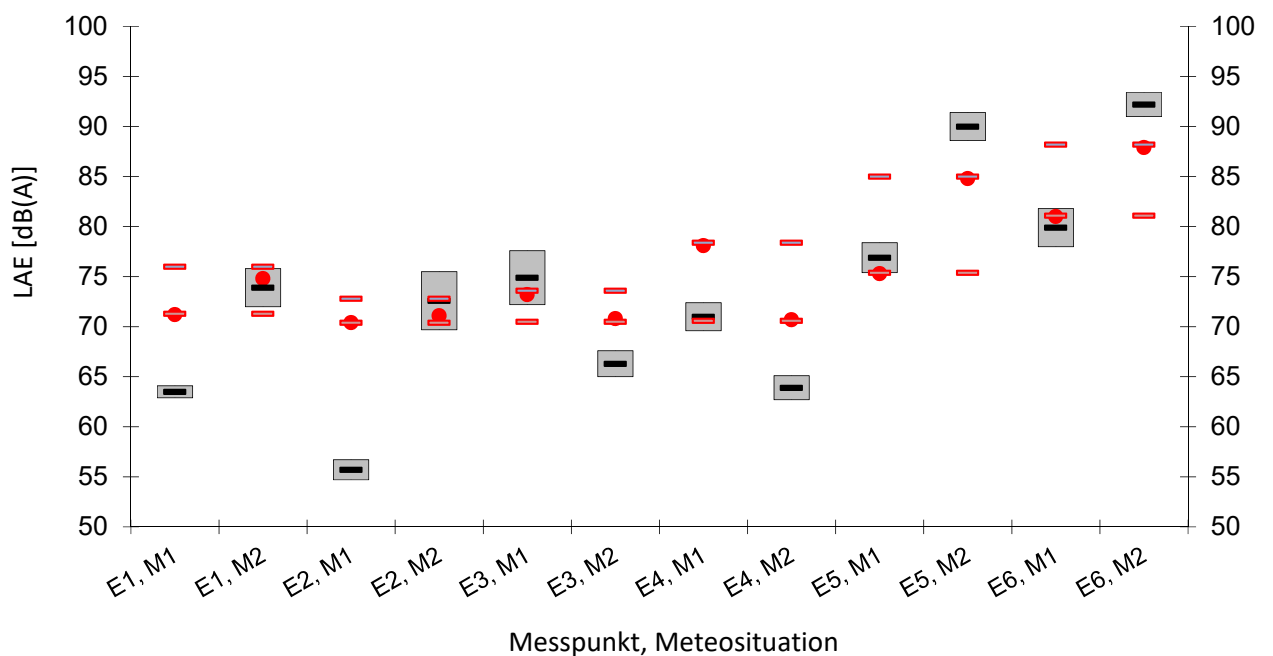
**St. Maurice (Quelle: Mg51)**

Abbildung 13: Vergleich Messung und Berechnung für St. Maurice, Schiessen mit Maschinengewehr.



## **7 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.

### **7.1 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.

### **7.2 Angaben zur Simulation**

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%
Bemerkungen:	Relevante Schallpfade seitlich um Hindernisse. Wirkung der Massnahmen durch diffuse Reflexionen limitiert.

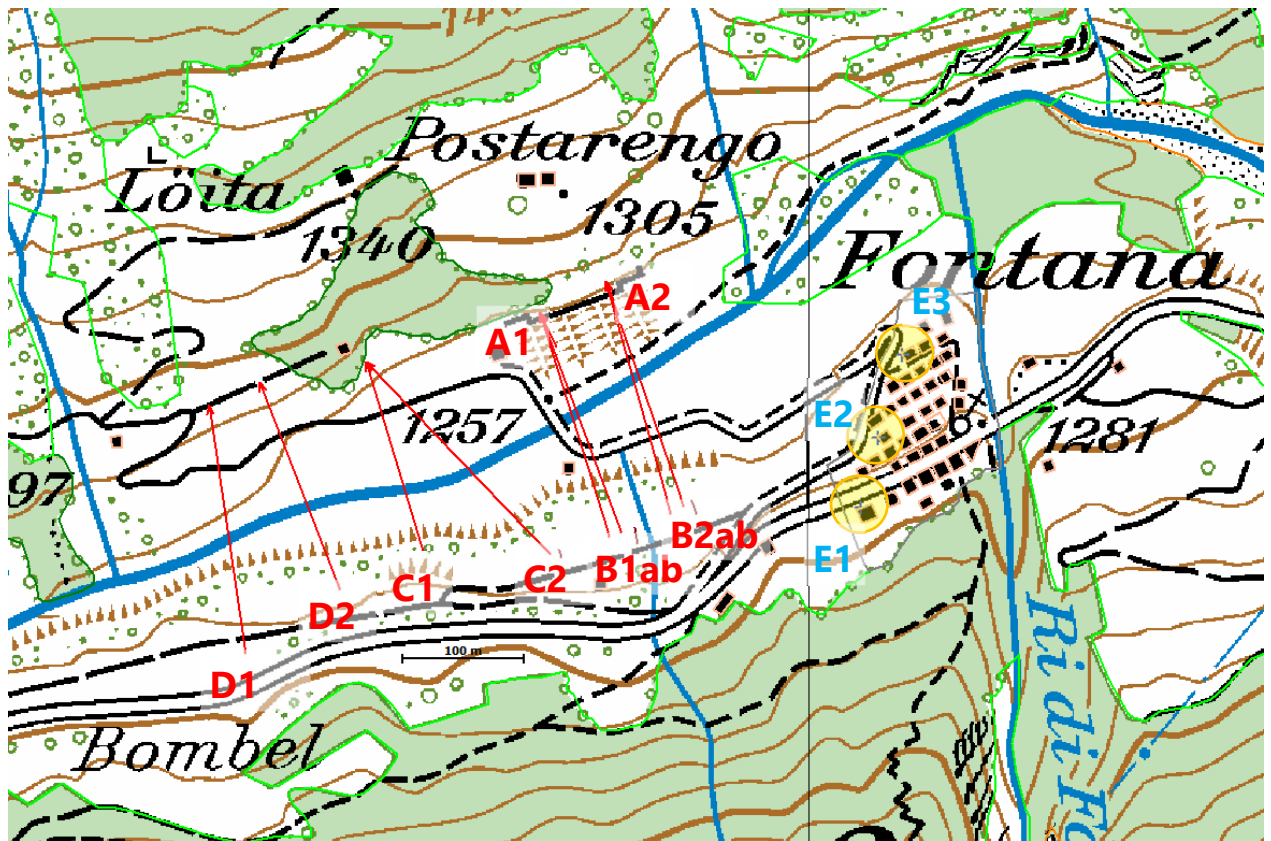


Abbildung 14: Übersichtskarte Fontana.

### 7.3 Vergleich Messung - Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Fontana E1	0.1 dB(A)	2.2 dB(A)	2.2 dB(A)	2.3%
<b>Fontana E2</b>	0.8 dB(A)	1.2 dB(A)	1.5 dB(A)	1.7%
<b>Fontana E3</b>	-0.6 dB(A)	2.7 dB(A)	2.8 dB(A)	3.3%

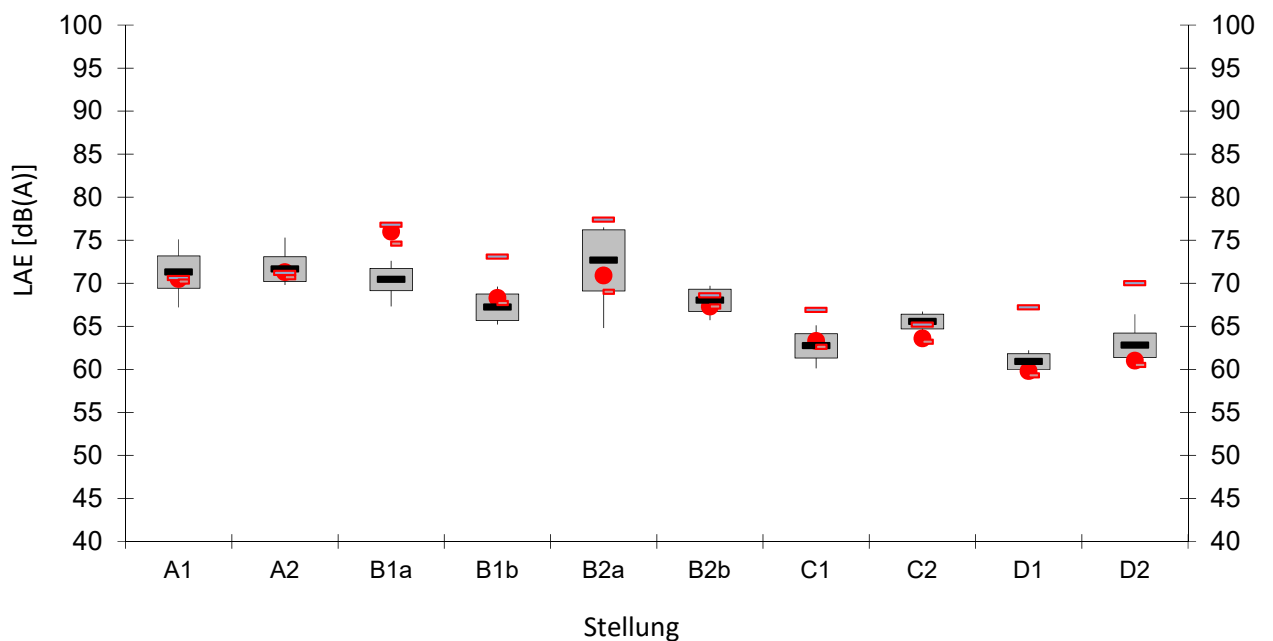
**Fontana, Messpunkt 1 (Quelle: Stgw90)**

Abbildung 15: Vergleich Messung und Berechnung für Messpunkt 1 in Fontana.

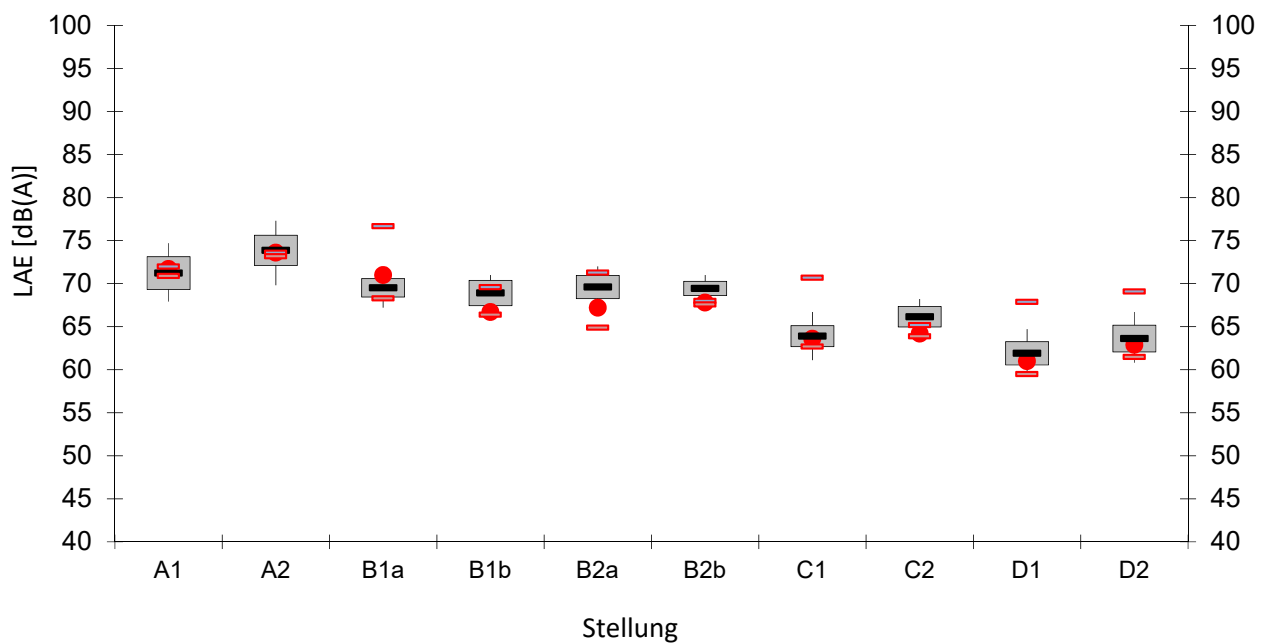
**Fontana, Messpunkt 2 (Quelle: Stgw90)**

Abbildung 16: Vergleich Messung und Berechnung für Messpunkt 2 in Fontana.

### Fontana, Messpunkt 3 (Quelle: Stgw90)

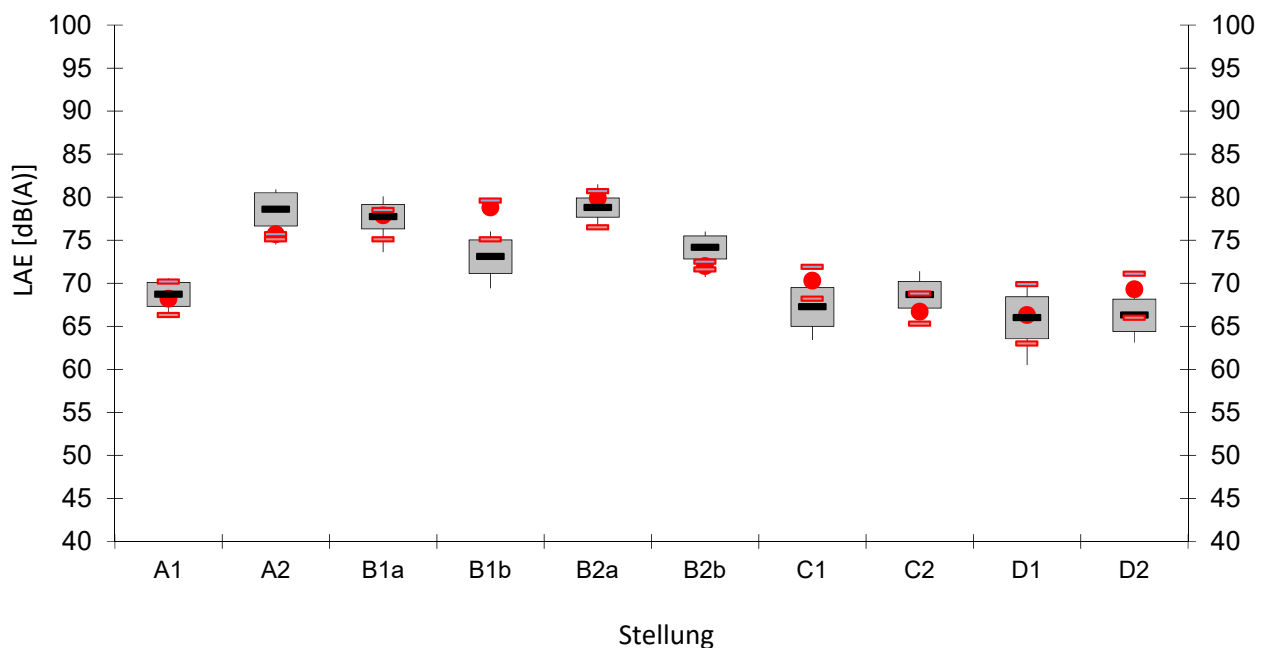


Abbildung 17: Vergleich Messung und Berechnung für Messpunkt 3 in Fontana.

## 8 Chésopelloz 2000

Der Schiessplatz Chésopelloz befindet sich nordwestlich von Freiburg in stark kupiertem 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.

### 8.1 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	Situation 1	
	Serie B: bewölkt, 5 °C, 4 m/s NNO, böig	Situation 2	
	Serie C: sonnig, leicht bewölkt, 0 - 2 m/s N	Situation 3	
	Serie D: sonnig, 1 - 3 m/s S	Situation 4	
	(Windmesser beim 300m Stand mit 10 m Messhöhe)		
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 <sub>AFmax</sub>		
Bemerkungen:	Die Quellen befinden sich in einer Talmulde mit Abschirmung in alle Richtungen. Bei der ersten Messdurchführung wurde eine Serie weniger geschossen.		

## 8.2 Angaben zur Simulation

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%

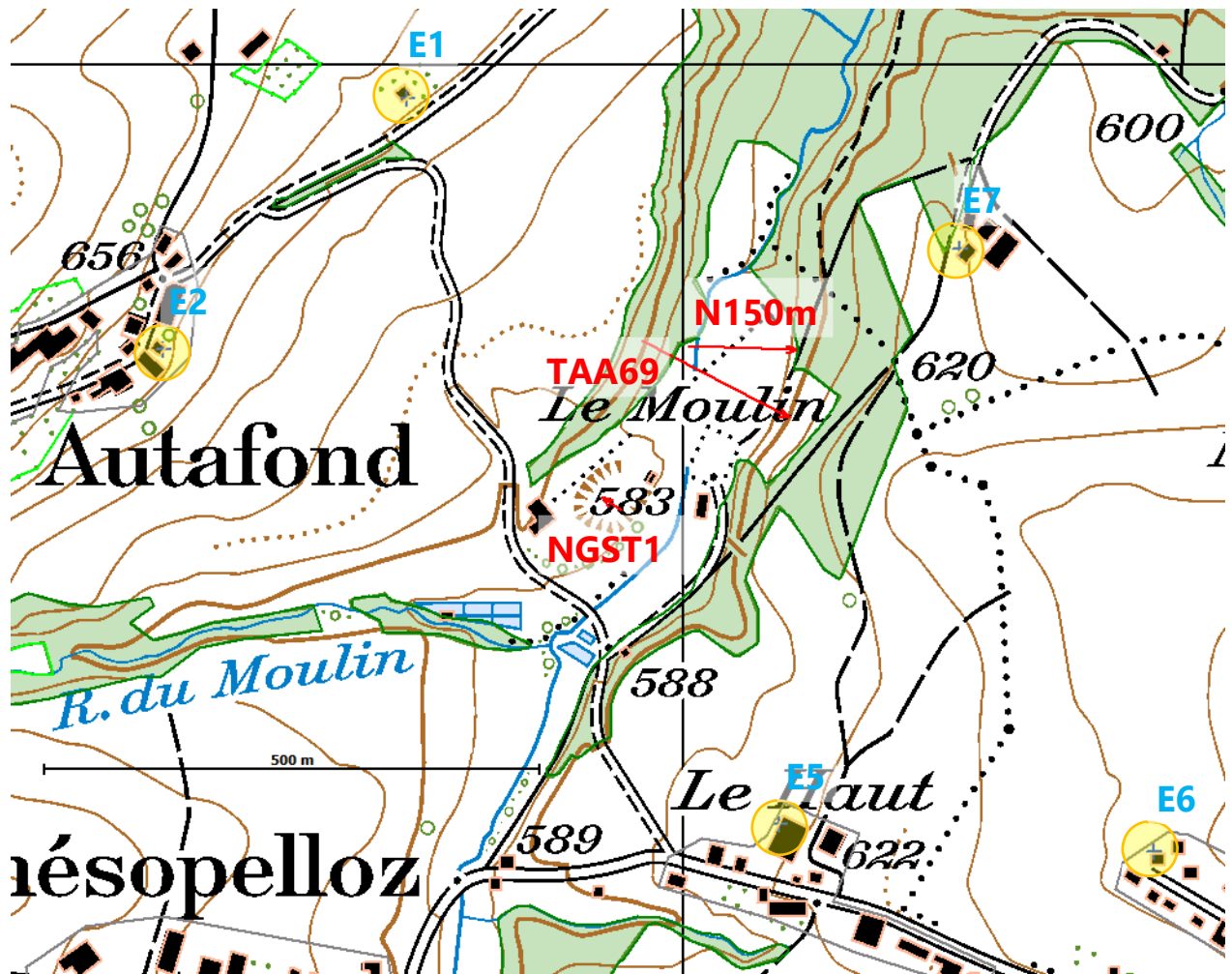


Abbildung 18: Übersichtskarte Fontana.

## 8.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Serie A	0.5 dB(A)	3.1 dB(A)	3.1 dB(A)	3.2%
<b>Serie B</b>	1.0 dB(A)	3.3 dB(A)	3.5 dB(A)	3.4%
<b>Serie C</b>	1.4 dB(A)	3.4 dB(A)	3.7 dB(A)	3.5%
<b>Serie D</b>	2.1 dB(A)	3.6 dB(A)	4.2 dB(A)	3.8%

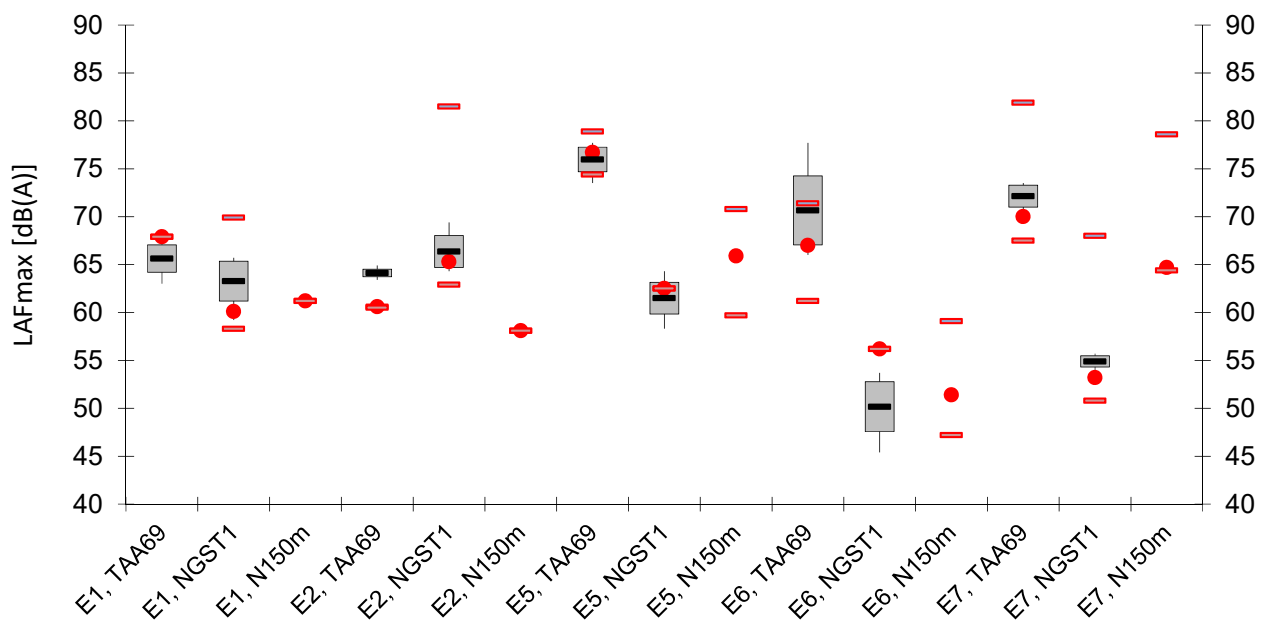
**Chésopelloz, Serie A (Quelle: Stgw90)**

Abbildung 19: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie A.

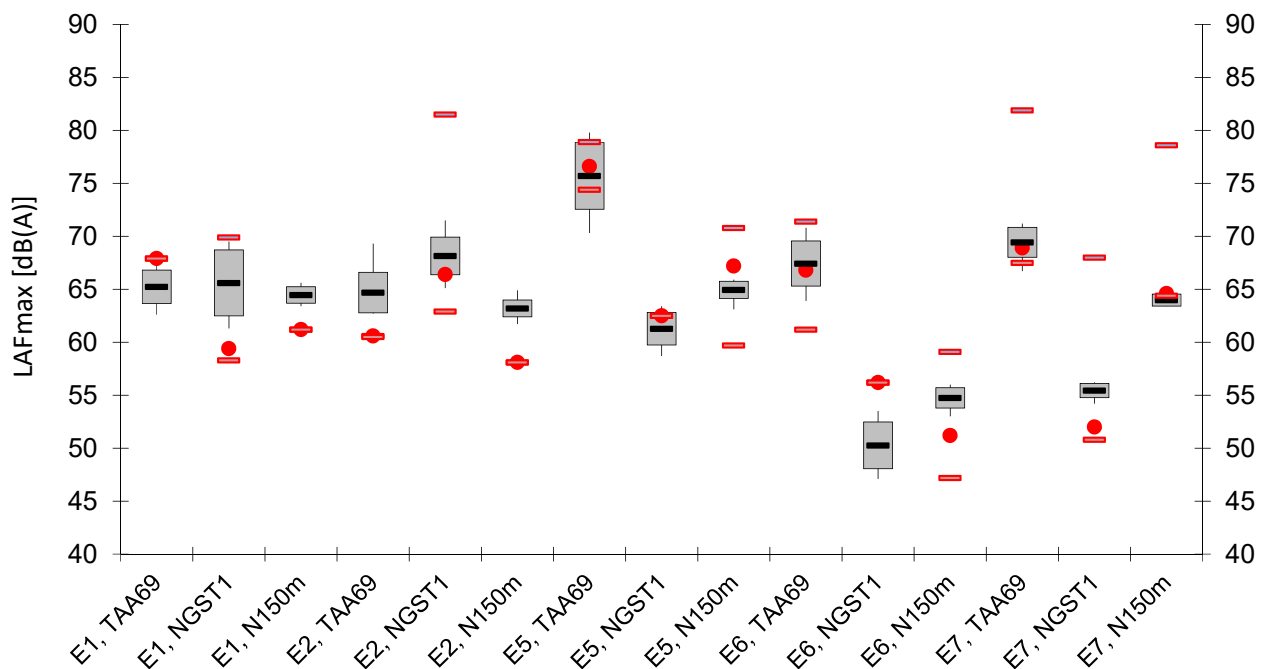
**Chésopelloz, Serie B (Quelle: Stgw90)**

Abbildung 20: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie B.

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

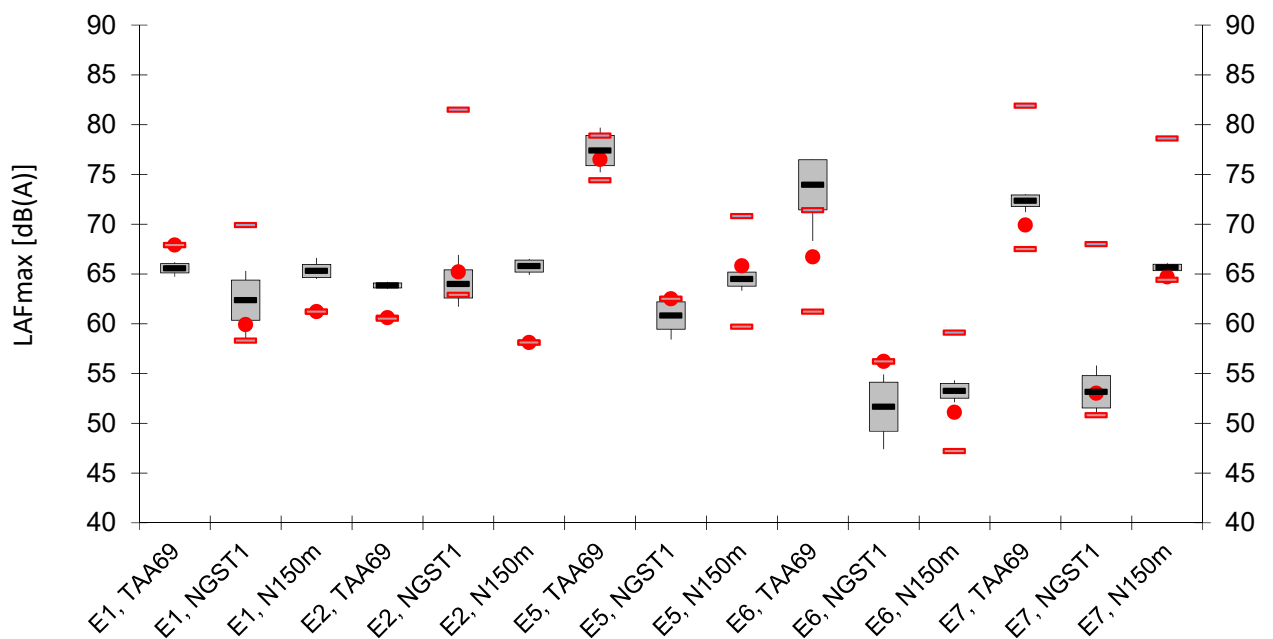


Abbildung 21: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie C.

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

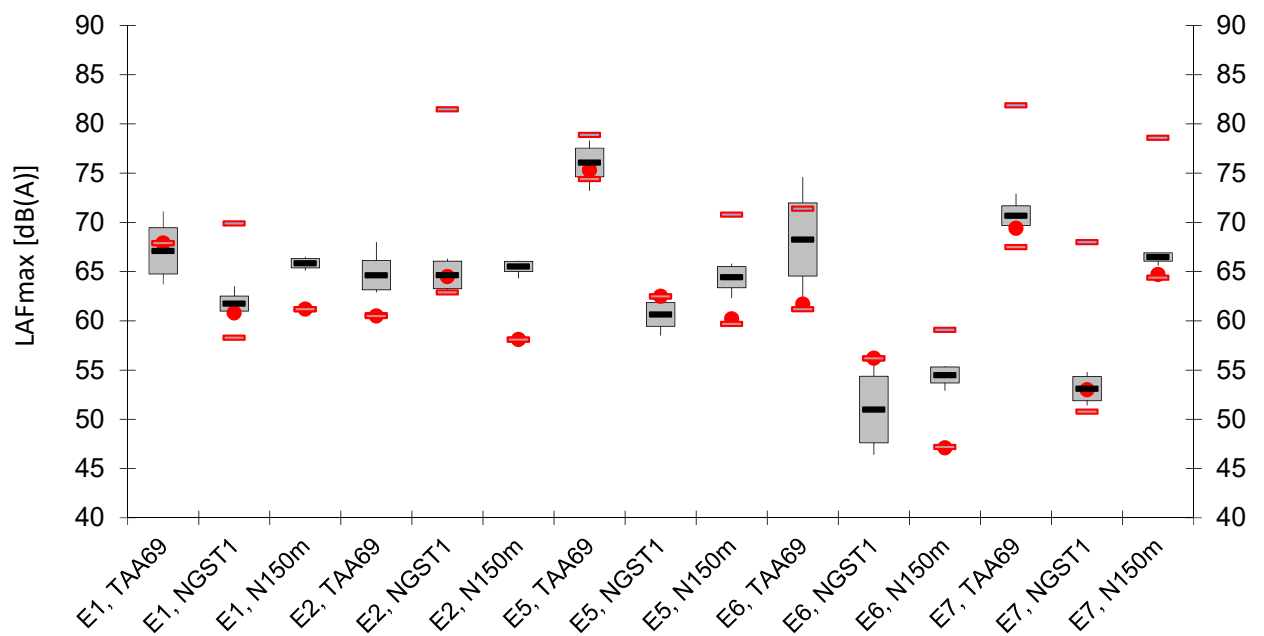


Abbildung 22: Vergleich Messung und Berechnung für Chésopelloz, Serie D.

## 9 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.

### 9.1 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 <sub>AFmax</sub>		
Bemerkungen:	Ausbreitung über 1 – 2 km.		

### 9.2 Angaben zur Simulation

Umsetzung:	Temperatur und Feuchte waren nicht gemessen worden. Es wurden deshalb Standardwerte verwendet.
Meteo:	M1: Meteoklasse: L3, Windrichtung: 45°, 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: L1, Windrichtung: 45°, Temperatur: 15 °C, relative Feuchtigkeit: 65%



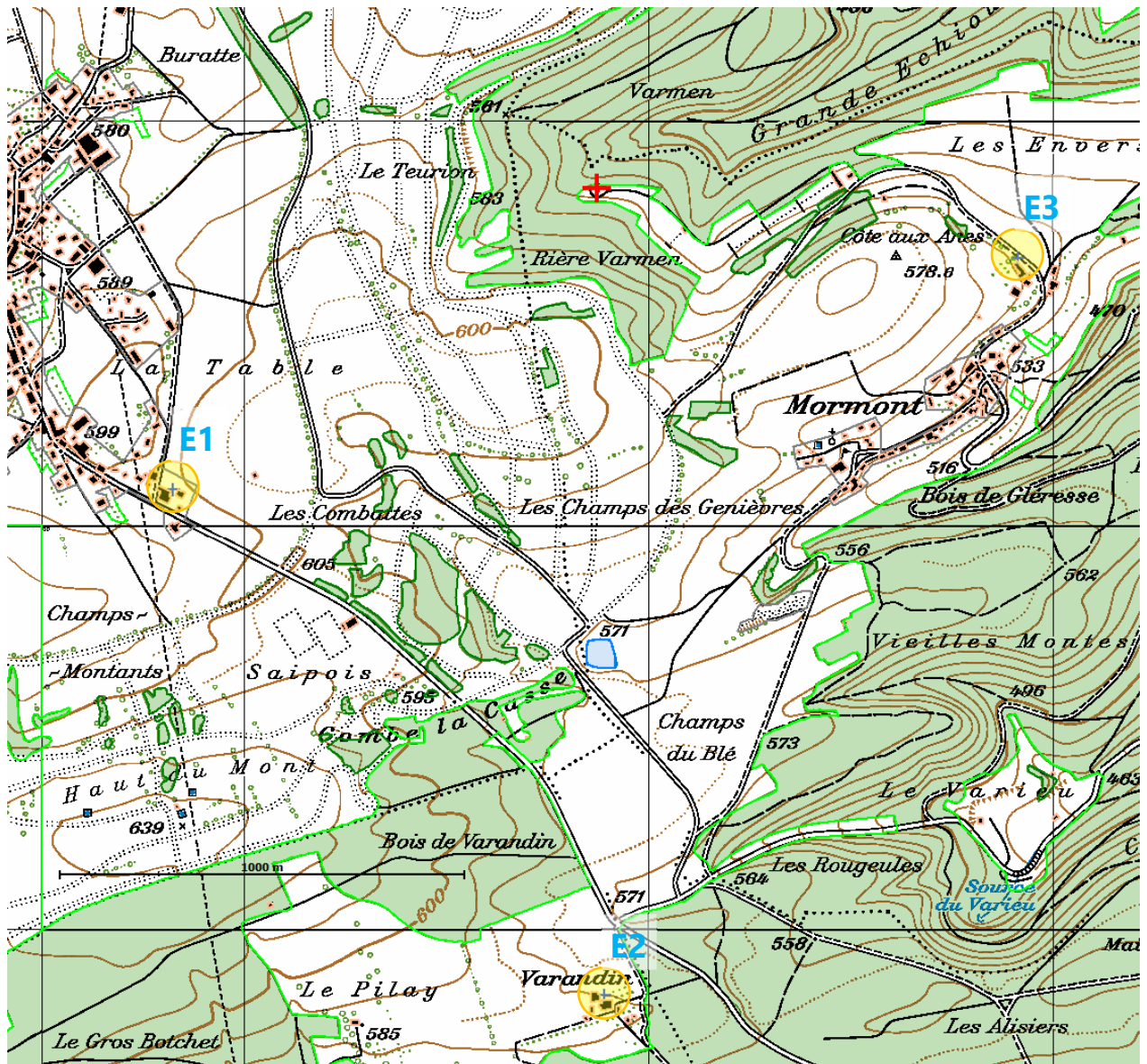


Abbildung 23: Übersichtskarte Bure. Der Quellenstandort ist mit einem roten Kreuz gekennzeichnet.

### 9.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
M1 – M4	0.6 dB(A)	3.0 dB(A)	3.1 dB(A)	2.6%

### Bure (Quelle: EUHG85, Rière Varmen)

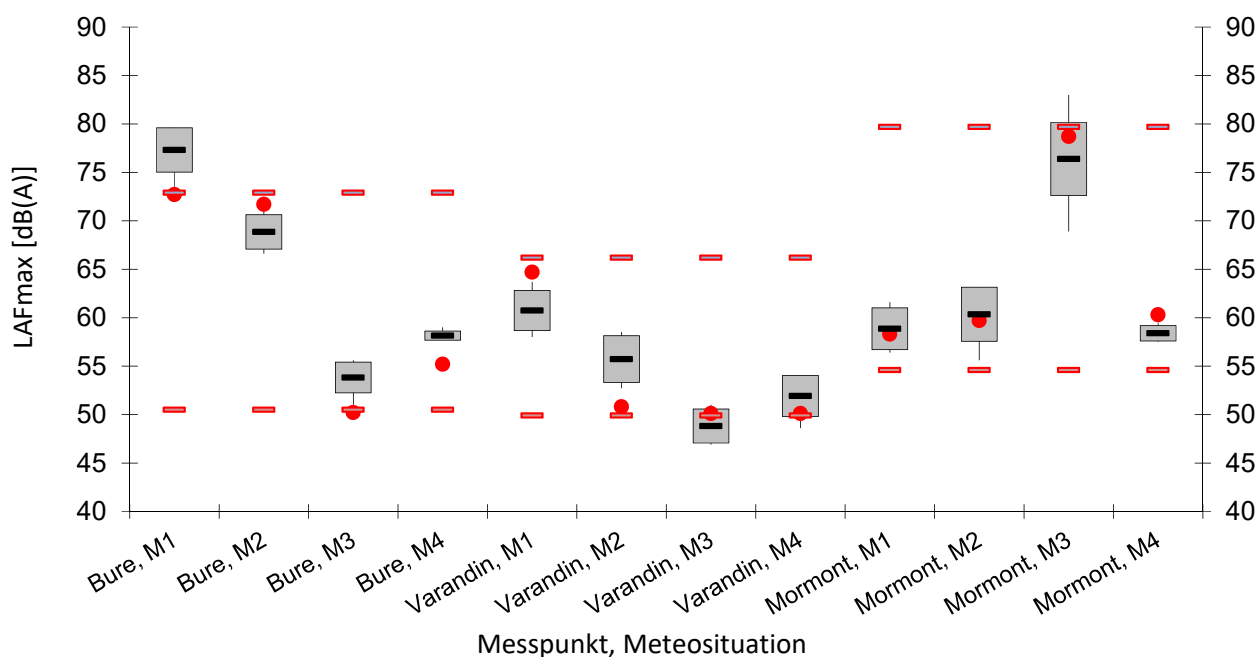


Abbildung 24: Vergleich Messung und Berechnung in Bure für drei Messpunkte und vier Meteosituationen.

## 10 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.

### 10.1 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.

## 10.2 Angaben zur Simulation

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%

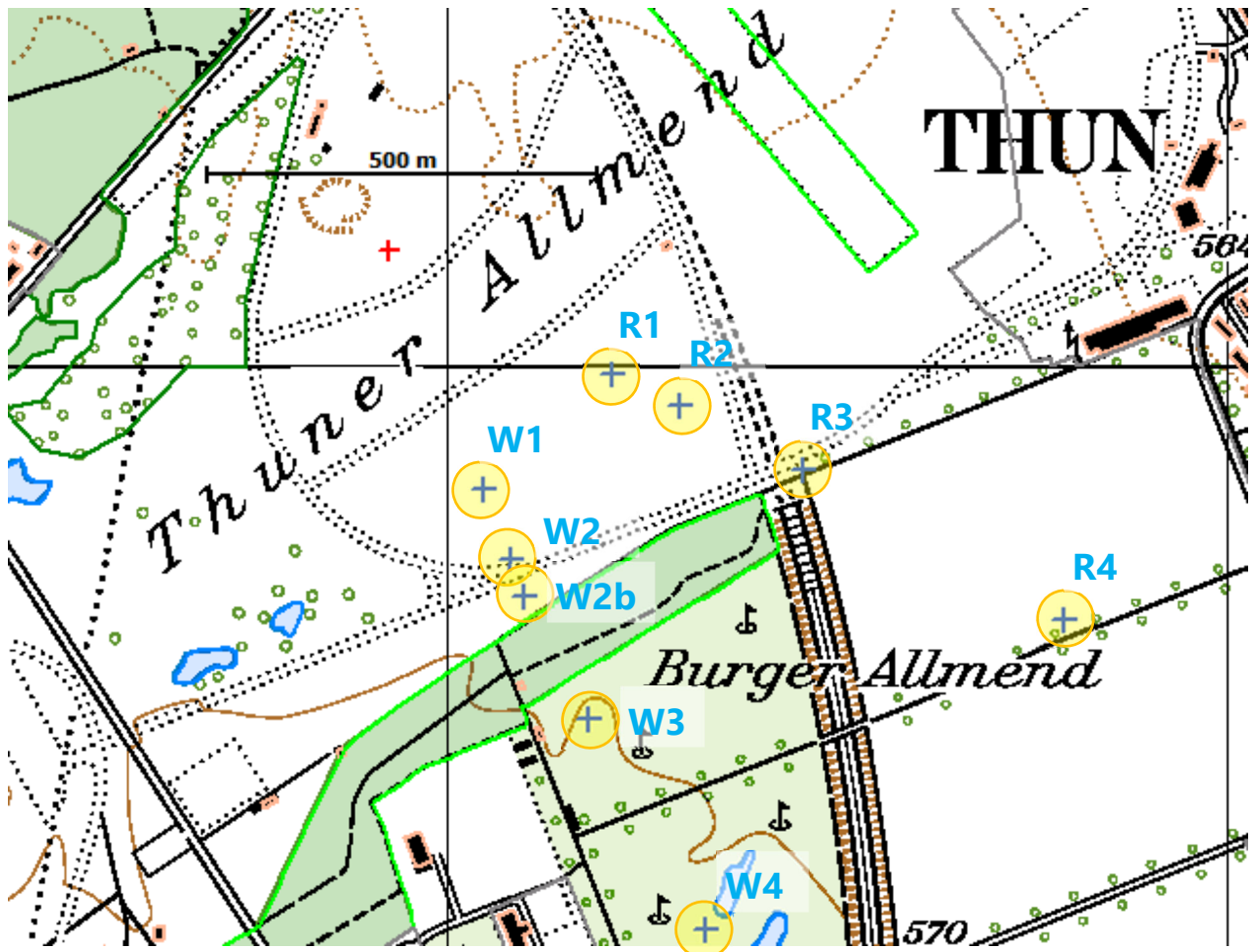


Abbildung 25: Übersichtskarte Thun.

## 10.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Linie W	1.9 dB(A)	2.1 dB(A)	2.8 dB(A)	3.1%
Linie R	1.9 dB(A)	3.1 dB(A)	3.7 dB(A)	4.0%

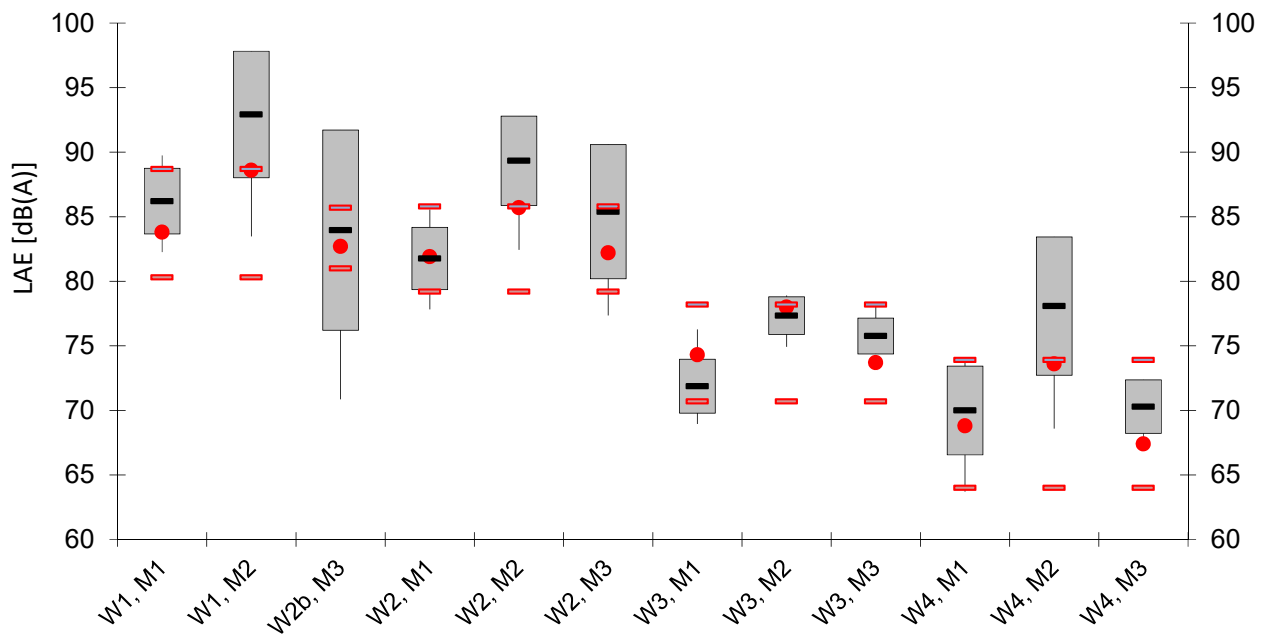
**Thun - Messlinie W (Quelle: 200 gr TNT ab Stahlplatte)**

Abbildung 26: Vergleich Messung und Berechnung in Thun, Messlinie W.

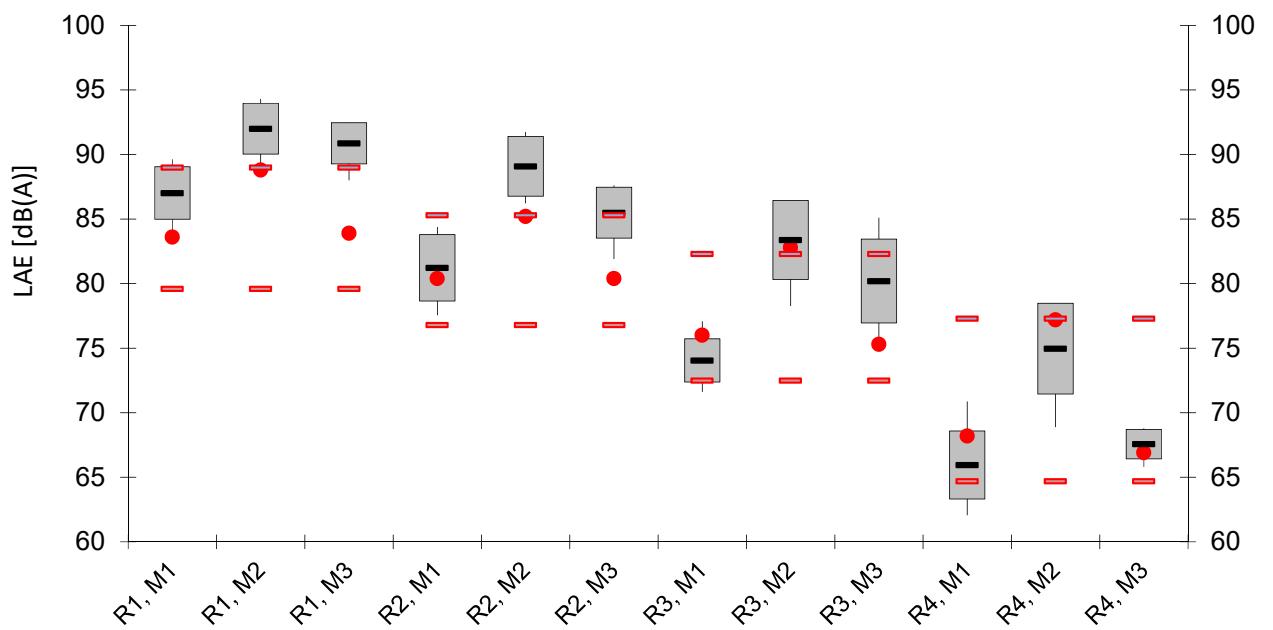
**Thun - Messlinie R (Quelle: 200 gr TNT ab Stahlplatte)**

Abbildung 27: Vergleich Messung und Berechnung in Thun, Messlinie R.

## 11 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.

### 11.1 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	Situation 3
	(Meteostation Reinhard bei Messpunkt E1)	
Quelle(n):	Radschützenpanzer mit 12.7mm MG(PzSprPat 93 Lsp) aus drei Schiesspositionen	
Messpunkte:	Drei Messpunkte im Freien auf 4 m Höhe	
Messgrösse:	$L_{AE}$	
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.	
	Starke Meteeffekte, Wald- und Felsreflexionen von Mündungs- und Geschossknall.	

### 11.2 Angaben zur Simulation

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%



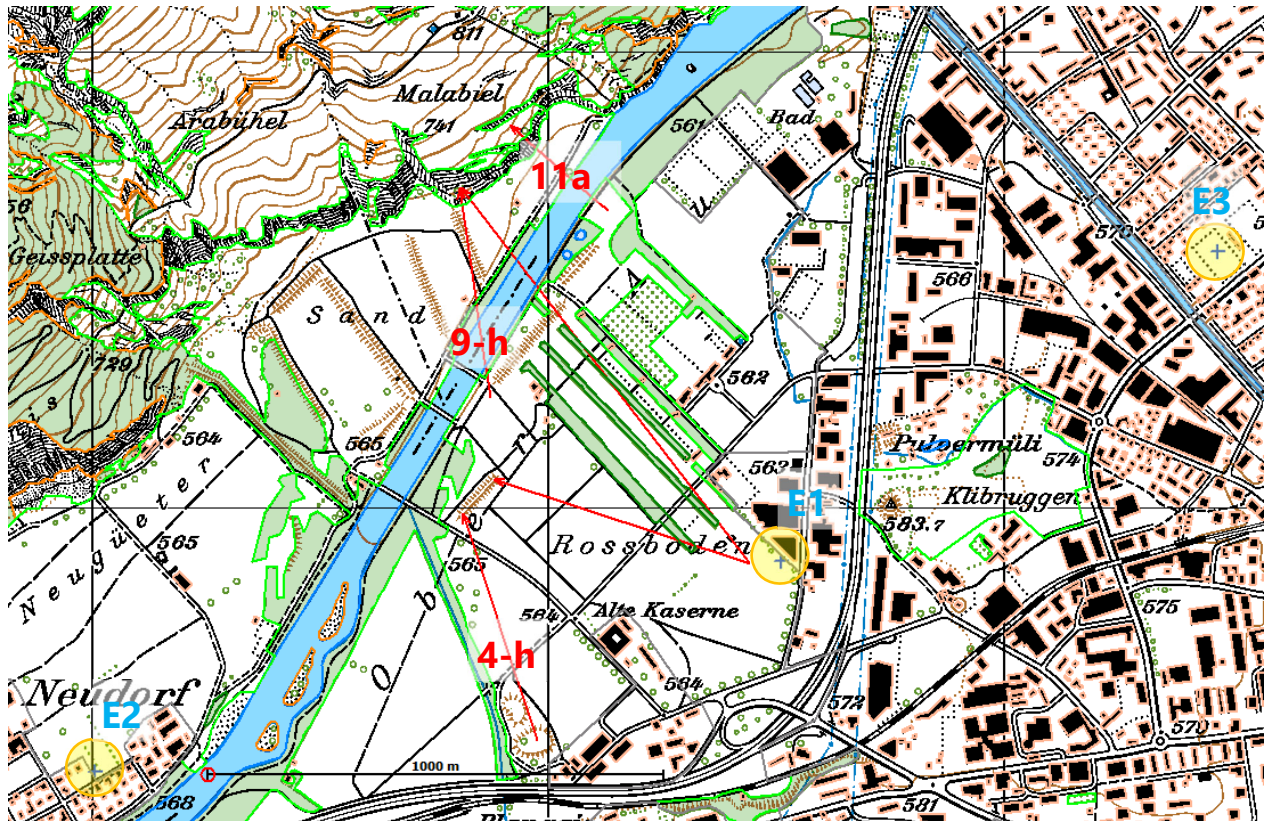


Abbildung 28: Übersichtskarte Chur.

### 11.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Serie A	3.0 dB(A)	5.4 dB(A)	6.2 dB(A)	5.6%
<b>Serie B</b>	6.0 dB(A)	2.0 dB(A)	6.4 dB(A)	7.6%
<b>Serie C</b>	2.8 dB(A)	5.7 dB(A)	6.4 dB(A)	5.6%

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

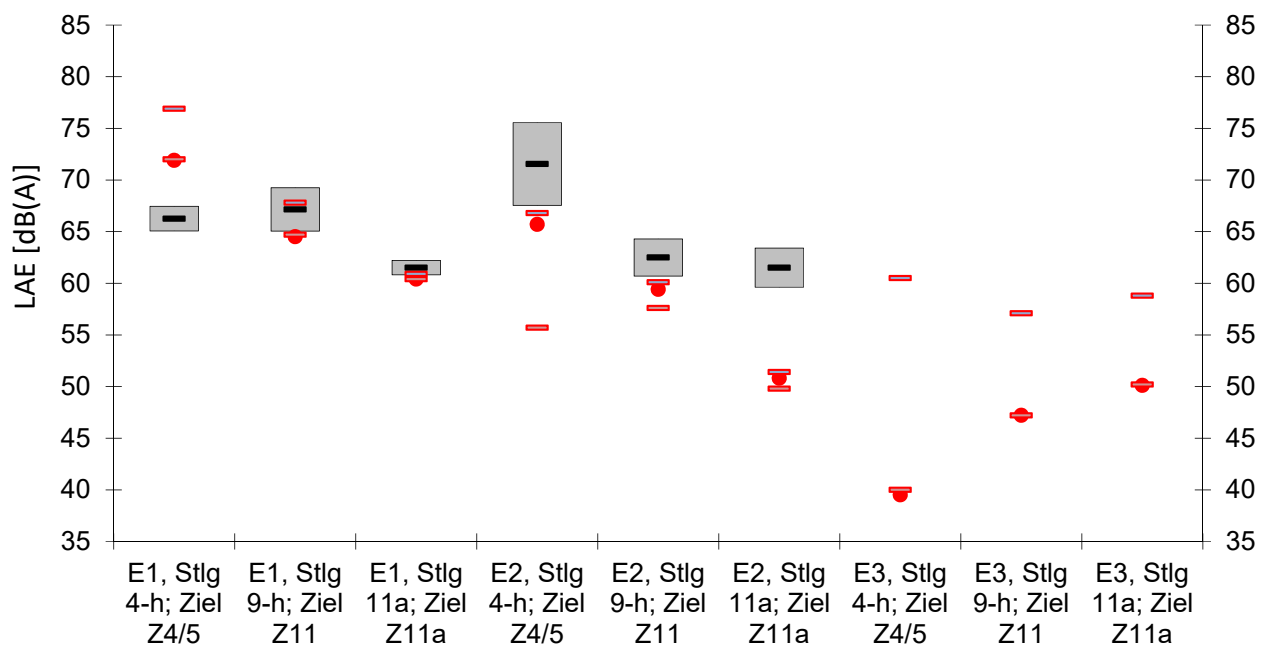


Abbildung 29: Vergleich Messung und Berechnung in Chur, Serie A.

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

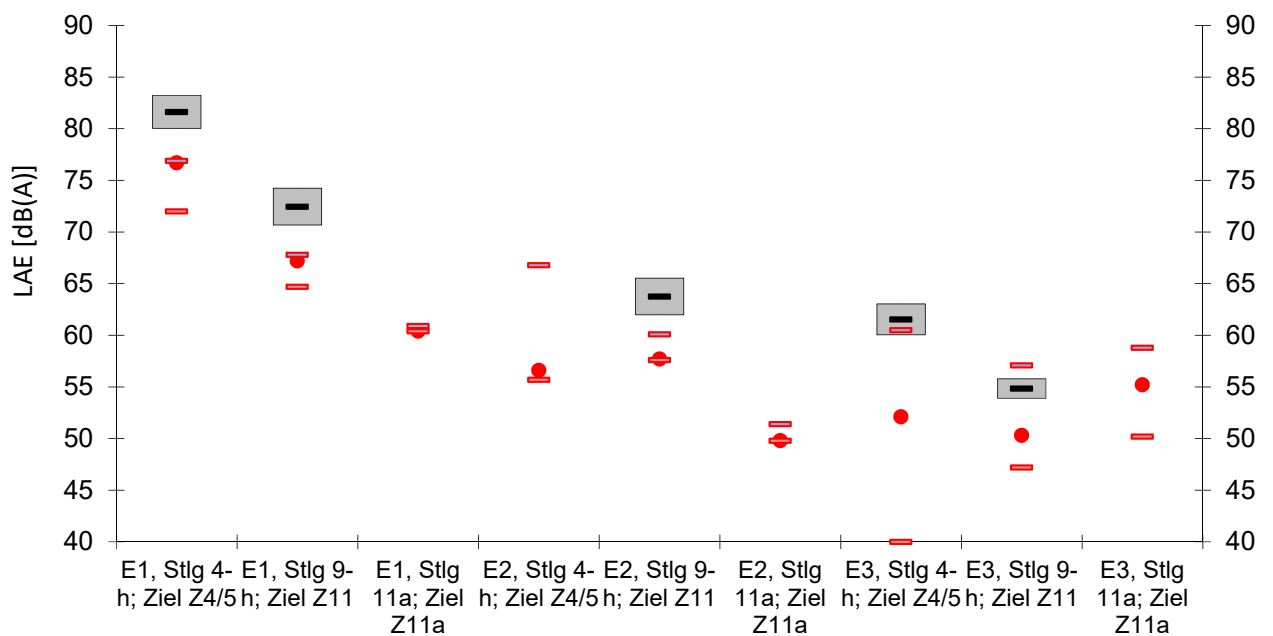


Abbildung 30: Vergleich Messung und Berechnung in Chur, Serie B.

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

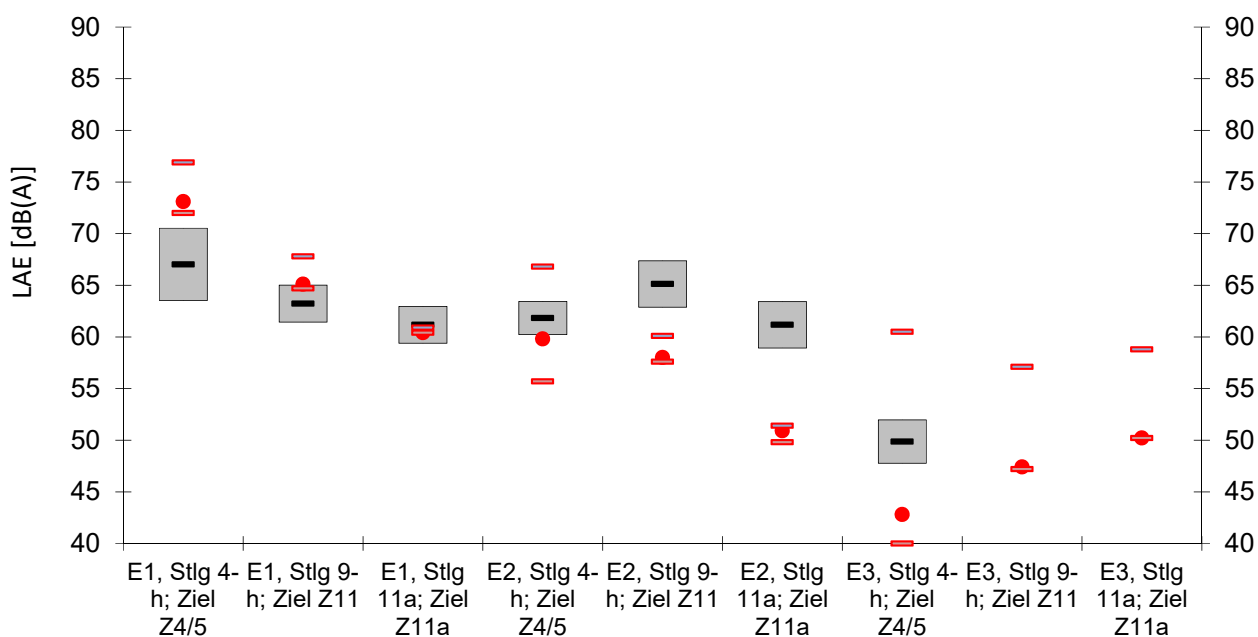


Abbildung 31: Vergleich Messung und Berechnung in Chur, Serie C.

## 12 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.

### 12.1 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.

### 12.2 Angaben zur Simulation

Meteo: Meteoklasse: N1, Windrichtung: 300°, Temperatur: 16 °C, relative Feuchtigkeit: 85%



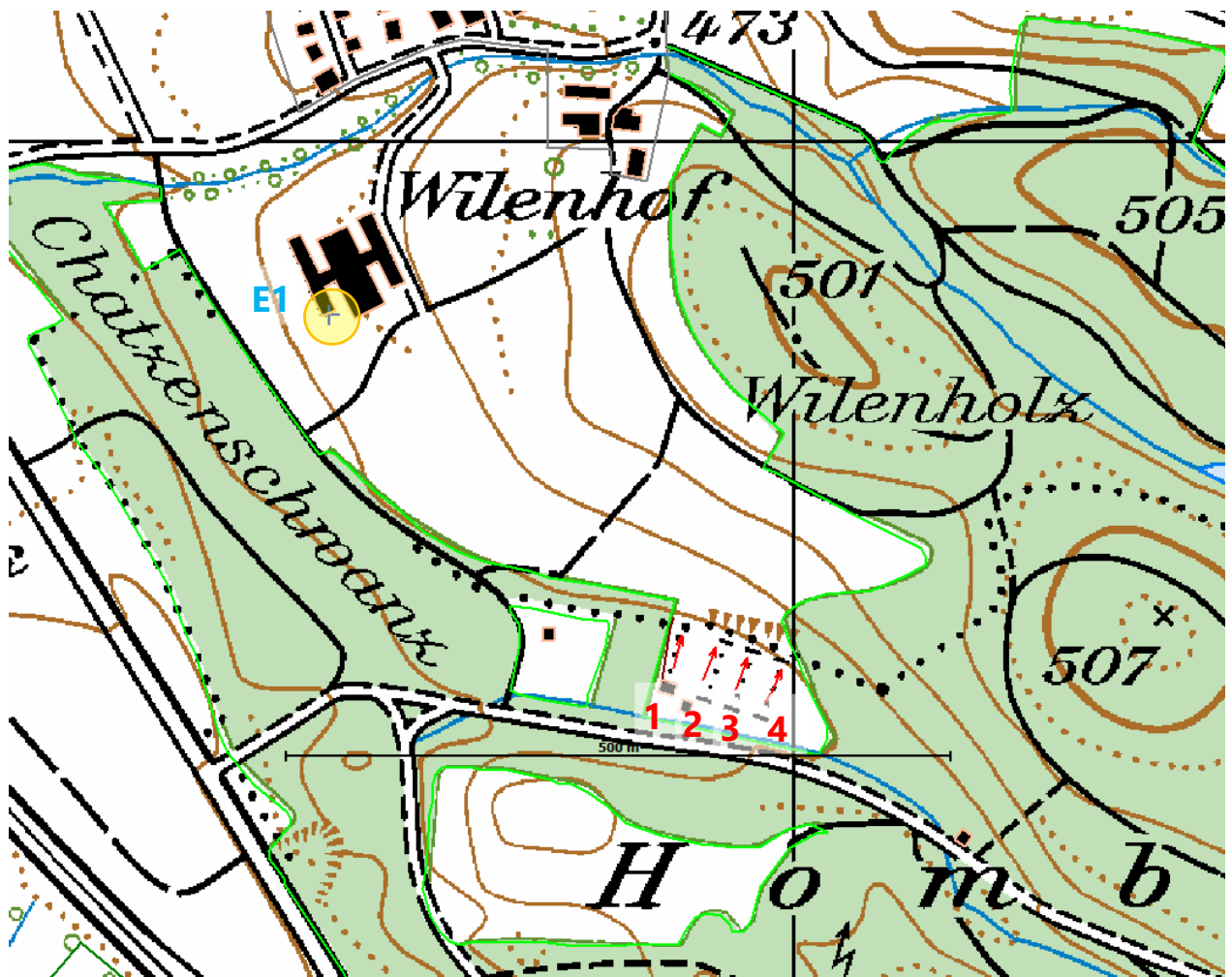


Abbildung 32: Übersichtskarte Tegital.

### 12.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
-	-1.3 dB(A)	1.5 dB(A)	2.0 dB(A)	1.8%

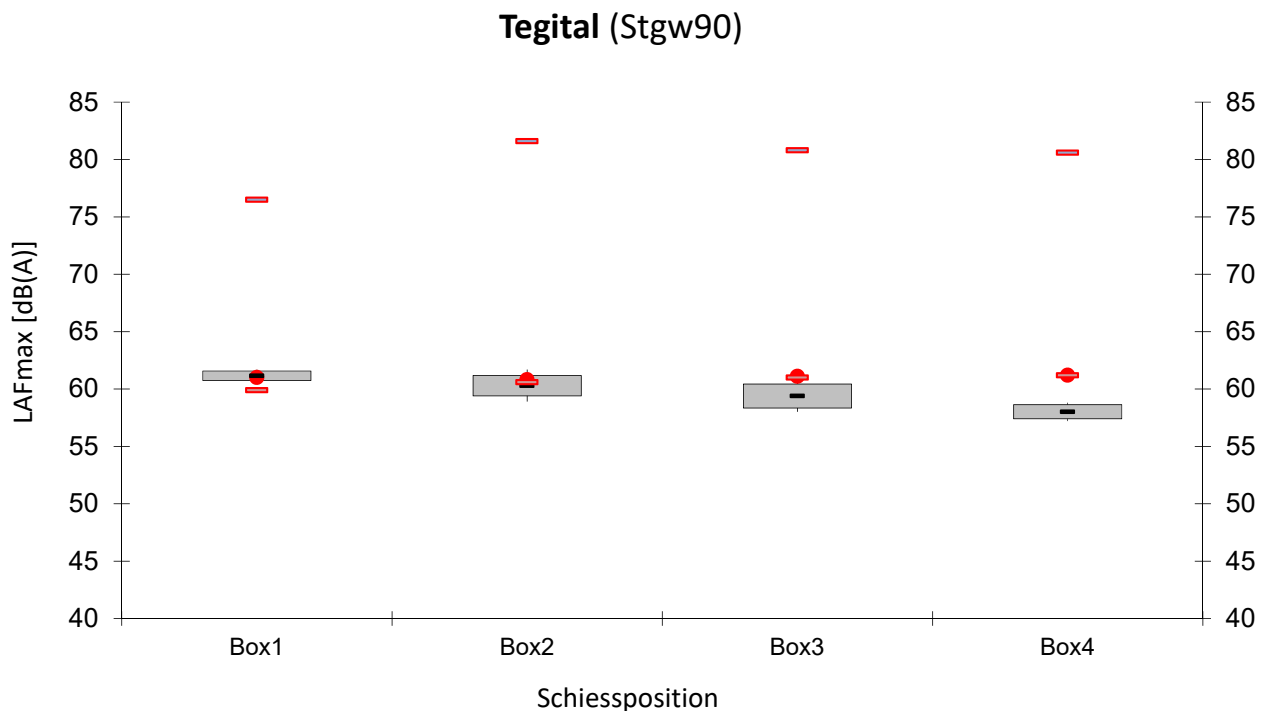


Abbildung 33: Vergleich Messung und Berechnung in Tegital.

## 13 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 Schiesstunnel 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 Schiesstunnels durchgeführt wurden.

### 13.1 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: zwölf 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 Wald und/oder Gebäudereflexionen bestimmt.

### **13.2 Angaben zur Simulation**

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.
Bemerkung:	Die Gebäudereflexionen scheinen in der Tendenz überschätzt zu werden.

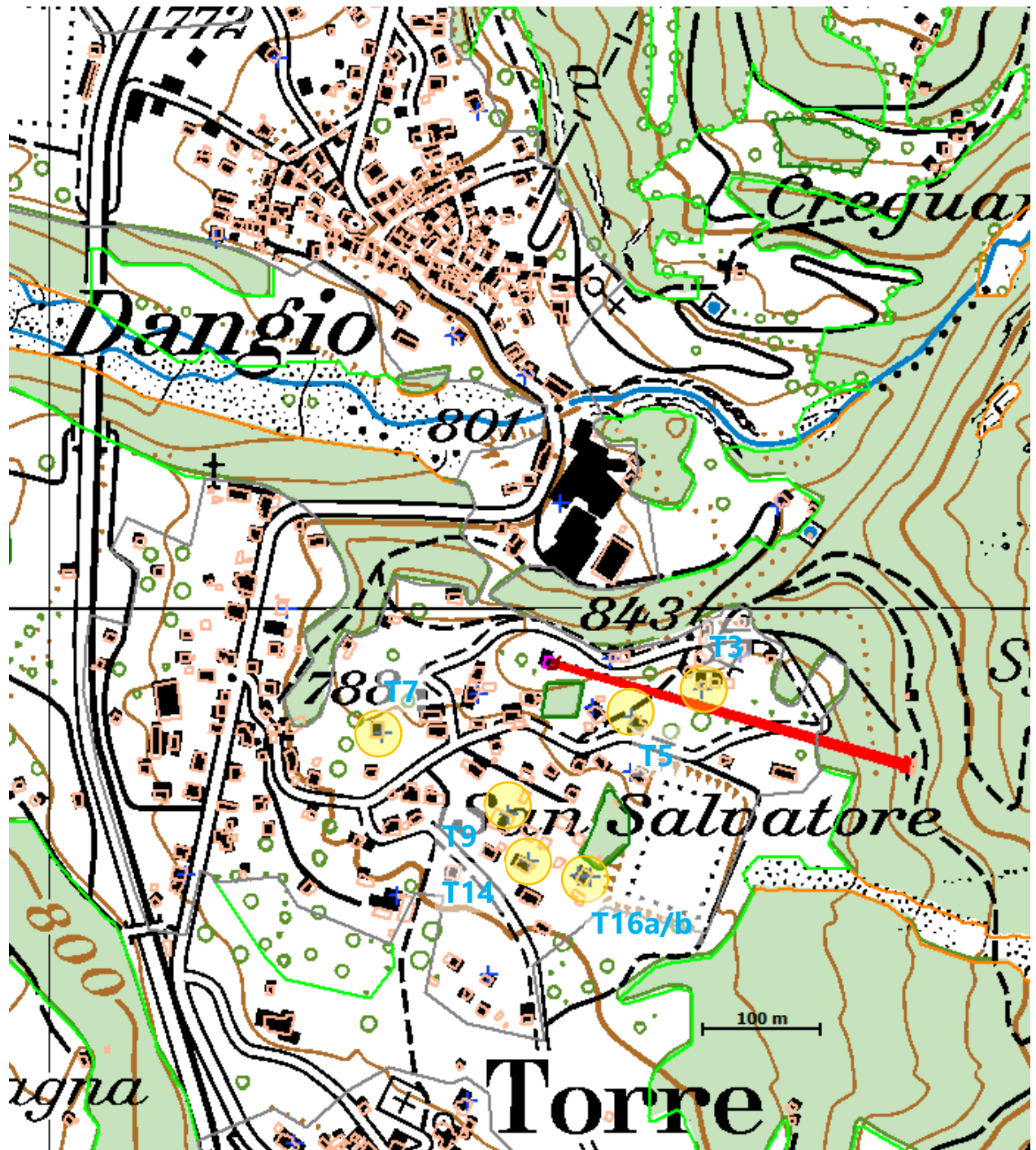


Abbildung 34: Übersichtskarte Torre.

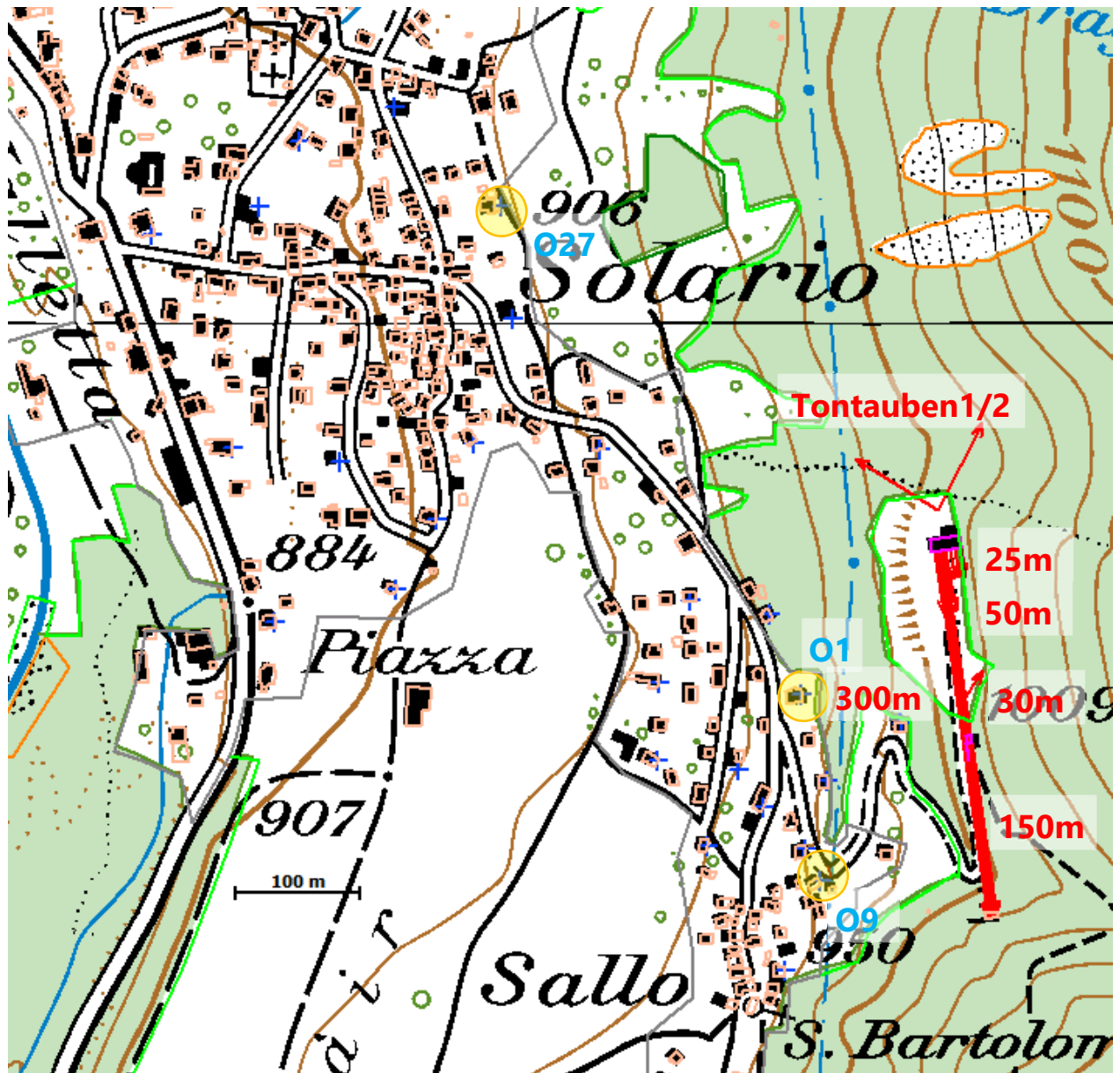


Abbildung 35: Übersichtskarte Olivone.

### 13.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Torre	-5.8 dB(A)	3.5 dB(A)	6.8 dB(A)	9.1%
Olivone O1	-4.3 dB(A)	2.6 dB(A)	5.1 dB(A)	6.2%
Olivone O9	-2.3 dB(A)	5.0 dB(A)	5.4 dB(A)	6.4%
Olivone O27	-3.3 dB(A)	3.5 dB(A)	4.8 dB(A)	5.4%

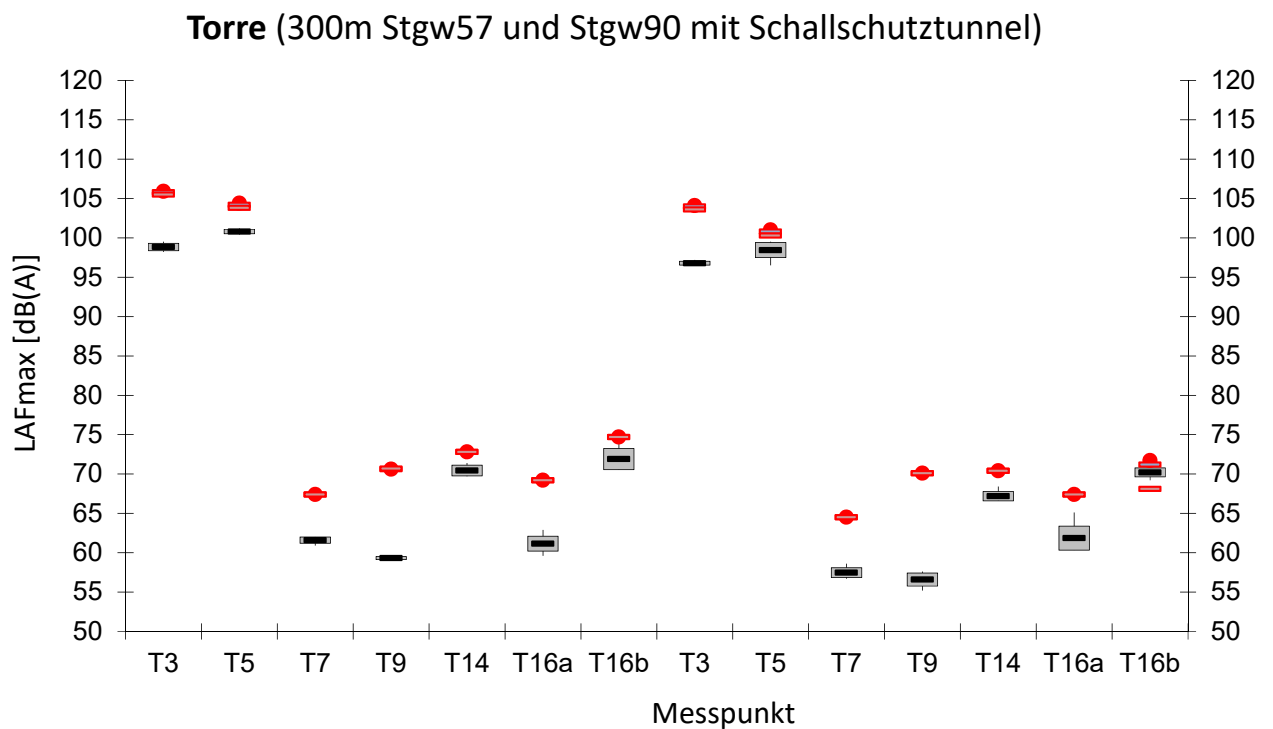


Abbildung 36: Vergleich Messung und Berechnung in Torre.

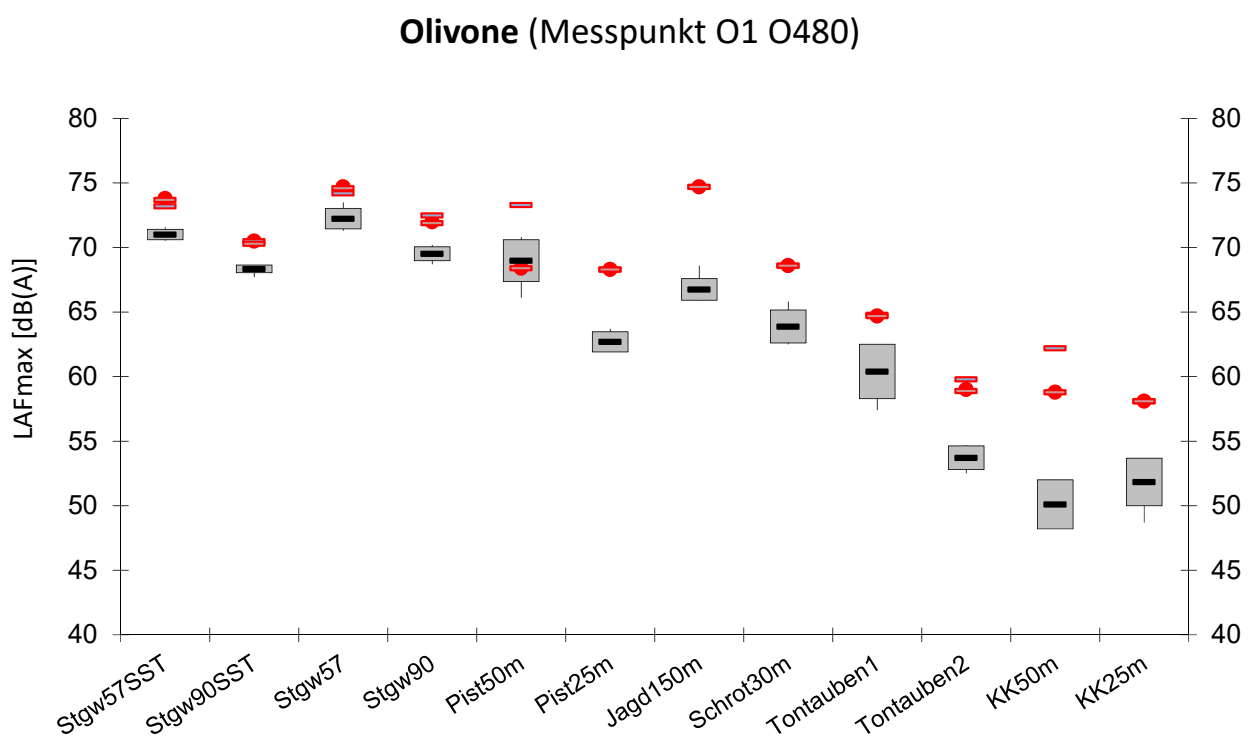


Abbildung 37: Vergleich Messung und Berechnung in Olivone, Messpunkt O1.

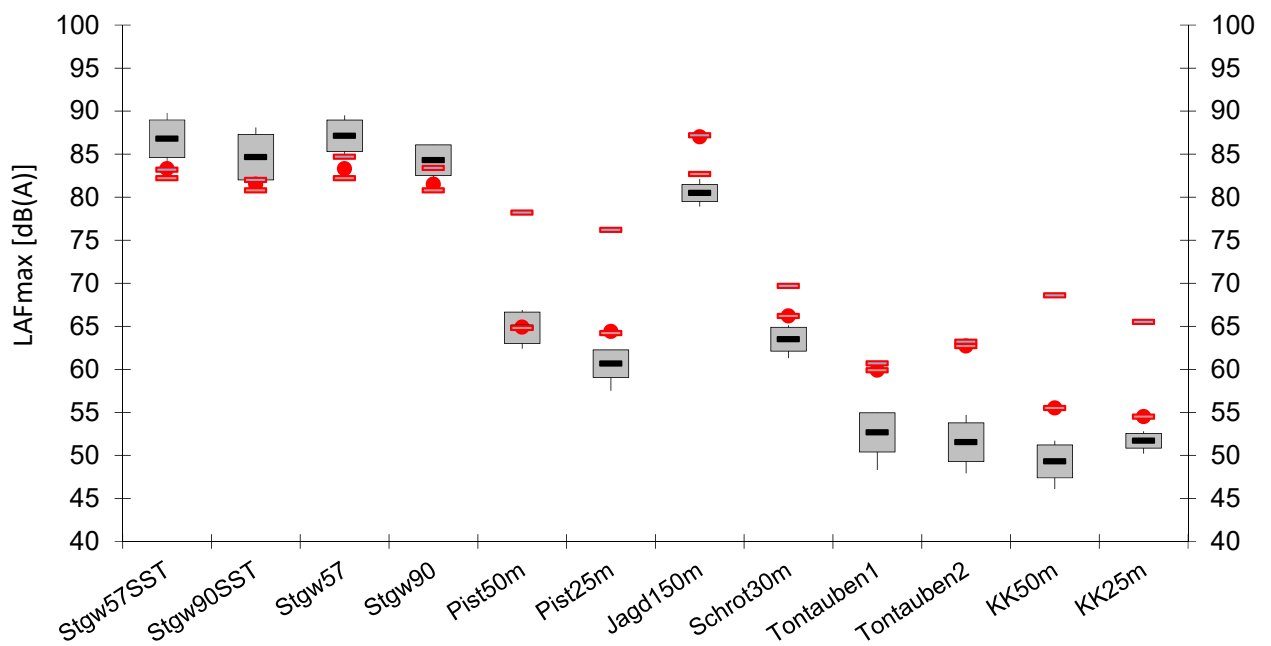
**Olivone (Messpunkt O9 O491)**

Abbildung 38: Vergleich Messung und Berechnung in Olivone, Messpunkt O9.

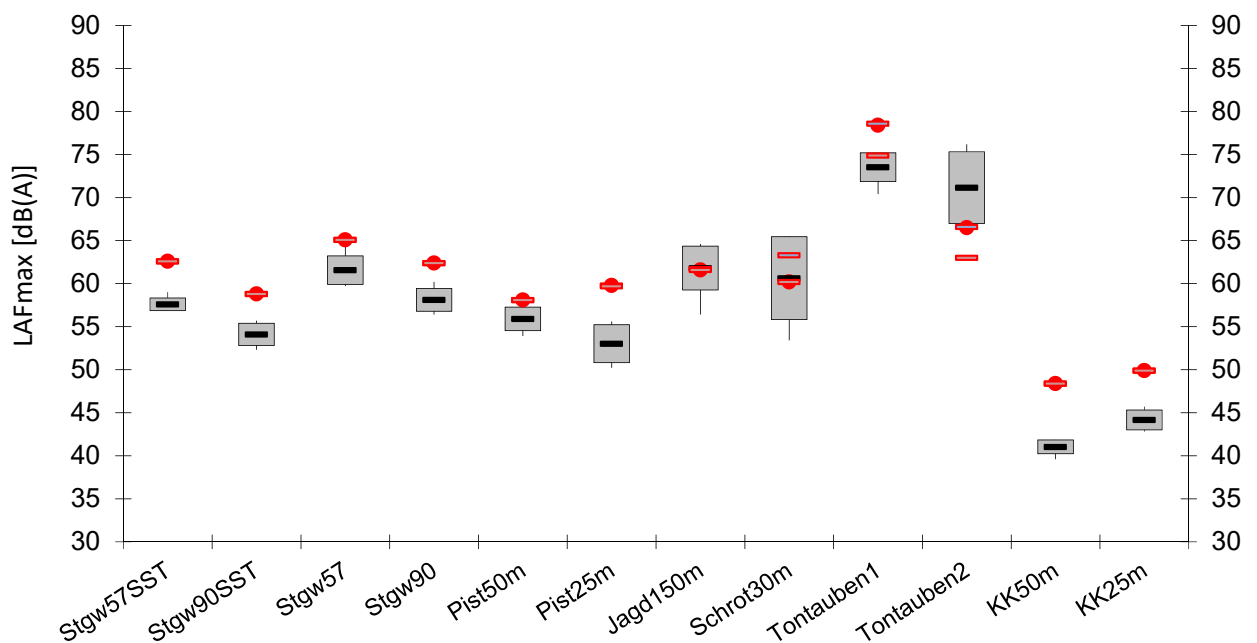
**Olivone (Messpunkt O27 O224)**

Abbildung 39: Vergleich Messung und Berechnung in Olivone, Messpunkt O27.

## **14 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.

### **14.1 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.

### **14.2 Angaben zur Simulation**

Meteo: Meteoklasse: N1, Windrichtung: 20°, Temperatur: 2 °C, relative Feuchtigkeit: 89%  
Bemerkung: Die Gebäudereflexionen scheinen in der Tendenz überschätzt zu werden.



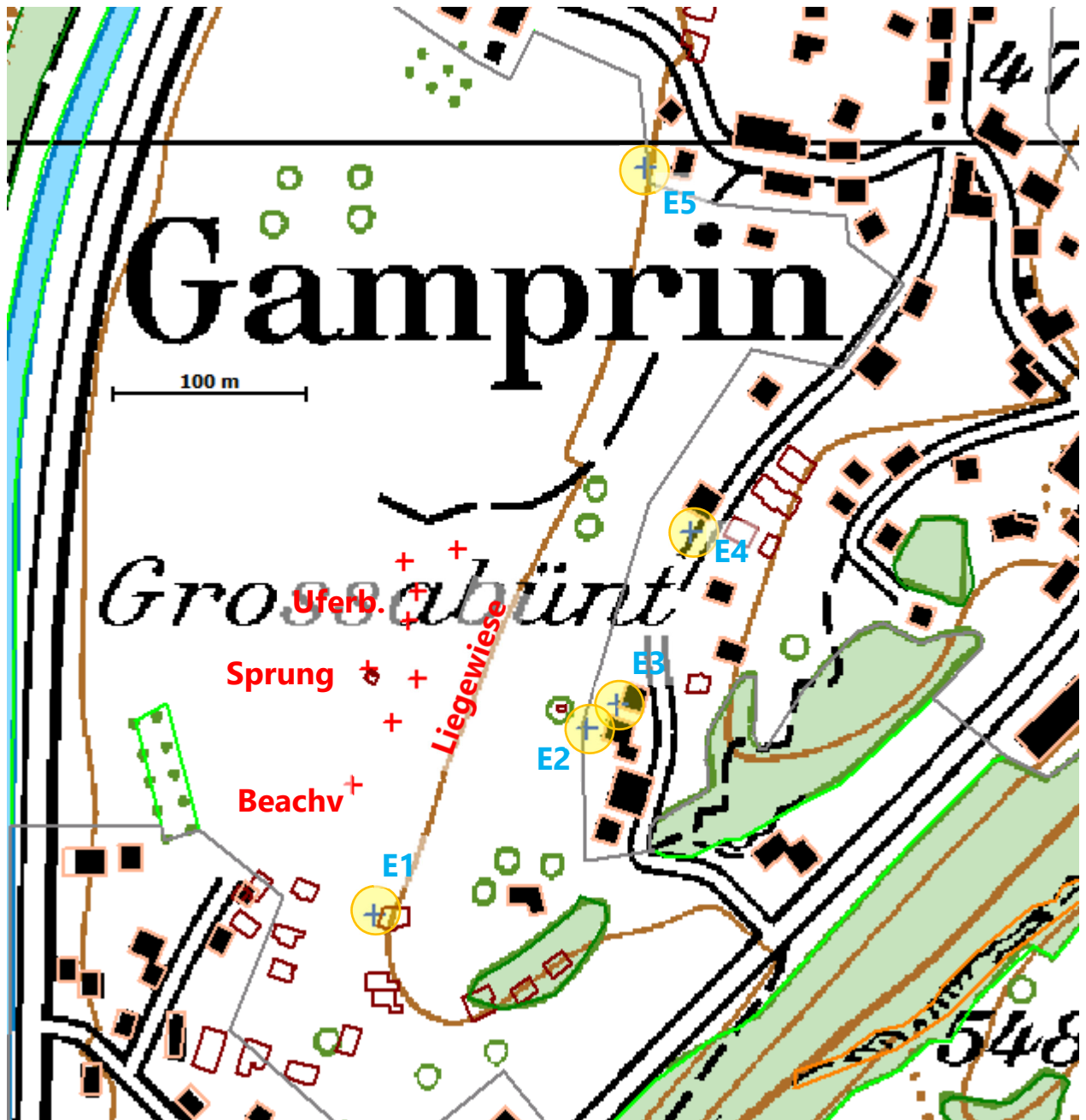


Abbildung 40: Übersichtskarte Gamprin.

### 14.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
E1	-2.9 dB(A)	2.4 dB(A)	3.8 dB(A)	6.0%
<b>E2</b>	-1.7 dB(A)	4.5 dB(A)	4.8 dB(A)	6.9%
<b>E3</b>	-4.6 dB(A)	1.5 dB(A)	4.9 dB(A)	9.4%
<b>E4</b>	0.9 dB(A)	1.5 dB(A)	1.1 dB(A)	2.1%
<b>E5</b>	-6.3 dB(A)	3.6 dB(A)	7.5 dB(A)	7.2%

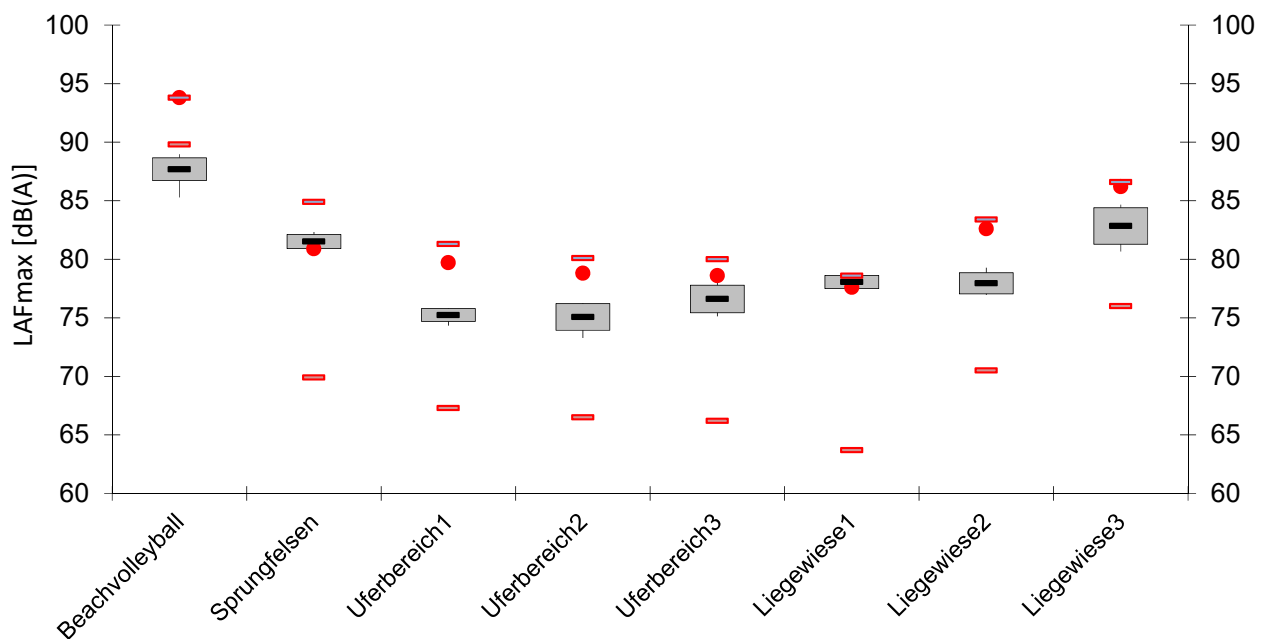
**Grossabünt, E1 (Quelle: Impulsgeber WBAG Typ 94)**

Abbildung 41: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E1.

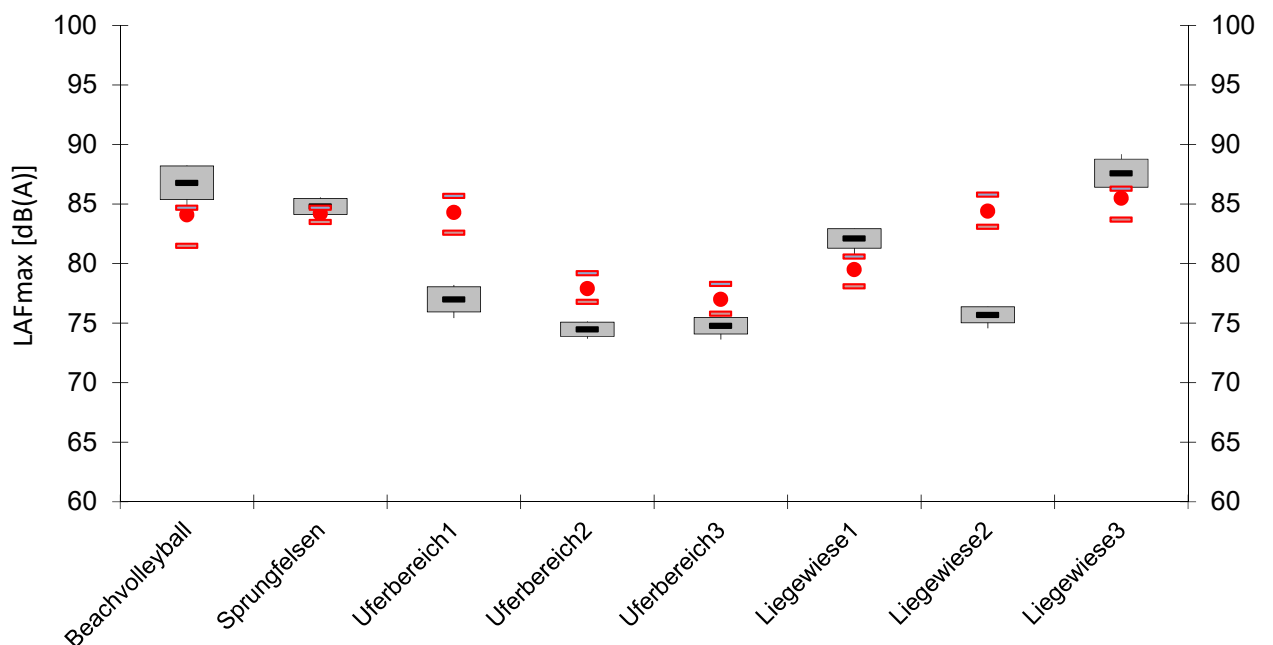
**Grossabünt, E2 (Quelle: Impulsgeber WBAG Typ 94)**

Abbildung 42: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E2.

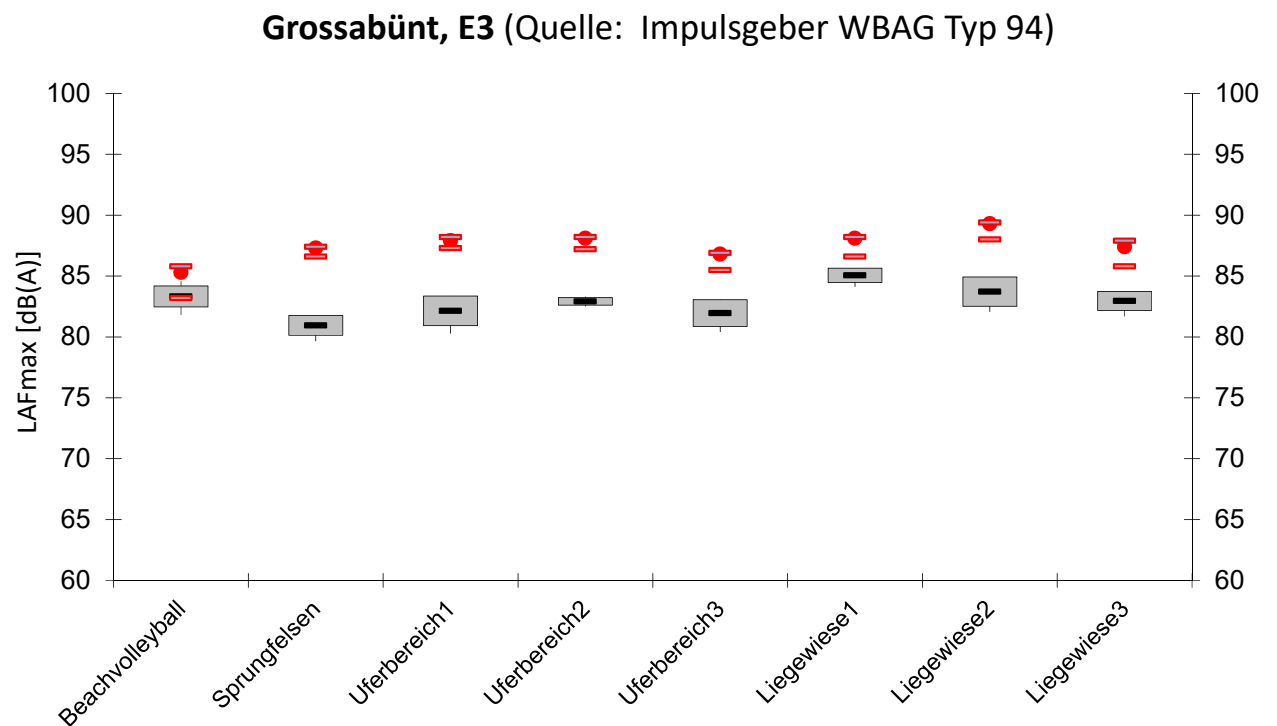


Abbildung 43: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E3.

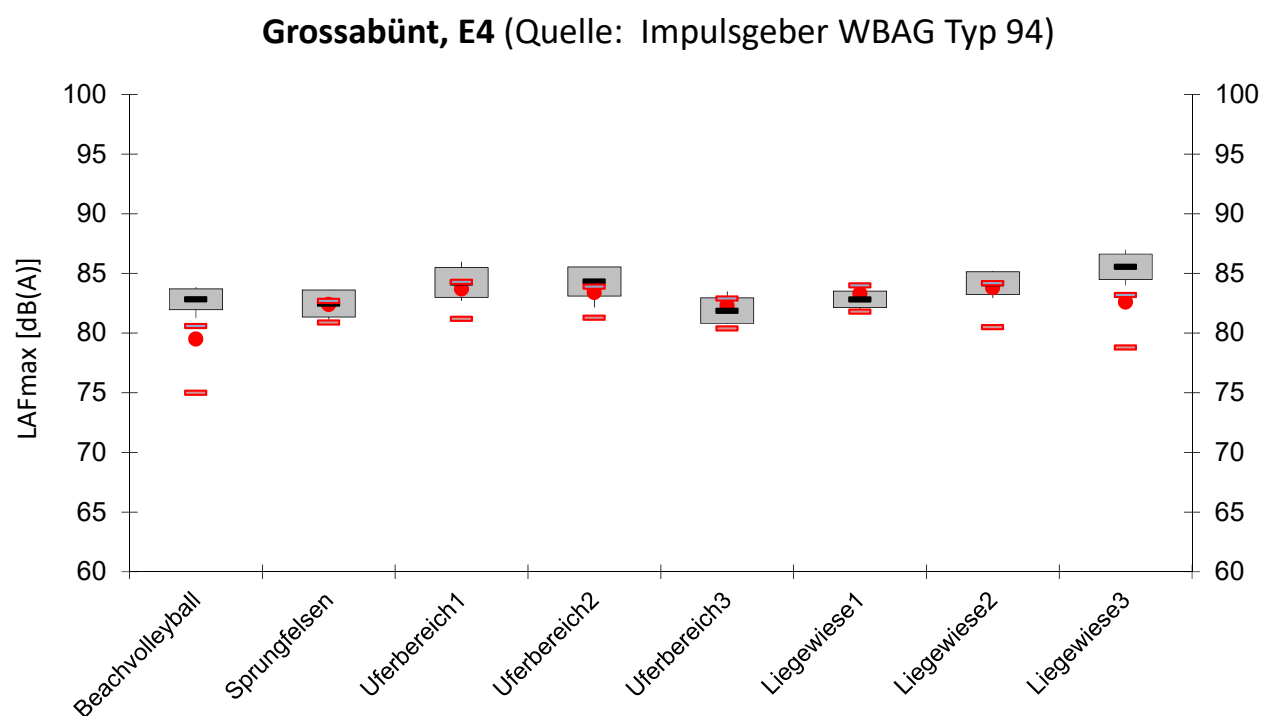


Abbildung 44: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E4.

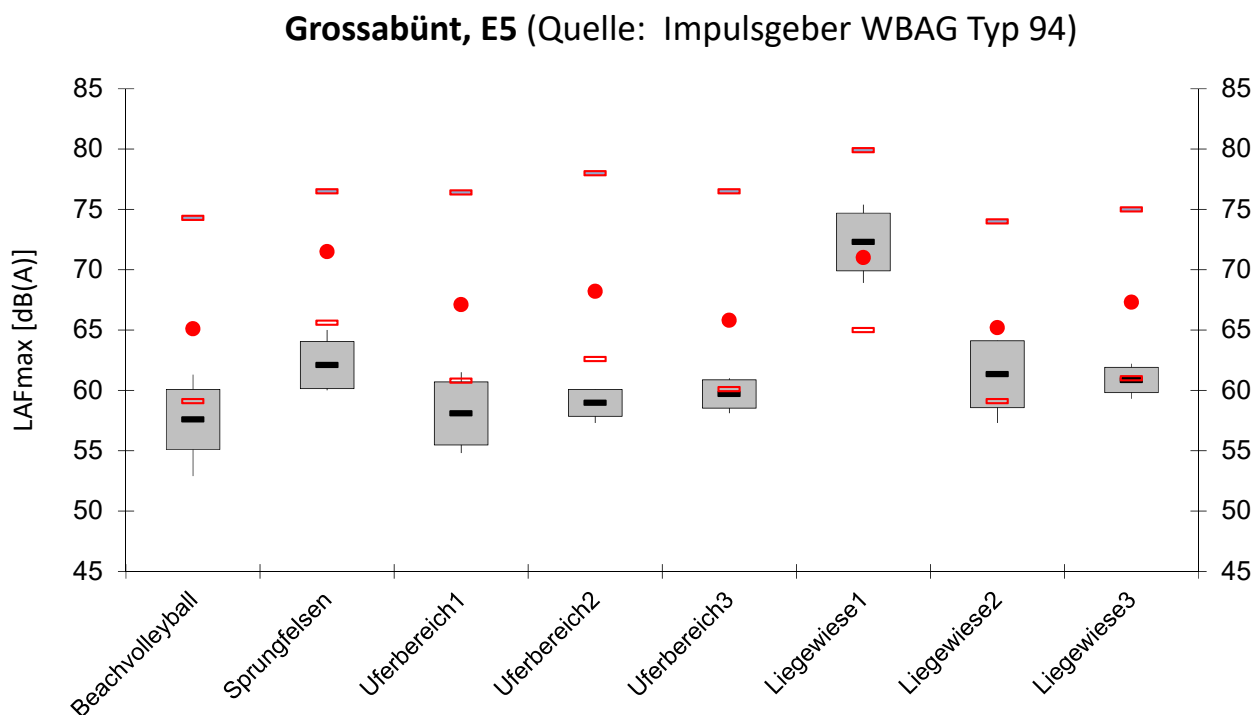


Abbildung 45: Vergleich Messung und Berechnung in Grossabünt, Messpunkt E5.

## 15 Zürich, Albisgüetli 2014

Die Empa Abteilung Akustik / Lärminderung hat die Schiesslärmbelastung der Schiessanlage Albisgüetli rechnerisch ermittelt und beim 300m Stand als Massnahme den Einbau von Schiessstunnels empfohlen. Mittels Kontrollmessungen wurden die Berechnungsergebnisse überprüft und die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Massnahme getestet (siehe Empa-Bericht Nr. 5214.003550). Die Messungen wurden am 24. April 2014 zwischen 15 und 16 Uhr durchgeführt. Dabei wurden an fünf Messpositionen die Einzelschusspegel von Schiessen mit Sturmgewehr 90 ab Lager 5 in Sektor 1 und Lager 26 in Sektor 2 mit und ohne Schiessstunnel gemessen. Pro Serie wurden jeweils mindestens 10 Schuss abgefeuert. Der Schiessstunnel SIANG, Typ GPB 850 wurde von der Firma Süssmann Schallisolationen zur Verfügung gestellt.

### 15.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	24. April 2014 zwischen 15 und 16 Uhr
Wetter:	Sonniges Wetter, rund 20°C und Wind aus Ost-Nord-Ost mit rund 3 m/s
Quelle(n):	Sturmgewehre mit und ohne Schallschutztunnel
Messpunkte:	Fünf Messpositionen, teilweise im Freien, teilweise in Gebäuden.
Messgrösse:	$L_{AFmax}$
Bemerkung:	Mündungs- und Geschosknall. Wirkung von Schiessstunnels. Hinderniswirkung Schützenhaus und weitere Gebäude.

## 15.2 Angaben zur Simulation

Meteo: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 60°, Temperatur: 20 °C, relative Feuchtigkeit: 70%

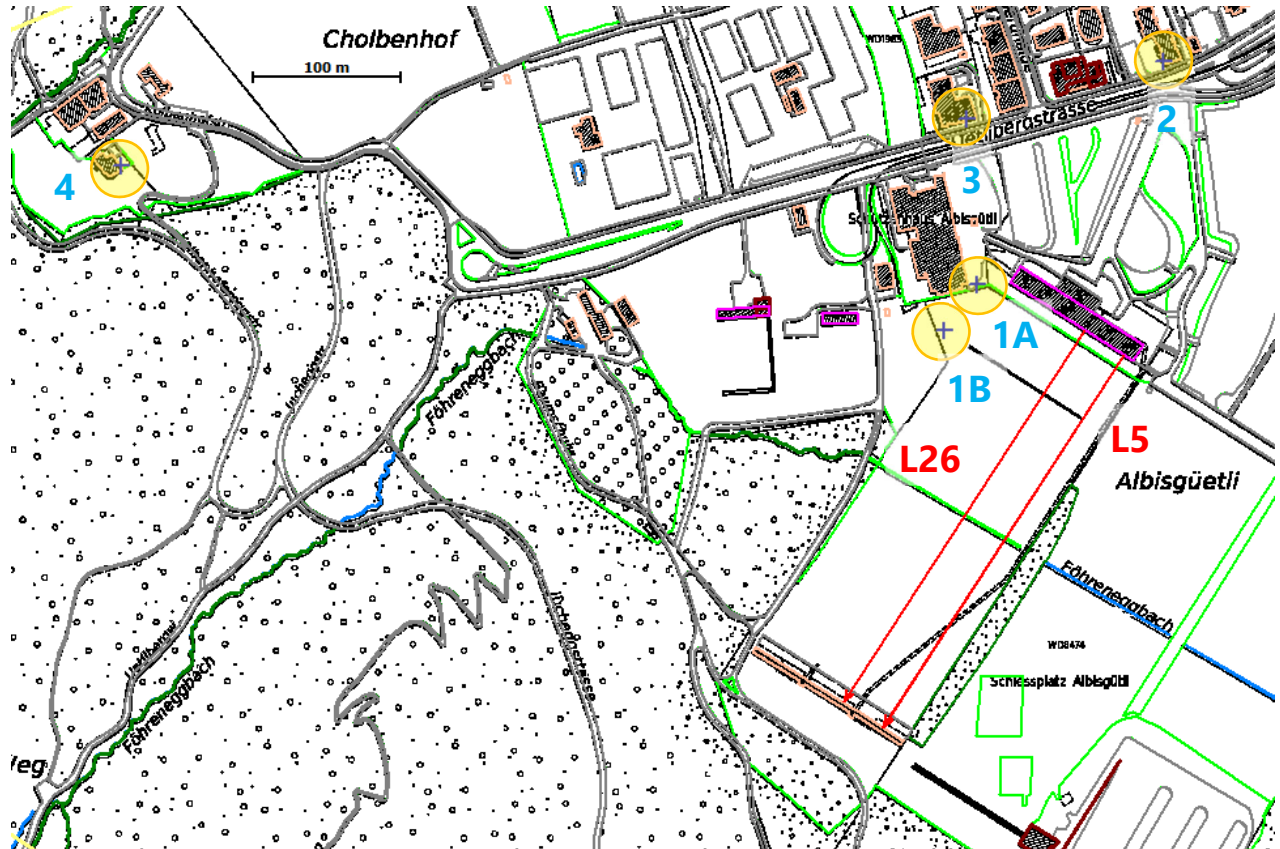


Abbildung 46: Übersichtskarte Albisgüetli.

## 15.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Stgw90 mit SST, Lager 5	-3.6 dB(A)	2.1 dB(A)	4.2 dB(A)	5.4%
Stgw90, Lager 5	1.3 dB(A)	3.3 dB(A)	3.5 dB(A)	3.5%
Stgw90 mit SST, Lager 26	-1.6 dB(A)	3.7 dB(A)	4.0 dB(A)	4.9%
Stgw90, Lager 26	0.1 dB(A)	1.7 dB(A)	1.7 dB(A)	2.0%

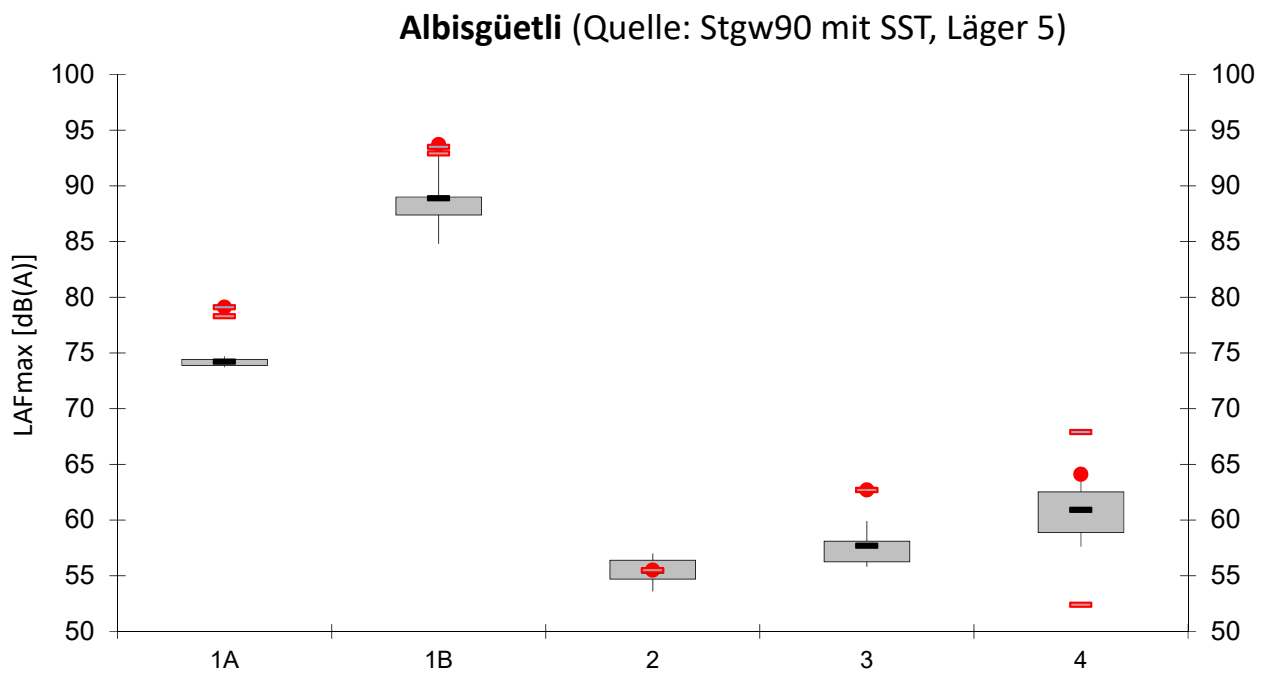


Abbildung 47: Vergleich Messung und Berechnung, Albisgüetli Stgw90 mit SST, Lager 5.

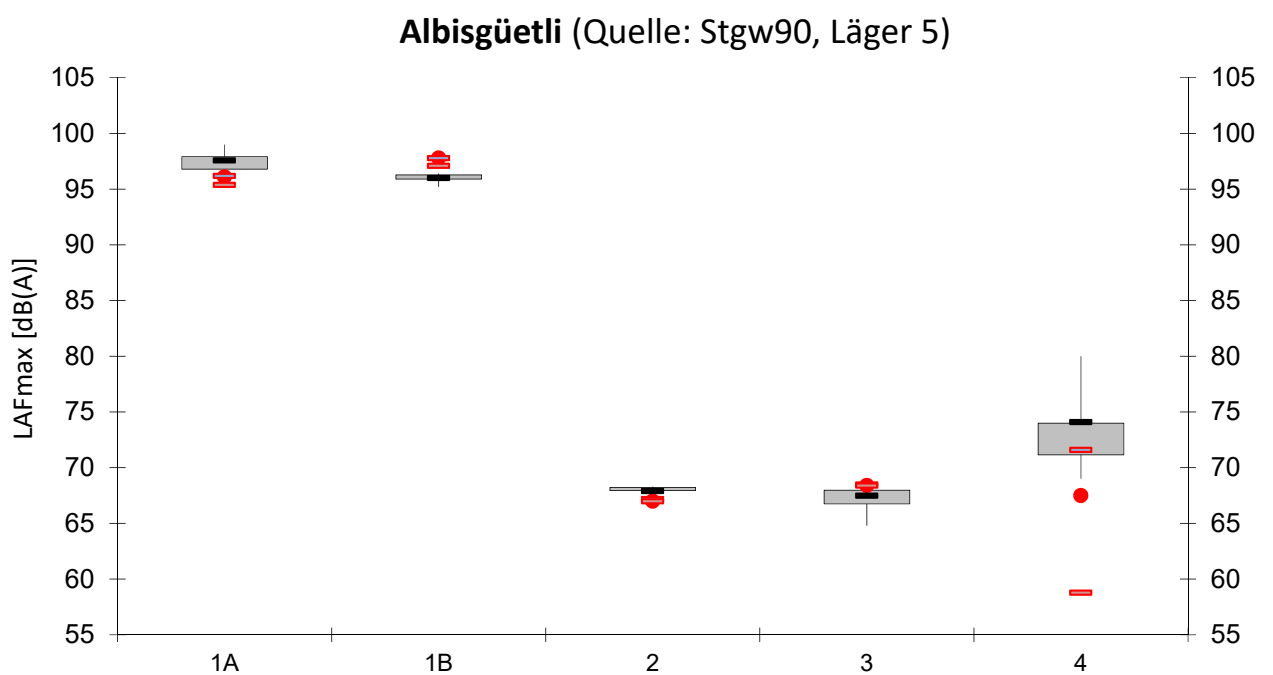


Abbildung 48: Vergleich Messung und Berechnung, Albisgüetli Stgw90, Lager 5.

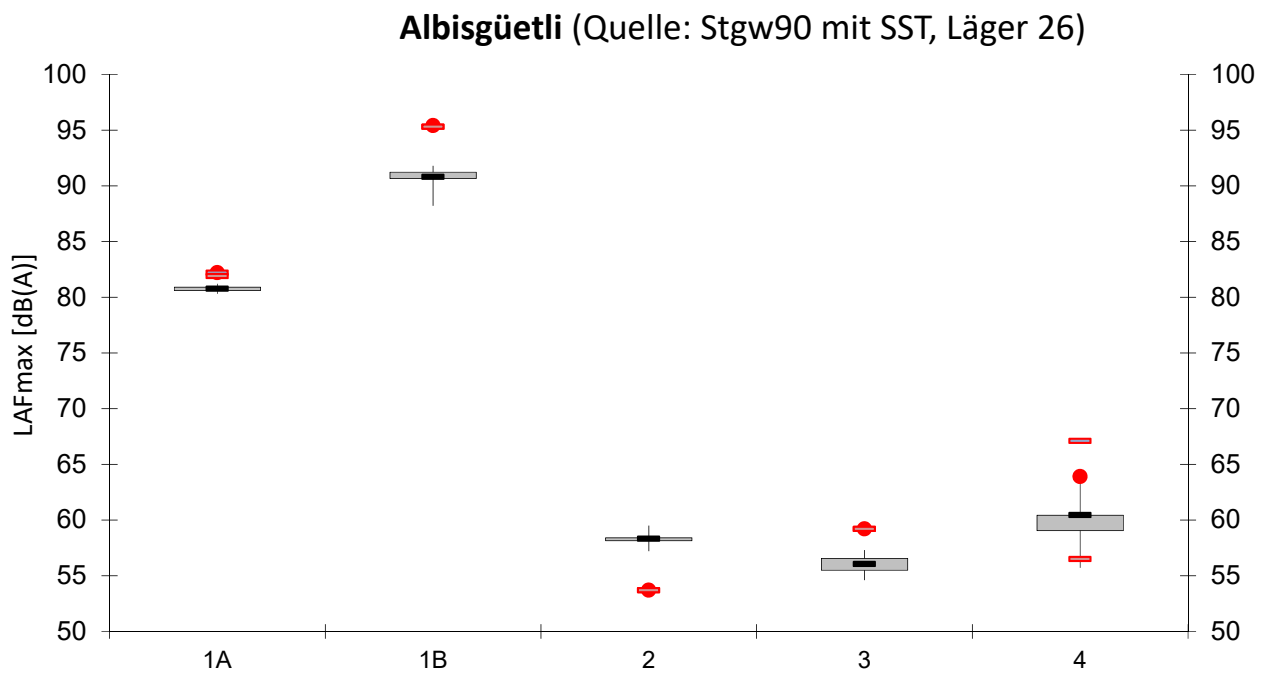


Abbildung 49: Vergleich Messung und Berechnung, Albisgüetli Stgw90 mit SST, Lager 26.

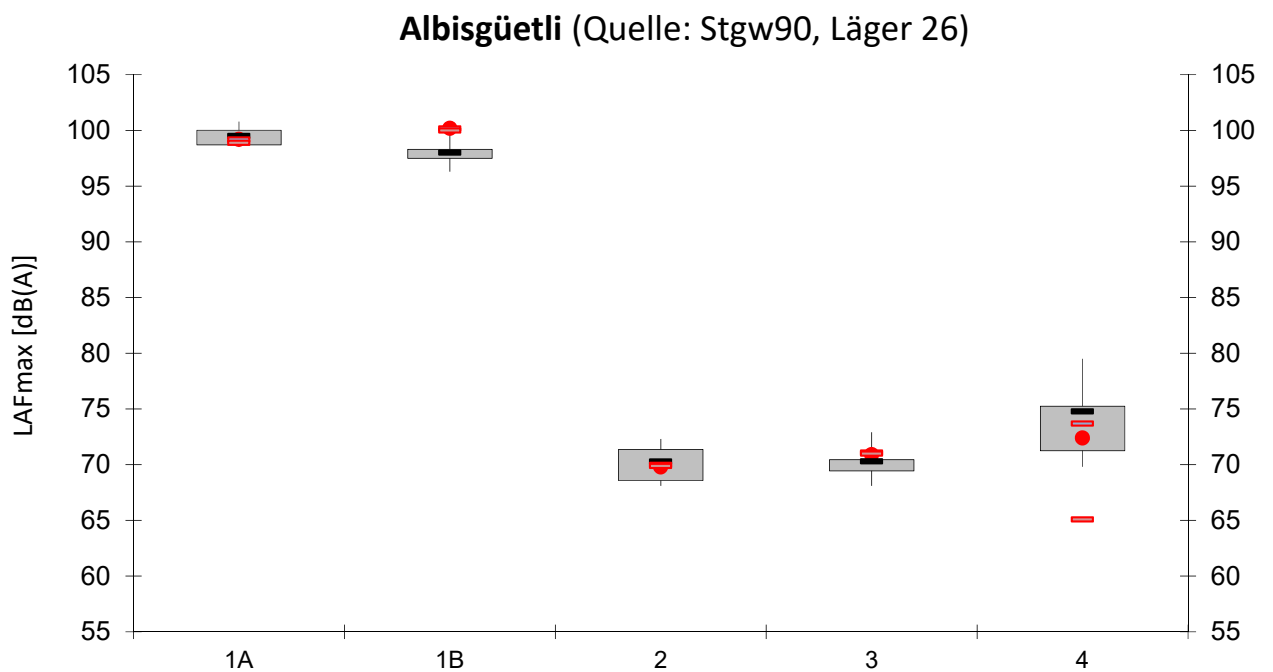


Abbildung 50: Vergleich Messung und Berechnung, Albisgüetli Stgw90, Lager 26.

## 16 Dübendorf und Wangen-Brütisellen 2016

Die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung wurde durch die Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich im Jahr 2016 beauftragt, die Modellierung der baulichen Massnahmen Lägerblenden und Schiesstunnels in sonARMS zu verifizieren und die kombinierte Wirkung dieser beiden Lärmschutzmassnahmen messtechnisch abzuklären. Zu diesem Zweck wurden Messungen bei den Schiessständen in Dübendorf und Wangen-Brütisellen durchgeführt, siehe Empa-Bericht Nr. 5214012303.

### 16.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	Dübendorf, Schiessanlage Werlen: 14. April 2016 nachmittags Wangen-Brütisellen: 27. April 2016 nachmittags
Wetter:	Dübendorf: keine Messung – nur Beobachtung: kalt, leicht bewölkt Wangen-Brütisellen: keine Messung – nur Beobachtung: wechselhaft, sonnig bis leichter Regen, windstill bis böig
Quelle(n):	Sturmgewehr 90, in Wangen auch mit Schallschutztunnel
Messpunkte:	Je sechs Mikrofone in kurzem Abstand zum Schützenhaus. In Wangen-Brütisellen zusätzliche Versuche vor dem Schützenhaus.
Messgrösse:	$L_{AE}$ und $L_{AFmax}$
Bemerkungen:	Schützenhauswirkung, Lägerblenden und Schiesstunnels.

### 16.2 Angaben zur Simulation

Meteo:	Meteoklasse: N0, Windrichtung: 0°, Temperatur: 10 °C, relative Feuchtigkeit: 70%
Umsetzung:	Die Lägerblenden wurden im Projekt zum einen mit dem in sonARMS implementierten Quellenansatz und zum anderen als separate Wände modelliert. Die Variante als separate Wände ergab bessere Resultate vor dem Schützenhaus, aber eine schlechtere Übereinstimmung im Rückraum. Vor den vorliegenden Vergleich wird die Variante mit dem Quellenansatz gezeigt, welche als Standardmethode empfohlen wird. Eine Kombination von Lägerblenden und Schiesstunnels ist allerdings nur möglich, wenn die Wirkung der Schiesstunnels als Quelleneigenschaft und die Wirkung der Lägerblenden als Ausbreitungsphänomen modelliert wird.
Bemerkung:	Graphisch dargestellt werden lediglich die Ereignispegel $L_{AE}$ . Für den tabellarischen Vergleich in Abschnitt 16.3 werden zusätzlich zu den Ereignispegeln auch Maximalpegel aufgeführt. Die Schiessanlage Werlen bei Dübendorf verfügt über Lägerblenden, welche zusätzlich zum Dach hin mit absorbierenden Blechen ausgestaltet sind; die Schiessanlage in Wangen nur über klassische Lägerblenden mit lediglich vertikal positionierten Wänden. Die Kombination von Lägerblenden und Schiesstunnels ist ungewöhnlich. Es zeigte sich, dass sich bei einer Umsetzung in sonARMS eine systematische Überschätzung der resultierenden Pegelminderung ergibt.



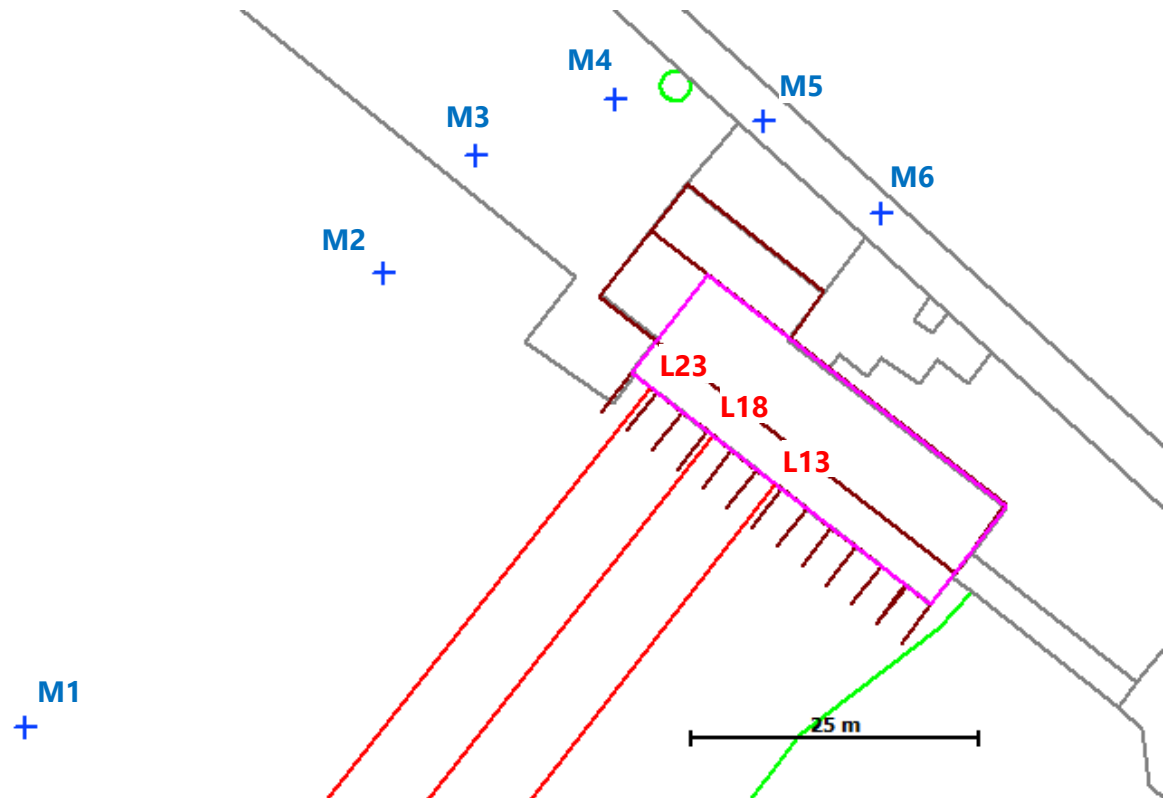


Abbildung 51: Übersichtskarte Dübendorf.

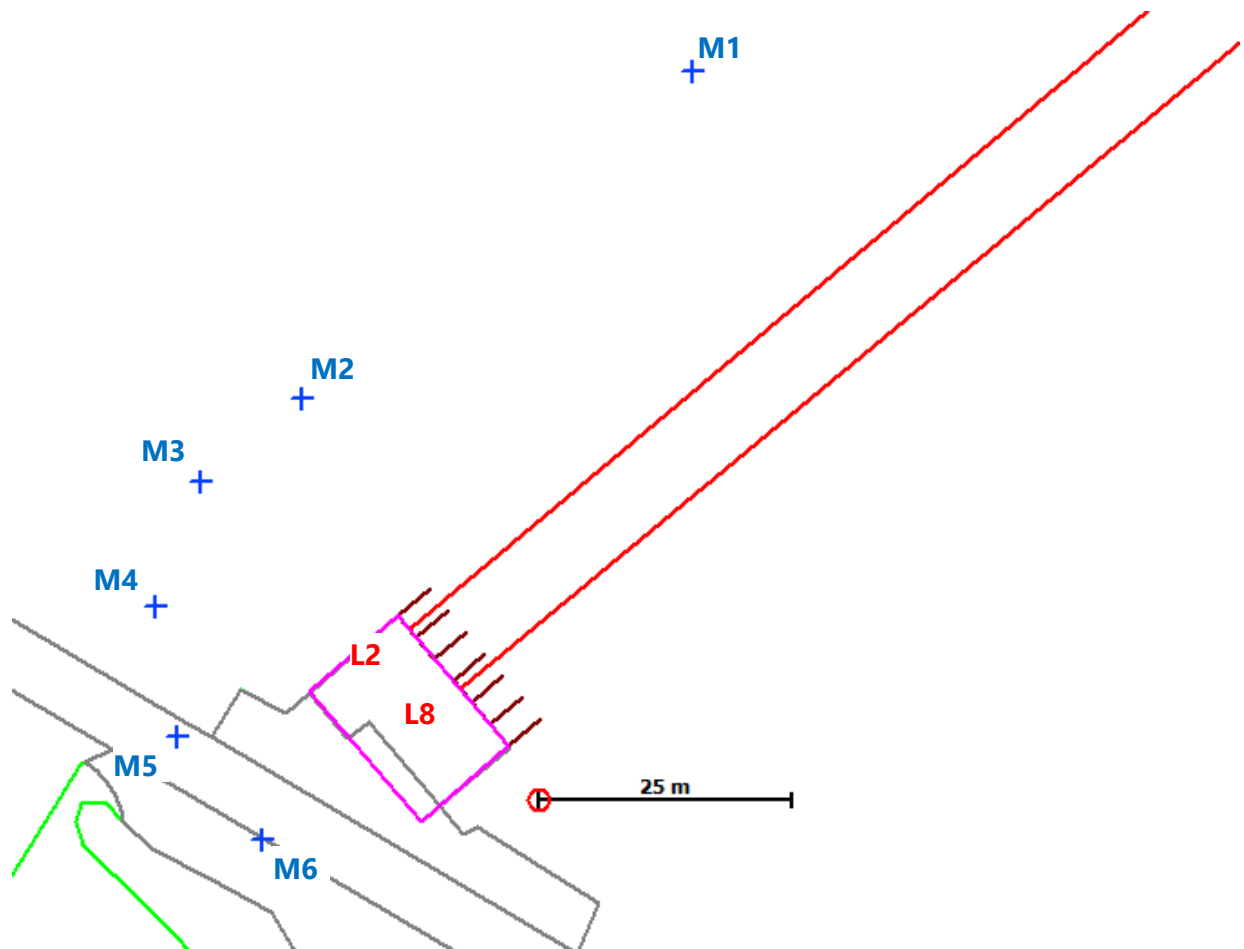
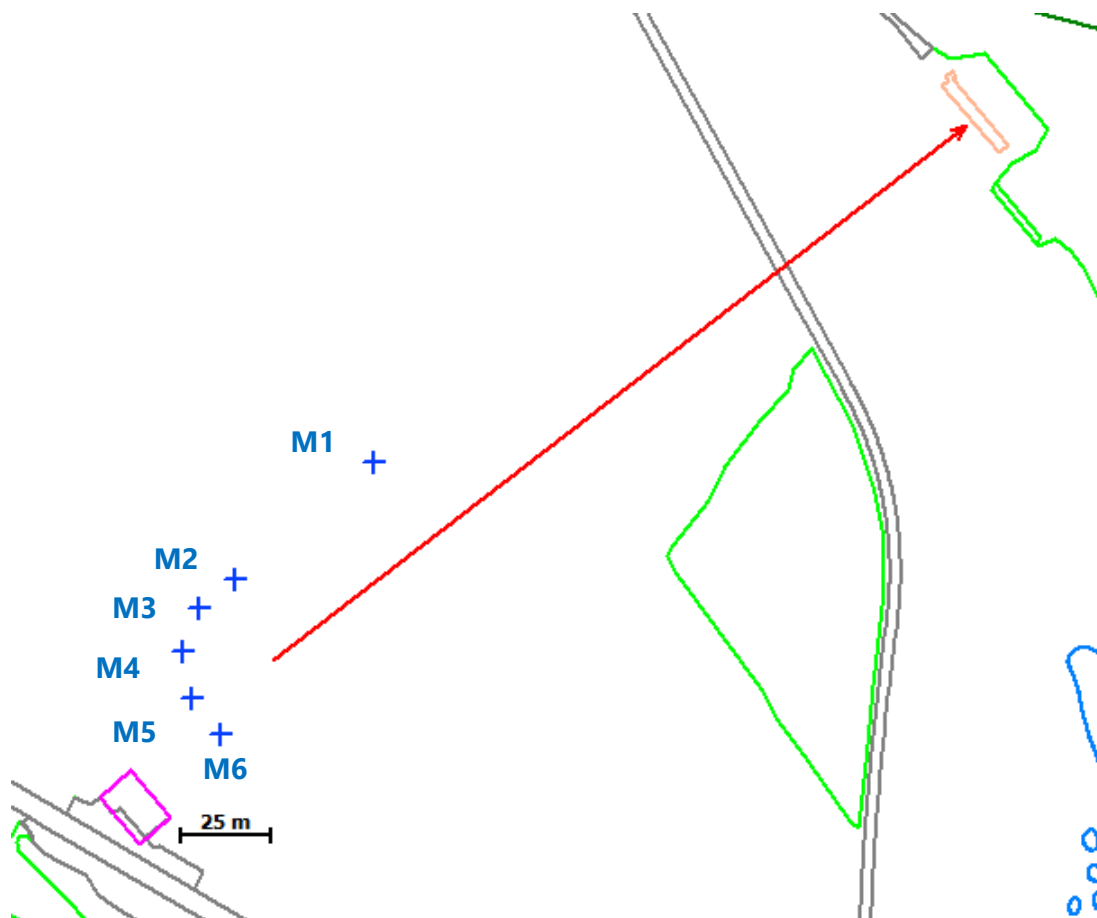


Abbildung 52: Übersichtskarte Wangen-Brütisellen, Quelle im Schützenhaus.



Abbildungung 53: Übersichtskarte Wangen-Brütisellen, Quelle im Freien.

### 16.3 Vergleich Messung – Berechnung

Ereignispegel  $L_{AE}$

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Dübendorf, Lager 23	-1.6 dB(A)	2.9 dB(A)	3.4 dB(A)	4.2%
Dübendorf, Lager 18	-3.6 dB(A)	3.2 dB(A)	4.8 dB(A)	6.4%
Dübendorf, Lager 13	-3.4 dB(A)	3.5 dB(A)	4.9 dB(A)	6.0%

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Wangen, Lager 2 mit SST	3.2 dB(A)	6.2 dB(A)	6.9 dB(A)	7.3%
Wangen, Lager 2	0.7 dB(A)	4.6 dB(A)	4.6 dB(A)	5.6%
Wangen, Lager 8 mit SST	0.5 dB(A)	4.0 dB(A)	4.0 dB(A)	4.1%
Wangen, Lager 2	-2.2 dB(A)	3.2 dB(A)	3.9 dB(A)	4.6%

<b>Situation</b>	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Wangen, Frei mit SST	-0.8 dB(A)	2.4 dB(A)	2.6 dB(A)	3.6%
Wangen, Frei	-0.7 dB(A)	1.2 dB(A)	1.4 dB(A)	2.3%

Maximalpegel  $L_{A\text{Fmax}}$ 

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Dübendorf, Lager 23	-3.1 dB(A)	3.3 dB(A)	4.5 dB(A)	6.1%
Dübendorf, Lager 18	-5.7 dB(A)	3.8 dB(A)	6.9 dB(A)	9.7%
Dübendorf, Lager 13	-5.8 dB(A)	4.2 dB(A)	7.2 dB(A)	9.6%

<b>Situation</b>	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Wangen, Lager 2 mit SST	2.3 dB(A)	6.9 dB(A)	7.3 dB(A)	7.6%
Wangen, Lager 2	-0.1 dB(A)	5.0 dB(A)	5.0 dB(A)	6.2%
Wangen, Lager 8 mit SST	-0.1 dB(A)	4.5 dB(A)	4.5 dB(A)	4.7%
Wangen, Lager 2	-3.2 dB(A)	3.7 dB(A)	4.9 dB(A)	5.5%

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
Wangen, Frei mit SST	-1.2 dB(A)	2.5 dB(A)	2.7 dB(A)	4.1%
Wangen, Frei	-0.9 dB(A)	1.6 dB(A)	1.8 dB(A)	2.9%

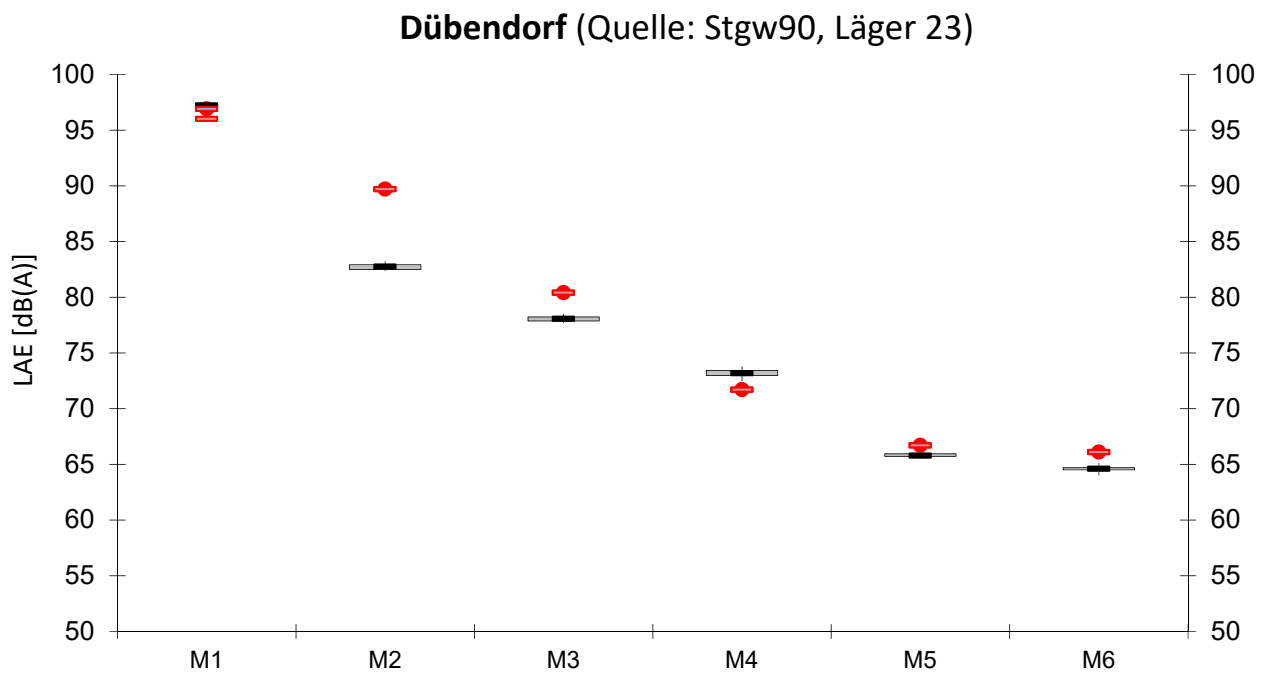


Abbildung 54: Vergleich Messung und Berechnung in Dübendorf, Lager 23.

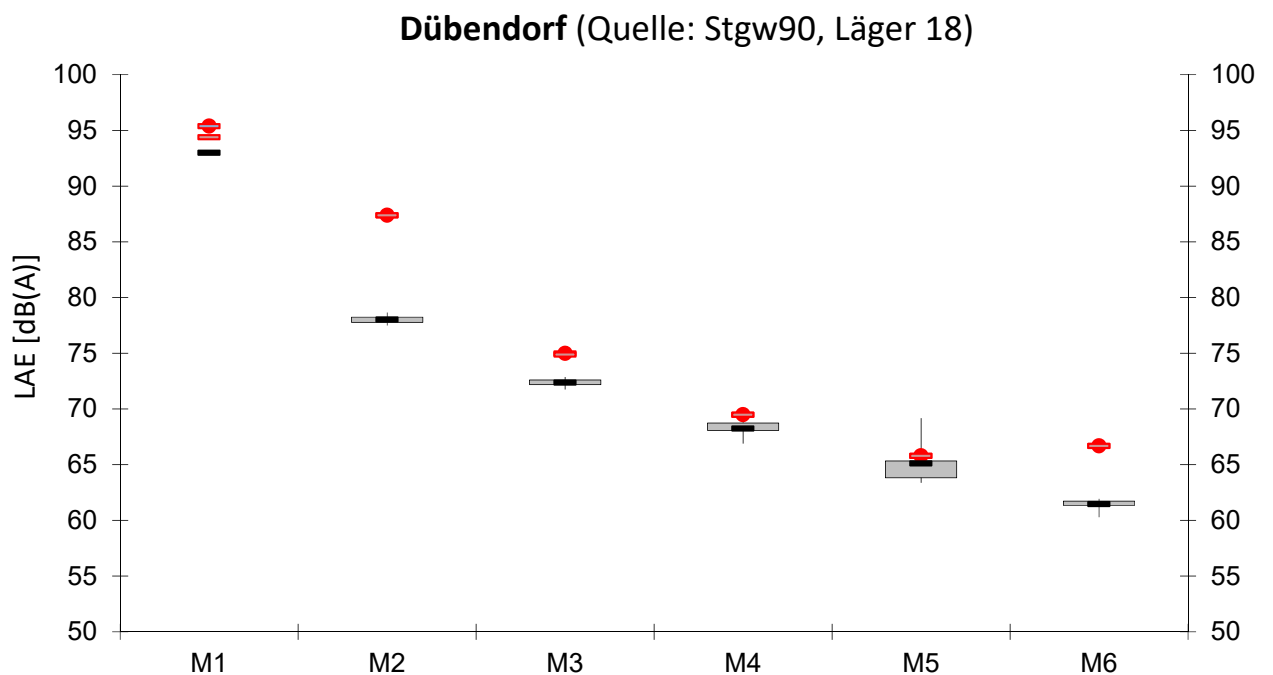


Abbildung 55: Vergleich Messung und Berechnung in Dübendorf, Lager 18.

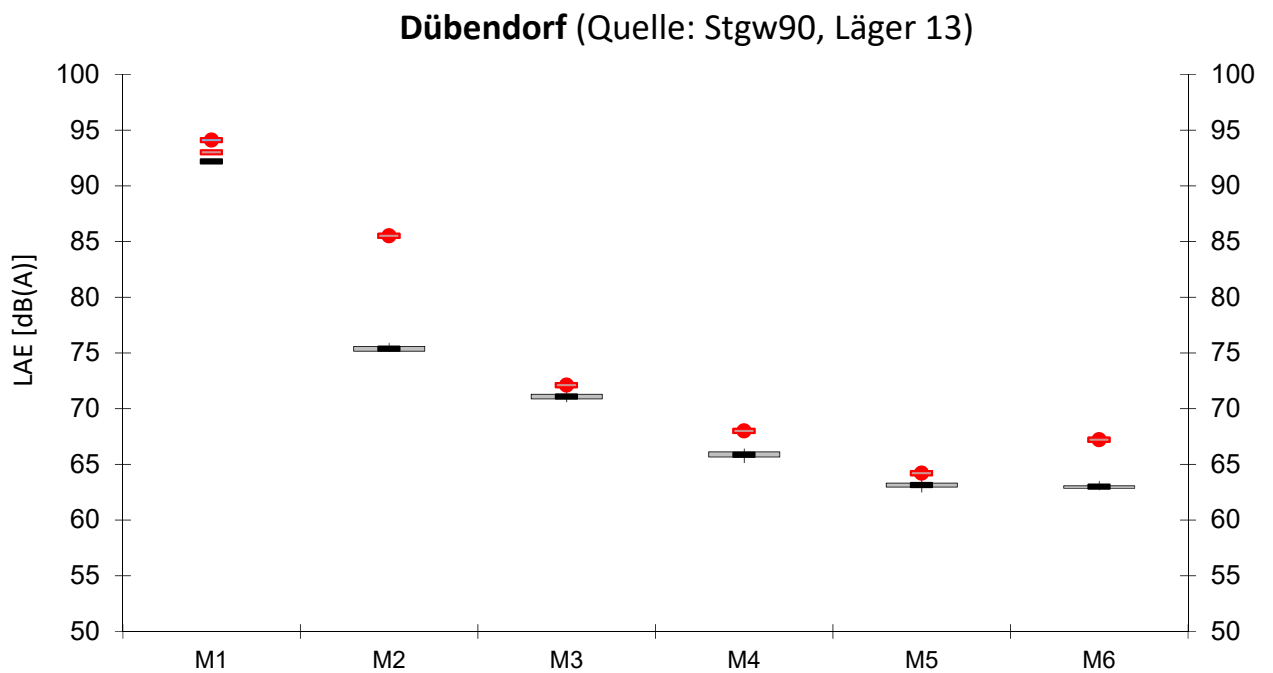


Abbildung 56: Vergleich Messung und Berechnung in Dübendorf, Lager 13.

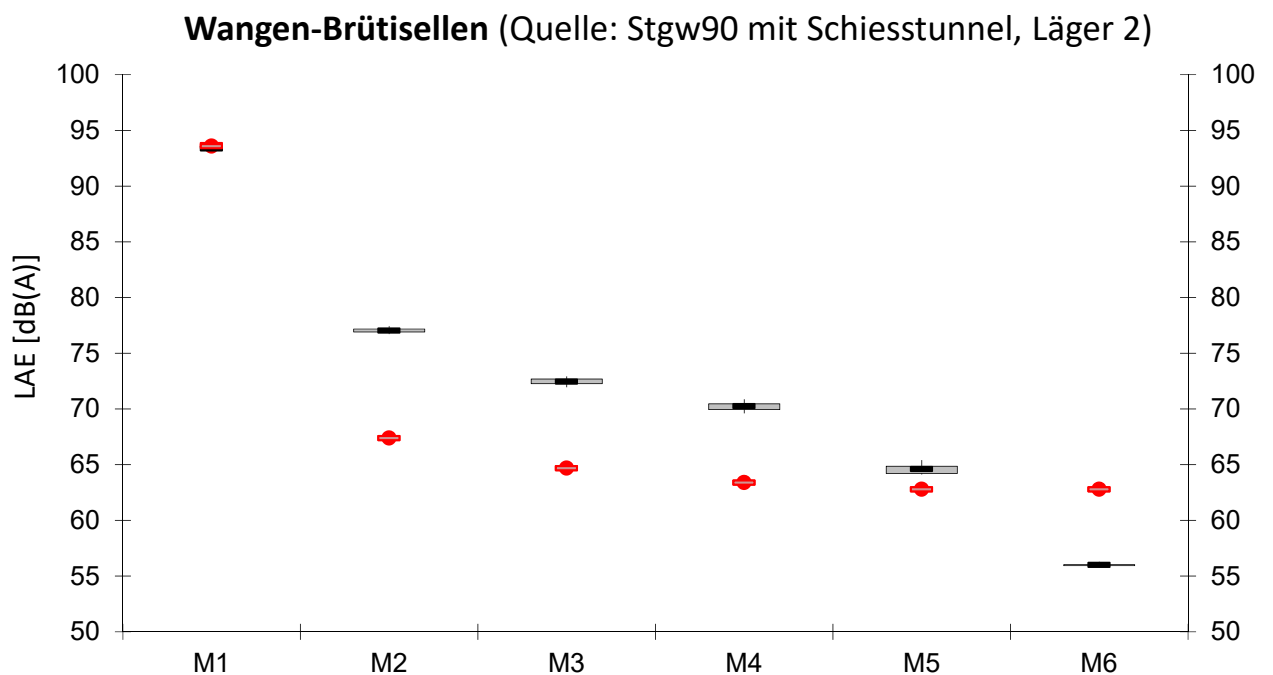


Abbildung 57: Vergleich Messung und Berechnung in Wangen, Lager 2 mit Schiesstunnel.

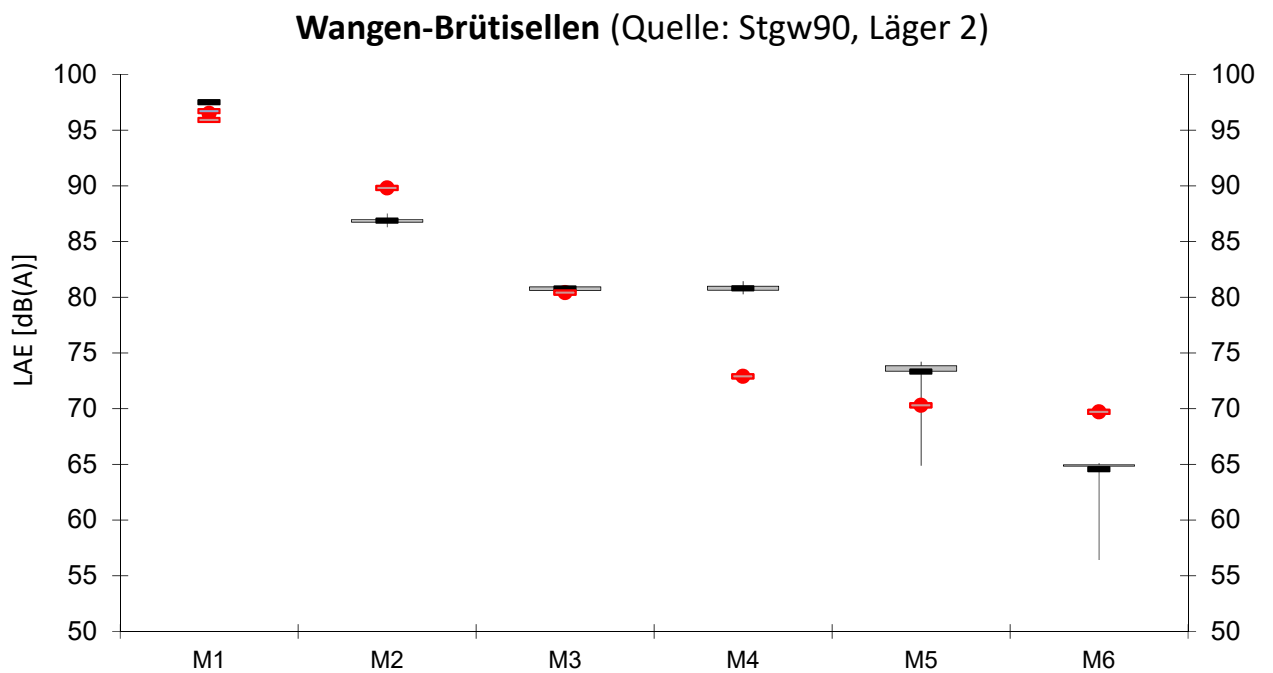


Abbildung 58: Vergleich Messung und Berechnung in Wangen, Lager 2 ohne Schiesstunnel.

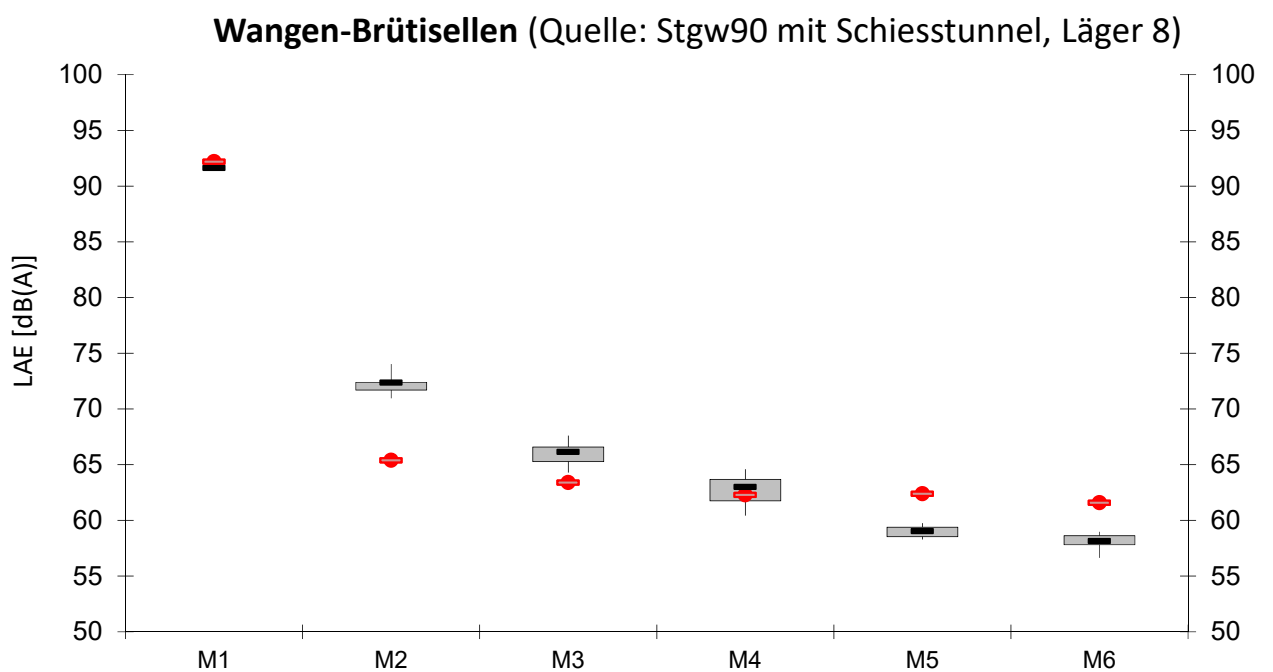


Abbildung 59: Vergleich Messung und Berechnung in Wangen, Lager 8 mit Schiesstunnel.

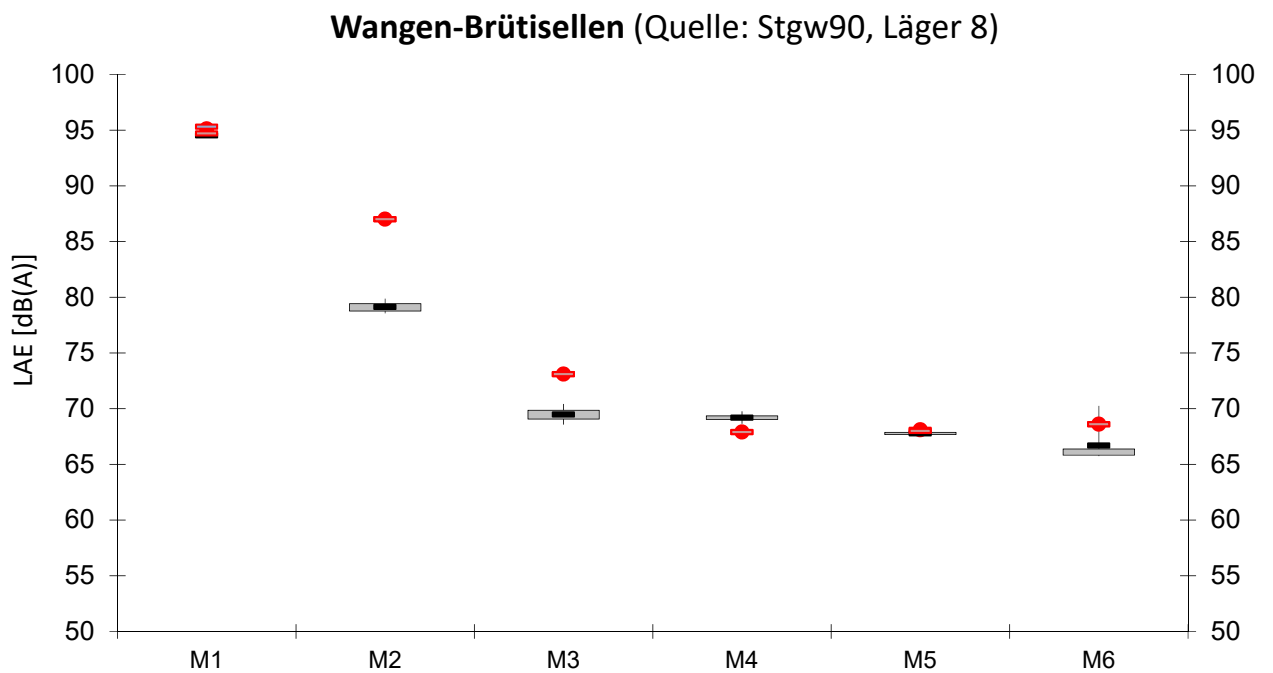


Abbildung 60: Vergleich Messung und Berechnung in Wangen, Lager 8 ohne Schiesstunnel.

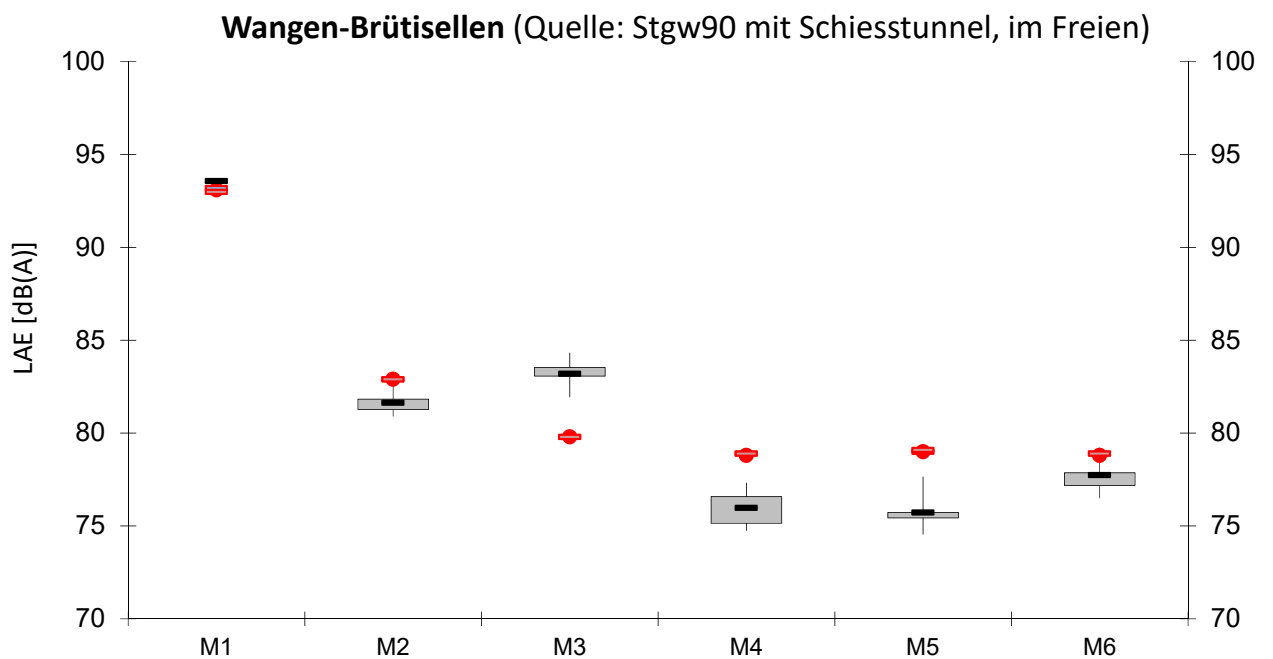


Abbildung 61: Vergleich Messung und Berechnung in Wangen, im Freien mit Schiesstunnel.

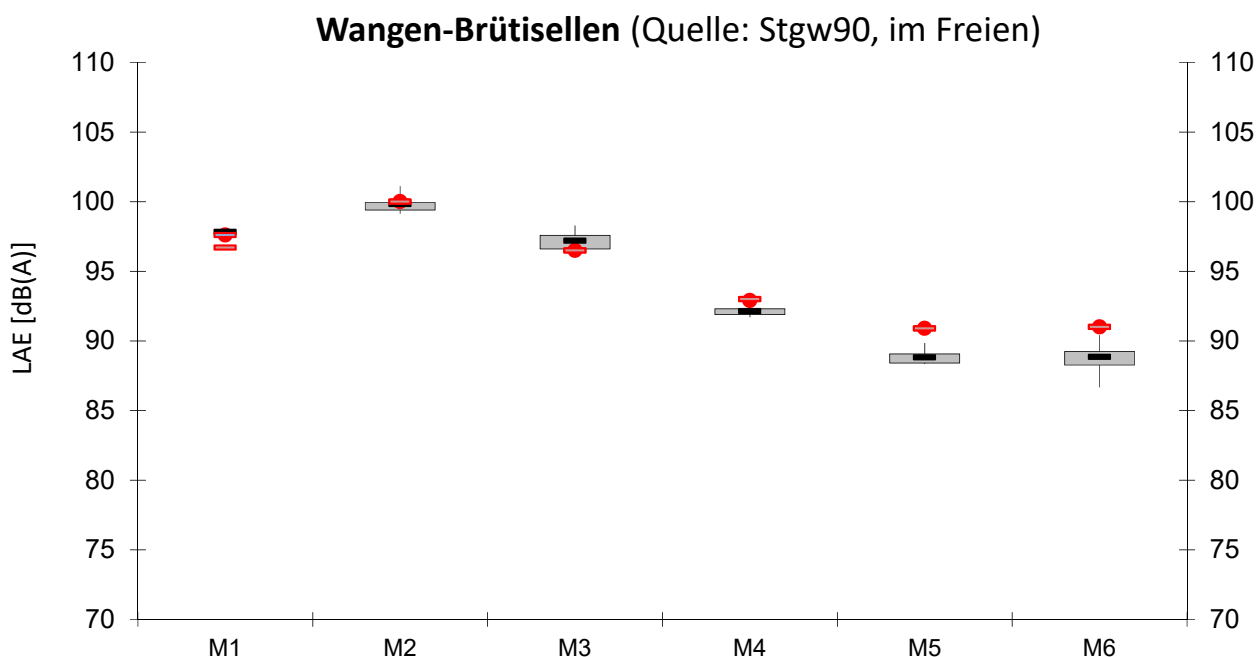


Abbildung 62: Vergleich Messung und Berechnung in Wangen, im Freien ohne Schiesstunnel.

## 17 Klostern 2018

Die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung hat auf dem Pistolenstand Ganda in Klosters am 25. Juni 2018 Kontrollmessungen im Auftrag des Amtes für Natur und Umwelt des Kantons Graubünden durchgeführt. Die Messungen waren geplant worden, da ein Vergleich von vorhergehenden Messungen mit sonARMS-Berechnungen grössere Abweichungen ergeben hatte. Als Quellen wurden eine Signalpistole sowie je eine Gross- und eine Kleinkaliberpistole verwendet. Messungen wurden von drei Schiesspositionen durchgeführt. Als Besonderheit zeigte sich, dass der Sonnenstoren eine zusätzliche Pegelreduktion von 1 bis 4 dB(A), je nach Messpunkt ergab. Da eine solcher Einfluss sehr ungewöhnlich ist und in sonARMS auch nicht nachgebildet werden kann, werden nachfolgend Vergleiche mit der Serie ohne Sonnenstoren gezeigt.

### 17.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit:	Nachmittag des 25. Juni 2018
Wetter:	Meteostation bei Messpunkt E3: Temperatur 16.1 °C, relative Luftfeuchtigkeit 57 %, mittlere Windgeschwindigkeit, gemessen in 4 m Höhe 1.6 m/s, Windrichtung 303° (WNW). Der Himmel war leicht bewölkt.
Quelle(n):	Pistole SIG 49 (9 mm), Schiessposition 50mL
Messpunkte:	6 Messpunkte, Messpunkt E1 im offenen Fenster eines Hauses, Messpunkt E3 und E4 auf 1.5 m über Terrain und Messpunkt E2 mit drei Höhen von 1.5, 4.0 und 6.0 m.
Messgrösse:	L <sub>AFmax</sub>



## 17.2 Angaben zur Simulation

Meteo: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 303°, Temperatur: 16 °C, relative Feuchtigkeit: 57%

Bemerkung: Im Vergleich zu den Messungen überschätzen die Berechnungen die Bedeutung der Gebäudereflexionen bei den Punkten E1 und E2.

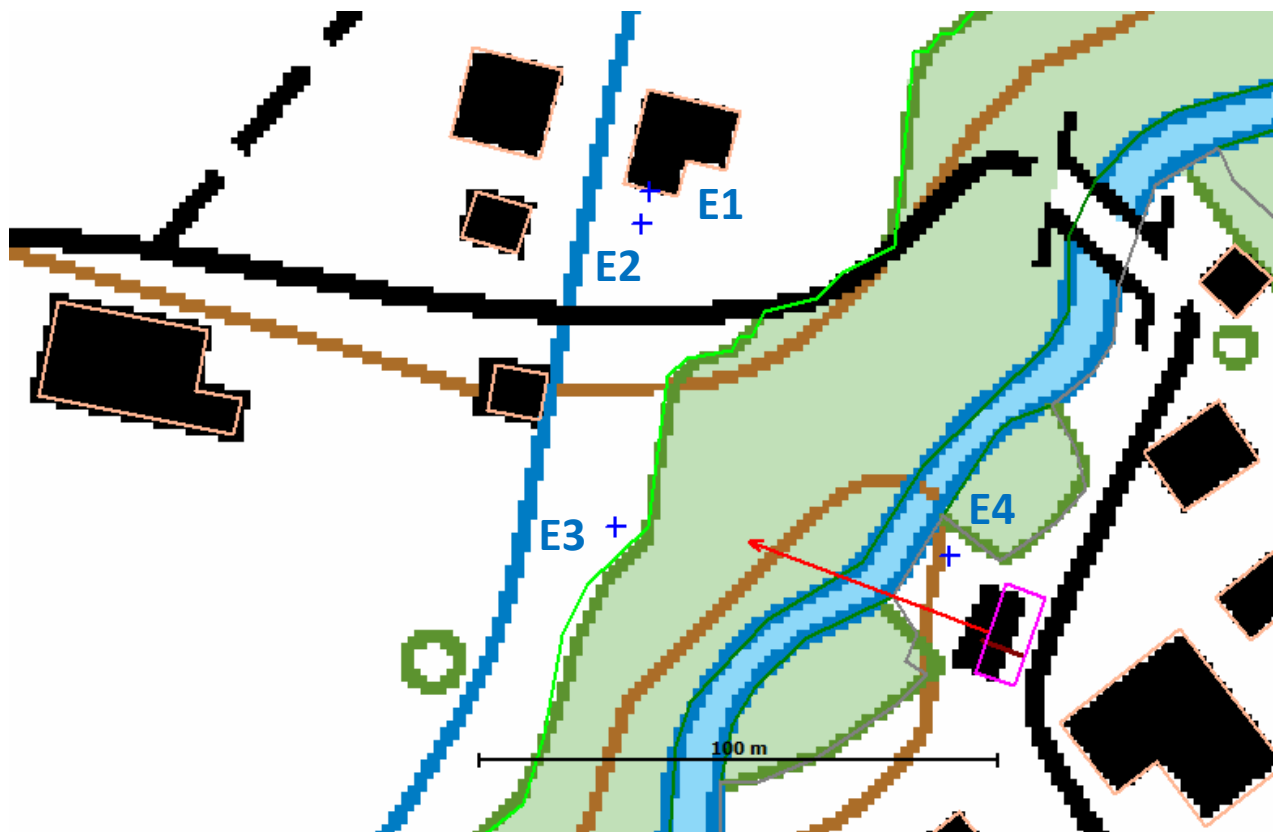


Abbildung 63: Übersichtskarte Klosters.

## 17.3 Vergleich Messung – Berechnung

Situation	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
-	-2.7 dB(A)	2.6 dB(A)	3.7 dB(A)	6.0%

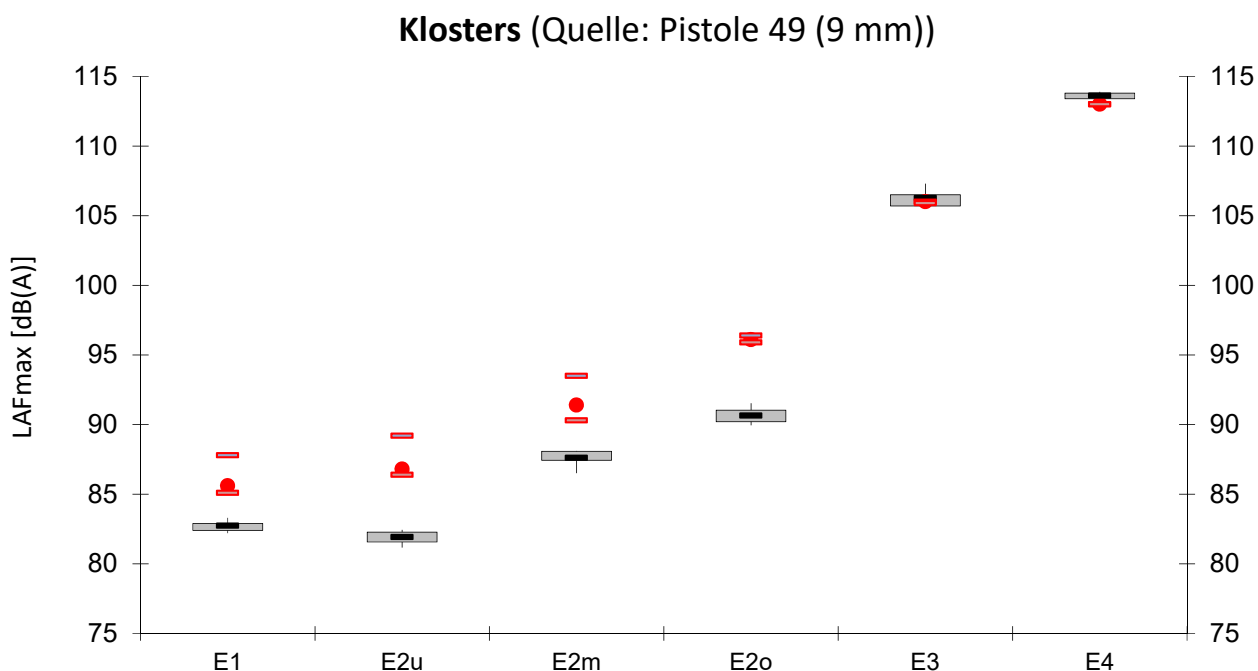


Abbildung 64: Vergleich Messung und Berechnung in Klosters.

## 18 Jussy 2018

Die Schiessanlage Jussy liegt im Kanton Genf. Das Amt für Luftreinhaltung, Lärm und nicht-ionisierende Strahlung SABRA des Kantons Genf hat bei der Anlage in Jussy am 20. September 2018 Messungen durchgeführt und diese der Empa Abteilung Akustik / Lärminderung für Validierungszwecke zur Verfügung gestellt.

### 18.1 Angaben zur Messung

Datum, Uhrzeit: 20. September 2018

Wetter: Messung im Bereich der Anlage mit einem Ultraschallanemometer in 2 m Höhe.

Quelle(n): Sturmgewehre 57 und 90 sowie Pistole 75 (9 mm). Beim 25 und beim 50 m Stand wurde jeweils eine mittlere Schiessposition geschossen, beim 300 m Stand kamen vier Läger zum Einsatz. Bei den mittleren beiden Schiesspositionen des 300 m Standes wurden zwei Schüsse, bei allen anderen Quellenpositionen vier Schüsse abgegeben bzw. erfasst. Die Schüsse vom 300 m Stand wurden pro Waffe gemittelt.

Messpunkte: Messungen wurden an elf Empfangspunkten durchgeführt. Bei den Punkten 1b, 2b, 3b, und 4b wurden jedoch nicht alle Ereignisse erfasst, weshalb sie für den Vergleich nicht weiter verwendet werden. Messpunkt 4a war bei einem Gebäude, die übrigen Punkte im Freien auf einer Höhe von 4 m über Terrain installiert.

Messgrösse:  $L_{AFmax}$

## 18.2 Angaben zur Simulation

Meteo: Meteoklasse: L2, Windrichtung: 15°, Temperatur: 28 °C, relative Feuchtigkeit: 60%

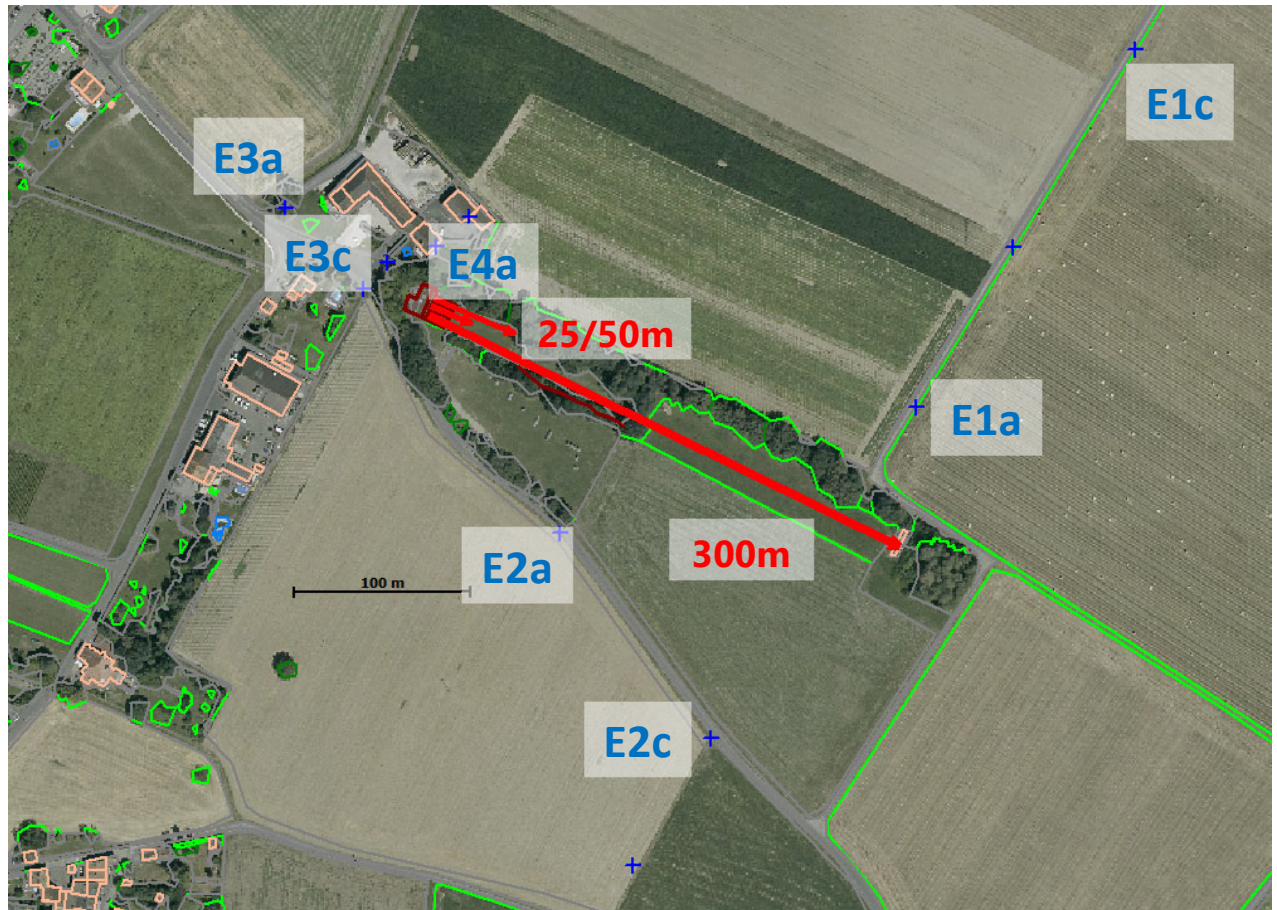


Abbildung 65: Übersichtskarte Jussy.

## 18.3 Vergleich Messung – Berechnung

Quelle	Mittlere Abweichung	Standard-abweichung	Mittlerer Fehler	Prozentualer Fehler
300m Stgw57	-0.2 dB(A)	2.4 dB(A)	2.4 dB(A)	2.6%
300m Stgw90	-1.4 dB(A)	2.5 dB(A)	2.9 dB(A)	3.5%
25m Pist75, 9mm	-0.6 dB(A)	2.4 dB(A)	2.5 dB(A)	2.5%
25m Pist75, 9mm	-0.2 dB(A)	2.5 dB(A)	2.5 dB(A)	3.0%

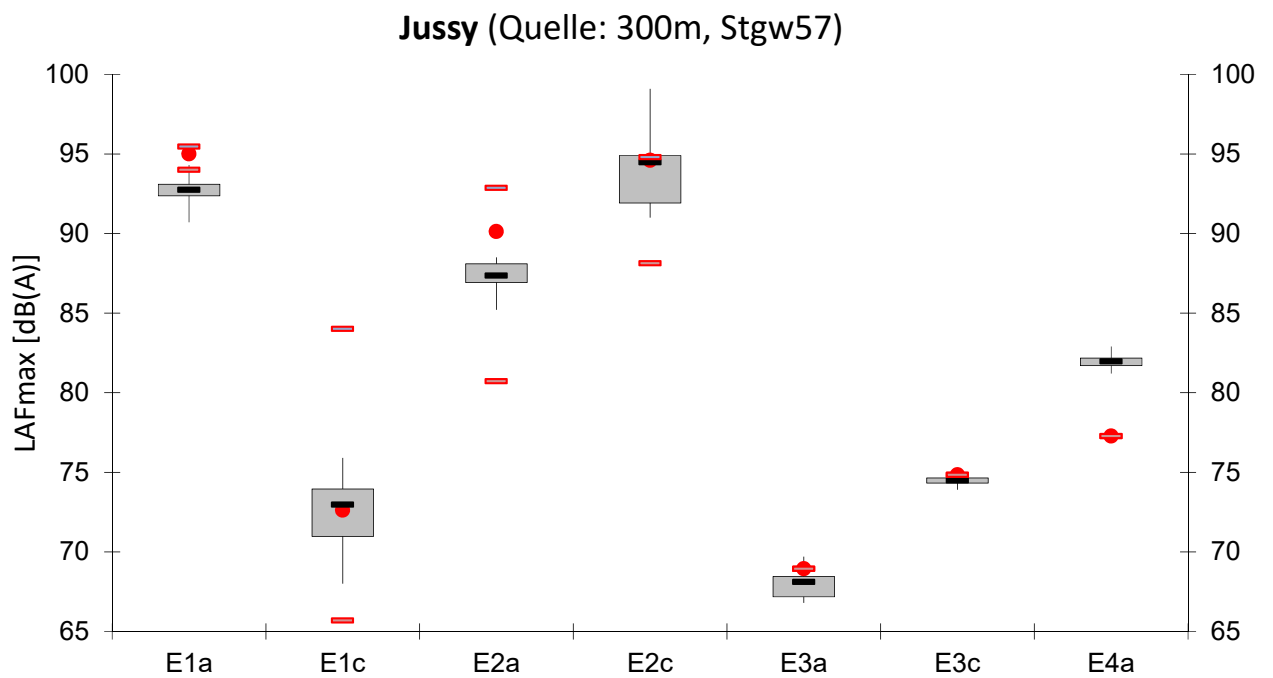


Abbildung 66: Vergleich Messung und Berechnung in Jussy, 300m Stand, Stgw57.

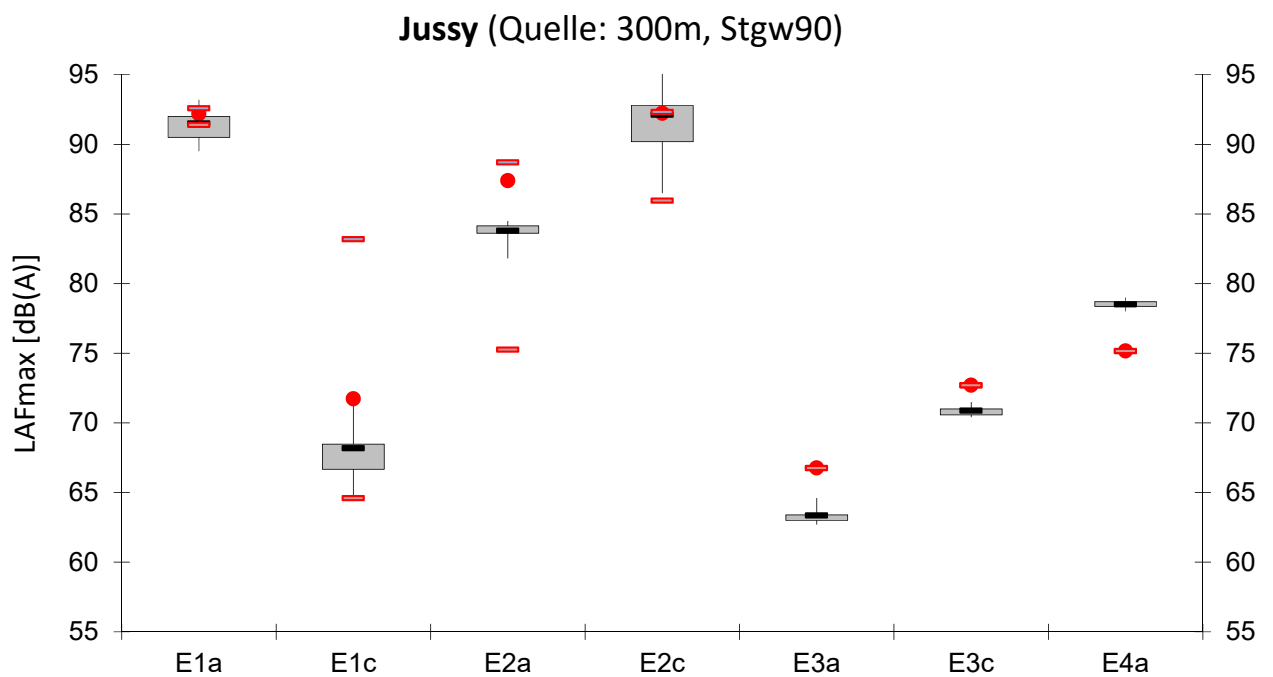


Abbildung 67: Vergleich Messung und Berechnung in Jussy, 300m Stand, Stgw90.

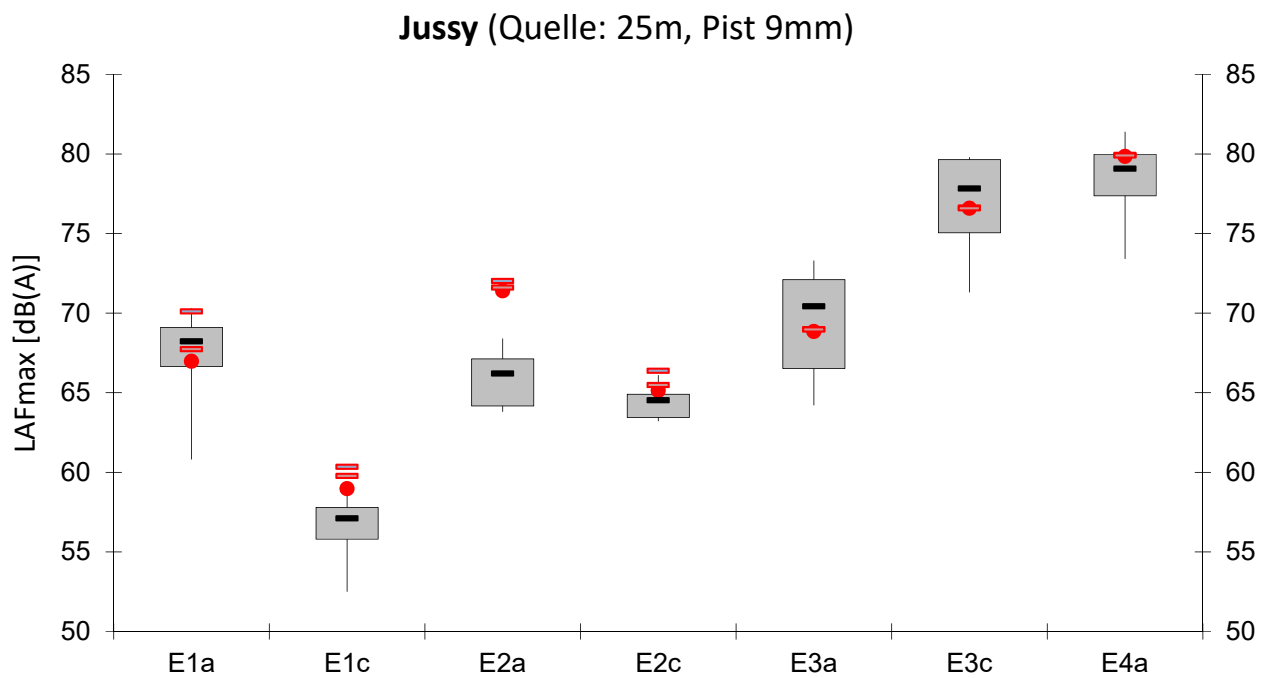


Abbildung 68: Vergleich Messung und Berechnung in Jussy, 25m Stand, Pistole75, 9mm.

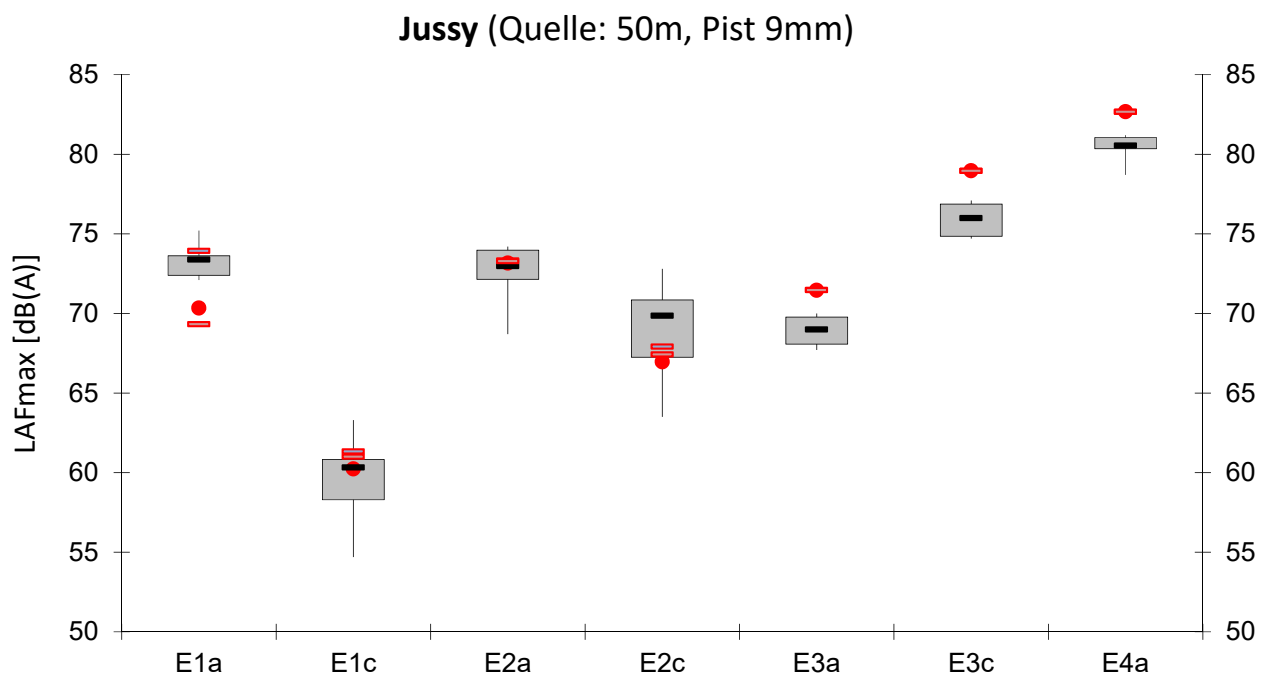


Abbildung 69: Vergleich Messung und Berechnung in Jussy, 50m Stand, Pistole75, 9mm.

## 19 Abschätzung einer mittleren Modellunsicherheit

In Abbildung 70 sind sämtliche berechneten und gemessenen Immissionspegel – 401 Datenpunkte von 19 Standorten – gegenübergestellt. Die mittlere Abweichung zwischen Messung und Berechnung beträgt  $-0.5$  dB(A) bei einer Standardabweichung von  $4.0$  dB(A). Dieser Vergleich beschreibt die Unsicherheit mit welcher mit einer sonARMS-Berechnung eine einzelne Messung bei einer bestimmten Meteosituation reproduziert werden kann. Abbildung 71 stellt die Abweichungen zwischen Messung und Berechnung als Boxplots dar, wobei neben dem ganzen Datensatz auch eine separate Auswertung für die beiden Messgrößen  $L_{AFmax}$  und  $L_{AE}$  vorgenommen wurde. Bei 214 Datensätzen war der Maximalpegel und bei 187 der Ereignispegel ausgewertet worden. Der Median beträgt beim Maximalpegel  $-1.3$  dB(A) und beim Ereignispegel  $+0.3$  dB(A). Da bei den einzelnen Situationen entweder  $L_{AFmax}$  oder  $L_{AE}$  erfasst wurde, ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Gleichwohl kann beim Maximalpegel von einer Tendenz zur Überschätzung in den Berechnungen ausgegangen werden. Über den gesamten Datensatz betrachtet, beträgt der Median gemäss Abbildung 71  $-0.5$  dB(A), die 25 bzw. 75% Quartile liegen bei  $+2.1$  dB(A) und  $-3.0$  dB(A). 50% der Daten liegen somit in einer Bandbreite von  $5$  dB(A).

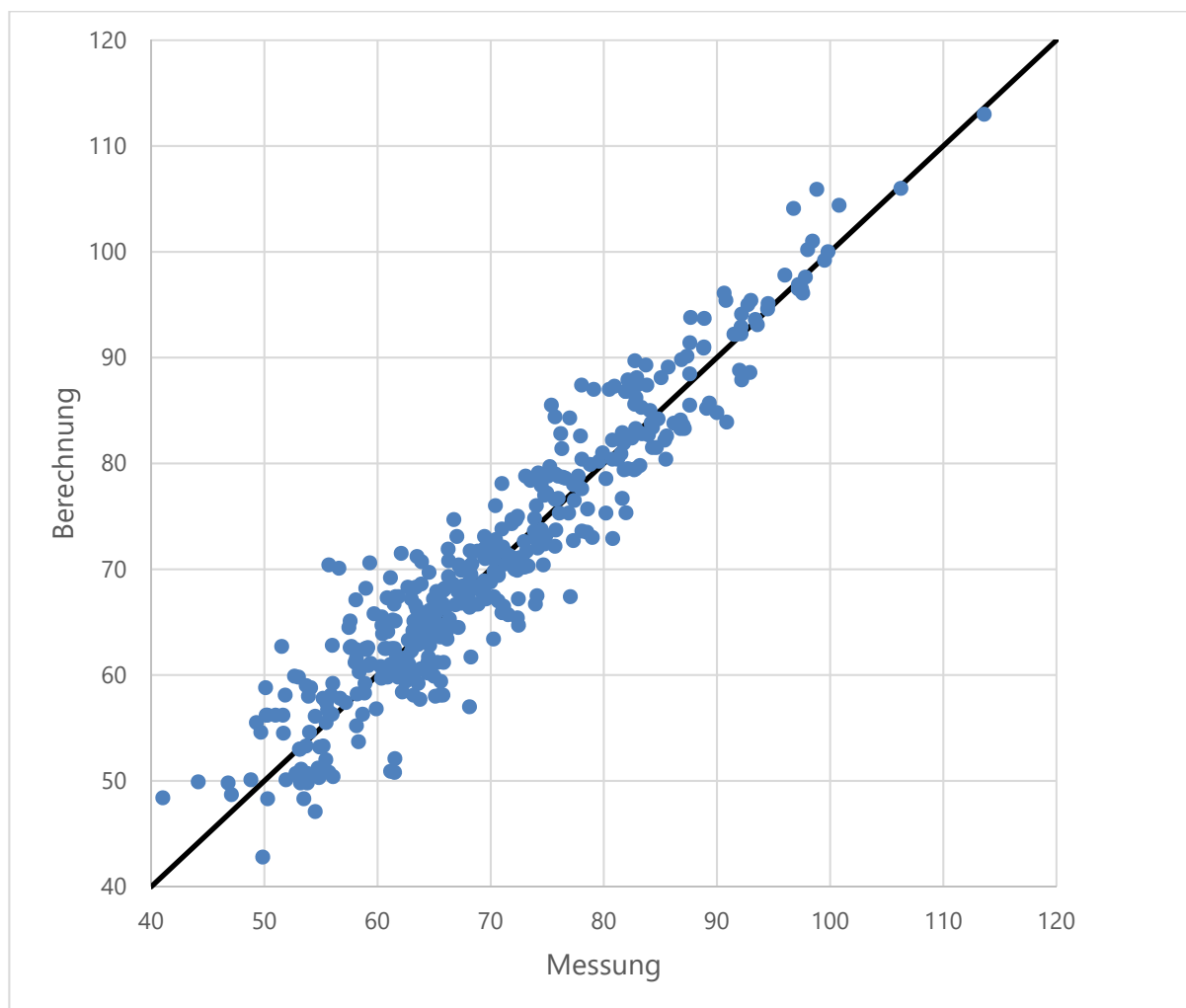


Abbildung 70: Vergleich Messung und Berechnung für sämtliche Validierungsfälle.

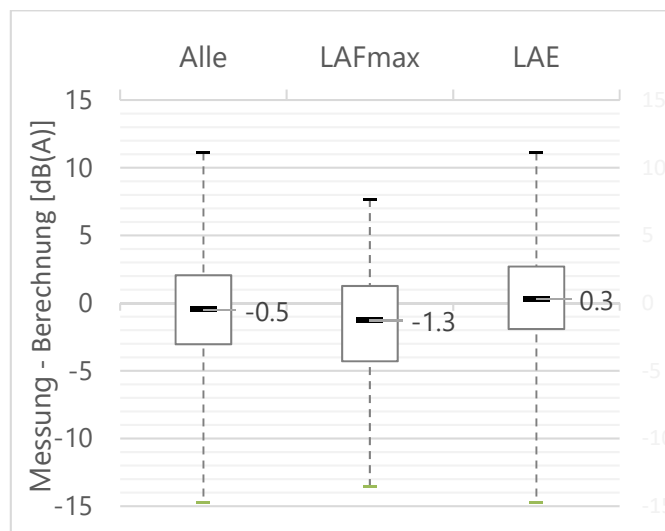


Abbildung 71: Einfluss der akustischen Grösse auf die Abweichung zwischen Messung und Berechnung.

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 dominierenden Reflexionen. Als Mass für die Komplexität einer Situation kann die Ausbreitungsdämpfung, d.h. die Differenz zwischen der Schallleistung und dem Ereignispegel, verwendet werden. In Abbildung 72 sind die Abweichungen zwischen Messung und Berechnung relativ zur Ausbreitungsdämpfung aufgetragen. Es ist kein eindeutiger Trend sichtbar. Zumindest ist nicht erkennbar, dass der relative Fehler mit zunehmender Ausbreitungsdämpfung zu- oder abnimmt. Entsprechend erscheint die Bestimmung eines mittleren prozentualen Fehlers über den gesamten Pegelbereich zulässig. Um den Ausreissern kein übermässiges Gewicht zu geben, wird empfohlen, den Median zu verwenden, welcher bei 3.7% liegt.

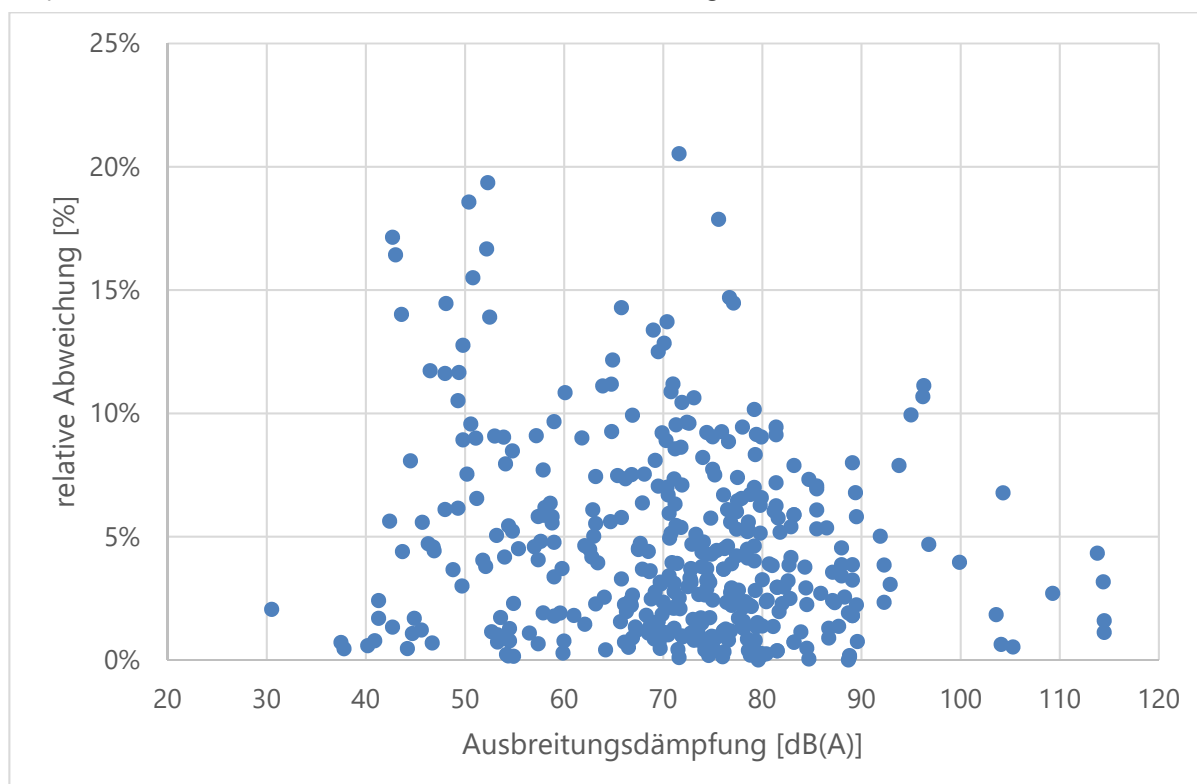


Abbildung 72: Zusammenstellung der prozentualen Abweichungen für sämtliche Validierungsfälle.

## 20 Diskussion

Die aktuellen Validierungsergebnisse zeigen ein vergleichbares Bild wie anlässlich der Validierung aus dem Jahr 2013. Die mittlere Abweichung hat sich geringfügig, von -0.1 auf -0.5 dB(A) erhöht. Da im Gegenzug die Standardabweichung von 4.4 auf 4.1 dB(A) zurück gegangen ist, wurde auch der mittlere Fehler bzw. der mittlere prozentuale Fehler entsprechend reduziert.

Wie erwähnt wurde für den Maximalpegel eine Tendenz zur Überschätzung festgestellt. Dies kann damit begründet werden, dass *sonX* für Energie-basierte Grössen wie den  $L_{AE}$  entwickelt wurde und die Maximalpegelberechnung erst in einem zweiten, nachgeschalteten Schritt erfolgt. Dabei werden namentlich zwei Annahmen getroffen, (a) dass es sich beim Direktschall um einen idealen Impuls handelt und (b) dass sämtliche Gebäudereflexionen vom dominanten Reflektor stammen. Diese Annahmen sind konservativ gewählt und führen deshalb in der Tendenz zu etwas zu hohen Maximalpegeln.

Speziell hervorzuheben ist, dass im Jahr 2013 das Reflexionsmodell aufgrund zu weniger Testfälle nicht validiert werden konnte. Bei den aktuellen Vergleichsberechnungen waren jedoch verschiedene Situationen mit relevanten Reflexionen involviert und die Berechnungen wurden konsequent mit sämtlichen Modulen, also auch mit Reflexionen durchgeführt. Die Vergleiche ergaben eine generelle Tendenz zur Überschätzung der Reflexionsanteile, dies namentlich beim Maximalpegel. Diese Tendenz lässt sich durch die Modellkonzeption und verschiedene Vereinfachung, welche aus Gründen der Rechenzeitreduktion eingeführt wurden, erklären. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, wird deshalb empfohlen, pauschal den Oberflächentyp sämtlicher Gebäude von schallhart (ID 501) zu leicht absorbierend (ID 502) anzupassen.

Im Jahr 2016 war bereits eine Teilvalidierung im Vergleich zu Messungen für das Geschosknallmodell vorgenommen worden. Diese hatte ebenfalls eine Tendenz zur Überschätzung ergeben und zu einer Modelanpassung geführt. Abschliessend kann somit festgestellt werden, dass die Version von *sonARMS* aus dem Jahr 2019 in der Tendenz tiefere Immissionen ergeben wird als die Version, welche im Jahr 2013 validiert wurde.

## 21 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 aus-



gewiesen, einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung einer stochastischen Ausmittlung. Die Berechnung erfolgt mit dem Median der prozentualen Abweichungen aller Ereignisse von 3.7%. 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 1 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>4</sup>:

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

In Tabelle 1 sind die resultierenden Unsicherheiten zusammengestellt. Wie zu erkennen ist, ergeben sich bei einer Berücksichtigung der stochastischen Ausmittlung der Fehler deutlich tiefere Prognoseunsicherheiten von rund 0.5 dB(A).

<sup>4</sup> Quelle: W. Probst, U. Donner, "Die Unsicherheit des Beurteilungspegels bei der Immissionsprognose", Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Vol. 49 Nr. 3 (Mai 2002).

<b>Unsicherheit Lr [dB(A)]</b>	keine Ausmittlung stochastischer Fehler		Mit Ausmittlung stochastischer Fehler	
	A7	A9	A7	A9
IGW ES II	2.9	2.7	0.55	0.52
IGW ES III	2.7	2.6	0.52	0.49

Tabelle 1: Zusammenstellung der resultierenden Prognoseunsicherheiten bei der Berechnung von Beurteilungspegeln.

Die Unsicherheit von Jahresmitteln in konkreten Situationen hängt zum einen davon ab, wie viele Teilschallquellen 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 1 bewegen und kann auf eine Standardabweichung von 1 - 2 dB(A) abgeschätzt werden.