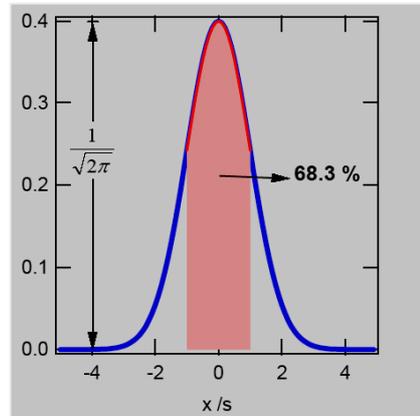




# Messunsicherheit eines Lärmmonitoringsystems



Matthias Brechbühl, Norsonic Brechbühl AG

SGA Herbsttagung 2007



## Projekt MfM-U



### Zielsetzung des Projekts

**M**onitoring **f**lankierende  
**M**assnahmen **U**mwelt:

Die Belastung der Umwelt  
durch den Verkehr entlang  
der Nord-Süd-Achsen  
aufzeigen

[www.bafu.admin.ch/umweltbeobachtung/](http://www.bafu.admin.ch/umweltbeobachtung/)

SGA Herbsttagung 2007

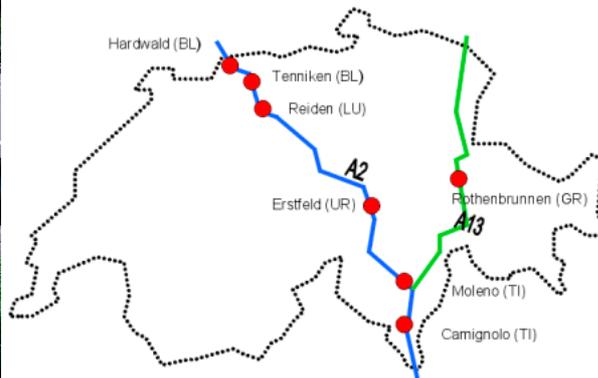




# Projekt MfM-U Lärm



Der Bereich Lärm erfasst die Lärmbelastung an sechs Standorten entlang der wichtigen Nord-Süd-Verbindungsstrassen A2 und A13.



SGA Herbsttagung 2007



# Resultate Lärm

- Geringe Veränderungen von Jahr zu Jahr

Parameter	Jahr	Kenngrösse	Einheit	Reiden LU	Erstfeld UR	Camignolo TI	Rothenbrunnen GR
Leq	2004	Jahresmittel	dB(A)	87.2	84.7	87.7	81.5
		%-Lärmanteil SGF	%	37%	33%	21%	11%
	2005	Jahresmittel	dB(A)	86.8	84.6	87.6	81.1
		%-Lärmanteil SGF	%	36%	31%	20%	13%

- Konsequente Qualitätssicherung

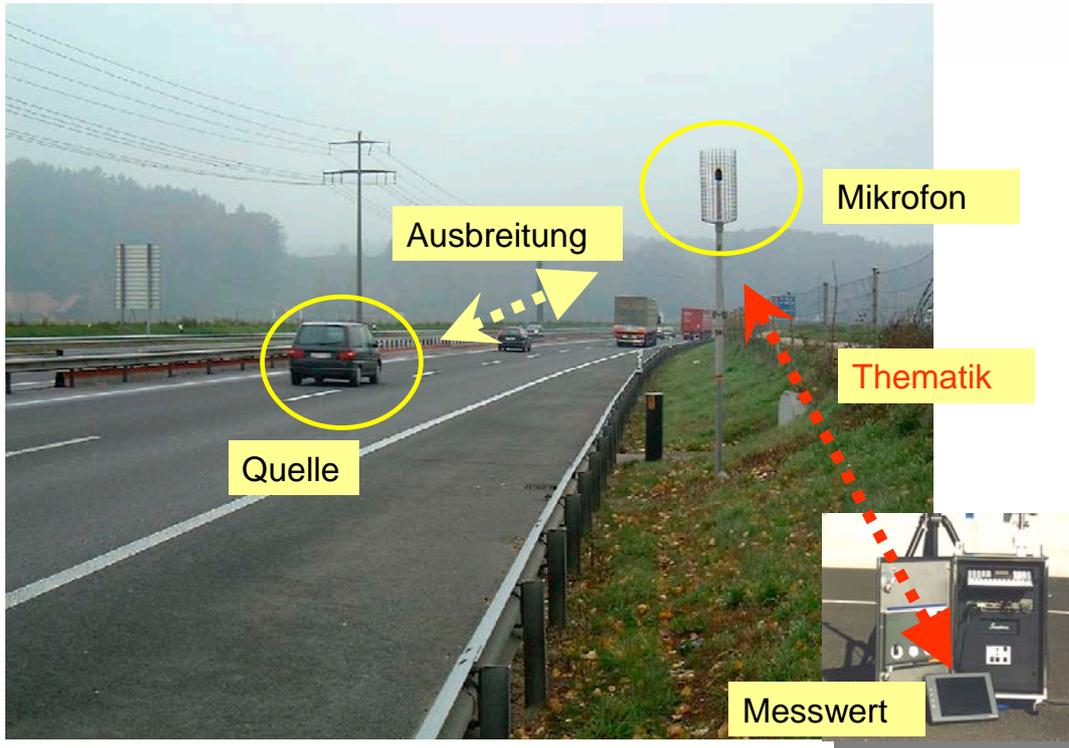
Fragestellung :

Wie gross sind die Messunsicherheiten im MfM-U Lärmmesssystem?

SGA Herbsttagung 2007



# Die Situation



SGA Herbsttagung 2007

**Norsonic**  
Brechtbühl AG

# Das eingesetzte System

Lärmüberwachungssystem **SALTO** bestehend aus:



**Aussenmikrofon  
GRAS 41CN**



**Symphonie 01dB-  
Metravib**



**Klasse 1 (IEC 651/804)**

**Bauartgeprüft**

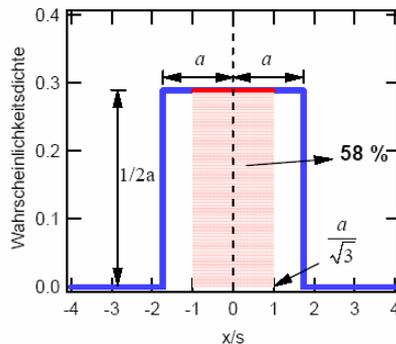
SGA Herbsttagung 2007

**Norsonic**  
Brechtbühl AG



# Ermitteln der Messunsicherheit – Strategie 1

- Man geht von den erlaubten Fehlern in den Schallpegelmessernormen aus
- Man geht von klimatischen Extremwerten aus
- Man geht in erster Linie von Rechteckverteilung der Einflussgrößen aus

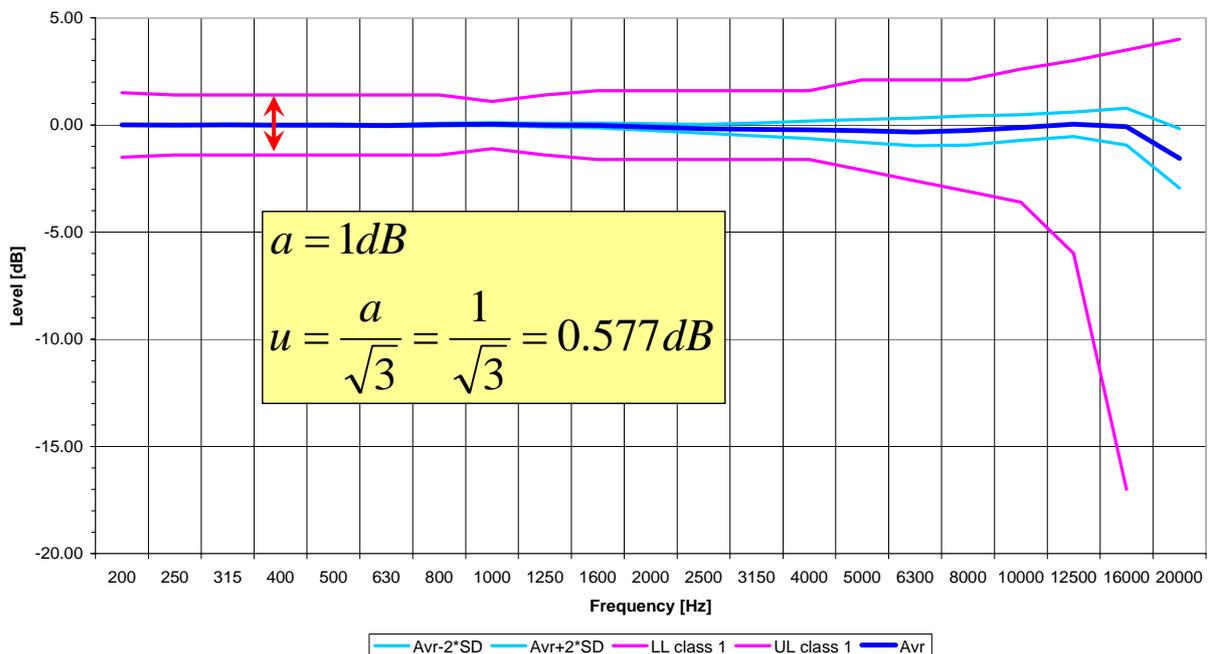


Standardabw.:  $u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$

SGA Herbsttagung 2007



## Beispiel Rechteckverteilung

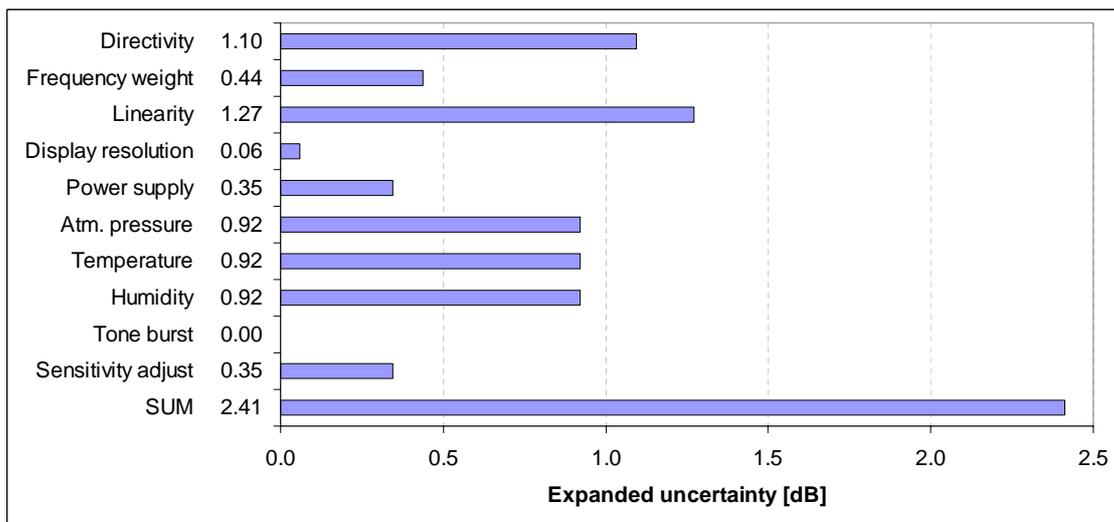


SGA Herbsttagung 2007





## Messunsicherheit aufgrund der Schallpegelmessernorm



Gemäss: Ole-Herman Bjor – Inter-Noise 2007, Istanbul, On the uncertainty of measurements made with sound level meters

SGA Herbsttagung 2007



## Ermitteln der Messunsicherheit – Strategie 2

- Man geht von einem realen System aus und beschafft Grundlagendaten:

### Aus der MfM-U Datenbank:

- Gemessener Schallpegel und mittleres Spektrum mit Verteilung
- Temperatur, Feuchte und Luftdruckverteilung am Messort

### Aus Kalibrierzertifikaten, Eichresultaten und Hersteller-Spezifikationen:

- Kalibrierwert des Kalibrators und dessen Messunsicherheit
- Einfluss von Temperatur, Feuchte und Luftdruck auf den Kalibrator und auf das Mikrofon
- Linearität des Schallpegelmessers
- Richtwirkung und Frequenzgang des Aussenmikrofons
- Drift des Aussenmikrofons seit der letzten Kalibrierung

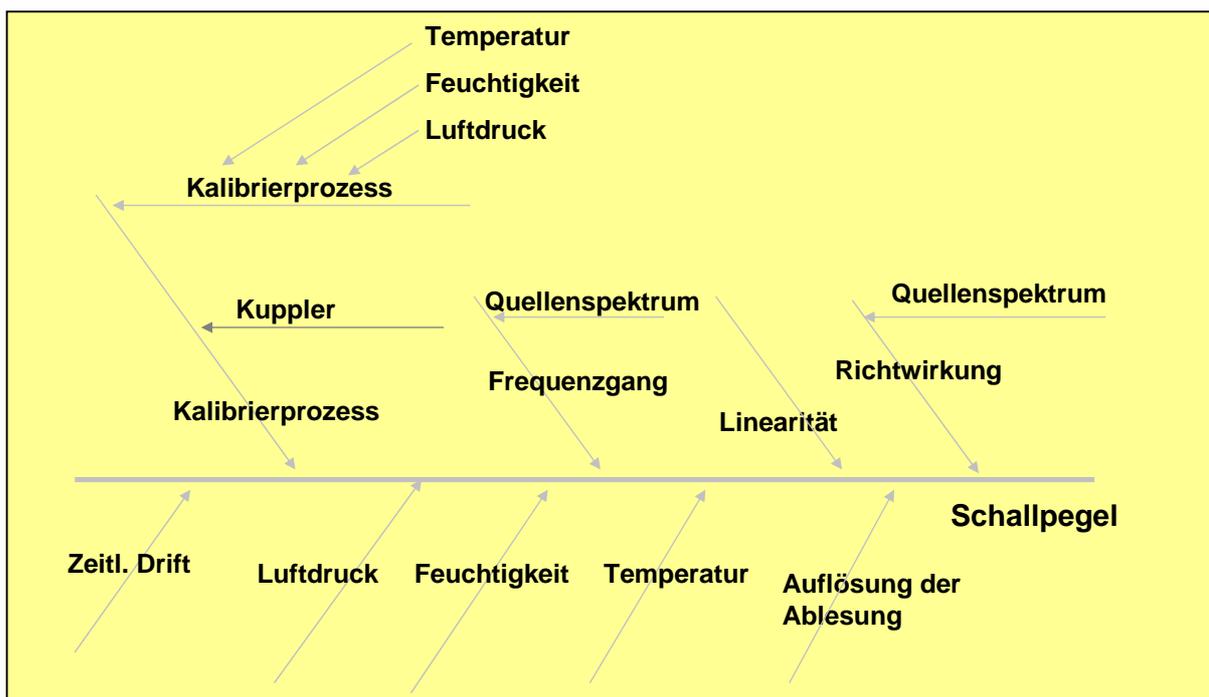
SGA Herbsttagung 2007



- **Aufgrund eigener Experimente mit Versuchspersonen:**
  - Messunsicherheit des Kalibrierprozesses (Aufschrauben des Kalibrierkupplers, Aufsetzen des Kalibrators)

## Was ist wichtig im Modell?

Fischgratdiagramm der Ausgangs, Eingangs- und Einflussgrößen



# Modellgleichung



$$L_A = L_K + \Delta L$$



$$L_A + \delta L_A \text{ (Auflösung)} = L_K + \delta L_K \text{ (Kalibrierprozess)} + \delta L_K \text{ (Drift)} + \Delta L + \delta \Delta L \text{ (Linearität)} + \delta \Delta L \text{ (T, rF, P)} + \delta \Delta L \text{ (Frequenzgang)} + \delta \Delta L \text{ (Richtwirkung)}$$

SGA Herbsttagung 2007



# Messunsicherheitsbudget

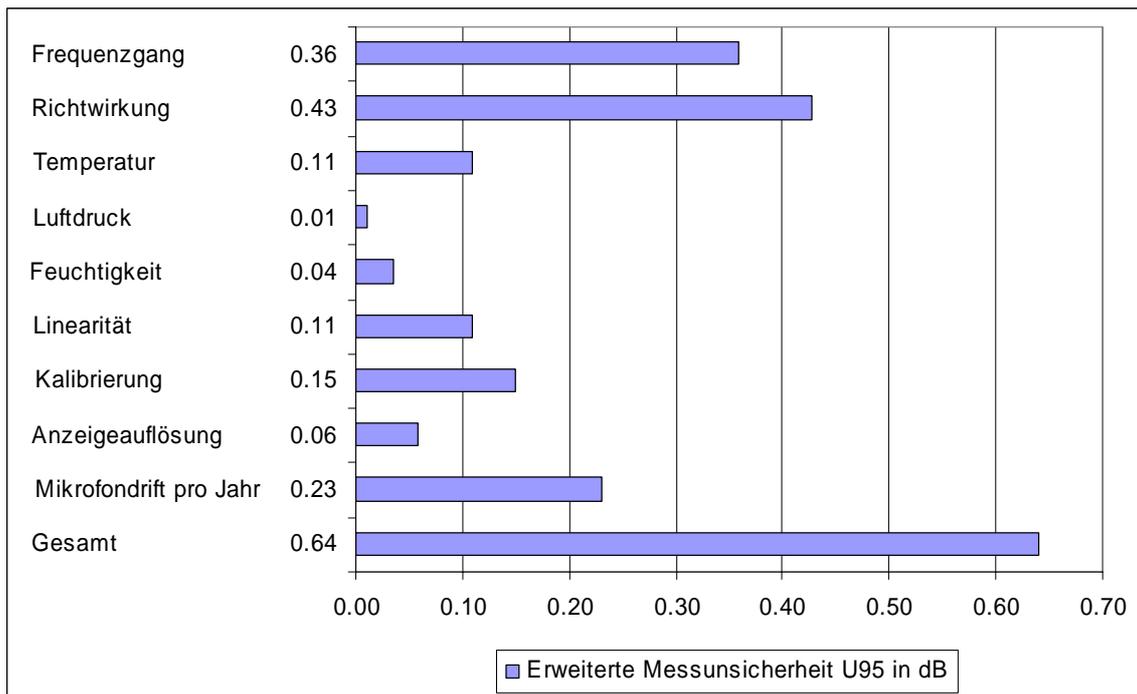
Grösse $X_i$	Typ	Verteilung	Standard-unsicherheit		Empfindlichkeitskoeff.		resultierende Unsicherheit	
			$u(x_i)$	[E]	$c_i$	[E]	$ c_i  \cdot u(x_i)$ [dB]	[%]
Frequenzgang	A	Rechteck	0.179	dB	1.0000	1	0.179	24.1
Richtwirkung	A	Rechteck	0.213	dB	1.0000	1	0.213	28.7
Temperatur	A	Normal	7.800	°C	-0.0070	dB/mbar	0.055	7.3
Luftdruck	A	Normal	7.000	hPa	-0.0007	dB/hPa	0.005	0.7
Feuchtigkeit	A	Normal	17.730	%rF	0.0010	dB/%rF	0.018	2.4
Linearität	A	Normal	0.054	dB	1.0000	dB	0.054	7.3
Kalibrierung	A/B		0.075	dB	1.0000	1	0.075	10.0
Anzeigeauflösung	A	Rechteck	0.029	dB	1.0000	1	0.029	3.9
Mikrofondrift pro Jahr	A	Normal	0.115	dB	1.0000	1	0.115	15.5

Standard-unsicherheit $u$	0.32
Erweiterte Standard-unsicherheit $U_{95}$ (k=2)	0.64

SGA Herbsttagung 2007



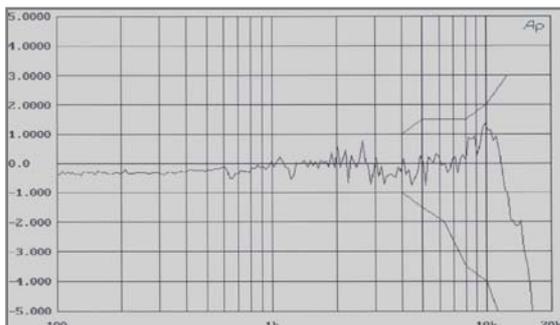
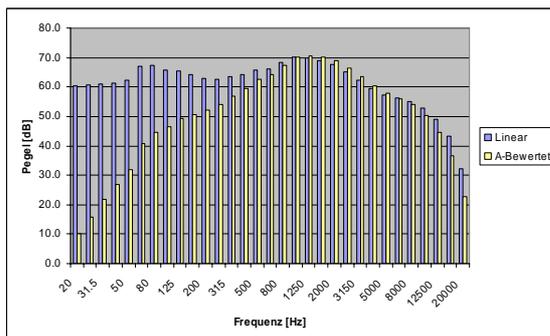
# Erweiterte Messunsicherheit



SGA Herbsttagung 2007



# Messunsicherheit Frequenzgang



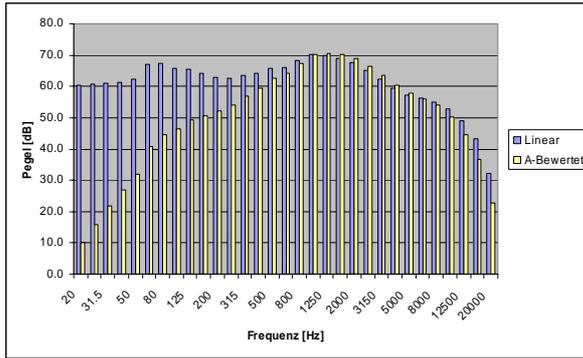
$$w(f_n) = \frac{10^{0,05 \cdot L_A(f_n)}}{\sum_n 10^{0,05 \cdot L_A(f_n)}}$$

$$u_{fr} = \sqrt{\sum_n [u_{fr}(f_n) w(f_n)]^2}$$

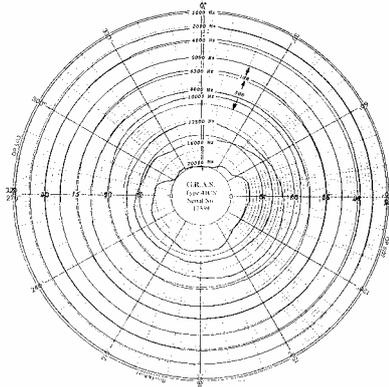
SGA Herbsttagung 2007



# Messunsicherheit Richtwirkung



$$w(f_n) = \frac{10^{0,05 \cdot L_A(f_n)}}{\sum_n 10^{0,05 \cdot L_A(f_n)}}$$



$$u_{dir} = \sqrt{\frac{\sum_n [u_{dir}(f_n) \cdot w(f_n)]^2}{\sum_n [w(f_n)]^2}}$$

SGA Herbsttagung 2007



# Kalibrierprozess

Kalibrierprozess	Eingangsschätzwert	[E]	Typ	Verteilung	Standardunsicherheit	[E]	Empfindlichkeitskoeffizient	[E]	resultierende Unsicherheit dB
Beschreibung:	$x_i$				$u(x_i)$		$c_i$		$ c_i  \cdot u(x_i)$
Temperaturdifferenz	10	°C	B	Rechteck	2.887	°C	0.0025	dB/°C	0.0072
Luftdruckdifferenz	50	hPa	B	Rechteck	14.434	hPa	0.0001	dB/hPa	0.0014
Kalibrierwert des Kalibrators	114	dB	B		0.050	dB	1.0000		0.0500
Reproduzierbarkeit des Prozesses			A	Normal	0.055	dB	1.0000		0.0548

Standardunsicherheit u	0.07456
------------------------	---------



SGA Herbsttagung 2007





# Zusammenfassung GUM-Verfahren

---

- Das Verfahren nach GUM lässt sich in der Lärmesstechnik gut einsetzen
- Quellenspektrum erforderlich
- Gute Grundlegendaten erforderlich
- Erfordert viel Wissen über den Messprozess

SGA Herbsttagung 2007



# Zusammenfassung MfM-U

---

- Die Standardmessunsicherheit  $u$  des Lärmesssystemes beträgt  $\pm 0.32$  dB. In diesem Bereich liegen 65 % der Fälle.
- 95 % der Fälle liegen innerhalb von  $\pm 0.64$  dB (erweiterte Messunsicherheit).
- Die regelmässige Überprüfung des Systems und die Kalibrierung durch geschultes Personal wirken sich positiv auf die Messunsicherheit aus.

SGA Herbsttagung 2007

