

Ultrastabile und hochisolierte Labore für die Nanotechnologie

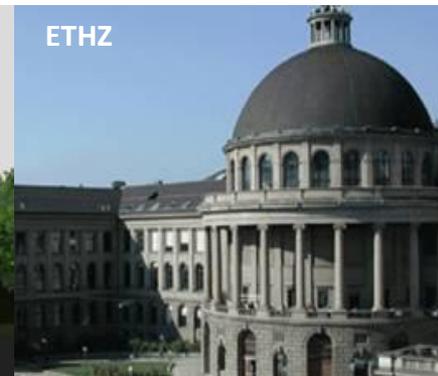
14. Symposium für Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessung

17. Juni 2011, EMPA Dübendorf

Emanuel Lörtscher, Bernd Gotsmann, Daniel Widmer

Binnig and Rohrer Nanotechnology Center (eröffnet am 17. Mai 2011)

Spitzenforschung benötigt eine entsprechende Umgebung -
Im neuen Binnig and Rohrer Nanotechnology Center arbeitet die Industrie
(IBM) mit der Hochschule (ETHZ/EMPA) zusammen



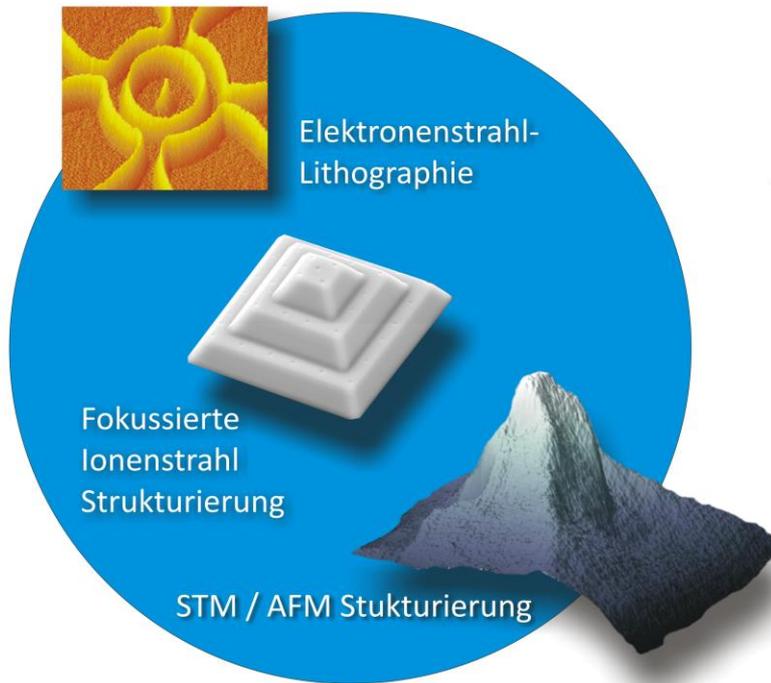
- IBM erstellt das Gebäude (CHF 60 Mio.)
- Reinraum (950 m²) wird durch IBM Personal betrieben
- ETH mietet Reinraum, Büro und Laborplatz
- ETH trägt zu den Betriebskosten bei
- Equipment wird sowohl von IBM wie auch ETH angeschafft (ungefähr CHF 30 Mio. Investition)
- 2 tenure track und eine Vollprofessur der ETHZ im Gebäude
- Sowohl gemeinsame wie auch getrennte Forschungsprojekte



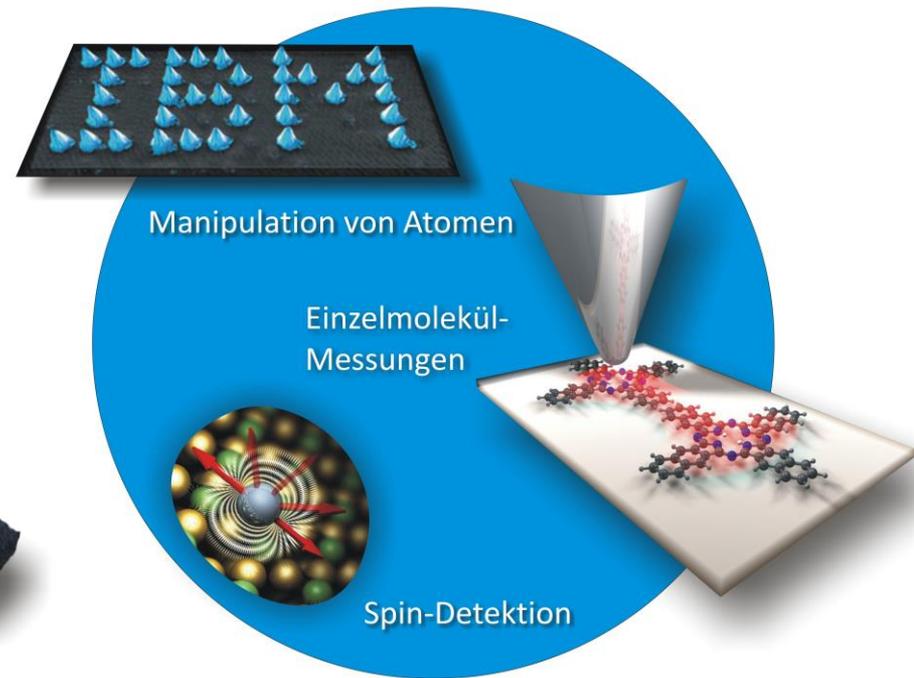
Forschungsbereiche im neuen Nanotechnologie-Zentrum

MEMS / NEMS, Spintronics / Magnetismus, Transport in Nanostrukturen (z.B. Nanodrähte, Graphene, Carbon Nanotubes), Transport auf der atomaren und molekularen Skala, Einzel-Elektron-Transistoren, Tribologie, Packaging, Sensoren, Mikro- und Nanofabrikation etc.

A Fabrikation von Nanostrukturen



B Charakterisierung auf atomarer Skala



⇒ **Forschung auf der Längenskala von einzelnen Molekülen und Atomen wird zunehmend empfindlicher gegenüber Störquellen und entsprechende Labore müssen höchsten Anforderungen genügen**

Teil 1: Einführung „Noise-free“ Labs (Emanuel Lörtscher)

- Motivationsgründe für ultrastabile und hochisolierte Labore
- Konzept der „noise-free“ Labs

Teil 2: Antivibrationsmassnahmen (Bernd Gotsmann)

- Konzept zur Vibrationsdämpfung
- Messungen

Basis für Raumspezifikationen

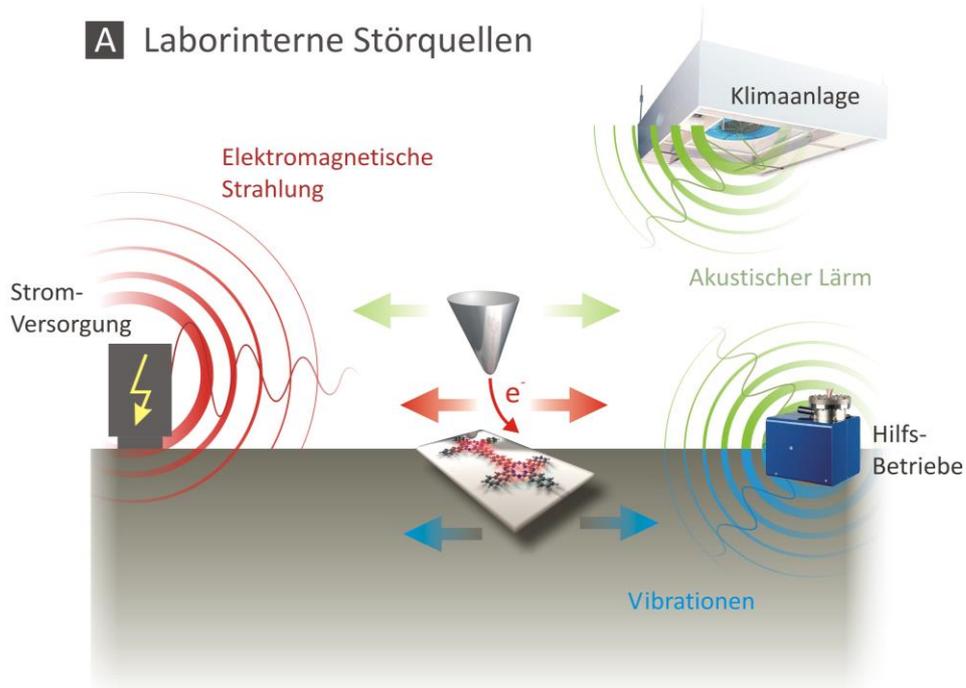
- Aufgrund von existierenden und sich in der Anschaffung befindlicher Tools wurden **Raumspezifikationen eruiert**
- Die Raumspezifikationen müssen zwingend erreicht werden, damit die Tools die garantierten Leistungswerte einhalten
- **Bessere Raumspezifikationen führen z.T. zu noch besseren Leistungen** (beyond the peak performance)



Instrument	Existing	EMF Max. Amplitude	EMF Max. Gradient	Temperature Range	Temperature Gradient	Humidity Max.	Acoustic Max. Amplitude	Vibrations Max. Amplitude
Raith e_line	✓	10 nT	absolute	20-25° C	0.5° C / 24 h 0.1° C / 1 h	65 %	50 dBC below 100 Hz 55 dBC above 100 Hz	0.5 µm/s RMS
Spin SEM	✓	5000 nT DC 5 nT AC	100 nT / 5 min DC 30 nT / 5 min AC	20-25° C	0.5° C	65 %	60 dBC below 100 Hz 65 dBC above 100 Hz	1.0 µm/s RMS
Raman Microscope	✓	-	-	20-25° C	0.1° C	65 %	-	1.0 µm/s RMS
TEM		100 nT	-	17-25° C	1.0° C / 1 h	70 %	50 dBC below 100 Hz 55 dBC above 100 Hz	1.5 µm/s RMS
FIB (NVision 40)		- 200 nT AC	50 nT / 5 min DC -	17-25° C	0.5° C	60 %	53 dB below 100 Hz 42 dB above 100 Hz	1.0 µm/s RMS
Max Requirements		5 nT AC	50 nT / 5 min DC	20-25° C	0.1° C	60 %	50 dBC below 100 Hz 42 dB above 100 Hz	0.5 µm/s RMS

⇒ **Tools haben extreme Anforderungen gegenüber der Umgebung**

A Laborinterne Störquellen



- Elektromagnetische Strahlung (Trafos, Stromversorgung etc.)
- Vibrationen (Pumpen, Lift, Personen etc.)
- Akustischer Lärm (Klimaanlage, Experiment etc.)

B Laborexterne Störquellen

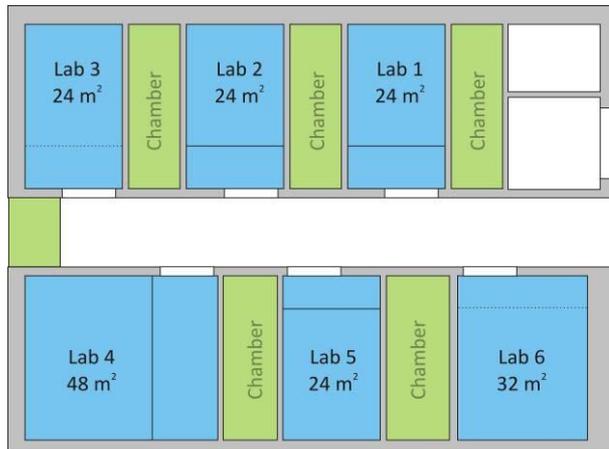


- Elektromagnetische Strahlung (z.B. Lastwagen (DC), Bahn (16.7 Hz), Stromversorgung (50 Hz), Mobilfunk (1800 MHz) etc.)
- Vibrationen (Autobahn, Bahntunnel, Werkstatt etc.)
- Akustischer Lärm (Autobahn, Lift etc.)
- Temperaturschwankungen (Sonnenstand, Jahreszeiten etc.)

⇒ **Interne und externe Störquellen müssen für hochempfindliche Nanotechnologie-Experimente kontrolliert, d.h. abgeschirmt und minimiert, werden.**

“Noise-free” Labs

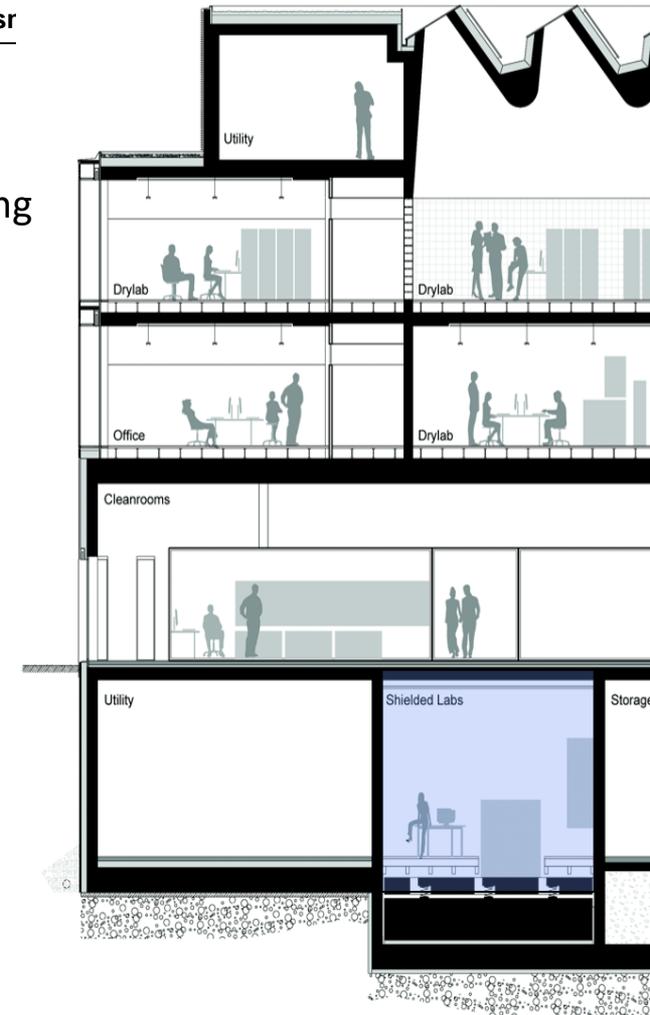
Zukünftige Forschungsumgebung für Fabrikation und Charakterisierung



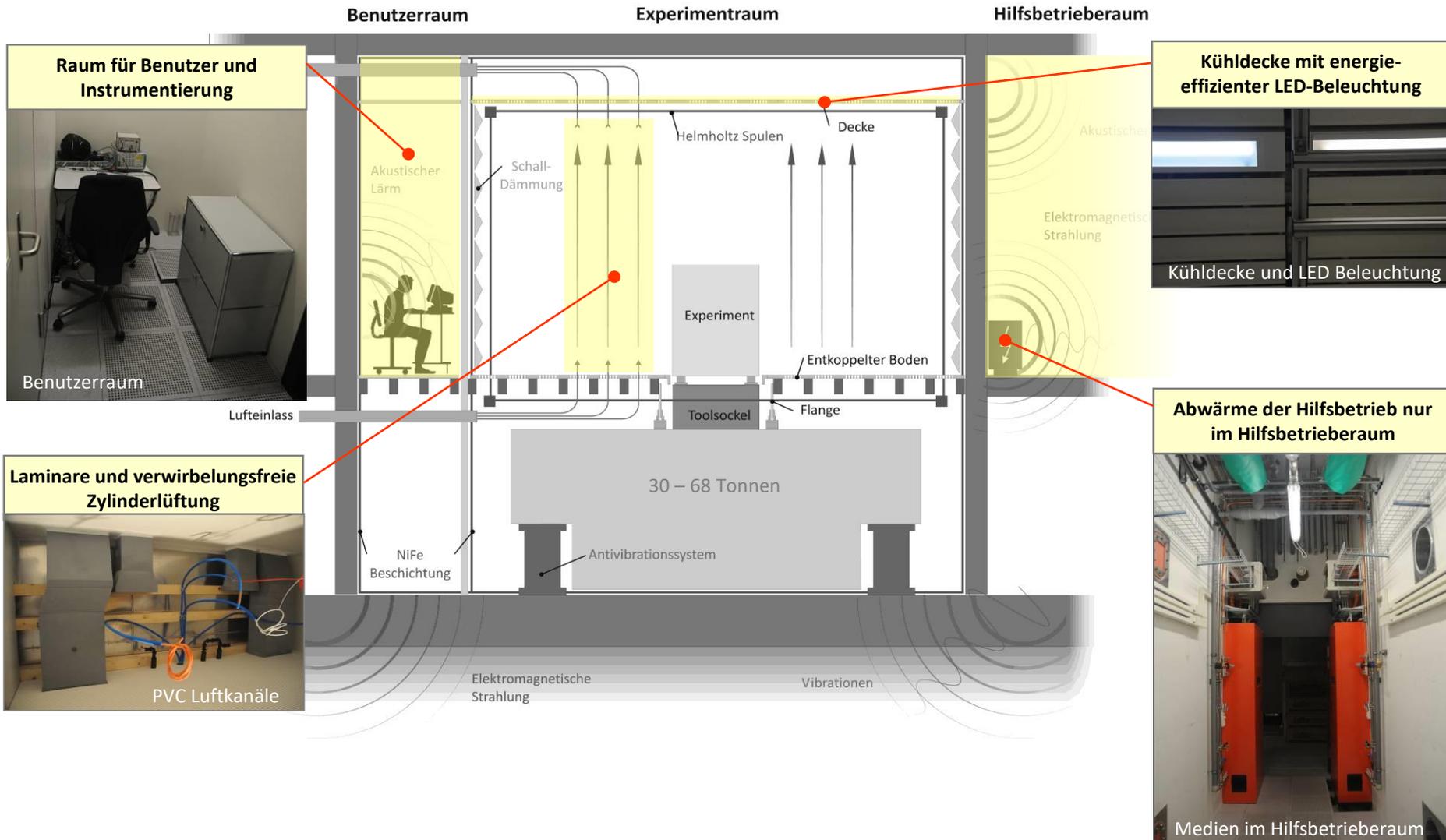
- **6 „Noisefree“ labs** mit insgesamt 176 m² Experimentierfläche
- Ein Labor (Nr. 5) im Gemeinschaftsbetrieb mit der ETHZ
- **5 Hilfsbetrieberäume (Chambers)** für Hilfsbetriebe (66 m² Nutzfläche)

Laborspezifikationen

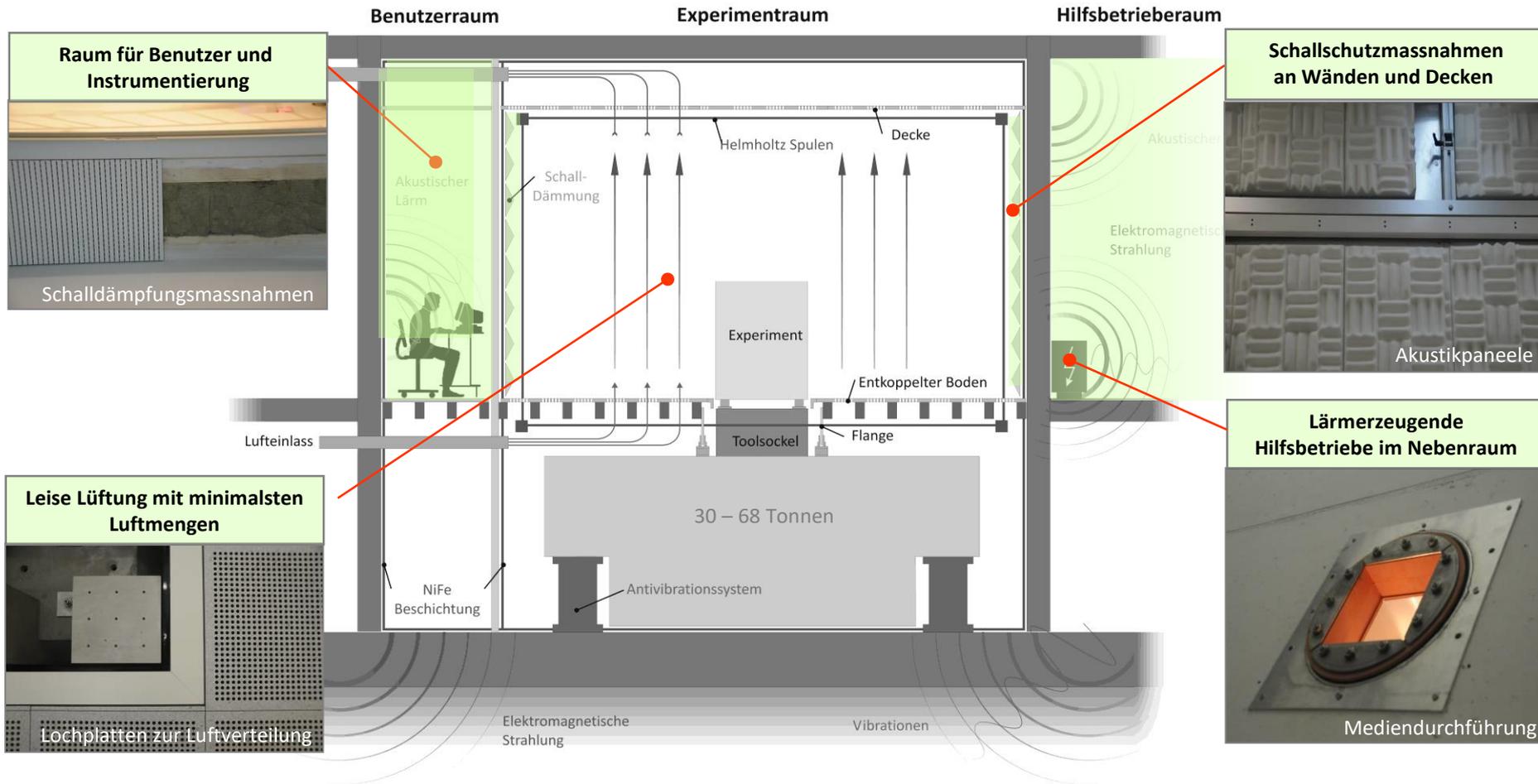
- **Temperaturstabilität:** $\Delta T < 0.5^\circ \text{C} / 24\text{h}$, $\Delta T < 0.1^\circ \text{C} / 1 \text{h}$
- **Vibrationen:** Geschwindigkeit weniger als 500 nm/sec RMS für 0 - 16 Hz und weniger als 100 nm/sec oberhalb 16 Hz
- **Akustischer Lärm:** Schallpegel in 1/3-Oktave RMS Bandbreitenspektrum weniger als 50 dBC zwischen 31.5 und 100 Hz und weniger als 55 dBC oberhalb 100 Hz
- **Elektromagnetische Felder:** Magnetische Induktion weniger als 5 nT RMS integriert zwischen 0.01 und 1 kHz
- **Reinraumklasse (Labor 5):** ISO 5 um Toolbereich, ISO 7 im gesamten Raum (Elektronenstrahlschreiber)



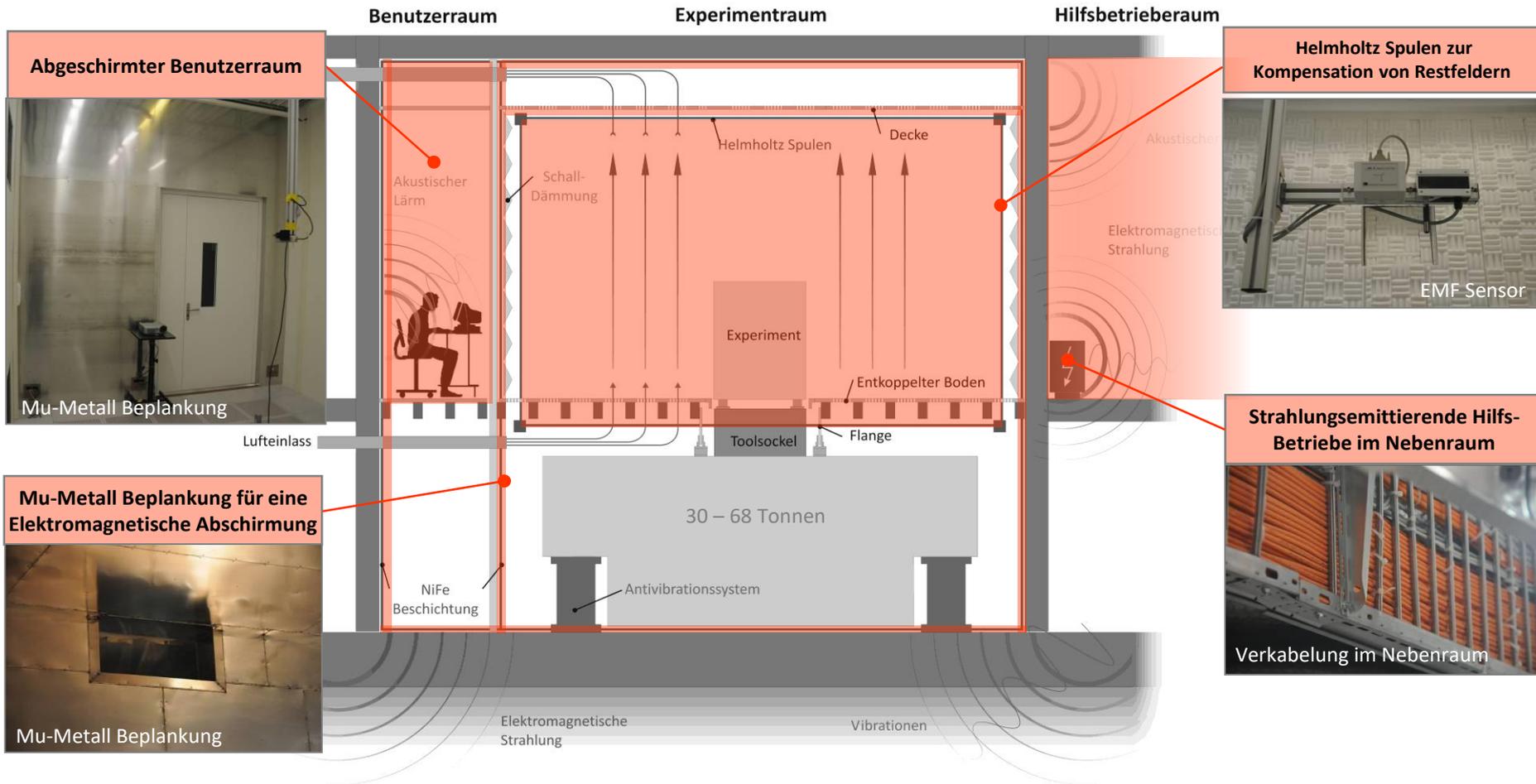
Heizungs- und Klimasystem für höchste Temperaturstabilität ($< 0.1^\circ \text{C} / 1 \text{h}$)



Minimierung der akustischen Lärmquellen (Schallpegel < 30 dBC)

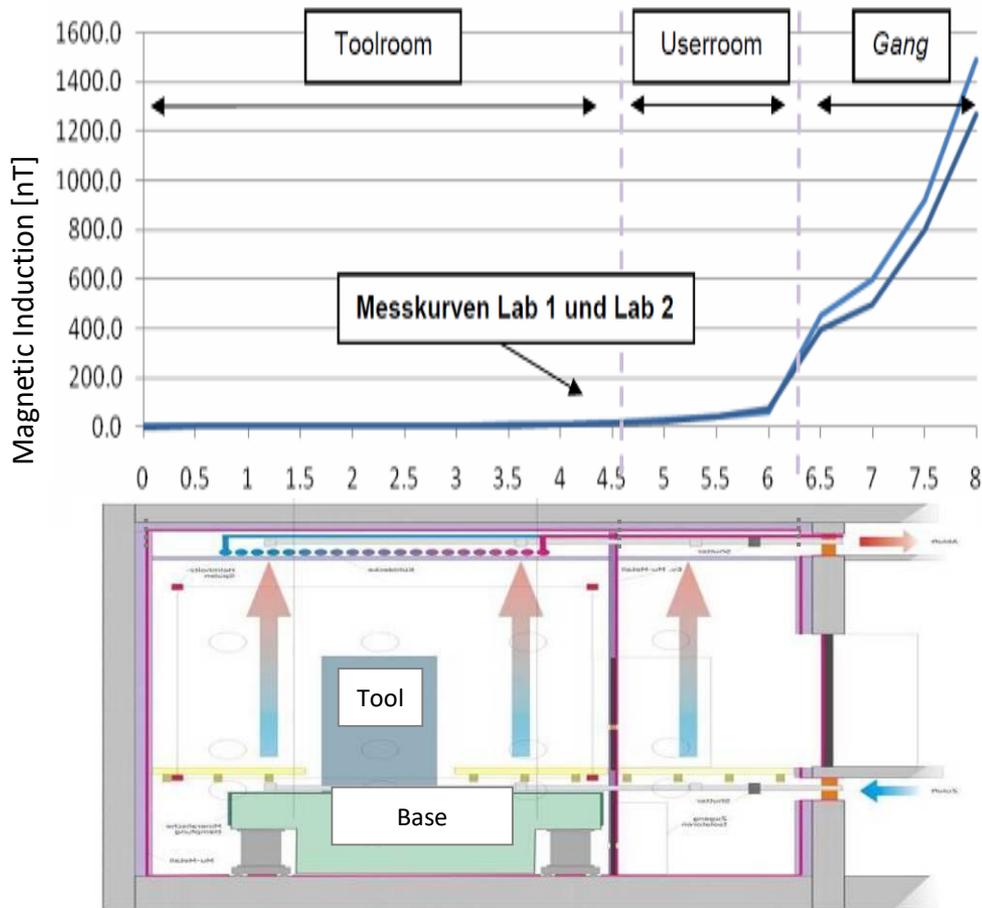


Abschirmung von externen und internen EMF (< 5 nT AC, < 20 nT DC)



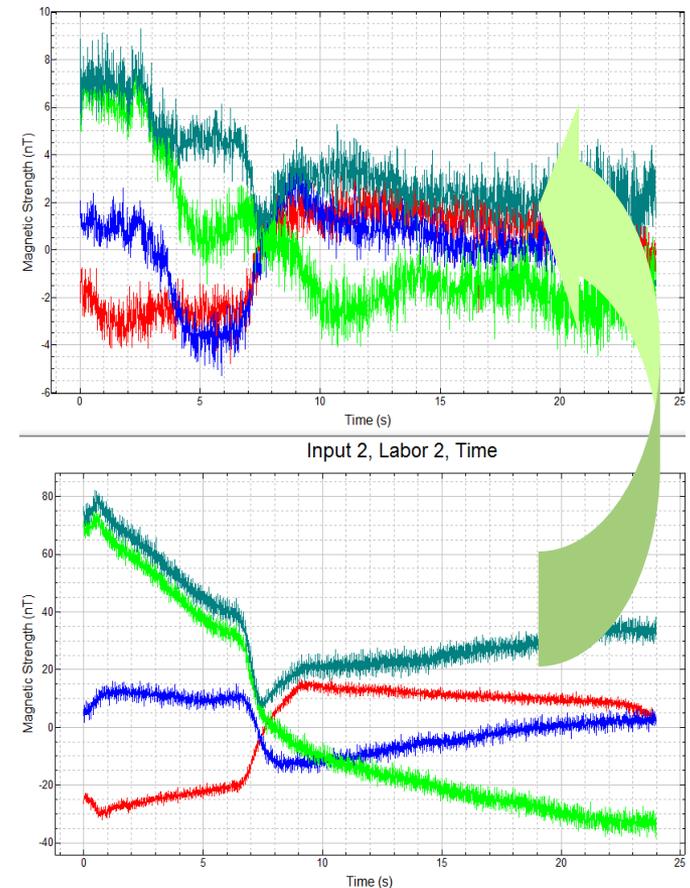
Messdaten: Elektromagnetische Abschirmung

A) Electro-Magnetic Fields (50 Hz and Harmonics)



⇒ Screening by a factor of 500 to 1000 for 50 Hz and Harmonics

B) Electro-Magnetic Fields (DC)



⇒ Compensation of DC drifts within ± 20 nT

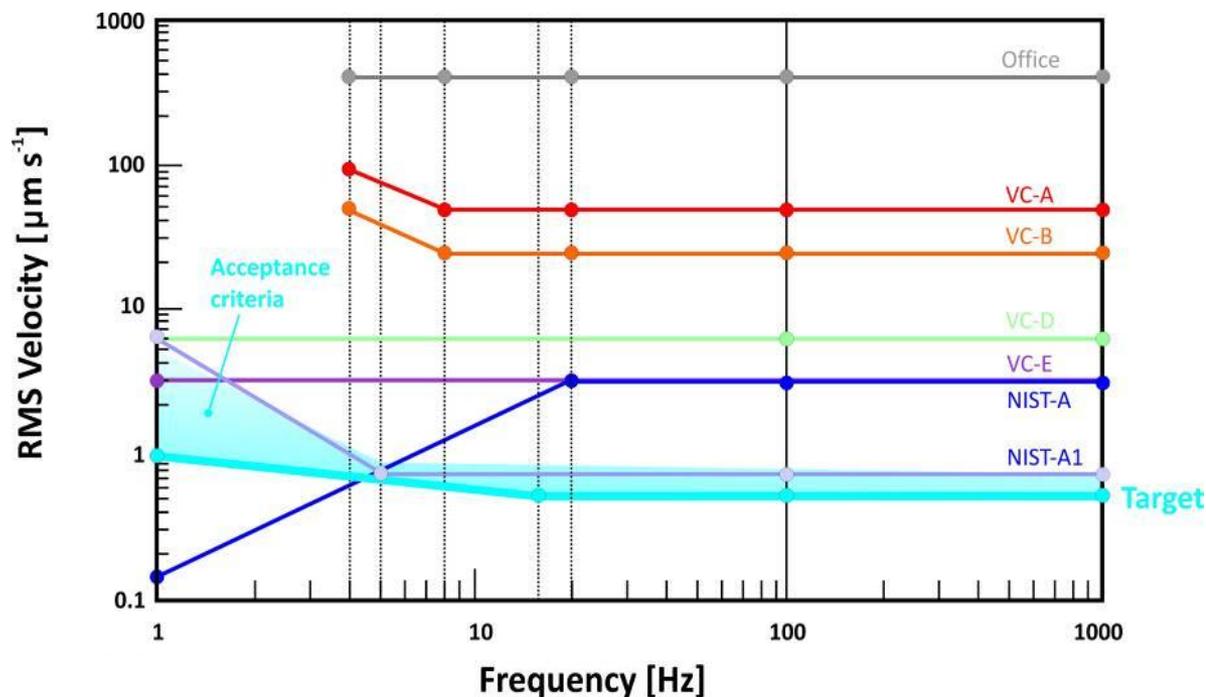
Teil 1: Einführung „Noise-free“ Labs (Emanuel Lörtscher)

- Motivationsgründe für ultrastabile und hochisolierte Labore
- Konzept der „noise-free“ Labs

Teil 2: Antivibrationsmassnahmen (Bernd Gotsmann)

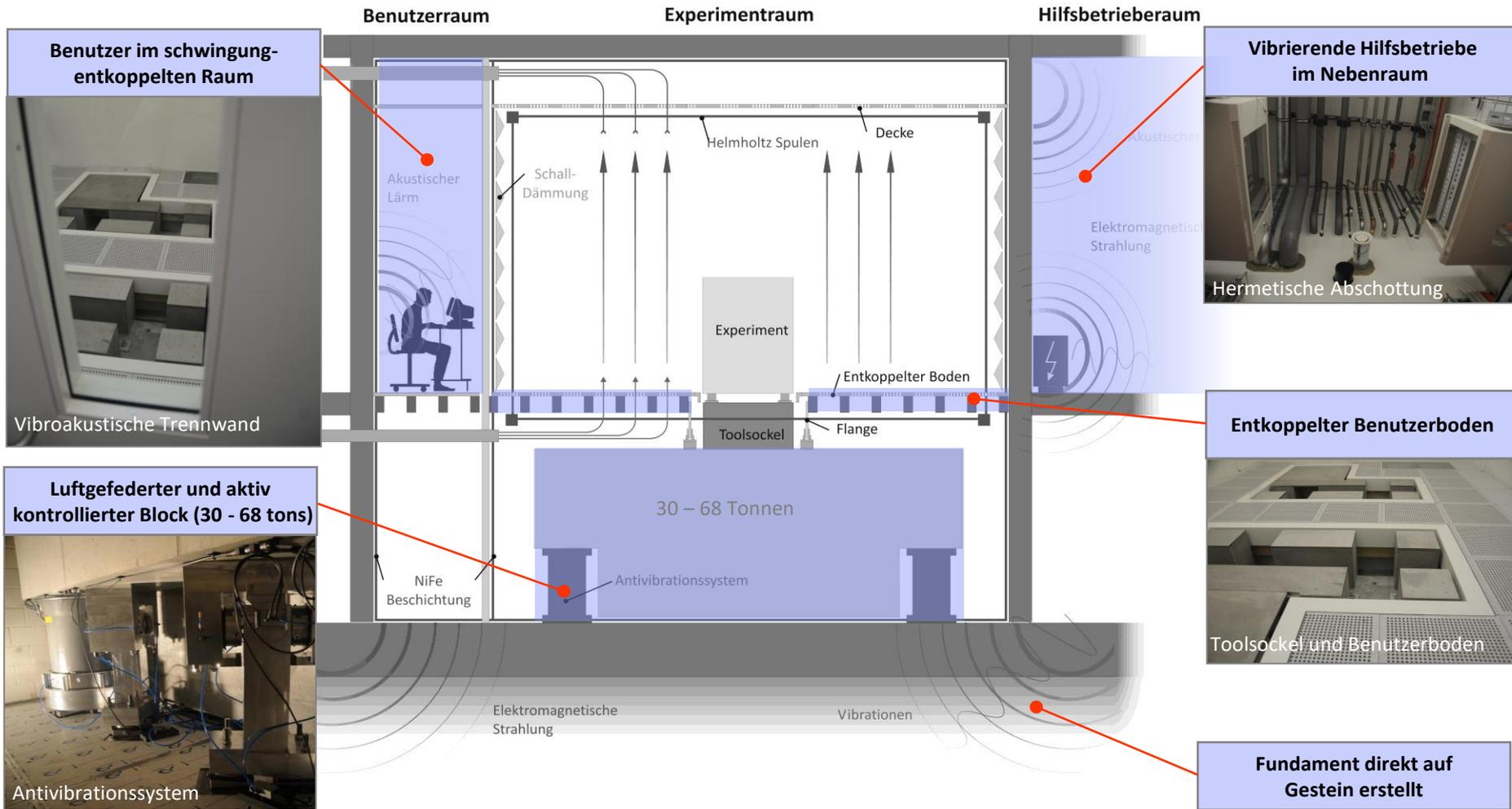
- Konzept zur Vibrationsdämpfung
- Messungen

Zielwerte für die Antivibrationsmassnahmen (VC-Standards)



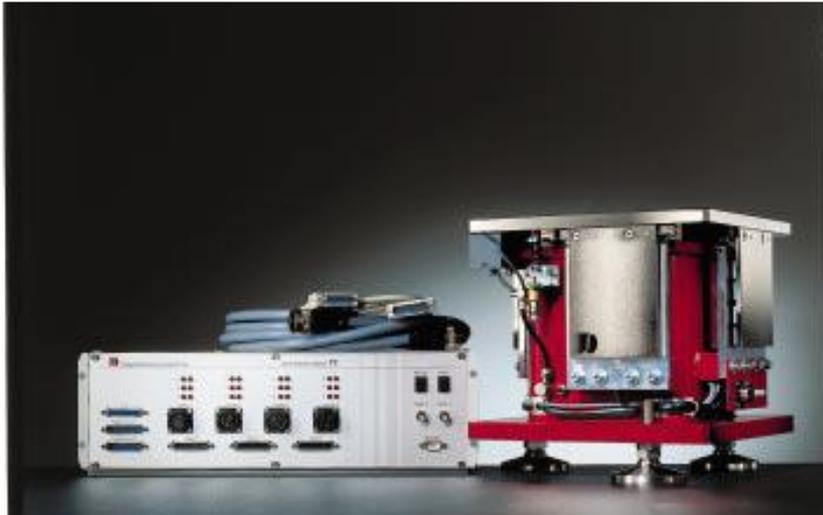
- Zielwerte liegen unterhalb des extremen NIST-A1 Standards
- Solche Werte zu erzielen, erfordert aktive Dämpfungssysteme und Entkopplung jeglicher Nebeneinflüsse
- Keine Quellisolierung sondern Anregungsentkopplung

Dämpfung und Vermeidung von Bodenschwingungen (< 1 μm/sec)



Zwei unterschiedliche aktive Dämpfungssysteme

A) IDE (Labs 2, 5)

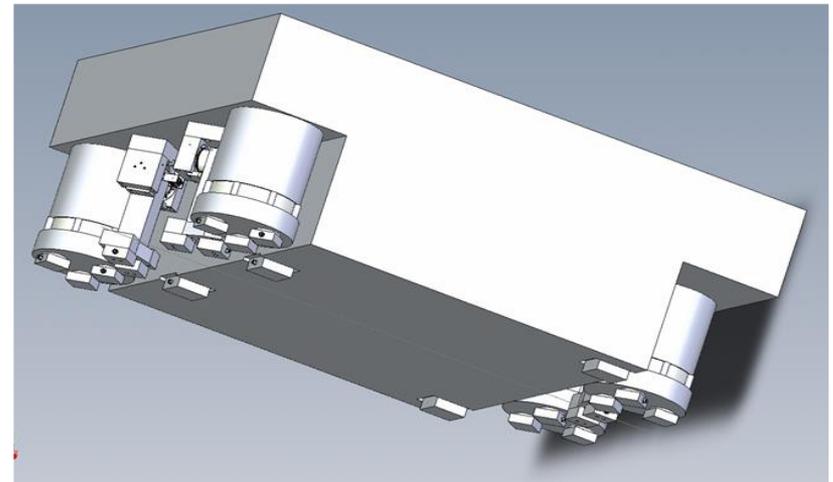


B) Bilz (Labs 1, 3, 4, 6)



Sophisticated multi-isolator controller

- Elastomers and air springs
- Piezo and linear motor actuators
- Closed-loop operation, actively controlled up to 500 Hz
- Heavy bases (38 – 68 tons each)

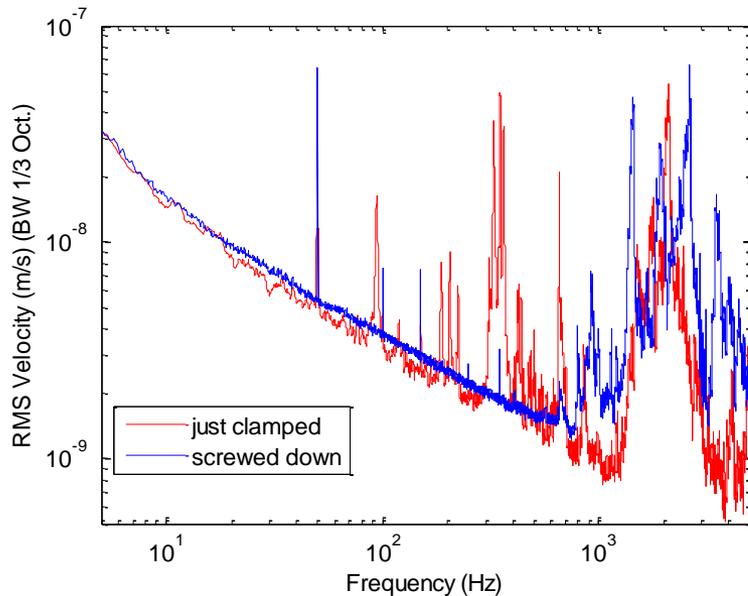


Messtechnik: Art der Sensoren und Befestigung

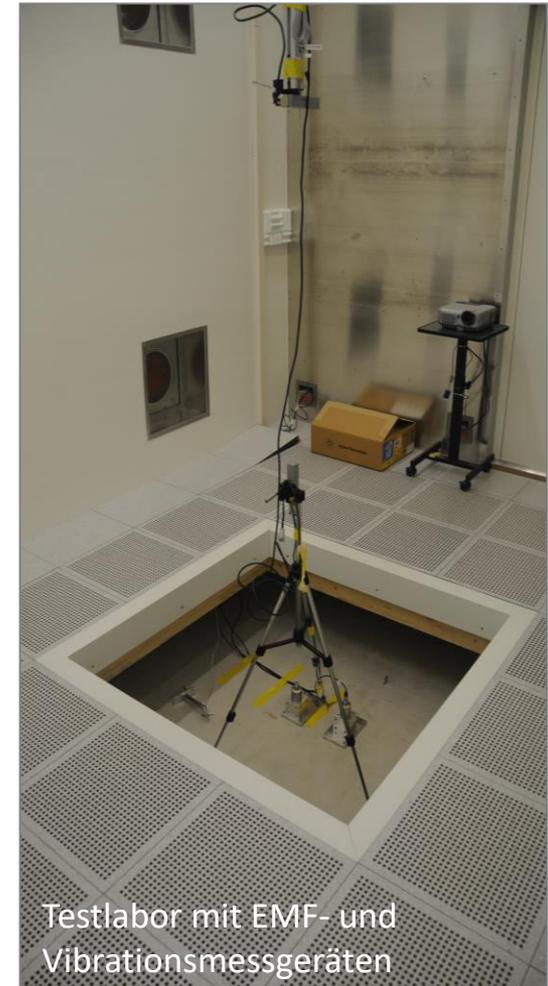
A) Beschleunigungsaufnehmer



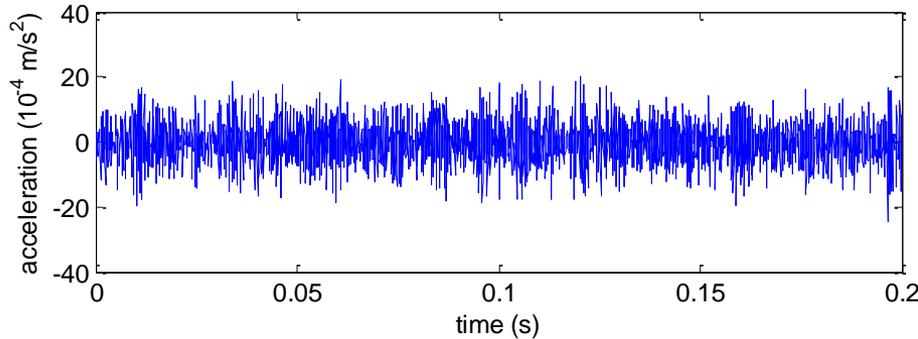
10 V/g
 noise 0.05 – 1.5 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
 5 Hz – 1.5 kHz spezifiziert



B) Geophone



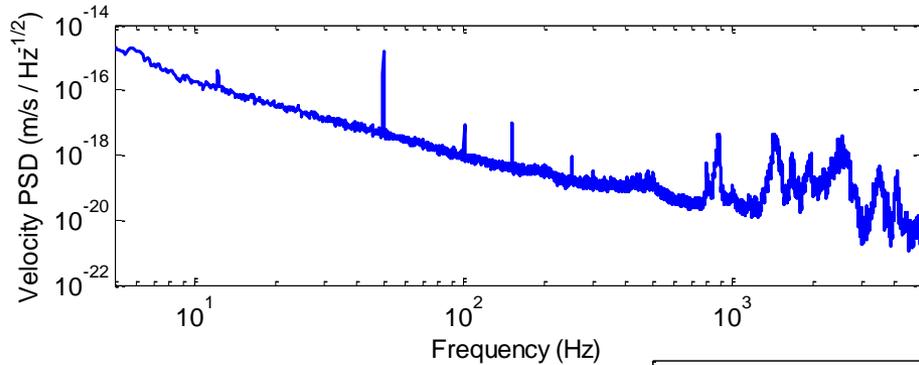
Messtechnik: Drittel-Oktav Messungen



$a(t)$

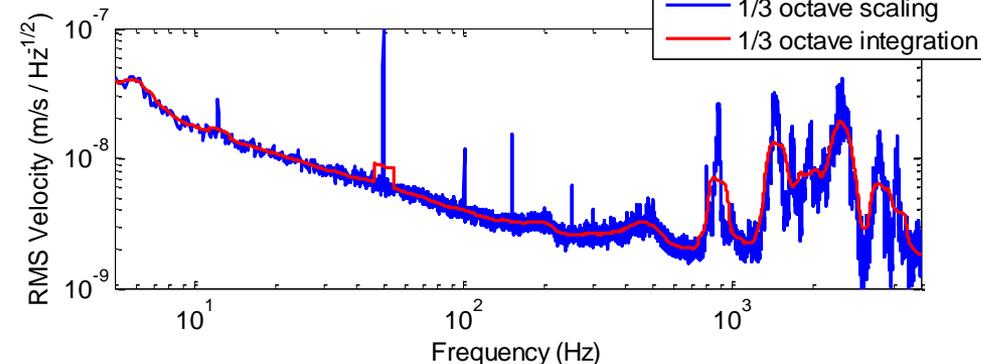
diskrete Fourier transformation (FFT),
Hann Fenster
=> Spektrale Leistungsdichte

$a_{PSD}(f)$



$$v_{PSD}(f) = a_{PSD} / (2\pi f)^2$$

$$v_{PSD}(f) = a_{PSD} / (2\pi f)$$



$$v_{RMS}(f) = \int_{11/12f}^{13/12f} v_{PSD}(x) dx \sqrt{\frac{f}{6}} \quad \text{durch Integration}$$

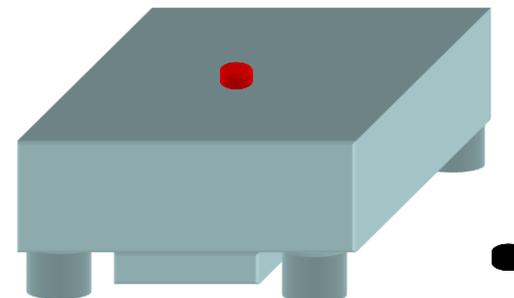
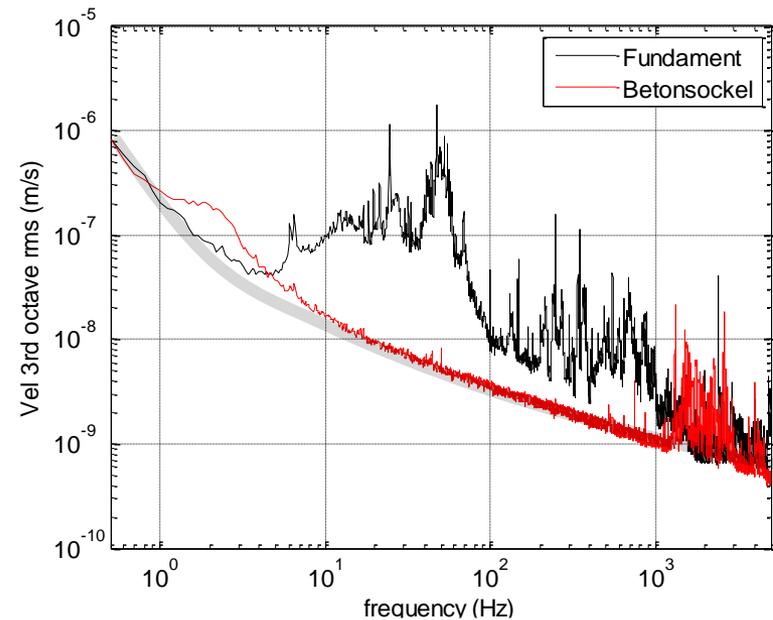
$$v_{RMS}(f) = v_{PSD}(f) \sqrt{\frac{f}{6}} \quad \text{durch Skalierung}$$

System 1 (Bilz)

- Philosophie:
 - hohe Masse
 - relativ wenig Regelung (durch Luftlager)
 - horizontal schwebend (Luftkissen)
 - nimmt leichte Resonanz bei wenigen Hz in Kauf
 - Gute Erfahrung für Systeme mit mechanischen Bewegungen auf dem Block (z.B. Positioniergeräte)
- Umsetzung

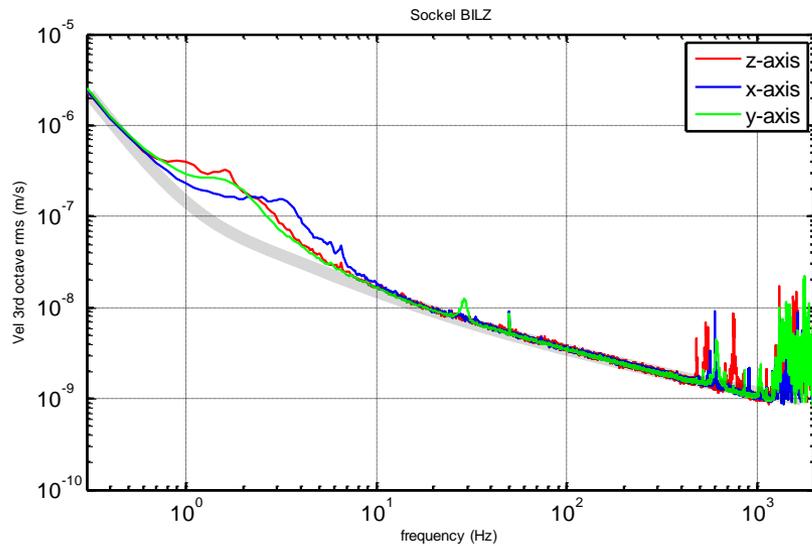


- Transmission: problematisch: Noise-level der Sensoren

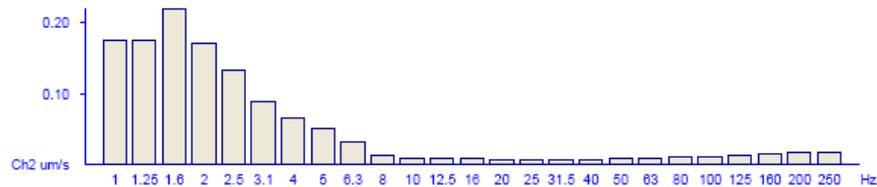


System 1 (Bilz)

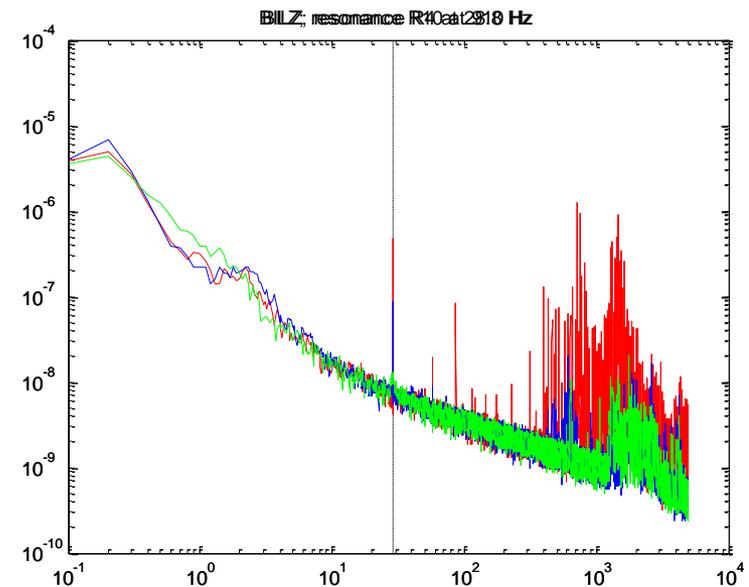
- Performance: Beschleunigungssensor



- Performance: Geophon



- Einfluss von Störeinflüssen:
Anregung mit Lautsprecher



System 2 (IDE)

- Philosophie:
 - kleinere Masse, starke Regelung durch Linearmotoren
 - komplette Unterdrückung der Grundresonanz
 - Multiisolatorensystem für grosse Lasten
=> erzeugt Schwingungen bei hohen Frequenzen
 - zur Kombination mit passiver Isolierung (zB optischen Tischen)

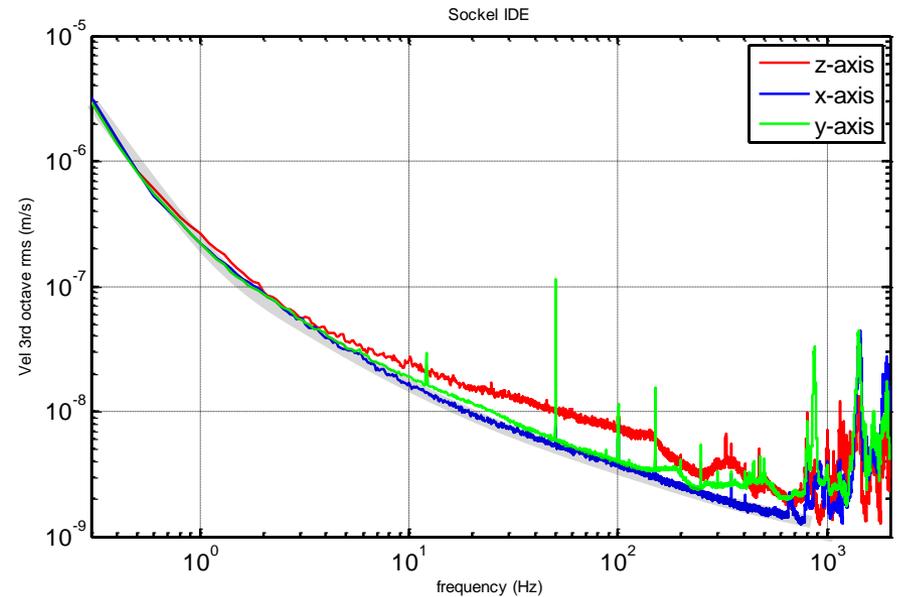


IDE System: Passiver Isolator

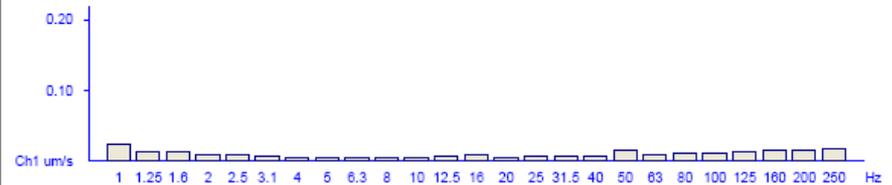


IDE System: Aktiver Isolator

Performance: Beschleunigungssensor

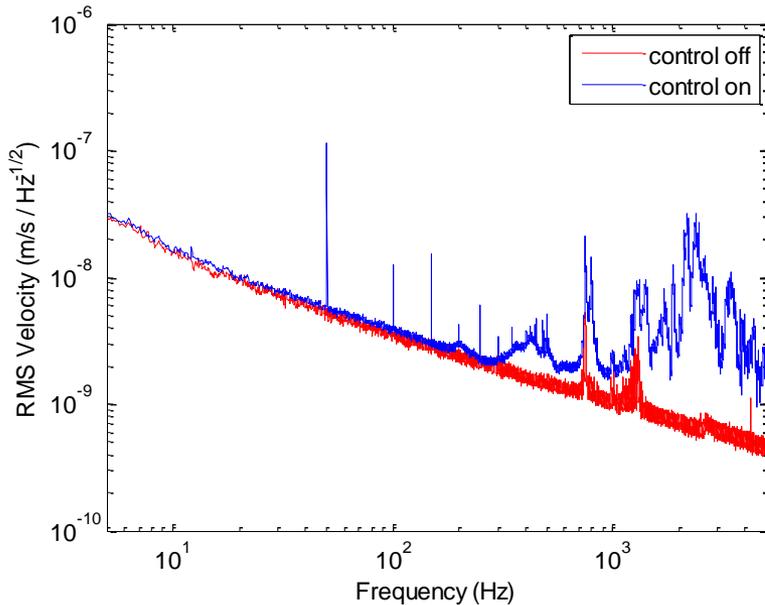


Performance: Geophon

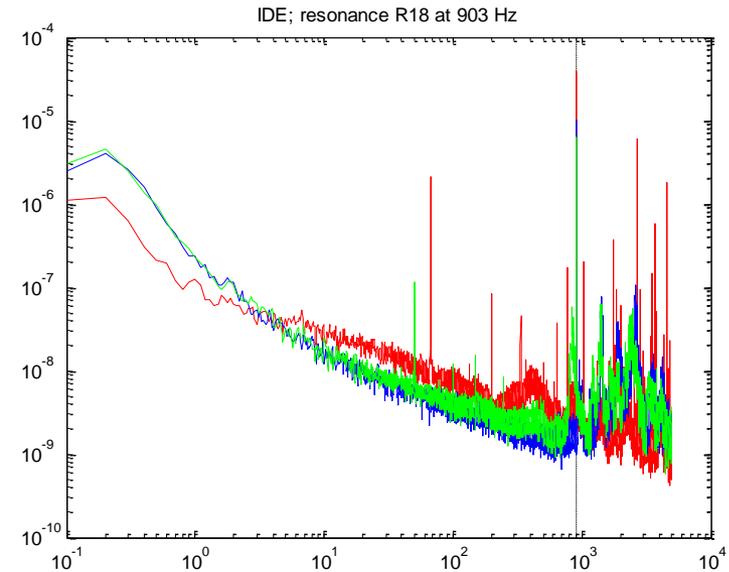


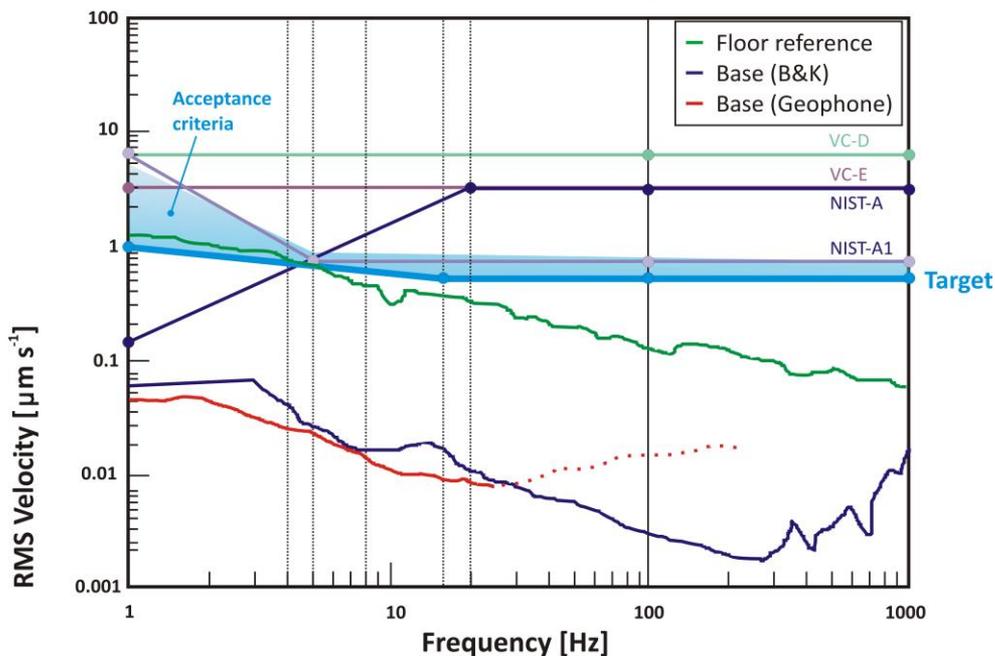
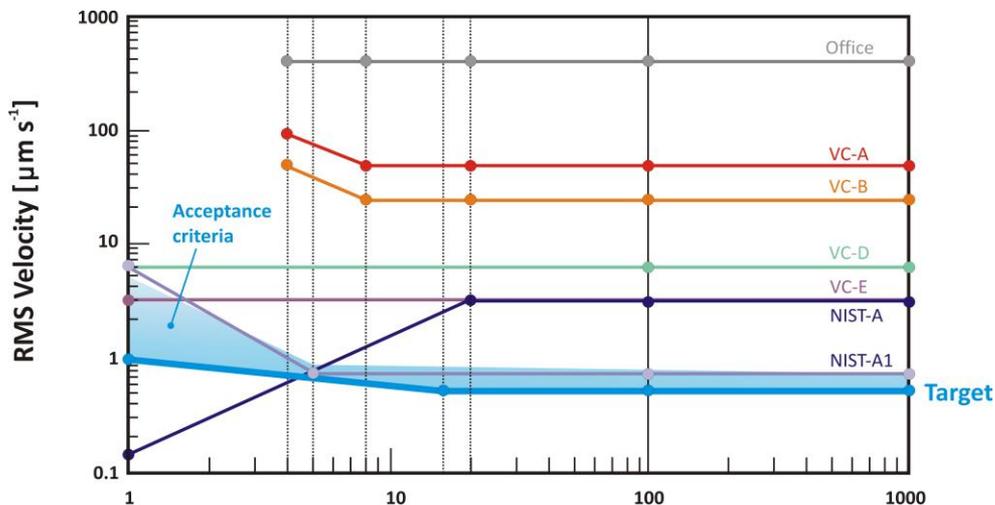
System 2 (IDE)

- Schwingungsmoden induziert durch Regelung



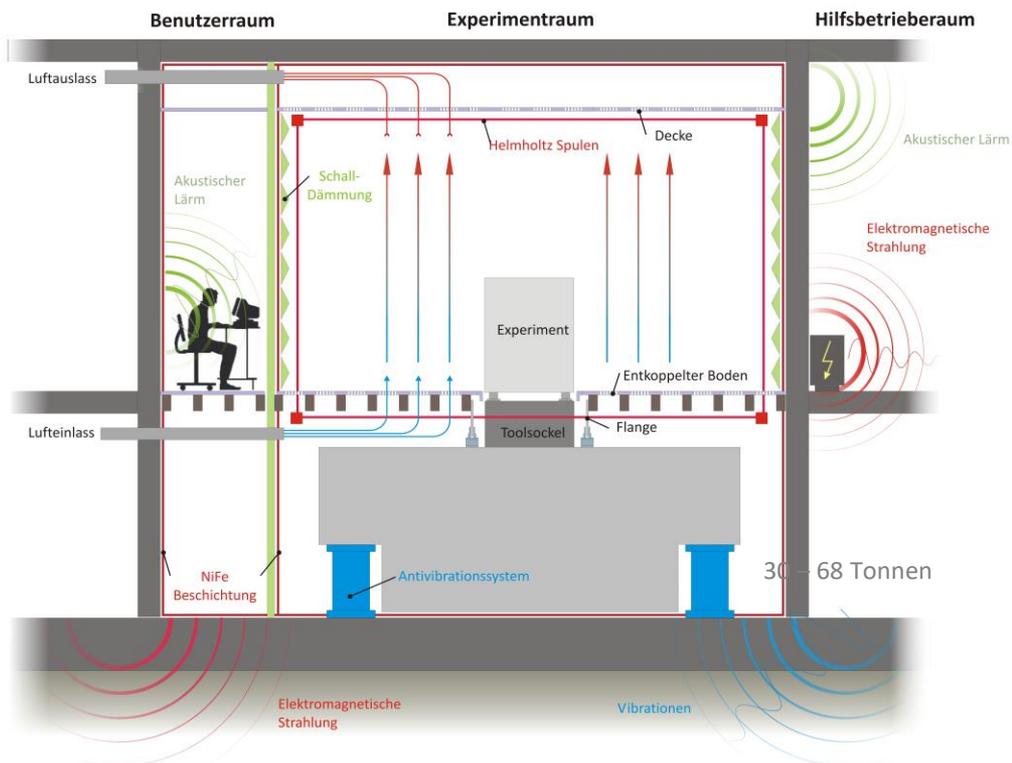
- Einfluss von Störeinflüssen: Anregung mit Lautsprecher





- **Zielvorgaben** wurden klar unterschritten
- Schwingungsmessungen auf diesem Niveau sind äusserst anspruchsvoll und die Wahl der Sensoren muss entsprechend vorsichtig gemacht werden (Vergleichsmessungen)
- Bei weich gelagerten Systemen muss die der **Einfluss des Luftschalls** berücksichtigt werden

Gesamtkonzept der “Noise-free” Labs



Die Kombination und Integration aller Massnahmen in einem Raum ist einzigartig und deren Realisierung entsprechend anspruchsvoll (negative gegenseitige Beeinflussung, z.B. Anregung des Sockels durch Luftschall)

⇒ **Forschungsprojekt während den letzten zwei Jahren**

Mehrwert der „Noise-free“ Labs im Vergleich zum bestehenden Gebäude?

	Existierendes Gebäude	„Noisefree“ labs	Verbesserung
Temperaturstabilität	± (3-5)° C / 24 h ± (2-4)° C / 1 h	± 0.5 ° C / 24 h* ± 0.1 ° C / 1 h*	6 – 10 x 20 – 40 x
Bodenschwingungen (RMS, 1/3 octave)	> 100 µm/s	< 1 µm/s	100 x
Akustischer Lärm (RMS, 1/3 octave)	50 – 70 dBC	< 30 dBC	1'000 – 10'000 x
Elektromagnetische Strahlung	300 – 3000 nT	< 2 nT (AC) < 20 nT (DC)	150 – 1500 x (AC) 1000 x (DC)

⇒ **Mit den „noise-free“ labs sind nun empfindlichste Messungen während des ganzen Tages möglich, unabhängig von der Umgebung**

⇒ **Qualifikationsmessungen aller Labore: Juli 2011**

⇒ **Beginn der Toolinstallationen: August 2011**

Danksagung

Projekt- und Planungsteam

- Karl Steiner AG (U. Pedraita, H. Seifert)
- beta Planung (M. Critchley)
- BGS & Partner Architekten AG (H. Edbauer)

Ausführende Firmen

- Systron GmbH (R. Hauri, M. Geeler)
- gp-i (U. Moser, P. Büchel, J. Kreyenbühl,)
- IDE (M. Pabst, P. Heiland)
- Bilz (U. Motz, J. Schmitt)
- B&K (H. Meierhofer), Ziegler Consulting (A. Ziegler, C. Savary), MWH Barcol-Air AG (J. Orth), Burkhalter AG (M. Biondi), Dietsche AG, PanGas, Osterwalder & Lehmann AG (M. Vincens), etc.

IBM-Intern

- R. Germann, W. Riess, P. Seidler, U. Dürig, R. Schneider, M. Kaiserswerth, T. Schlund
- J. Kelly