Einblicke in ein neuartiges Laborkonzept

Autor(en): **Lörtscher, Emanuel / Gotsmann, Bernd / Widmer, Daniel**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft (10)

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856858

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Einblicke in ein neuartiges Laborkonzept

Umfassende Störungsreduktion als Herausforderung

Der atemberaubende Fortschritt in der Informations- und Halbleitertechnologie basiert auf der kontinuierlichen Steigerung der Integrationsdichten. Die Forschung beschäftigt sich heute mit Strukturen, die nur noch wenige Nanometer gross sind – die manchmal lediglich ein einzelnes Molekül oder wenige Atome umfassen. Es überrascht also nicht, dass an ein Labor zur Herstellung und Charakterisierung solcher Bauteile aussergewöhnliche Anforderungen gestellt werden müssen.

Emanuel Lörtscher, Bernd Gotsmann und Daniel Widmer

Vor 50 Jahren hat Jack Kilby den integrierten Schaltkreis (IC), der lediglich 10 Bauelemente umfasste, erfunden [1]. Seither bilden Transistoren die Basis der ICs. Durch Fortschritte in den lithographischen Herstellungsmethoden und Innovationen in den Bauelement- und Schaltkreisarchitekturen hat sich bis heute die Integrationsdichte auf ICs ungefähr alle zwei Jahre verdoppelt. Dieses exponentielle Wachstum ist bekannt unter dem Namen «Moore's Law». So verfügt ein moderner Prozessor (Stand: Ende 2010) mittlerweile über mehr als 10^9 Transistoren. Die Isolationsschicht zwischen dem Source-Drain-Kanal und der Gate-Elektrode beträgt heute nur noch 4 Atomlagen.

Die Forschung beschäftigt sich mit noch kleineren Bauteilen, deren Abmessungen im Bereich weniger Nanometer liegen. Dabei werden nicht nur konventionelle Transistoren erforscht, sondern auch neue Geometrien (z.B. Nanodrähte, Nanoröhrchen), neuartige Materialien (Graphen, Kohlenstoff-Nanoröhrchen) und fundamental andere Konzepte wie Spintronik und molekulare Elektronik.

Nanotechnologiezentrum

Das zusammen mit der ETH Zürich betriebene Binnig und Rohrer Nanotechnologiezentrum von IBM Research – Zurich in Rüschlikon wurde am 17. Mai 2011, nach knapp zweijähriger Bauzeit, feierlich eröffnet. In diesem Neubau wurden neuartige Labors integriert, die die oben erwähnte Nanotechnologie-Spitzenforschung für die nächsten 20 Jahre und darüber hinaus sicherstellen sollen.

Auswirkungen von Störeinflüssen

Da Nanotechnologie-Experimente besonders empfindlich auf Störeinflüsse reagieren, braucht es für die Spitzenforschung Labors, in denen die zahlreichen unerwünschten Einflüsse minimiert werden. Auf der Längenskala von 1 – 50 nm sind die Anforderungen an die Herstellungs- und Charakterisierungsinstrumente enorm: In manchen Fällen muss eine atomare oder gar subatomare Auflösung über mehrere Stunden und Tage erreicht werden. Folglich ist es naheliegend, dass dabei externe Störeinflüsse, die auf die Instrumente einwirken können, möglichst kompensiert und auf geringem Niveau konstant gehalten werden müssen. **Tabelle 1** gibt eine Übersicht über die für die Nanotechnologie relevanten Störgrössen (Englisch: «noise») und deren Auswirkungen auf die Experimente.

Bild 1 zeigt exemplarisch, wie externe Störeinflüsse die Abbildung eines Elektronenmikroskops beeinträchtigen können. Auf der Nanoskala haben kleinste Störeinflüsse, die für makroskopische Experimente meist vernachlässigbar sind, grosse Auswirkungen: So kann sich beispielsweise durch eine Tempera-

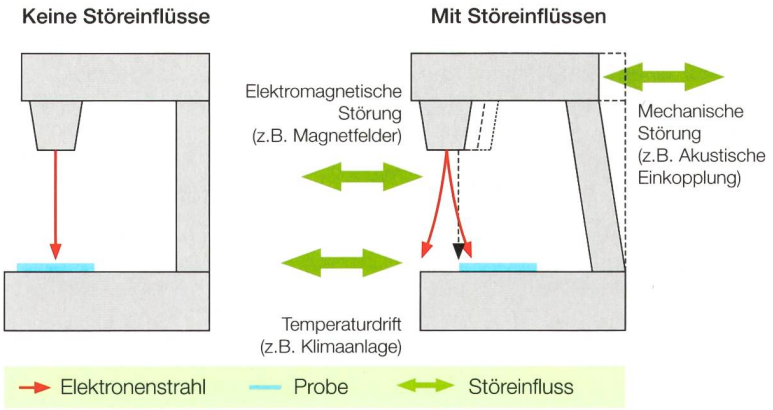


Bild 1 Auswirkungen elektromagnetischer, thermischer, akustischer und mechanischer Störeinflüsse auf die Abbildung nanometergrosser Objekte in einem Elektronenmikroskop.

Störgrösse	Auswirkung
Elektromagnetische Felder	Beeinträchtigung der elektrischen Messungen, Ablenkung von Elektronen-/Ionenstrahl, Störspannungen und -ströme, elektrisches Rauschen usw.
Bodenvibrationen	Bewegung der Probe, Schwingung der Detektoren usw.
Luftschall	Bewegung des ganzen Geräts
Temperaturschwankung	Ausdehnung der Proben, relativer Versatz Probe – Messsonde, Schwankungen in der Messelektronik etc.
Luftfeuchtigkeitsschwankung	Empfindlichkeit von Fotolacken auf Elektronen, Wasserschicht auf Probe usw.

Tabelle 1 Störgrössen und ihre Auswirkungen auf das Experiment.

turdifferenz von wenigen Graden die Probe um mehrere 100 nm/h verschieben – Riesendistanzen in der Nanowelt. Ein elektromagnetisches Streufeld mit wenigen 100 nT Variation lenkt einen Elektronenstrahl trotz Abschirmung durch die Stahlwand des Vakuumsystems gerade im niederfrequenten oder statischen Bereich um mehrere 10 nm ab (Tabelle 1).

Störeinflüsse limitieren Methoden der Nanotechnologie, in denen Objekte relativ zueinander positioniert werden müssen. Hierzu gehören Herstellungsmethoden wie Rastersondenmikroskope, in denen Sonden eine Probe strukturieren oder Elektronenstrahllithographie, bei der ein Elektronenstrahl einen Lack belichtet. Eine weitere Kategorie sind natürlich elektrische oder optische Messungen an Nanostrukturen. Hier werden die zu messenden kleinsten Ströme (nA bis fA) oder Spannungen (µV bis nV) durch Induktion von externen Feldern verfälscht.

Externe und interne Störquellen

Die Störeinflüsse sind abhängig vom Laborstandort und -aufbau. Für das IBM-Forschungslabor in Rüschlikon sind einige wichtige externe Störeinflüsse in Bild 2 aufgezeigt. Tabelle 2 gibt Auskunft darüber, wie gross externe Störeinflüsse typischerweise sind. Neben externen Störungen gibt es auch solche, die im Gebäude oder im Labor selber erzeugt werden. Die Quellen dieser Störungen sind vielfältig: Klimaanlagen, Pumpen, Transformatoren, Netzgeräte, Messinstrumente, Computer und schliesslich auch der Benutzer selber.

Die Nanoforschung ist aber nur möglich, wenn Störgrössen auf ein Minimum reduziert werden. Deshalb wurden ins neue Binnig-und-Rohrer-Nanotechnologiezentrum auch sechs «stille», sogenannte «noise-free» Labore (NfL) integriert.

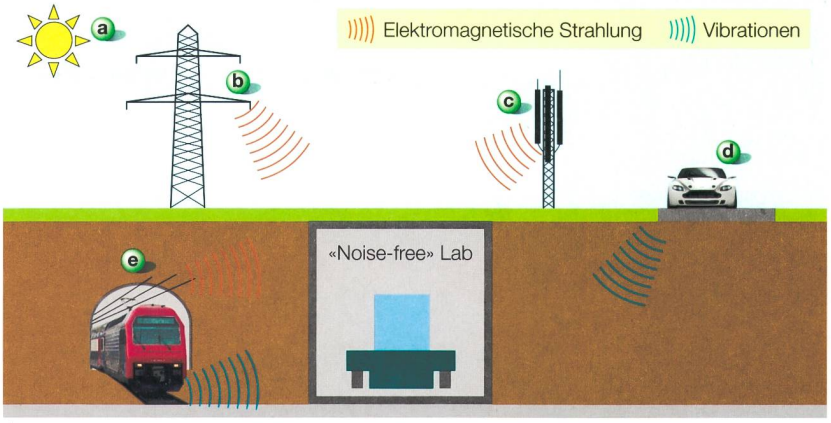


Bild 2 Einige der Störgrössen, die von aussen auf das Nanotechnologie-Labor in Rüschlikon einwirken.
a) Sonne und Jahreszeiten verursachen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsänderungen. b) Elektromagnetisches Störfeld von Übertragungsleitungen (50 Hz). c) Hochfrequente Störfelder von Mobilfunksendern (1,8 GHz). d) Bodenvibrationen von Fahrzeugen auf der Autobahn (150 m entfernt). e) Störfelder (16,7 Hz) u. Bodenvibrationen vom 175 m entfernten Bahntunnel.

Anforderungen festlegen

Zu Beginn der Projektphase wurden diverse hochempfindliche Experimente evaluiert und dabei jeweils die kommerziellen Mess- und Fabrikationsgeräte mit den höchsten Anforderungen berücksichtigt. Daraus resultierten die Zielvorgaben für maximale Störeinflüsse in den NfL, die ebenfalls in Tabelle 2 aufgelistet sind.

Alle Raumanforderungen wurden, unabhängig von der vorgesehenen Einrichtung und Experiment, für alle Labore einheitlich spezifiziert. Ziel der Planung der Labore und deren Ausrüstung war, dass sich Raumspezifikationen bei einem eingerichteten Labor nur minimal verschlechtern. Oft stellen Komponenten des Experiments selbst grosse Störquellen dar. Beispielsweise erfordern viele Experimente Vakuumbedingungen, die durch an den Messaufbau angeschlossene, mechanische Pumpen erzeugt werden. Andere Beispiele sind die Wärmeentwickung und elektromagnetische Abstrahlung von Netz- und Kontrollgeräten. Dies stellt grosse Anforderungen an die Aufteilung der Labor-, Operator- und Hilfsbetriebsräume und deren physische Verbindung (z.B. Verkabelung) bzw. Separierung (z.B. Schwingungsentkopplung).

Herkömmliche Experimente stellen in der Regel nicht gleichzeitig höchste Anforderungen bezüglich aller fünf Störgrössen. Daher lag früher das Augenmerk oft auf der Abschirmung einzelner Parameter (z.B. Temperatur). Mit den messtechnischen Entwicklungen in der Nanotechnologie gibt es aber zunehmend Experimente, die empfindlich gegenüber mehreren oder sämtlichen fünf Störgrössen sind. Deshalb sollen bei den neuen Laboren alle Zielwerte gleichzeitig erfüllt werden.

Konzept des «Noise-free» Labs

Obige Ziele erforderten ein neuartiges Laborkonzept. Einzeln betrachtet kann jeder Störeinfluss mit kommerziell verfügbaren Lösungen eliminiert werden. Aber die Kombination hat es in sich: Es entstehen neue Herausforderungen, die nur bei Betrachtung des Gesamtsystems erfolgreich gemeistert werden können.

Räumliche Trennung

Moderne Experimente benötigen komplexe Apparaturen mit verschiedenen Komponenten. Das Ziel des Konzep-

Störgrösse	Zielwert	Typische Variation	Maximale Variation im NfL
Elektromagnetische Felder (Induktion B)	$B_{DC} < 50$ nT $B_{AC} < 5$ nT (von 0,001–2 kHz integriert)	$\Delta B_{DC} \sim 500 - 8000$ nT $\Delta B_{AC} \sim 300 - 3000$ nT	$\Delta B_{DC} < 50$ nT $\Delta B_{AC} < 5$ nT (von 0,001–2 kHz integriert)
Vibrationen v	$v < 1$ µm / s	$v \sim 8 - 100$ 1 µm/s	$v < 1$ µm / s (f < 10 Hz) $v < 0{,}5$ µm / s (f > 10 Hz)
Schall p	p < 55 dBC (C-Gewichtung)	p ~ 60 – 80 dBC (C-Gewichtung)	p ~ 60 – 80 dBC (C-Gewichtung)
Temperatur T	20 °C < T < 24 °C	$\Delta T \sim 3 - 6$ °C / 24 h	$\Delta T < 0{,}5$ °C absolut $\Delta T < 0{,}1$ °C / 1 h
Luftfeuchtigkeit σ_w	35 % < σ_w < 55%	$\Delta\sigma_w \sim 30$ % / 24 h	$\Delta\sigma_w < 5$ % absolut

Tabelle 2 Störgrössen mit typischen Werten in normaler Laborumgebung und den entsprechenden Zielwerten für ein «noise-free» Lab.

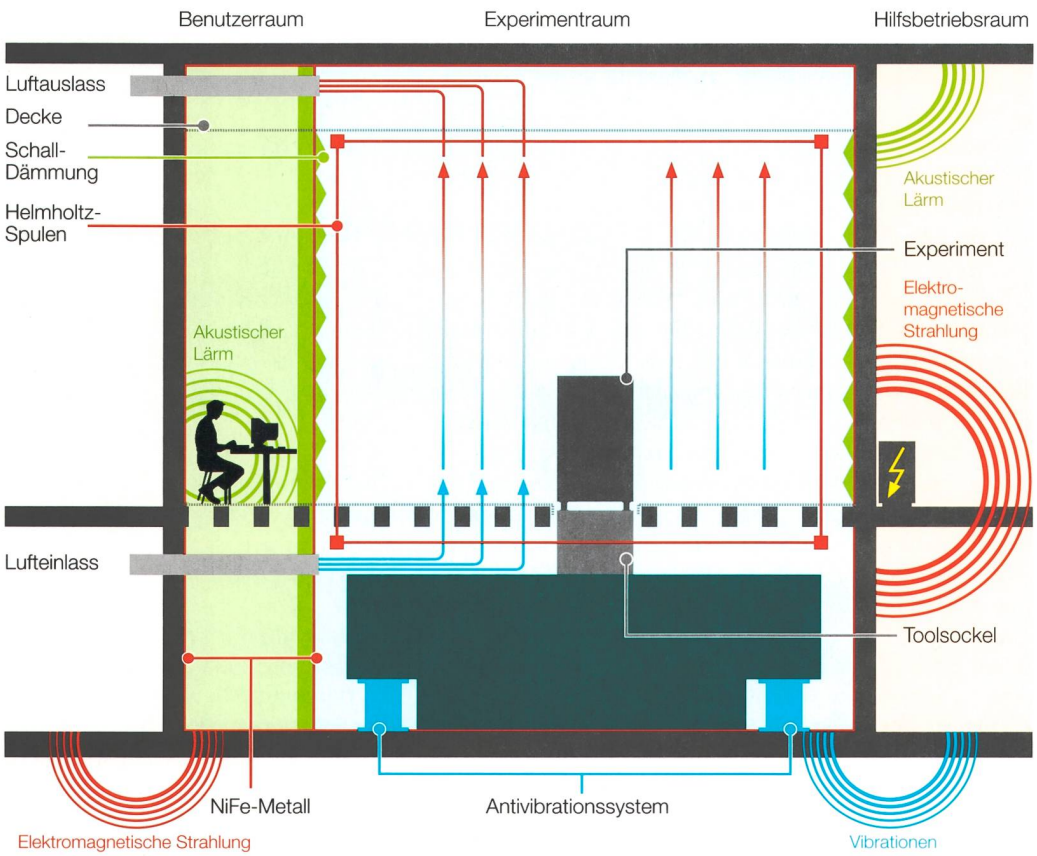


Bild 3 Benutzer- und Hilfsbetriebsraum sind räumlich vom Experimentraum getrennt. Der klimatisierte laminare Luftstrom umfliesst das Experiment, ohne störende Wirbel (Vibrationen) zu verursachen. Der Luftstrom wird durch eine Luftabsaugung in der Decke erzeugt.
Alle Wände, Böden und Decken sowie die Trennwand zum Benutzerraum sind mit µ-Metall abgeschirmt. Das Helmholtz-Spulenpaar zur Kompensation niederfrequenter Magnetfelder ist an den Wänden befestigt.

tes ist die räumliche Trennung der empfindlichen Teile von den störenden Komponenten **(Bild 3)**.

Hilfsräume für Betriebsgeräte

Die empfindlichsten Komponenten befinden sich oft im Herzen des experimentellen Aufbaus. Dazu gehören die Elektronik oder der Teil, in dem die Wechselwirkung mit der Probe stattfindet. Zu den störenden Komponenten gehören Vakuumpumpen, Wasserkühler, Transformatoren, Netzgeräte oder Steuercomputer. Für diese Hilfsaggregate gibt es deshalb zu jedem Labor jeweils zwei mit sämtlichen Medien (230 V/400 V, Druckluft, Stickstoff, Helium, 24 h Abluft, Prozesskühlwasser, Netzwerk-LAN, Telefon etc.) ausgestatteten Hilfsbetriebsräume.

Die Verkabelung in die Labore geschieht durch abdichtbare Kunststoffflansche mit Einsätzen verschiedener Durchmesser, die eine akustische Isolierung von mehr als 80 dB erzielen. Die Verkabelungsflansche sind wie der Experimentierbereich mit µ-Metall ausgekleidet **(Bild 4)**, um die Magnetfeldabschirmung zu unterstützen und um als Faraday-Käfig zu wirken.

Da die grösste Abwärme der Experimente in diesen Hilfsbetriebsräumen entsteht, wurden wassergekühlte Umluftkühlgeräte installiert, die durch Schalldämpfer und Luftdistributoren trotz einer Kühlleistung von 12 kW weniger als 60 dBC Lärm erzeugen. Die Auslagerung der lärm- und wärmeerzeugenden Geräte reduziert die anfallende Wärme im Labor auf weniger als 1,5 kW.

Benutzerräume

Durch die Verlegung der Hilfsgeräte in Nebenräume ist der Benutzer zur grössten Störquelle im Labor geworden. Dies aufgrund der Wärmeabgabe von rund 100 W (46 % Strahlung, 33 % Konvektion, 19 % Schwitzen, 2 % Atmung [3]) und der Erzeugung von Schwingungen. Ebenso störend sind Computer und Messgeräte, die aber zum Teil wegen möglichst kurzer Signalwege nicht ausgelagert werden können.

Um den Experimentator und die Instrumente vom Experiment zu entkoppeln, wurde im Labor ein zusätzlicher Benutzerraum geschaffen, der möglichst nahe am Experiment liegt und von dem aus das Experiment überwacht werden kann. Dieser Raum ist auch entkoppelt, er besitzt eine eigene Klimaanlage sowie eine akustische und elektromagnetische Abschirmung.

Messgrösse	Zielwert	Messwert Prototypenlabore
Elektromagnetische Felder (Induktion B)	$B_{DC} < 50$ nT $B_{AC} < 5$ nT (0,001 – 2 kHz integriert)	$\Delta B_{DC} < 25$ nT $\Delta B_{AC} < 2$ nT (0.001 – 2 kHz integriert)
Vibrationen v	$v < 1$ µm/s (f < 10 Hz) $v < 0{,}5$ µm/s (f > 10 Hz)	$v < 0{,}3$ µm/s ($f < 10$ Hz) $v < 0{,}1$ µm/s ($f > 10$ Hz)
Temperatur T	20 °C < T < 24 °C $\Delta T < 0{,}5$ °C/24 h $\Delta T < 0{,}1$ °C/1 h	$\Delta T < 0{,}1$ °C/1 h (Gemessen in einem 1:5 Raum)
Luftfeuchtigkeit σ_w	$\Delta\sigma_w < 5$ %/24 h 35 % < σ_w < 55 %	Noch zu messen.
Schall p	$p < 55$ dBC	$p < 22$ dBC

Tabelle 3 Messergebnisse der Prototypenlabore. Alle Werte liegen innerhalb der Zielwerte.

Experimentraum

Der zentrale Bereich enthält die empfindlichen Teile des Experimentes. Dieser Bereich weist je nach Labor nur 20–48 m² Experimentierfläche auf. Die Raumhöhe ist jedoch mit 4,20 m auch für hohe Geräte, wie beispielsweise ein Transmission-Elektronen-Mikroskop, ausgelegt. Alle Messgeräte und Apparate in diesem Bereich sind ferngesteuert bedienbar, was sich besonders positiv auf die eigentliche Messphase auswirkt, da auch die Türe zwischen Benutzer- und Experimentierraum nicht geöffnet werden muss und somit kein Wärmeaustausch stattfinden kann.

Schall

Die Zielwerte für Schallleistung muten auf den ersten Blick mit 55 dBC relativ hoch an. Im realen Laborbetrieb wird dieser Wert aber vor allem wegen der lauten Hilfsaggregate schnell erreicht. Die räumliche Trennung wirkt sich da sehr positiv aus. Ein betriebsbereites NfL-Labor besitzt weniger als 32 dBC Schallleistung – bei aktiver Klimaanlage. Durch die komplette Bedeckung der Wände und die partielle Bedeckung der Decke mit schallabsorbierenden und diffus streuenden Elementen konnte die Schallleistung weiter auf unter 22 dBC gesenkt werden.

Elektromagnetische Felder

Metalle mit hoher magnetischer Permeabilität ($\mu_r = 50\,000 - 140\,000$) zeichnen sich dadurch aus, dass sich der magnetische Fluss niederfrequenter Magnetfelder im Material konzentriert, was im Innern einer geschlossenen Box zu einer Abschirmung gegenüber externen Magnetfeldern führt. Die grundsätzlich hohe Abschirmwirkung reduziert sich jedoch drastisch, wenn diese sogenannten µ-Metalle gebogen, verformt oder mechanisch belastet werden ($\mu_r \sim 150$). Boden, Wände und Decken sowie alle Mediendurchführungen und Türen wurden in jedem NfL mit NiFe-Platten belegt. Um diese µ-Metallplatten mechanisch nicht zu stark zu beanspruchen, wurden sie überlappend auf die Wände befestigt und mit einer Aluminium-Deckschicht (mechanische Stabilität, Korrosionsschutz) verschraubt, die anschliessend nahtlos zusammengeschweisst wurde. Der so erzeugte «Metallbehälter» erfüllt sowohl elektrostatisch als Faraday-Käfig wie auch elektromagnetisch alle Anforderungen einer effizienten hoch- und mittelfrequenten Abschirmung.

Weil die Abschirmeffizienz für statische und niederfrequente Felder (<100 Hz) jedoch abnimmt (10–20 dB), ist jedes Labor zusätzlich mit einem Helmholtzspulensystem ausgestattet, mit dem das Restfeld durch Anlegen eines Gegenfeldes in allen drei Raumachsen kompensiert wird. AC-Restfelder (z.B. 16,7 Hz und 50 Hz) erreichen im Labor lediglich maximal 5 nT (von 0,01 bis 2 kHz integriert). DC-Schwankungen werden innerhalb von 25 nT gehalten, was einem 10 000tel des Erdmagnetfeldes entspricht.

Bild 4 Eine mit schalldämmendem Material abgeschlossene Durchführung vom Experimentier- zum Hilfsbetriebsraum. Die schwingungsentkoppelte Benutzerplattform, auf der Dr. Lörtscher steht, ist an den Wänden aufgehängt.

Bodenschwingungen

Eine bewährte Methode zur Vibrationsentkopplung ist die Anbindung des Systems an eine hohe Masse. Zusammen mit einer Aufhängung stellt diese Masse ein schwingungsfähiges System dar, das sich z.B. durch Bodenschwingungen vergleichsweise schlecht anregen lässt. Entsprechend der grossen Masse kann die mechanische Resonanzfrequenz klein ausfallen (typischerweise unter 10 Hz). Anregungen mit höheren Frequenzen werden sehr stark gedämpft. Die Einkopplung bei niedrigen Frequenzen, also im Bereich der Eigenresonanz, wird mit aktiven Kontrollsystemen minimiert.

Die Herausforderung lag nun darin, in jedem Labor einen luftgelagerten, auf einem kommerziellen Schwingungssystem stehenden Betonsockel von möglichst grosser Masse einzubringen. Die Eigenresonanz der Luftlager liegt im Bereich von 1,2–2,4 Hz. Mittels zweier unterschiedlich agierender Systeme (Luftlager und Linearmotoren, **Bild 5**) werden die Isolatoren aktiv geregelt, was die Eigenfrequenz der Luftlager auf unter 0,3 Hz senkt. Auf diesen 34 bis 80 t schweren Sockeln stehen die Experimente; der Benutzer hingegen bewegt sich auf einem schwingungstechnisch entkoppelten Boden, der nur um den experimentellen Aufbau herum geöffnet ist **(Bild 6)**.

Bild 5 Luftlagerung der Betonsockel. Links ein aktiver, vertikaler Isolator von Bilz. Jeweils 4–8 solcher Isolatoren halten den zwischen 34 und 80 t schweren Sockel auf einem Luftkissen.

Kombination der Massnahmen

Durch den gleichzeitigen Einsatz aller Massnahmen in einem Labor wird die Systemkomplexität massiv erhöht, da sich fast alle Massnahmen auch gegenseitig negativ beeinflussen können. Eine typische Massnahme zur Temperaturstabilisierung ist zum Beispiel der Einsatz einer ausreichend dimensionierten Klimaanlage. Diese bewirkt aber häufig einen sehr starken Luftstrom, der die

Schallpegel in den Laboren erhöht und auch die Schwingungswerte – ungeachtet der grossen Masse des Fundaments – beeinflussen kann (weich gelagerte Sockel lassen sich durch Luftschall zu Schwingungen anregen). Die Schwingungsentkopplung wiederum hat Einfluss auf die Magnetfeldabschirmung, da die benötigte grosse Masse durch die hohen entstehenden Flächenlasten unterhalb des Isolators die Wirksamkeit des µ-Metalls reduzieren könnte.

Das Spektrum der negativen Interferenzen wurde in der Konzeptphase immer wieder analysiert und mögliche Konsequenzen gezogen. Das Resultat wurde anschliessend anhand zweier Prototyp-Labore verifiziert.

Projektabschluss

In den zwei komplett funktionstüchtigen Prototyp-Labors wurden die verschiedenen Komponenten einzeln und im Zusammenspiel getestet. Die dabei ermittelten Messwerte sind in **Tabelle 3** zusammengefasst und zeigen, dass alle Werte innerhalb der Vorgaben liegen. Das Konzept erfüllte die hohen Erwartungen.

Die aus den Prototypenmessungen gewonnenen Erkenntnisse wurden für die Planung und Fertigstellung aller Labore verwendet. Am 1. Juni 2011 wurden diese fertig gestellt und eine Installationsqualifikation durchgeführt. Da gegenüber den Prototypen weitere Verbesserungen realisiert wurden und einige der Labore grösser sind, mussten erneut Messungen durchgeführt werden. Dies geschah in der eigentlichen Abnahme- und Qualifikationsphase im Juli 2011. Danach wurden die erzielten Messdaten offiziell publiziert.

Ab August 2011 wurden erste Experimente und Apparate in die neuen Labore verlegt. Der Umzug erfordert eine starke Anpassung aktuell bestehender Experimente hinsichtlich des Layouts und der Entkopplung der Hilfsgeräte, um von den erreichten Raumparametern profitieren zu können. Deshalb wird die Einrichtung der Labore deutlich mehr Zeit benötigen als in einem konventionellen Labor.

Bilder: IBM

Bild 6 Mit schalldämmendem Material ausgekleideter Experimentierraum (4,2 m lichte Raumhöhe). An der aktiv gekühlten Decke mit gleichstromgespiesenen LED-Leuchten (zur Vermeidung störender Wechselfelder) ist der Sensorhalter mit dem Helmholtz-Steuersensor und Raumklimasensoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) angebracht.

Schlussfolgerungen

Mit der Erforschung von kleinsten Strukturen sind die Umgebungsbedingungen Teil des Experiments geworden. Durch die Kombination von verschiedenen aktiven und passiven Abschirm- und Dämpfungsmassnahmen wurden externe Störeinflüsse in den «Noise-free» Laboren auf ein Minimum reduziert. Die Entkopplung von Hilfsgeräten, Benutzer und eigentlichem Experiment erlaubt es, störende interne Einflüsse vom Experiment fernzuhalten. Mit der Kombination all dieser Massnahmen stellen die «Noise-free» Labore des Binnig und Rohrer Nanotechnologiezentrums von IBM Research – Zurich eine neuartige, flexible Experimentierumgebung für zukünftige hochempfindliche Experimente dar.

Résumé

Aperçu d'un concept de laboratoire d'un nouveau type

L'exigence d'une réduction totale des perturbations

Les progrès saisissants réalisés dans les technologies de l'information et des semi-conducteurs sont basés sur l'augmentation constante des densités d'intégration. La recherche se consacre actuellement à des structures comportant parfois seulement une unique molécule ou un petit nombre d'atomes. Il n'est donc pas surprenant que des exigences exceptionnelles doivent être imposées à un laboratoire pour la fabrication et la caractérisation de tels composants. Cette contribution décrit la manière dont la combinaison de plusieurs mesures actives et passives de blindage et d'atténuation permet de réduire au minimum les influences parasites dans les laboratoires « noise-free » du centre de nanotechnologie Binning et Rohrer. No

Referenzen

[1] United States Patent 3 138 743, J. S. Kilby, Minituarized Electronic Circuits, 6.02.1959.
[2] Moore, G. E., Cramming more components onto integrated circuits, Electronics, Vol. 38 (1965).
[3] Prof. Dr.-Ing. E. Specht, Der Mensch als wärmetechnisches System, Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg.

Angaben zu den Autoren

Dr. **Emanuel Lörtscher** arbeitet als Research Staff Member bei IBM Research – Zurich im Science & Technology Department. Er ist Projektleiter für die «Noise-free» Labore und für die Planung und Umsetzung der Massnahmen verantwortlich. Er befasst sich mit Nanotechnologie, im speziellen mit den Transporteigenschaften von einzelnen Molekülen oder Nanodrähten für zukünftige elektronische Anwendungen.

IBM Research – Zurich, 8803 Rüschlikon
eml@zurich.ibm.com

Dr. **Bernd Gotsmann** arbeitet als Research Staff Member bei der IBM Research – Zurich im Science & Technology Department. Er befasst sich mit Nanotechnologie, im speziellen mit deren elektronischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften.

IBM Research – Zurich, 8803 Rüschlikon
bgo@zurich.ibm.com

Daniel Widmer arbeitet als technischer Mitarbeiter bei der IBM Research – Zurich im Science & Technology Department. Er entwickelt u.a. komplexe Ultrahochvakuumanlagen mit entsprechender Soft- und Hardwaresteuerung.

IBM Research – Zurich, 8803 Rüschlikon
dwi@zurich.ibm.com

Connaissez-vous déjà le site www.bulletin-online.ch ?

Vous trouverez les articles parus dans ce numéro également sur le site du Bulletin-online. Il vous offre la possibilité d'évaluer et de commenter les articles, afin de transformer une communication à sens unique en dialogue passionnant.

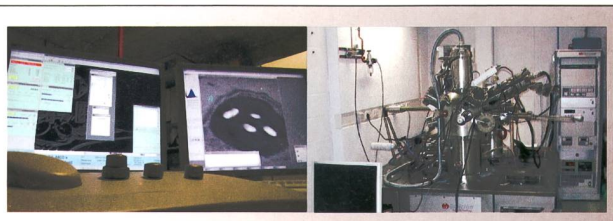
Le Bulletin électronique vous invite à explorer, à « fouiller » dans les archives, ainsi qu'à lire les plus récentes communications. Nous nous réjouissons de votre visite !

www.bulletin-online.ch

Bulletin
Fachzeitschrift von Electrosuisse und VSE
Revue spécialisée d'Electrosuisse et de l'AES

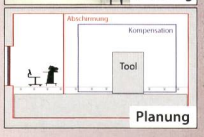
Vorteil beim Hausanschluss: Überzeugend in Design, Ökologie und Innovation.

http://multibox.schurter.ch SCHURTER ELECTRONIC COMPONENTS



Nanotechlabors - Forschen am Limit

- **Passive Raumabschirmungen**
- **Aktive Kompensationsanlagen**
- **Messung / Berechnung**
- **Planung / Ausführung**



Unabhängig davon, ob Störfelder von aussen eindringen oder "hausgemacht" sind, wir sorgen mit speziell für Nanotechlabors entwickelten Lösungen für einen störungsfreien Betrieb.

Von der Beratung und Planung bis hin zur fachgerechten Montage und Qualifizierung.

Projekt 2011: Planung und Ausführung der Magnetfeldabschirmungen und Kompensationssysteme für die Noisefree Labs im Binnig and Rohrer Nanotechnology Center, IBM Research - Zürich

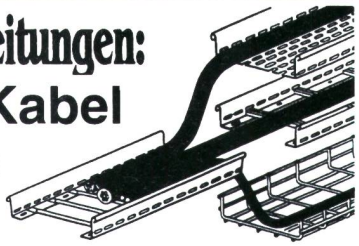
Forschen am Limit - mit Systron EMV GmbH

systron
Magnetfeld-Abschirmtechnik

Systron EMV GmbH · 8635 Dürnten / Schweiz
Tel. +41 55 250 53 20 · Fax +41 55 250 53 21
www.systron.ch

Statt **Gitterbahnen** und **Kabelpritschen** und **Kabelbahnen** und **Steigleitungen:**

Lanz Multibahn – eine Bahn für alle Kabel



- Lanz Multibahnen vereinfachen Planung, Ausmass und Abrechnung!
- Sie verringern den Dispositions-, Lager- und Montageaufwand!
- Sie schaffen Kundennutzen: Beste Kabelbelüftung.
- Jederzeitige Umnutzung. Kostengünstig. CE- und SN SEV 1000/3-konform.

Verlangen Sie Beratung, Offerte und preisgünstige Lieferung vom Elektro-Grossisten und

lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen • Tel. ++41 062 388 21 21

KT 01