

Präzisionselektronik für die Quantenphysik

Im Gespräch gibt Michael Steinacher Einblicke in die Elektronikentwicklung

Im gesellschaftlichen Kontext führt die Elektrotechnik eher ein Schattendasein. Hatten früher Technologiefirmen beispielsweise im Telekommunikationsbereich eigene Entwicklungsabteilungen, wird heute vieles an Dienstleister ausgelagert – oder aus Fernost importiert. Dass die Disziplin aber nach wie vor relevant ist, zeigt sich unter anderem an der Verleihung der Ehrendoktorwürde, die Michael Steinacher von der Universität Basel im November 2024 erhielt, der unter anderem mit der «Entwicklung von Präzisionselektronik die Grenzen des Machbaren in der Experimentalphysik immer wieder verschoben und damit die Erschliessung von wissenschaftlichem Neuland ermöglicht hat.»

Nach seiner Elektronikmechanikerlehre studierte Michael Steinacher Elektrotechnik mit Vertiefungsfach Nachrichtentechnik an der damaligen Ingenieursschule beider Basel in Muttens. Anschlies-

send hat er rund vier Jahre bei der Flowtec AG der Endress-Hauser-Gruppe Grundlagenforschung zur Durchflussmesstechnik mit Ultraschall betrieben. Seit 35 Jahre entwickelt Steinacher am Departement Physik der Universität Basel die für physikalische Experimente benötigte Elektronik und leitet das Elektroniklabor, das vor gut fünfzehn Jahren aus der Zusammenführung der Elektronikwerkstätte für Festkörperphysik und der für Kernteilchenphysik entstanden ist, die jeweils eigene Ausrichtungen und Anforderungen hatten.

Bulletin: Sie entwickeln Geräte für die Physiklabors.

Michael Steinacher: Ja, wir machen Geräte für unsere experimentellen Forschungsgruppen, die nicht auf dem Markt erhältlich sind. Wir beobachten auch, dass man in der Zwischenzeit immer mehr solcher Geräte

kaufen kann. Früher musste man mehr selbst machen. In den letzten 20, 30 Jahren hat sich einiges verändert, denn die Geräte sind günstiger und besser verfügbar geworden. Aber trotzdem gibt es noch Anforderungen, die mit den käuflichen Geräten nicht erfüllt werden. Die entwickeln wir selbst und produzieren sie in kleinen Stückzahlen.

Machen Sie alles selbst?

Gewisse Aufträge geben wir natürlich auswärts – das Bedrucken von Frontplatten, das Bestücken von PCBs. Die Endtests machen wir meistens bei uns. Es geht darum, dass die Geräte extrem rauscharm sind. In dieser Beziehung sind wir weltweit führend. Wir haben auch eine Spin-off-Firma gegründet.



Michael Steinacher in seinem Elektroniklabor an der Universität Basel.

Bilder: Radomír Novotný

Wie heisst diese Firma?

Der Name ist «Basel Precision Instruments» oder kurz BASPI. Zunächst haben wir an der Uni nur für den internen Bedarf produziert, aber zunehmend haben ausländische Forschungsgruppen Interesse an unseren Geräten gezeigt. Mit der steigenden Nachfrage wurde es uns zu viel, denn die Forschenden möchten die Geräte natürlich nicht erst in einem Jahr, wenn wir wieder einmal einen Batch produzieren. Die Spin-off-Firma hat dann die Produktion eines Teils unserer Produkte übernommen und kann sie deutlich schneller liefern. Unsere Bekanntheit stieg auch mit Doktoranden, die hier in der Physik an der Uni Basel mit diesen Geräten gearbeitet haben und anschliessend ins Ausland oder in ein anderes Forschungsinstitut gingen – und sie dort auch einsetzen wollten. Deshalb hat sich unsere Produktion organisch entwickelt. Bei den Geräten handelt es sich hauptsächlich um sehr rauscharme Spannungsverstärker und äusserst stabile Stromverstärker, die auch bezüglich Eingangsspannung extrem stabil sind. Ein Stromverstärker hat eine sehr niedrige Eingangsimpedanz. Die Spannung, die man dort sieht, muss für die Tieftemperatur-Quantenexperimente sehr konstant sein, im Mikrovoltbereich. Es gibt natürlich auch Geräte auf dem Markt, Strom- und Spannungsverstärker, die aber die nötige Stabilität nicht bieten oder nicht rauscharm genug sind.

Ist «rauscharm und hochstabil» Ihr Kriterium für Präzisionselektronik?

Genau.

Ist das vergleichbar mit Audio-Geräten im High-End-Bereich? Gibt es da Parallelen?

Eigentlich nicht, denn der Unterschied ist gross. Bei Audio ist immer alles wechsellspannungsgekoppelt. Da startet man ab 20 Hz. Das macht alles hundertmal einfacher. Aber alle unsere Verstärker gehen hinunter bis DC. Die echte Herausforderung ist, dass sie bis 0 Hz sehr stabil sind.

Haben Sie auch andere Geräte?

Wir haben auch ein Gerät entwickelt, das 24 hochstabile und rauscharme Spannungsquellen mit 24-Bit-Auflösung bietet. Davon produzierten wir grössere Stückzahlen für diverse interne und externe Forschungsgruppen; inzwischen ist dieses Gerät auch im Portfolio von BASPI. Der Ausgang ist ± 10 V, mit einer Schrittweite von $1,2 \mu\text{V}$ – also einer extrem hohen Auflösung. Nach der Herstellung linearisieren wir jeden einzelnen Kanal noch, damit wir eine Linearität von ± 7 LSB erreichen. Für diese Linearisierung machen wir aufwendige Kalibrierungen und legen für jeden Kanal ein Korrekturpolynom ab, der Nichtlinearitäten kompensiert. Das Gerät ist auch sehr rauscharm und erreicht 300 nV rms bei

einer Spannung von ± 10 V und einer Bandbreite von 100 Hz – das ist rekordverdächtig.

Wie erreichen Sie dieses niedrige Rauschen?

Bei den Verstärkern messen wir die diskreten JFETs vor dem Einbau einzeln aus und nehmen nur die besten. Dafür haben wir extra Messeinrichtungen gebaut, um das Spannungs- und Stromrauschen messen zu können. Früher haben wir bei einem Distributor FETs gekauft und konnten vielleicht 10–20 % brauchen. Den Rest mussten wir entsorgen oder an Lager legen. In der Zwischenzeit haben wir über unsere Spin-off-Firma eine Abmachung mit der amerikanischen Firma InterFET, die uns Samples zur Verfügung stellt, die wir testen können. Wir können dann die behalten, die unseren Anforderungen genügen, und die anderen gehen wieder zurück.

Bei den Spannungsquellen machen wir am Schluss eine Kalibrierung, um die gewünschte Linearität zu erreichen. Wichtig ist ein extrem sorgfältiges Schaltungsdesign, beispielsweise mit geheizten Referenzquellen, um die Temperatur zu stabilisieren. Weil die Experimente über Tage oder zum Teil sogar über Wochen laufen, muss man bis 0,1 Hz oder sogar darunter rauschfrei und extrem stabil sein.

Sie arbeiten mit DC. Könnten Sie das Rauschen, das ja ein AC-Anteil ist, einfach rausfiltern?

Nein, aber was man filtern kann, ist natürlich das hochfrequente Rauschen. Oft ist der Bereich von 0,1 bis 10 Hz heikel. Häufig spezifizieren Konkurrenten dort gar nichts, sondern starten mit den Rausch-Spezifikationen ab 10 Hz. Aber dieser tieffrequente Bereich ist bei uns sehr wichtig. Das erreicht man nur mit Referenzquellen, die temperaturstabilisiert sind. Die Elektronik ist auch doppelt geschirmt: Im Gehäuse hat es noch ein Aluminiumgehäuse. Das hat den Vorteil, dass die Elektronik im inneren Gehäuse auf einem anderen Potenzial sein kann als im Aussengehäuse. Um Erdschleifen zu vermeiden, ist die Referenz-Masse potenzialfrei und die Schaltung im inneren Gehäuse wird mit einem potenzialfreien Netzteil versorgt. Um die Signalwege möglichst kurz zu halten, werden die Geräte direkt auf die Experimente gesteckt – ohne Verbindungskabel.

Haben Sie mit der Firma Zürich Instruments zu tun? Oder ist es Konkurrenz?

Wir arbeiten nicht direkt zusammen. Aber die Forschungsgruppen bei uns setzen auch Geräte von Zürich Instruments ein, die mehr im Bereich von höheren Frequenzen arbeiten. Unsere Geräte haben bis zu 1 MHz Bandbreite (Spannungsverstärker), und die Stromverstärker hören irgendwo bei 200 kHz auf. Das heisst, es ist relativ tieffrequent. Und auch Spannungsquellen sind für DC bis 100 kHz. Zürich Instruments bietet vor allem Lock-in-Verstär-

ker an, und dies auch bis zu höheren Frequenzen. Inzwischen wurden sie von Rohde und Schwarz übernommen, aber den Brand gibt es immer noch.

Ihre Elektronik ist für Physikanwendungen. Wie stark sind Sie in der Physik involviert? Bekommen Sie die Vorgaben von den Physikern?

Ich bin nicht direkt in die Experimente involviert. Die Anforderungen kommen zwar meist von den Physikern, aber oft sind nicht alle nötigen Anforderungen offensichtlich. Auf den Rest, was noch gefordert werden könnte, muss man selber kommen. Man muss sozusagen mit den Experimenten mitdenken.

Was ist bei Ihren Geräten sonst noch wichtig?

Die Dokumentation von diesen Geräten ist auch ein wichtiger Punkt. Das vergisst man häufig ein wenig. Man hat zwar schnell etwas, das funktioniert, aber man muss es reproduzierbar bauen können, auch in genügender Qualität. Und wenn man es auswärts geben will, muss man es detailliert dokumentieren. Zu unserem DA-Wandler gibt es fast 180 Seiten Dokumentation, inklusive Softwarebeschreibung, die die Befehle beschreibt, die man dem Gerät schicken kann. Das ermöglicht es, dass man Geräte weltweit relativ einfach verkaufen kann. Bei einer lückenhaften Dokumentation hätte man Hunderte Nachfragen für Präzisierungen, für die uns die Zeit fehlen würde. Man reduziert also mit guten Unterlagen die Anzahl Nachfragen bei Problemen markant.

Verkaufen Sie diese Geräte mit einem Gewinn oder zum Selbstkostenpreis?

Mit einem gewissen Gewinn, durch den wir eine Stelle finanzieren. Das Geld erhält die Uni, und die Uni zahlt den Lohn. Wir haben auch diverse Kollaborationen im Raum Basel.

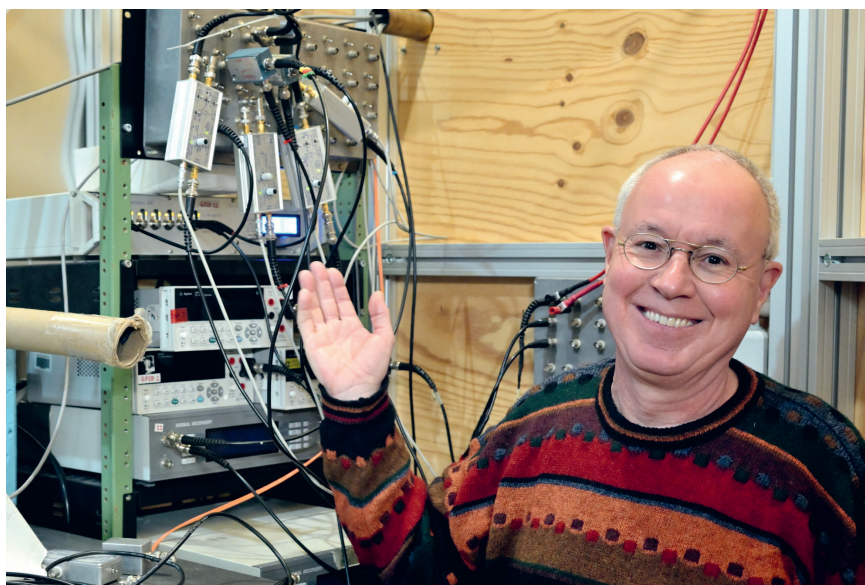
Im Zusammenhang mit der Verleihung der Ehrendoktorwürde wurden Sie auch für die Förderung der Jugend ausgezeichnet. Sie haben Jugendliche für Wissenschaft und für die Elektronik begeistert. Stehen da die Elektronik oder die Naturwissenschaften im Vordergrund?

Beides. Wir wirken beispielsweise beim Uni-Kids-Camp mit, wo Kinder von 8 bis 12 Jahren während einer Woche in den Sommerferien Uni-Luft schnupfern können. Das Uni-Kids-Camp wurde vor zehn Jahren ins Leben gerufen, um Eltern während den Ferien zu entlasten. Vor allem Eltern, die an der Uni angestellt sind, Professoren und Professorinnen in Basel. Dann wurde es ausgeweitet, und in der Zwischenzeit kommen auch externe Kinder, wobei die Kinder der Angestellten Vorrang haben. Die Kinder können bei uns im Elektroniklabor beispielsweise ein Geschicklichkeitsspiel, «die ruhige Hand», löten, das einen gebogenen Draht hat, den man nicht berühren sollte. In diesem Alterssegment ist die spielerische Komponente noch gross. Wir haben auch schon ein paarmal bei den Tec-Days an Gymnasien mitgemacht. Dort waren die Themen anspruchsvoller. Da ging es beispielsweise um Sensorik, um die menschlichen Sinne. Zu diesem Thema haben sie auch ein kleines Gerät zusammengebaut. Beispielsweise ein elektronisches Ohr, das mit THT-Elektronik realisiert wurde, also nicht SMD, weil es sich besser löten lässt. Es hat drei Frequenzfilter, für tiefe, mittlere und hohe Frequenzen. Je nach Tonhöhe leuchtet dann eine bestimmte Farbe. Es ist für die Jungen witzig, man kann es zu Hause zeigen. Wir haben auch ein elektronisches Auge als Bausatz realisiert, mit roter, blauer und grüner LED, mit dem man herausfinden kann, welche Farbkomponenten das eintreffende Licht hat. So kann man etwas über

Wellenlängen, Filter und Physik vermitteln und dies mit Elektronik kombinieren.

Haben Sie noch andere Veranstaltungen für Jugendliche?

Ja, wir führen noch die Saturday Morning Physics durch, ein Event, der Jugendliche zum Physikstudium motivieren soll, denn auch in der Physik ist es nicht einfach, die erforderlichen Klassengrößen zu erreichen. Der interdisziplinäre Studiengang Nanowissenschaften ist beliebt. Da kommen die Disziplinen Biologie, Chemie, Physik zusammen. Es ist schön, auf diese Weise einen Beitrag für die Naturwissenschaft zu leisten.



Die Präzisionselektronik wird ohne Anschlusskabel direkt ans Experiment angeschlossen, um Einstreuungen zu vermeiden.

Interview: Radomír Novotný