



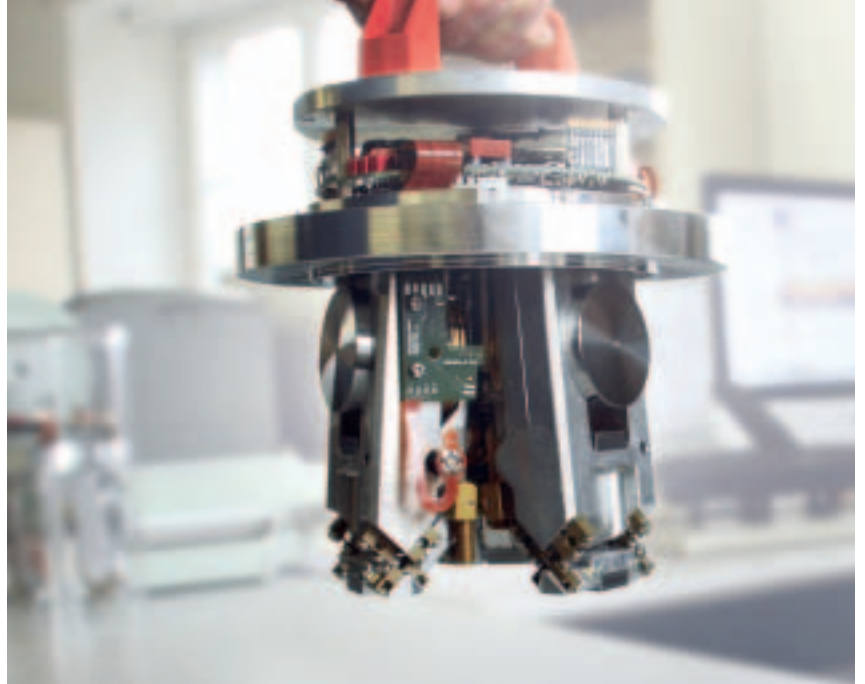
# Breitband- Seismometer

ERFASSEN **NANO-  
BEWEGUNGEN**



Stellen Sie sich einen Balken vor, der von Zürich nach Tokio reicht, über rund 10.000 Kilometer. In Tokio schiebt nun jemand ein Blatt Papier darunter. Das Seismometer, das auf dem Zürcher Balkenende steht, schlägt daraufhin aus und zeigt die minimale Änderung im Neigungswinkel exakt an. Diese unglaubliche Präzision erreichen Geräte der Schweizer Firma Streckeisen, deren Name in Fachkreisen als Synonym für Hochleistungsseismometer gilt. Vier Motoren von FAULHABER tragen dazu bei, dass die hochempfindlichen Sensoren ihre Arbeit zuverlässig ausführen können.

Pendel bleibt in  
Gleichgewichtsposition



Der Mensch fliegt zum Mond, er schickt Sonden bis zum Rand des Sonnensystems und darüber hinaus. In die Erde kann er aber höchstens einige tausend Meter vordringen. Um das Innere des Planeten zu erforschen, sind wir deshalb auf indirekte Verfahren angewiesen. Die Seismologie – von seismós, griechisch für Erderschütterung – erforscht deshalb die Erschütterungen, die von den Bewegungen der Kontinentalplatten hervorgerufen werden. Aus deren Ausbreitung zieht sie Rückschlüsse auf das Geschehen im Erdinneren, also ähnlich dem Baby, das man mittels Ultraschall betrachtet. Ein „richtiges“ Erdbeben, das man auch ohne Instrumente spürt, ist relativ leicht zu vermessen. Die Erschütterung ist heftig, entsprechend deutlich das Signal, das auch weniger empfindliche Sensoren erfassen können.

Schwieriger wird es, wenn die Bewegungen sehr klein sind, etwa der Wellenschlag des Ozeans, welcher als Mikroseismik auf der ganzen Welt vorhanden ist. Das traditionelle einfache Seismometer hat da keine Chance. Es besteht im Prinzip aus einem Gewicht – dem Pendel –, das an einer Feder hängt. Am Gewicht ist ein Stift befestigt, der bei Erschütterung Kurven auf eine fortlaufende Papierrolle zeichnet. Der Ausschlag zeigt die Stärke der Erschütterung – allerdings nur bis zu den Rändern der Papierrolle. Am anderen Ende wird die Empfindlichkeit von der Dicke des Stiftes begrenzt: Minimale Ausschläge unterhalb der Strichbreite sind nicht mehr deutlich zu erkennen. Dies entspricht einer Dynamik von ca. 60dB.

### 18 Kilometer breites Blatt

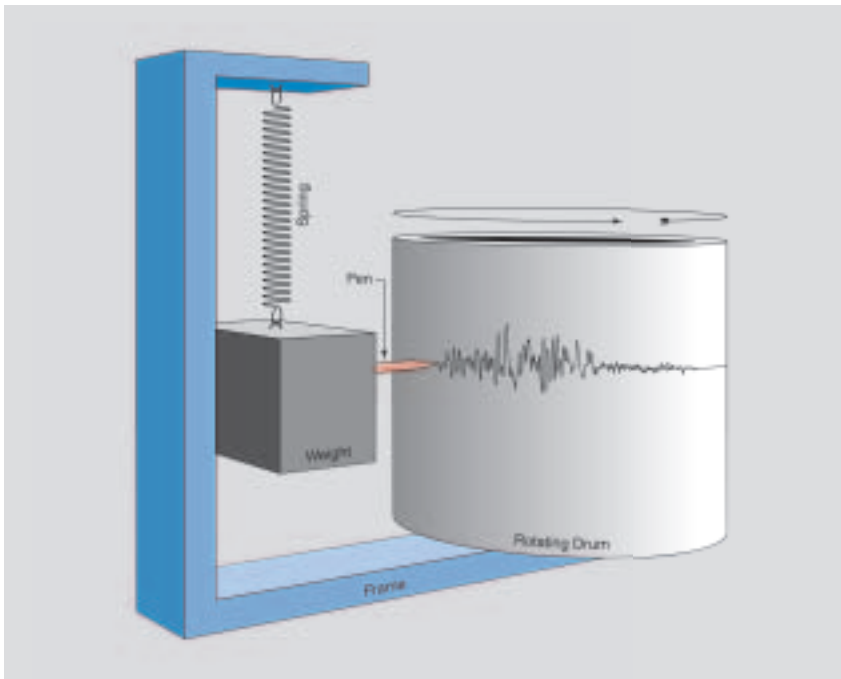
Um solche Beschränkungen zu überwinden, entwickelte der angehende Geophysiker Gunar Streckeisen an der ETH in Zürich im Rahmen seiner Diplomarbeit und unter Anleitung von Erhard Wielandt vor rund

35 Jahren das sogenannte Breitbandseismometer STS-1. Später gründete er in Winterthur die Streckeisen AG, um diese Geräte herzustellen und weltweit zu vertreiben. Klassische Seismometer gibt es seit da nicht mehr. Erhard Wielandt war zu dieser Zeit die treibende Kraft in der Entwicklung der modernen seismischen Messtechnik.

### Pendel bleibt in Gleichgewichtsposition

Das einzige, das ein Breitbandseismometer mit dem klassischen Vorgänger gemeinsam hat, ist das bewegliche Pendel, das auf Krafteinwirkung von aussen reagiert. Einen Stift braucht es nicht mehr, zumal ein solcher hier immer nur eine gerade Linie ziehen würde. Denn der Trick, mit dem die Streckeisen-Seismometer ihre extreme große Dynamik erreichen, besteht in der Nachführung: Ein elektromagnetisches Feedbacksystem sorgt dafür, dass das Pendel immer in der einmal gefundenen, austarierten Gleichgewichtsposition bleibt. „Das funktioniert wie eine elektronische Waage“, erklärt Robert Freudenmann, Geschäftsführer von Streckeisen. „Das Korrektursignal, welches für die Nachführung benötigt wird, ist gleichzeitig das Ausgangssignal. Je stärker die einwirkende Bewegung, desto größer diese Signal und damit bleibt das Pendel immer in der Mitte.“ Mit einem solchen Messprinzip erreicht man 145dB, was einer 18 km breiten Papierrolle entspricht.

Damit die Bewegungen der Erde in allen drei Dimensionen erfasst werden, enthält jedes Seismometer drei Pendel. Sie sind in einer leicht schrägen Position, kreisförmig angeordnet, jeweils um 120 Grad versetzt. Je nach Richtung der einwirkenden Kraft reagieren sie unterschiedlich, aus den Unterschieden lässt sich wiederum das dreidimensionale Bild der räumlichen Veränderung berechnen.



Schematische Darstellung eines alten, klassischen Seismometers

## Einmal in zehn Jahren ausbalancieren

Einmal installiert, arbeitet die hochpräzise Elektromechanik automatisch und ohne menschlichen Eingriff über lange Zeit. Entscheidend ist die exakte Ausrichtung des Seismometers und das Ausbalancieren der Pendel vor der Inbetriebnahme. „Traditionell werden Seismometer immer nach Osten ausgerichtet“, erzählt Robert Freudenmann. „Um die Pendel ins Gleichgewicht zu bringen, wird je eine bewegliche Masse auf den Pendeln soweit verschoben, bis diese perfekt ausbalanciert sind. Die Masse ist ein Zahnrad, das durch Drehen auf einer Achse hin und her bewegt wird. Es wird durch eine rechtwinklig dazu stehende Schnecke angetrieben. Zahnrad und Schnecke haben ein kleines Spiel. Wenn das perfekte Gleichgewicht erreicht ist, bleibt der Zahn der Verstellmasse ohne Berührung zwischen den Zahnflanken der Schnecke stehen, das Pendel bleibt also frei beweglich.“

## Dauerhafte Zuverlässigkeit

Diesen Vorgang, in Fachkreisen „Centering“ genannt, erledigt je ein Schrittmotor des Typs AM0820 mit 16:1-Planetengetriebe von FAULHABER. Er muss eine ganze Reihe von Anforderungen erfüllen, um der hochkarätigen Anwendung gerecht zu werden: geringe Abmessungen und Stromaufnahme; präzise Bewegung; Unempfindlichkeit gegen tiefe Temperaturen, denn Streckeisen-Geräte werden auch in Nord-Alaska und nahe dem Südpol eingesetzt. Das wichtigste ist aber die dauerhafte Zuverlässigkeit: „Für Langzeitmessungen wählt man Standorte, in denen die Umgebungsbedingungen sehr stabil sind“, erklärt Robert Freudenmann. „Im Extremfall werden die Pendel vor der Inbetriebnahme das erste Mal ausbalanciert, und das zweite Mal vielleicht erst zehn Jahre später. Dann muss der Motor nach langem Stillstand sofort wieder präzise sein Werk verrichten. Von den FAULHABER-Motoren wissen wir, dass sie das können.“

### SCHRITTMOTOR

AM 0820  
PRECiStep®-Technologie



### DC-KLEINSTMOTOR

Serie 0816 ... SR  
Ø 8 mm, Länge 16 mm  
Drehmoment 0,7 mNm



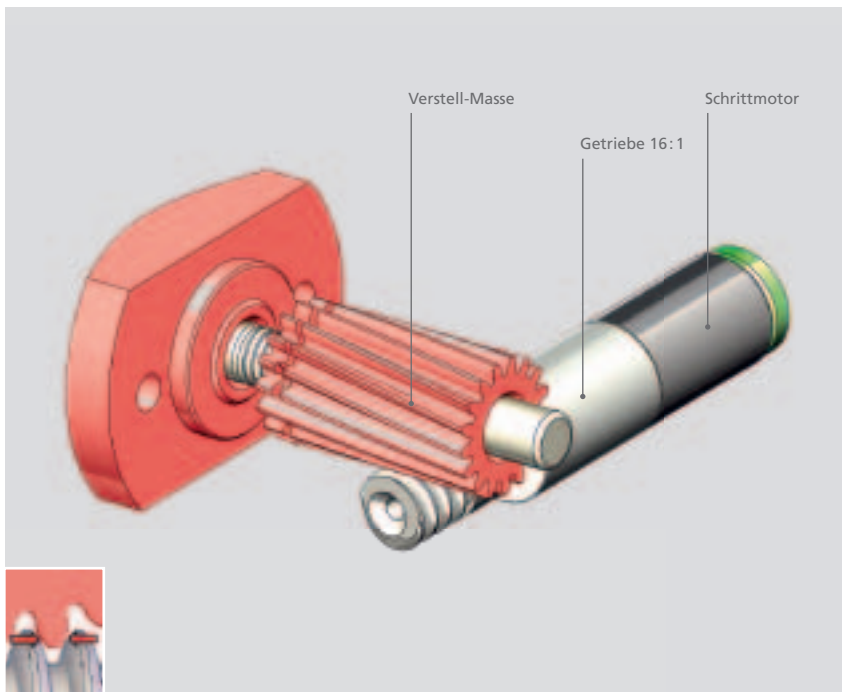
## Aufgeblähte Betonkammer

Nicht alle Geräte werden für Langzeitmessung eingesetzt. In sogenannten Array-Messungen wird eine größere Anzahl von Seismometern gitterförmig in einem bestimmten Gebiet angeordnet, um die Besonderheiten des dortigen Untergrundes zu erfassen. Sind die Messungen nach einigen Monaten oder wenigen Jahren beendet, wird das Gitter verschoben, die Geräte reisen zum nächsten Einsatz weiter. So werden zum Beispiel die Bundesstaaten der USA der Reihe nach vermessen. Die unvermeidliche Bewegung beim Transport ist aber Gift für die empfindlichen Sensoren. Damit sie keinen Schaden nehmen, werden die beweglichen Teile deshalb mit einer Transportsicherung arretiert. Das erledigt der

vierte Motor im Streckeisen-Seismometer, ein DC-Kleinstmotor 0816P006S. „Praktischerweise kann uns FAULHABER sowohl Schrittmotoren als auch Kleinstmotoren mit der passenden Spezifikation und hohen Qualität liefern“, betont Robert Freudenmann.

Die heutigen Seismometer von Streckeisen sind kleiner und einfacher aufzustellen als die erste Generation. Eine neue Variante mit rohrförmigem Gehäuse lässt sich in Bohrlöchern versenken. Nach wie vor wird aber die Montage in filigraner Handarbeit ausgeführt. Ob die Komponenten mit der nötigen Genauigkeit zusammenspielen, lässt sich erst am Ende überprüfen. Deshalb wird jeder fertige Sensor in einem Luftschutzkeller ausgiebig getestet, unter anderem auf die Unempfindlichkeit gegen Luftdruckschwankungen. Ein Ventilator bläst Luft in die von dickem Beton umgebene Kammer und „bläht“ sie auf. „Man mag es kaum glauben, aber der höhere Luftdruck verändert tatsächlich den Raum, wenn auch nur um wenige Nanometer“, erklärt Robert Freudenmann. „Unsere Geräte können diese Veränderung erfassen. Wäre ein Gerät undicht, würden wir ein abweichendes Signal bekommen. Mit solchen Tests stellen wir sicher, dass nur einwandfrei funktionierende Seismometer ausgeliefert werden, welche die Abläufe im Erdinnern genau erfassen.“

## UNEMPFINDLICH GEGEN TIEFE TEMPERATUREN



Am Ende des Centering-Vorgangs bleibt der Zahn der Verstellmasse ohne Berührung zwischen den Zahnflanken der Schnecke stehen.



Seismische GSN-Station QSPA am Südpol, Antarktis. Der Bau dieser Station erforderte das Anbringen von Bohrlöchern im Eis mit einer Tiefe von ungefähr 300 Metern. Das Foto zeigt die von der NSF beauftragten Bohrarbeiter bei der Bedienung der Eiskern-Bohrmaschine am Standort der Station QSPA (~5 Meilen vom Südpol entfernt).

### WEITERE INFORMATIONEN

Streckeisen GmbH  
Pfungen bei Winterthur, Schweiz

FAULHABER Schweiz  
[www.faulhaber.ch](http://www.faulhaber.ch)