

Bohnenbergers Maschine

Vor 200 Jahren erfunden, misst das Gyroskop Drehungen um alle drei Achsen des Raums. Kein Instrument ist so wichtig und wird doch so wenig beachtet. Jetzt erobert die Erfindung das Handy. *Von Andreas Hirstein*

Eigentlich sollte der neue Apparat nur eine «merkwürdige Bewegung in unserem Sonnensystem» veranschaulichen: die sogenannte Präzession der Erde, eine Art Torkeln der Erdachse. Niemand würde sich dafür interessieren ausser vielleicht ein paar Astronomen, fürchtete der Erbauer des Apparats. Und deswegen entschuldigte er sich auch gleich im ersten Satz bei seinen Lesern: «Ich würde mich nicht entschlossen haben, einen eigentlich in die physische Astronomie gehörenden Gegenstand (...) abzuhandeln, wenn die Maschine (...) nicht auch Erscheinungen darböte, welche auffallend genug sind, um die Aufmerksamkeit eines Physikers zu verdienen», schrieb Johann Bohnenberger 1817 in den «Tübinger Blättern für Naturwissenschaften und Arzneykunde». Seine Freunde hatten den Professor dazu gedrängt, die bereits einige Jahre alte Erfindung endlich publik zu machen. Einen Namen bekam die «Maschine von Bohnenberger» jedoch erst Jahrzehnte später in Frankreich von Léon Foucault: Gyroskop oder zu Deutsch Kreiselinstrument.

Dienst im Verborgenen

Besonderen Ruhm hat das Gyroskop seinem Erfinder bis heute nicht eingebracht, obwohl die Erfindung viel mehr als nur die «Aufmerksamkeit eines Physikers» erlangt hat. Gyroskope sind allgegenwärtig: in der Luft- und Raumfahrt genauso wie beim Bau von Tunneln und in modernen Autos. Doch anders als das Telefon oder die Glühbirne, die Alexander Bell und Thomas Edison zu Berühmtheiten gemacht haben, tun Gyroskope ihren Dienst im Verborgenen – so bescheiden wie ihr Tübinger Erfinder. Zur Kenntnis nimmt man sie nur, wenn sie einmal den Dienst quittieren, wie vor Jahren die Gyroskope des Hubble-Weltraumtele-

skops.

Doch jetzt ist es mit der schwäbisch-protestantischen Bescheidenheit vorbei. Denn rund 200 Jahre nach Bohnenberger hat Apple-Chef Steve Jobs das Gyroskop zwar nicht neu erfunden, aber doch immerhin für sich entdeckt. Das iPhone 4 ist das erste Handy mit integriertem Gyroskop. Natürlich soll es hier nicht die Präzession der Erde veranschaulichen. Seine Aufgabe ist es vielmehr, Drehungen des Geräts um seine drei Achsen zu messen. Die in heutigen Smartphones vorhandenen Sensoren können dagegen nur lineare Beschleunigungen feststellen: dass das Handy gedreht wurde und die Bildschirmanzeige entsprechend geändert werden muss, merken sie nur, weil die Schwerkraft plötzlich scheinbar in eine andere Richtung wirkt. Das ist die Grundlage von Apps, die die Funktion einer Wasserwaage simulieren oder ein mit Bier gefülltes Glas. Legt man ein solches Handy auf eine Tischplatte und dreht es vom Hoch- ins Querformat, verändert sich die Anzeige nicht. Ein Gyroskop würde diese horizontale Drehung registrieren. Es benötigt keine Schwerkraft, an deren Richtung es sich orientiert; es würde sogar in der Schwerelosigkeit funktionieren.

Durch die Kombination eines Gyroskops mit dem Beschleunigungssensor verfügt das iPhone 4 über die Möglichkeit, alle sechs Freiheitsgrade der Bewegung zu messen: lineare Bewegungen in die drei Raumrichtungen (x, y und z) und die Drehungen um diese drei Achsen des Koordinatensystems. Dies wird zukünftig die präzise Steuerung von mobilen Computerspielen erlauben, ein Markt mit Milliardenumsätzen. Navigationsprogramme werden anhand der Sensordaten die Geschwindigkeit und Richtung eines Autos auch in Tunneln ohne GPS-Empfang berechnen können. Diese Funktion ist heute den teuren, fest eingebauten Navigationssystemen vorbehalten. Mit dem Gyroskop erreicht der Trend zu

immer raffinierteren Sensoren einen weiteren Höhepunkt. Zum Standard gehört heute neben dem Beschleunigungssensor ein Umgebungslichtsensor, der die Bildschirmhelligkeit regelt, und ein Annäherungssensor, der das Display ausschaltet, wenn das Telefon ans Ohr gehalten wird. Das spart Strom und verhindert, dass Berührungen mit dem Ohr versehentlich als Eingabebefehle interpretiert werden. Viele Smartphones verfügen zudem über einen elektronischen Kompass, der die Richtung des Erdmagnetfelds bestimmt.

Mit ihren historischen Vorbildern und deren oft aufwendiger Mechanik haben die modernen Sensoren allerdings nicht mehr viel gemein. Ein elektronischer Kompass beispielsweise besitzt keine bewegliche magnetische Nadel. Vielmehr misst die Elektronik eine elektrische Spannung, die vom Erdmagnetfeld in einem internen Stromkreis hervorgerufen wird («Hall-Effekt»).

Bauteile aus Silizium

Es handelt sich bei diesem Kompass wie auch bei anderen Smartphone-Sensoren um sogenannte mikroelektromechanische Systeme (MEMS), die wie die elektronischen Halbleiterschaltungen aus Silizium gefertigt werden und die sich einfach in die Elektronik des Handys integrieren lassen. Von aussen betrachtet, unterscheiden sie sich nicht von gewöhnlichen schwarzen Halbleiterchips, die heute jedes elektronische Gerät bevölkern.

Das Gyroskop im iPhone 4 beispielsweise ist in einem 4×4×1 mm grossen Chip der Firma ST Microelectronics versteckt. Man vermutet, dass Apple rund 1 Dollar für das MEMS-Gyroskop bezahlen muss. Beschleunigungssensor und Kompass sind noch billiger. Zu Bohnenbergers Erfindung verhält sich ein MEMS-Sensor also wie eine billige Quarzuhr zu einer mechanischen Luxusuhr: Er ist viel billiger, arbeitet aber genauer.

Erhaltung des Drehimpulses

Bohnenbergers Gyroskop beruht auf einem zentralen Erhaltungssatz der Physik. Er besagt, dass eine rotierende Masse ihren Bewegungszustand – die Richtung der Achse und die Drehgeschwindigkeit – beibehält, sofern kein äusseres Drehmoment auf sie einwirkt. Zentrales Bauteil des Gyroskops ist eine kardanisch aufgehängte Masse (vgl. Grafik). Versetzt man sie in Drehung, ändert sich die Ausrichtung der Achse auch dann nicht, wenn man den Sockel der Apparatur auf den Kopf stellt. Denn die kardanische Aufhängung garantiert, dass kein Drehmoment übertragen wird.

Dieses Prinzip verbirgt sich hinter dem künstlichen Horizont im Flugzeug. Wenn die Maschine ihre Lage in der Luft ändert, bleibt der an eine rotierende Masse gekoppelte künstliche Horizont stabil. Das ermöglicht es dem Piloten, den Roll- und Nick-Winkel seiner Maschine im Verhältnis zur Erdoberfläche zu bestimmen.

Genauso liesse sich theoretisch auch die Orientierung eines Handys in der Hand des Benutzers messen. In der Praxis scheitert dieses Prinzip jedoch, weil die kardanische Aufhängung viel zu gross, kompliziert und stossempfindlich wäre. MEMS-Gyroskope nutzen deswegen ein vollkommen anderes Prinzip, das nicht auf der Erhaltung des Drehimpulses beruht. Der Name Gyroskop (griech. gyros, Kreisel) ist insofern irreführend. Denn MEMS-Gyroskope sind sogenannte Vibrations-Gyroskope. In den Halbleiterchips werden winzige Massen aus Silizium in eine gegenläufige Schwingung versetzt. Periodisch verändert sich daher auch der Abstand der Massen zur Drehachse. Wird er grösser, müssen sie sich schneller bewegen und werden beschleunigt (vgl. Grafik).

Daraus resultiert eine Kraft, die von der Drehgeschwindigkeit des Handys abhängt und die von der Elektronik gemessen wird. Physiker nennen die Kraft Coriolis-Kraft. Es ist dieselbe Kraft, die in der Atmosphäre Luftwirbel um Hoch- und Tiefdruckgebiete erzeugt. Dort sind es die Luftmassen, die ihren Abstand zur Erdachse vergrössern oder verkleinern, wenn sie sich zum Beispiel von Nord nach Süd bewegen.

MEMS-Sensoren gelten als einer der grössten Wachstumsmärkte der Halbleiterindustrie. Allein dieses Jahr erwartet das Marktforschungsunternehmen iSuppli ein Plus von 11 Prozent. Im Jahr 2014 sollen die Umsätze auf 10 Milliarden Dollar wachsen. Treibende Kraft waren in den letzten Jahren die Hersteller von Computerspiel-Konsolen. Beschleunigungssensoren wurden 2006 erstmals im Controller der Nintendo Wii eingesetzt. 2007 folgte das iPhone, heute hat fast jedes Smartphone einen solchen Chip an Bord.

Gyroskope erlebten ihre Premiere vergangenes Jahr, wiederum in einem Controller für die Konsole Wii. Und beginnend mit dem iPhone 4, werden

sie nun auch den Mobilfunkmarkt erobern. In fünf Jahren werden vermutlich rund 60 Prozent der Smartphones ein Gyroskop besitzen.

Welche Anwendungen die neuen Sensoren ermöglichen, lässt sich nur erahnen. Das bleibt der Phantasie der Software-Entwickler überlassen. Bessere Navigationssysteme und neue Computerspiele werden nicht lange auf sich warten lassen. Und sicher wird bald auch die erste App auftauchen, das «Bohnenbergers Maschine» auf dem iPhone-Display simuliert.