

KLEINSTSATELLITEN

Winzlinge im Orbit

Moderne Miniaturisierung ermöglicht erstaunlich leistungsfähige Satelliten mit gerade einmal zehn Zentimeter Größe. Sie eröffnen ganz neue Anwendungen für die Erdbeobachtung und Telekommunikation.

Von Klaus Schilling

Zum ersten Mal entließ die Internationale Raumstation ISS im Oktober 2012 mehrere kleine »CubeSats« in die Erdumlaufbahn. Hier schweben sie an den Solarmodulen der ISS vorbei.

NASA

Bei Satellitenmissionen dachte man bisher immer an große, teure und üblicherweise tonnenschwere Geräte. Zurzeit wächst jedoch ein Segment im Raumfahrtbereich besonders schnell, das sich in dramatisch kleineren Dimensionen abspielt: die Piko- und Nanosatelliten. Sie haben Massen von etwa einem beziehungsweise zehn Kilogramm. Von ihnen starteten 2013 und 2014 insgesamt rund 200 Exemplare – doppelt so viele wie in den ganzen zehn Jahren davor zusammengenommen. Sie profitieren von der modernen Miniaturisierungstechnik, der wir beispielsweise auch die Hochleistungselektronik in Smartphones verdanken. In die Erdumlaufbahn gelangen sie kostengünstig als Lückenfüller für sonst ungenutzte Kapazitäten regulärer Raketenstarts.

Aktuell befindet sich der Sektor in der besonders spannenden Übergangphase von Forschung und Ausbildung hin zu kommerziellen Anwendungen. Denn die Bordelektronik wurde zuverlässiger; ebenso gelingt die Kontrolle von Lage und Umlaufbahn besser. Zusammen mit Standards für die Abmessungen und elektronischen Schnittstellen erreichen die Kleinstsatelliten so bereits einen beachtlichen industriellen Reifegrad.

Zunächst engagierten sich ab dem Jahr 2000 die Universitäten auf diesem Feld. Am Beispiel eines Pikosatelliten lässt sich gut interdisziplinäre Zusammenarbeit üben, um ein funktionierendes komplexes Gesamtsystem zu verwirklichen. Auch können technologische Innovationen kostengünstig und rasch direkt im Orbit getestet werden. Erfahrungen fließen dann zeitnah in die nächsten Satelliten ein. So entwickelte sich weltweit ein extrem aktives Forschungsfeld mit raschen Fortschritten.

Inzwischen stellen immer mehr Firmenausgründungen Komponenten und Dienstleistungen für Pikosatelliten bereit. Kommerzielle Perspektiven entstehen vor allem beim Einsatz für die Erdbeobachtung. Das US-Unternehmen Planet Labs beispielsweise brachte bereits dutzende Satelliten in den Orbit. Die Sechs-Kilogramm-Geräte sollen von vielen Gebieten der Erdoberfläche ständig aktuelle Bilder mit einer Auflösung von bis zu wenigen Metern hinab liefern. Im Bereich der Telekommunikation planen mehrere Firmen, zu denen auch Google mit einer Beteiligung beim US-Raum-

fahrtunternehmen SpaceX gehört, ein weltumspannendes Internet mit hunderten niedrig fliegenden Kleinstsatelliten.

Die wachsende Zahl solcher Objekte im All führt manchmal zu Befürchtungen, dass sie zu einem weiteren Anstieg des so genannten Weltraummülls beitragen. Dieser besteht aus Überresten früherer Weltraummissionen wie Raketenoberstufen, ausgemusterten Satelliten und Trümmerteilen. Je mehr davon es gibt, desto häufiger führen Zusammenstöße unter ihnen zu zahllosen weiteren winzigen Projektilen. Bei einer bevorstehenden Kollision können aktive Satelliten höchstens ein Ausweichmanöver einleiten, wie dies beispielsweise schon für die Internationale Raumstation immer wieder vorkommt.

Radarstationen und Teleskope auf der Erde verfolgen die Bahnen von rund 30000 Objekten, die mehr als zehn Zentimeter messen. Insofern ist hier der Anteil der Kleinstsatelliten sehr gering. Nachdem sie üblicherweise auf niedrige Erdorbits geschossen werden, ist ihre Lebensdauer außerdem von vornherein begrenzt. In dieser geringen Höhe bremsen Zusammenstöße mit dort noch vorhandenen, extrem dünn verteilten Luftteilchen den Satelliten ab, bis er schließlich in der dichteren Atmosphäre verglüht. Mittlerweile können auch Antriebssysteme für kleine Raumsonden diese direkt auf Absturzbahnen befördern.

Missionen aus dem Baukasten

Am Anfang der Erfolgsgeschichte der Kleinstsatelliten stand die Standardisierung der so genannten CubeSats auf Würfel mit zehn Zentimeter Seitenlänge und etwa einem Kilogramm Masse durch Bob Twiggs von der US-amerikanischen Stanford University. Dadurch ließen sich gemeinsame Adapter für verschiedene Raketen nutzen. Mittlerweile sind auch bausteinartig Vielfache dieser Einheitsgröße möglich. Zunächst dienten die CubeSats meist als Ausgleichsmasse bei anderen Starts. Zunehmend nutzen aber mehrere der Winzlinge auch gemeinsam ganze Raketen, wie im November 2013 eine russische Dnepr-Rakete mit 32 Satelliten an Bord.

In den USA begann 2008 die National Science Foundation (NSF) das CubeSat-Programm, um kostengünstig Nutzlasten für Geowissenschaftler und Atmosphärenforscher in den Orbit zu bringen. Dabei fördert die NSF zwei bis drei Missionen pro Jahr drei Jahre lang mit typischerweise einer Million Dollar. Die Forscher entwickelten hierfür zahlreiche extrem miniaturisierte Messinstrumente. In Japan unterstützt die Japan Society for the Promotion of Science Forschung an Nanosatelliten. Auch die Europäische Union engagiert sich. Sie fördert insbesondere die Konstellation QB50 aus etwa 50 CubeSats, welche die Thermosphäre erkunden soll. Der Europäische Forschungsrat ERC unterstützt die Grundlagenforschung zu Satellitenformationen. So rückt allmählich die Aufgabe stärker in den Fokus der Forschung, mehrere Kleinstsatelliten im Orbit zu koordinieren und zu einem verteilten Sensornetz zu verknüpfen.

Minisatelliten sind meist zwar weniger leistungsfähig als ihre großen Brüder, dafür aber erheblich preisgünstiger. Bei

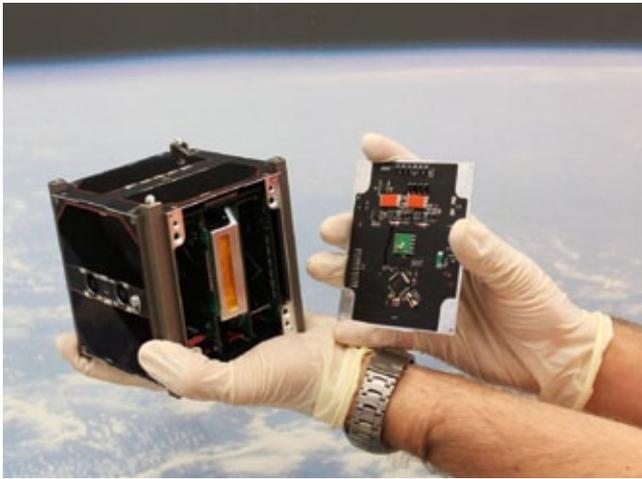
AUF EINEN BLICK

KLEIN UND ATTRAKTIV

1 Heute passt **Satellitentechnik** bereits auf Flugkörper mit wenigen Kilogramm Masse. Diese lassen sich relativ kostengünstig in die Erdumlaufbahn bringen, wo inzwischen auch ihre **Lageregelung** gelingt.

2 Dieses Raumfahrtsegment wächst rasant. Neben **Universitäten** investieren hier auch zunehmend **private Unternehmen**.

3 Wenn es gelingt, einzelne Kleinstsatelliten zu selbstständigen Formationen zu vernetzen, könnte das völlig **neuartige Missionen** ermöglichen.



Auf der Außenseite des Würzburger Pikosatelliten UWE-3 erzeugen Solarmodule Energie. Innen befinden sich Elektronik und Magnetfeldspulen.

ähnlichem Kostenaufwand können so Konstellationen (dabei kontrolliert eine Bodenstation alle Satelliten individuell) oder Formationen (hier messen die Satelliten selbst ihre Relativabstände und -orientierungen und koordinieren sich) anspruchsvolle Aufgaben wahrnehmen und klassische Großsatelliten ergänzen. Sie würden dann eine höhere zeitliche und örtliche Auflösung liefern und dreidimensionale Bilder bieten, wenn Messdaten aus unterschiedlichen Blickwinkeln kombiniert werden. Auch ist ein solches System zuverlässiger verfügbar, denn bei Ausfall eines Satelliten erfüllen die anderen unabhängig davon weiter ihre Mission. Eine technische Herausforderung ist dabei, dass jedes Objekt seine Lage und Umlaufbahn ermitteln und regeln können muss, um gezielte Beobachtungen durchzuführen und sich mit seinen Nachbarn zu verständigen. Ein weiterer aktueller Forschungsschwerpunkt konzentriert sich darauf, die einzelnen Satelliten robuster zu machen. Denn außerhalb der schützenden Erdatmosphäre trifft energiereiche Strahlung die elektronischen Bauteile, was zu Defekten führt.

Mit dem UWE-Programm (Universität Würzburg Experimentalsatellit) verfolgen wir in Würzburg seit 2003 schrittweise das Ziel, Technologien für den Formationsflug zu entwickeln. UWE-1 war der erste deutsche Pikosatellit und hatte

knapp ein Kilogramm Masse. Mit Unterstützung der ESA kam er 2005 in den Orbit. Dort führte er Telekommunikationstests für ein »Internet unter Weltraumbedingungen« durch. Hier genügte es, seine Lage passiv durch Wechselwirkung von Permanentmagneten mit dem Erdmagnetfeld zu stabilisieren – wie bei einem Kompass. Das baugleiche Referenzmodell zu UWE-1 ist nun im Deutschen Museum in München ausgestellt.

UWE-2 folgte 2009, um in dieser Gewichtsklasse Fähigkeiten zu entwickeln, mit denen sich Ort und Lage des Satelliten bestimmen lassen. Denn zunächst müssen die Position des Satelliten und die Blickrichtung der Instrumente bekannt sein, bevor man die Messdaten interpretieren kann. Dazu verwendeten wir eine Kombination von Sonnensensoren, Magnetspulen und kleinen Kreisel.

Das wissenschaftliche Ziel von UWE-3 war die Lageregelung, um den Satelliten und seine Instrumente gezielt in eine vorgegebene Beobachtungsrichtung drehen zu können. Er startete 2013. Sein Design beinhaltet wichtige Eigenschaften für künftige kommerzielle Systeme, wie den zuverlässigen Betrieb im Weltraum über längere Zeiträume hinweg und einen modularen Aufbau, um die Platinen flexibel austauschen zu können.

Ununterbrochener Betrieb trotz intensiver Weltraumstrahlung

Die nötige starke Miniaturisierung bei Pikosatelliten macht sie anfälliger für die störenden Effekte der Weltraumstrahlung, insbesondere, wenn kommerzielle Bauteile verwendet werden. Normalerweise wird in der Raumfahrt teure »strahlungsgehärtete« Elektronik eingesetzt, die den Bedingungen besser widersteht. Seit dem Start im November 2013 läuft UWE-3 ununterbrochen. Das gewährleisten ein redundantes System von Mikroprozessoren und eine eigens entwickelte Software, die Fehler sofort feststellt und nahtlos auf die jeweils noch funktionierende Einheit umschaltet. Gleichzeitig analysiert sie den Defekt am abgekoppelten Bauteil, korrigiert ihn und nimmt das Modul schnellstmöglich wieder in Betrieb. Auch auf der Erde werden solche Fähigkeiten für hochzuverlässige Systeme benötigt.

UWE-3 lässt sich ausrichten, indem seine stromdurchflossenen Magnetfeldspulen mit dem Erdmagnetfeld wechselwirken. Kombiniert mit einem einzelnen kleinen Reaktionsrad, das wie bei einem Kreisel Rotationsenergie aufnimmt und abgibt, kann das den Satelliten in allen drei Achsen steuern. Spezielle Computeralgorithmen zur Lageregelung erfassen die aktuelle Situation und gleichen die geringere Genauigkeit der Miniaturkomponenten aus.

Bei der kommenden UWE-4-Mission wird es vor allem darum gehen, die Position und die Umlaufbahn gezielt zu ändern. Ein sehr kompaktes elektrisches Antriebssystem soll dies energieeffizient bewerkstelligen. Dabei werden geladene Treibstoffpartikel in einem starken Magnetfeld beschleunigt und mit hoher Geschwindigkeit ausgestoßen. Der Materialverbrauch ist bei diesem Prinzip gering, allerdings entsteht

MEHR WISSEN BEI Spektrum.de

Unser Online-Dossier zum Thema »Raumfahrt« finden Sie unter



www.spektrum.de/t/raumfahrt





Im Februar 2014 setzte die Internationale Raumstation 28 Erdbeobachtungssatelliten der privaten US-Firma Planet Labs aus. Diese möchte mit Hunderten der 30 Zentimeter langen Teleskope täglich aktuelle Bilder von der Erdoberfläche liefern.

auf Grund der wenigen ausgestoßenen Masse nur ein kleiner Impuls. Bahnänderungen benötigen daher längere Zeiträume. Doch das sollte ausreichen, um die Störungen in einer Satellitenformation zu korrigieren. Der Antrieb ist in die Führungsschienen der Würfelkanten integriert. Teile der Struktur werden als Treibstoff verwertbar, da die Belastungen nach überstandener Raketenstart nicht mehr sehr hoch sind. Mit dem elektrischen Antrieb ließe sich der Satellit dann auch auf einen geeigneten Absturzorbit bringen, wenn seine Aufgaben beendet sind.

Systeme aus mehreren Satelliten waren bisher fast immer Konstellationen, in denen das Bodenkontrollzentrum jeden gesondert steuert. Mögliche Abweichungen von der vorgesehenen Umlaufbahn können dann immer erst beim Überflug entdeckt und korrigiert werden. Fehler häufen sich, bis wieder der nächste Kontakt erfolgt, möglicherweise erst nach mehreren Erdumrundungen. Effektiver wäre es, Abweichungen unmittelbar bei Entstehung im Orbit auszugleichen. Das geschieht bei Formationen. Hier tauschen die einzelnen Flugkörper Navigationsinformationen aus und kontrollieren selbstständig die Distanzen untereinander. So ist die Beobachtungsposition immer annähernd optimal. Solche Formationen gehören allerdings noch zu den großen Herausforderungen: Sie wurden bislang erst bei wenigen Großsatellitenmissionen und dann nur mit jeweils zwei Objekten in der Umlaufbahn erprobt.

Unser Würzburger Team arbeitet intensiv daran, mit »NetSat« erstmals eine Viererformation auf den Weg zu bringen. NetSat erhielt einen »ERC Advanced Grant«, den bestdotierten Wissenschaftspreis der Europäischen Union. Dieses Geld wird uns ermöglichen, vier Picosatelliten dreidimensional anzuordnen und damit neuartige Beobachtungsmethoden zu erproben.

Kleinstsatelliten bieten spannende Perspektiven, um neuartige Technologien rasch und kostengünstig in der Erdumlaufbahn zu testen. Davon könnte auch die Entwicklung der traditionellen Großsatelliten profitieren. Einzelne Sensor- und Elektronikkomponenten finden häufig schon auf Kleinstsatelliten Platz. Derartige Testkapazitäten im Orbit

sollten damit künftig schnellere Entwicklungszyklen in der Raumfahrt ermöglichen. So erprobte UWE-1 2005 seinerzeit neuartige, besonders effiziente Galliumarsenid-Solarzellen direkt im Weltraum. Diese Module sind heute bei vielen kommerziellen europäischen Satelliten im Einsatz.

Die möglichen Synergien gehen aber noch weiter: Kombinationen mit klassischen Satelliten könnten interessante Anwendungen ermöglichen. Auf dem großen Flugkörper würden die energieintensiven Systeme untergebracht sein, die etwa Strahlung zum Abtasten der Erdoberfläche aussenden. Die Empfänger für die rückgestreuten Signale fänden gut auf den kleinen Partnern Platz. Ein großflächiges Sensornetz mit Detektoren auf weit verteilten Kleinstsatelliten wäre ein leistungsfähiges, kosteneffizientes Gesamtsystem. Die Winzlinge könnten so grundlegend neue Lösungsansätze für Erd- und Weltraumbeobachtung schaffen. Manche Experten sehen deshalb auch in der Raumfahrt einen Paradigmenwechsel kommen – ähnlich wie in der Computerindustrie, die von einzelnen Großcomputern zu einer Vielzahl von per Internet vernetzten Rechnern überging. ~

DER AUTOR



Klaus Schilling ist Ordinarius für Robotik und Telematik an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg und Vorstand des Forschungsinstituts Zentrum für Telematik. Er arbeitete in der Raumfahrtindustrie an interplanetaren Sonden wie Huygens und Rosetta mit, aber auch an Erdbeobachtungsmissionen.

QUELLEN

D'Errico, M. (Hg.): Distributed Space Missions for Earth System Monitoring. Springer, New York 2012
Heidt, H. et al.: CubeSat: A New Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation, 14th Annual USU Conference on Small Satellites, Logan (USA) 2000
Schilling, K.: Networked Control of Cooperating Distributed Pico-Satellites. Proceedings IFAC World Congress Cape Town, 2014

Dieser Artikel im Internet: www.spektrum.de/artikel/1338238