

# Kleinsatelliten im Schwarm

## Mobile Ad-hoc-Netze im Weltraum hätten viele Vorteile

Ignasi Forcada,  
Adi Strauss

Grundlage für eine rasant wachsende mobile und interaktive Kommunikation ist eine zuverlässige und globale Vernetzung. Die klassische Datenübertragung unter Nutzung des Weltraums benötigt jedoch eine entsprechende Infrastruktur sowohl am Boden als auch im Orbit. Der Artikel zeigt das Potenzial eines möglichen selbstorganisierenden verteilten Kleinsatellitensystems auf, dessen Kommunikationswege zudem nicht einzeln vom Boden aus gesteuert und koordiniert werden müssten.

Von allen Raumfahrtanwendungen ist die Satellitenkommunikation der mit Abstand kommerziell erfolgreichste Sektor. Die technische und wirtschaftliche Bedeutung nicht-geostationärer Satellitensysteme steht derzeit im Vordergrund, auch und obwohl sich deren Markteintritt in der Vergangenheit womöglich als massiver Fehlschlag erwies, der den Investoren verschiedener Projekte erhebliche Verluste bescherte.

Für den Erfolg zukünftiger Systeme wird entscheidend sein, ob deren inhärente Vorteile (z.B. die Redundanzen für die Kommunikationsrouten, die Selbstorganisation, die Spezialisierung einzelner Satelliten auf dedizierte Fähigkeiten) konsequent genutzt und die Systeme in die terrestrische Infrastruktur integriert werden. In dieser Hinsicht gibt es für das Konzept der Schwärme vernetzter kleiner Satelliten (Manet – Mobile Ad Hoc Networks) finanzielle, technische und strategische Gründe:

Finanziell, weil der Bau kleiner Satelliten und deren Beförderung in eine niedrige Erdumlaufbahn deutlich weniger Kosten generiert. Technisch, weil Kleinsatelliten ein Höchstmaß an Miniaturisierung und Integration besitzen und dennoch kurze Entwicklungszeiten garantieren. Strategisch, weil die Schwärme wesentlich schwerer störfähig oder beeinflussbar sind. Damit ergeben sich schnelle Reaktionsmöglichkeiten auf besondere Ereignisse, wie z.B. den Ausfall von großen und langlebigen Satellitenmissionen.

### Kleinsatelliten: Die Motivation

Mobile Ad-hoc-Netze sind selbstkonfigurierende autonome Netze ohne feste Infrastruktur mit mobilen Knotenelementen, die keine zentrale Administration benötigen. In einem solchen Netz verteilter Systeme wird

nicht über einen allgemeinen Zugriffspunkt kommuniziert, sondern die einzelnen Netzelemente stellen eine Verbindung untereinander her. In einem klassischen Manet müssen die Netzknoten eigenständig in der Lage sein, den optimalen Kommunikationspfad zu finden und ein entsprechendes Routing durchzuführen.

### Großflächige Informationsverteilung

Während terrestrische Manets und ihre Anwendungen hinreichend bekannt sind und in der Vergangenheit bereits relativ gut untersucht wurden, ergeben sich für satellitenbasierte Manets (Sb-Manet) vollkommen neue und erweiterte Anwendungspotenziale – zum Beispiel Humanitarian Early Warning Services (HEWS), Supervisory Control and Data Acquisition (Scada), Katastrophenmanagement oder Datenzugriff aus Erdgebieten, die schwer zugänglich sind. Ziel ist es, mit Sb-Manets Anwendungsbereiche zu erschließen, die das Applikationsspektrum existierender kommerzieller Satellitensysteme in ihrer Leistungsfähigkeit ergänzen und erweitern.

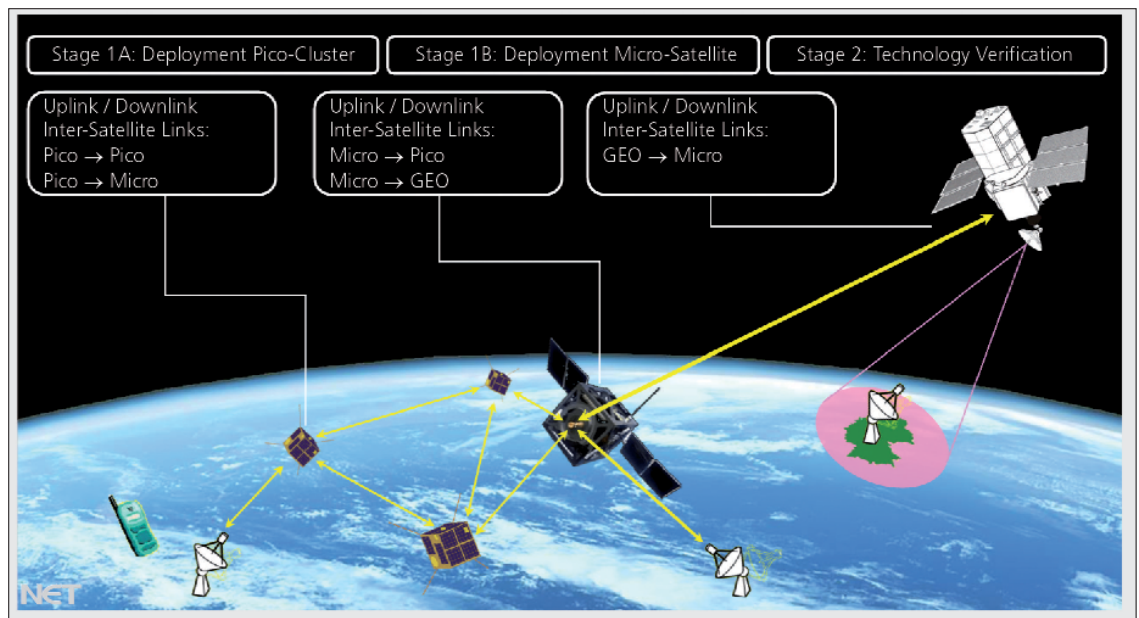
Das Thema der mobilen Ad-hoc-Satellitennetze grenzt sich somit klar von der Datenübertragung mittels terrestrischer Mobilfunknetze ab. In Ballungszentren erhält die terrestrische Infrastruktur den Vorzug, Satelliten dagegen sind für die großflächige Informationsverteilung von Vorteil und dies insbesondere in strukturschwachen Gebieten. Um ausreichende Kapazitäten für die anfallenden Datenmengen gewährleisten zu können, ist eine In-Orbit-Vernetzung der Satellitensysteme dringend erforderlich und wünschenswert.

Weiterhin hat die Satellitenkommunikation auch in Krisensituationen wie Naturkatastrophen eine zunehmend wichtigere logistische Funktion. Die

*Dr. Ignasi Forcada ist Senior Project Manager, Adi Strauss Project Engineer bei der Berner & Mattner Systemtechnik GmbH in München*

Daten- und Kommunikationsanbindung ist in solchen Situationen unverzichtbar, in denen keine terrestrische Infrastruktur zur Verfügung steht, diese zerstört wurde oder die Bodenhoheit nicht verfügbar ist.

*Das Missionskonzept eines satellitenbasierten mobilen Ad-hoc-Netztes*



Insbesondere in Entwicklungsländern spielen Satelliten für die Aus- und Weiterbildung sowie die Grundversorgung der Bevölkerung mit Informationen und Datendienstleistungen eine zunehmend größere Rolle.

### In-Orbit-Verifikation neuer Technologien

Der Bedarf an kurzfristig und kostengünstig zu implementierenden Sensorsystemen für die Weltraumtechnik wächst weltweit. Aufgrund der hohen Anforderungen in der Raumfahrt durchlaufen alle Technologiekonzepte einen mehrstufigen Verifikationsprozess. Hierunter fallen alle Maßnahmen, die erforderlich sind, um die Funktion, Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems zu bestätigen. In diesem Zusammenhang sind Kleinsatelliten ideal als Technologieträger für den Test von neuartigen Instrumenten und Beobachtungsmethoden in Vorbereitung größerer Missionen geeignet. Kleinsatelliten bieten sich auch als Sensorplattformen an, da sie schnell und kostengünstig in den Orbit gebracht werden können. Ziel ist es, mit einigen kleinen Satelliten einen gro-

ßen ersetzen zu können. Die Aufgaben der Kleinsatelliten in Erdumlaufbahnen zwischen 300 km und 700 km Höhe sind vielseitig. Sie reichen von der Umweltbeobachtung über die Ereignisdetektion auf der Erdober-

fläche bis zur Telekommunikation und zu spezifischen wissenschaftlichen Fragestellungen. Die Anzahl der benötigten Satelliten ist wiederum abhängig vom konkreten Anwendungsfall, da nicht in allen Situationen eine ständige globale Abdeckung erforderlich ist.

### Kleinsatelliten: Die Herausforderung

Ein selbstorganisierendes verteiltes Satellitensystem, dessen Teilnehmer nicht einzeln vom Boden aus gesteuert und koordiniert werden müssen, ist die folgerichtige Lösung für die genannten zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten. Ein derart aufgebautes Netz ist skalierbar und mit entsprechenden Endgeräten nutzbar. Bei Ausfall eines Knotens können andere Knoten als Redundanzen fungieren. Das Konzept der Schwärme kleiner Satelliten nutzt die Erfahrungen und F/E-Ergebnisse aus Satellitenprojekten wie UWE-1 und UWE-2 (Universität Würzburg Experimentalsatellit), Tub-sat (TU Berlin) und Beesat (Berlin Experimental and Educational Satellite). Das Bild zeigt ein mögliches zukünfti-

ges Sb-Manet, das eine Near-Realtime-Datenkommunikation von Satelliten, die sich in LEO-, MEO- oder GEO-Positionen befinden, und Bodenstationen realisiert (LEO – Low Earth Orbit, MEO – Medium Earth Orbit, GEO

– Geosynchronous Earth Orbit). Das Zusammenwirken setzt aber voraus, dass die einzelnen Elemente in geeigneter Weise miteinander kommunizieren.

Die ständige Änderung der Topologie im Schwarm, bedingt durch die hohe Satellitendynamik und den relativ kurzen Lebenszyklus von Kleinsatelliten in niedrigen Erdorbits, hat einen Einfluss auf die Kommunikationsstruktur. Innerhalb der Kleinsatellitenformation treten definitionsgemäß nur geringe Relativgeschwindigkeiten auf. Im Zusammenwirken mit den Bodenstationen und ggf. einem GEO-Satelliten oder in einer mit mehreren Orbits aufgebauten Konstellation ergeben sich jedoch erhebliche Relativgeschwindigkeiten.

Daraus resultieren weitere technische Herausforderungen wie die selbstorganisierten Zu- und Abgänge von Satelliten sowie das vielschichtige Störniveau, die komplexe Strahlung und das Auseinanderdriften der Satelliten im Lauf der Zeit. Deshalb muss ein Sb-Manet in der Lage sein, autark auf Änderungen seiner Netztopologie zu reagieren, und folglich muss auch das Routing dynamisch erfolgen.

Diese fundamentalen Erkenntnisse fordern eine Anpassung des Routing-Verfahrens der terrestrischen Manets. Die Kommunikation zum Boden findet über entsprechende Endgeräte statt, die zu Verbindungsknoten des Netzes werden. Zunächst ist an eine Technologiedemonstration gedacht, in der dedizierte Bodenstationen verwendet werden. Bis zur Umsetzung einer potenziellen Verwertungsmöglichkeit sind signifikante Verbesserungen der Sendeleistungen miniaturisierter Bauteile zu erwarten und damit eine Reduzierung der Endgerätemasse.

### **Kleinsatelliten: Das Vorhaben**

Bei dem mittelständischen Unternehmen Berner & Mattner Systemtechnik arbeitet die Space Group am operationellen Konzept eines selbstorganisierenden verteilten Satellitensystems im LEO und potenzieller darauf aufsetzender Applikationen. Geeignete Satellitenkonfigurationen und die entstehenden Kommunikationswege

werden computergestützt simuliert, um fundamentale Grundlagen für das Kommunikationskonzept eines Satellitenschwarms, insbesondere für die Entwicklung geeigneter Übertragungsprotokolle und Routing-Algorithmen, zu gewinnen.

Es gilt jetzt, die Realisierbarkeit der Verwertungsmöglichkeiten und innovative Einsatzmöglichkeiten für ein Sb-Manet zu analysieren. Eine solche Untersuchung erfordert die Fachexpertise wissenschaftlicher Einrichtungen, die die Entwicklung von Kleinsatelliten und selbstorganisierenden Kommunikationsnetzen zum Forschungsgegenstand haben und die Entwicklungstrends auf diesem Gebiet verfolgen und entscheidend mitbestimmen. In einer Kooperation mit dem Institut für Luft- und Raumfahrt der Technischen Universität Berlin und mit dem Lehrstuhl für Robotik und Telematik der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, die modernste Kleinsatellitentechnologien entwickeln, werden Untersuchungen durchgeführt, die zur Systemfähigkeit in

Deutschland beitragen sollen. Das Münchner Unternehmen hat angesichts dieser wirtschaftlichen Erfolgsaussichten ein starkes Interesse an der kommerziellen Umsetzung der Studienergebnisse über eine Technologiedemonstration hinaus.

### **Resümee**

Terrestrisch für verschiedene Anwendungen bereits entwickelt und erprobt, wären mobile Ad-hoc-Netze im Weltraum (Sb-Manets) ein Novum. Ihr hohes Innovationspotenzial besteht darin, dass ihre Kommunikationswege nicht einzeln vom Boden aus gesteuert und koordiniert werden müssen. Ein weiterer spezifischer Vorteil liegt in der koordinierten Interaktion mehrerer räumlich verteilter Satelliten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit. Für den Erfolg solcher Sb-Manets wird es jedoch entscheidend sein, ob ihre inhärenten Vorteile konsequent genutzt und die Systeme in die terrestrische Infrastruktur integriert werden können. (we)