

# profilwissen

DAS WISSENSCHAFTSMAGAZIN DER PROFIL-REDAKTION

Nr. 3 • 30. September 2015

100 JAHRE RELATIVITÄTSTHEORIE

## EINSTEIN ENDLICH ERKLÄRT

Die Neuerfindung von  
Raum und Zeit

Die bizarren Phänomene  
unseres Universums

Die Welt des Albert Einstein:  
Schule, Frauen, Politik

Wahr oder falsch:

Welche Sprüche stammen  
wirklich vom Popstar der Physik?

**PLUS**

Übernehmen **Kraken** die Weltherrschaft? ■ **Satelliten** im Wohnzimmerformat  
Hightech gegen globalen **Wassermangel** ■ Die **Gelse**, ein gigantischer Gegner

€ 7,90





**EXOCUBE**

**Betreiber:** California Polytechnic State University (USA)  
**Start:** 31. Jänner 2015  
**Gewicht:** 4 kg  
**Mission:** Untersuchung der äußersten Atmosphäre der Erde

# Mini-Missionen

Unter Satelliten stellt man sich Kolosse voller modernster Technologie vor, die in enormer Höhe durchs All gleiten. Doch nun setzt sich eine ganz neue Generation von Flugkörpern durch: Sie sind winzig, wendig – und sogar für Schulen und Privatorganisationen leistbar. Österreichische Unis haben bereits die ersten dieser CubeSats gestartet.

VON FLORIAN FREISTETTER

**A**m 30. Mai 2015 hatten die Mitarbeiter der Planetary Society Grund zum Jubel. Ihr Satellit „LightSail“ kommunizierte wieder mit der Erde. Zuvor war er tagelang stumm geblieben. Der Bordcomputer war abgestürzt, und es gab keine Möglichkeit, ihn neu zu starten. Erst die zufällige Kollision eines Teilchens der kosmischen Strahlung mit der Elektronik des Rechners schaffte, was die Ingenieure nicht zuwege bringen konnten: Der Computer wurde rebootet und der Satellit nahm seine Arbeit wieder auf. Das klingt unwahrscheinlicher, als es ist. Denn LightSail gehört zu einer speziellen Gruppe von Satelliten: den CubeSats. Und bei denen kommt solch ein kosmischer Neustart immer wieder vor.

Der erste Satellit, den die Menschheit in eine Umlaufbahn um die Erde schickte, war vergleichsweise klein. Sputnik 1 hatte einen Durchmesser von 58 Zentimetern und wog knapp 84 Kilogramm. Dann wurden die Raumfahrzeuge aber schnell immer komplexer und größer. Der im April 2012 ausgefallene europäische Erdbeobachtungssatellit Envisat brachte mit einer Masse von mehr als acht Tonnen schon das Hundertfache von Sputnik auf die Waage und war mit 25 Metern so lang wie ein Autobus. Aber zu diesem Zeitpunkt hatte sich der Trend beim Bau von Satelliten bereits wieder umgekehrt. Statt immer größere Geräte zu bauen, setzte man auf Miniaturisierung.

Im Jahr 1999 schlugen die amerikanischen Wissenschaftler Jordi Puig-Suari und Bob Twiggs ein neues Design vor, das es Studenten ermöglichen sollte,

selbst einen Satelliten zu konstruieren, dessen Fähigkeiten etwa denen von Sputnik 1 entsprechen sollten. 2003 flog der erste sogenannte „CubeSat“ ins All. Mittlerweile hat sich das Projekt von damals zu einem internationalen Standard entwickelt. Ein CubeSat ist ein Würfel mit einer Seitenlänge von zehn Zentimetern, der nicht mehr als ein Kilo wiegt. Wie Bausteine können mehrere davon zu größeren Einheiten kombiniert werden. Der LightSail-Satellit der Planetary Society ist ein 3U-CubeSat, besteht also aus drei aneinandergereihten Zehn-Zentimeter-Würfeln („Units“).

Die standardisierten und kleinen Ausmaße bringen einige Vorzüge mit sich: „Die Entwicklungskosten eines CubeSats sind im Vergleich zu einem großen Satelliten sehr viel geringer, auch die Entwicklungsdauer ist kürzer“, sagt Micha-



### **FUNCUBE-1**

**Betreiber:** Amateurfunk-satellitenvereinigung UK (Großbritannien)

**Start:** 21. November 2013

**Gewicht:** 1 kg

**Mission:** Ermöglicht Schülern die Durchführung von Experimenten im Weltall



### **VERMONT LUNAR CUBE**

**Betreiber:** Vermont Technical College (USA)

**Start:** 20. November 2013

**Gewicht:** 1 kg

**Mission:** Erprobung von Technologie für den Bau eines CubeSats, der den Mond umkreisen kann



## **Best of klein**

Eine Auswahl internationaler CubeSats, ihre Basisdaten und wie ihre Mission lautet.

el Taraba, beim Österreichischen Welt- raumforum (ÖWF) Teamleiter des Projekts Pegasus. „Das hat den Vorteil, dass man neue Technologien viel schneller ins All bringt, Forschungsprojekte in kürzerer Zeit durchführen kann, schnelleres Feedback aus dem All bekommt und schon kurze Zeit später ein Nachfolgeprojekt ins Leben rufen kann.“

Gemeinsam mit der Technischen Universität Wien und der Fachhochschule Wiener Neustadt arbeitet das ÖWF seit 2013 daran, im Rahmen einer internationalen Kollaboration einen zehn mal zehn mal 20 Zentimeter großen Minisatelliten zu bauen. Pegasus soll im Jahr 2016 ins All fliegen und dort die Thermosphäre erforschen – den Bereich der Lufthülle unseres Planeten, der zwischen 80 und 500 Kilometer über dem Erdboden liegt. Taraba sieht den Nutzen der

CubeSats aber nicht nur in der Forschung, sondern auch bei der Ausbildung des akademischen Nachwuchses: „Die Schüler und Studenten können direkt an angewandter Forschung ihre Ausbildung absolvieren, wobei gerade der Bereich Weltraum hervorragend dazu geeignet ist, weil Weltraumforschung fast alle Bereiche abdeckt.“

Jonis Kiesbye kann das nur bestätigen. Er ist einer der studentischen Leiter beim „MOVE-II“-Projekt der TU München und sieht in der konkreten Arbeit beim Bau des Satelliten einen guten Ausgleich zur passiven Teilnahme an Vorlesungen: „Der Lernerfolg eines CubeSat-Projekts ist enorm: Man durchläuft alle Entwicklungsphasen eines Satelliten. Man muss sich schwierigen Bedingungen stellen und zusammen mit vielen Leuten ein komplexes Gerät zum Funktionieren ▶



### **GENESAT-1**

**Betreiber:** NASA (USA)

**Start:** 16. Dezember 2006

**Gewicht:** 5 kg

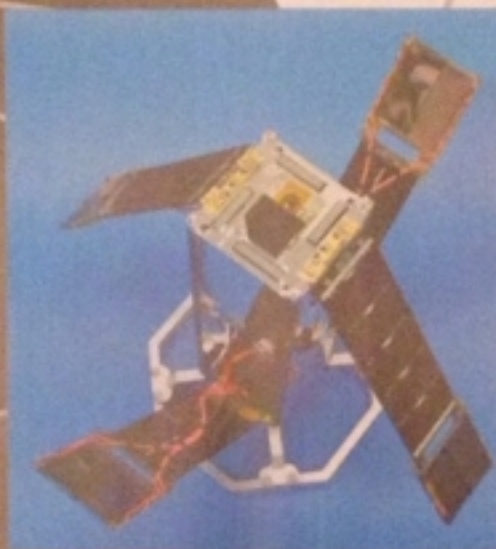
**Mission:** Untersuchung des Verhaltens von Bakterienkulturen im Weltall





#### PHARMASAT-1

**Betreiber:** NASA (USA)  
**Start:** 19. Mai 2009  
**Gewicht:** 5 kg  
**Mission:** Untersuchung des Verhaltens von Arzneimitteln in Schwerelosigkeit



#### DELF-C3

**Betreiber:** Technische Universität Delft (Niederlande)  
**Start:** 28. April 2008  
**Gewicht:** 2,2 kg  
**Mission:** Erprobung verschiedener Typen von Solarzellen

bringen.“ In München hat man schon 2013 einen ersten CubeSat unter studentischer Beteiligung ins Weltall geschickt. „First-MOVE“ sollte neuartige Solarzellen testen. Beim Nachfolgerprojekt „MOVE-II“ will man nun einen neuen Ausklappmechanismus für Solarpaneele ausprobieren.

Gerade für solche Tests neuer Technologien sind CubeSats ideal. Bei den teuren und komplexen konventionellen Weltraummissionen kann man es sich kaum leisten, neue Methoden zu prüfen. Wenn man Millionen für den Bau eines großen Satelliten ausgibt, an dem oft Jahrzehnte geplant und gebaut wird, möchte man den Erfolg der Mission verständlicherweise nicht vom Funktionieren ungetesteter Technologien abhängig machen. Ein typischer Satellit arbeitet daher selten am neuesten Stand der

Technik, sondern verwendet Bauteile, die schon älter, dafür aber verlässlich sind.

Einen CubeSat zu bauen und ins All zu bringen, geht dagegen relativ schnell. Die Kosten für die Konstruktion und den Start liegen meist im Bereich von 100.000 Dollar und können auch von kleinen Teams und Universitäten aufgebracht werden. Die Basiskomponenten müssen nicht extra entwickelt werden, man kann Elektronik aus Massenproduktion einsetzen. Und dank ihrer geringen Größe brauchen sie wenig Platz in den Raketen. Im Idealfall lässt sich gleich ein ganzer Schwarm von CubeSats ins All bringen, die verschiedenste Missionen verfolgen und unterschiedliche neue Technologien testen. Fehlschläge sind bei CubeSats nicht ganz so dramatisch wie bei den großen konventionellen Missionen, meint Kiesbye: „Wenn es nicht

„Wenn es nicht klappt, baut das nächste Team eben etwas Besseres.“





### MARS CUBE ONE

**Betreiber:** JPL/NASA (USA)  
**Start:** März 2016  
**Mission:** Begleitung der Mars-Mission InSight; Beobachtung der Landung von InSight aus einer Mars-Umlaufbahn; Kommunikation mit der Erde



### NEE-01 PEGASO

**Betreiber:** Agencia Espacial Civil Ecuatoriana (Ecuador)  
**Start:** 26. April 2013  
**Gewicht:** 1,3 kg  
**Mission:** Erdbeobachtung und Suche nach Asteroiden. Erster Satellit Ecuadors



### ESTCUBE-1

**Betreiber:** Universität Tartu (Estland)  
**Start:** 7. Mai 2013  
**Gewicht:** 1 kg  
**Mission:** Erprobung eines elektrischen Sonnensegels



### SKYCUBE

**Betreiber:** Privat, finanziert durch Crowdfunding  
**Start:** 9. Jänner 2014  
**Gewicht:** 1,3 kg  
**Mission:** Versenden von Funkbotschaften aus dem All, Freisetzung eines Ballons im Weltall

klappt, baut das nächste Team halt etwas Besseres."

Auf jeden Fall geklappt hat der Start der ersten beiden österreichischen Satelliten UniBrite-1 und TUGsat-1, die am 25. Februar 2013 ins All flogen. Beide sind CubeSat-Würfel mit einer Seitenlänge von 20 Zentimetern und sollen die Helligkeit von Sternen messen, um dadurch mehr über ihren inneren Aufbau und ihre Entwicklung zu lernen. „Ich empfinde es hoch an der Zeit, dass auch in Österreich ein Weltraumprojekt komplett von der ersten Schraube bis zur wissenschaftlichen Publikation geplant und durchgeführt wird, inklusive der weltweiten rechtlichen Verantwortung vor der Staatengemeinschaft“, sagte Professor Werner Weiß von der Universität Wien, als er gemeinsam mit Professor Otto Koudelka von der TU Graz im Jahr 2014 den

Polarstern-Preis des Österreichischen Weltraumforums erhielt. Die beiden Wissenschaftler leiteten die jeweiligen Teams, die beide Satelliten bauten und sich um die wissenschaftliche Auswertung der Daten kümmerten.

Durch diese erfolgreichen Missionen wurde Österreich erstmals zu einem sogenannten „Startstaat“ und nahm damit ganz neue völkerrechtliche Pflichten auf sich, die in einem eigenen Bundesgesetz über die Genehmigung von Weltraumaktivitäten und die Einrichtung eines Weltraumregisters umgesetzt wurden. Würde einer der Satelliten auf die Erde fallen und Schaden anrichten, wäre Österreich im Rahmen der „Weltraumhaftung“ dafür verantwortlich. Damit ist aber bei den kleinen CubeSats nicht zu rechnen. Sie fliegen normalerweise nur in niedrigen Umlaufbahnen und werden durch die

Restatmosphäre der Erde schnell abgebremst, bis sie in den dichteren Bereichen der Lufthülle verglühen.

Noch aber sind die beiden österreichischen Satelliten aktiv und liefern Daten, von denen Wissenschaftler und Studenten gleichermaßen profitieren, sagt Werner Weiß: „Für die Studierenden ergibt sich aus ihrer Mitarbeit ein Lernpotenzial, das weit über den regulären Studienplan hinausgeht. Masterarbeiten, Dissertationen, wissenschaftliche Publikationen sowie Beiträge bei Konferenzen belegen die hohe Qualität dieser Teamarbeit.“

Natürlich haben die Minisatelliten auch Nachteile. Ihre Größe macht es so gut wie unmöglich, Triebwerke zur Korrektur ihrer Umlaufbahn einzubauen. Die ihnen zur Verfügung stehende Energie ist im Vergleich zu konventionellen Satelliten sehr gering und beträgt meis-



## Der Größenvergleich

Die Dimensionen von Satelliten diverser Generationen zeigen den wiederkehrenden Trend zur Miniaturisierung.

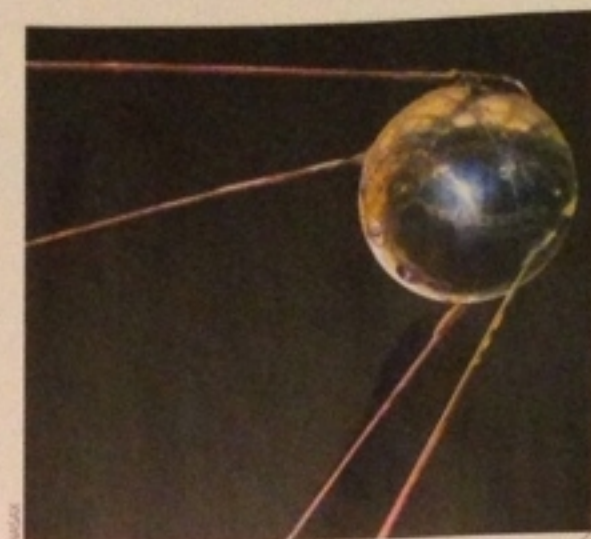


### Envisat (2002)

Masse: 8211 kg

Größe: 25 x 10 x 7 m

Höhe Umlaufbahn: 767 km



### Sputnik 1 (1957)

Gewicht: 84 kg

Größe: 58 cm Durchmesser

Höhe Umlaufbahn:

maximal 939 km



### UniBrite-1 (2013)

Masse: 7 kg

Größe: 20 x 20 x 20 cm

Höhe Umlaufbahn: 790 km

tens nur wenige Watt. Das macht sie für Langzeitmissionen ungeeignet, genau wie ihre geringe Lebensdauer. Ein kleiner CubeSat lässt sich zudem nur schlecht gegenüber der im All existierenden kosmischen Strahlung abschirmen. Dieser von der Sonne und anderen Sternen stammende Strom an geladenen Teilchen kann die Elektronik an Bord daher innerhalb kurzer Zeit zerstören respektive unbrauchbar machen. Oder aber, wie beim LightSail-Satellit, wieder in Gang setzen.

LightSail demonstriert auch, wohin sich die CubeSats in Zukunft entwickeln können. Dieser kleine Satellit wurde nicht von nationalen Raumfahrtbehörden oder Universitäten gestartet, sondern von der privat organisierten Planetary Society, die Bau und Start durch Spenden aus der Öffentlichkeit finanzierte. Zweck der Mission ist der Test eines neuen Antriebssystems: Statt klassischer Triebwerke soll der Satellit mit einem Sonnensegel durchs Weltall fliegen. Der

kleine CubeSat enthielt eine dünne Folie, die im Weltraum zu einer Fläche von 32 Quadratmetern entfaltet werden kann. Sie reflektiert das Licht der Sonne, und die dabei übertragene Kraft wirkt wie der Wind auf das Segel eines Schiffs. Die aktuelle LightSail-Mission sollte vorerst nur zeigen, dass die Technik der Entfaltung in der Realität funktioniert. Zwei Nachfolgeprojekte werden dann tatsächlich mit dem Sonnensegel durch den Weltraum manövrieren.

Der Technologietest von LightSail, der trotz der Computerprobleme am Ende erfolgreich war, hat eindrucksvoll gezeigt, wozu CubeSats in der Lage sind. Die Entwicklung von Weltraumtechnik steht nicht mehr nur großen Behörden wie NASA oder ESA offen, sondern allen: Von kleinen Ländern wie Österreich über Universitäten, Schulen bis zu privaten Organisationen. Die private Bastelei an Satelliten wird in Zukunft zunehmen, meint Michael Taraba vom Österreichi-

schen Weltraumforum: „Viele kleine Firmen bieten Bausätze an, mit denen man auf dem Küchentisch einen echten funktionsfähigen, weltraumtauglichen Satelliten zusammenbauen kann.“

Und Jonas Kiesbye von der TU München prognostiziert eine immer weitere Miniaturisierung. Ganze Schwärme winziger, nur wenige Gramm schwerer „Femtosatelliten“ könnte mithilfe der Magnetfelder von Erde, Sonne oder anderer Planeten manövrieren und sich zu verschiedensten Strukturen zusammenfinden: „Als Schwarm können solche Satelliten ein leistungsstarkes Antennenarray oder einen hochsensiblen Sensor bilden“, so Kiesbye. Bis es aber so weit ist, wird noch einiges an Forschungsarbeit notwendig sein, und viele neue Technologien werden mit den CubeSats getestet werden müssen. Das sieht auch Michael Taraba so. Seine Antwort auf die Frage, welcher CubeSat unbedingt noch gebaut werden muss: „Der nächste.“