

Zwerg im Weltraum

Die Raumfahrt schrumpft:
Statt riesiger Raketen tragen
heute Mini-Flugkörper
winzige Satelliten ins All

TEXT: PETER M. SCHNEIDER

Bei einem Wettbewerb mit dem Titel »Die schönste Startrampe der Welt« würde der »Rocket Lab Launch Complex 1« auf der neuseeländischen Halbinsel Mahia einen der vorderen Plätze einnehmen. Die Startrampe für die »Electron«-Rakete des Unternehmens Rocket Lab ist von Weiden umgeben, dahinter steile Kliffs, gefolgt vom weiten Blau des Pazifiks. Hier wird die Electron aufgerichtet, betankt und ins All geschossen. Im Dezember 2019 brachte sie gleich sieben Kleinsatelliten in eine über 1000 Kilometer hohe Umlaufbahn.

Zehnmal startete die Electron bereits von Mahia. So spektakulär ihr Startplatz liegt, so ungewöhnlich ist die Rakete selbst. Mit lediglich 17 Meter Höhe und 13 Tonnen Gewicht gehört sie zu den Kleinraketen, den Micro-launchern. Zum Vergleich: Die europäische Trägerrakete »Ariane 5« wiegt 777 Tonnen. Ihren Exotenstatus dürfte der Winzling in der internationalen Raumfahrt bald verlieren: Weltweit arbeiten Ingenieure an über 80 Versionen von Kleinraketen. Etwa die Hälfte davon wird in den USA entwickelt, ein gutes Viertel in Europa, der Rest verteilt sich auf fast alle anderen Erdteile.

Im Vergleich zum »Weltraum-Lkw« Ariane 5 mit ihrer Tragkraft von 16 Tonnen ist die Electron mit 150 Kilogramm Tragkraft ein besseres Lastenfahrzeug. Die geringe Stärke ist aber kein Zeichen mangelnder Ambitionen ihrer Ingenieure. Sie ist so gewollt. Die Kunden von ►



Schöner starten:
der Launch Complex 1 von
Rocket Lab in Neuseeland

Eine 17 Meter hohe
Kleinrakete vom Typ
Electron hebt von
einer Startrampe des
Unternehmens
Rocket Lab ab.

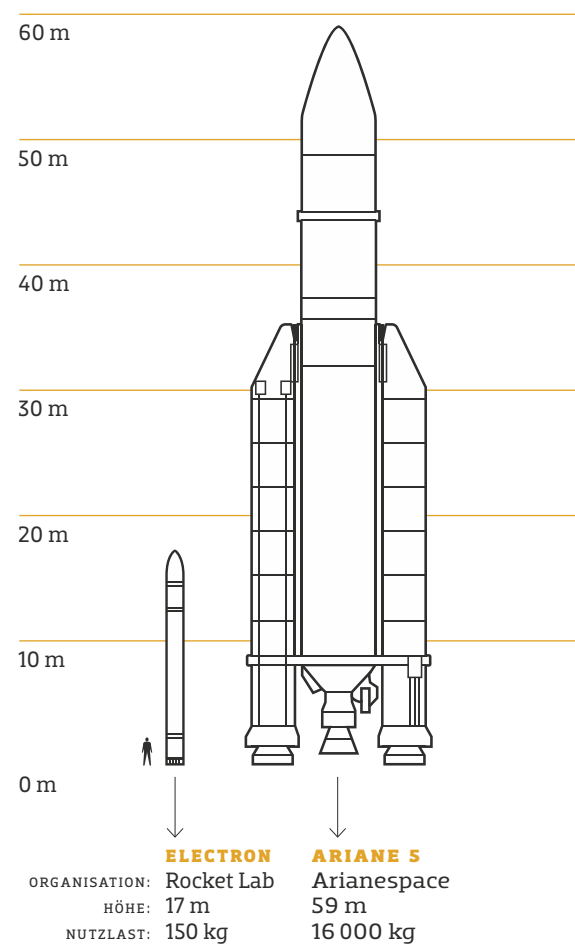
FOTOS: TREVOR MAHLMANN/ROCKET LAB, DPA PICTURE-ALLIANCE



Das Triebwerk von HyImpulse entwickelte durch Verbrennen von Paraffin und Sauerstoff bislang zehn Kilonewton Schub. 2020 sollen es 75 werden – das Triebwerk einer Boeing 737 erzeugt etwa 100 Kilonewton.



Die Gründer von HyImpulse waren als Studenten bei der Entwicklung der Heros 3 beteiligt. Sie erreichte über 32 Kilometer Flughöhe.



Rocket Lab sind häufig Universitäten und private Unternehmen, die ihre vergleichsweise kleinen und leichten Satelliten auf niedrige Umlaufbahnen im All schicken wollen. Auf großen Raketen fliegen sie bislang häufig nur als Sekundärlast mit. Die Firmen haben dabei wenig Einfluss auf Starttermin und Zielorbit. Die neuen Trägersysteme machen den Transport von Kleinsatelliten planbarer.

Microlauncher sind keine neue Erfindung. Die bestehenden Kleinraketen erwiesen sich jedoch als zu teuer. Der Start der bisher gebräuchlichsten Kleinrakete »Pegasus« etwa kostet 40 Millionen US-Dollar. Das bedeutet, dass jedes Kilogramm Nutzlast umgerechnet etwa 80 000 Euro kostet. In den vergangenen 30 Jahren sind die Pegasus-Raketen des US-Unternehmens Northrop Grumman Innovation Systems daher lediglich 44-mal geflogen.

Zwar werden auch die neuen Microlauncher pro Kilogramm Nutzlast nicht so billig fliegen wie große Raketen, aber deutlich

preiswerter als die Pegasus – dank einem ganzen Schwung neuer Technologien. Dabei sieht die zweistufige Electron von Rocket Lab sieht von außen recht gewöhnlich aus. Doch in ihrem Inneren befördert eine Elektropumpe Kerosin und Sauerstoff in die Triebwerke – einmalig in der Welt der Flüssigraketen. »Da fällt vieles von der komplexen Maschinerie der Turbopumpen weg, die normalerweise bei herkömmlichen Triebwerken eingesetzt wird«, sagt Morgan Bailey von Rocket Lab. Die Triebwerke der Microlauncher sind zudem viel einfacher zu bauen, erreichen aber laut Bailey immer noch 90 Prozent der Leistungsfähigkeit von Turbopumpen.

Einen Nachteil gibt es allerdings: Um die Pumpen anzutreiben, muss die Electron-Rakete schwere Lithium-Polymer-Batterien transportieren. Sobald zwei der drei Batterien leer sind, werden sie abgestoßen, um sie nicht bis zum Zielorbit mitschleppen zu müssen.

Die tragenden Elemente und Tanks der Electron sind weitgehend aus Verbundwerkstoffen

konstruiert – ebenfalls aus Gewichtsgründen. Laut Rocket Lab wäre die Electron doppelt so schwer, wenn man sie wie viele andere Raketen aus Aluminium bauen würde.

Einfach ist es allerdings nicht, eine Rakete auf Diät zu setzen. »Die Fertigung großer Strukturen aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff ist sehr schwierig«, sagt Stefanos Fasoulas, Professor für Raumtransporttechnologie an der Universität Stuttgart. »Das muss absolut fehlerfrei sein. Das Material ist sehr spröde. Es schließt sich nicht, wenn ein Riss auftritt, sondern geht schlagartig kaputt.«

Für zahlreiche Teile des Triebwerks – Ventile, Brennkammer, Einspritzpumpen – greifen die Ingenieure auf 3-D-Druckverfahren zurück. »Dageht es um Geschwindigkeit«, so Bailey. »Um häufiger starten zu können, müssen wir in der Lage sein, Raketen schnell zu bauen. Und per 3-D-Druck können wir die Triebwerke in nur 24 Stunden herstellen.« Die rasche Produktion ist notwendig, weil die zwei

Stufen der Electron über insgesamt elf Triebwerke verfügen. Außerdem plant Rocket Lab, bis Ende 2020 jede Woche eine Electron zu bauen und zu starten. Preis: umgerechnet etwa 4,5 Millionen Euro, also etwa 30 000 Euro pro Kilogramm Nutzlast.

Rocket Lab ist nicht der einzige Akteur auf dem Feld der Microlauncher. Das Raumfahrtunternehmen Relativity Space mit Sitz in Los Angeles setzt ebenfalls auf 3-D-Drucktechnik und treibt sie auf die Spitze. Ihr fünf Meter hoher Drucker »Stargate« soll in den kommenden Jahren gleich eine ganze Rakete drucken. Wenn die drei Arme von Stargate beispielsweise einen Treibstofftank bauen, erinnert das stark an alte Töpferkunst. Auf Youtube zeigt ein Zeitraffervideo deutlich, wie der zwei Meter breite und vier Meter hohe Tank auf einer Drehscheibe Schicht für Schicht in die Höhe wächst, während der Roboterarm mit einem elf Kilowatt starken Lasergeschmolzenes Aluminium aufträgt.

Dabei ist das Besondere an Stargate nicht einmal der Superlativ, der größte 3-D-Drucker der Welt zu sein. Das ist ein Rekord, der schon bald passé sein wird. Stargate steht vielmehr für die konsequente Anwendung der Technologie. »3-D-Druck ist nicht immer die günstigste Produktionsmethode«, so Fasoulas. »Allerdings kann man Funktionen einbauen, die bei herkömmlichen Produktionsmethoden nicht möglich sind, beispielsweise Sensoren oder Gasleitungen. Und die fertigen Produkte sind leichter.« So besteht das Triebwerk von Relativity Space nicht aus bis zu 3000 Teilen wie bei vergleichbaren Raketen, sondern aus nur etwa 100 Einzelteilen.

Weltraumbahnhof Norddeutschland?

Im Herbst 2019 forderte der Bundesverband der Deutschen Industrie die Schaffung von privaten Startrampen für kleine Raketen. Die Flughäfen Rostock-Laage und Nordholz bei Cuxhaven kämen dafür infrage. Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier sagte eine Prüfung zu. 2020 will er zudem Eckpunkte für ein Weltraumgesetz vorlegen.

Microlauncher bringen Kleinstsatelliten ins All. Hier ist die Ladung für einen Electron-Raketenstart 2018 zu sehen: Sie bestand aus 13 Cubesats.



Wenn der Start gelingt, haben die Ingenieure gute Arbeit geleistet. »Die Porosität von 3-D-gedruckten Strukturen muss bei Brennkammern oder Tanks gleich null sein«, so Fasoulas. Am Ende will Relativity Space die ganze Rakete aus weniger als 1000 Teilen bauen und in nur 60 Tagen komplett fertigstellen.

Der »Terran 1« genannte zweistufige Microlauncher soll etwa 900 Kilogramm Nutzlast von Cape Canaveral aus in eine 500 Kilometer hohe Umlaufbahn befördern. Preis pro Nutzlastkilo: umgerechnet knapp 10 000 Euro. Im Gegensatz zur Electron hat die Rakete den Start noch vor sich, geplanter Erstflug ist Ende 2020. Doch das erst vier Jahre alte Unternehmen um seinen erst 28 Jahre alten Chef Tim Ellis ist nicht zu unterschätzen: Es hat bereits 185 Millionen Dollar Investorengelder eingesammelt.

Nicht allen Unternehmensgründern gelingt es so erfolgreich, Mittel für die Umsetzung ihrer Ideen aufzutreiben. Die ►

23 %

Liste gescheiterter Unternehmen wächst ständig. Das liegt sicherlich an den zuweilen recht originellen oder schwierig umzusetzenden Ideen. So wollte die Firma Swiss Space Systems Satelliten von einem suborbitalen Raumgleiter namens »S3« aus starten. Das schweizerische Unternehmen verschwand nach einem krachenden Konkurs vom Markt.

Sogar vorangeschrittene Projekte haben es schwer, spendable Investoren zu finden. Zero 2 Infinity, ein Unternehmen aus Barcelona, will seine kleine dreistufige Rakete »Bloostar« per Heliumballon in 22 Kilometer Höhe steigen lassen. Das kurios aussehende Gefährt hat 2017 bereits einen kurzen, aber erfolgreichen Testflug über dem Atlantik absolviert. Grund für den Start in großer Höhe ist nicht nur, sich den Treibstoff für die ersten Kilometer zu sparen. Vielmehr ist der Luftdruck dort oben schon so

Zuwachs im Markt für Kleinsatelliten

wurden für den Zeitraum von 2009 bis 2018 verzeichnet – Tendenz steigend. 2018 gehörten bereits 69 Prozent aller ausgebrachten Satelliten zur Kategorie Kleinsatelliten.

Das Unternehmen **Relativity Space** beabsichtigt, mit dem zurzeit größten 3-D-Drucker der Welt 95 Prozent einer Rakete vom Typ **Terran 1** herzustellen.

gering, dass die Luftmassen den empfindlichen Raketen kaum noch Widerstand leisten. Aus diesem Grund verwendet auch der Kleinraketen veteran Pegasus die Luftstarttechnik.

Das Gleiche gilt für die Kleinrakete »Launcher One« von Virgin Orbit, die von einer Boeing 747 abgeworfen wird. Im Juli 2019 hat das Unternehmen den Abwurfmechanismus erfolgreich getestet und einen Start der Launcher One für das Frühjahr 2020 in Aussicht gestellt. Erfolgreiche Tests sind gewöhnlich das beste Argument, um die Welt von einer Idee zu überzeugen.

Die Gründer des deutschen Raketen-Start-ups HyImpulse haben genau das geschafft. Schon als Studenten der Universität Stuttgart gelang es ihnen, vom nordschwedischen Startplatz Esrange eine Rakete in 32 Kilometer Höhe zu schießen. Nun bauen sie an einer Rakete, die Paraffin als Treibstoff nutzen soll, und haben für diesen Plan einen Inves-

tor gefunden.

Paraffin ist auch als Kerzenwachs bekannt, eine feste Masse und relativ schwer entzündlich. Eine Rakete mit Kerzenantrieb also? Das stimmt. Das »Kerzenwachs« wird aber mit flüssigem Sauerstoff abgefackelt. »Paraffin sind langkettige Moleküle aus Kohlenstoff und Wasserstoff«, sagt Christian Schmierer, Co-CEO von HyImpulse. »Das ist Kerosin sehr ähnlich. Daher erreichen wir fast die gleichen Austrittsgeschwindigkeiten wie entsprechende Flüssigkeitstriebwerke.«

Der geplante Schub von 75 Kilonewton pro Triebwerk reiche aus, um die drei Stufen der über 30 Tonnen schweren und 25 Meter hohen Rakete inklusive 400 Kilogramm Nutzlast in den Weltraum zu befördern, so Schmierer. Allerdings nur rechnerisch. Die noch namenlose Rakete existiert bisher nur auf dem Papier. Immerhin zündete das etwa 20 Mann starke Team bereits ein kleines Triebwerk im

Ballonstart
Der Microlauncher **Bloostar** der spanischen Firma **Zero 2 Infinity** startet seine Triebwerke erst, nachdem ihn ein Ballon auf 22 Kilometer Höhe gebracht hat.



Raketenprüfstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Lampoldshausen. »Im kommenden März testen wir unser großes Triebwerk – ein erster Meilenstein«, sagt Schmierer.

Eine gigantische Geschäftschance

Amerikanische Banken sind bei der Einschätzung des Wachstums der Weltraumindustrie extrem optimistisch. Sie glauben, dass der Markt von zurzeit etwa 350 Milliarden Dollar weltweit auf über eine Billion Dollar steigen wird.



Peter M. Schneider bereiste Neuseeland, als der Launch Complex 1 noch nicht existierte. Für einen Raketenstart dort würde er sofort wieder seinen Rucksack packen.

Die von HyImpulse genutzten »hybriden« Raketenmotoren werden in Raumfahrzeugen bisher selten verwendet. Das prominenteste Beispiel ist das »SpaceShipTwo«, das ab 2020 Touristen in den Weltraum fliegen soll (siehe P.M. 11/2019). »Der Vorteil der Hybridraketen ist, dass sie extrem sicher sind«, weiß Schmierer. Denn das Paraffin befindet sich schon als fester Bestandteil in der Brennkammer. In sie wird der Sauerstoff zum Entzünden geleitet. Die heißen Abgase strömen durch eine Düse und erzeugen den Rückstoß. Das ist der Unterschied zu reinen Feststoffraketen wie Feuerwerksraketen, deren Treibstoffe als Gemisch vorliegen.

»Da sich die Treibstoffe nicht vollständig mischen, können sie auch nicht explodieren«, sagt Schmierer. »Sollte mal etwas schiefgehen, dann zerstören wir nicht im Umkreis von einem Kilometer die Infrastruktur. Die Rakete würde lediglich abbrennen wie eine Kerze.« Geringe Risiken machen den Betrieb der Rakete billiger – zusammen mit den niedrigen Kosten fürs Paraffin ein womöglich entscheidender Vorteil im Wettbewerb der Kleinraketen. Angepeilter Starttermin ist 2022 – falls sich jemand findet, der bereit ist, einen »mittleren zweistelligen Millionenbetrag« zu investieren.

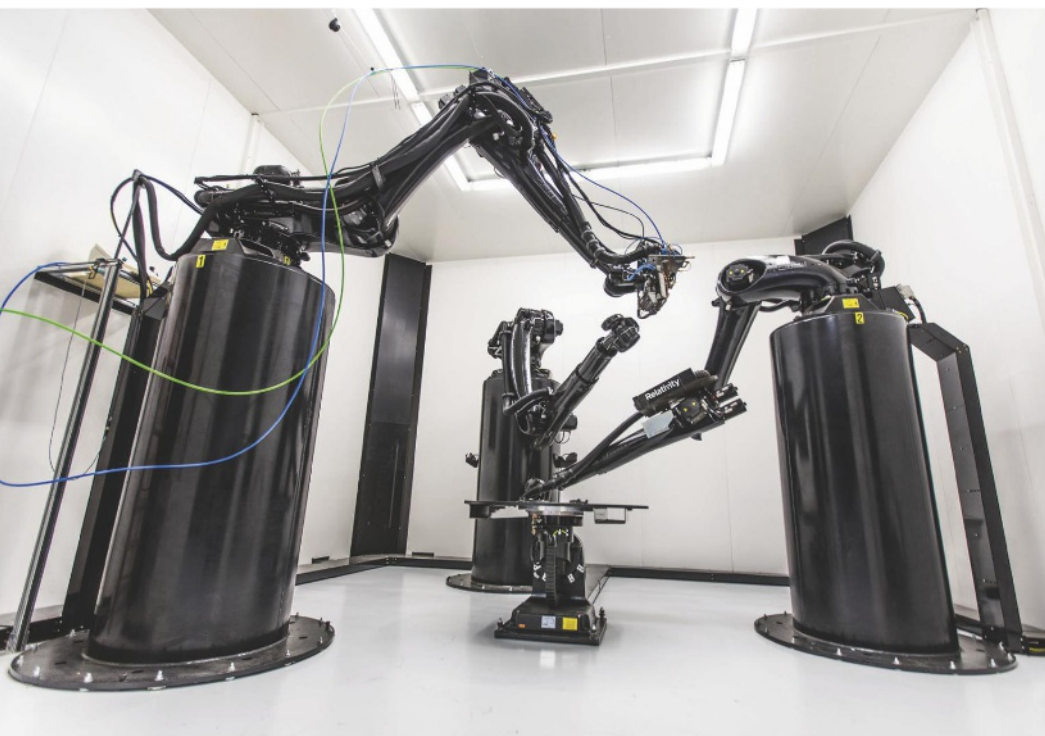
Die Zeit drängt. Mittlerweile haben acht Microlauncher erfolgreich den Orbit erreicht, davon vier in China. In den kommenden Monaten und Jahren dürften einige hinzukommen. Viele Experten bezweifeln allerdings, dass es genug Satelliten gibt, um alle geplanten Raketen

mit Aufträgen zu versorgen. Etliche Unternehmen werden verschwinden, ohne dass ihre Raketen den Orbit erreichen.

Akute Gefahr droht ihnen von einem Unternehmen, das zwar ursprünglich mal mit einer kleinen Rakete angefangen hat, doch jetzt mit großen Raketen, Raumkapseln und sogar einem Marsraumschiff Furore macht: SpaceX hat angekündigt, schon ab März auf seiner Rakete »Falcon 9« monatliche Flüge für kleine Satelliten anzubieten – zu einem Kampfpfeis von umgerechnet nur 4500 Euro pro Kilo. ■

P.M. KOMPAKT

- **Microlauncher** sind nur wenige Meter große Raketen, die kleine Satelliten ins All bringen.
- Sie tun dies oft **kostengünstiger und schneller** als herkömmliche Raketensysteme.
- Viele Teile der Microlauncher kommen aus **3-D-Druckern**.



FOTOS: RELATIVITY SPACE (2), ZERO 2 INFINITY (2)