

# Bahn frei

**FOKUS MICROLAUNCHER:** Rund um den Globus arbeiten Start-ups an leichten Trägerraketen, die Kleinsatelliten punktgenau im Orbit absetzen. Der jungen Branche droht ein harter Verdrängungskampf.

VON S. ASCHE UND I. HARTBRICH

**E**in neues Space Race hat begonnen. Aber diesmal geht es nicht um den Mond, sondern um den erdnahen Orbit. Weltweit werden in über 100 Projekten kleine, leichte Trägerraketen für Satellitenstarts entwickelt, sogenannte Microlauncher.

Die Raketendindustrie folgt damit dem Trend zur Miniaturisierung, den die Kunden in der Satellitenbranche längst begonnen haben. Teure, große Einzelsatelliten mit langer Lebensdauer werden immer häufiger durch Konstellationen abgelöst, die aus Hunderten oder sogar Tausenden von Kleinsatelliten bestehen. Diese sind billiger, weil sie in Serie gefertigt werden. Und sie sind immer auf dem neuesten Stand der Technik: Veralten ein paar Satelliten, startet der Betreiber kurzerhand neue.

Marktprognosen gehen von 8600 neuen Kleinsatelliten zwischen 2019 und 2028 aus. Demnach werden im selben Zeitraum Startaufträge in Höhe von 13 Mrd. \$ vergeben.

Angesichts solcher Zahlen könnten Microlauncher-Firmen interessant sein für Wagnisfinanzierer. Doch die meisten Investoren scheuen die hohen Investitionssummen. Und in Deutschland sind öffentliche Förderungen rar.

**Viele Microlauncher-Firmen schie-len auf die Konstellationen,** weil sie sich eine enorme Anzahl an Starts versprechen. Eine davon ist die

Rocket Factory Augsburg (RFA, s. Seite 6), deren größter Geldgeber der Ariane-Zulieferer MT Aerospace ist. „Wir wollen Megakonstellationen starten“, sagt der RFA-Vorstand Stefan Brieschenk.

Peter Beck, Chef des US-Unternehmens Rocket Lab, glaubt nicht an dieses Geschäftsmodell. „Microlauncher sind und bleiben ein Nischenmarkt“, sagt der Neuseeländer. Rocket Lab ist das einzige Unternehmen, das aktuell kommerzielle Starts mit leichten Trägerraketen anbietet. Dessen Launcher Electron hat eine maximale Nutzlastkapazität von 227 kg und kostet pro Start 7,5 Mio. \$.

**Von den Preisen großer Raketen sind Microlauncher** noch weit entfernt. Der Referenzpreis der SpaceX-Rakete Falcon 9 liegt bei annähernd 10000 \$/kg Nutzlast in den erdnahen Orbit. Leichte Launcher mit 300 kg Nutzlastkapazität liegen laut RFA anfangs bei 20000 \$/kg und mehr. Doch lassen sich leichte und schwere Raketen nur bedingt vergleichen. Kleinsatelliten können auch mit großen Trägern gestartet werden, allerdings nur als Sekundärnutzlasten. Das bedeutet: Der Kunde mit der Primärnutzlast entscheidet über den Startzeitpunkt, den Orbit und die Bahnneigung.

Diesen Nachteil gibt es bei Microlaunchern nicht. Beck vergleicht es mit dem ÖPNV: „Wenn ich unbedingt zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort sein muss, nehme ich ein Taxi. Wir sind das Taxi.“

ANZEIGE

Softwareprodukte für die Optimierung des Energie- und Materialflusses bei Versorgern und Industrie.

**PSI**  
www.psi.de

## Pandemien vorhersagen

**MEDIZIN:** Die Simulation eines Gesundheitsdienstleisters hat die Ausbreitung der Corona-Pandemie bereits vor der Weltgesundheitsorganisation prognostiziert. KI-Algorithmen durchforsteten dazu z. B. Flugbuchungen, Wetterdaten und aktuelle Nachrichten.

**10**

### ZITAT

„Führen bedeutet Orientierung geben, eine Vision und ein Leitbild entwerfen.“

**Katrin Adt,** Leiterin des Bereichs Mercedes-Benz Cars Own Retail Europa

**28**

## Kälte aus dem Hausanschluss



**Das Fernkältenetz in München** wird in Rathausnähe derzeit weiter ausgebaut. Foto: panthermedia.net/kanuman

**GEBÄUDETECHNIK:** Fernwärme ist bekannt, Fernkälte hingegen immer noch ein exotisches Produkt. Dabei dürfte der Bedarf aufgrund der wärmer werdenden Sommer zunehmen, zum Beispiel in Büros, Hotels und Rechenzentren. München setzt bereits darauf. Aktuell erweitert die Landeshauptstadt das 14 km lange innerstädtische Netz für Fernkälte in der Innenstadt.

**16**

Die nächste Ausgabe erscheint am 1. Mai 2020

VON IESTYN HARTBRICH

Von der Seite betrachtet ist der Zylinder unauffällig. Groß wie zwei Heurundballen und metallisch glänzend liegt er in der Augsburger Montagehalle: Dies könnte ein Raketentank wie jeder andere sein. Wenn da nicht der Tankdom wäre. Dieser kupfelförmige Deckel, der den Tank abschließt, hat sechs Beulen. Seine Oberfläche hat nichts gemeinsam mit der geschliffenen Glätte, die in der Raumfahrt üblich ist. Das gilt auch für die röhrenförmige Struktur gleich daneben auf dem Hallenboden, aus deren kohlenfaserschwarzer Oberfläche überall das Harz perlt wie aus einer verwundeten Fichte.

Stefan Brieschenk zuckt die Achseln. Dass diese Bauteile nicht den Standards der konventionellen Raumfahrt entsprechen, ist für ihn kein Problem. Es ist ein Kompliment. Brieschenk ist COO beim Start-up Rocket Factory Augsburg. Über seine Hardware sagt er: „Sie funktioniert und sie ist billig.“ Standards? „Wir machen unsere eigenen. Wenn man disruptiv sein will, sind neue Ansätze nötig.“ Disruptiv, das ist seine Lieblingsvokabel, wenn er über Raketen spricht.

Brieschenk und die Rocket Factory Augsburg sind eine radikale Ausprägung einer jungen Branche. Der in Raumfahrtkreisen häufig zitierte Niederstrasser-Report nennt 148 Projekte rund um den Globus. Sie alle treten an, um mit kleinen, leichten Trägerraketen, sogenannten Microlaunchern, die Weltraumindustrie auf links zu drehen. Einem knappen Drittel bescheinigt der Report ernsthafte Aussichten.

**Bislang werden Satelliten mit großen Trägerraketen transportiert.** Die schwere Variante der Ariane 6 soll zum Beispiel 21 650 kg Masse in einen erdnahen Orbit (LEO, low earth orbit) bringen können. Demgegenüber sind leichte Launcher auf Nutzlasten unter 1000 kg Masse ausgelegt, besonders viele davon zielen auf den Bereich zwischen 100 kg und 500 kg ab.

Dass Raketen meist groß und schwer sind, hat zwei Gründe, von denen einer mit Physik zu tun hat und der andere mit Betriebswirtschaft.

Erstens fliegen große Raketen besser. Warum? Schrupft man eine Rakete gedanklich zusammen, nimmt die Treibstoffmenge mit dem Volumen ab, das Strukturgewicht aber nur mit der Fläche. Mit anderen Worten: Jeder Liter Treibstoff muss mehr Masse bewegen. „Je kleiner die Rakete, desto härter der Kampf gegen die Physik“, sagt Jack James Marlow, der beim schottischen Raketen-Start-up Skyrora das Engineering leitet.

Der zweite Grund: Satelliten sind häufig groß und schwer. Dass nun ein Markt für leichte Launcher entsteht, hat damit zu tun, dass dieses Argument aktuell in sich zusammen fällt.

In der Satellitenindustrie ist eine beispiellose Miniaturisierung im Gange. Große, klassische Satelliten sind teuer, weil sie handlich montiert werden. Außerdem sind sie mindestens 15 Jahre im Orbit und deshalb am Ende ihres Lebens oft veraltet. An ihre Stelle rücken nun verstärkt Konstellationen hunderter oder sogar tausender kleiner Billigsatelliten, in Serie gefertigt und schnelllebig.

Hinzu kommen zahllose Kleinsatelliten im Taschenformat, würfelförmige Cubesats zum Beispiel, mit denen Hochschulen einen Teil ihrer Forschung vom Labor ins All auslagern.

Die Beratungsfirma Euroconsult geht von insgesamt 8600 neuen Kleinsatelliten zwischen 2019 und 2028 aus. Demnach liegt das Auftragsvolumen durch Kleinsatellitenstarts im selben Zeitraum bei 13 Mrd. \$. Zahlen mit vielen Nullen.

Es sind in der Regel solche optimistischen Prognosen, aus denen die Microlauncher-Start-ups ihre Geschäftsmodelle ableiten. Sie gehen eine doppelte Wette ein. Erstens, dass Satellitenkonstellationen kommerziell erfolgreich sind. Aber zumindest das Beispiel OneWeb zeigt, dass die Prognosen auch trügerisch sein können. Die US-Firma wollte mit 650 Satelliten die ganze Erde mit Breitbandinternet versorgen. Im März hat sie Insolvenz angemeldet.

Der zweite Teil der Wette: Es braucht kleine Trägerraketen, um kleine Satelliten zu starten. Viel-

leicht ist das so. Vielleicht auch nicht. SpaceX startet seine Megakonstellationen Starlink in 60er-Losen mit seiner Falcon-9-Rakete. OneWeb hat ganz klassisch Soyuz- und Ariane-6-Trägerraketen gebucht.

Wegen dieser Unsicherheiten und der ohnehin hohen Anforderungen der Raumfahrt werden nur wenige Microlauncher-Projekte die Power-Point-Phase überstehen – geschweige denn einen Prototypen starten. „Es wird sehr schwierig, sich auf diesem Markt durchzusetzen“, sagt der Raketenexperte Holger Burkhardt aus dem DLR-Raumfahrtmanagement. Und sein Kollege Claus Lippert ergänzt: „Die Entwicklungskosten für einen Microlauncher können kaum unter 60 Mio. € bis 100 Mio. € liegen.“

Im Verdrängungswettbewerb der kommenden Jahre verläuft eine dünne, unsichtbare Linie zwischen Traumstart und Fehlzündung. Die aussichtsreichen Kandidaten bringen neben dem nötigen Startkapital das gewisse Etwas mit, eine Strategie die sie von der Masse abhebt.

**Skyrora aus Schottland zum Beispiel. Um Risiko zu vermeiden,** hat sich das Unternehmen einen Masterplan für die Testphase zurechtgelegt. Wenn Fehler passieren, dann bitte nicht an der teuren Orbitalrakete, das ist die Logik. Skyrora startet nacheinander vier verschiedene suborbitale Forschungs-

# Aus eigenem Antrieb

**RAUMFAHRT:** Microlauncher-Firmen müssen kämpfen – um die besten Startplätze und gegen die Physik. Porträt einer Branche zwischen Traumstart und Fehlzündung.

raketen, bevor der eigentliche Launcher, Skylark XL, zum ersten Mal fliegt. Mit dem allerersten Raketentyp hat das Unternehmen das Telemetriensystem getestet. Der dritte Typ ist der erste mit zwei Stufen. Der vierte fliegt schon mit dem finalen Antrieb, allerdings ist bei 100 km Flughöhe Schluss. Erst wenn alle Systeme erprobt sind, erfolgt der für 2022 geplante Erststart. „Drei Testflüge und wir sind im kommerziellen Betrieb“, sagt Katie Miller von Skyrora.

Die Skylark XL ist durch und durch schottisch. Und das bedeutet: Sie ist auf schlechtes Wetter vorbereitet. Das liegt an der Treibstoffkombination. Das Standardkerosin JP-1 verbrennt mit dem eher exotischen Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) – ein Relikt des bislang einzigen erfolgreichen UK-Launcher-Programms: Black Arrow. Keine der beiden Treibstoffkomponenten ist kryogen. Keine verdammt bei schottischen Temperaturen im Tank. Ideal, wenn es regnet und stürmt, denn die Skylark XL kann tagelang vollgetankt auf dem Launchpad stehen, bis das Wetter den Start zulässt.

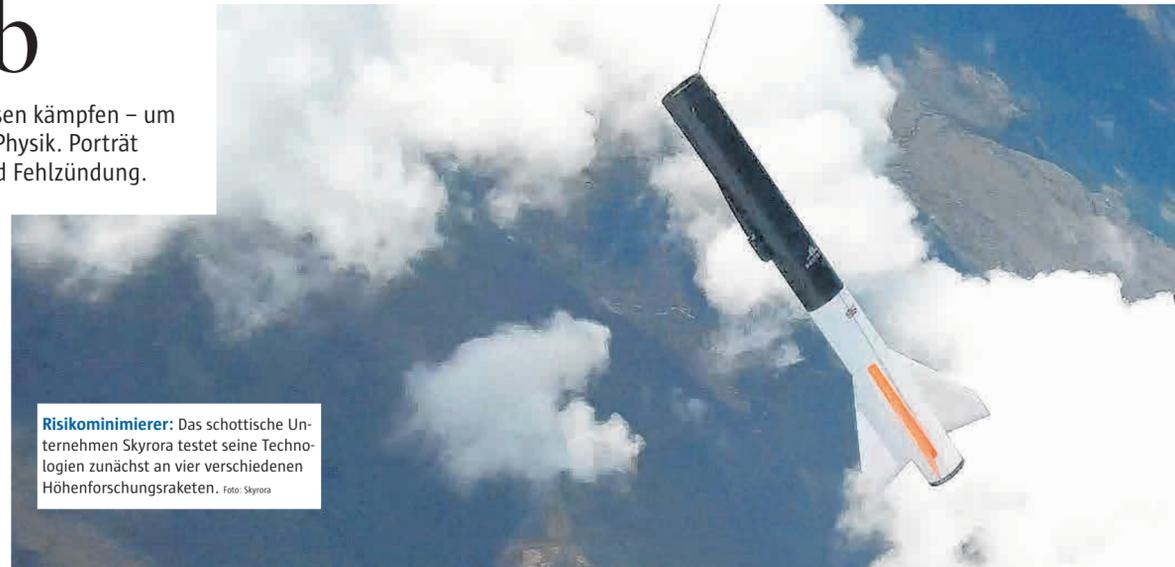
Skyrora zielt auf den britischen Markt für Telekommunikations- und Erdbeobachtungssatelliten, aber auch auf Cubesats. „Wir wollen Großbritannien einen souveränen Zugang zum All ermöglichen“, sagt der Ingenieur Marlow. Die Starts sollen aus Schottland erfolgen: Für das Launchpad kommen zum Beispiel die Shetland-Inseln und Sutherland auf der britischen Hauptinsel infrage.

**Hinter dem Neuenstadter Start-up Hylmpulse steckt die etablierte Raumfahrtwirtschaft:** Hauptinvestor ist die Schwarz Holding, die auch Hauptanteilseignerin beim Testdienstleister IABG ist. Ein weiterer Vorteil ist die Nähe zum DLR, dessen Lampoldshausener Triebwerksteststände nicht einmal 10 km entfernt sind.

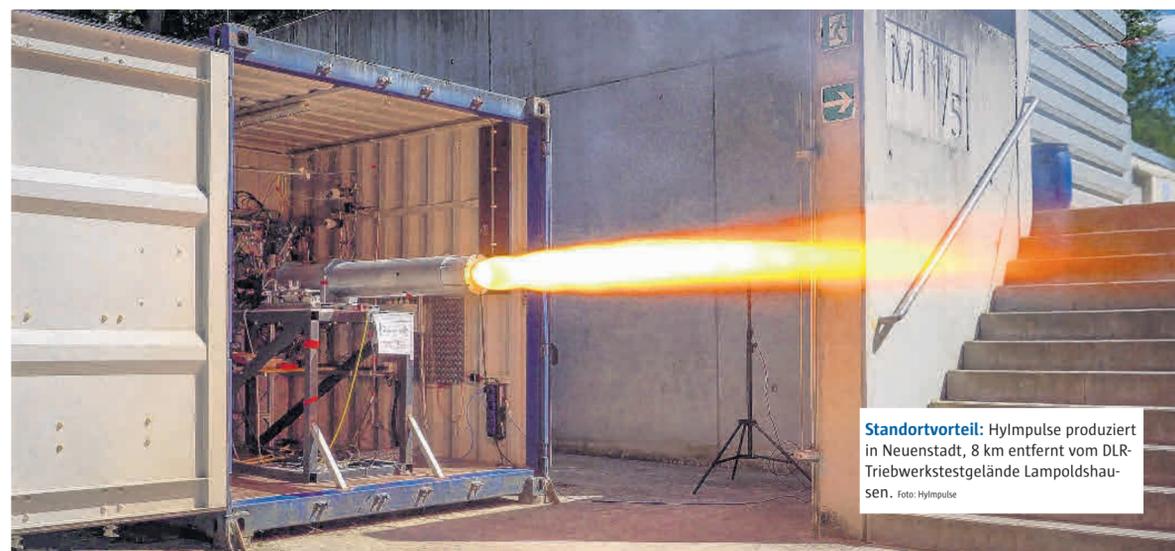
Die Hylmpulse-Rakete ist mit einer Nutzlastkapazität von 500 kg unter den leichten eine schwere. Anders als die meisten Wettbewerber fliegt sie mit Hybridtriebwerken, die eine flüssige und eine feste Treibstoffkomponente haben. Oxidator ist ganz



**Verbeult:** Beim ersten Drucktest haben sich im Tankdeckel (rechts im Bild) längliche Dellen gebildet. Trotzdem soll die Hardware fliegen. Foto: Rocket Factory Augsburg



**Risikominimierer:** Das schottische Unternehmen Skyrora testet seine Technologien zunächst an vier verschiedenen Höhenforschungsraketen. Foto: Skyrora



**Standortvorteil:** Hylmpulse produziert in Neuenstadt, 8 km entfernt vom DLR-Triebwerkstestgelände Lampoldshausen. Foto: Hylmpulse

raumfahrttypisch Flüssigsauerstoff. Dieser verbrennt in feste Form gegossenes Kerzenwachs. Co-Chef Christian Schmierer vergleicht Wachs mit Kerosin: „Beide bestehen aus einer ähnlichen Anzahl Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen, die Energie der Treibstoffe ist die gleiche.“

Hybridtriebwerke werden nur in der Frühphase der Raumfahrt ernsthaft untersucht. Als das Rennen zum Mond entbrannte, verfolgte die Nasa nur noch Flüssigantriebe, die aufgrund ihrer längeren Brenndauer einen höheren Gesamtimpuls haben. Und das Militär versteifte sich auf lagerfähige Feststoffraketen. Hylmpulse war mit beidem nicht zufrieden. „Hybridtriebwerke haben bei leichten Launchern ihre Nische gefunden“, sagt Schmierer.

Kerzenwachs und Sauerstoff sind nach Raumfahrtmaßstäben billig. Und auch das Design der Antriebe ist einfach und serientauglich. Üblicherweise sind in Feststoffmotoren komplizierte Gussprofile notwendig, um die Oberfläche für den Abbrand zu vergrößern. Beim Wachs ist das nicht nötig, weil sich – wie bei der Kerze – Tropfen lösen, wodurch das Wachs von alleine schnell verbrennt.

Anders als der Aufbau, ist die Physik des Motors nicht ganz so einfach. Zum Beispiel entwickeln die Hylmpulse-Ingenieure Wirbelgeneratoren, damit sich das Wachs und der vorbeiströmende Sauerstoff richtig mischen. Tückisch sind auch die Temperaturen. Hylmpulse sucht nach einer Faserverbundkonstruktion für die Brennkammer, die der thermischen Belastung für die Dauer des Abbrands standhält. „Eine aktive Kühlung ist nicht möglich“, sagt Schmierer.

**Die Rocket Factory Augsburg (RFA) geht einen ganz anderen Weg.** Hier legt „der Optimierer“ die Bauteile aus, ein virtueller Mitarbeiter. Die Software greift auf Datenbanken zu und errechnet automatisch die Herstellkosten. Das Ergebnis kann schon mal eine Beule haben – oder auch sechs. Dass die Hardware trotzdem weltraumtauglich ist, stellt die OHB-Tochter MT Aerospace sicher, die die Qualifikationstests durchführt.

Bis zum Erststart 2021 verfolgt die RFA den Plan eines „minimum viable products“. Oder auf deutsch: Hauptsache, man ist am Markt. Langfristig sind die Ziele ehrgeizig: Die Satelliten selber sollen billiger werden. Diese sind laut Brieschenk auf Vibrationslasten von 24 g ausgelegt und müssen große mechanische Reserven mitbringen. „Satelliten könnten ein Zehntel wiegen, wenn man sie nicht so bauen müsste, dass sie den Start überstehen“, sagt Brieschenk. „Theoretisch lassen sich die Vibrationslasten fast komplett eliminieren.“ Die RFA will die Nutzlast mittels Interferenz mechanisch von den Vibrationen entkoppeln, analog zu einem Kopfhörer, der Umgebungsgeräusche durch Gegenschall tilgt.

Langfristig sollen die Startkosten in den LEO auf 2000 €/kg bis 3000 €/kg Nutzlast gedrückt werden. Für den Anfang rechnet man mit Startkosten zwischen 20 000 €/kg und 30 000 €/kg. Das ist teurer als der Referenzpreis der Falcon 9 von 10 000 €/kg. Und ein Vielfaches dessen, was SpaceX seit kurzem für einen geteilten Flug verlangt: 1 Mio. \$ für 200 kg. „Harte Ansage“, urteilt Stefan Brieschenk. Sein Kollege Jörn Spurmann vermutet ein gezieltes Manöver des SpaceX-Chefs: „Das ist der Angriff, der alle Microlauncher-Projekte töten soll. Wirtschaftlich ist das für Elon Musk sicherlich nicht.“

**Große und kleine Launcher lassen sich nicht ohne weiteres vergleichen.** Wer einen kleinen Satelliten mit einer großen Rakete startet, bekommt einen guten Preis, muss sich aber damit abfinden, Kunde zweiten Ranges zu sein. Denn an Bord befindet sich der Satellit eines wichtigeren Kunden, der Zeitplan, Orbit und Bahnneigung determiniert.

Kleine Raketen haben demgegenüber den Vorteil, dass sie nur einen Satelliten transportieren. Sie können den Satelliten genau dort aussetzen, wo er hin soll und sie sind zeitlich flexibel.

Wie flexibel, das will nun die Darpa herausfinden. Die US-Militärforschungsbehörde hat einen Wettbewerb ausgeschrieben, in dem Raketen binnen zwei Wochen einen vorher unbekanntem Orbit anfliegen sollen. Wer das schafft, hat schweren Trägerraketen mindestens eine Tanklänge voraus.

## Rocket Factory Augsburg

- **Sitz:** Augsburg
- **Hauptinvestor:** der Ariane-Zulieferer MT Aerospace; im Aufsichtsrat sitzen MT-Chef Hans Steiningner und Marco Fuchs, Chef des Bremer Satellitenbauers OHB
- **geplanter Erstflug:** 2021
- **technische Besonderheiten:** Entkopplung der Vibrationslasten beim Start durch Interferenz; zehn gleiche Antriebe; neun in der Erst- und einer in der Zweitstufe
- **Antrieb:** Kerosin-Derivat (synthetischer Kohlenwasserstoff) und Flüssigsauerstoff (LOX); gesteuerte Verbrennung
- **Produktionsziel:** kurzfristig zwölf pro Jahr, langfristig 52 pro Jahr
- **Kostenziel:** langfristig zwischen 2000 €/kg und 3000 €/kg Nutzlast in den erdnahen Orbit (LEO), Marktpreis zunächst zwischen 20000 €/kg und 30000 €/kg
- **Nutzlastkapazität:** mindestens 300 kg
- **mögliche Startplätze:** z. B. Azoren; Überlegungen, Nordseeplattformen zu nutzen

## Skyrora

- **Sitz:** Edinburgh (Schottland); Produktion in Schottland, der Slowakei und der Ukraine
- **Investoren:** k. A.
- **geplanter Erstflug:** 2022/2023
- **technische Besonderheiten:** Technologietests mit vier verschiedenen Höhenforschungsraketen zunehmender Komplexität, erster Flug der Triebwerke für die spätere dreistufige Orbitalrakete (Skylark XL) mit der kleineren Skylark L.
- **Antrieb:** Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) und Kerosin (JP-1), beide Komponenten sind nicht kryogen; die Rakete kann mehrere Tage betankt am Launchpad warten
- **Produktionsziel:** 9 bis 10 pro Jahr (2025)
- **Kostenziel:** k. A.
- **Nutzlastkapazität:** 315 kg in den LEO
- **mögliche Startplätze:** Shetland-Inseln, Sutherland, Western Isles (alle UK)

## Hylmpulse

- **Sitz:** Neuenstadt (Deutschland)
- **Hauptinvestor:** Schwarz Holding (Hauptanteilseigner der IABG)
- **geplanter Erstflug:** 2022
- **technische Besonderheiten:** dreistufiger Launcher; zwölf baugleiche Antriebe, davon acht in der Erst- und vier in der Zweitstufe; Hybridtriebwerk
- **Antrieb:** Hybridtriebwerk aus LOX und Kerzenwachs (Paraffin), dadurch begrenzte Brenndauer; Faserverbundkammer ohne aktive Kühlung; Drittstufe nutzt ein kleineres Hybridtriebwerk
- **Kostenziel:** zunächst 20000 €/kg in den LEO, später 15000 €/kg
- **Nutzlastkapazität:** 500 kg in den LEO
- **mögliche Startplätze:** in erster Linie Esrange (SWE); Gespräche mit Startplätzen auf den Azoren, in Schottland und in Australien