

Die achtmillionste Etage

Amerika will endlich wieder mit eigenen Fahrzeugen ins All. Vielleicht sollte die Nasa überlegen, den Lift zu nehmen. Der Traum vom Weltraum-Fahrtstuhl ist so alt wie die Rakete. Aber in den vergangenen Jahren haben neue Technologien ihm neue Aussichten auf Verwirklichung beschert.

Von Ulf von Rauchhaupt

Es ist leicht, sich über diese Idee lustig zu machen: ein hunderttausend Kilometer langes Seil, gespannt zwischen Erdoberfläche und einem Satelliten, um daran Menschen und Material in den Weltraum emporzuziehen. Es ist natürlich auch einfach, allen, die das für Science-Fiction-Quatsch halten, zu entgegnen, so man die entsprechenden Beispiele heranzieht. Man denke nur an das Flugzeug, von dem der berühmte Physiker William Thomson, Lord Kelvin, 1895 öffentlich erklärte, dergleichen sei unmöglich, und acht Jahre später haben die Gebrüder Wright ab. Aber bei weilen Technikträumen, von der Goldschächerei bis zur Pike gegen Krebs, blieb die Verwirklichung aus?

Mit diesen beiden Beispielen hat der „Space Elevator“ (Weltraumlift) gemein, dass seine Verwirklichung keine Versäufelung gegen die bekannten Naturgesetzeverlangt – anders als etwa überlichtschnelle Flüge durch den Raum. Tatsächlich war es niemand anderes als der russische Mathematiklehrer Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857 bis 1935), einer der Entdecker der Theorie der Rakete, der im gleichnamigen Jahr, in dem sich Lord Kelvin vor der Technologieschichte blamierte, Überlegungen zu einem 36000-Kilometer hohen Turm anstellte. Seine Spitze würde sich dort befinden, wo ein freigesetzter Körper die Erde in einem Tag umkreist, dem sogenannten geostationären Orbit, in welchem heute eine Wetter- oder Fernsatteliten kreisen, damit sie stets über derselben Stelle auf der Erdoberfläche stehen. Wer ein solches Bauwerk bestiege, egal wie lange er dafür brauche, hätte allein dadurch die Erdwerkraft überwunden.

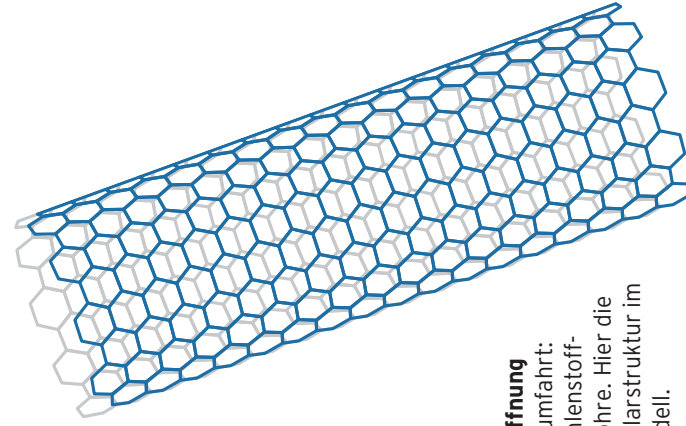
Natürlich würde ein solcher Turm die Statiker vor tatsächlich unlösbare Probleme stellen. Doch 1960 erkannte Ziolkowski 1939 geborener Landsmann Jurij Arzatanow, dass es stattdessen auch ein leichtes, aber ausserordentlich festes Seil tut, das man von einem per Rakete in die geostationäre Umlaufbahn geschossenen Satelliten herablassen und auf der Erdoberfläche verankern würde. Das klingt immer noch vernünftig genug. Arzatanow beschrieb die Idee denn auch belgisch in einem Zeitungsartikel der *Kosmoskijaja Pravda*, und als 1966 eine Gruppe Amerikaner um den Ingenieur und Ozeanographen John Isaacs (1913 bis 1980) einen zweiseitigen Artikel mit einem ähnlichen Konzept an *Science* schickte, erschien der nur mit einem reduktionalen Vermerk, die Gutachter hätten doch erhebliche Zweifel gehabt.

Heute aber beschäftigt sich eine ganze Anzahl von Physikern und Ingenieuren sehr ernsthaft mit der Idee. Noch weitgehend abseits der großen, öffentlich finanzierten Weltraumorganisationen veranstalten sie Technologieentwicklungsbüros und Fachtagungen, die jüngste fand vor vier Wochen in Seattle statt, mit Microsoft als Hauptsponsor. Im Jahr 2008 bildete sich das International Space Elevator Consortium (ISEC), und im Oktober 2013 veröffentlichte die ehrwürdige International Academy of Astronautics (IAA) ihren 350. Seiten starken Bericht über den Forschungsstand.

Diese Aktivität ist auch ein Krisenplänelement. Schon Ziolkowski hatte seine Turm-Idee, als er noch keine andere Möglichkeit gesehen hatte, die Erde zu verlassen. Und die ersten ausführlichen Berechnungen veröffentlichte der amerikanische Luftwaffeningenieur Jerome Pearson, Jahrgang 1938, im IAA-Fachjournal *Acta Astronautica* im Jahre 1975. In den Jahren davor war das Apollo-Programm vorzeitig beendet und das amerikanische Programm zur Entwicklung nuklearer Raumtriebwerke eingestellt worden. Die Raumfahrt war in eine veritable Krise gerutscht. Die jüngste Welle des Interesses an Weltraumlift ging schließlich begann um die Jahrtausendwende, als das Ende des Space-Shuttle-Programms absehbar wurde.

Das Space Shuttle kam wegen seiner Wiederverwendbarkeit zunächst als besonders kostengünstiger Weg ins All gedacht gewesen. Doch nun zeigte sich, dass nicht so sehr das Einweg-Prinzip die Raumfahrt daran hinderte, sich weiterzuentwickeln, sondern die Idee der Raketen selbst. Um die Erdanzugkraft zu überwinden, müssen Raketen ihren Treibstoff mitschleppen. Für die Nutzlast, chemisch getriebener Vehikel bleibt weniger als fünf Prozent des Startmasses, beim Space Shuttle waren es sogar nur 1,2 Prozent. Ein Kolonnenmann mit Frägetraketen und den amerikanischen Typen Atlas oder Delta in den geostationären Orbit zu befördern, kostet heute 80000 Dollar, in erdhalbe Umlaufbahnen wie dem der Internationalen Raumstation sind es immerhin noch 10000 Dollar. „Und das trotz 50 Jahren Erfahrung und Optimierung von Raketenkonzepten“, sagt der Nürnberger Physiker Martin Lades, der sich beim ISEC engagiert. „Es wird nicht sehr viel billiger.“

Diese enorme Abhängigkeit der Startkosten von der zu startenden Materialmenge ist die mit Abstand größte Spielverderberin der Raumfahrt. Sie bremsst nicht nur die ökonomische Nutzung des Alls – und verbindet damit technische Entwicklungen, wie sie es immer erst gibt, wenn jemand damit viel Geld verdienen kann, sondern ist auch das eigentliche Argument aller Kritiker der sogenannten Raumfahrt: Wäre das All wirklich kein Ort für Menschen, wären es Hochgelegene Polargebiete und schon das offene Meer auch nicht. Auf dem Mond oder dem Mars fehlt Homo sapiens heutzutage nicht deswegen, weil er dort nicht hingehört,

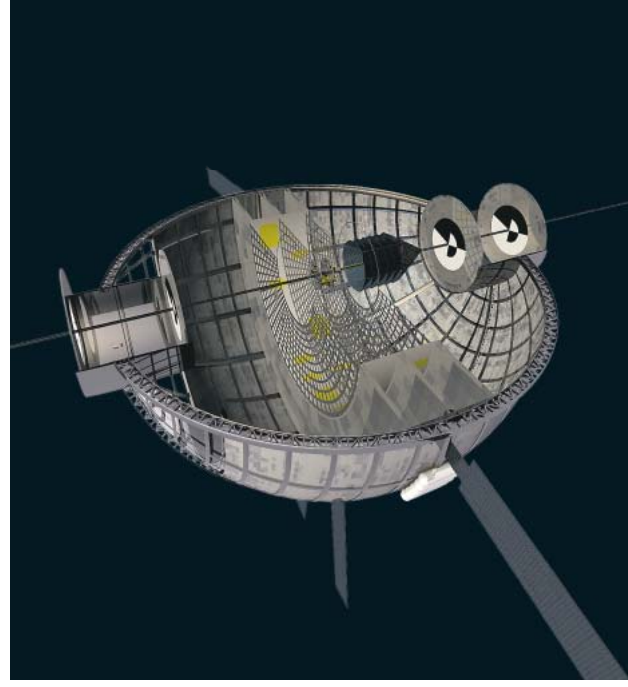


Die Herstellung der Raumlift- der Kugelstruktur der Kohlenstoff-Nanoröhre, hier die Molekülstruktur im 3D-Modell.

des Weltraumlifts ist die Energieversorgung dieses Problems wäre, das 36000 Kilometer lange Reise mitzunehmen ist nicht sinnvoll – denn dann hätte man wieder dasselbe Problem wie bei der Rakete. Stattdessen könnte der Climber über einen starken Laserstrahl versorgt werden. Climbers würden die Laserenergie dann in elektrischen Strom umwandeln.

An Modellsystemen werden solche Antriebse – aber auch das „Powerbeaming“ mittels starker Scheinwerfer oder Lasern im Bereich einiger Kilowatt Leistung – seit einigen Jahren in Form sogenannter „Challenges“ studiert, also Wettbewerbe, in denen (oft studentische) Teams ihre Entwicklungen gegen einander antreten lassen und bestimmte Vorgaben erfüllen müssen, um zu gewinnen. Bei der jüngsten Veranstaltung Anfang August 1997 in Japan galt es, Climber zu bauen, die ein 1200-Meter-langes, von einem Ballon gehaltenes Seil bezwingen. 2012 fand am Lehrstuhl für Raumfahrttechnik der TU München ein Space Elevator Challenge statt. Noch aber reichen die Sponsoringelder nicht, um mehr als symbolische Summen als Preise auszuloben. Etwas mehr Promotage, gerade

Aktuelle Pläne für den großen Lift



In der Zielstation würden die Climber (hier einer mit eingetaucht Solarpaneele) über ein Seil nach oben und unten, um die Erdoberfläche zu erreichen, bis sie ihre Spitze an der Station abstellen. (rechts) P. Swan et al. (eds.) „Space Elevator: An Assessment of the Technological Feasibility and the Way Forward“ (IAA, Paris, Oktober 2013).

Eine mögliche, wenn auch gigantomanische Lösung dieses Problems wäre, das untere Ende des Aufzugs nicht am Boden, sondern als „High Stage One“ bereits in 40 Kilometern Höhe zu bauen. Dafür würde man dann wohl auf die Idee der sogenannten Loftroom-Loops zurückgreifen, einen Satz Hunderte von Kilometern langer Vakuumröhren, in denen Endlosbahnen so schnell laufen, dass ihre Zentrifugalbeschleunigung für eine nach oben gerichtete Kraft sorgt. Der Transport von der Erdoberfläche bis zur „High Stage One“ könnte elektromagnetisch entlang der Vakuumröhren erfolgen.

Einfacher wäre es, tatsächlich am Boden mit dem senkrechten Aufzug zu beginnen und die Solarflächen während der ersten 40 Kilometer zusammenzufalten in einer schützenden Hülle zu verbergen. Die Energie würde dann während dieser ersten Etappe vom Boden zugeführt werden müssen, entweder doch mit Lasern oder durch ein mit hin aufgezogenes Stromkabel oder – und das wäre die mit Abstand eleganteste Lösung – dadurch, dass man das Seil (oder Band) an der Bodenstation unter Energieaufwand in der erforderlichen Länge aufspulst, dann erst den Climber dranhängt und schließlich die Spule wieder loslässt. Dadurch würde die Zentrifugalkraft des Seils und des Gegengewichts den Climber in die Hochatmosphäre ziehen, bis die Sonne die Energieversorgung übernehmen kann.

Ob dergleichen möglich ist, hängt stark davon ab, welches Material für das Seil oder Band einmal zur Verfügung steht. Und dieser Punkt ist die zweite und alles entscheidende Herausforderung, vor der sich die Space-Elevator-Visionäre gestellt sehen. Denn es gibt bis heute kein Material, das stabil und zugleich leicht genug ist, um damit einen Weltraumlift zu bauen. Es geht also um die spezifische Festigkeit, für welche die Weltraumliftforscher eine eigene physikalische Einheit eingeführt und zu Jurij Arzatanows Ehren „Megayuri“, kurz Mjuri, genannt haben. Ein Megayuri entspricht einem Gigapascal pro Gramm und Kohlenstoff-Nanoröhren, bei dem 2011 der Rekord ist ein zehn Zentimeter langes Kohlenstoff-Nanoröhren, das mit 100 Megayuri gemessen wurde.

Nun wird fieberhaft daran gearbeitet, die Wunderfaser zu einem Garn vergleichbarer Festigkeit zu spinnen, aus dem dann Seile oder Bänder beliebiger Länge hergestellt werden können. Bei einigen hundert Metern ist man schon, wenn auch nur bei Nanofasergarnen, die für leichtgewichtige elektrische Leitungen optimiert sind. Garne jenseits der 20 Megayuri können laut IAA-Bericht bereits 2015 vorgestellt werden. Wie lange Strukturen man daraus dann wird produzieren können, hängt auch davon ab, wie gut die Forscher das Problem der Defekte in den Rohrmolekülen in den Griff bekommen. Theoretisch würde ein einziges fehlendes Kohlenstoffatom in einem ansonsten perfekten, 30000-Kilometer langen Köhären die Festigkeit um 20 Prozent senken. Dennoch sind die IAA-Autoren zuversichtlich: Wenn sich der bisherige Trend fortsetzt, schreiben sie, wenn Nanoröhren in Kilometerlängen um das Jahr 2012 herum verfügbar werden, dann müsste sich das Band zu den Sternen schließlich weben lassen.

Aber auch dann wären noch weitere Fragen zu klären, bevor ein Weltraumlift endgültig als technisch machbar eingestuft werden kann. Etwas die, ob sich die Wunderfaser auch beschichten lässt, um der Korrosion in den chemisch aggressiven Zonen der oberen Atmosphäre zu trotzen. Eine andere Sorge gilt dem Weltraumschrott. Treffer kleinerer Trümmer unterhalb 10 Zentimeter Größe könne man nicht vorhersehen, sagt Martin Lades, und sie werden stattdessen gesehen alle zehn Tage vorkommen. Das Band muss also so ausgelegt werden, dass es auch mit einem oder mehreren Löchern noch halt. Zudem wird es leicht gekrümmt sein, damit auch ein einzelner Mikroreiter-Treffer genau auf die Kante es nicht komplett durchschießen kann. Überhaupt müssen Warnings-Climber das Band regelmäßig inspizieren und, wo nötig, dort klopfen sie mit einem transparenten aber von Schrottteilen von der Dimension seiner Breite getroffen werden. Diese allerdings kann man per Radar im Auge behalten und ihnen etwa durch Bewegung der schwimmenden Bodenstation ausweichen.

Was aber, wenn es mal drum kommt und das Aufzugsband trotzdem reißt? Die größte Wahrscheinlichkeit dafür liegt in etwa 800 Kilometern Höhe, wo die Dichte umherfliegenden Schrotts am höchsten ist. Aber jede Trennung unterhalb der geostationären Station würde diese samt dem oberen Bandfragment in einen höheren Orbit befördern. Der größte Teil des unteren Bandfragments sich schnell aus der Erde fällt, wobei es dann kurzfristig ein sehr langes Stück Weltraumschrott, das für orbitale Satelliten und Raumstationen zur Gefahr werden könnte, aber bald in der Atmosphäre verbrennen würde. Nur die unteren hundert Kilometer fehlen bis hinunter auf die Erdoberfläche. Hundert Kilometer des folgenden Kohlenstoffbands wägen weniger als hundert Kilogramm und dürften in den Weiten des Pazifiks kaum viel Schaden anrichten.

Am gefährlichsten wäre solche eine Havarie wohl für Astronauten, die sich gerade im Fahrtstuhl befinden. Für die Bewegung ihres Climbers müssen wahrscheinlich spezielle Raumschiffe bereitgehalten werden, was aber finanziell sehr teuer ist, angesichts der dann noch heutigen Schätzungen auf 500 Dollar Kilonewtons Kosten für Raumfahrt. Kilonewtons aber möchte man zum Wieder- aufbau des Weltraumlifts wieder eine chemische Trägerrakete aus dem Museum holen müssen. „Das Erste, was man machen würde, wenn wir einen Weltraumlift gebaut haben, ist, einen zweiten zu bauen. Und einen dritten“, sagt Peter Swan. „Nie wieder wollen wir uns im Schwerfeld der Erde einsperren lassen.“

Der Weg zu den Sternen

Die wesentlichen Komponenten eines Weltraumliftzugs

1. Die Raumstation



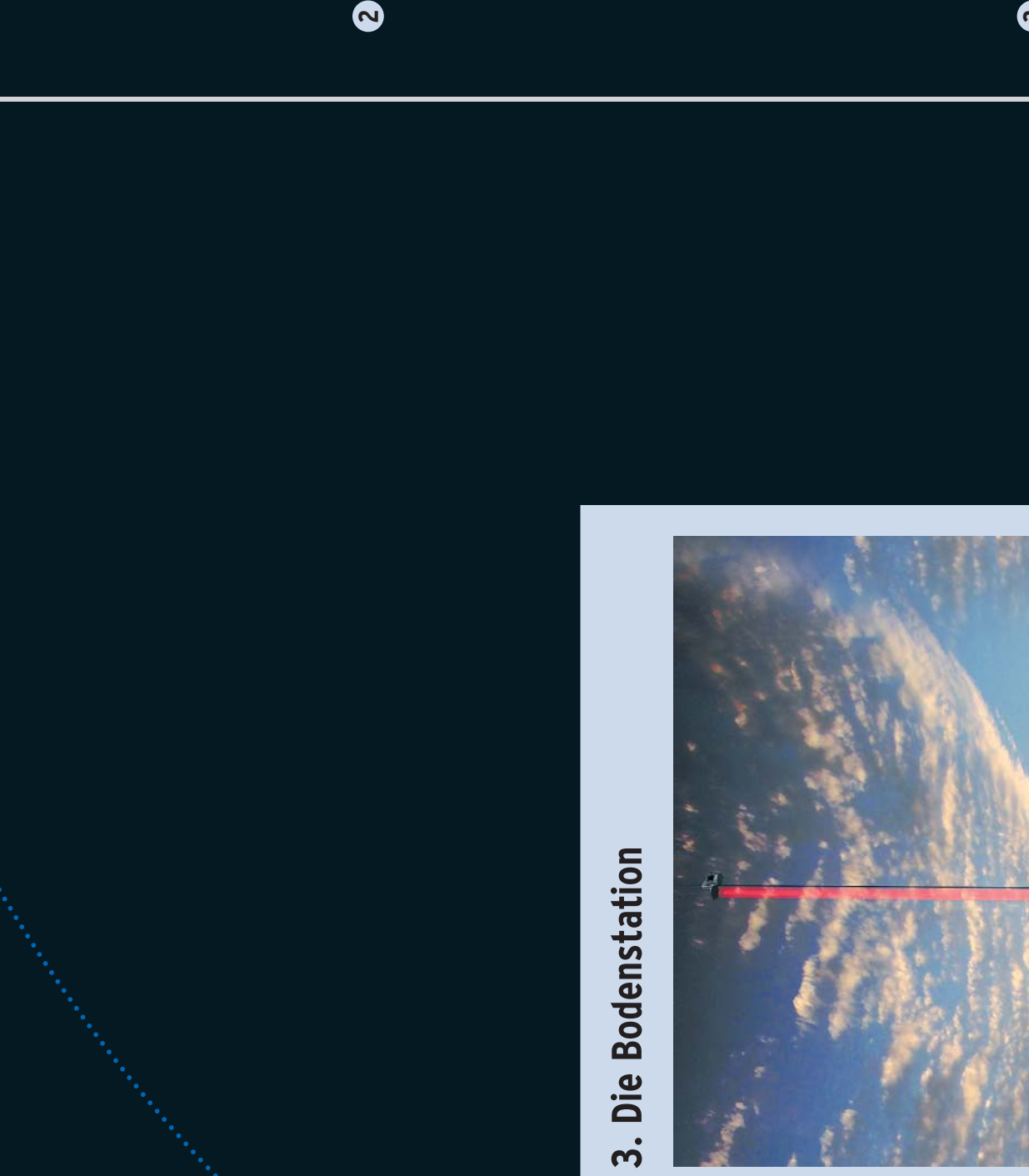
In 36000 Kilometern Höhe kreist die obere Station des Weltraumliftzugs – hier in einer künstlerischen Darstellung. An dieser Stelle muss das Band die größte Zugkraft ausüben und ist daher schonmal doppelt gewicht als das Gegengewicht (siehe maßstabgetreue Skizze rechts) möglich.

2. Der Climber

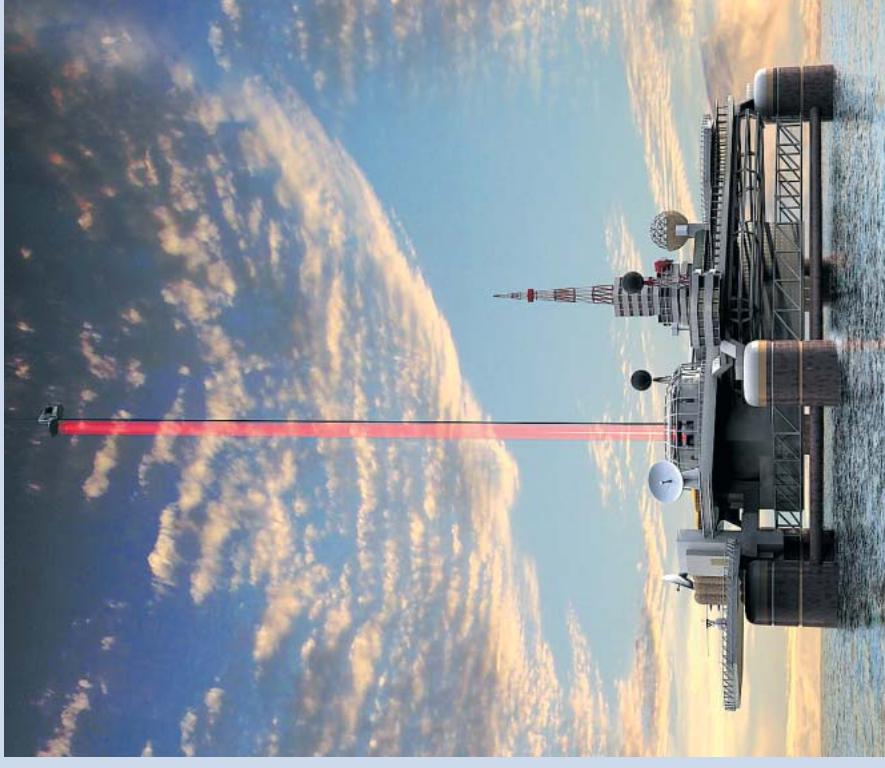


Die Aufzugsabstiege klettert an dem Band über ein System aus Walzen emporklettert, deren Motor durch eine externe Quelle mit Energie versorgt wird. In dieser Illustration ist das ein Hochleistungslaser auf der Erdoberfläche, was aber auch Nucleare hat. In letzter Zeit denken die Ingenieure eher über einen Solartrieb nach (siehe auch links „Aktuelle Pläne“).

Geostationäre Umlaufbahn in circa 36000 Km Höhe



3. Die Bodenstation



Das Erdgeschoss des Weltraumlifts dürfte auf einer Plattform im Meer liegen, vermutlich im östlichen Pazifik. Im Falle einer Energieversorgung durch einen Laserlichtstrahl stünden hier auch leistungsstarke Laserquellen. Wahrscheinlich wären es Infrarotlaser, ihre Strahlen daher, anders als in dieser künstlerischen Darstellung, unsichtbar.

Abbildungen: Frank Chase (www.spacelevatorvisions.com); John Knapman; Nasa; Alan Chan / F.A.Z.-Grafik Piron