

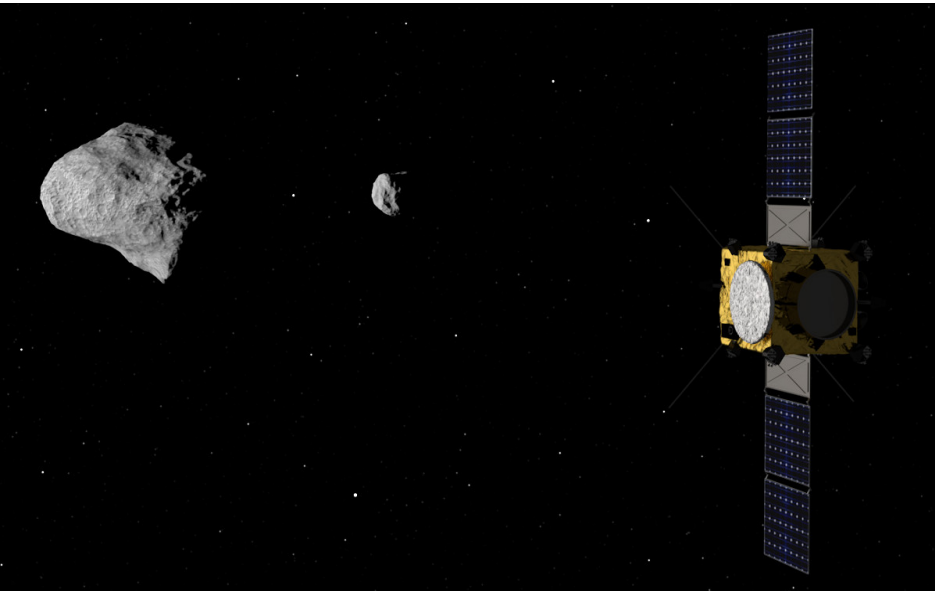
# **Asteroids & Comets as Energy and Material Resources**

by

Thomas Ahrendt

Peer review and translation from German to English:  
Werner Grandl

# Utilization of Asteroids and Comets



- Fuel stations
- Mineral resources
- Human habitats
- Terraforming
- Relay stations
- „Generation-ships“

## **Asteroids and Meteorites:** physical and geochemical properties

Reference: Tholen, D.J.: Asteroid taxonomic classifications. In: Binzel, Gehrels, Matthews (eds.) Asteroids II, 1989

- 3 major classes of asteroids and meteorites according to photometric, polarimetric and spectrometric data:
  - **C-group:** carbonaceous objects with water contents and organic molecules, „chondrites“; approx. 75% of all asteroids
  - **S-group:** silicaceous asteroids and stony meteorites; approx. 17% of all asteroids
  - **X-group:** metall-rich asteroids, mixed composite objects; iron meteorites; approx. 8% of all asteroids

# Carbonaceous Asteroids

with different geochemical compositions

- C-Types: carbonaceous Chondrites – graphite und organic molecules, abiotic amino acids, metals:
  - „common“ Chondrites: metals + silicates
  - E-Chondrites: up to 31% metallic
  - H-Chondrites: 23% metallic
  - L-Chondrites: 16% metallic
  - LL-Chondrites: 6% metallic
  - Iron, iron oxide, ferric sulphide, feldspar, pyroxene group, silicium compounds
  - CM-Chondrites: no metals, 10% chemical bonded water (silicates), approx. 3% organic molecules, sulfur, carbonates
  - Ci-Chondrites: volatile elements, up to 20% water in silicates, approx. 6% organic molecules, carbonates, sulfates, iron oxide

# Asteroid Populations: Near Earth Asteroids (NEAs), Asteroid belt, Kuiper-belt, Trojans

Reference: Lexikon der Astronomie, J. S. Lewis „Unbegrenzte Zukunft“, Der neue Kosmos

1 Astronomical Unit ( AU ): average distance Sun-Earth = 150 million kilometers

NEAs: approx. 2000 asteroids > 1 km diameter; 500,000 objects > 100 m  
approx. 100 Mio objects about 10 m in diameter

**Amor**-NEAs: Perihelion 1.1 - 1.3 AU; Aphelion 2.5 - 3 AU, also called „Mars crossing asteroids“; orbital periods 3 - 4 years, angle of orbit < 20° to ecliptic plane

- **Apollo**-NEAs: Perihelion 0.4 – 1.017 AU (*most dangerous to Earth*), Aphelion between main asteroid belt and Jupiter, orbital periods 3-5 years, angle of orbit 0° - 20° to ecliptic plane

- **Aten**-NEAs: orbital periods < 1 year, average distance to the sun < 1AU, Aphelion near Earth`s solar orbit

- **Trojans** in the Lagrangean Points of the Sun-Earth System: for example the Asteroid 2010 TK7

- (temporary) **Quasi-satellite** of Earth: Object 2010 SO16

# Main Asteroid Belt

between Mars and Jupiter

- Total mass approx.  $3 \times 10^{21}$  kg (= 0.05 % of Earth)
- 29 objects bigger than 200 km,
- approx. 50,000 objects bigger than 10 km
- approx.  $10^{10}$  objects bigger than 100 m
- distance from the Sun 2.2 – 3.2 AU
- Orbital periods 3.2 – 5.8 years
- Angle of the main belt asteroids` s orbits to the ecliptic plane up to  $20^\circ$

# Jupiter-Trojans

- Some thousand celestial bodies in the Lagrangean Points 4 and 5 of the Jupiter-Sun system (  $60^\circ$  in front and  $60^\circ$  following Jupiter )
- Average distance to the Sun 5.2 AU
- Orbital period 12 years
- approx. 1,000 Trojans are supposed to be over
- 15 km in diameter

Mars, Uranus and Neptune have also some Trojans

[https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Asteroiden\\_%E2%80%93\\_Trojaner](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Asteroiden_%E2%80%93_Trojaner)

# Trans-Neptun-Objects (TNOs): Kuiper-belt, Plutoids + Plutinos

Reference : Der neue Kosmos, wikipedia

- Excentrical orbits in the outer Solar system; geochemical compositions similar to comets, low bulk density, possible metamorphosis into comet cores
- Until 2004 more than **800 objects** with 30 - 50 AU distance from the sun have been detected, having diameters between 100 and 300 km
- **Kuiper-belt:** 35,000 objects with  $\geq 100$  km in diameter and  $2 \cdot 10^8$  objects  $\geq 10$  km in diameter; origin of short-period comets
- **Plutoids:** „transneptunian“ dwarf-planets with similar masses and diameters like Pluto: Eris, Makemake, Haumea, Sedna, etc.
- **Plutinos:** Kuiper-belt objects with Pluto-like orbits; average distance to the sun 40 AU; some thousand objects  $> 100$  km in diameter



# Comets

(References: Lexikon der Astronomie, J. S. Lewis „Unbegrenzte Zukunft“, Der neue Kosmos, D. Steel „Zielscheibe Erde“)

- When comets enter the inner Solar system they often lose their frozen upper layers and sometimes turn from comets to asteroids
- For example the comet 4015 Wilson-Harrington from 1949 became the asteroid 1979 VA
- Some NEAs are in fact still inactive comets with thick layers of dust
- About 50% of NEAs are supposed to be inactive comets with icy cores
- NEAs and Near Earth Comets constitute the family of **Near Earth Objects** (NEOs); their composition varies from pure iron to pure ice
- NEOs commonly contain much more volatile elements and also more metals than the soil of the lunar surface
- Origin of comets: Edgeworth-Kuiper-belt, Oort cloud
- Comets are natural resources for humankind as well as asteroids

# HEEO space stations and spaceships (shuttles)

Reference: J. S. Lewis: Unbegrenzte Zukunft

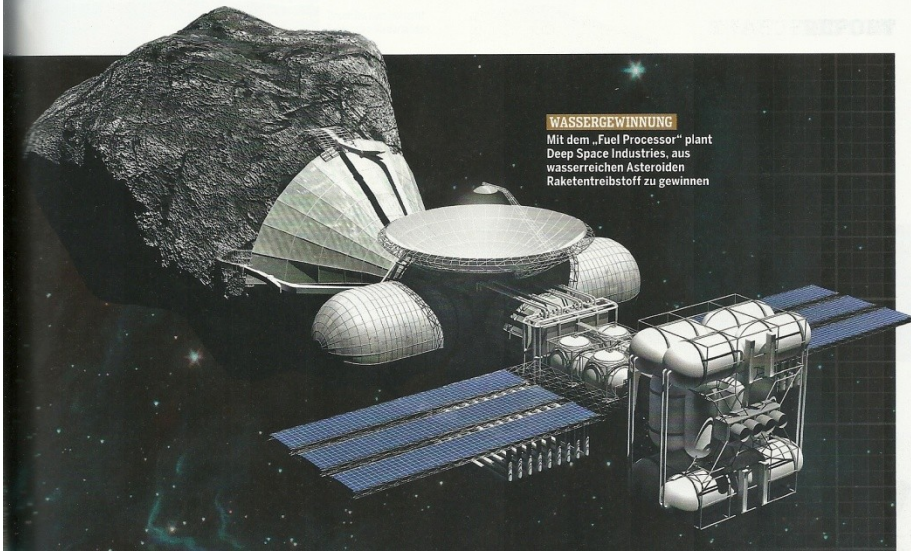
- **Space stations** in High Excentric Earth Orbits (HEEOs); Perigee between 1000 km and 2000 km; Apogee between 100,000 km and 400,000 km;
- **Launch costs** from Earth to HEEOs are twice as expensive than to LEO, but flights between HEEOs and Moon, NEAs or Mars would become much cheaper;  
 $\Delta v$  from LEO to HEEO is about 3 km/s ( from LEO to lunar surface about 6 km/s)
- A space station in HEEO could be a **larger structure** than ISS, preferably with **artificial gravity** by rotation
- Raw material from NEAs or from the Moon could be processed in a **HEEO factory** by 3D plotting or „chemputing“; thus we could build for example Solar Power Satellites (SPSs) to provide energy for Earth;
- A HEEO station as a **relay station** for NEA mining: the **payload-fuel ratio** could be increased to 100:1 or even 1000:1; a spaceship could transport from a NEA to the HEEO station a hundred times the fuel it needs for the flight; the spaceships are built as reusable shuttles which can provide fuel deposits for space travel at different locations in the Earth-Moon system
- The **shuttles** are designed for the transport of raw material, ore and fuel from NEAs to the HEEO station, to the Lagrangean Points or to LEO; preferably these spaceships are propelled by solar-electric or **thermodynamic nuclear engines**

# Asteroid mining

References: J. S. Lewis: Unbegrenzte Zukunft, W. Grandl: Utopia Solis

- Earth as a planet with relatively high gravity makes it much easier to *import* material from outer space than to *export* products into space; just products of high economic value deserve to be exported into space; whatever an extraterrestrial „cosmic“ civilization needs, should in the long run be produced in space;
- For the **industrialization of the Earth-Moon system** we need a huge amount of metals and fuel; large structures in space, on Moon and Mars are just feasible if we use NEAs for mining; also the construction of Solar Power Satellites in Earth orbit is much cheaper by the use of extraterrestrial material
- To estimate the economic value of asteroids we take **ENA 3554 Amun** with a mass of  $3 \cdot 10^{10}$  tons as an example:
- **Fe** and **Ni** approx. 8 billion \$, **Co** approx. 6 billion \$, **Pt, C, N, S, P** approx. 6 billion \$ (Lewis 1996);  
given the values of 1996 one may estimate a much higher economic value in the future; given hypothetical launch costs of \$ 10 million per metric ton, it would take about  $\$ 3 \cdot 10^{17}$  to transport an equivalent mass from Earth to LEO (Lewis 1996);  
In the long run asteroid mining could decrease the prices of metals on Earth, because of the nearly infinite resources of the Solar system

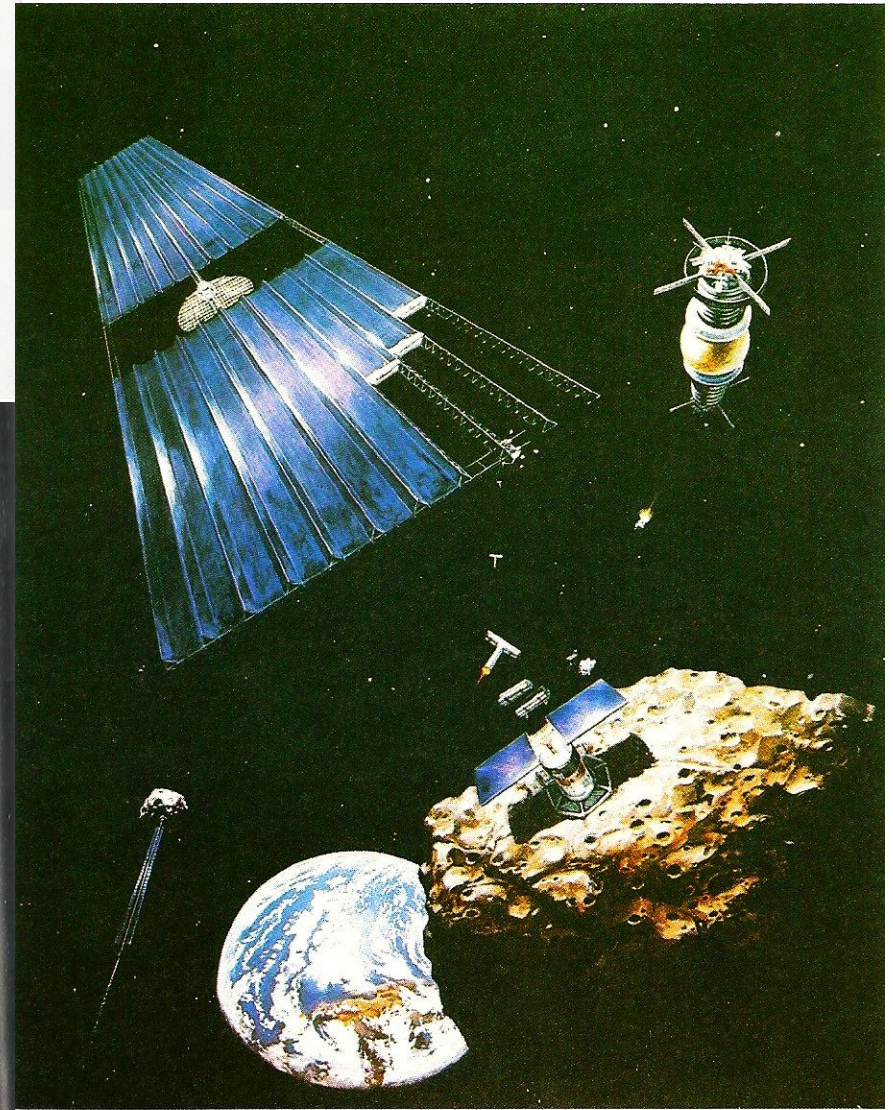




**WASSERGEWINNUNG**  
Mit dem „Fuel Processor“ plant  
Deep Space Industries, aus  
wasserreichen Asteroiden  
Raketentreibstoff zu gewinnen



**WOHNEN IM WELTALL**  
Modell eines Wohn-Raumschiffs, das  
aus Asteroidenmaterial gebaut wird



**Asteroid utilization:** mining ships are docked to asteroids and produce structures  
Credit: ESA, NASA



# Mining and processing of asteroid material

( W.Grandl, A.Bazso: *Near Earth Asteroids- Prospection, Orbit Modification, Mining and Habitation*, in: V.Badescu, *Asteroids- Prospective Energy and Material Resources*, 2013)

- A **Manned Mining Station**, built of cylindrical modules, is docked to the asteroid; it contains a **drilling machine**, **conveying** and **processing machinery** and **storage** and **docking** modules; **rotating habitat modules** provide small artificial gravity for the crew (see also *next slide*)
- Mining an asteroid will be different from mining on Earth because of low or zero gravity; open cast mining is difficult, because the rock chips can float away and be lost;
- We prefer **underground mining** for asteroids with a minimum **bulk density of 2 g/cm<sup>3</sup>**
- The drilling machine prepares a tunnel of 8 m in diameter to the centre of the asteroid and then excavates step by step a spherical cave up to 50% of the asteroid`s volume
- The cavern is permanently filled with a **pressurized gas**; thus the material can be removed easily in a flexible **vacuum conveyor tube**
- In the manned mining station the material is processed, stored and prepared for transport; unmanned **cargo ships** transport the material to LEO or the Lagrangean Points for further industrial use
- To keep the rate of mining equal to the rate of cargo shipping, it will be useful to change the Solar orbits of NEAs into Earth orbits beyond the Moon by nuclear propelled space tugs
- Asteroids with more than 400 m diameter can be used for **human colonies** with artificial gravity; the remaining crust is a proper shelter against meteorites and cosmic rays

# Manned Mining Station (W.Grandl, A.Bazso 2013)

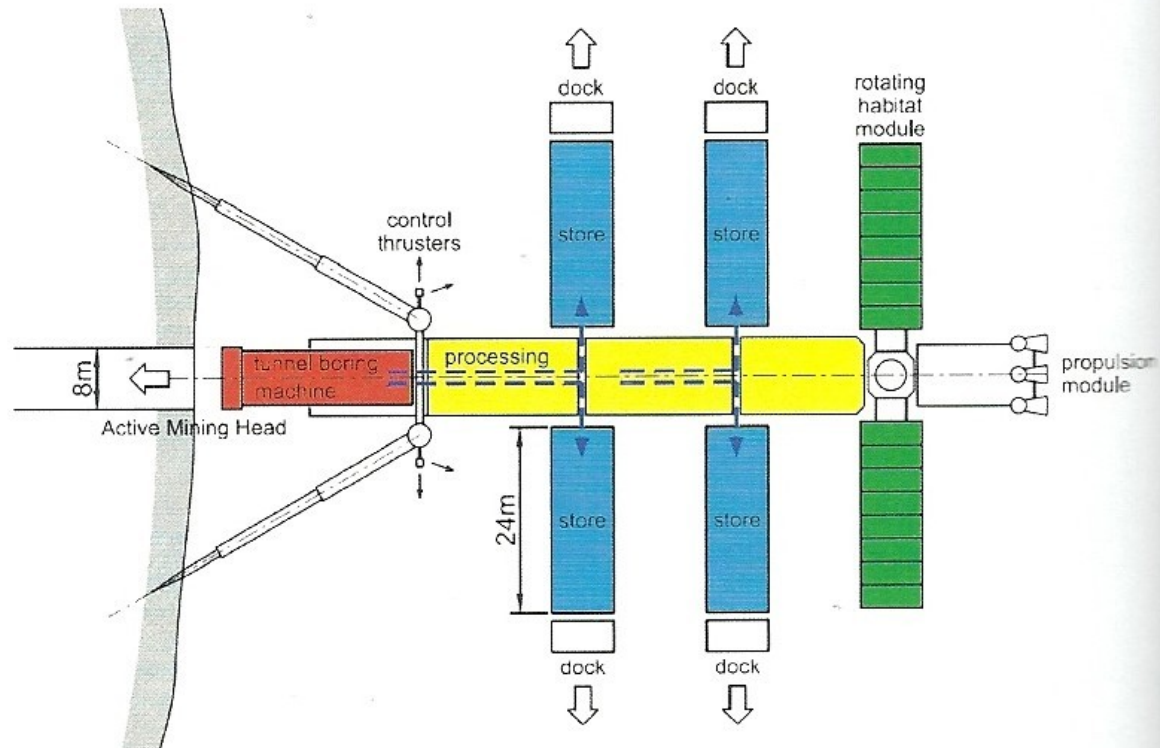


Abb. 4.8 Manned Mining Station (Schema)

# Asteroid mining by bacteria

- A possible advanced method of the future:
  - Use of bacteria to extract metals from ore by leaching; „...bacteria are already used on Earth to help process copper ores. Advances in genetic engineering may make it possible to design bacteria specifically tailored to aid in the recovery of iron, titanium, magnesium and aluminium from lunar soil or asteroidal regolith“ (McKay et al. 1992 )
  - 
  - <https://tu-freiberg.de/presse/bergbau-mit-bakterien-biohydrometallurgen-aus-aller-welt-treffen-sich-in-freiberg>

# Asteroid mining by advanced Nanotechnology

- Initially an advanced **robotic probe** or a **swarm of nanorobots** land on the surface of an asteroid
- Phase 1: the robot(s) **replicate** several times by using asteroid material
- Phase 2: **mining and production** starts; the goal in the far future is the **autonomous production** of entire structures like Solar Power Satellites or Space Colonies including a biosphere; the final stage maybe generating „*Computronium*“, which means a new kind of „matter“, built of nanorobots and nanocomputers
- Nanotechnology and Nanofabrication produces no waste



# Mineral resources and fuels for industrial plants in space

(Reference : J. S. Lewis „Unbegrenzte Zukunft“)

- About 75 % of the asteroid population are chondrites ( C-group), containing water and several volatile elements, which can be used for rocket fuel, drinking-water or hydroculture
- The water resources of the asteroids contain salt with sodium (**Na**), potassium (**K**) and sulfur (**S**), which can be processed into acids and leaches for industrial use
- The remaining slag can be used for shielding structures
- Volatile elements are up to 40% of the entire asteroid mass, approx. 20 % are metals like **Fe** and **Ni**

# Tankstelle

Viel zu hohe Startkosten für die eigene Weltraummission? Eine Forschergruppe vom MIT hat eine Lösung parat: die Tankstelle im All!

## NASA-Konzept: Treibstofflager im All

**Besucherschiff**  
In der Illustration kommen zwei Orion-Raumschiffe - von der NASA derzeit für Missionen jenseits der Erdumlaufbahn konzipiert - zum Auftanken.

**Roboterarm**  
Das Raumschiff nähert sich, bis die Tankstelle es mit einem Roboterarm ergreift und dann über den Arm auch direkt betankt, ohne dass das Schiff andocken muss.

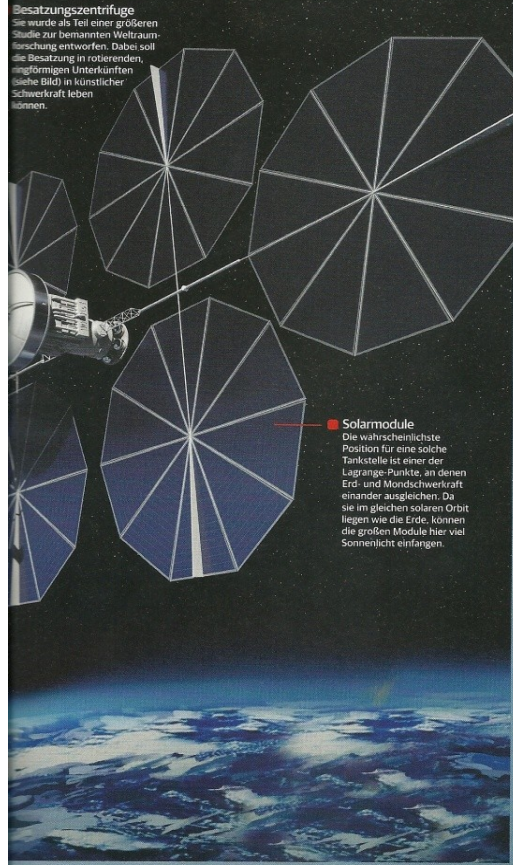
## Deep-Space-Industries-Konzept: Treibstoffraffinerie

**Verankerung**  
Die Raffinerie nähert sich einem geeigneten Asteroiden und hält ihn mit einer beweglichen Kupplung fest. Dabei kann sich beim Abbau des Asteroiden auch dessen Form ändern.

**Kohlenstoffhaltiger Asteroid**  
75 Prozent aller bekannten Asteroiden sind kohlenstoffhaltig. Sie enthalten sowohl hydratisierte Mineralien zur Wassergewinnung als auch Kohlenwasserstoffe zur Treibstoffproduktion.

**Treibstofftanks**  
Die Tanks sollen selbst als Raketenstufen starten, bevor sie ans Treibstofflager angeschlossen werden. Auf dem Bild sind ihre Raketenantriebe noch zu sehen.

**Parabolantenne**  
Die Raffinerie ist zur Kommunikation mit der Erde mit einer großen Parabolantenne ausgestattet, die auch als Sonnenkollektor für solarthermische Energie dient.



**Besatzungszentrale**  
Sie würde als Teil einer größeren Station zur bemannten Weltumfliegung entworfen. Dabei soll die Besatzung in rotierenden, ringförmigen Unterkünten (siehe Bild) in künstlicher Schwerkraft leben können.

**Solarmodule**  
Die wahrscheinlichste Position für eine solche Tankstelle ist einer der Lagrange-Punkte, an denen Erd- und Mondschwerkraft einander ausgleichen. Da sie im gleichen solaren Orbit liegen wie die Erde, können die großen Module hier viel Sonnenlicht einfangen.

Es ist gar nicht so einfach, ins All zu kommen. Mit den heute verfügbaren Triebwerken und Raketen machen Treibstoff und Oxidationsmittel das Hauptgewicht jeder Rakete aus, die die Erdschwerkraft überwinden muss - und bei Missionen jenseits des Erdbodens noch mehr. Daher arbeitet die NASA derzeit an ihrer neuen Rakete „Space Launch System“ (SLS). Sie soll Reisen zum Mars und zu Asteroiden vereinfachen. Könnte man interplanetare Missionen nämlich im Orbit auf tanken, anstatt das Gesamtgewicht von der Erde zu starten, wäre das eine erhebliche Kostensenkung. Ein MIT-Forscherteam schlug nun eine Zwischenlösung vor: Treibstofflager im All.

Das von Professor Jeffrey Hoffman - der selbst in fünf Shuttle-Missionen teilnahm - geleitete Team sieht vor, den Reservetreibstoff zu verwenden, der bei Mondmissionen einhundertprozentig sicherheits- halber mitgeführt wird. Wenn keine Probleme auftreten, könnte dieser ungenutzte Treibstoff im All gelagert werden. Das Lager ließe sich auf zwei Arten nutzen: einmal als stabile Einrichtum von der jede Mission ihren Reservetreibstoff abholt und dann (hoffentlich) wieder dort abfliegt. Schon damit könnte man bei den derzeitigen Kosten für Raketenstarts geboig einsparen. Die zweite Nutzungsmöglichkeit: Kleinere Missionen - vielleicht sogar Mondflüge - fügen weiterhin Reservetreibstoff mit und sammeln in der Tankstelle einen größeren Vorrat an. Spätere, aufwendigere Missionen könnten dann lechtgewichtiger starten und den Treibstoff dort abholen.

Am MIT hat man sich aber nicht nur mit der Missionsplanung befasst, sondern auch mit praktischen Aspekten. So kann man etwa den Treibstoff nicht einfach abpumpen, da er im Vakuum nicht gleichmäßig im Tanklager verteilt ist. Ein Vorschlag ist, die Lager rotieren zu lassen - doch dann müsste man auch das Problem der rotierenden Tankstelle lösen. Das MIT-Konzept sieht daher modulare Tanks vor, die sich wie Batterien austauschen und gebrauchsfertig an ein Raumschiff anschließen lassen. Die ideale Lösung wäre allerdings, sich vor Ort versorgen zu können, schließlich haben Forschungsgebiete auf der Erde auch nicht alle benötigten Vorräte von zu Hause mitgenommen. Das Ziel besteht also darin, nur Menschen und Gepäck ins All zu schicken und alles Nötige dort zu gewinnen. Mit diesem Ansatz arbeitet das US-Unternehmen Deep Space Industries (DSI), das nicht nur Treibstofflager, sondern auch Produktionsstätten im All einrichten will.

DSI erforscht Technologien für Weltraum-Bergbau, -Raffinerien und -Fabriken. Am Anfang stünde eine Erkundungsphase, um geeignete Asteroiden ausfindig zu machen und dort Bodensproben zu entnehmen, dann sollen metallische Werkstoffe abgebaut und mit einem speziellen 3D-Printer zu Geräten und Schiffsteilen verarbeitet werden. Auch Treibstoff und Wasser will man aus den Asteroiden gewinnen, um beides dann im Erdboden zu verkaufen. Dadurch könnten Raumschiffe praktisch leer starten und erst in der Umlaufbahn den schweren Treibstoff tanken. Um den Science-Fiction-Autor Robert Heinlein zu zitieren: „Wenn man erst den Erdboden erreicht hat, ist man schon auf halbem Weg zu jedem beliebigen Ziel im Sonnensystem.“ Gut also, wenn auf der Reise dorthin eine Tankstelle wartet. ■

„Deep Space Industry“ (Space 02/2015)  
Top: filling station with fuel tanks and solar panels  
Bottom: asteroid mining and processing station

# Asteroids, comets and deep space industry 1

(Reference: J. S. Lewis „Unbegrenzte Zukunft“, P. Moore „The New Atlas of the Universe“)

## • Phobos and Deimos, the moons of Mars

Carbonaceous objects;

**Phobos:** orbit 6,000 km, 20x23x28 km, mass  $9.6 \cdot 10^{15}$  kg, bulk density  $1.9 \text{ g/cm}^3$

**Deimos :** orbit 20,000 km, 10x12x16 km, mass  $20 \cdot 10^{15}$  kg, bulk density  $2.1 \text{ g/cm}^3$

- Parabolic escape velocities : Phobos 15 m/s, Deimos 10 m/s (P. Moore, The New Atlas of the Universe, 1990)
- Arthur C. Clarke proposed in 1939 to use the Martian moons as relay and **fuel refilling stations** for interplanetary and interstellar flights
- Phobos and Deimos are supposed to have a huge amount of water resources ; a **solar or nuclear factory** on these objects could provide **water** and **fuel** for interplanetary spaceships
- Phobos and Deimos are natural space stations and fuel filling stations for travel between Earth and Mars; for journeys to the outer Solar system the better way may be to utilize NEAs with proper orbits
- Phobos or Deimos as a source and counterweight for a **Martian Space Elevator** :
  - One of the moons has to be forced into „geostationary“ orbit of Mars
  - A cable made of **graphene** has a tensile strength of  $125,000 \text{ N/mm}^2$  ( steel has only  $2,000 \text{ N/mm}^2$ ); graphene can be produced from the carbon resources of the 2 moons; additionally it can be reinforced by an **iron wire**, which is not possible on Earth due to the increase of the cable mass
  - If the cable has a length about 20 times the radius of Mars, the energy of Mars rotation can be used to „throw“ a payload into deep space

# Asteroids, comets and deep space industry 2

(Reference : J. S. Lewis „Unbegrenzte Zukunft“)

- **The main asteroid belt** is supposed to contain about **750,000 billion tons** of iron:
  - **Perspective 1:** the metal resources of the asteroid belt would be **sufficient for 400 million years**, given the current population of Earth and Western way of life
  - **Perspective 2:** with these metal resources we could build a **spherical human habitat** with approx. **2000 km in diameter**
  - **Perspective 3: Mars-Terraforming:** with a relatively small amount of asteroid metals one could cover the entire planet Mars with an artificial sphere, some km high (a „**Shell-World**“)
  - **Perspective 4: Generation-ships :** with the metal resources of the asteroid belt future generations could be able to build about 10 billions of „**Cosmic Arks**“ , each one carrying 1 million inhabitants to colonize our whole galaxy

– <https://www.space.com> › Science & Astronomy

– <https://www.space.com/23082-shell-worlds-planet-terraforming-technology-infographic.html>

– 08.10.2013 - terraforming, shell world, earthlike, ecosystem, shell world, ken roy, terraforming, terraforming science, shell world engineering, shell world ...

# Asteroid belt colonization

- In the far future humans could decide to colonize the Asteroid belt and later the moons and Trojans of Jupiter (with 3 times the mass of the Asteroid belt).
- Big **cylindrical colonies** with artificial gravity and a self-sustaining **biosphere** could be built of asteroid material (Gerald K. O`Neill )
- Solar and nuclear energy (nuclear fusion) , water, oxygen and material resources may enable **10,000 billions of humans** to live in this remote region and constitute an advanced „superhuman“ or „transhuman“ civilization
- Meanwhile the terraforming of Mars and maybe of Venus could be completed

# Terraforming with asteroid material

(J.S. Lewis, C. Sagan)

## – Mars:

- Covering the **poles** of Mars with **dark dust** of asteroid material
- **Bombardment** of Mars with **small asteroids** to bring water and volatile elements to the Martian surface (see also *next slide*)

## – Venus:

- Mixing the upper atmosphere with **dark dust** from asteroids will in the long run decrease the atmospheric temperature and later the surface temperature
- Finally **alga** and other **primitive plants** could be released on Venus to produce oxygen and decrease CO<sub>2</sub>
- 
- Huge **mirrors** of asteroid material could additionally be built in the orbits of Mars and Venus; Thus Mars could be warmed up by a sunlight beam on its poles to melt ice; Venus could be cooled down by a mirror reflecting the sunlight

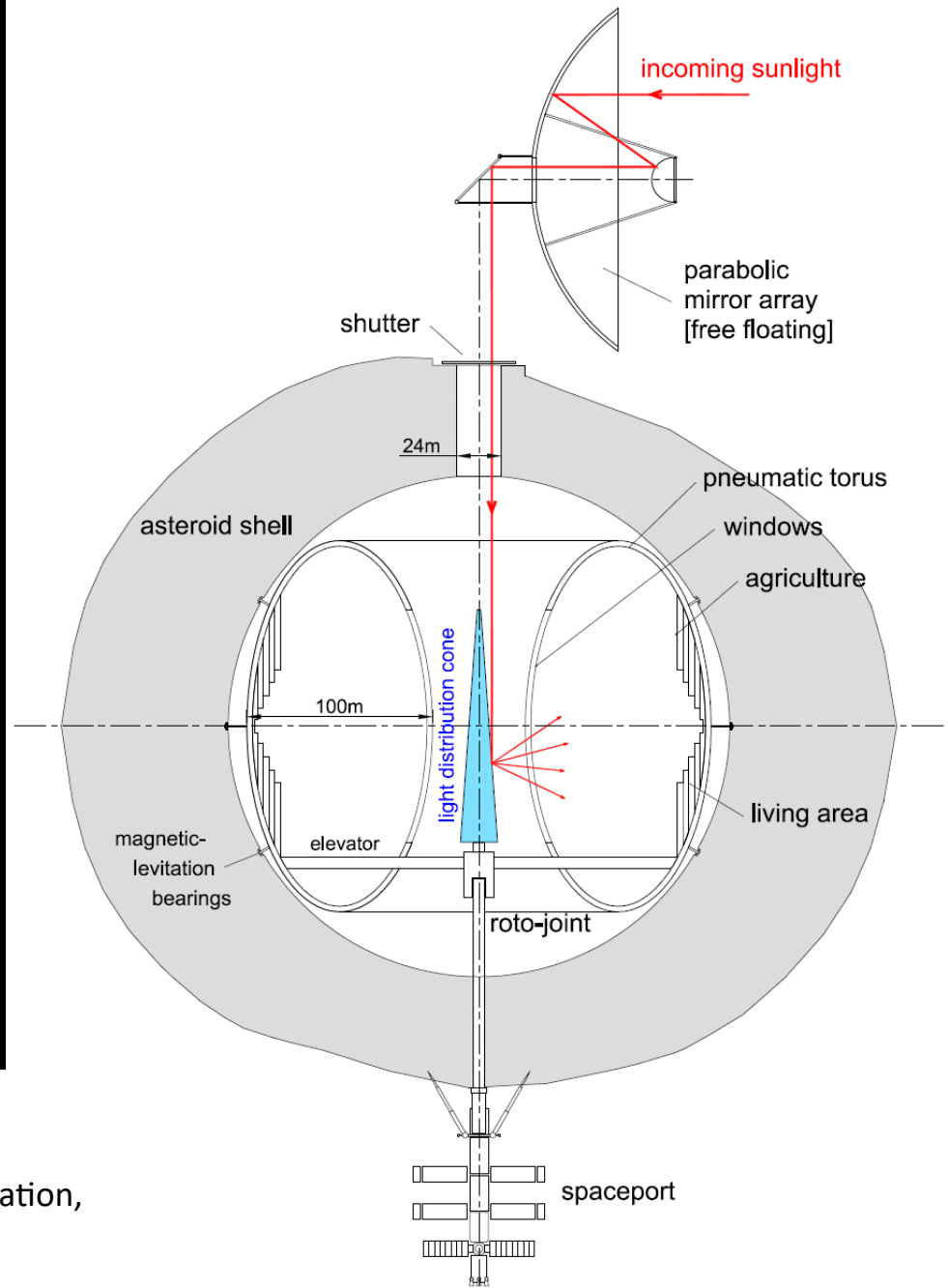
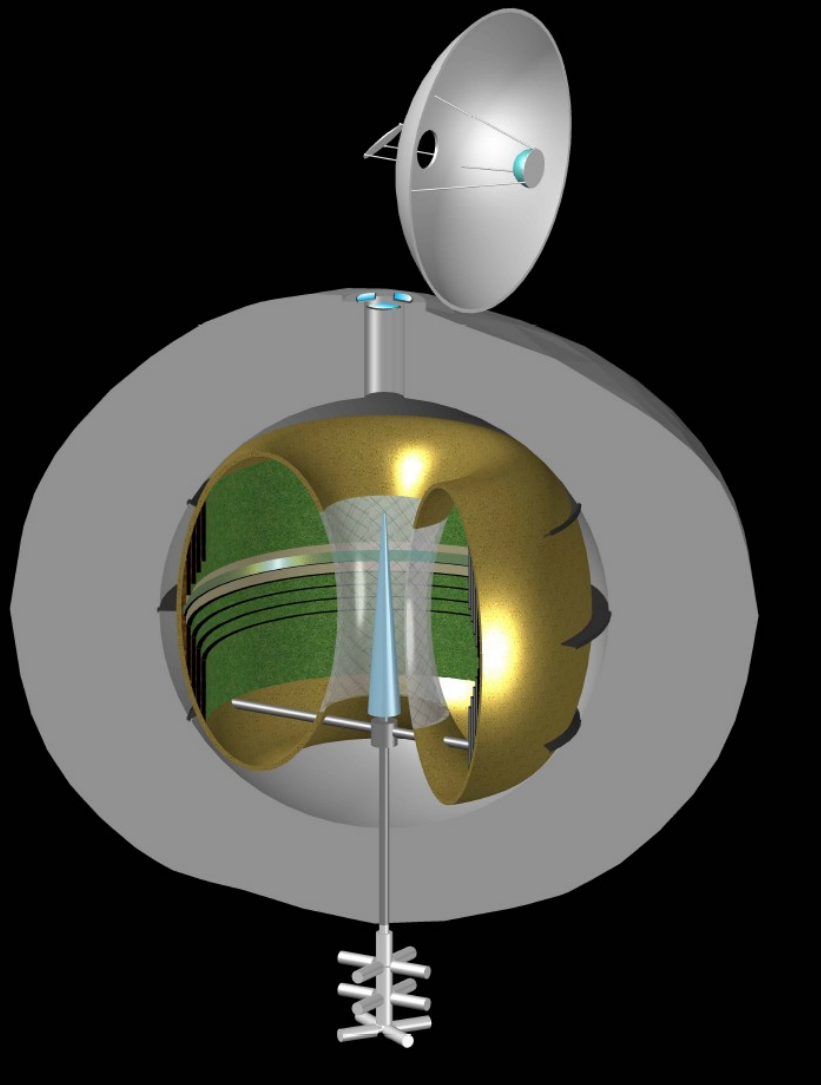
–





Nach einem Kometeneinschlag fließt auf dem Mars kurze Zeit Wasser. Darstellung von Don Davis.

Impact of an asteroid  
on the Martian  
surface ( C. Sagan,  
„Der Komet“, painting  
by Don Davis )



Sections of an **asteroid colony for 2000 people**;  
 The toroidal habitat is kept rotating by magnetic levitation,  
 The asteroid hull and the spaceport are non-rotating  
 ( W. Grandl and A. Bazso 2013 )



## Galery: **Space Colonies**

A colony inside a hollow asteroid

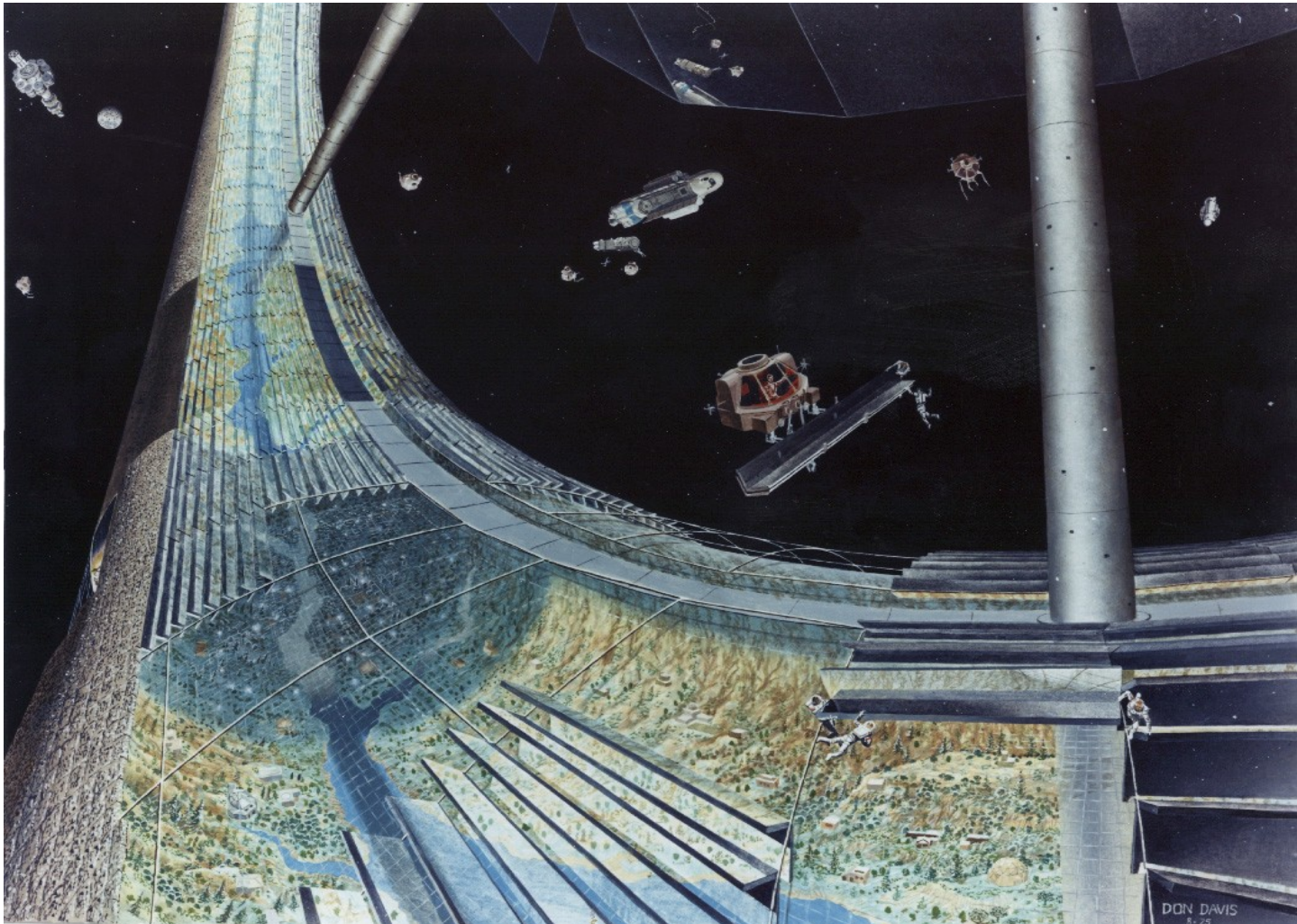
Credit: NASA





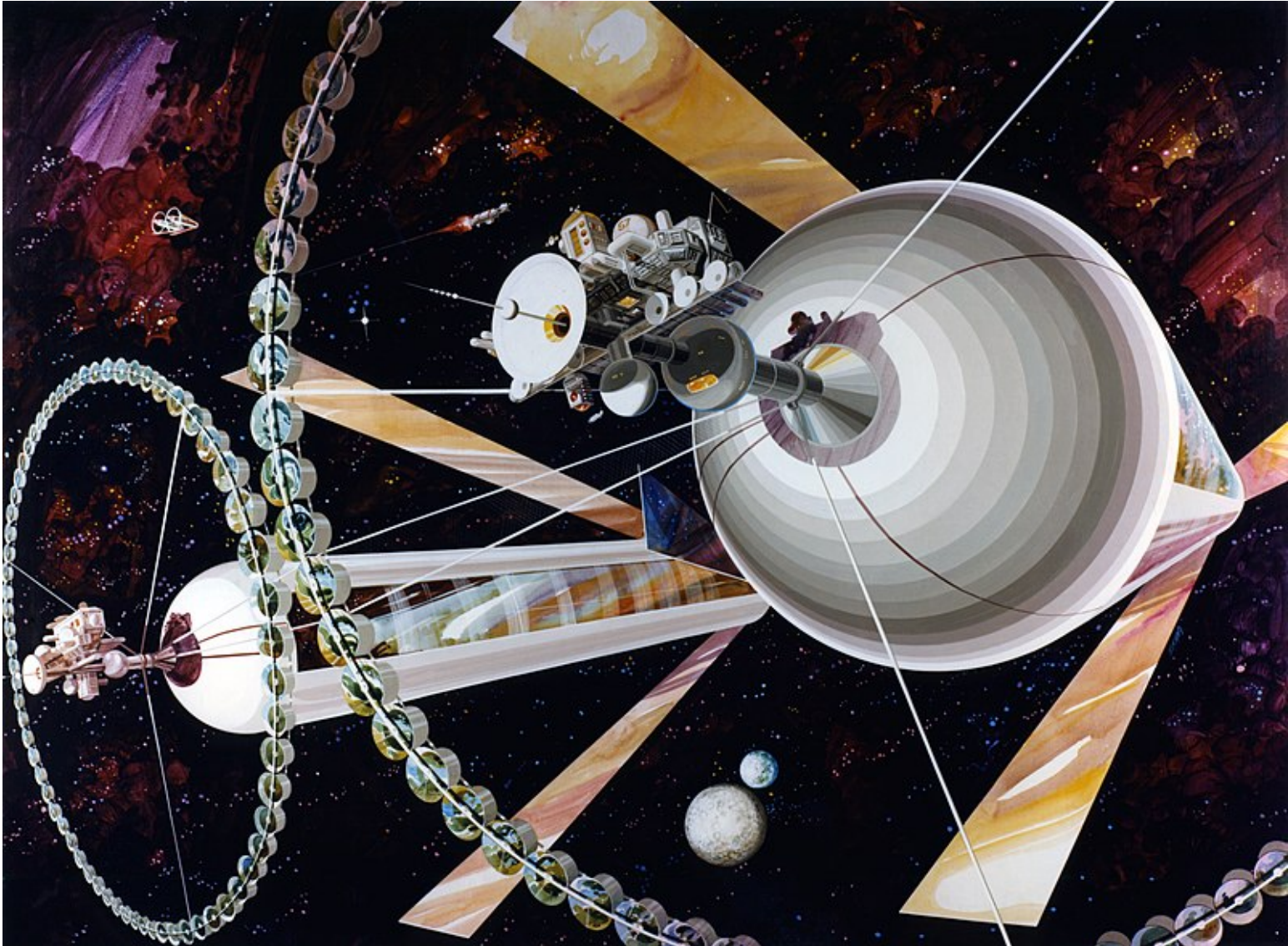
# Galery: The „Stanford Torus“ 1975

for 10,000 inhabitants



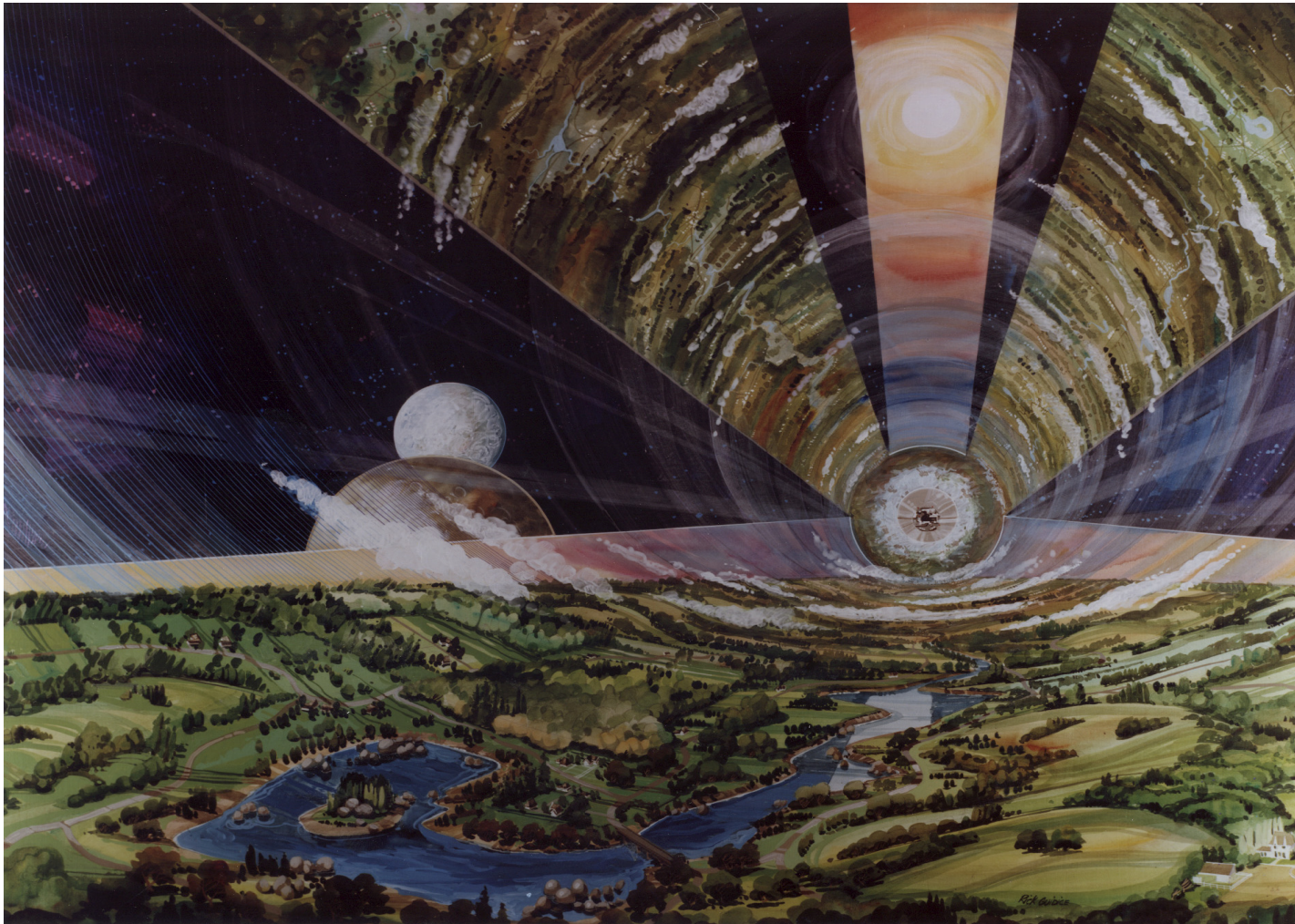


Gallery: **Island 3**, by Gerard K. O'Neill, 1975  
length of the cylinders 36 km, diameter 6.5 km





# Gallery: Island 3 internal view





Gallery:

## Inside the Stanford Torus

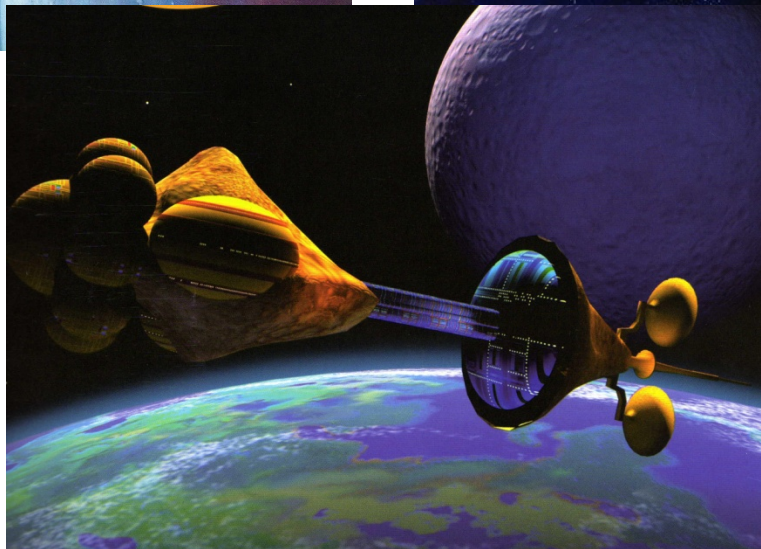
Credit: NASA





# Gallery: **Generation-ships to the next stars**

(credit: NASA)



# Settlements on comets

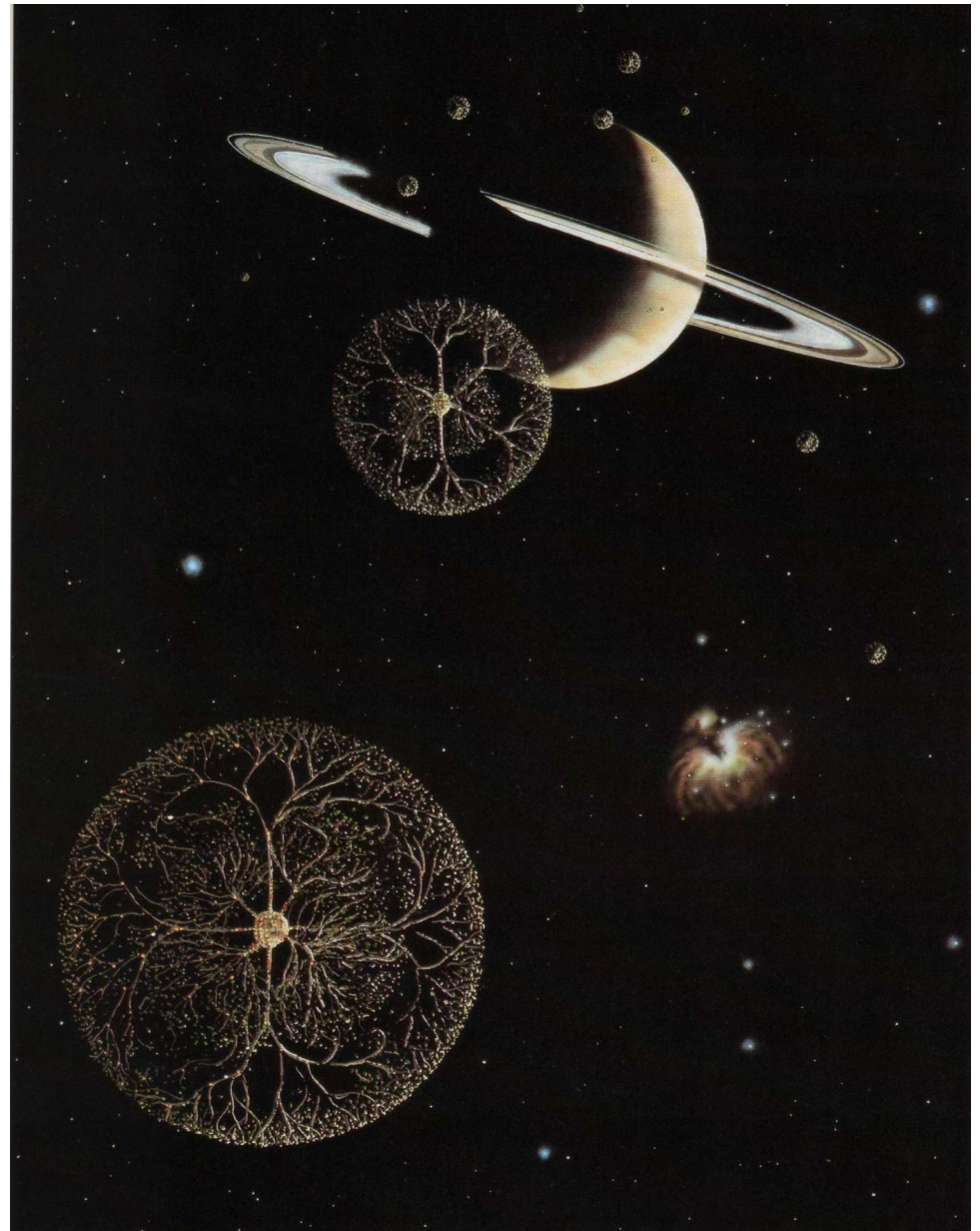
(Reference: Carl Sagan: „Die Kometen“)

## A utopian concept by Freeman Dyson

Freeman Dyson once proposed to plant **genetic engineered trees** on comets into „organic“ snow; the trees would grow extremely large by lack of gravity and collect the sunlight; oxygen produced by photosynthesis is harvested by humans, who are living in the tree-trunks;

Far remoted comets with lack of sunlight could have artificial „suns“ by small fusion ractors;

Even in the Oort cloud such settlements seem to be possible



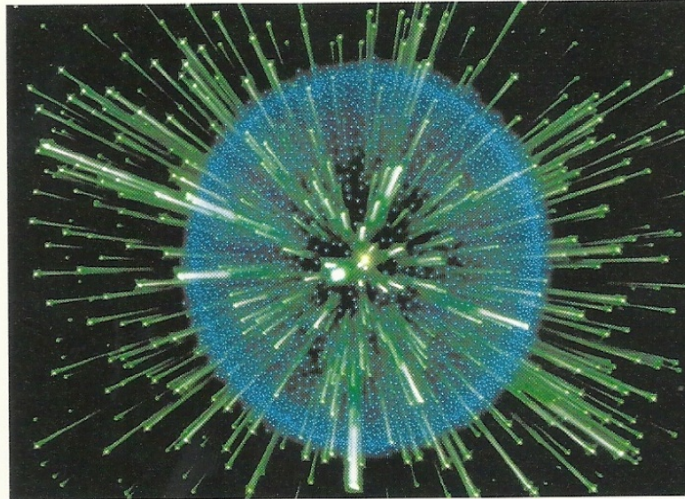


# The Oort cloud expansion- Colonizing the Galaxy

(Reference: Carl Sagan: „Die Kometen“)

In a very far future, when humans will have colonized the asteroids of the Oort cloud, some of these **habitats** can be changed into **generation-starships** for the long travel to the next stars and beyond.

If we assume that many other stars have similar clouds of asteroids, our descendants may once meet intelligent **extraterrestrial species** on their march through the universe.

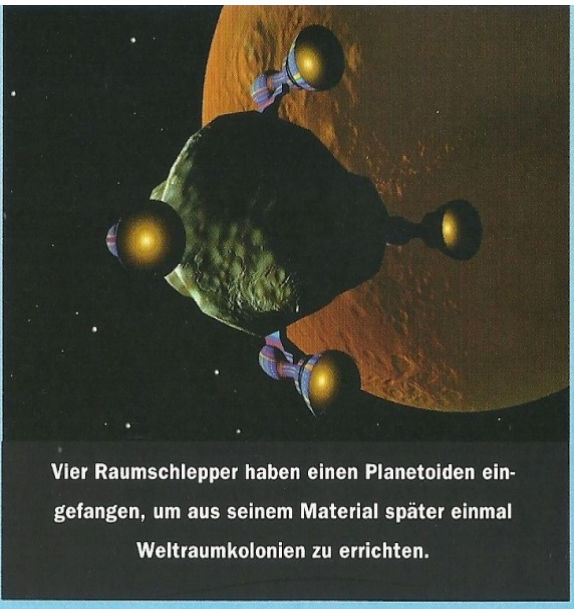


Die Kometen der Oortschen Wolke sickern eigentlich nur langsam in den interstellaren Raum. Vielleicht kann menschliche Technologie diesen Vorgang in der Zukunft beschleunigen. Graphische Darstellung von Jon Lomberg/BPS.



# Changing an asteroids trajectory

( Reference : W. Grandl and A. Bazso 2013 )



Vier Raumschlepper haben einen Planetoiden eingefangen, um aus seinem Material später einmal Weltraumkolonien zu errichten.

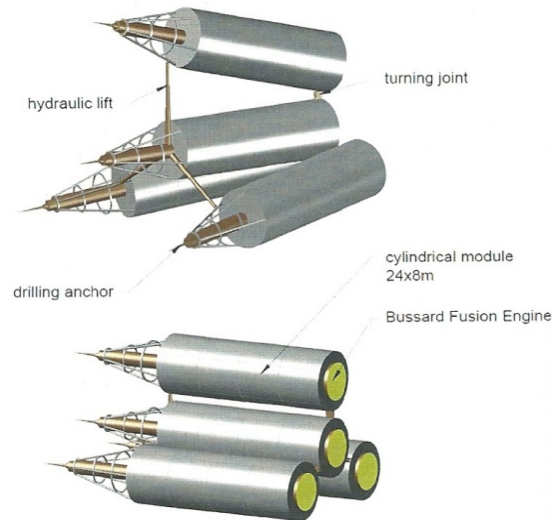


Abb. 4.6 Asteroiden-Schlepper, Asteroid Space Tug: Der Winkel der vier Module zueinander kann auf die unregelmäßige Oberfläche des Asteroiden abgestimmt werden.

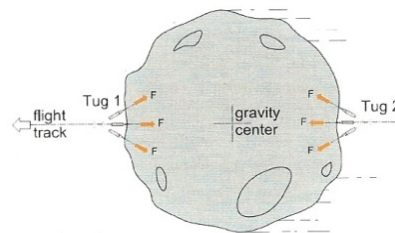
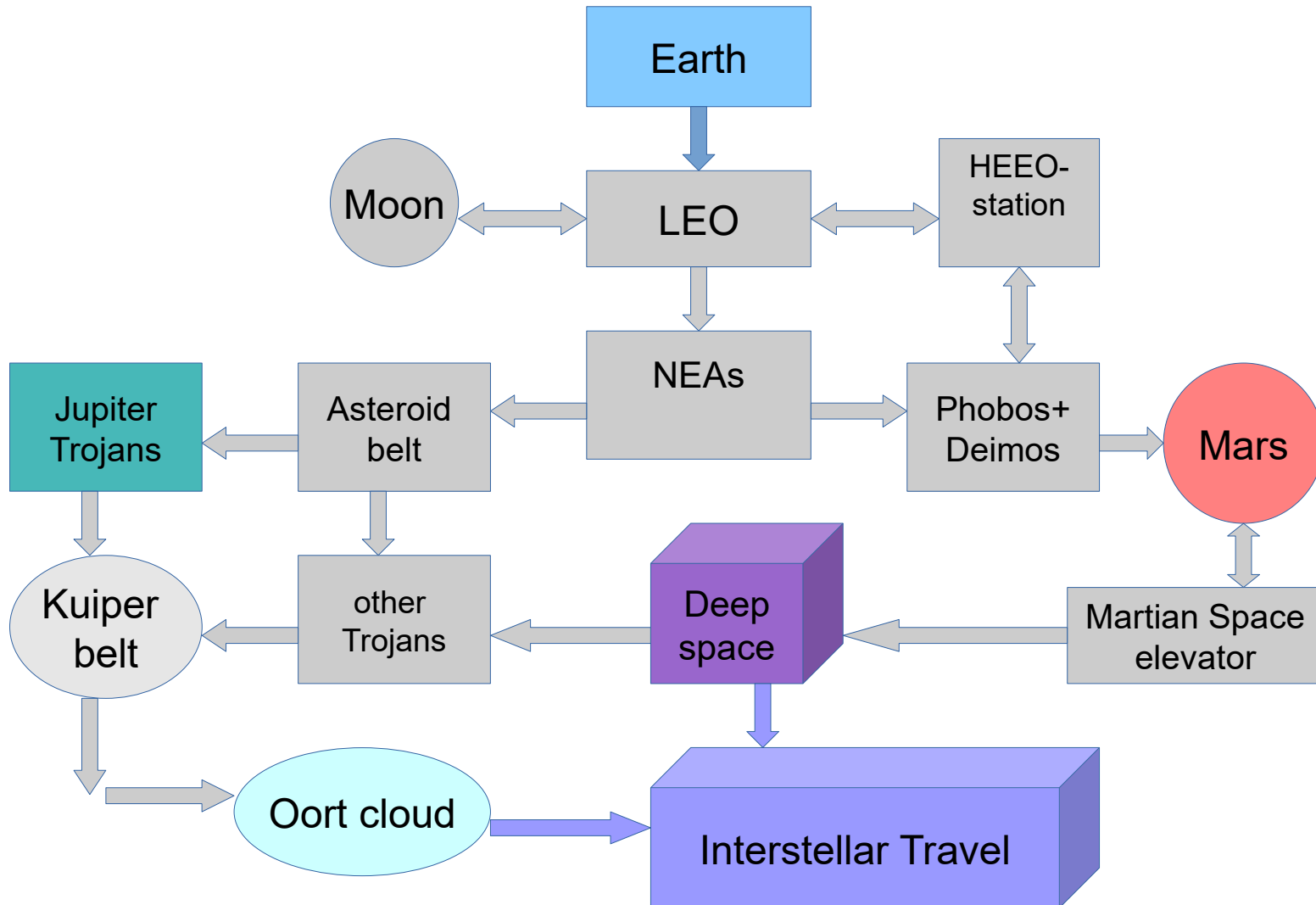


Abb. 4.7 Asteroid mit Space Tugs: Die von den Tugs angesetzten Kräfte F können den Asteroiden in jede gewünschte Richtung lenken

- For the utilization of NEAs it is useful to „catch“ them and force them from Solar into Earth orbits
- A **500 m asteroid** has an average mass of  $1.5 \cdot 10^{11}$  kg ( e.g. 2008EV5 ); The energy we need to change its orbit is about  $2.8 \cdot 10^{18}$  Joule;
- We know just one propulsion system that is capable of this manoeuvre: the **Bussard Nuclear Fusion Engine**; by fusion of Deuterium and Helium-3 a specific energy of  $3.5 \cdot 10^{14}$  J / kg can be computed. Dividing the asteroid energy through the specific fusion energy we get a Helium-3 fuel mass of approx. 8000 tons
- The figures on the left show **asteroid-tugs**, propelled by Bussard Nuclear Fusion engines; the tugs catch the asteroid and modify its flight track

# Conquest of the Solar System by use of asteroids



# References

- W.Grandl, A.Bazso: Near Earth Asteroids - Prospection, Orbit Modification and Habitation, in: V.Badescu (ed.) Asteroids – Prospective Energy and Material Resources, Springer 2013
- W. Grandl: Utopia Solis – Leben im Sonnensystem, Weishaupt-Verlag 2016
- J. S. Lewis: Unbegrenzte Zukunft
- P. Moore : The New Atlas of the Solar System
- D. Steel: Zielscheibe Erde
- C. Sagan: Der Komet
- A. Unsöld, B. Baschek: Der neue Kosmos
- Internet/wikipedia

## Additional considerations , in German language

- mit Raketen sind Asteroiden und Kometen keine unkalkulierbaren Bomben mehr, sondern steuerbare Schätze; steuerbare Objekte lassen sich in Erdnähe, auf 24-h-Bahn, auf HEEO-Bahnen, nach EML 4+5, in Mondumlaufbahnen usw. verschieben; mit ihnen lassen sich Himmelskörper verschieben, potenzielle Impakte verhindern bzw. umlenken, aber auch als kinetische Waffen missbrauchen, deren Auswirkungen von Tunguska und Tscheljabinsk bis hin zu Massenaussterben reichen (Turiner Skala)
- Asteroiden und Kometen (u.a. Weltraumrohstoffe/Ressourcen wie z.B. Sonnenenergie) verändern den Status Quo („Fließgleichgewicht“), ermöglichen qualitatives Wachstum, machen Suffizienzstrategie überflüssig, widerlegen Häckelsche Ökologie und Malthusianismus und ermöglichen uns, eine Kardaschow-Zivilisation vom Typ 2 zu werden. Dafür ist es nötig, irdische Grenzen (physisch und psychisch) – mithin den Geozentrismus zu überwinden und dabei helfen „Asteroiden und Kometen als Ressourcen“.
- Geozentrismus, basierend auf Häckelscher Ökologie und Malthusianismus, impliziert eine Verzichts- und Verbotskultur samt Degeneration; Verzicht auf Technik, auf Fortschritt, ein „Zurück zur Natur“ und sinkender Lebensstandard; Geozentrismus ist ein Rückschritt, eine kulturelle Entropie. „Grenzen des Wachstums“ treffen nur für eine geozentrische, monoplanetare Zivilisation zu, nicht für eine Typ-2-Zivilisation.
- Orbitale Solaranlagen (im GSO, auf Mond; LST-Anlagen + Umlenkspiegel, die die Nachteile der irdischen Sonnenenergie-Anlagen ausgleichen, indem sie die Einstrahlung verstärken, die zeitliche Dauer verlängern) aus Asteroiden- und Kometenmaterial entlasten die irdische Energieversorgung, verringern Energiekrise und sind eine saubere Alternative.
- Klimaprobleme und Umweltschäden sind größtenteils Energieprobleme, da hauptsächlich Energie für globale Umweltverschmutzung verantwortlich ist – durch Bergbau, Aufbereitung, Transport, Verbrennung und Schadstoffausstoß, aber auch Landwirtschaft, konkret die konventionelle Fleischproduktion.
- Allgemein gilt, dass die Menschheit solange gefährdet ist, wie sie sich im monoplanetaren Stadium befindet; Asteroiden und Kometen als Ressourcen durchbrechen diesen Teufelskreis und ermöglichen zunehmenden Wohlstand, soziale und wirtschaftliche Gerechtigkeit für ALLE!
- Mit den Energie- und Rohstoffvorräten des Sonnensystems hat die (kosmisch denkende und handelnde) Menschheit eine *unendliche* Zukunft, da sie nicht nur den Fesseln und Begrenzungen der Erde, sondern auch der Sonne entgehen kann, denn intelligentes Leben ist die wichtigste, größte Ressource im Sonnensystem (und evtl. in der Galaxis).

# Definitions in German language 1

- **programmierbare Materie (Catome)**: Materie, die ihre Form usw. mithilfe von „Catomen“ verändern kann, die sich anpassen kann
  - <https://www.wissenschaft.de/astronomie-physik/schoepferischer-schwarm/>
  - <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Darpa-wuenscht-programmierbare-Materie-191227.html>
  - <https://www.spektrum.de/news/intelligentes-origami-blatt-faltet-sich-selbst/1038078>
  - „Die Physik des Bewusstseins: Über die Zukunft des Geistes“ von Michio Kaku
- **„Computronium“** ist die hypothetische Bezeichnung für „umgewandelte“ Materie, deren kleinste Einheiten Nanocomputer (oder Femto- oder Raumzeit-Computer) sind; Computronium hat das Potenzial, "Stoff" unserer postbiologischen Existenz und darüber hinaus zu einer Eigenschaft der Raumzeit zu werden - wie etwa die Schwerkraft. Dabei ist Computronium weit mehr als nur Werkzeug und Objekt, es ist einerseits Lebensraum für (künstliches) Leben, andererseits aber auch selbst lebendig. Im ausgereiften Cyberspace wird jedes Staubkörnchen (durch Nano- oder Femtocomputer) zu Computronium, zum Teil einer wichtigen Rechnung oder zum Speichern von Daten werden.
  - <https://en.wikipedia.org/wiki/Computronium>
  - Hans Moravec: Computer übernehmen die Macht (1999)
  - Damien Broderick: Die molekulare Manufaktur – Wie Nanotechnologie unsere Zukunft beeinflusst (2004)
  - Michio Kaku: Zukunftsvisionen (1997)
  - Thomas Ahrendt: Extropia - Das postbiologische Zeitalter (2014)

## Definitions in German Language 2

- Geozentrismus: sieht die Erde als quasigeschlossenes System an und erkennt Einflüsse aus dem Weltraum allenfalls für den Mond und die Sonnenstrahlung an; geozentrisches Denken + Handeln dominiert immer noch zukunfts wichtige Wissenschaften, Politik, Wirtschaft und Kultursektoren (Klimawandel, Energiewende)
- Häckelsche Ökologie: Die Häckelsche Ökologie, d.h. das geschlossene geozentrische Ökosystem des 19. Jahrhunderts kennt nur 2 Möglichkeiten hinsichtlich des natürlichen menschlichen Wachstumsbedürfnisses: entweder stoppt es und die Umwelt bleibt erhalten oder das Wachstum geht weiter bis zum Untergang.
- Malthusianismus: Die Malthusianische Katastrophe (nach dem englischen Ökonom Thomas Robert Malthus) tritt dann ein, wenn das Bevölkerungswachstum die landwirtschaftliche Produktion deutlich überschreitet und die Menschheit deswegen dem Untergang geweiht sein sollte
- Suffizienzstrategie: Verstanden werden kann die Suffizienz als Änderungen der vorherrschenden Konsummuster. Das Konzept der Suffizienz berücksichtigt dabei natürliche Grenzen und Ressourcen und bemüht sich somit eines möglichst geringen Rohstoffverbrauchs. Suffizienz wird oft im Zusammenhang mit dem Begriff "nachhaltiger Konsum" gebraucht. Der Begriff steht hierbei für die Selbstbegrenzung und Entschleunigung sowie dem richtigen Maß an Konsum, Konsumverzicht und Entkommerzialisierung.
- Häckelsche Ökologie + Malthusianismus entsprechen einer entropischen Gleichgewichtsgesellschaft im Gegensatz zu einer negentropischen RF-Gesellschaft; Häckelsche Ökologie + Malthusianismus entspringen einem Entweder-Oder-Denken; stattdessen komplementäres Sowohl-als-auch-Denken!

# Definitions in German Language 3 : Entropie

- ist ein Maß für die Unumkehrbarkeit der in thermodynamischen Systemen ablaufenden Prozesse und für die dabei stattfindende Energieentwertung
- Je größer die Entwertung/Nicht-mehr-Nutzbarkeit, desto größer die Entropie des Systems XY
- 1 geschlossenes Gesamtsystem geht von einem Zustand geringer E. zu einem größerer E. über; der schließlich erreichte Gleichgewichtszustand entspricht maximaler E. (Ist das Universum ein solches Gesamtsystem? *Nein*, falls es Teil des Polykosmos wäre und es interkosmische Wechselwirkungen gibt. Weiterhin: wie hängen kosmische Expansion, Entropie + Zeit zusammen?)
- Leben auf der Erde ist nur wegen der Energiezufuhr von der Sonne möglich: für die Erde bedeutet die Sonneneinstrahlung also „negative Entropie“, die von chemischen + biochemischen Reaktionen direkt (Fotosynthese) / indirekt (Nahrungskette) in Pflanzen + Tieren genutzt werden kann: das Leben wird aus negativer Entropie gespeist!
- Fossile Energieträger werden somit zu direkten Negentropieressourcen, deren *exzessive* Nutzung (d.h. die enorme Material- + Energieintensität gegenwärtigen menschlichen Wirtschaftens + Handelns) jedoch die von der Sonne zugeführte Negentropie übertrifft und zum Anstieg von Entropie in Form von ausgebeuteten Ressourcen + Umweltschäden führt;
- Daher Verlangsamung der Entropieproduktion auf der Erde, (Stichworte: Nachhaltigkeit, Effizienz, Ökologie) denn Erzeugung von Negentropie ist mit rein irdischen Techniken kaum möglich, jedoch umso mehr mit weltraumtechnischen Verfahren:
  - *Lichtspiegeltechnik (LST)*,
  - *Energiesatelliten im erdnahen Weltraum (solar,nuklear)*,
  - *Mond als E.: solarelektrisch + solarthermisch, He-3-Fusion + drahtlose Energieübertragung per MASER, LASER*
  - *Antimaterieerzeugung*
  - *Wasserstoffproduktion mit Solarstrom: erhöhte Sonneneinstrahlung durch LST; Strahlungsenergie von Sonnenenergiasatelliten*
  - *Ressourcen der Planeten, Monde, Planetoiden, Kometen usw.; H + He der äußeren Gasriesen*
  - *Umweltneutrale Produktion im All o.a. formuliert „Industrialisierung des Weltraums“ + Transport per Weltraumaufzug o.ä.*
- Diese weltraumtechnischen Verfahren verlangsamen die irdische Energieentwertung, also Entropie + erzeugen Negentropie! Damit verschiebt die Weltraumtechnik den letalen Gleichgewichtszustand, mit dem Leben auf der Erde endet – um Mega- + Gigajahre! Auch + vor allem mit Antimaterie-Kunstsonnen
- WELTRAUMTECHNIK wirkt der wirtschaftlichen (stofflichen) Entropieerzeugung entgegen durch negentropische Energieversorgung und durch Erschließung neuer Stoffressourcen und bewirkt damit die Öffnung des geschlossenen Entropiesystems Erde zu einem offenen entropischen Lebensraum – dem Ökokosmos
- Mit WELTRAUMTECHNIK verwandelt der Mensch (allg. technische Zivilisationen) das *geschlossene* Entropiesystem Erde (da sie *nur Energie austauscht*, d.h. sie empfängt Sonnenenergie und strahlt ihre Abwärme ins All zurück) zu einem offenen System, dass (wie ein Lebewesen) Energie + Materie mit seiner kosmischen Umwelt – über Raumfahrt – austauscht: Superökologie!

## Definitions in German Language 4 : **Negentropie**

- Sonnenenergie als einzige wirkliche Quelle negativer Entropie im Sonnensystem
- Weltraumtechnik bietet die technologischen Mittel die Sonne auch außerirdisch zu nutzen; Weltraumtechnik als von Menschenhand +-Geist erzeugte Negentropie
- Lichtspiegel-Technologie (LST)-Negentropie: für Fotosyntheseproduktion (Land, Ozeane), Energieproduktion (Strom, Wärme), Nachtbeleuchtung, Umwelt, Wetter + Klima (Eiszeiten verhindern, Stürme, Smog usw.)
- Antimaterieerzeugung (+allg. Energiespeicherung) als Weg, die kosmische Energieverschwendung (von Sonne, Sternen, Quasaren u.a. AGNs, SN + HN, SL-Kollisionen, Neutronensternkollisionen usw.) und den Entropiezuwachs zu verringern
- Vor allem die Antimaterieerzeugung ist deshalb ein negentropischer Prozess weil eine Energiequelle genutzt wird, die – aus irdischer Sicht – 1. absolut ressourcenschonend + umweltneutral ist, 2. die sonst im kosmischen Entropiezuwachs untergehen/verschwendet werden würde
- Der „negentropische Wirkungsgrad“ drückt 1. Verhältnis zwischen Nutzleistung + aufgewandter Leistung aus, 2. den Anstieg/Zugewinn an negativer Entropie