



Wasserbasierte Satellitentriebwerke

Nicholas Harmansa - ArianeGroup



Warum Antriebe?

Raketentriebwerk

- Zielgeschwindigkeit > 8 km/s
- Sehr hohe Leistung
- Rückstoßprinzip
- Nicht luftatmend
- Energie wird chemisch gespeichert → Verbrennung

Kennzahlen

Schub

Kraft des Triebwerks

Einheit Newton [N]

Raketentriebwerke: kN - MN

Satellitentriebwerke: mN - N

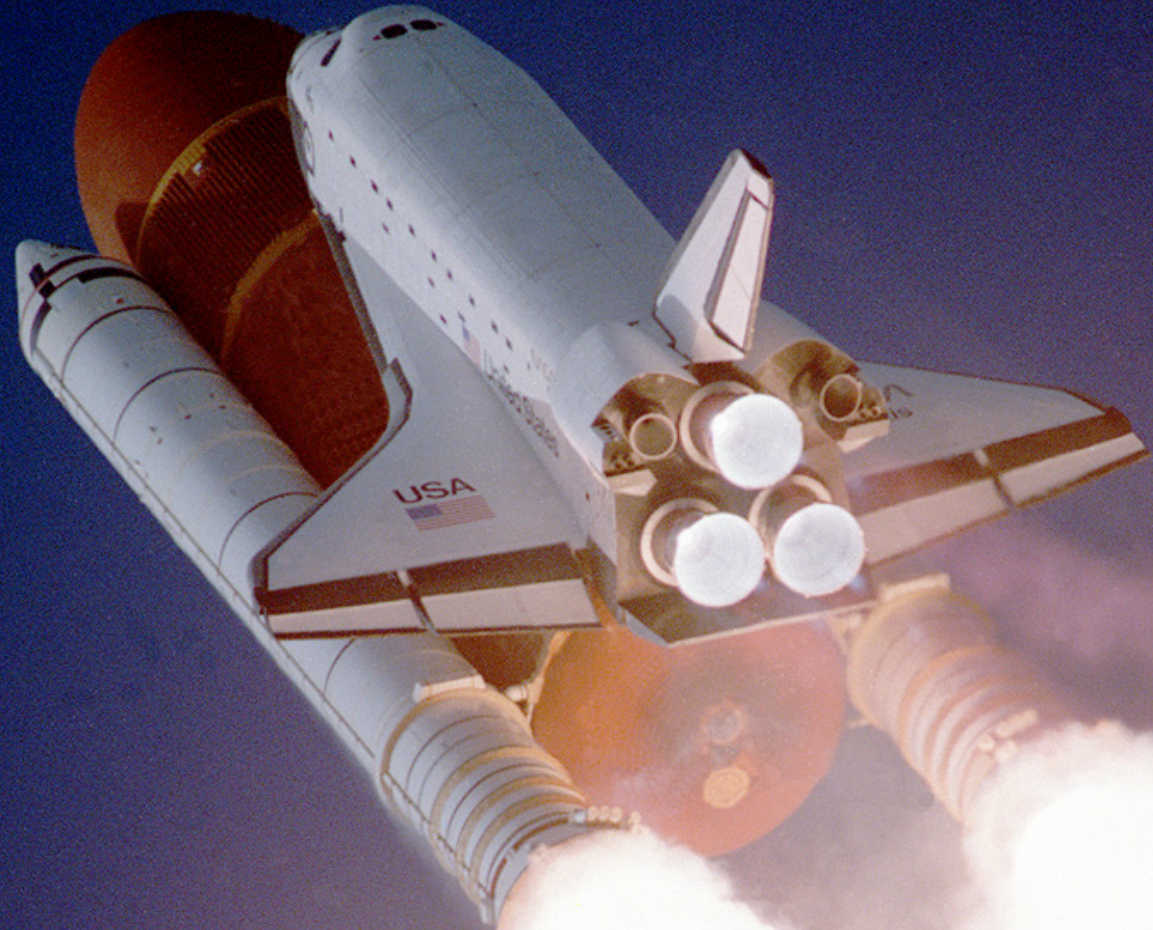
Spezifischer Impuls - ISP

Austrittsgeschwindigkeit der Treibstoffe

Effizienz des Triebwerks

Einheit Sekunden [s]





Flüssigtriebwerke

Hoher Schub

Regelbar

Teilweise wiederverwendbar

Mittlerer - hoher ISP

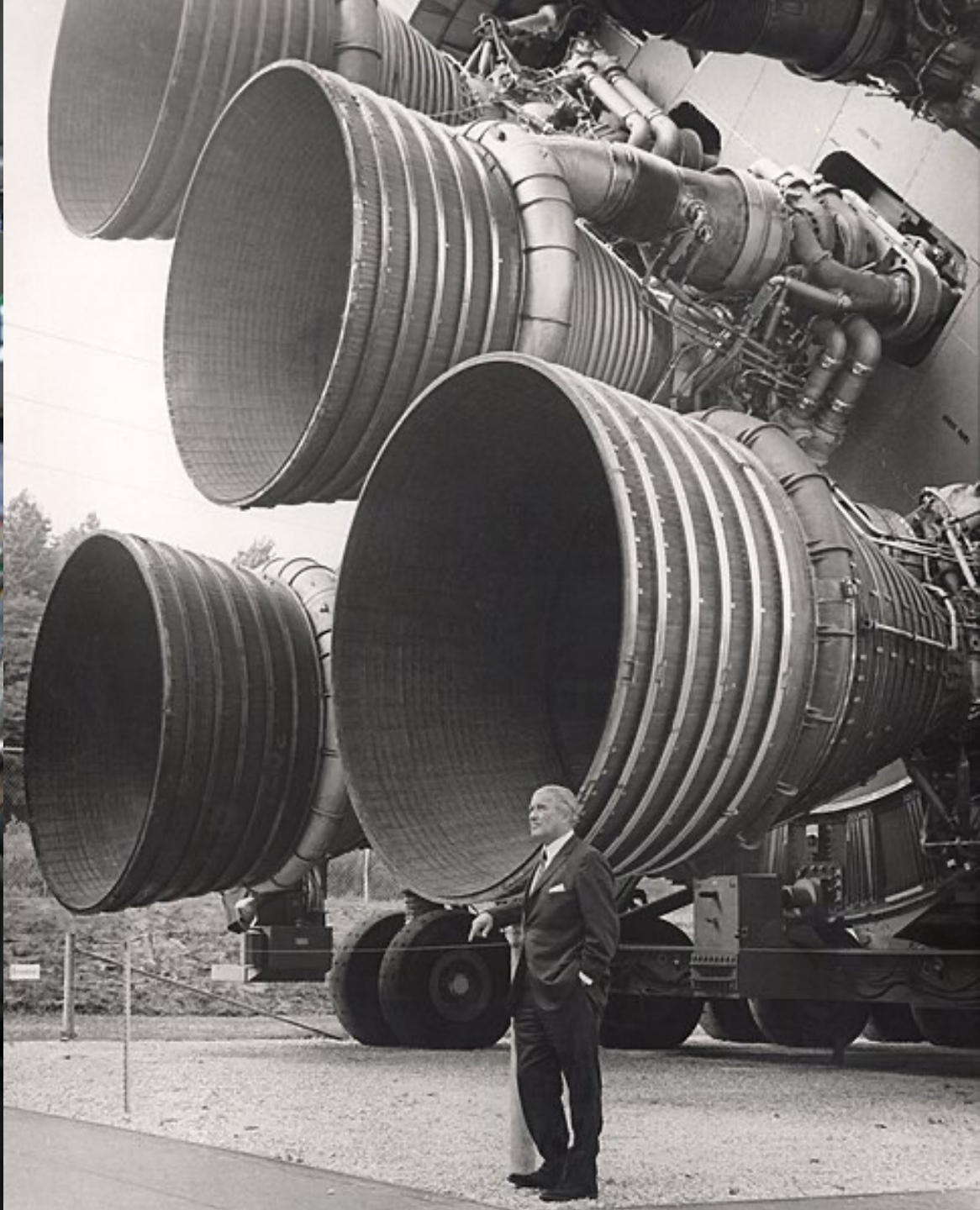
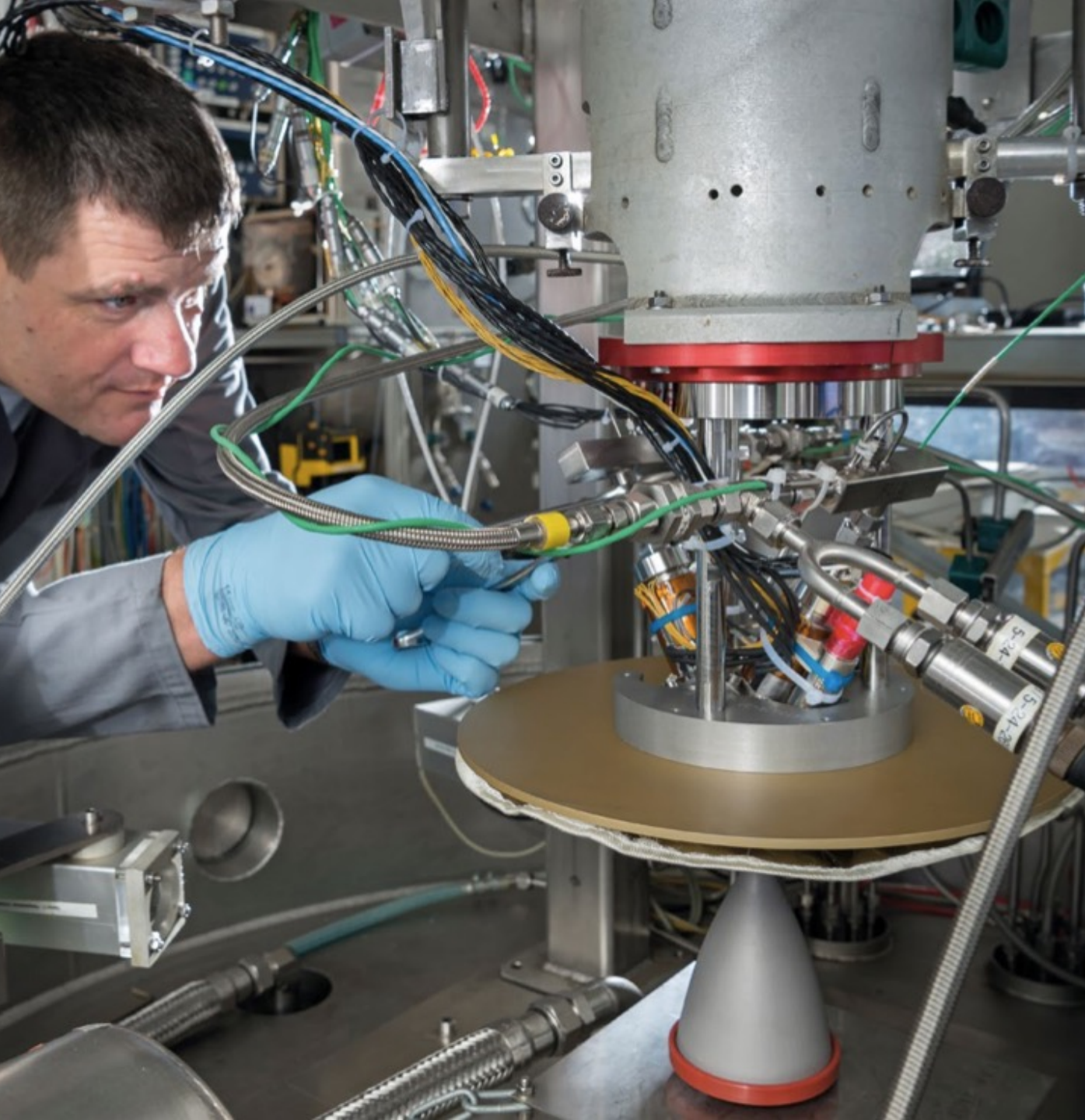
Feststofftriebwerke

Booster für Raketen

Sehr hoher Schub

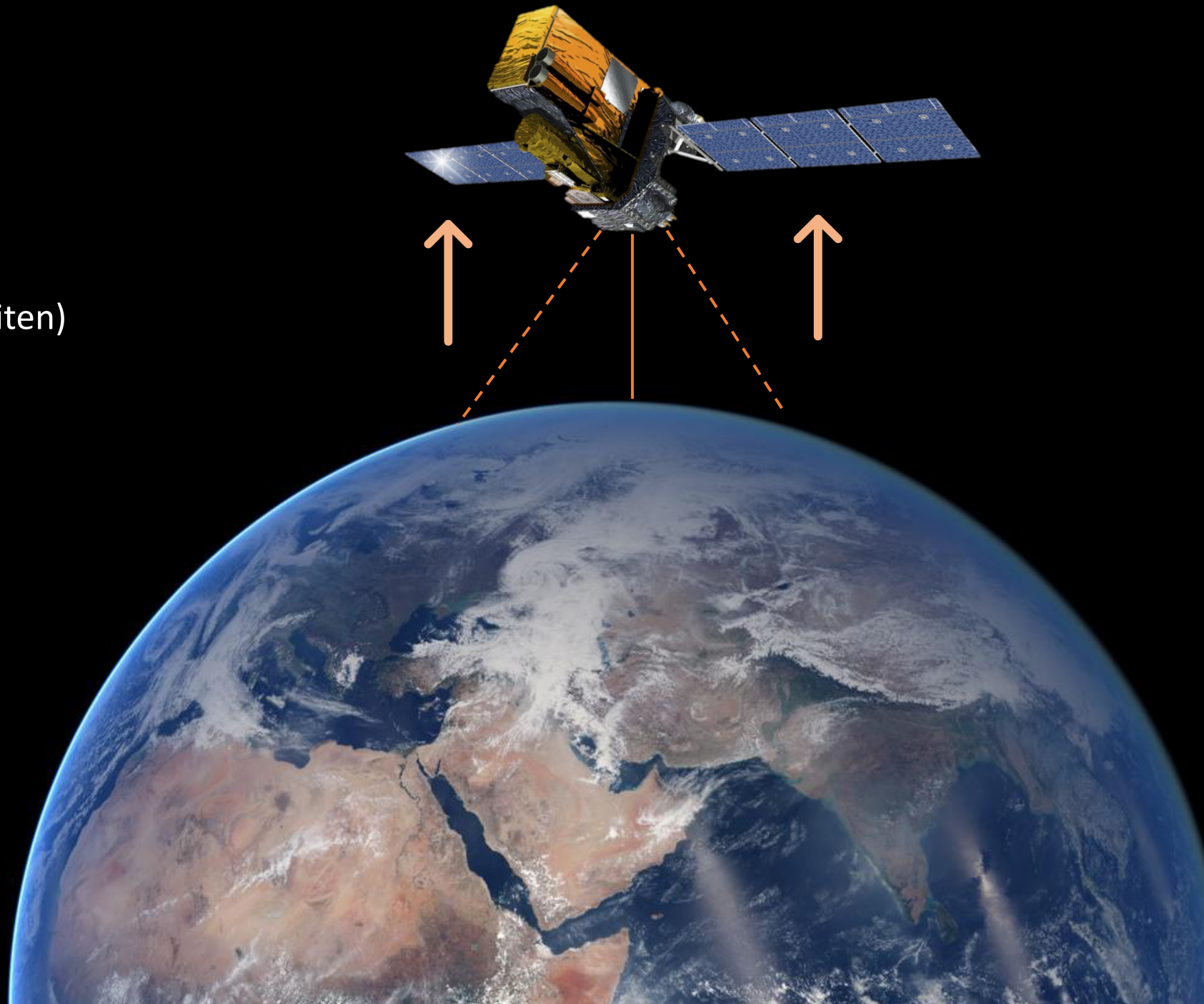
Nicht regelbar

Mittlerer ISP



Satellitentriebwerke

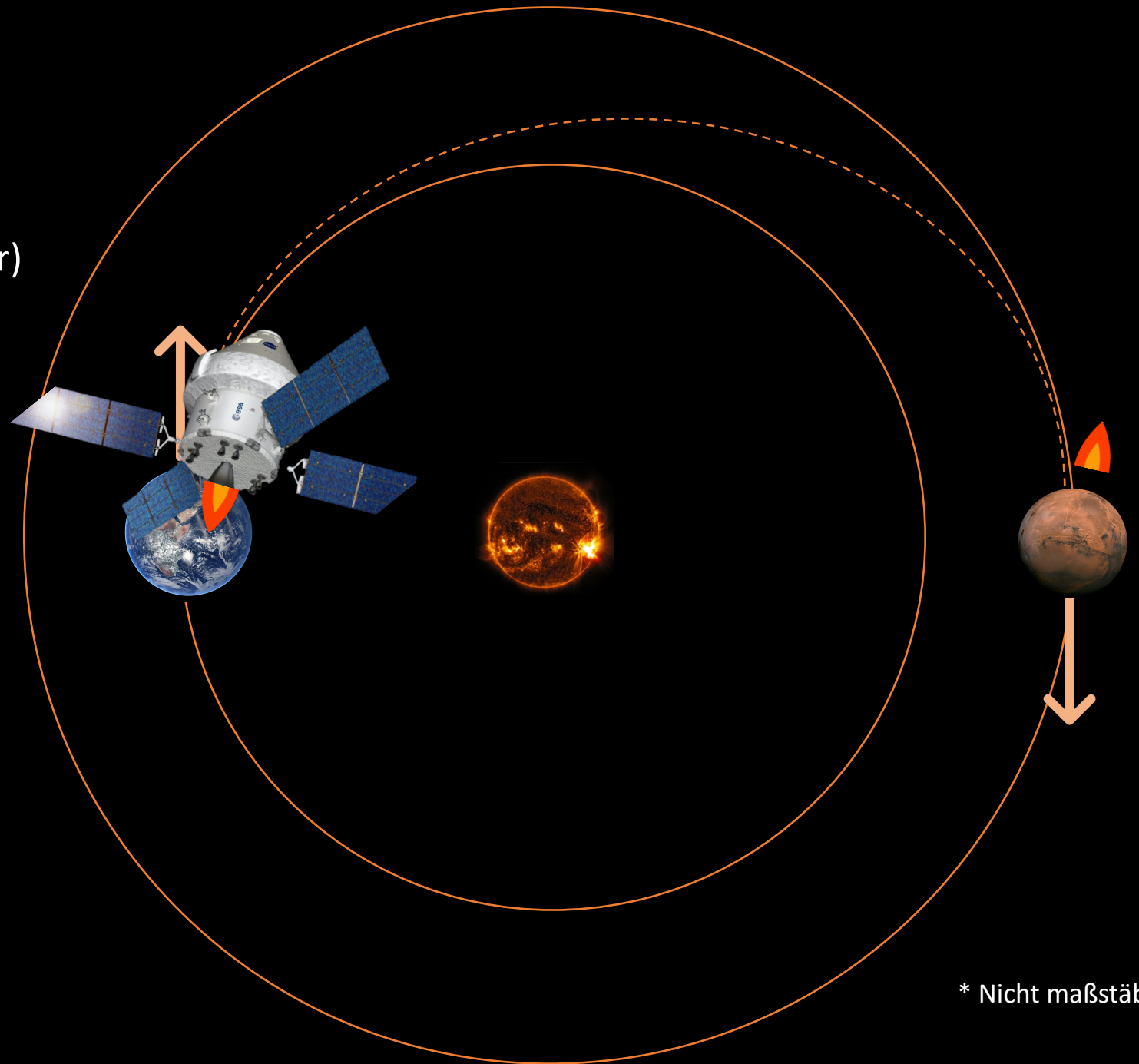
Lageregelung (Ausrichtung des Satelliten)
z.B. Erdbeobachtung



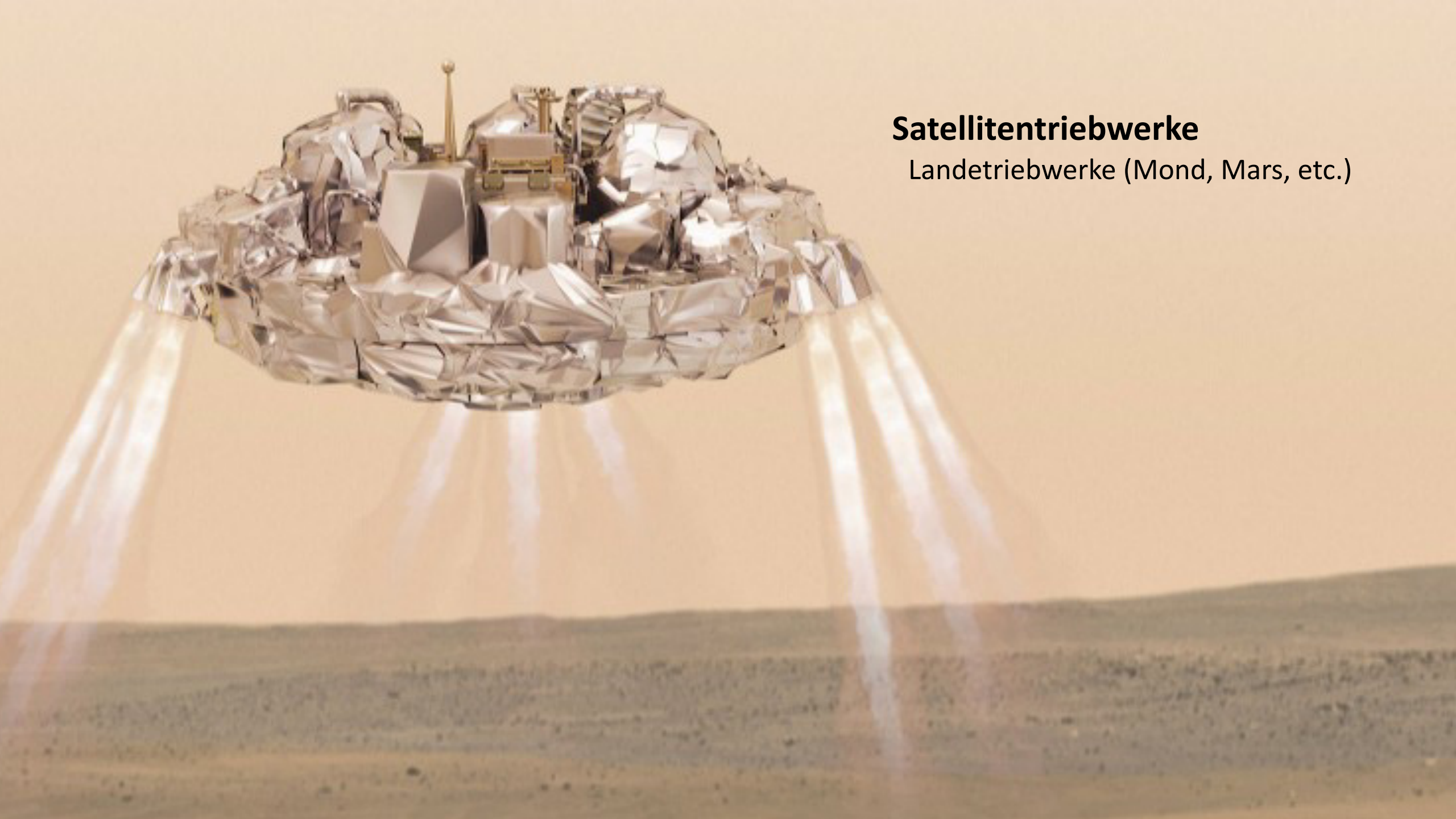
Satellitentriebwerke

Bahnregelung (Erdorbits und interplanetar)

z.B. Bahnübergang Erde → Mars

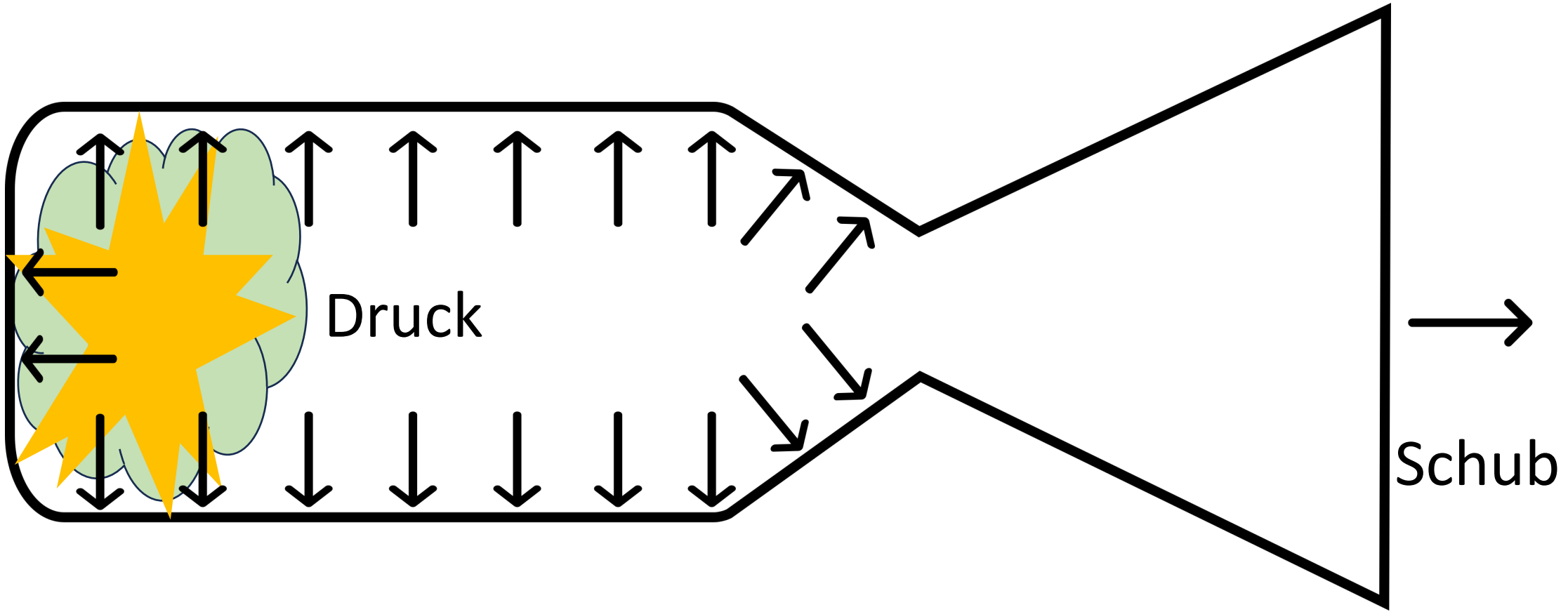


* Nicht maßstäblich



Satellitentriebwerke

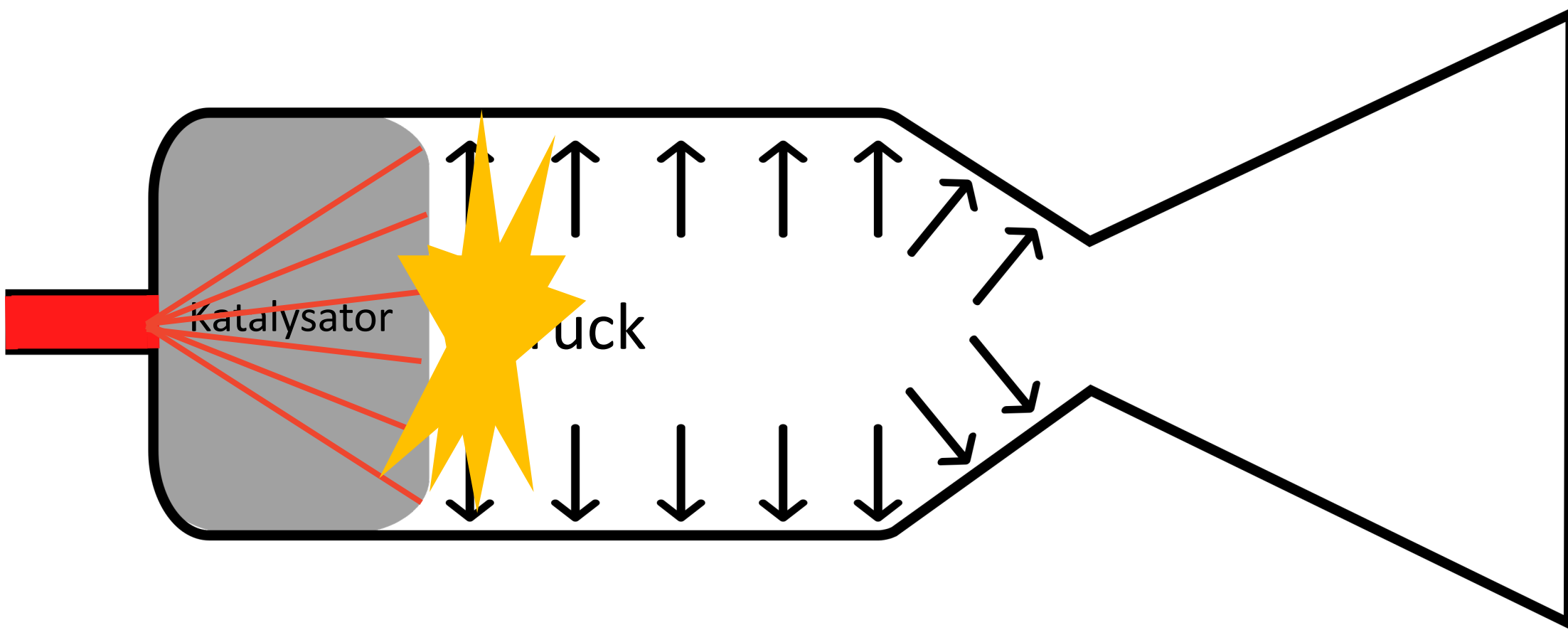
Landetriebwerke (Mond, Mars, etc.)



Treibstoffe

Einstoffsysteme: Hydrazin

- Schubbereich: N bis kN
- ISP ca. 230 s
- Lage-/Bahnregelung
- Katalytische Zündung
- Hochgiftig



Treibstoffe

Einstoffsysteme:

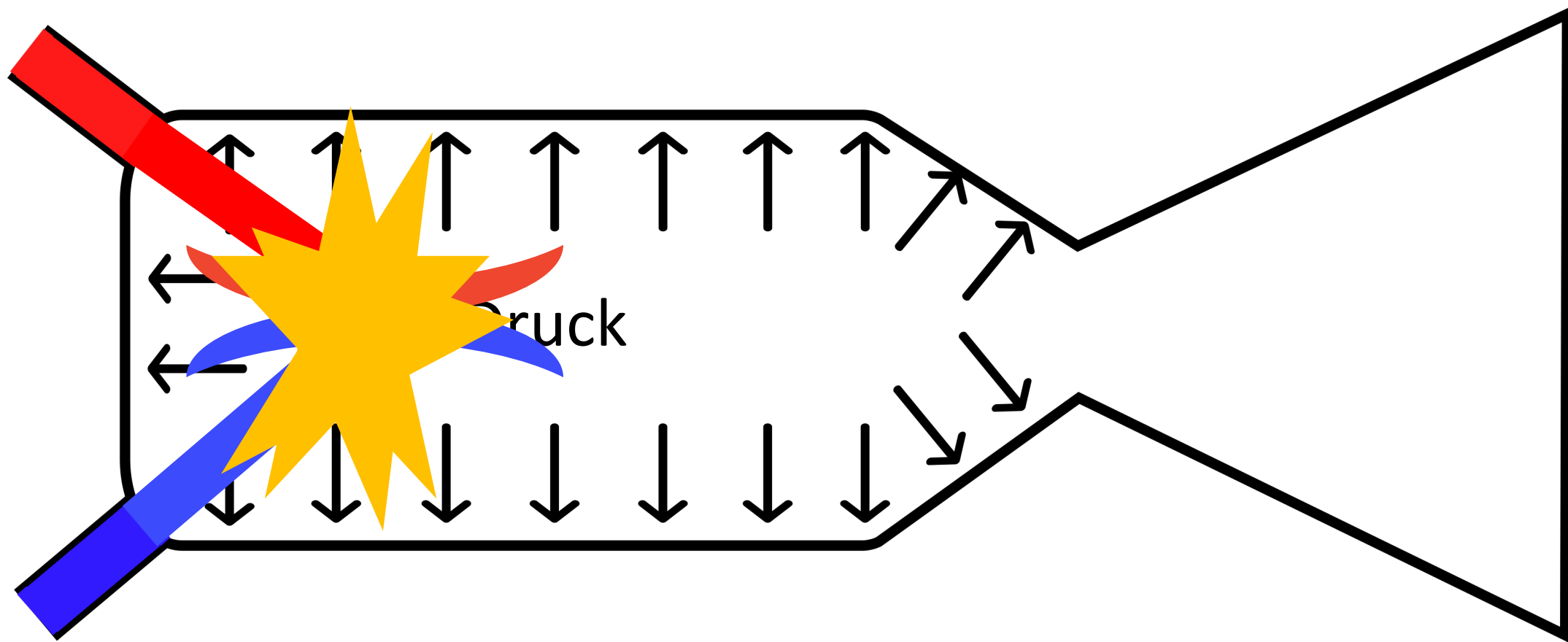
Hydrazin

- Schubbereich: N bis kN
- ISP ca. 230 s
- Lage-/Bahnregelung
- Katalytische Zündung
- Hochgiftig

Zweistoffsysteme:

MMH + NTO

- Schubbereich: N bis kN
- ISP ca. 290 s
- Lage-/Bahnregelung
- Hypergole Zündung
- Hochgiftig



Treibstoffe

Einstoffsysteme: Hydrazin

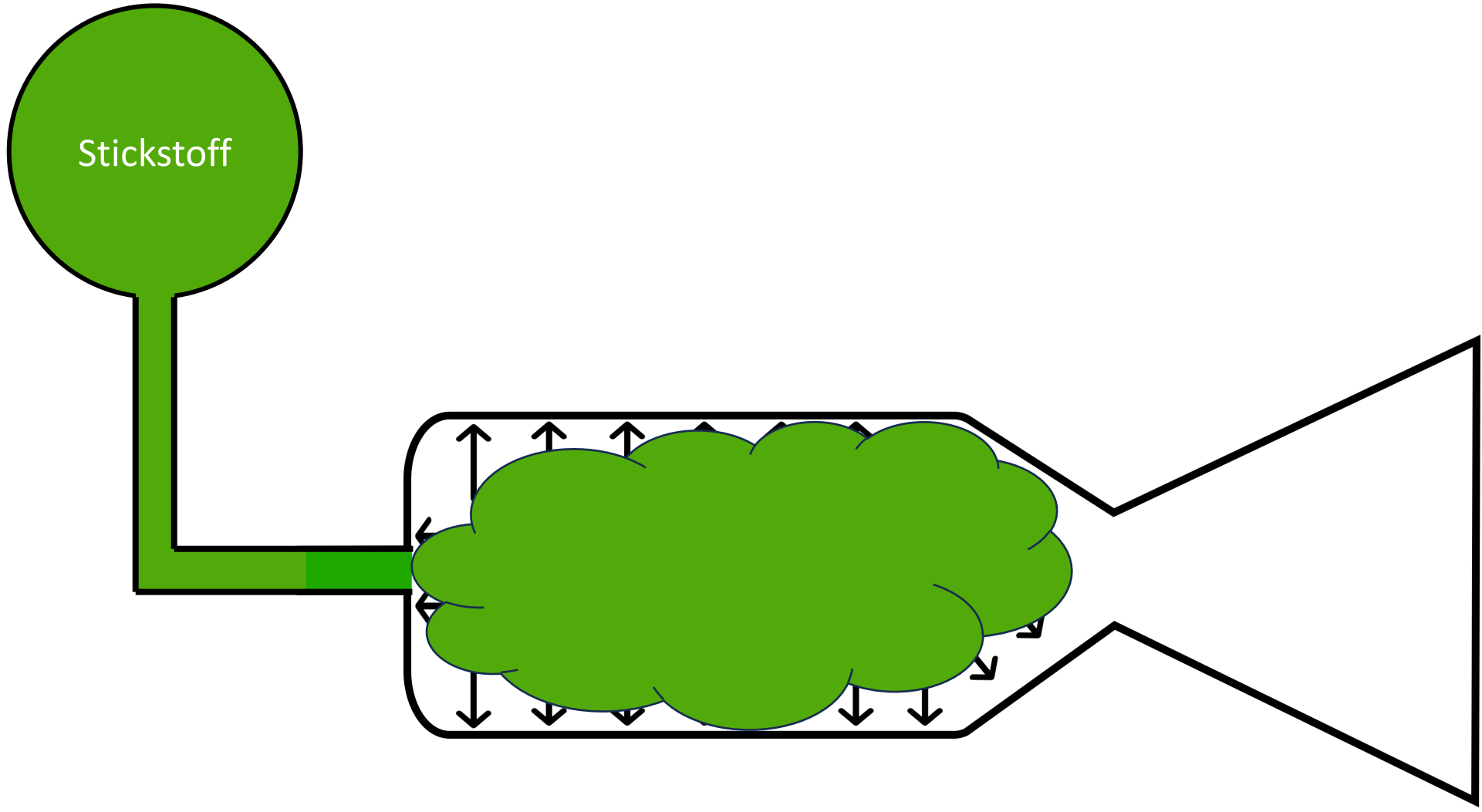
- Schubbereich: N bis kN
- ISP ca. 230 s
- Lage-/Bahnregelung
- Katalytische Zündung
- Hochgiftig

Zweistoffsysteme: MMH + NTO

- Schubbereich: N bis kN
- ISP ca. 290 s
- Lage-/Bahnregelung
- Hypergole Zündung
- Hochgiftig

Kaltgassysteme: Stickstoff

- Niedriger Schub (mN)
- Niedriger ISP
- Lageregelung von Kleinsatelliten



Treibstoffe

Einstoffsysteme: Hydrazin

- Schubbereich: N bis kN
- ISP ca. 230 s
- Lage-/Bahnregelung
- Katalytische Zündung
- Hochgiftig

Zweistoffsysteme: MMH + NTO

- Schubbereich: N bis kN
- ISP ca. 290 s
- Lage-/Bahnregelung
- Hypergole Zündung
- Hochgiftig

Kaltgassysteme: Stickstoff

- Niedriger Schub (mN)
- Niedriger ISP
- Lageregelung von Kleinsatelliten

Elektrische Systeme: Xenon

- Sehr niedriger Schub (mN – N)
- Sehr hoher ISP
- Lage-/Bahnregelung
- Interplanetare Missionen

Treibstoffe

Hydrazin

- Standardtreibstoff
- Lange lagerfähig
- Sehr zuverlässig



Treibstoffe

Hydrazin

- Hochgiftig
- Karzinogen
- Brennbar
- Umweltschädlich
- Korrosiv



Betankung nur am
Raketenstartplatz



Wasser als
Treibstoff?



Wasser als Treibstoff!

Wassertank

Speicherung von flüssigem Wasser
Niedriger Druck = leichte Tankstruktur

Elektrolyseur

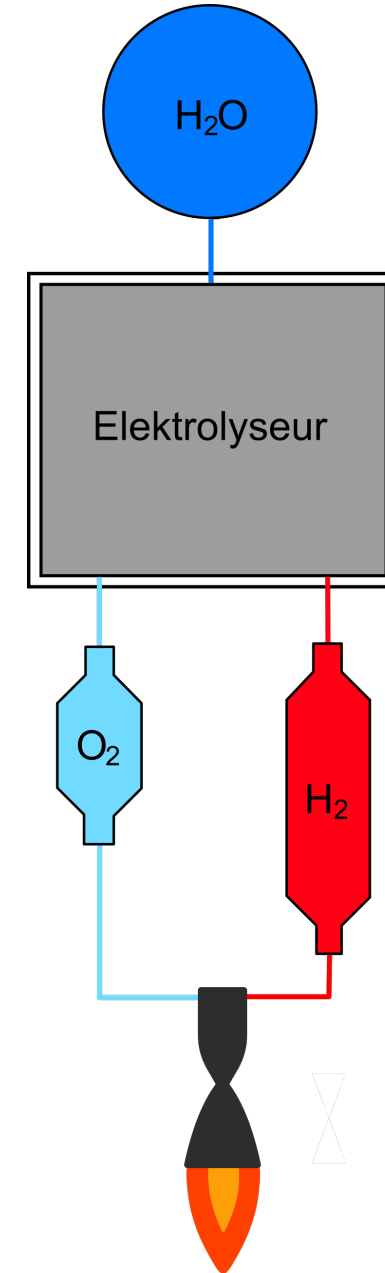
Gerät zur Zersetzung von Wasser
Gasförmiger Wasserstoff und Sauerstoff

Drucktanks

Speicherung der erzeugten Gase unter
hohem Druck

Triebwerk

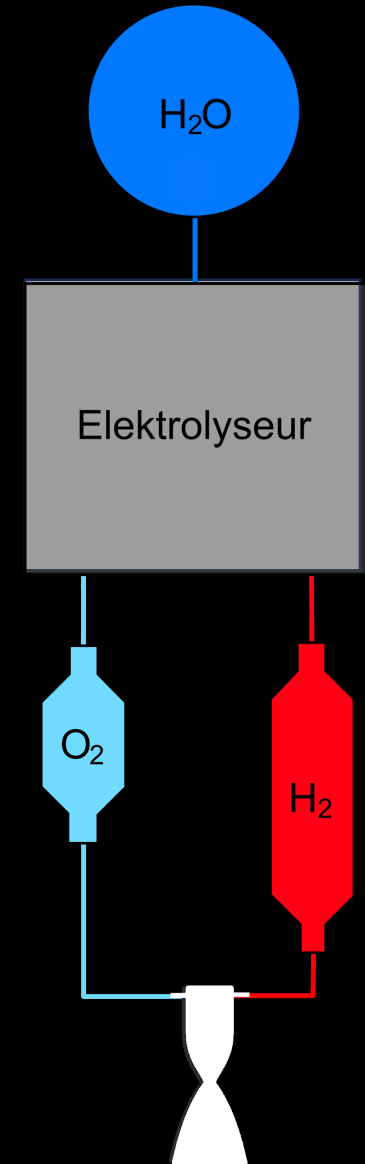
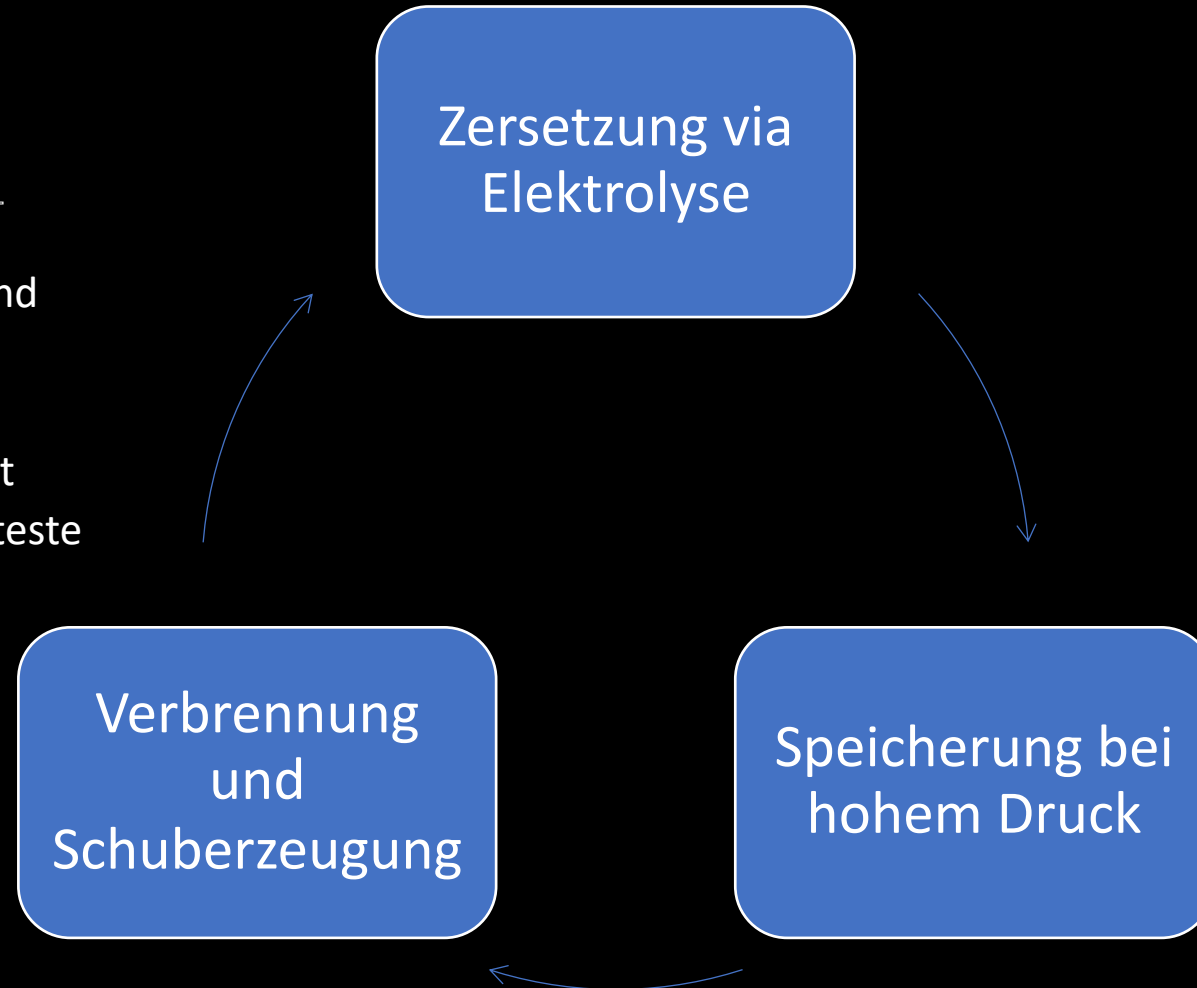
Verbrennung der Gase und
Schuberzeugung



Water Propulsion

Funktionsweise

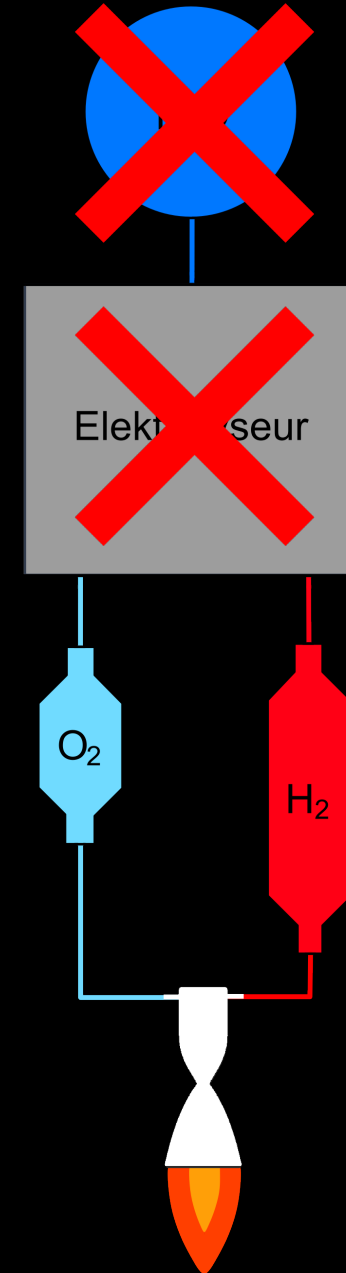
- Betankung am Boden ohne Aufwand
- Betankter Transport möglich
- Energiezufuhr erst im Orbit
- Ungefährlich während Raketenstart
- Wasserstoff + Sauerstoff = effizienteste Kombination
- $ISP > 400$ s



Water Propulsion

Umweg über Wasser

- Geringe Lagerfähigkeit von Wasserstoff
- Wasser/Flüssigkeiten leichter zu handhaben
- Geringe Dichte von Wasserstoff → große Tanks / sehr hohe Drücke
- Höhere Speicherdichte von Wasserstoff in Wasser
- Ungefährlich beim Start





Green Propellant

- Keine Schutzanzüge
- Keine Umweltbelastung
- Kein Entzünden
- Günstige Handhabung



Water Propulsion

Elektrolyseur

- Beschrieben seit 19. Jahrhundert
- Umgekehrter Brennstoffzellenprozess
- Hocheffizienter Prozess zur Erzeugung von Wasserstoff und Sauerstoff aus Wasser



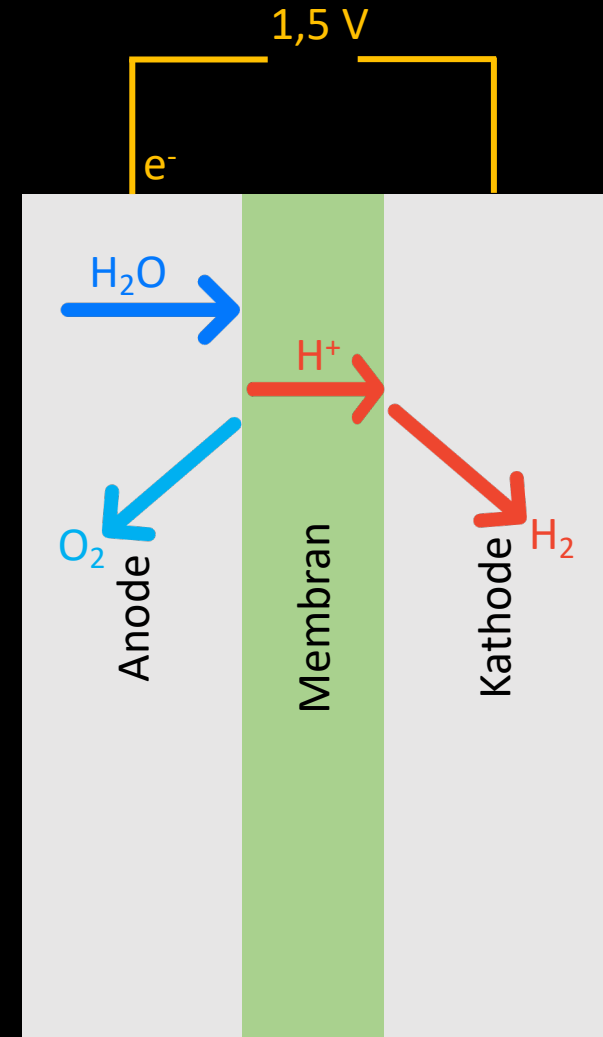
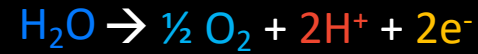
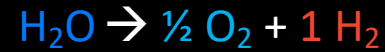
Das Wasser ist die Kohle der Zukunft!

Jules Verne

Water Propulsion

Elektrolyseur

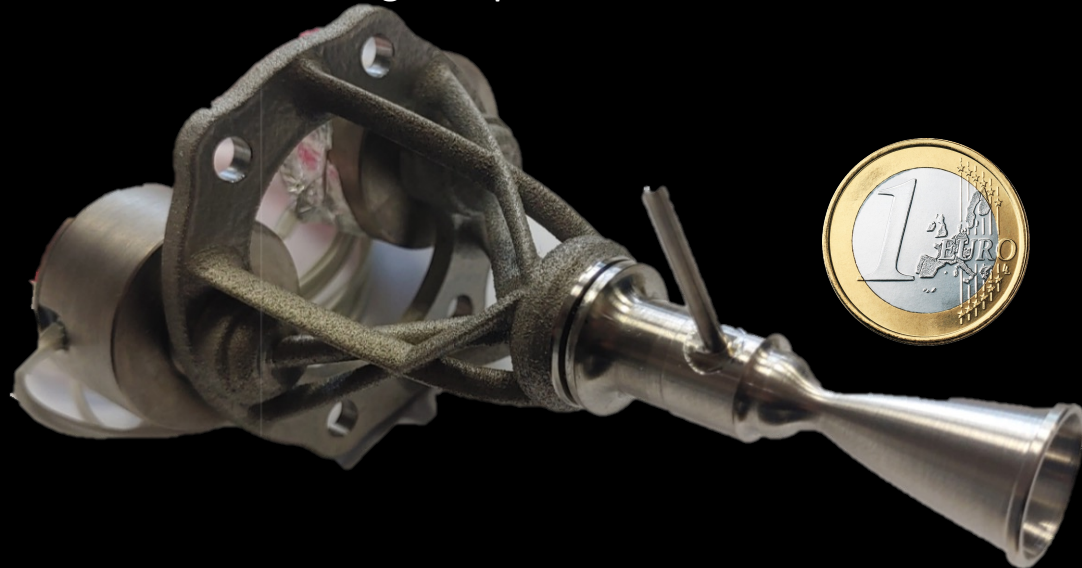
- Zersetzung von Wasser in Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff
 - Bedrückung der erzeugten Gase
 - Trennung von Wasser unter Schwerelosigkeit
- Entwicklung eines Elektrolyseurs für Weltraumbedingungen



Water Propulsion

Triebwerk

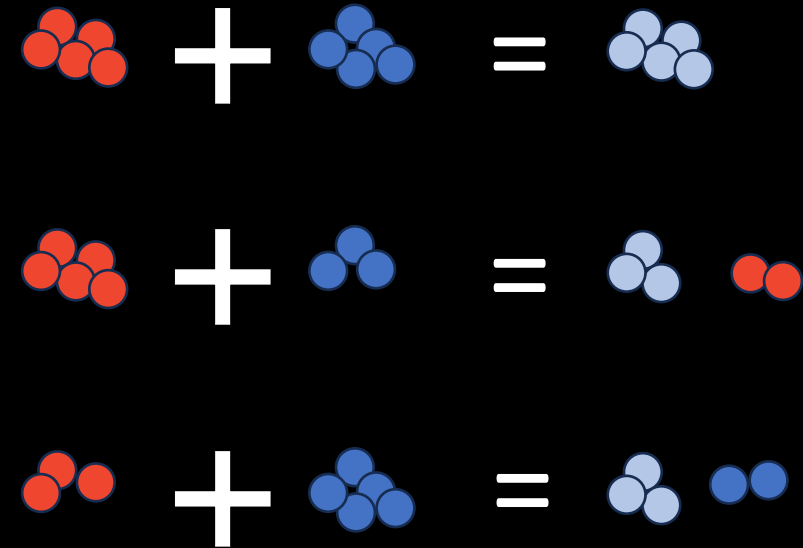
- Betrieb mit gasf. Wasserstoff und Sauerstoff
- Katalytische Zündung
- Schub 2 N
- Stöchiometrisches Mischungsverhältnis
- Extreme Verbrennungstemperaturen



Water Propulsion

Triebwerk

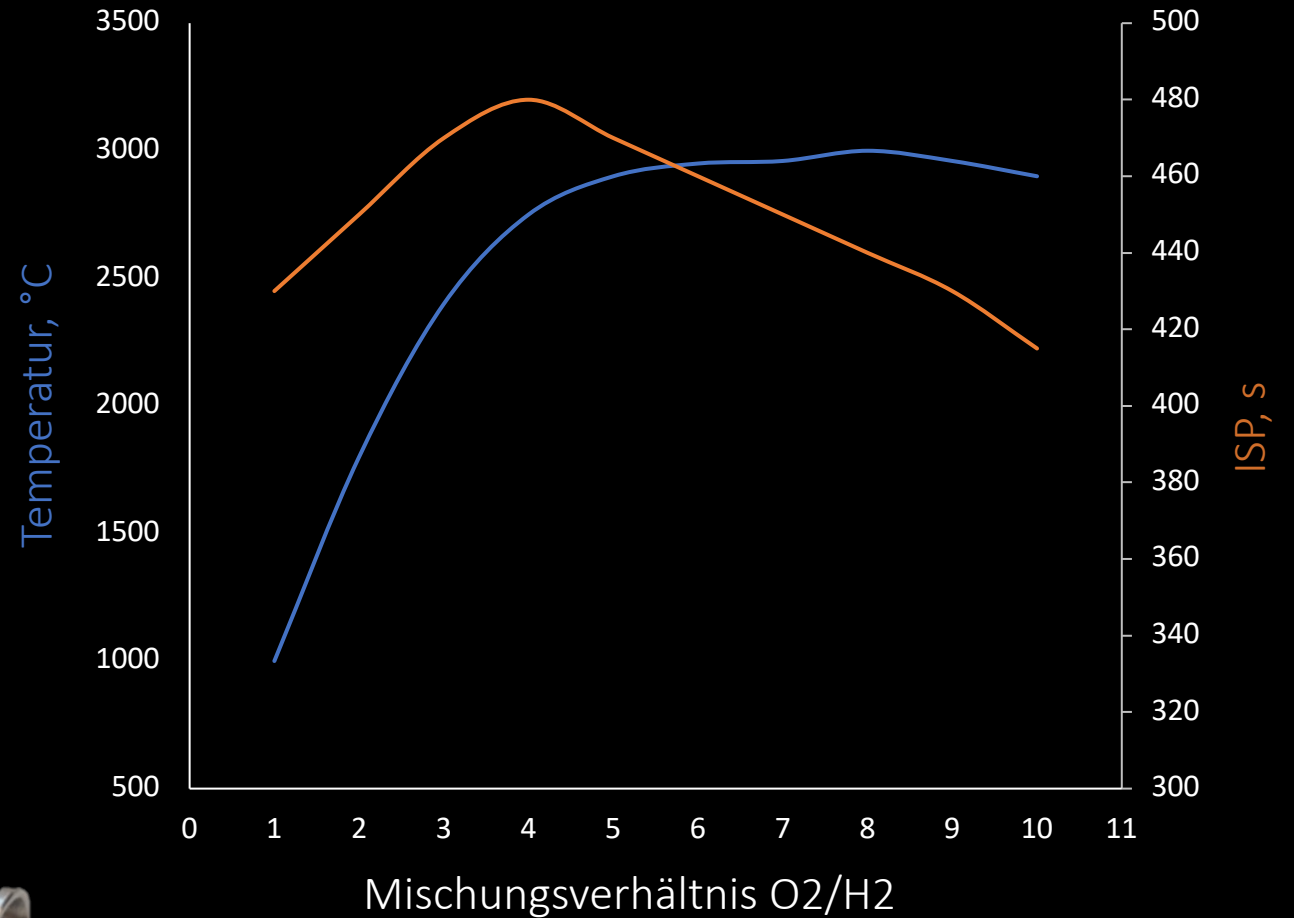
- Betrieb mit gasf. Wasserstoff und Sauerstoff
- Katalytische Zündung
- Schub 2 N
- Stöchiometrisches Mischungsverhältnis
- Extreme Verbrennungstemperaturen

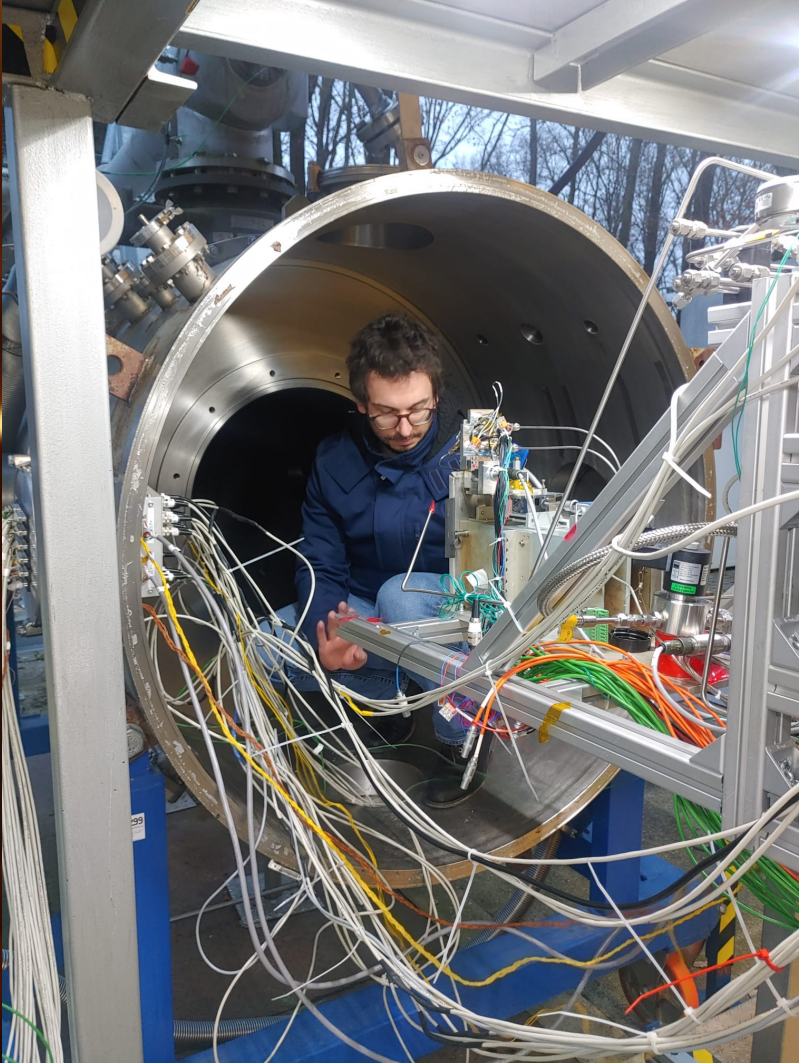


Water Propulsion

Triebwerk

- Betrieb mit gasf. Wasserstoff und Sauerstoff
- Katalytische Zündung
- Schub 2 N
- Stöchiometrisches Mischungsverhältnis
- Extreme Verbrennungstemperaturen

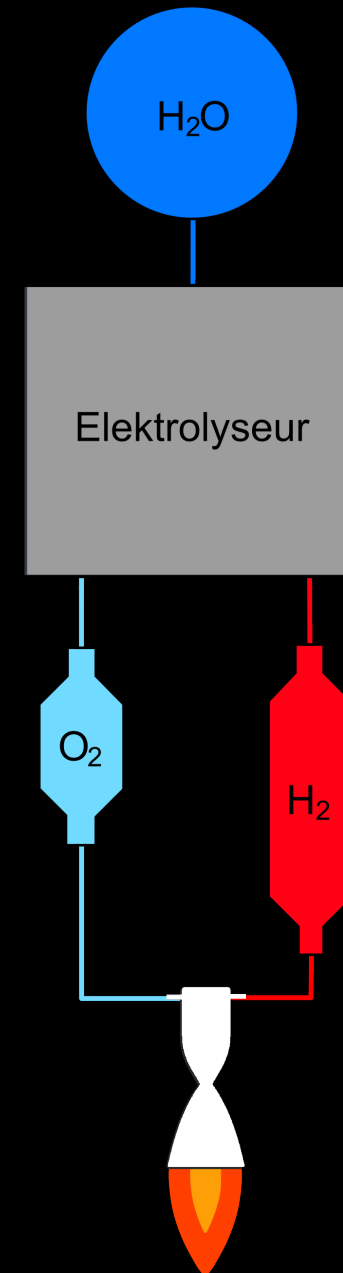




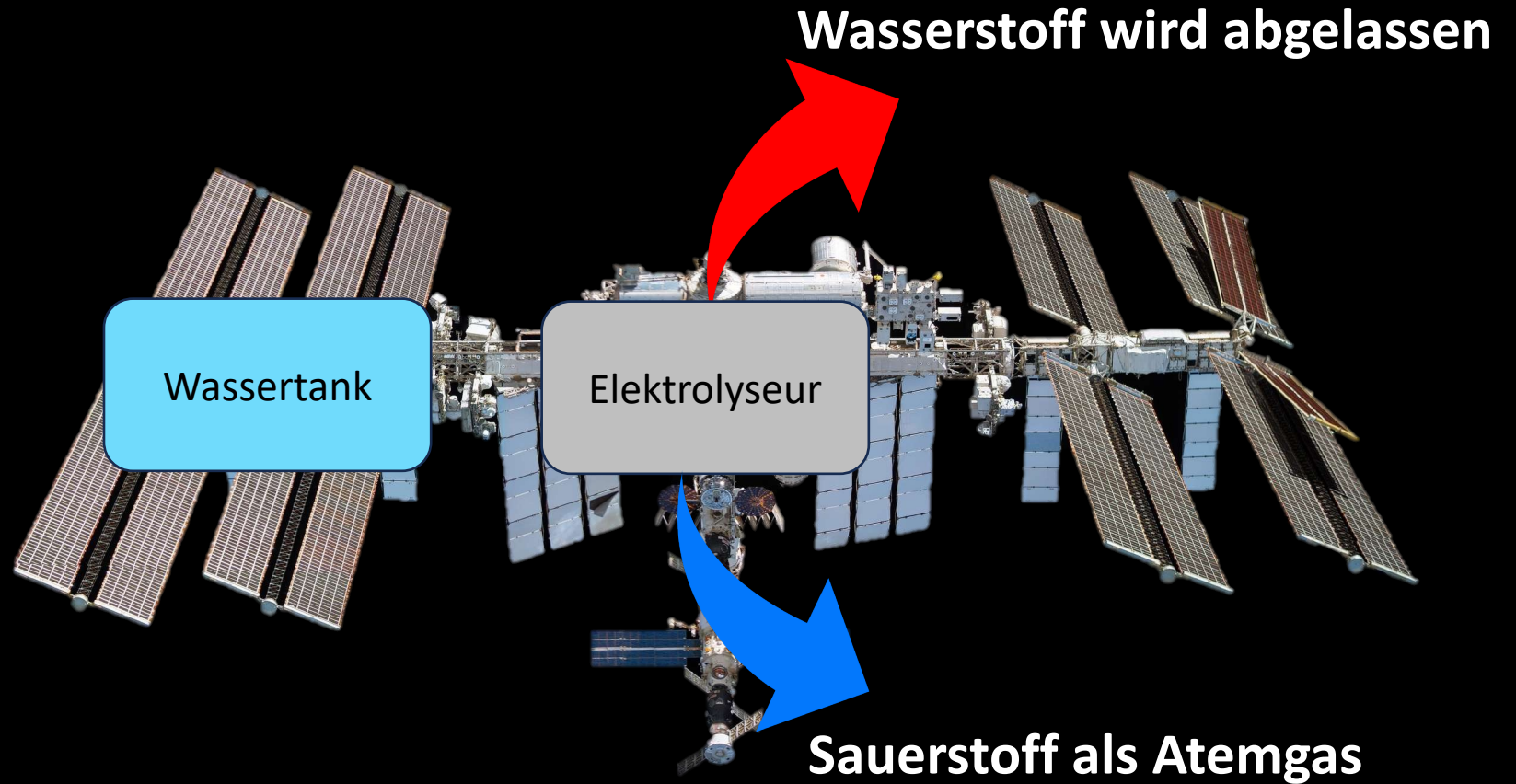
Water Propulsion

System

- Modulares und skalierbares System
- Einsatz in LEO / MEO / GEO
- Erstflug 2026 auf Telekommunikationssatellit



Weitere
Anwendungen



Wassertank

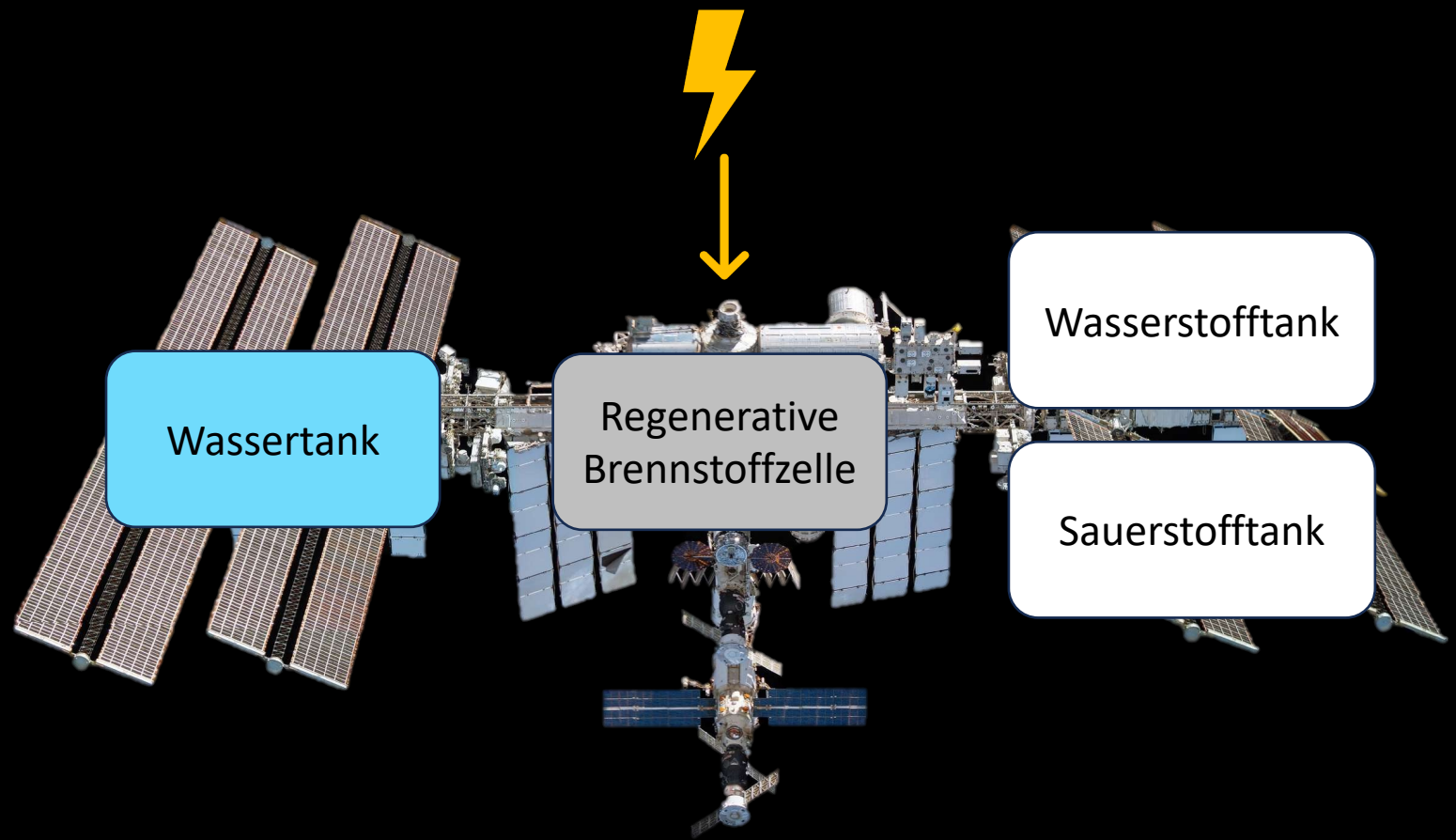
Elektrolyseur

Wasserstoff wird abgelassen

Sauerstoff als Atemgas

Wasser von der Erde

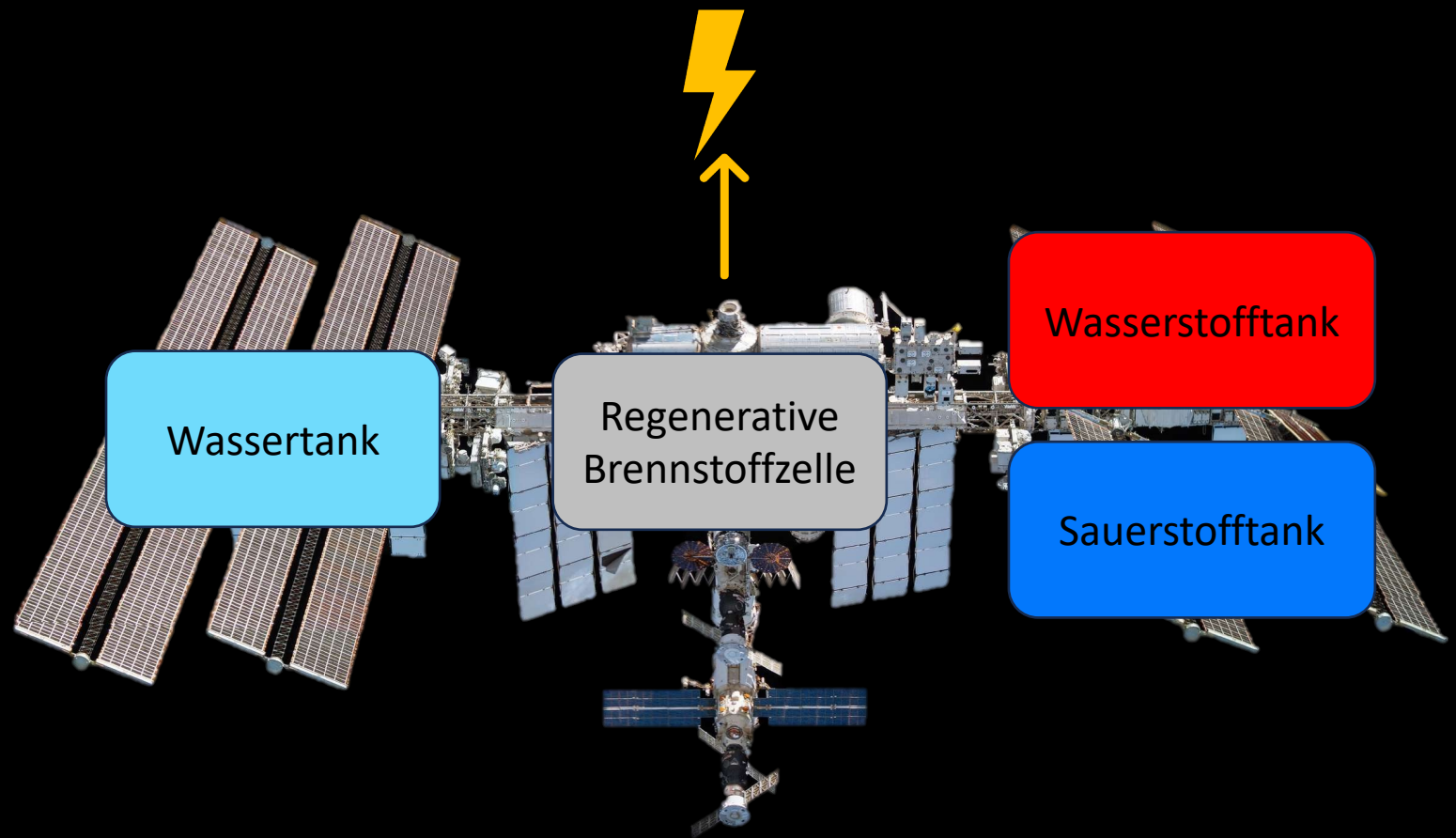
Weitere
Anwendungen



Elektrolyse Modus

Erzeugung und Speichern von Gasen
Bei Energieüberfluss

Weitere
Anwendungen

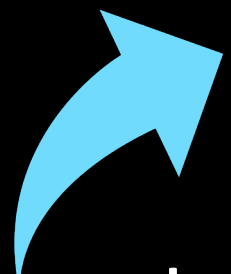


Wassertank

Regenerative
Brennstoffzelle

Wasserstofftank

Sauerstofftank



Wassernachschub kann reduziert werden

Brennstoffzellen Modus

Verbrauch der gespeicherten Gase
Bei Energiebedarf



Wasser als Strahlenschild

Schutz vor kosmischer Strahlung bei
interplanetaren Missionen



A black and white close-up portrait of a man with a full, dark beard and mustache. He has short, light-colored hair and is looking slightly to the right of the camera with a subtle smile. He is wearing a dark suit jacket, a white collared shirt, and a dark bow tie. The background is dark and out of focus.

*Das Wasser ist die Kohle
der Zukunft!*

Bildquellen

- <https://orbitingwrecker.com/about/locations/>
- <https://unsplash.com/de/fotos/saturn-rakete-mit-einer-flammenspur-waehrend-des-starts-coEJ3MW8jV8>
- <https://spaceflight101.com/ariane-5-va239-returns-to-french-guiana-launch-pad/>
- <https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/ask-astronaut-what-does-launch-feel-what-thoughts-and-emotions-run-through-your-mind-180959920/>
- https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:S-IC_engines_and_Von_Braun.jpg
- <https://www.space-propulsion.com/brochures/propulsion-services/space-propulsion-services.pdf>
- <https://www.scmp.com/news/world/article/1590001/ozone-layer-showing-first-signs-recovery-says-un-study>
- <https://www.ft.com/content/d2d8a322-20ab-11e9-a46f-08f9738d6b2b>
- <https://m.facebook.com/photo.php?fbid=670870221823001&set=a.506694438240581&type=3>
- <https://sci.esa.int/web/planck/-/44670-hydrazine-fuelling-preparations>
- https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Verfilmungen_von_Jules_Vernes_Werken
- <https://www.fox13news.com/news/recycled-space-shuttle-engines-boosters-artemis-i-sls-rocket>
- <https://www.ariane.group/de/neuigkeiten/wasser-als-treibstoff-der-zukunft/>
- <https://twitter.com/SatNewsMedia/status/1757285877339029897>
- <https://pursuit.unimelb.edu.au/articles/getting-sick-in-space-on-the-way-to-mars>