

Grundprinzipien von Antrieben

01

GRUNDPRINZIP

3. Newtonsches Gesetz

Actio = Reactio
Masse auswerfen erzeugt
Gegenschub

SCHUBKRAFT

$$\mathbf{F} = \frac{dm}{dt} \cdot \mathbf{v}_s$$

Massenstrom $\times$
Ausströmgeschwindigkeit

SPEZIFISCHER
IMPULS

Impulsänderung pro
ausgestoßener Masse

Maß für die Effizienz eines
Antriebs

ANTRIEBSARTEN

☛ Chemisch

⚡ Elektrisch

Chemisch weit verbreitet,
elektrisch zunehmend

PROBLEME CHEM.
ANTRIEBE

- ✗ Ohne Treibstoff keine Beschleunigung
- ✗ Geschwindigkeit begrenzt
- ✗ Hoher Treibstoffverbrauch

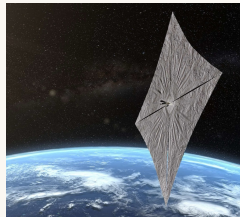
Sonnensegel & Ionenantriebe

02 | 03

FUNKTION

Sonnensegel

- Vergleichbar mit Wind (klassische Schifffahrt)
- Körper absorbiert/reflektiert EM-Welle $\rightarrow$ Impulsübertrag $\rightarrow$ Rückstoß
- Strahlendruck: $p_{St} = \alpha \cdot \frac{I}{c}$
($\alpha=1$ Absorption, $\alpha=2$ Reflexion)
- Bei 1 AU: absorbierend $4.54 \mu\text{N/m}^2$
reflektierend $9.08 \mu\text{N/m}^2$
- Druck $1/r^2$
- Kraft winklabhängig
- Reflektivität $\approx 90\%$

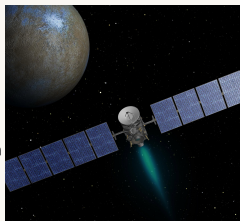


Ionenantrieb

- 1 **Treibstoff:** Edelgas in Entladungskammer
- 2 **Ionisation:** e^- aus Emittor $\rightarrow$ Lawinenionisation
- 3 **Magnetfeld:** Spiralbahn für e^- $\rightarrow$ längere Verweildauer
- 4 **Extraktion:** Hochspannung $\rightarrow$ Ionen stark beschleunigen
- 5 **Ionenstrahl:** Ionen verlassen Antrieb $\rightarrow$ Schub
- 6 **Neutralisator:** e^- in Strahl $\rightarrow$ Sonde bleibt neutral

Xenon Krypton

- Niedrige Ionisierungsenergie, hohe Atommasse, gasförmig, chemisch inert
- Krypton schwächer, aber deutlich billiger



PRO

Sonnensegel

- Kein Treibstoff $\rightarrow$ deutlich leichter
- Unbegrenzte Betriebsdauer
- mit Beschleunigung 0.185 mm/s^2 :
nach 1 Tag: 57.6 km/h ,
nach $\frac{1}{2}$ Jahr: 10600 km/h
- Laser kann zusätzlich beschleunigen

Ionenantrieb

- Geringer Treibstoffverbrauch
- Lange Betriebsdauer
- Hohe Endgeschwindigkeit
- Hohe & feine Steuerbarkeit

CONTRA

Sonnensegel

- Richtung & Stärke des Antriebs gekoppelt
- Extrem geringer Schub $\rightarrow$ riesige Segelflächen nötig
- Abhängig von Sonnendistanz
- Anfällig für Beschädigungen

Ionenantrieb

- Kleiner Schub
- Großer Beschleunigungsweg
- Benötigt elektrische Energie
- Komplexe Technik
- Treibstoff endlich
- Erosion der Komponenten

Missionen

04

SONNENSEGEL

Advanced Composite Solar Sail System

NASA · 2024 · Größtes erfolgreiches
Sonnensegel

LightSail 2

Planetary Society · 2019 · Orbitanpassung per
Segel

IONENANTRIEB

Deep Space 1

NASA · 1998 · erster
interplanetarer Ionenantrieb

SMART-1

ESA · 2003 · Mondorbit via
Ionenantrieb

Dawn

NASA · 2007 · 3-Fach Antrieb
(2135 Tage, $\Delta v = 11.5 \text{ km/h}$)

Effizienz im Vergleich

05

SCHUB F	SPEZ. IMPULS	TREIBSTOFFVERBR.	ENERGIEBEDARF	MAX. GESCHW.
1. Chemisch	1. Sonnensegel	1. Sonnensegel	1. Sonnensegel	1. Sonnensegel
2. Ionenantrieb	2. Ionenantrieb	2. Ionenantrieb	2. Chemisch	2. Ionenantrieb
3. Sonnensegel	3. Chemisch	3. Chemisch	3. Ionenantrieb	3. Chemisch

Einsatzgebiete

06

CHEMISCH

- Deorbiting von Satelliten
- Start & Landung

IONENANTRIEB

- Satellitenbetrieb im Erdorbit
- Interplanetare Reisen

SONNENSEGEL

- Sonnenumlaufbahnen
- Interstellare Fernmissionen

Fazit

07

1 Chemische Antriebe bleiben wichtig	2 Ionenantriebe sind heute bereits Realität	3 Forschung an Sonnensegeln in Kinderschuhen	4 Für effiziente Sonden ist eine Mischung aus allen Antrieben nötig
---	--	---	--