

Entwurf eines WED-Antriebs (Weber-Elektrodynamik-Antrieb)

Dipl.-Ing. (FH) Michael Czybor

1. September 2025

1 Prinzip des WED-Antriebs

Der WED-Antrieb basiert auf der **Weber-Elektrodynamik (WED)**, die eine direkte, geschwindigkeits- und beschleunigungsabhängige Wechselwirkung zwischen Ladungen postuliert. Im Gegensatz zu konventionellen Antrieben wird kein Massenausstoß benötigt.

1.1 Grundprinzip

- Im Raum existiert eine **externe Ladungsanomalie** q_2 (z.B. Elektron)
- Im Raumschiff wird eine **Antriebsladung** q_1 durch ein unsymmetrisches HF-Feld (Sägezahnform) beschleunigt
- Die **asymmetrische Beschleunigung** $\vec{a}_1(t)$ erzeugt eine Nettokraft auf die externe Ladung
- Durch Actio=Reactio entsteht eine **Schubkraft** auf das Raumschiff

2 Herleitung der Schubkraft

2.1 Weber-Kraft zwischen zwei Ladungen

Die vektorielle Weber-Kraft zwischen zwei Ladungen q_1 und q_2 lautet:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left\{ \left[1 - \frac{v^2}{c^2} + \frac{2r(\hat{r} \cdot \vec{a}_1)}{c^2} \right] \hat{r} + \frac{2(\hat{r} \cdot \vec{v})}{c^2} \vec{v} \right\} \quad (1)$$

2.2 Beschleunigungsabhängiger Term

Für den Antrieb relevant ist der beschleunigungsabhängige Term:

$$\vec{F}_{\text{acc}} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{2r(\hat{r} \cdot \vec{a}_1)}{c^2} \hat{r} = \frac{q_1 q_2}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} (\hat{r} \cdot \vec{a}_1) \hat{r} \quad (2)$$

2.3 Rückwirkung auf Raumschiff

Die Kraft auf das Raumschiff ist gleich der negativen Kraft auf die externe Ladung:

$$\vec{F}_{\text{Schub}} = -\vec{F}_{12} = -\frac{q_1 q_2}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} (\hat{r} \cdot \vec{a}_1) \hat{r} \quad (3)$$

2.4 Zeitliche Mittelung

Für ein periodisches Sägezahnsignal mit Periodendauer T :

$$\langle \vec{F}_{\text{Schub}} \rangle = -\frac{q_1 q_2}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} \langle \hat{r} \cdot \vec{a}_1 \rangle \hat{r} \quad (4)$$

2.5 Nettobeschleunigung

Für einen Sägezahn mit:

- Steilrampe: T_+ , a_+
- Flachrampe: T_- , a_-

ergibt sich die Nettobeschleunigung:

$$a_{\text{netto}} = \frac{1}{T} (a_+ T_+ + a_- T_-) \quad (5)$$

3 Finale Schubgleichung

$$\langle \vec{F}_{\text{Schub}} \rangle = -\frac{q_1 q_2}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} a_{\text{netto}} \cos \theta \cdot \hat{r}$$

(6)

wobei θ der Winkel zwischen \hat{r} und \vec{a}_{netto} ist.

4 Beispielrechnung

4.1 Pessimistische Abschätzung

$$\begin{aligned} q_1 &= -1 \mu\text{C} = -10^{-6} \text{ C} \\ q_2 &= -e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ r &= 1 \text{ m} \\ a_{\text{netto}} &= 10^6 \text{ m/s}^2 \\ \cos \theta &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{(10^{-6})(1.6 \times 10^{-19})}{2\pi(8.85 \times 10^{-12})(9 \times 10^{16}) \cdot 1} \cdot 10^6 \\ &\approx 10^{-15} \text{ N} \end{aligned}$$

4.2 Optimierte Abschätzung

$$\begin{aligned} q_1 &= -1 \text{ mC} = -10^{-3} \text{ C} \\ q_2 &= -1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ M &= 10^{16} \\ r &= 0.1 \text{ mm} = 10^{-4} \text{ m} \\ a_{\text{netto}} &= 10^{12} \text{ m/s}^2 \\ \cos \theta &= 1 \end{aligned}$$

$$F = \frac{(10^{-3})(1.6 \times 10^{-19})(10^{16})}{2\pi(8.85 \times 10^{-12})(9 \times 10^{16}) \cdot 10^{-4}} \cdot 10^{12}$$

$$\approx 3200 \text{ N}$$

5 Regelprinzip

Die Schubrichtung wird durch die Richtung der Nettobeschleunigung \vec{a}_{netto} gesteuert:

$$\vec{F}_{\text{Schub}} \propto (\hat{r} \cdot \vec{a}_{\text{netto}})\hat{r} \quad (7)$$

5.1 Steuerungsgrößen

- **Amplitude:** Steuert die Schubstärke
- **Phase:** Steuert die Richtung der Beschleunigung
- **Tastverhältnis:** Steuert die Asymmetrie
- **Frequenz:** Optimierung der Resonanz

5.2 Regelkreis

1. Sollwert: Gewünschte Flugrichtung
2. Messung: Trägheitsnavigationssystem
3. Regelung: Anpassung der HF-Parameter
4. Wirkung: Schub in gewünschter Richtung

6 Konstruktionsprinzip

6.1 Komponenten

- HF-Generator mit Sägezahnform
- 3-Phasen-Elektrodenanordnung
- Supraleitende Kavität für Ladungswolke
- Regelungselektronik
- Trägheitsnavigationssystem

6.2 Betriebsparameter

Parameter	Symbol	Wert
HF-Frequenz	f	1 MHz - 1 GHz
HF-Spannung	U	1 kV - 10 kV
Ladungsmenge	q_1	-1 mC
Anzahl externer Ladungen	M	10^{16}
Minimalabstand	r_{\min}	0.1 mm

Tabelle 1: Typische Betriebsparameter

7 Vorteile

- Kein Treibstoffverbrauch
- Keine beweglichen Teile
- Elektronische Steuerung
- Sofortige Schubumkehr
- Theoretisch unbegrenzte Betriebsdauer

8 Optimierung des Prinzips: Der Closed-Loop WED-Antrieb

Die ursprüngliche Konzeption des WED-Antriebs basiert auf der Wechselwirkung mit einer externen, distanten Ladung (z.B. eines Elektrons im kosmischen Plasma). Diese Konfiguration liefert aufgrund der großen Abstände r nur vernachlässigbare Schubkräfte. Die entscheidende Optimierung besteht daher darin, das Konzept der *externen* Ladung q_2 zu reinterpretieren und sie als integralen, mitgeführten Bestandteil des Antriebssystems zu etablieren.

8.1 Konzept des Closed-Loop Systems

Im **Closed-Loop**- oder **Local-Source**-Ansatz wird die externe Ladung q_2 nicht im Kosmos gesucht, sondern ist eine zweite, isolierte und fest mit der Raumfahrzeugstruktur verbundene Elektrode. Das Antriebssystem besteht somit aus drei Kernkomponenten:

- einer **Antriebselektrode**, die die Ladung q_1 trägt und von einem HF-Generator mit Sägezahnspannung asymmetrisch beschleunigt wird,

- einer **externen Elektrode**, die die Ladung q_2 trägt und als Interaktionspartner für die Weber-Kraft dient, und
- einer **Hochspannungs- und Steuerelektronik** zur Aufrechterhaltung der Ladungen und Ansteuerung des Generators.

Die Weber-Kraft \vec{F}_{12} wirkt zwischen q_1 und der lokal mitgeführten Ladung q_2 . Da q_2 starr mit dem Gehäuse verbunden ist, wirkt die Kraft \vec{F}_{12} direkt als Schubkraft auf das Raumfahrzeug. Die reactio-Kraft $-\vec{F}_{12}$ auf q_1 wird vom Halterahmen des HF-Generators aufgefangen, der seinerseits am Gehäuse befestigt ist. Der Nettoschub auf das Gesamtsystem bleibt erhalten.

8.2 Vorteile und Praktikabilität

Dieser Ansatz umgeht die fundamentalen praktischen Limitationen des Open-Loop-Prinzips:

- **Kontrolle:** Die Eigenschaften der externen Ladung q_2 (Größe, Vorzeichen, Position) sind vollständig kontrollierbar.
- **Abstand:** Der Abstand r zwischen q_1 und q_2 kann mechanisch auf ein Minimum (Millimeter- oder Mikrometerbereich) reduziert werden, was die Schubkraft gemäß $F_{\text{Schub}} \propto 1/r$ massiv verstärkt.
- **Unabhängigkeit:** Der Antrieb ist nicht von unkontrollierbaren Umweltbedingungen abhängig und funktioniert in jedem beliebigen Raum.

8.3 Berechnung der Schubkraft

Unter Verwendung der finalen Schubgleichung (6) und der Annahme $\cos \theta = 1$ ergibt sich die skalare Schubkraft zu:

$$F_{\text{Schub}} = \frac{|q_1 q_2|}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} a_{\text{netto}}$$

Eine optimierte Abschätzung mit praktisch machbaren Parametern demonstriert das Potential:

$$\begin{aligned} q_1 &= -q_2 = 1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C} \\ r &= 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m} \\ a_{\text{netto}} &= 10^{12} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$F_{\text{Schub}} = \frac{(10^{-3})^2}{2\pi(8.85 \times 10^{-12})(9 \times 10^{16}) \cdot (10^{-3})} \cdot 10^{12} \approx 200 \text{ N}$$

Dies stellt eine substantiale Schubkraft dar, die mit derjenigen konventioneller chemischer oder elektrischer Triebwerke vergleichbar ist.

8.4 Herausforderungen

Die verbleibenden Herausforderungen sind nun primär praktischer Natur:

- **Mechanische Stabilität:** Der Halterahmen für q_1 muss die reactio-Kraft $-\vec{F}_{12}$ aufnehmen, ohne sie an das Gehäuse weiterzuleiten.
- **Ladungserhaltung:** Die Isolation der Ladungen q_1 und q_2 muss perfekt sein; jeglicher Ladungsverlust muss kompensiert werden.
- **Energieeffizienz:** Der Wirkungsgrad der gesamten Energieumwandlungskette (von der Stromversorgung zum Nettoschub) muss analysiert und optimiert werden.

Diese Optimierung transformiert das WED-Antriebskonzept von einer theoretischen Kuriosität in eine potenziell realisierbare Antriebstechnologie, die die nicht-lokalen und beschleunigungsabhängigen Eigenschaften der Weber-Elektrodynamik innerhalb eines geschlossenen Systems ausnutzt.

8.5 Aufnahme der Reaktionskraft: Aktive elektrodynamische Lagerung

Die von der Antriebsladung q_1 auf den Halterahmen des HF-Generators ausgeübte Reaktionskraft $-\vec{F}_{12}$ muss isoliert vom Raumfahrzeuggehäuse aufgefangen werden. Eine passive mechanische Lagerung (z.B. Federn, Stoßdämpfer) wäre für die erforderlichen hohen Frequenzen und Kräfte ungeeignet, da sie resonante Schwingungen des Gesamtsystems anregen und Energie dissipieren würde.

Das Prinzip der Lösung ist eine **aktive, berührungsfreie elektrodynamische Lagerung** des gesamten Aktor- und Ladungsträgermoduls (im Folgenden „Schwungmasse“ genannt).

Funktionsprinzip

- Die Schwungmasse (enthält q_1 , Elektrode, ggf. Teile des Generators) ist mechanisch **völlig entkoppelt** im Gehäuse aufgehängt.
- Ihre Position und Orientierung relativ zum Gehäuse wird permanent durch einen optischen oder kapazitiven Sensor überwacht.
- Ein unterlagerter Regelkreis (z.B. ein PID-Regler) berechnet in Echtzeit die nötige Gegenkraft, um die Schwungmasse in ihrer Soll-Position (Mitte) zu halten.
- Diese Gegenkraft wird durch **Lorentz-Kraft-Aktoren** erzeugt: Starke, supraleitende Spulen (am Gehäuse) erzeugen ein magnetisches Feld, in dem sich Spulen an der Schwungmasse befinden. Durch Ansteuerung der Spulen an der Schwungmasse mit einem geregelten Strom wird exakt die Kraft erzeugt, die nötig ist, um die Reaktionskraft $-\vec{F}_{12}$ auszugleichen.

Energiefluss

Der Energie- und Kraftfluss im Gesamtsystem sieht wie folgt aus:

1. Der **HF-Generator** beschleunigt q_1 und erzeugt so die Weber-Kraft \vec{F}_{12} auf q_2 (Schub).
2. Die Reaktionskraft $-\vec{F}_{12}$ versucht, die Schwungmasse zu beschleunigen.
3. Der **Positionssensor** detektiert die beginnende Auslenkung der Schwungmasse.
4. Der **Lagerungsregler** berechnet den benötigten Strom I für die Lorentz-Aktoren.
5. Die **Lorentz-Aktoren** erzeugen die Kraft $\vec{F}_{\text{Lorentz}} = +\vec{F}_{12}$, um die Schwungmasse in Position zu halten.
6. Die Kraft \vec{F}_{Lorentz} wirkt auf die Aktorspulen (an der Schwungmasse) und damit nach Newton's third law auch als $-\vec{F}_{\text{Lorentz}}$ auf die Gehäusespulen. Da diese starr am Gehäuse befestigt sind, wird diese Kraft vom Gehäuse **aufgenommen und dissipiert**. Entscheidend ist, dass diese Kraft *intern* ist und keinen Nettoschub auf das Raumfahrzeug erzeugt.

Zusammenfassung der Kräfte

Auf das Raumfahrzeug: $\vec{F}_{\text{Schub}} = \vec{F}_{12}(q_1 \rightarrow q_2)$

Auf die Schwungmasse: $\vec{F}_{\text{res}} = -\vec{F}_{12} + \vec{F}_{\text{Lorentz}} = \vec{0}$

Auf das Gehäuse: $\vec{F}_{\text{res}} = +\vec{F}_{12}(\text{von } q_2) - \vec{F}_{\text{Lorentz}}(\text{von Aktor}) = \vec{0}$

Der Nettoeffekt ist, dass die Reaktionskraft $-\vec{F}_{12}$ von der aktiven Lagerung „abgefangen“ und in Wärme umgewandelt wird, während die Schubkraft \vec{F}_{12} vollständig auf das Raumfahrzeug wirkt.

Diese aktive Lagerungstechnologie ist anspruchsvoll, jedoch in ähnlicher Form bereits von **ruhmlosen Lagern** in Flywheels für Satelliten oder von **Präzisions-Vakuumplattformen** bekannt.

9 Bauplan des WED-Antriebs: Relativistischer Closed-Loop

Die praktische Realisierung des WED-Antriebs erfordert die Überwindung der gigantischen Coulomb-Anziehung zwischen den mitgeführten Ladungen q_1 und q_2 . Die Lösung liegt in der Ausnutzung der geschwindigkeitsabhängigen Terme der Weber-Kraft, um einen „relativistischen Käfig“ zu erzeugen, in dem die Anziehungskraft kompensiert ist. Dieser Abschnitt beschreibt den Bauplan für einen solchen Antrieb.

9.1 Komponenten und Aufbau

Das Antriebssystem besteht aus folgenden Kernkomponenten:

- **Zentrale Elektrode („Anker“):** Trägt die Ladung q_1 und ist starr mit der Struktur des Raumfahrzeugs verbunden.
- **Radialer Beschleunigungsring:** Ein supraleitender Ring, der die Ladung q_2 trägt und diese auf einer Kreisbahn um q_1 hält. Der Ring ist über eine **aktive elektrodynamische Lagerung** berührungsfrei im Gehäuse gelagert.
- **Umlaufaktorsystem:** Ein System aus supraleitenden Spulen, das ein magnetisches Feld erzeugt, um die Ladung q_2 auf ihrer Bahn zu halten und ihre Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit ($v \approx c$) zu stabilisieren.
- **HF-Generator („Stimulator“):** Ein Hochfrequenz-Generator, der phasengenau zum Umlauf von q_2 eine Sägezahnspannung an den Radialring anlegt, um eine zusätzliche **radiale Beschleunigungskomponente** a_{HF} zu erzeugen.
- **Regelungselektronik:** Überwacht kontinuierlich die Position von q_2 und regelt die Umlaufgeschwindigkeit, die aktive Lagerung und die HF-Stimulation in Echtzeit.

9.2 Funktionsprinzip und Betriebsregime

Der Antrieb durchläuft zwei distincte Betriebsphasen:

1. Initialisierungsphase (Hochfahren)

In dieser Phase wird die Ladung q_2 from Ruhe auf ihre Betriebsgeschwindigkeit beschleunigt.

1. Durch allmähliches Hochregeln des Magnetfelds im Umlaufaktorsystem wird q_2 auf eine Kreisbahn gezwungen und auf $v \approx c$ beschleunigt.

2. Während dieses Prozesses kompensiert der Term $-\frac{v^2}{c^2}$ in der Weber-Kraft zunehmend die Coulomb-Anziehung $+1$.
3. Im Zielzustand heben sich Anziehung und Kompensation nahezu vollständig auf. Die Umlaufbahn ist stabil und kraftfrei bis auf die zur Aufrechterhaltung der Kreisbahn notwendige Zentripetalkraft, die vom Magnetfeld geliefert wird.

2. Betriebsphase (Schuberzeugung)

Im kompensierten Zustand wird der HF-Generator aktiviert:

1. Die Regelungselektronik detektiert die aktuelle Position von q_2 auf ihrer Umlaufbahn.
2. Zum exakt berechneten Zeitpunkt (Phase), wenn q_2 in die gewünschte Schubrichtung zeigt, legt der HF-Generator einen Spannungspuls an den Radialring an.
3. Dieser Puls beschleunigt q_2 für extrem kurze Zeit **radial** – typischerweise *von* q_1 weg für Schub in die entgegengesetzte Richtung.
4. Während dieser Beschleunigungsphase ($\hat{r} \cdot \vec{a} \neq 0$) ist der beschleunigungsabhängige Term in der Weber-Kraft aktiv:

$$\vec{F}_{12} \approx \frac{q_1 q_2}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} a_{\text{HF}} \hat{r}$$

5. Diese Kraft wirkt auf q_1 (den „Anker“) und damit auf das Raumfahrzeug. Die Reaktionskraft auf q_2 wird von der aktiven Lagerung des Radialrings aufgefangen.
6. Nach dem Puls relaxiert das System zurück in den kompensierten Grundzustand, bereit für den nächsten Zyklus.

9.3 Schubsteuerung

Die Steuerung von Schubrichtung und -stärke erfolgt durch:

- **Richtung:** Variation der **Phase** der HF-Stimulation relativ zur Umlaufposition von q_2 . Durch Verschiebung des Stimulationszeitpunkts kann die radiale Beschleunigung in jede beliebige Richtung in der Bahnebene appliziert werden.
- **Stärke:** Variation der **Amplitude** des HF-Signals, welche die Stärke der radialen Beschleunigung a_{HF} direkt kontrolliert.

9.4 Technische Herausforderungen

Die Realisierung dieses Bauplans stellt extreme Anforderungen:

- **Supraleitung:** Notwendig, um die gewaltigen Ströme für das Umlaufaktorsystem und die Lagerung zu führen und ohmsche Verluste zu vermeiden.
- **Energiebedarf:** Die Initialisierungsphase erfordert eine immense Energiezufuhr, um q_2 auf relativistische Geschwindigkeit zu bringen. Der Dauerbetrieb benötigt Leistung für Umlauf, Lagerung und Stimulation.
- **Präzisionsregelung:** Die Synchronisation von Umlauffrequenz, HF-Phase und Lagerungskräften erfordert eine Echtzeitregelung auf Nano- bis Pikosekunden-Niveau.
- **Stabilität:** Das System muss against externe Störungen und interne Instabilitäten (z.B. Strahlungsverluste) stabilisiert werden.

Dieser Bauplan transformiert das theoretische Konzept der Weber-Kraft in ein technisches Antriebsprinzip, das, obwohl extrem anspruchsvoll, innerhalb der Postulate der WDBT konsistent und funktional erscheint.

© 2025 Dipl.-Ing. (FH) Michael Czybor. Alle Rechte vorbehalten.