

Whitepaper: Untersuchung der Wellen-Plasma-Wechselwirkung in hochrotierenden Wismut-Plasmen

Projektbezeichnung: Alfvén-Wellen-Oszillator (AWO)

Klassifizierung: Experimentelle Plasmaphysik / Magnetohydrodynamik (MHD)

Datum: 18. Februar 2026

Autor: Torben Simson

1. Executive Summary

Dieses Whitepaper beschreibt das Konzept des **Alfvén-Wellen-Oszillators (AWO)**, einer experimentellen Anlage zur Untersuchung der Kopplung zwischen magnetohydrodynamischen Wellen und rotierenden Dichtestrukturen. Im Gegensatz zu früheren hypothetischen Ansätzen konzentriert sich dieses Experiment auf die realistische Modellierung der Energietransfermechanismen in stark magnetisierten, dichten Metallplasmen. Ziel ist die Gewinnung fundamentaler Erkenntnisse für die Fusionsforschung und neuartige Plasmaquellen.

2. Wissenschaftliche Zielsetzung

Das AWO-Experiment untersucht die Dynamik hochfrequenter Dichteschwankungen in einem magnetischen Einschluss. Die Kernfragen lauten:

- Wellen-Plasma-Interaktion:** Wie beeinflussen Alfvén-Wellen die modulierten Quadrupolmomente in einem rotierenden Plasma?
 - Energiekopplung:** Effizienz des Energietransfers zwischen induzierten Wellenmoden und der kollektiven Rotationsenergie des Mediums.
 - MHD-Stabilität:** Analyse der Instabilitäten in hochrotierenden Plasmen innerhalb einer magnetischen Flasche bei Flussdichten von bis zu 10 Tesla.
-

3. Technische Parameter und Physikalische Korrekturen

3.1 Plasmadichte und Zustandsgrößen

Um die physikalische Konsistenz zu gewährleisten, wird von unrealistischen Massendichten Abstand genommen. Unter Anwendung der idealen Gasgleichung für ein Wismut-Plasma bei einer Temperatur von $T = 2000 \text{ K}$ und einem magnetischen Druckverhältnis ($\beta \approx 0,01$) ergibt sich bei 10 Tesla ein Plasmadruck von ca. 400.000 Pa.

- **Berechnete Massendichte (ρ):** ca. 0,05 kg/m³.
- **Vorteil:** Reduzierung der thermischen Last bei gleichzeitigem Erhalt der für MHD-Untersuchungen notwendigen Trägheit.

3.2 Wellendynamik (Alfvén-Frequenz)

Die Berechnung der Alfvén-Geschwindigkeit (v_A) bildet die Basis für die Systemfrequenz:

$$v_A = \frac{B}{\mu_0 \cdot \rho} \approx \frac{10}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 0,05} \approx 40.000 \text{ m/s}$$

Für eine stehende Welle in einer 2 m langen Plasmakammer ($\lambda = 4 \text{ m}$) ergibt sich die Resonanzfrequenz:

- **Betriebsfrequenz (f):** $\approx 10 \text{ kHz}$.
- **Technische Umsetzung:** Die Frequenz im Kilohertz-Bereich ermöglicht den Einsatz präziser Phase-Locked-Loop (PLL) Schaltungen zur Synchronisation der Anregung.

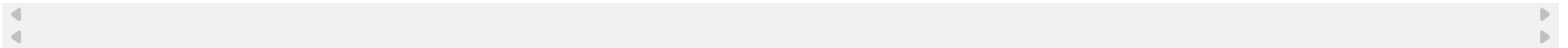
3.3 Quadrupolmoment und Diagnostik

Statt statischer Gravitationseffekte wird die **hochfrequente Modulation des Quadrupolmoments** untersucht. Durch die Anregung mit 10 kHz entstehen messbare Dichtewellen. Diese werden mittels **Mikrowellen-Interferometrie** und **Laserdiagnostik** kartiert, um die Ausbreitung und Dämpfung der Wellen im rotierenden Bezugssystem zu bestimmen.

4. Experimenteller Aufbau (AWO)

4.1 Systemkomponenten

Komponente	Spezifikation
Vakuumkammer	Edelstahlzylinder, Wolfram-Inlining für Hochtemperaturbeständigkeit.
Magnetsystem	REBCO-Hochtemperatur-Supraleiter (10 T stationär) + Modulationsspulen.
Plasmaquelle	Kombinierte Laser-Ablation von Wismut mit Cäsium-Dotierung zur Ionisierung.
Heizung	ECRH (Electron Cyclotron Resonance Heating) bei ca. 280 GHz.



4.2 Energieversorgung

Die Versorgung erfolgt über das öffentliche Stromnetz. Zur Abdeckung transienter Lastspitzen der Magnetfelder wird eine **Zwischenkreiskapazität von 10 MJ** implementiert. Die Dauerleistung der Anlage liegt im Bereich von **100 kW bis 1 MW**, was eine signifikante Effizienzsteigerung gegenüber theoretischen 85-MW-Konzepten darstellt.

5. Versuchsablauf

1. **Initialisierung:** Erzeugung und ECR-Heizung des Wismut-Plasmas im 10-T-Feld.
2. **Rotation:** Induktion eines Drehimpulses durch ein oszillierendes Magnetfeld bei 10 kHz.
3. **Anregung:** Gezielte Einkopplung von Alfvén-Wellen zur Beobachtung der Resonanzphänomene.
4. **Datenerfassung:** Echtzeitmessung der Wellenamplituden und Dichteverteilung über magnetische Sonden und Hochgeschwindigkeitskameras.

6. Fazit

Das AWO-Projekt stellt ein methodisch fundiertes Experiment der modernen Plasmaphysik dar. Durch den Fokus auf messbare Wechselwirkungen zwischen Wellenmoden und rotierenden Medien bietet es eine valide Plattform zur Erforschung kollektiver Plasmabewegungen. Die Ergebnisse versprechen einen direkten Mehrwert für die Weiterentwicklung magnetischer Einschlusskonzepte in der Fusionsforschung.