



Wie ein seltsamer Trick der Chaostheorie die
Raumfahrt revolutioniert

Ingo Blechschmidt
mit Dank an Sven Prüfer und Matthias Hutzler

Institut für Mathematik
Universität Augsburg
4. Januar 2017

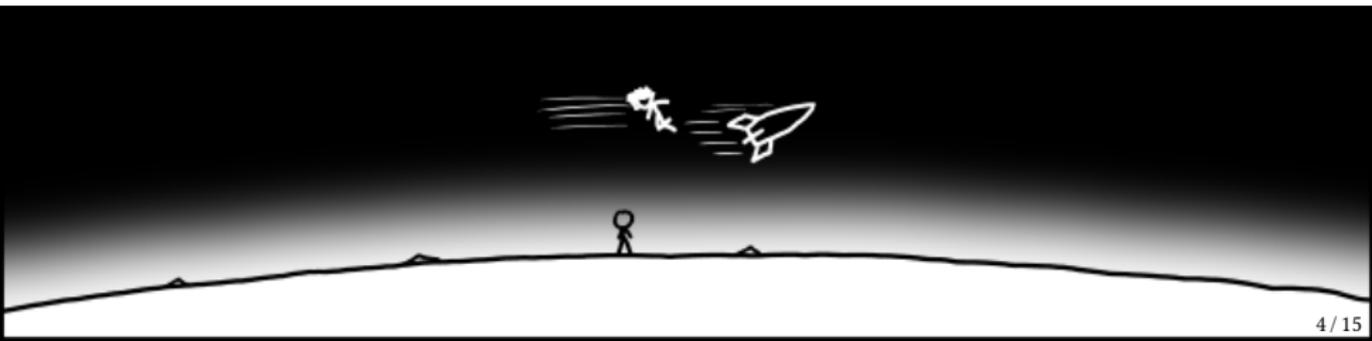


- 1 Ein Crashkurs in Orbitalmechanik
 - Grundlagen
 - Orbitwechsel
 - Die Tyrannei der Raketengleichung

- 2 Ein seltsamer Trick der Chaostheorie
 - Lagrange-Punkte
 - Weak stability boundaries
 - Die Rettung der Hiten
 - In der Natur

Teil I

Ein Crashkurs in Orbitalmechanik



Grundlagen

- Es ist leicht, ins Weltall zu kommen.
Schwer ist es, dort zu bleiben.
- Die Erdbeschleunigung auf Höhe der ISS ist immer noch $\approx 8,7 \text{ m/s}^2$.

SPACE

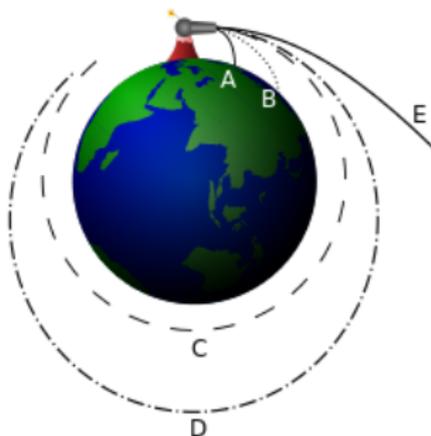


AIR

EARTH

Grundlagen

- Es ist leicht, ins Weltall zu kommen.
Schwer ist es, dort zu bleiben.



$$F_{\text{centripetal}} = F_{\text{gravitation}} \rightsquigarrow v_1 = \sqrt{GM/r}$$
$$E_{\text{kinetic}} = E_{\text{gravitation}} \rightsquigarrow v_2 = \sqrt{2} v_1$$

Grundlagen

- Es ist leicht, ins Weltall zu kommen.
Schwer ist es, dort zu bleiben.

Himmelskörper	zweite Fluchtgeschwindigkeit
Erde	$11,2 \text{ km/s} \approx 40\,000 \text{ km/h}$
Mond	$2,4 \text{ km/s}$
Sonne	618 km/s
Milchstraße	$\approx 550 \text{ km/s}$

Grundlagen

- Es ist leicht, ins Weltall zu kommen.
Schwer ist es, dort zu bleiben.
- Geschwindigkeit ist wichtig.

Grundlagen

- Es ist leicht, ins Weltall zu kommen.
Schwer ist es, dort zu bleiben.
- Geschwindigkeit ist wichtig.
- Im **Einkörperproblem** gibt es nur drei Arten von
Orbiten: elliptische, parabolische und hyperbolische.

Grundlagen

- Es ist leicht, ins Weltall zu kommen.
Schwer ist es, dort zu bleiben.
- Geschwindigkeit ist wichtig.
- Im **Einkörperproblem** gibt es nur drei Arten von
Orbiten: elliptische, parabolische und hyperbolische.
- Sei dir deiner Annahmen bewusst:
 - 1 Ist die Erde eine perfekte Kugel?
 - 2 Hat sie Atmosphäre?
 - 3 Dreht sie sich um sich selbst?

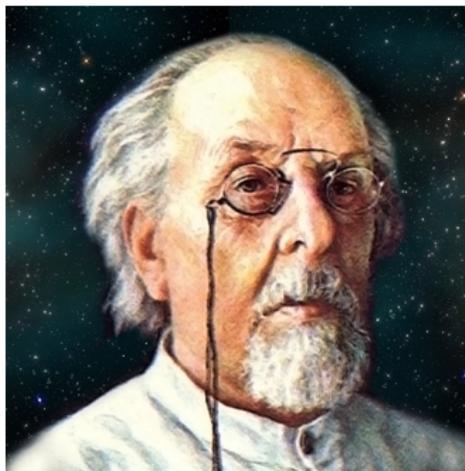
Orbitwechsel

“Live-Demo”

- Änderung der Phase
- Änderung der Exzentrizität
- Änderung des Radius
- Änderung der Ebene



Die Tyrannei der Raketengleichung



Konstantin Tsiolkovsky (* 1857, † 1935)

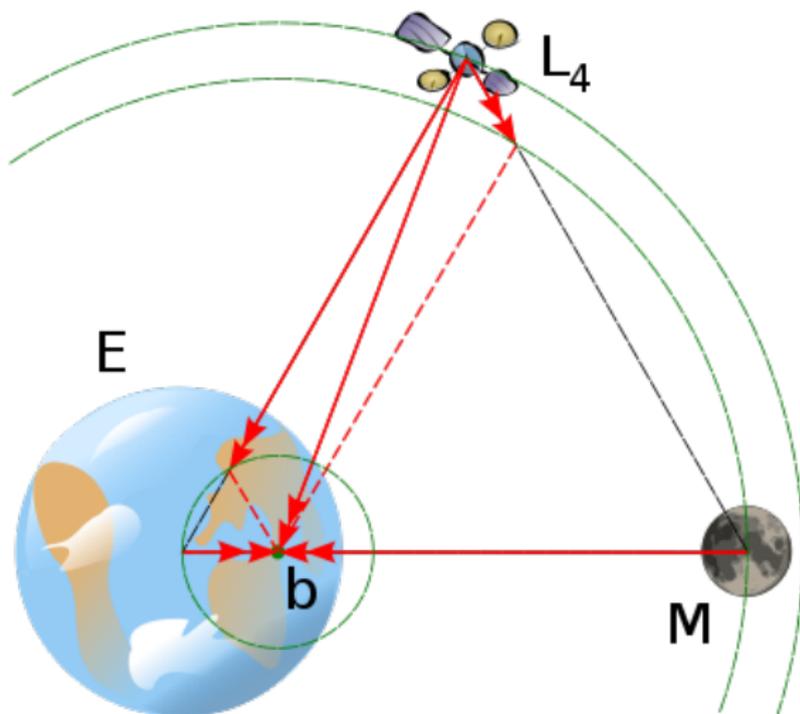
$$m_{\text{total}} = m_{\text{payload}} \cdot e^{\Delta v / v_{\text{eff. exhaust}}}$$

Teil II

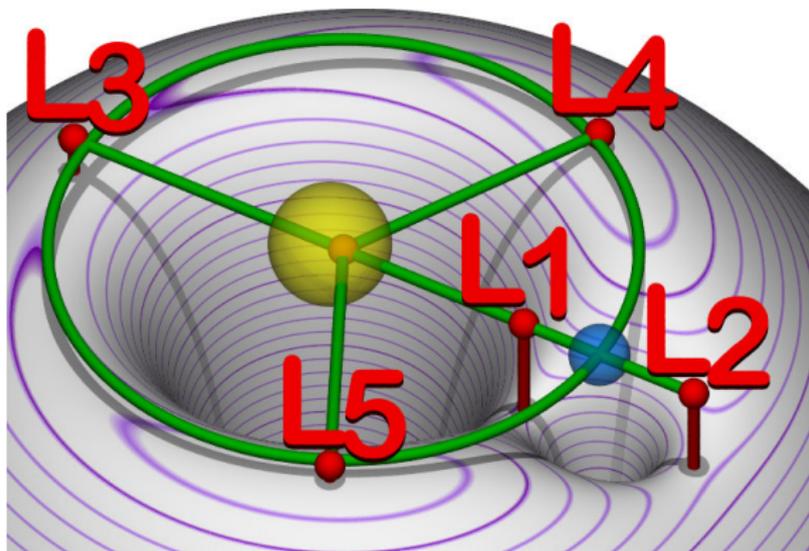
Ein seltsamer Trick der Chaostheorie



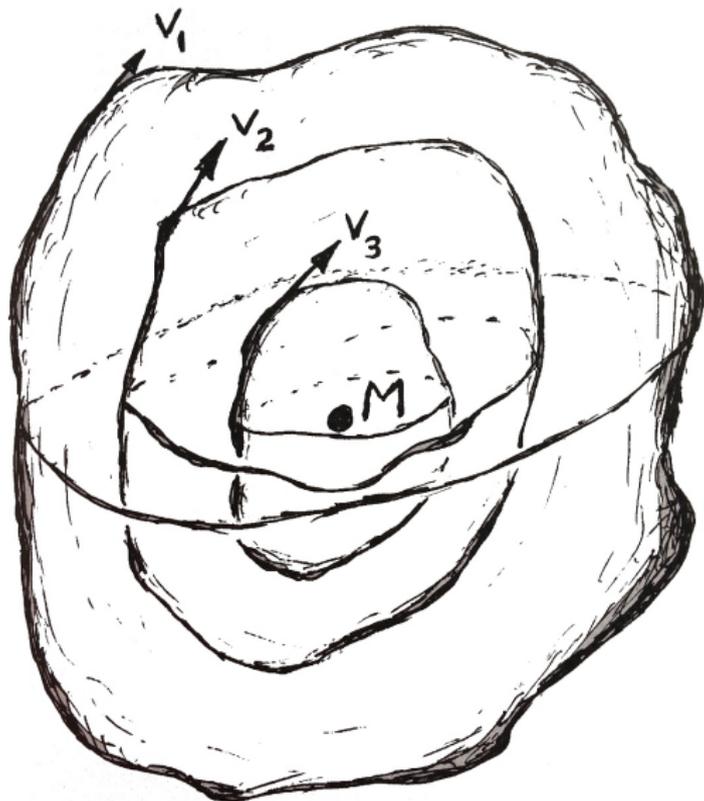
Lagrange-Punkte



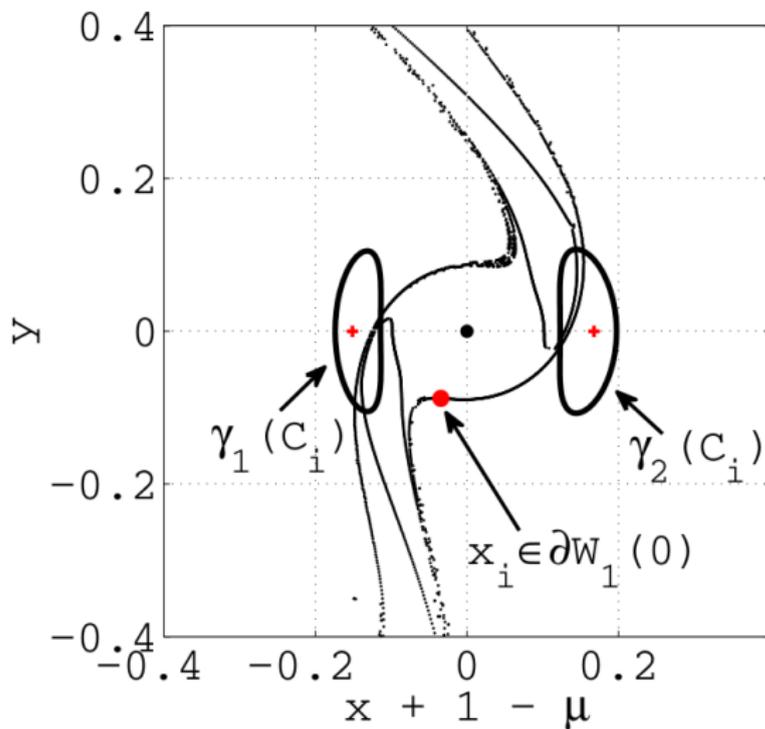
Lagrange-Punkte



Weak stability boundaries

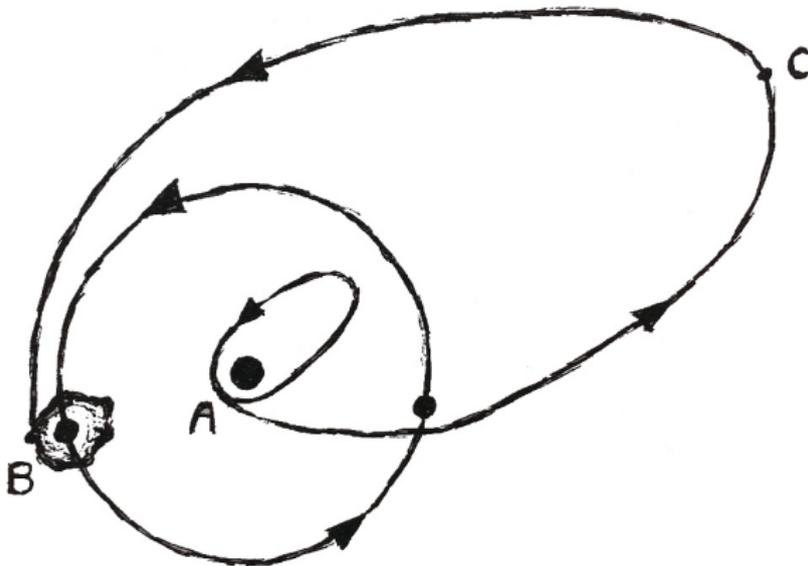


Weak stability boundaries





Die Rettung der Hiten



In der Natur



Figure 10. Stars stream outward from the Tadpole Galaxy (Arp 188) along a tubelike channel that stretches for some 280,000 light-years. This conduit (the galactic equivalent of the tubes making up the interplanetary transport network) arose through gravitational interaction with a compact galaxy that can now be seen lurking behind one of the Tadpole's spiral arms. (Courtesy of ACS Science & Engineering Team and NASA.)