

Modul: Reibung in der atmosphärischen Grenzschicht

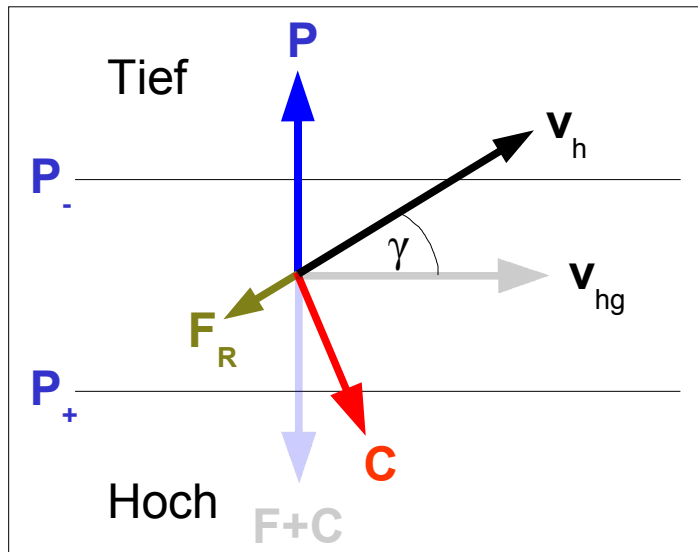
Lernziel:

Verständnis der reibungsbedingten Sekundärzirkulation in der Planetarischen Grenzschicht, der reibungsbedingten Vertikal-Geschwindigkeit sowie des Ekman-Pumping

Keywords: Ekman-Pumping
Reibungsbedingte Sekundärzirkulation

Ekman-Spirale

$$f \mathbf{k} \times (\mathbf{v}_h - \mathbf{v}_{hg}) = \frac{1}{\rho} \mathbf{F}_R$$



In der Grenzschicht wird der geostrophische Wind der freien Atmosphäre reibungsbedingt abgelenkt.

Die Stromlinien schneiden die Isobaren unter dem Winkel γ .

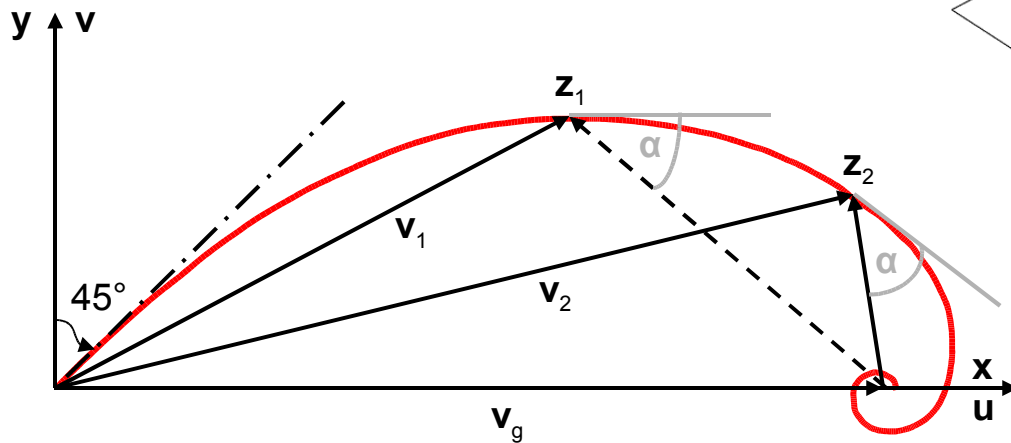
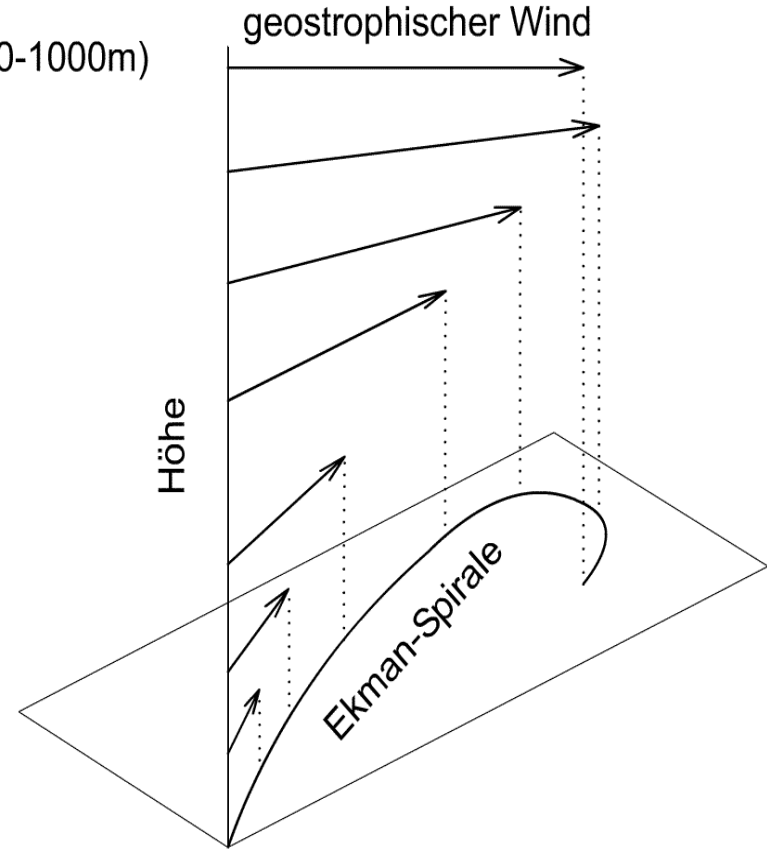
Die Luft strömt aus dem Hoch hinaus in das Tief hinein.

Frage: Wie ändert sich die Richtung und Betrag des Windes in der Grenzschicht mit der Höhe?

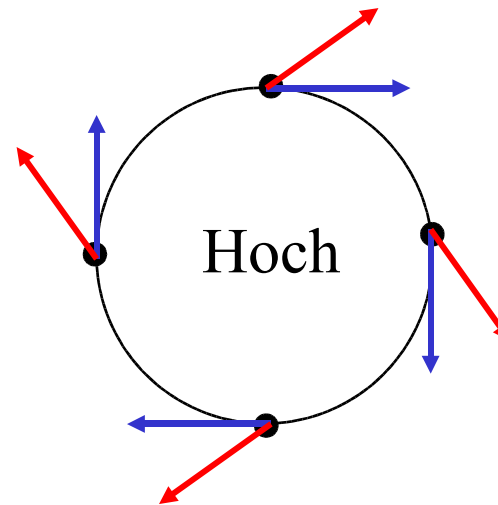
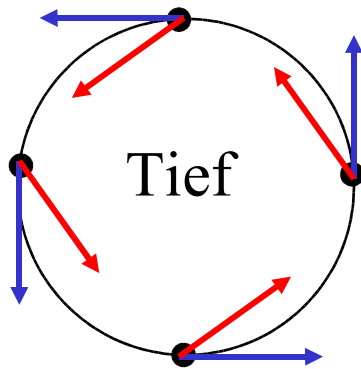
Ekman-Spirale

Die Ekman-Spirale gibt Aufschluss über die Änderung des Windes bzgl. Richtung und Betrag?

(500-1000m)



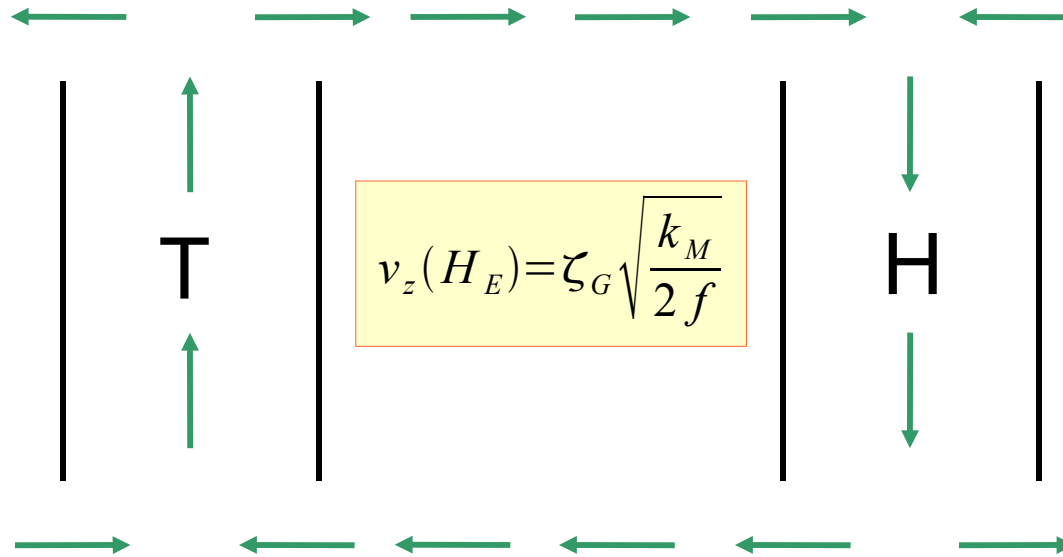
Primärzirkulation bei der Ekman-Reibung



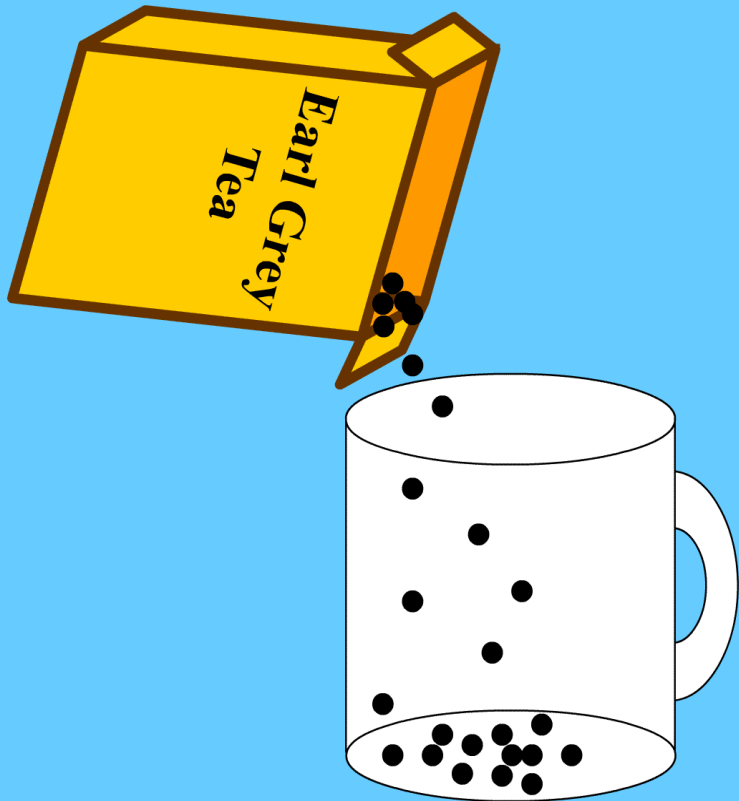
Höhenwind

Bodenwind

Die reibungsbedingte Sekundärzirkulation und die Vertikalgeschwindigkeit an der Obergrenze der Grenzschicht

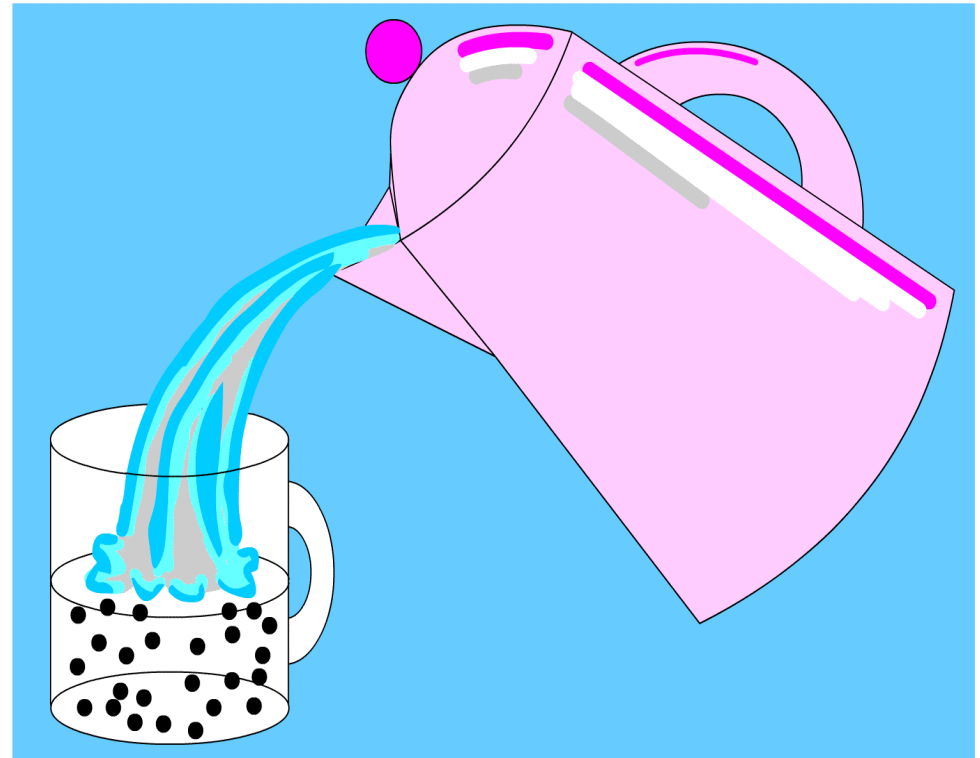


Analogie zum Ekman-Pumping: Tee-Experiment 1

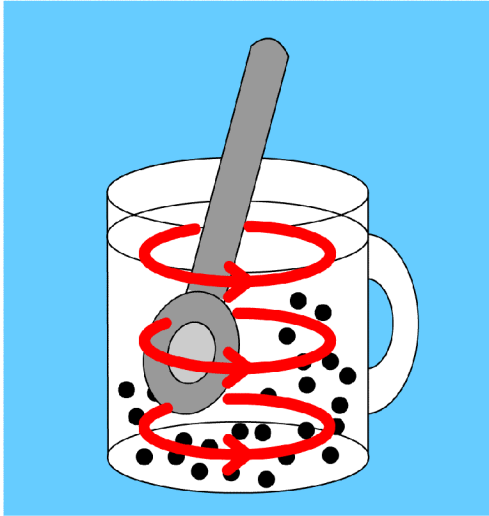


1. Teeblätter in eine Tasse geben...

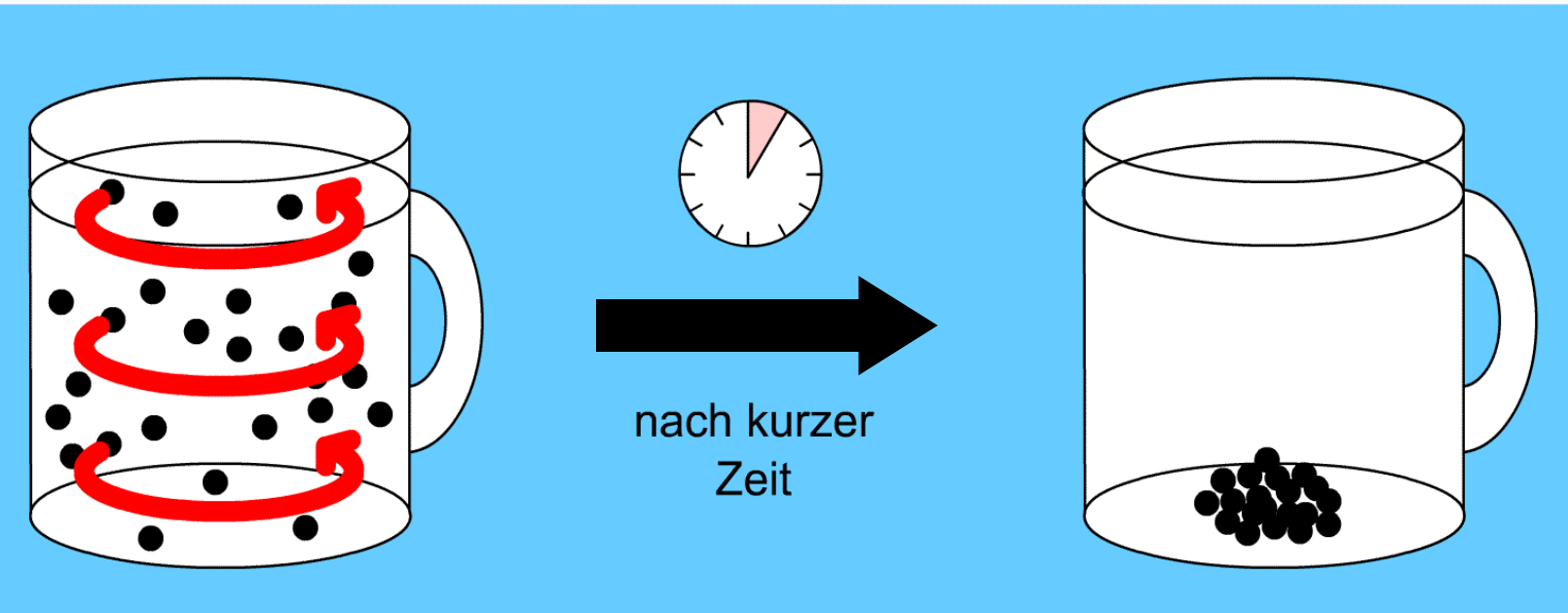
... anschließend mit Wasser auffüllen.



Analogie zum Ekman-Pumping: Tee-Experiment 2

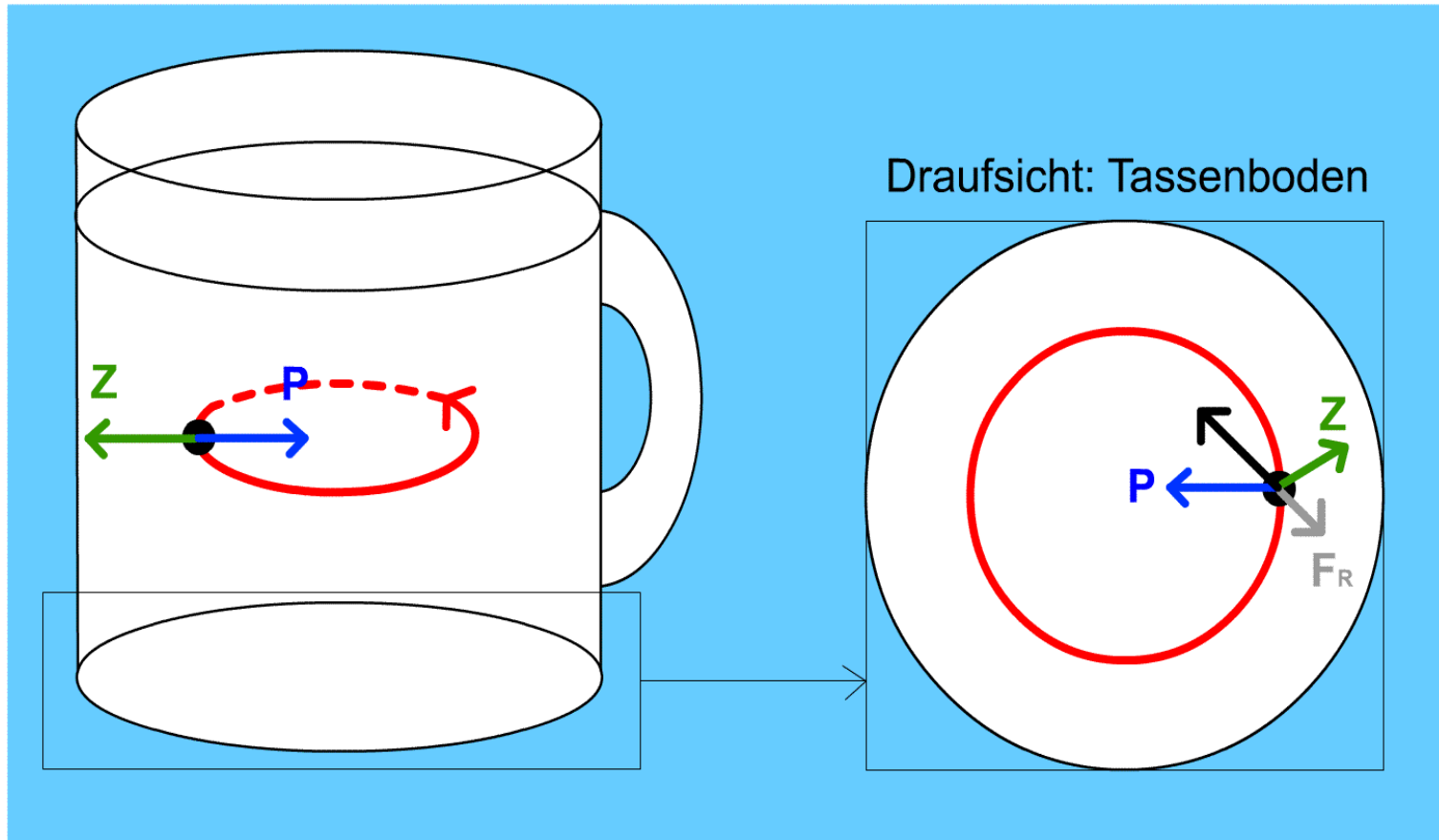


2. Umrühren, mit konstanter Geschwindigkeit kreisen
3. Aufhören zu rühren und beobachten...
4. Beobachtung: nach kurzer Zeit sammeln sich die Teeblätter am Boden in der Tassenmitte, die Flüssigkeit kommt schnell zur Ruhe
→ **WARUM?**



Analogie zum Ekman-Pumping: Tee-Experiment 3 (Erklärung)

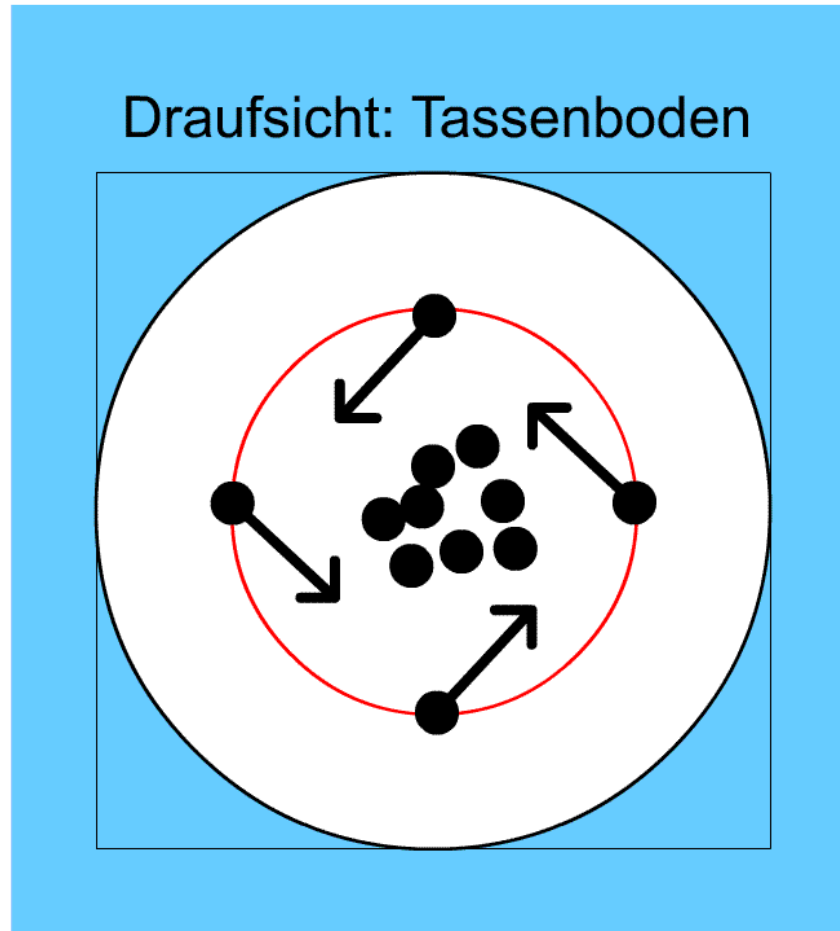
- Rotierende Flüssigkeit → es herrscht Gleichgewicht zwischen Druckgradientkraft P und Zentrifugalkraft Z ($P = \text{const.}$ über die gesamte Tasse, da Wasser inkompressibel ist)



- Am Tassenboden bremst Reibung die Geschwindigkeit ab → Z wird geringer

Analogie zum Ekman-Pumping: Tee-Experiment 4 (Erklärung)

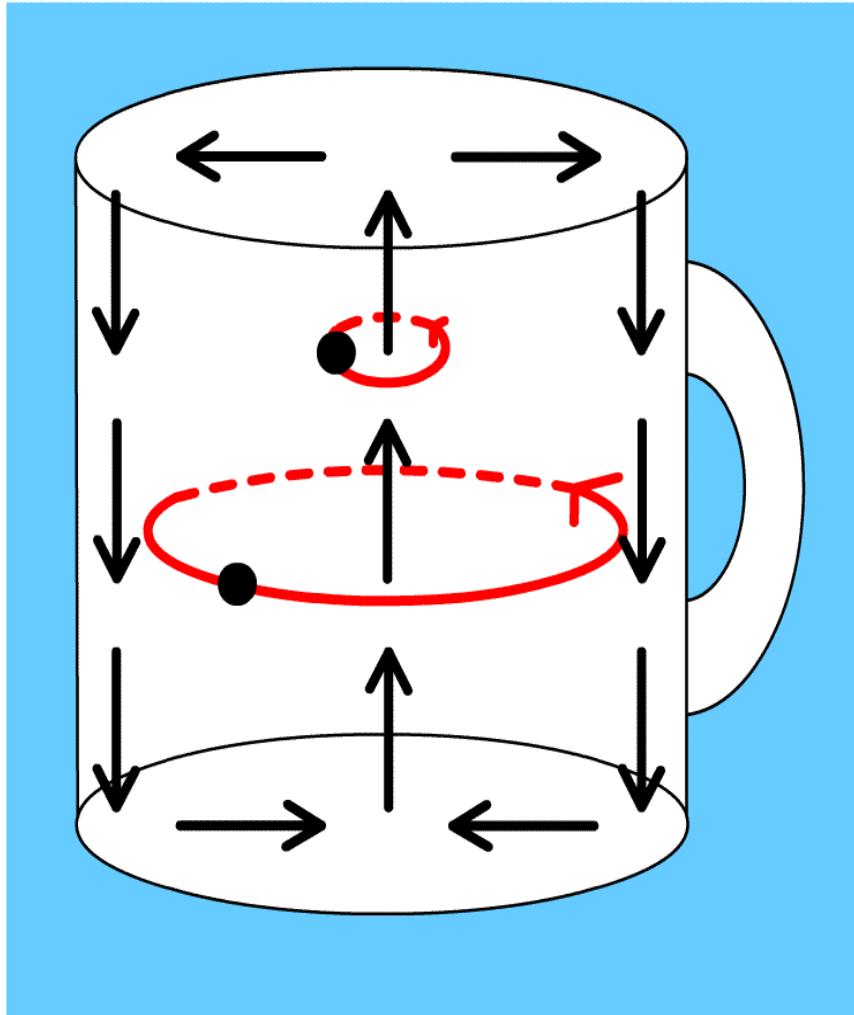
- Am Boden strömt Flüssigkeit ins Tassenzentrum



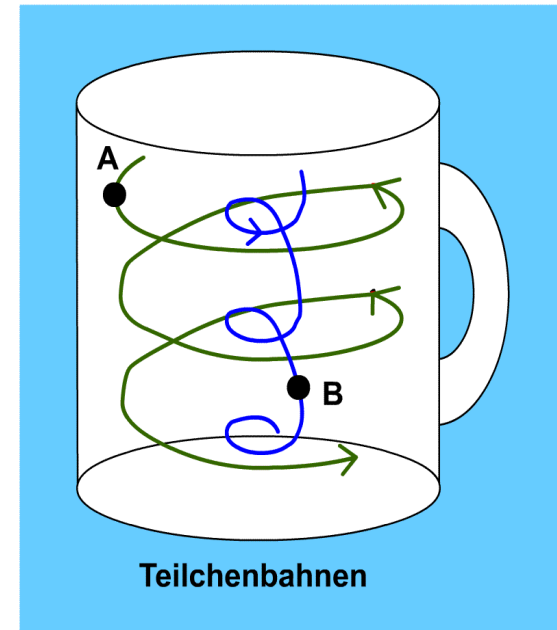
➔ Die Teeblätter sammeln sich in der Mitte.

Analogie zum Ekman-Pumping: Tee-Experiment 5 (Erklärung)

- Aufgrund der Massenerhaltung muss am Bodenzentrum Flüssigkeit aufsteigen, als Ausgleich strömt Flüssigkeit am Rand abwärts



- ➔ Austausch von Flüssigkeitsteilchen hoher Winkelgeschwindigkeit (z.B. Teeblatt A) mit Teilchen langsamer Geschwindigkeit (z.B. Teeblatt B)
- ➔ Vorticity wird sehr schnell abgebaut (schneller als durch Diffusion)



Teilchenbahnen

Zusammenfassung / Merksätze

- Es ist konzeptionell sinnvoll die Stömung in Primär- und Sekundärzirkulation zu zerlegen, da so Gleichgewicht und Ursache der Abweichung vom Gleichgewicht festgelegt sind
- Die Sekundärzirkulation beschreibt das Abweichen von Gleichgewichten.
 - Barokline Sekundärzirkulation → geostrophisches Gleichgewicht
→ Abweichung ist der Trägheitskraft
 - Reibungsbed. Sekundärzirkulation → geostrophisches Gleichgewicht
→ Abweichung: Reibungskraft
 - Tee-Experiment → zyklotropisches Gleichgewicht
→ Abweichung: Reibungskraft
- Die Sekundärzirkulation steht immer senkrecht auf der Primärzirkulation.