

SOWAS Gruppe A Boot mit Wasserdampfantrieb

Antonia Bocaz¹, Nicola Hunfeld², Janine Edayadiyil³

Projektleiter Maik Budde



Motivation

Das Ziel dieses Projekts ist es, den Antrieb eines Bootes zu entwerfen und dabei herauszufinden, unter welchen physikalischen Parametern dieser mittels Gasdruck Arbeit verrichtet und damit das Boot zum Fahren bringt. Besonderen Wert wurde dabei auf die physikalischen Grundlagen dahinter und die Realisierbarkeit für den Schiffsbetrieb gelegt.

Modell

Startvorgang: Raketenantrieb

Das erhitzte Wasser in der Glaskugel verdampft, dehnt sich aus und verdrängt die Wassersäulen in den Rohren \Rightarrow Ruckartiger Vorwärtssimpuls gemäß Raketengleichung

$$F_{ext} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v_{ex} \frac{dm}{dt} = 0. \quad (1)$$

Kondensation/Verdampfung und erzwungene Schwingung

- Geschwindigkeit und träge Masse des Wassers erzeugen Unterdruck im Gefäß, verstärkt durch Kondensation des Wasserdampfes am Rohr \Rightarrow Wasser wird erneut hineingesaugt \Rightarrow oszillierende Bewegung
- Bewegung der Wasseroberfläche wird nun als erzwungene Schwingung betrachtet. Annahme: kosinusförmige äußere Anregung durch die Druckänderung

$$\ddot{\phi} + 2\delta\dot{\phi} + \omega_0^2\phi = A_E e^{i\omega t} \quad (2)$$

mit der allgemeinen Lösung

$$\phi(t) = \phi_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \theta) \xrightarrow[\text{Gleichgewicht}]{\delta=0} \phi(t) = \phi_0 \cos(\omega t + \theta) \quad (3)$$

Impulsbilanz

- Herausströmen des Wassers: Laminar und gerichtet, von einer dünnen, turbulenten Schicht „abgeschirmt“
- Einsaugen: „ausgussartig“ aus allen Richtungen \Rightarrow resultierende Impulskomponente in Fahrtrichtung
- Impulsänderungen über Zeit mitteln \Rightarrow konstante Kraft ma in Fahrtrichtung. Wasser: Reibung $F_R = kv^2$,

$$\Rightarrow m\dot{v} = -ma + kv^2 \quad (4)$$

Bei Kenntnis einer partikulären Lösung $v(t \Rightarrow \infty) = v_\infty = \sqrt{ma/k}$ und mit der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0$ ergibt sich für den Weg

$$z(t) = \frac{v_\infty^2}{a} \ln \left(\cosh \left(\frac{at}{v_\infty} \right) \right) + z_0 \quad (5)$$

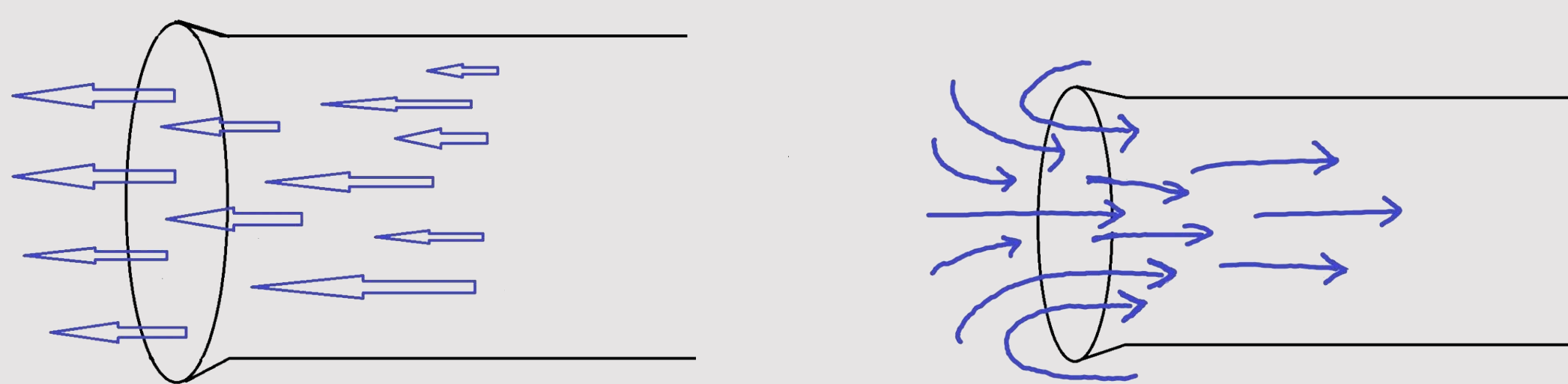


Abbildung 1: Laminare Strömung(links) und turbulente Strömung(rechts).

Aufbau

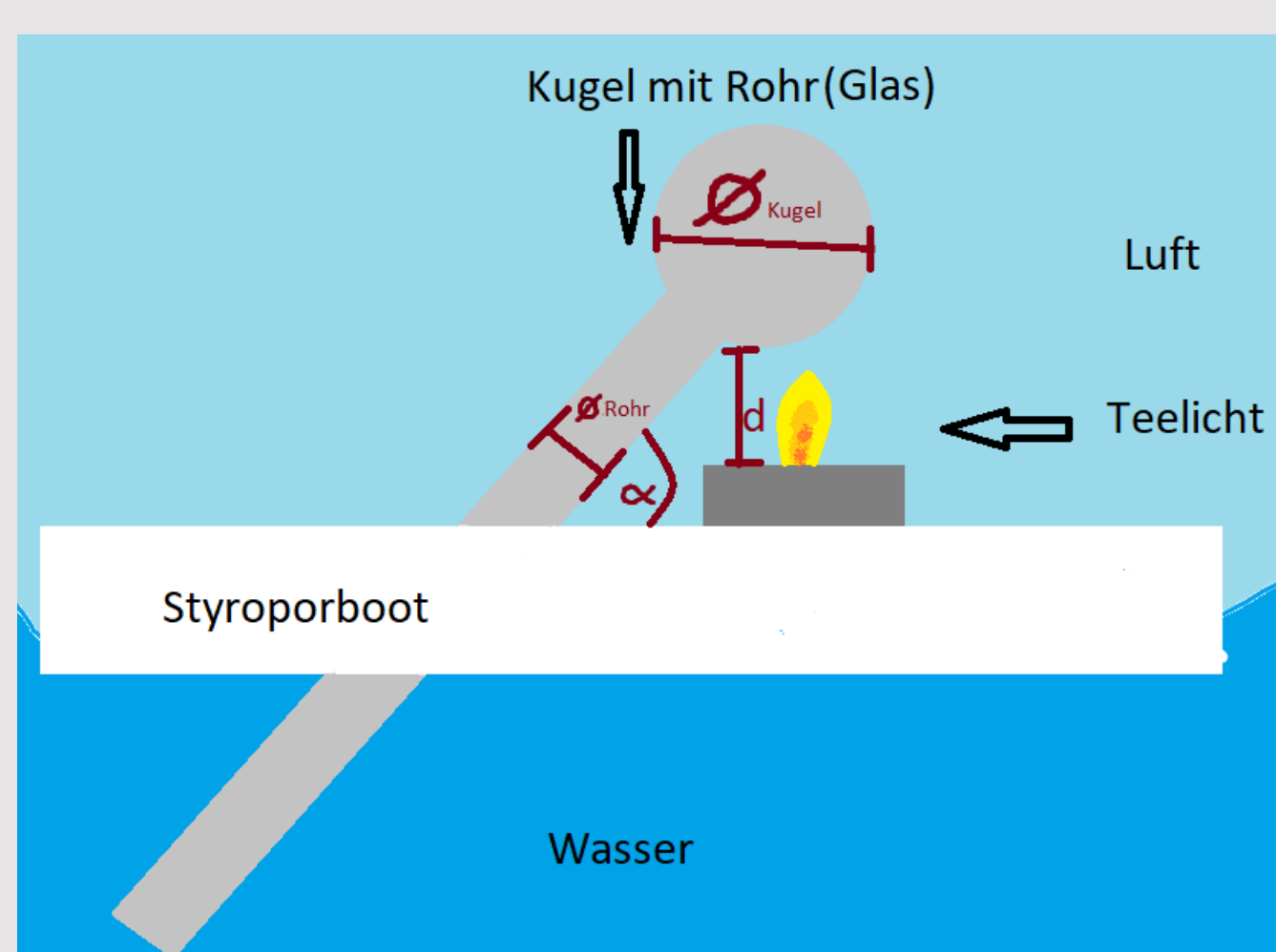


Abbildung 2: Aufbau des Bootes

Präparation des Bootes

- Befestigung eines Rohrs an die Kugel und anschließende Befüllung mit Wasser
- Rohr wird in einem Winkel α durch das Styroporboot durchgesteckt und ins Wasser getaucht
- Teelicht wird unter die Kugel gestellt (Mittelpunkt Kerze unter Mittelpunkt Kugel) und angezündet
- Glaskugeln haben Durchmesser von 2 cm und 2,5 cm
- Glasrohre haben Länge von 10 cm und einen Durchmesser von 4 mm oder 6 mm
- an die Kugeln sind entweder eine oder zwei Rohre angebracht

Durchführung

- **Streckenmessungen**
Zurückgelegte Strecke in Abhängigkeit von der Zeit gemessen
- **Temperaturverhalten**
Änderung der Temperatur über die Zeit mit Laserthermometer gemessen
- **Frequenzmessung**
Oszillation des Flüssigkeitsstandes mit Track-Programm aufgezeichnet

Ergebnisse

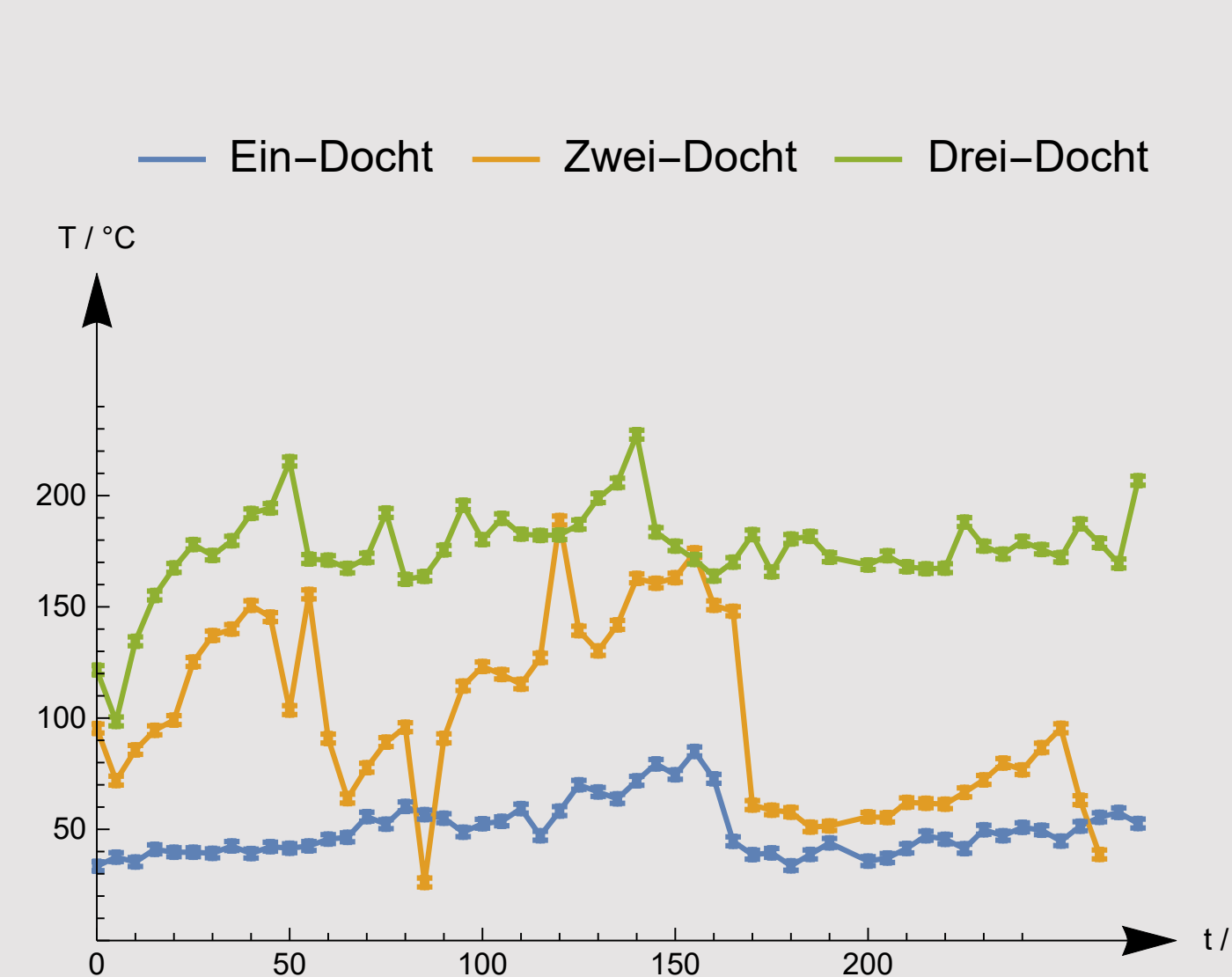


Abbildung 3: Temperaturverlauf in der Kugel

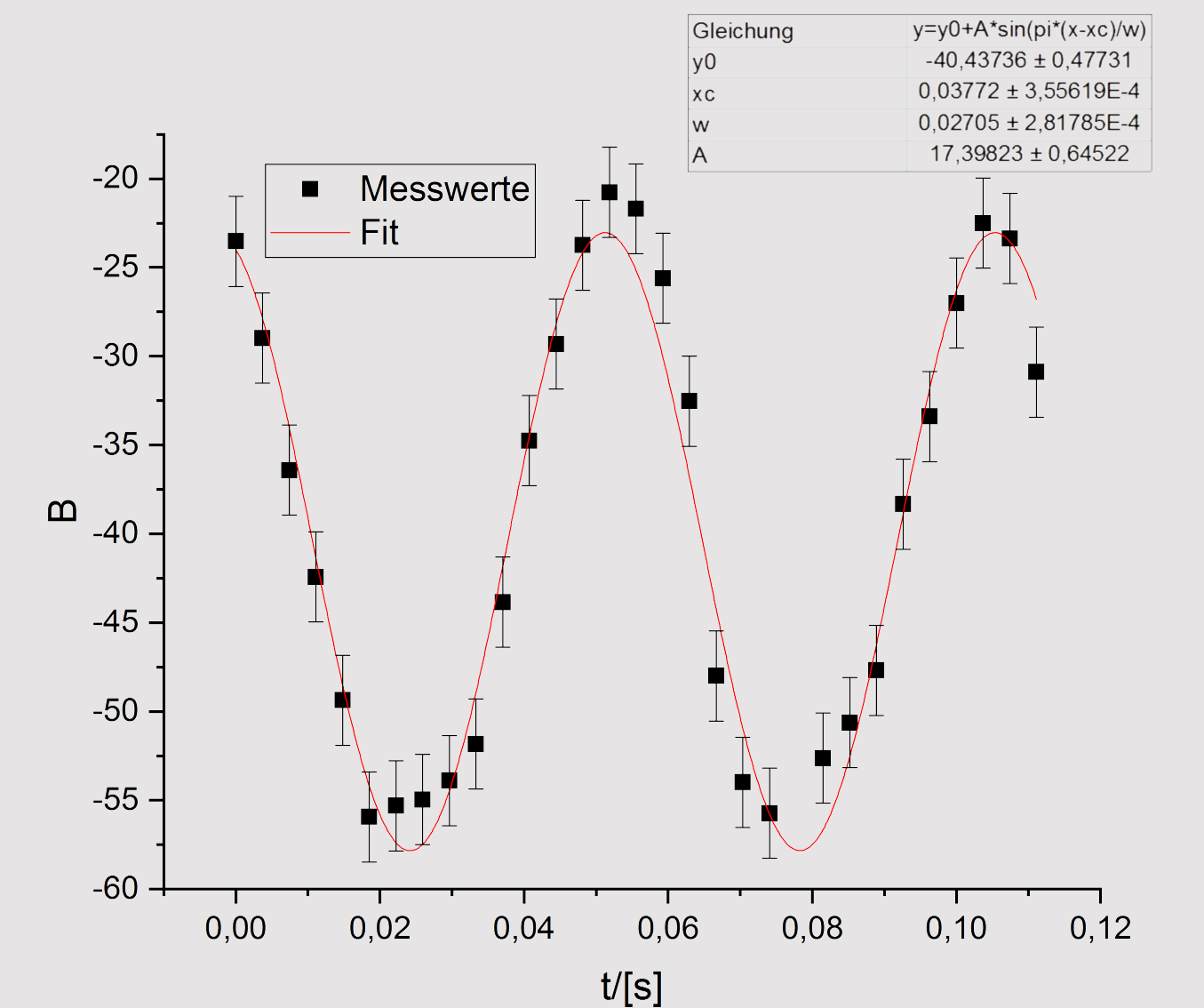


Abbildung 4: Schwingung der Wasseroberfläche

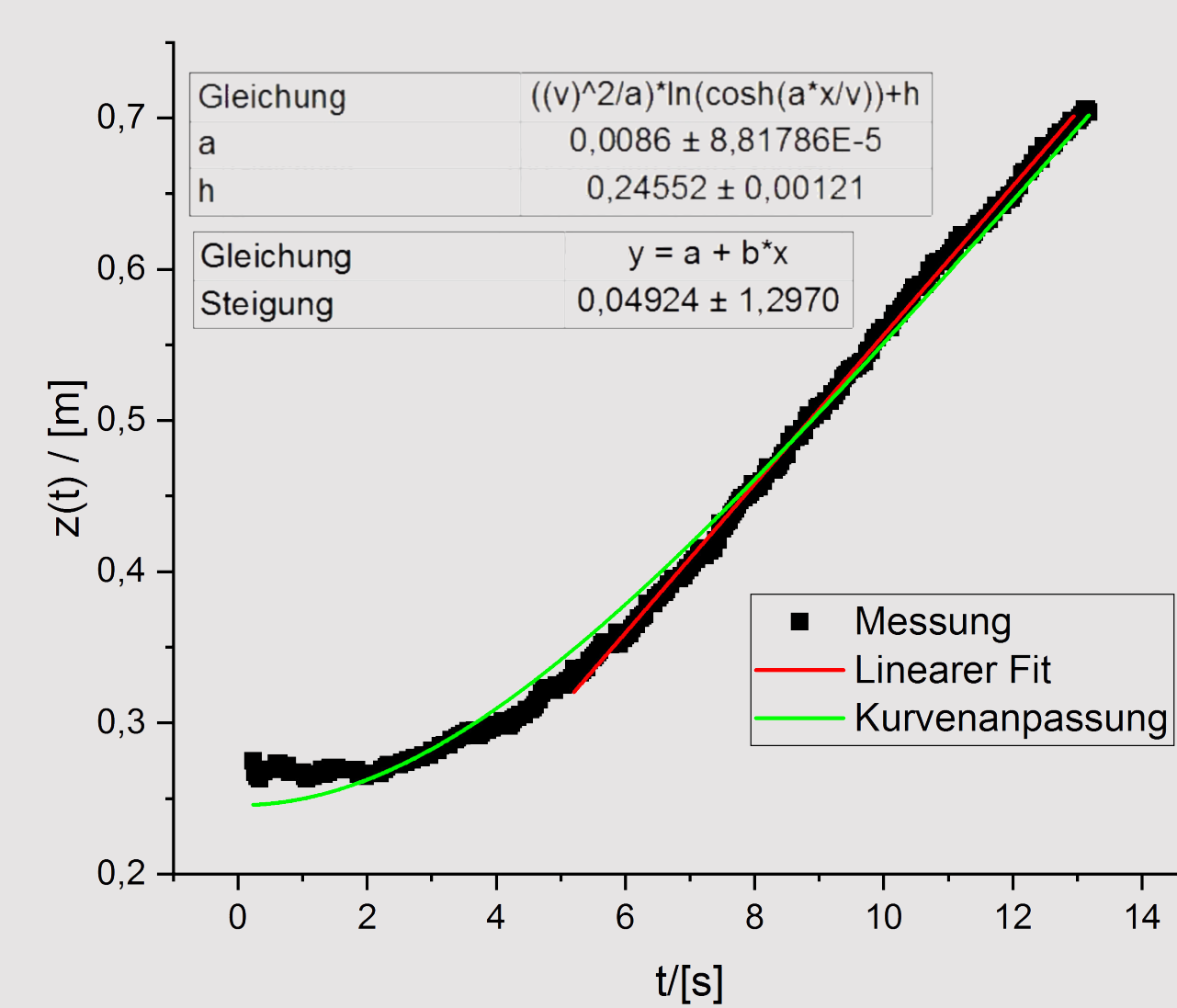


Abbildung 5: Weg-Zeit-Diagramm

Parameter	Messung	Wert
Durchmesser Kugel		2 cm
Winkel α		$35^\circ \pm 5^\circ$
Länge Rohre		11 cm
Durchmesser Rohre	$(4 \pm 0,5)$ mm	
Anzahl Rohre		2
Abstand Kugel-Kerze		(15 ± 4) mm

Tabelle 1: Parameter zur Weg-Zeit-Messung

Temperaturverlauf

- 1-Docht: 100°C nicht erreicht, kein Antrieb
- 2-Docht: starke Schwankungen um die 100°C, Antrieb möglich
- 3-Docht: Überhitzung, nahezu konstant 200°C und Motor läuft trocken

Oszillationsbewegung

- harmonische Schwingung
- $f=16$ Hz
- Alle gemessenen Frequenzen im Bereich 11 Hz-18 Hz

Nicht fahrende Boote: Weitere Beobachtungen

- Zu breite Rohre: Luft kann entkommen, ohne Wassersäulen zurück zu drängen
- Zu kleine Kugel: Impulsstöße trotz hoher Frequenz nicht ausreichend
- Große Kugel bei kurzem Rohr: Ungleichgewicht, entweder Wärmemenge nicht ausreichend oder der Motor läuft trocken, weil Abkühlungsbereich nicht ausreichend groß
- Zu hohe Frequenzen: An Rohrende(n) entsteht starke Verwirbelung, die Impulse heben sich gegenseitig auf
- Nur ein Rohr: Ungleichgewicht, kleine Störungen im Rohr können nicht durch Schwingung im zweiten Rohr ausgeglichen/eingeschwungen werden

Diskussion und Fazit

- Funktionsweise des Antriebes konnte verifiziert werden
- konstante Geschwindigkeit des Bootes konnte nachgewiesen werden
- harmonische Schwingung konnte bestätigt werden
- für Schifffahrt ungeeignet
- Leistung des Antriebes hängt von verschiedenen Faktoren ab (Kugel- sowie Rohrdurchmesser, Wärmequelle etc.)
- Stabilität der Kugel wichtig, Glas war zu zerbrechlich und temperaturinstabil

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt den technischen Mitarbeitern Klaus Ulrich und Tomasz Domanski, welche uns stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

Literatur

- Torsten Fließbach: Mechanik: Lehrbuch zur Theoretischen Physik I, 7 Auflage, 2015
- Kolumban Hutter: Fluid- und Thermodynamik, 2 Auflage, Berlin 2003
- I Finnie, R.L.Curl: On the functioning of a familiar nonlinear thermodynamic oscillator, 1963
- I Finnie, R.L.Curl: Physics in a Toy Boat, American Journal of Physics, Vol. 31, No. 4, 289-293, April, 1963