

Eine Aufgabe zur Mechanik

Der Vorstellungswechsel über Naturvorgänge und die Mathematisierung der Physik

von Josef Leisen

Drei Herren, wir nennen sie Aristoteles, Galilei und Newton, treffen sich in einem Zug und kommen miteinander ins Gespräch.

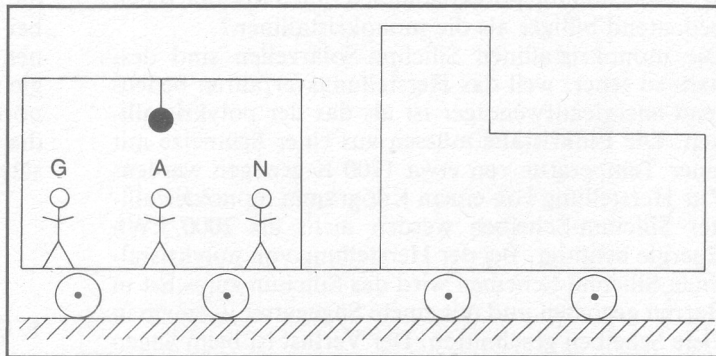


Abb. 1

Galilei: Geschätzter Aristoteles, Sie haben da eine gefahrenvolle Platzposition eingenommen. Sollte sich die Lampe an der Decke lösen und herunterfallen, so träfe sie genau Ihren Kopf und Sie würden Schaden nehmen.

Aristoteles: Aber Herr Galilei, über diese Frage wurde doch schon an anderer Stelle gestritten. Sie vertreten diese neuen Ideen und Vorstellungen mit denen Sie sogar die Erddrehung denkmöglich machen wollen. Ich berufe mich auf die Erfahrung wenn ich sage: „Alles was bewegt wird, muss durch etwas bewegt werden.“ Deshalb bin ich der Meinung, dass Sie in der gefährdeten Platzposition sind.

Galilei: Sie berufen sich immer auf Ihre Erfahrung, aber Sie überprüfen ihre Schlussfolgerung nicht im Experiment. Wie Sie wissen, tun wir dies mit unseren Hypothesen. So ist mein Fallgesetz in vielfältiger Weise immer wieder bestätigt worden. Mit der Luftkissenbahn.

Aristoteles: Aber nun bleiben Sie mir ja mit diesen Geräten weg! Ich bin entsetzt! Sie betreiben da „Mechanik“ und überlisten die Natur! Wie wollen Sie da „Natur“ erkennen, wenn Sie „widernatürliche“ Mittel einsetzen!

Newton: Die Auffassungen von der Natur und ihrer Beschreibung haben sich seit Ihrer Zeit, das sind fast 2000 Jahre, grundlegend geändert. Wie Sie wissen, habe ich die Naturlehre auf mathematische Prinzipien gestellt und Bewegungsgesetze formuliert, welche den Ihren widersprechen. Der Erfolg, insbesondere in der Himmelsmechanik, bestätigt und ermuntert uns. So kann ich mit meinen Methoden Fallzeiten, Bahnkurven, Auftrefforte, Bremszeiten, Kräfte etc. exakt berechnen, wenn ich die notwendigen Anfangsbedingungen kenne

Aristoteles: Schön, schön! Aber Ihre Methode ist auch mit einem Verzicht auf viele Antworten von Fragen erkaufte an denen ich mich versucht habe.

Newton: Das müssen wir Ihnen zweifellos zugestehen.

Folgende Daten teilt der Zugführer mit:

Zuggeschwindigkeit:	v	$= 180 \text{ km/h}$
Erdbeschleunigung:	g	$= 10 \text{ m/s}^2$
Bremsbeschleunigung:	a	$= 10 \text{ m/s}^2$
Masse des Zuges:	m	$= 100 \text{ t}$

Aufgaben:

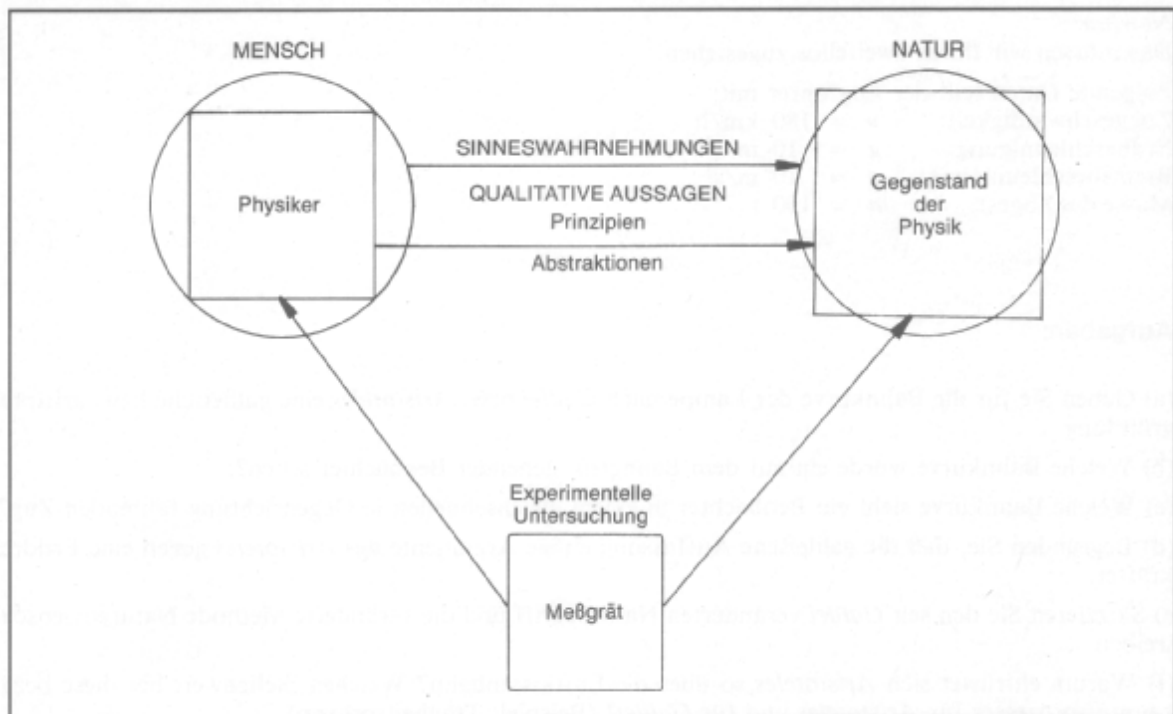
- Geben Sie für die Bahnkurve der Lampe nach Galilei bzw. Aristoteles eine galileische bzw. aristotelische Begründung.
- Welche Bahnkurve würde ein auf dem Bahngleis stehender Beobachter sehen?
- Welche Bahnkurve sieht ein Beobachter in einem gleichschnellen in Gegenrichtung fahrenden Zug?
- Begründen Sie, dass die galileische Auffassung einige Argumente des Aristoteles gegen eine Erddrehung entkräftet.
- Skizzieren Sie den seit Galilei veränderten Naturbegriff und die veränderte Methode Naturwissenschaft zu betreiben.
- Warum entrüstet sich Aristoteles so über die Luftkissenbahn? Welchen Stellenwert hat diese bzgl. des Erkenntnisprozesses für Aristoteles und für Galilei? (Beispiel: Trägheitsprinzip).
- Dem Bewegungsgesetz von Aristoteles stehen die Axiome von Newton gegenüber. Nennen Sie diese und skizzieren Sie den Vorstellungswechsel über Kräfte.
- Galilei formulierte das Fallgesetz folgendermaßen: In gleichen, aufeinander folgenden Zeiteinheiten verhalten sich die zugehörigen Fallstrecken wie $1:3:5:7: \dots$. Begründen Sie diese Formulierung.
- Die Lampe hängt $1,80 \text{ m}$ über dem Waggonboden. Berechnen Sie die Fallzeit. Berechnen Sie die Strecke um welche sich der Zug inzwischen weiterbewegt hat.
- Berechnen Sie die Bremszeit, den Bremsweg und die Bremskraft des Zuges. Zeichnen Sie die Bremskräfte ein.
- Welche Bahnkurve durchfällt die Lampe für die Insassen, wenn sie sich in dem Augenblick löst, da der Zug an fängt gleichmäßig zu bremsen? Berechnen Sie den Auftreffort der Lampe.

Lösungen:

- Galilei: Nach dem Trägheitsprinzip besteht physikalisch kein Unterschied zwischen der Ruhe und der gleichförmigen Bewegung, so dass die fallende Lampe die Zugbewegung während des Falles mitmacht.
- Aristoteles: Nach dem Lösen der Lampe vom Zug wirkt keine ziehende Kraft mehr auf den Körper. Die Lampe wird nicht mehr durch den Zug bewegt, so dass in Zugrichtung keine Bewegung mehr stattfindet. Der Zug bewegt sich unter der fallenden Lampe weg.
- Ein auf dem Bahngleis stehender Beobachter sähe eine Wurfparabel in Zugrichtung. Nach dem Unabhängigkeitsprinzip überlagern sich die gleichförmige Bewegung in x -Richtung und die gleichmäßig beschleunigte Bewegung in y -Richtung zur Wurfparabel.
- Der Beobachter sieht eine Wurfparabel wie in (b), allerdings mit einer Öffnung, die zur Geschwindigkeit $2v$ gehört.
- Nach aristotelischer Auffassung wird ein Stein, der von einem hohen Turm herunterfällt viele hundert Meter westlich vom Turm ankommen (etwa 200 m pro Meter Turmhöhe), wenn die Erde eine tägliche Drehung um ihre eigene Achse durchführen würde. Da eine solche Westabweichung nicht beobachtet wird, muss die Erde ruhen. Die galileische

Auffassung entkräftet das sogenannte Turmargument und macht die Erddrehung denkmöglich.

- (e) Der veränderte Naturbegriff wird deutlich durch den Zugang zur Natur, der seit der Renaissance wesentlich durch das Experiment gesucht wird.
- (f) Nach Aristoteles behandelt die Physik ausschließlich naturgemäße, spontan ablaufende Prozesse (nicht nur Bewegungen). Naturwidrige, künstliche Bewegungen gehören in den Bereich der „Mechanik“ und bringen keine Erkenntnisse über die Natur, weil diese ja durch menschlichen Eingriff überlistet wurde (Fernrohrverweigerer). Luftkissenexperimente wären für ihn mathematische aber keine physikalische Experimente.



Für Galilei kann die Luftkissenbahn auch keine neuen physikalischen Erkenntnisse bringen, aber mit ihr lassen sich Hypothesen (Trägheitsprinzip) und Gesetze (Bewegungsgesetze) experimentell überprüfen.

- (g) Die Axiome Newtons. Nach Aristoteles **hat** ein Körper Kraft aus sich heraus oder von einem Bewegter. Der Kraftbegriff ist ein „Potenzbegriff“. Bei Newton ist er ein „Relationsbegriff“. Ein System A übt auf ein System B die Kraftwirkung F aus und wegen des Wechselwirkungsaxioms auch umgekehrt.

(h) $s_0 = 0\text{m}$

$$s_1 = \frac{1}{2}gt^2 \quad \left. \vphantom{s_1} \right\} \Rightarrow s_1 - s_0 = 1 \cdot s_1$$

$$s_2 = \frac{1}{2}g(2t)^2 \quad \left. \vphantom{s_2} \right\} \Rightarrow s_2 - s_1 = 3 \cdot s_1$$

$$s_3 = \frac{1}{2}g(3t)^2 \quad \left. \vphantom{s_3} \right\} \Rightarrow s_3 - s_2 = 5 \cdot s_1$$

(i) Aus $s = \frac{1}{2}gt^2$ folgt $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = 0,6\text{ s}$ für die Fallzeit.

Aus $s = vt = 30\text{ m}$ erhält man die zurückgelegte Zugstrecke.

(k) Bei gleichmäßigem Abbremsen gilt $t = \frac{v}{a} = 5\text{ s}$ als Bremszeit.

Der Bremsweg ist $s = \frac{1}{2}at^2 = 125\text{ m}$ und die Bremskraft $F = ma = 10^6\text{ N}$.

- (l) Die Lampe durchfällt für die Insassen eine Gerade mit der Steigung 45° . Der Auftreffort liegt $1,80\text{ m}$ von der Senkrechten in Fahrtrichtung entfernt.

(veröffentlicht in: LEISEN, Josef: Der Vorstellungswechsel über Naturvorgänge und die Mathematisierung der Physik. Eine Aufgabe zur Mechanik. Praxis der Naturwissenschaften Physik 2 (1986), S. 44-46.)