

# Trägheitskraft



Eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinneseindrücken und der Newton'schen Mechanik – Teil 2/2: Ein Unterrichtsversuch in Klasse 10

HANS-OTTO CARMESIN

Im Unterricht zur Newton'schen Mechanik handelten Zehntklässler als ruhende und beschleunigte Beobachter, auch im Freizeitpark. Sie nutzten und schärften Kraft-, Gleichgewichts- sowie Sehsinn. Sie erfassten Beschleunigungen via Sensor im Smartphone. Sie bildeten Sinne und Sensoren im Modellversuch nach. Sie untersuchten Bewegungen durch wahrnehmendes Erleben, Messen sowie Rechnen. Diese dreifache Vernetzung begeisterte, war zeiteffizient und führte zu einem hervorragenden Klausurergebnis.

## 5 Exkursion in den Heidepark

Auf der Hinfahrt bearbeiteten die Schüler das Aufgabenblatt zum Maculaorgan (Kasten 6) und bauten sowie kalibrierten eine Bogenwasserwaage gemäß einem Arbeitsblatt (Kasten 8). Sodann untersuchten sie vorbereitend den Freifallturm, zwei Karussells (Abb. 5) und verschiedene Achterbahnen gemäß einem weiteren Arbeitsblatt (Kasten 9). So konnten die Lernenden diese Untersuchungen im Heidepark selbstständig innerhalb von 4 Stunden durchführen und auswerten. Sie stellten ihre Ergebnisse in den Folgestunden vor. Von den Schülern sowie von mehreren Kollegen weiß ich, dass die Lernenden begeistert waren und wieder eine Physikexkursion durchführen wollen.



Abb. 5. Karussell Huracan

## 6 Doppelstunde: Im Heidepark beobachtbare und messbare Beschleunigungen

Die vierte Stunde der Sequenz hatte das Thema »Erlebnisbasierte Entdeckung von Trägheitskräften und Schwerelosigkeit« und das kompetenzorientierte Lernziel »Die Schüler vernetzen

ihre Wahrnehmungen und Messungen miteinander und entdecken dabei physikalische Konzepte, um ihre Erkenntnisgewinnungskompetenz auch mit physikalisch relevanten Sinneseindrücken zu schulen«. In der Doppelstunde nach der Exkursion

### Physikexkursion, Klassen 10, Bogenwasserwaage

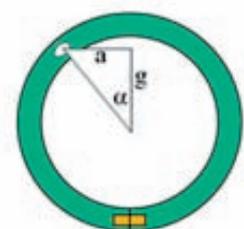
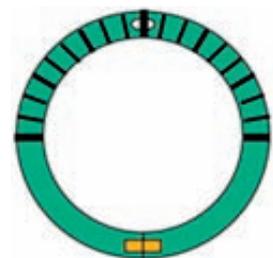
#### Bau

- Schneide ein Stück Aquarienschlauch ab und verbinde es mit einem Messingröhrchen. Achte darauf, dass du den Ring über deine Hand ans Handgelenk schieben kannst.
- Fülle den Schlauch so mit Wasser, dass eine Luftblase bleibt.
- Markiere oben den Nullpunkt.
- Zeichne eine Gradskala.

#### Kalibrierung

- Bei einer Beschleunigung nach links wandert die Blase in eine neue Ruhelage nach links.
- Die Beschleunigung  $a$  und die Erdbeschleunigung  $g$  sind die Katheten des dargestellten Dreiecks.
- Es gilt  $\tan \alpha = a/g$ . Vervollständige die Wertetabelle.

$\alpha$ in Grad	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$a$ in $\text{m/s}^2$	0	1,7	3,6						

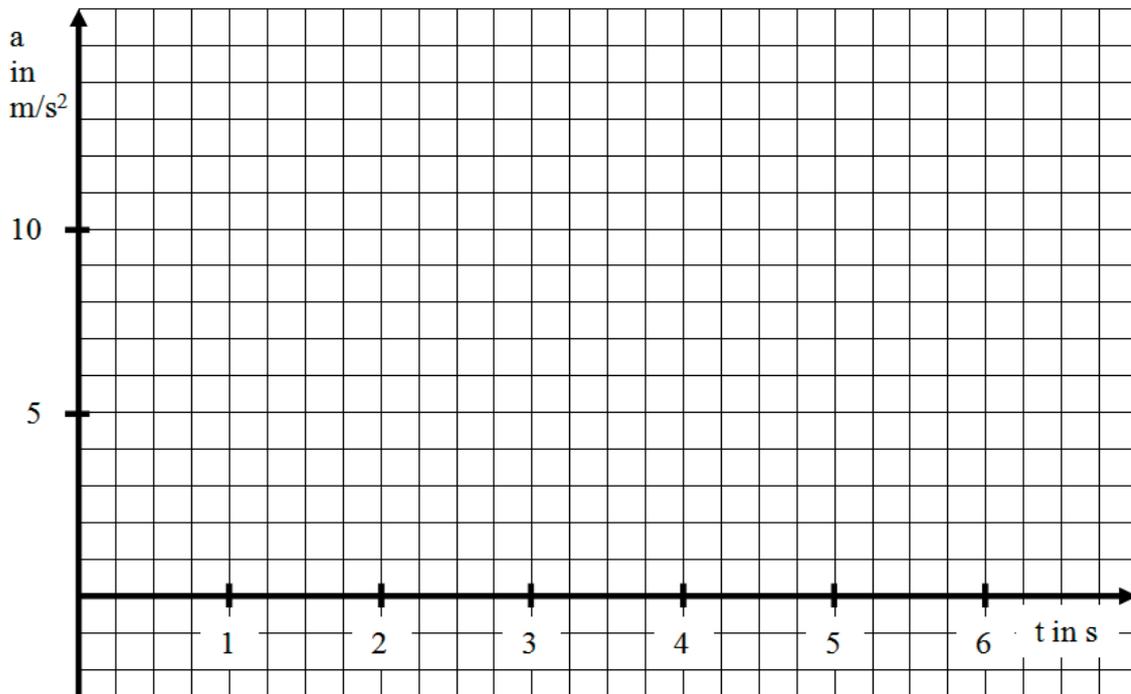


Kasten 8. Bau der Bogenwasserwaage: Die Lernenden werden auch mit Bogenwasserwaagen ausgestattet, da viele Smartphones nur Beschleunigungen bis  $2\text{ g}$  aufzeichnen und da so der modernen Messtechnik eine elementare gegenübergestellt wird.

Physikexkursion, Klassen 10

## I. Freifallturm

1) Miss mit dem Beschleunigungssensor den Verlauf der Beschleunigung  $a(t)$  und zeichne.



- 2) Markiere den freien Fall im Diagramm.
- 3) Gib die gemessene Beschleunigung  $a_{\text{gemessen}}$  sowie die tatsächliche Beschleunigung  $a_{\text{tatsächlich}}$  an, vergleiche und deute
  - a) für die Zeit vor dem freien Fall,
  - b) für den freien Fall.
- 4) Beschreibe, welche Kraft du beim freien Fall spürst und deute mit dem Maculaorgan.
- 5) Bestimme die Dauer  $t$  des freien Falls, berechne die Fallstrecke  $s$  sowie die Höchstgeschwindigkeit  $v$ .

## II. Karussell Huracan

- 1) Gib die Richtung der gemessenen Beschleunigung an und deute.
- 2) Gib die Richtung der Kraft an, welche du bei der Kreisbewegung spürst und deute mit dem Maculaorgan.
- 3) Miss Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  in rad/s und die mittlere Beschleunigung  $a$ .  
Hinweise: Du kannst  $\omega$  mit Hilfe der messbaren Umlaufdauer  $T$  bestimmen via  $\omega = 2\pi/T$ . Alternativ kannst du  $\omega$  direkt mit dem Gyrosensor in rad/s messen. Du kannst kleine Beschleunigungen mit dem Smartphone und große mit der Bogenwasserwaage messen. Der Radius beträgt  $R = 4,13$  m.
- 4) Miss Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  in rad/s und die mittlere Beschleunigung  $a$  bei der Koggenfahrt.  
Hinweis: Der Radius beträgt  $R = 4,25$  m.
- 5) Überprüfe die Formel für die Zentripetalbeschleunigung:  $a = \omega^2 \cdot R$ .

## III. Achterbahnen

Zeichne immer den Verlauf der Beschleunigung auf und miss die maximale Beschleunigung.

- 1) Desert Race: Beschreibe und deute, was du beim Katapultstart spürst.
- 2) Colossos: Stelle fest, wie oft der Zustand des freien Falls (Airtime) hergestellt wird und erkläre, wie die Airtime funktioniert.
- 3) Limit und Big Loop: Miss die Beschleunigung in den Hochpunkten der Loopings und erkläre, wie ein Looping funktioniert.

Kasten 9. Damit die Lernenden in Kleingruppen selbstständig experimentieren können, erhalten sie ihre Aufgaben auf einem Arbeitsblatt.

präsentierten die Schüler ihre Ergebnisse aus dem Heidepark (Kasten 10). Erstens präsentierten sie ihre Ergebnisse zur Funktionsweise des Maculaorgans (Kasten 6). Zweitens nannten die Lernenden die im Heidepark vom Maculaorgan signalisierten Wahrnehmungen. Dabei nutzten die Lernenden die Grundgleichung der Mechanik  $F = m \cdot a$  problemlos, um aus gemessenen Beschleunigungen die beschleunigenden Kräfte zu bestimmen. Im Plenum stellten sie fest, dass in beiden Fällen beschleunigte Schüler die Kraft aufgrund der Trägheit spüren. Entsprechend wurden diese Kräfte als Trägheitskräfte bezeichnet. Daraufhin machten sich die Lernenden bewusst, dass man vom Zuseher einer Achterbahnfahrt nicht in den Sitz gedrückt und vom Betrachter einer Karussellfahrt nicht nach außen gepresst wird. So erkannten sie das charakteristische Merkmal der Trägheitskraft, dass diese nur vom beschleunigten Beobachter erfahren wird. Nachdem die Schüler den Begriff der Trägheitskraft anhand ihrer Erfahrungen entwickelt hatten, präsentierten und deuteten sie ihre Beobachtungen zum Freifallturm (Abb. 7, Kasten 10). Abschließend stellten sie die Berechnung der Höchstgeschwin-

digkeit sowie der Fallstrecke beim Freifallturm vor. Diese Stunde erlebten die Schüler noch im Hochgefühl der Exkursion. Sie brachten gerne ihre Beobachtungen und Messungen ein und arbeiteten intensiv an den Deutungen.

## 7 Einzelstunde: Formel zur Zentripetalbeschleunigung

Die letzte Stunde der Sequenz hatte das Thema »Überprüfung der Formel zur Zentripetalbeschleunigung« und das kompetenzorientierte Lernziel »Die Schüler überprüfen die Formel, um ihre Erkenntnisgewinnungskompetenz zu schulen«. Viele Schüler empfanden die Karussells als relativ anstrengend, so dass hierzu nur wenige Messergebnisse vorlagen. Daher wurden diese zu Beginn der Stunde vorgestellt und in Gruppenarbeit ausgewertet (Kasten 11). Anschließend wurde auf Wunsch vieler Schüler mit Hilfe einer Skizze geklärt, inwiefern die Zentripetalbeschleunigung gleich der Geschwindigkeitsänderung

### Welche Beschleunigungen und Kräfte haben wir im Heidepark beobachtet und gemessen?

#### Funktionsweise des Maculaorgans

Das geneigte Maculaorgan wird durch die Schwerkraft verformt.  
Das beschleunigte Maculaorgan wird durch die Trägheit verformt.

#### Vom Maculaorgan signalisierte Wahrnehmungen

Beim Katapultstart der Achterbahn Desert Race fühlt man sich nach hinten gedrückt.  
Im Karussell fühlt man sich nach außen gedrückt.

In beiden Fällen fühlen beschleunigte Schüler die Kraft aufgrund der Trägheit.

Bezeichnung: Man nennt diese Kräfte daher **Trägheitskräfte**.

Die Zentrifugalkraft ist also eine Trägheitskraft.

Charakteristisches Merkmal: Die Trägheitskraft erlebt nur ein beschleunigter Beobachter.

#### Freifallturm

##### Sensoranzeige im Scream

Vor dem Fallen: $a = 1 g$	Deutung: Erdanziehung verformt Sensor.
Beim Fallen: $a = 0 g$	Deutung: Alle Teile des Sensors fallen gleich schnell. Daher verformt sich der Sensor nicht.
Nach dem Fallen: $a > g$	Deutung: Bremsbeschleunigung

##### Beobachtung neben dem Scream

Vor dem Fallen: $a = 0 g$	Deutung: $\Delta v / \Delta t = 0$
Beim Fallen: $a = -1 g$	Deutung: $\Delta v / \Delta t = -9,81 \text{ m/s}^2$

Zusammengefasst: In senkrechte Richtung zeigt der Beschleunigungssensor immer 1 g mehr an als der ruhende Beobachter feststellt. Denn der Sensor wird zusätzlich durch die Schwerkraft verformt.

##### Gefühl beim Fallen: Schwerelosigkeit

Deutung 1: Alle Teile des Maculaorgans fallen gleich schnell. Daher verformt es sich nicht.

Deutung 2: Die Schwerkraft nach unten und die Trägheitskraft nach oben würden einander aufheben.

##### Bestimmung der Höchstgeschwindigkeit

Falldauer nach Screenshot:  $t = 3 \text{ s} \rightarrow v = a \cdot t = 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3 \text{ s} = 29,4 \text{ m/s} = 106 \text{ km/h}$

Fallstrecke:  $s = 0,5 \cdot a \cdot t^2 = 44,15 \text{ m}$

Kasten 10. Tafelanschrieb zur Schülerpräsentation nach der Exkursion

### Kreisbewegung

Messergebnisse Huracan:  $R = 4,13 \text{ m}$ ;  $T = 20/6 \text{ s} = 3,33 \text{ s}$ ;  $a = 15 \text{ m/s}^2$  nach innen

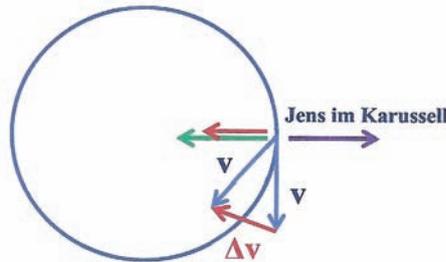
Messergebnisse Koggenfahrt:  $R = 4,25 \text{ m}$ ;  $T = 60/11 \text{ s} = 5,45 \text{ s}$ ;  $a = 6,6 \text{ m/s}^2$

Auswertung Huracan:  $\omega = 2\pi/T = 1,89 \text{ s}^{-1} \rightarrow \text{Test: } a = \omega^2 \cdot R = 14,7 \text{ m/s}^2 \approx 15 \text{ m/s}^2$

Auswertung Koggenfahrt:  $\omega = 2\pi/T = 1,15 \text{ s}^{-1} \rightarrow \text{Test: } a = \omega^2 \cdot R = 5,62 \text{ m/s}^2 \approx 6,6 \text{ m/s}^2$

Ergebnis: Bei einer Kreisbewegung mit einem Radius  $R$  und einer Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  tritt die Zentripetalbeschleunigung  $a = \omega^2 \cdot R$  auf.

$$a = \Delta v / \Delta t$$



Beispiel: **Zentripetalkraft** bei Jens im Huracan:  $F = m \cdot a = 70 \text{ kg} \cdot 14,7 \text{ m/s}^2 = 1029 \text{ N}$

Die **Zentripetalkraft** ist die Ursache für die Kreisbahn.

Im Karussell fühlt Jens sich durch die Zentrifugalkraft nach außen gedrückt.

Kasten 11. Tafelanschrieb zur Zentripetalbeschleunigung

pro Zeit ist. Im Plenum übertrugen die Schüler das Ergebnis auf die Zentripetalkraft sowie die Zentrifugalkraft. Ferner sollten die Schüler erklären, wozu es wichtig ist, die Zentrifugalkraft und die Zentripetalkraft zu verstehen. Sie sagten, die Zentrifugalkraft sei wichtig, weil man sie spürt und weil man dadurch das Gleichgewicht halten kann. Die Zentripetalkraft sei wichtig, weil sie die Ursache der Kreisbewegung sei. Beide gehörten zur gleichen Bewegung.

In der Stunde wussten die Schüler, was auszuwerten ist und führten die Berechnungen konsequent durch. Anschließend präsentierten und deuteten die Schüler Messungen an den Achterbahnen (Abb. 8 u. 9). Man kann gleichwertige Ergebnisse durch Messung der Beschleunigung auf einem Karussell eines Spielplatzes erhalten (Abb. 6). In der zweiten Einzelstunde wurde geübt und in der Folgestunde die Klassenarbeit

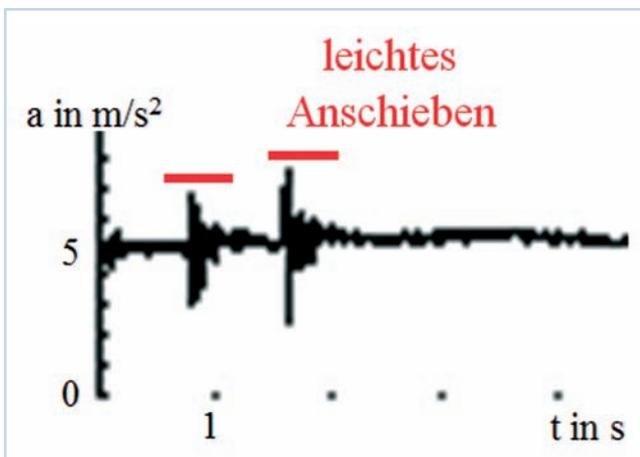


Abb. 6. Anzeige eines Beschleunigungssensors bei der Fahrt auf einem Karussell auf einem Kinderspielplatz. Der Sensor wurde an den grafikfähigen Taschenrechner Casio fx-9860 GII angeschlossen. Der Radius beträgt  $R = 1 \text{ m}$  und die Umlaufdauer  $T = 2,5 \text{ s}$ .

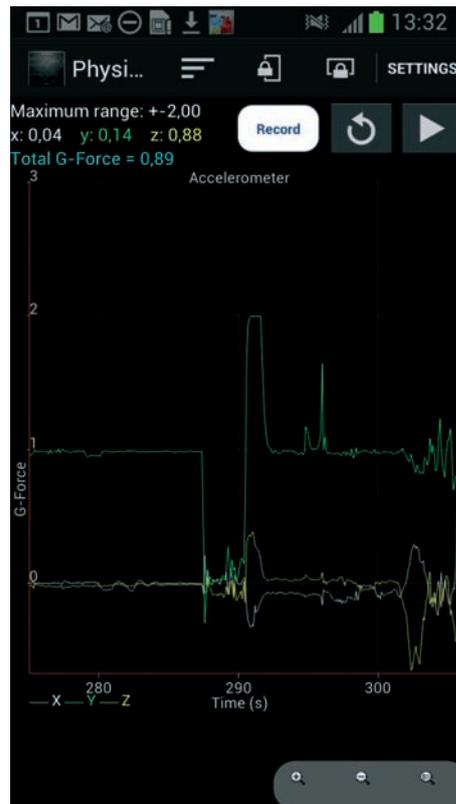


Abb. 7. Screenshot zum Freifallturm Scream: Beim Fallen zeigt der Beschleunigungssensor  $a = 0$  an. Vorher zeigt er  $a = 1 \text{ g}$ . Beim Bremsen ist der Sensor am oberen Anschlag, also ist  $a > 2 \text{ g}$ . Das Smartphone zeigt die Schwerelosigkeit nicht nur beim Freifallturm an, sondern es genügt bereits ein Sprung vom Tisch.

geschrieben (Kasten 12 u. 13). Die Ergebnisse bei dem Thema sind seit Jahren gut. Bei dieser Arbeit wurde ein Mittelwert von 1,9 erzielt. In einer Parallelklasse, welche an der Fahrt zum Heidepark teilnahm, durch Unterrichtsausfall zu dem Zeitpunkt jedoch noch nicht mit der Kreisbewegung begonnen hatte, wurde bei einer ähnlichen Klassenarbeit ein Mittelwert von 2,8 erreicht.

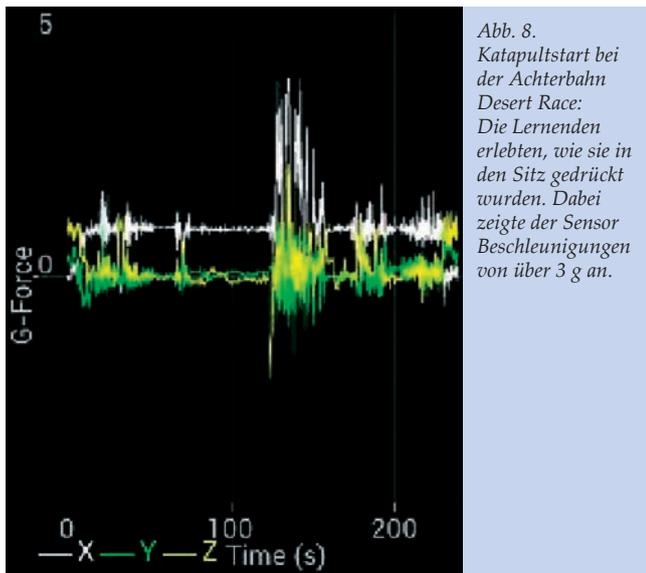


Abb. 8. Katapultstart bei der Achterbahn Desert Race: Die Lernenden erlebten, wie sie in den Sitz gedrückt wurden. Dabei zeigte der Sensor Beschleunigungen von über 3 g an.

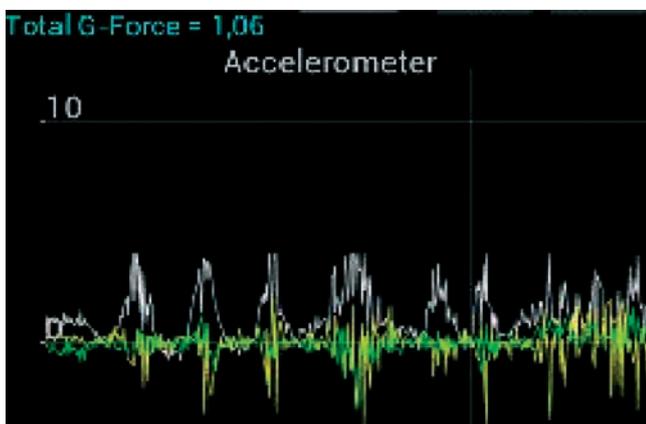


Abb. 9. Airtime bei der Achterbahn Colossos: Die Lernenden erleben mehrfach Zustände der Schwerelosigkeit. Dem entsprechen die Stellen, an denen der Beschleunigungssensor null anzeigt. Die Schüler deuteten das durch Bahnen entsprechend dem im Vorunterricht behandelten waagerechten Wurf und verallgemeinerten zu Parabelflugphasen.

## 8 Diskussion

### 8.1 Erfahrungen aus dem Unterricht

Das Erleben von Trägheitskräften und Schwerelosigkeit sowie die Beschreibung der dabei auftretenden Sinneseindrücke motivierte die Schüler und regte sie zu anspruchsvollen physikalischen Erkundungen an. Der Modellversuch zum Maculaorgan und das Anwenden strukturgleicher Beschleunigungssensoren in Smartphones führten zu großem Interesse, bei dem die Schüler zum Teil gespannt auf die Ergebnisse waren.

Bei der Kreisbewegung gingen die Schüler in den vielen Lerngruppen, mit denen dieses Thema behandelt wurde, von der Zentrifugalkraft als Basiskonzept aus. Das entspricht der lebensweltlichen Erfahrung (CARMESIN, 2014). Die Messung mit dem Beschleunigungssensor erzeugte völlig überzeugend einen kognitiven Konflikt. Dieser wurde immer mit Hilfe intensiver Diskussionen aufgelöst, indem festgestellt wurde, dass ein mitrotierender Beobachter die Zentrifugalkraft und ein ruhender Beobachter die Zentripetalkraft erleben und messen kann. Als weitere Trägheitskraft wurde die vom mitbewegten Beobachter beim Anfahren und Bremsen erlebbare und messbare Kraft behandelt. Als aussagekräftiges und völlig überzeu-

gendes Merkmal wurde festgestellt, dass Trägheitskräfte nur von mitbewegten Personen erlebt werden. Zusammenfassend zeigt die Erfahrung, dass Trägheitskräfte spannend, überzeugend und erfolgreich unterrichtet werden können, wenn man alles Gelernte konsequent auf Erlebnissen mit Sinneseindrücken, Versuchen und Beobachtungen aufbaut.

### 8.2 Didaktisches Potenzial des Begriffs Trägheitskraft

In der dargestellten Unterrichtssequenz wird der Begriff Trägheitskraft konsequent aus lebensweltlichen Schülererfahrungen entwickelt. Die für Trägheitskräfte teils verbreitete Bezeichnung »Scheinkraft« (BOYSEN, HEISE, LICHTENBERGER, SCHEPERS & SCHLICHTING, 2009) wertet die lebensweltlichen Schülererfahrungen unnötig ab. Zudem suggeriert die Bezeichnung »Scheinkraft«, Schülerbeobachtungen seien nicht physikalisch. Pädagogisch, didaktisch (KIRCHER, GIRWIDZ & HÄUSSLER, 2001) und menschlich zielführend ist es dagegen, die Schülerbeobachtungen als wertvoll anzuerkennen und physikalisch sachgerecht zu deuten. Dazu ist der Begriff Trägheitskraft gut geeignet. Das teilweise Auslassen der Trägheitskräfte (CHROST, GEHRMANN, MUNDLOS, RODEW & SCHOBLINSKI-VORGT, 2007) erscheint daher pädagogisch und didaktisch kaum zielführend. Denn es gelingt den Lernenden in der Regel nicht, die Unterschiede zwischen der lebensweltlichen Erfahrungen als mitbewegter Beobachter und den im Unterricht dargestellten Versuchsergebnissen und Theorien für ruhende Beobachter selbstständig aufzulösen. Das trägt womöglich nicht unwesentlich zu den teils beobachteten Schwierigkeiten von Schülern mit der Newton'schen Mechanik bei (WILHELM, 2005). So gehen die Schüler von der Zentrifugalkraft aus (s. o.), also vom bewegten System. Falls die Newton'sche Mechanik im Unterricht alleine für das Ruhesystem behandelt wird, bleibt sie vielen kaum verständlich. Denn die Trägheitskraft ist entgegengesetzt zur im Ruhesystem beschleunigenden Kraft gerichtet, das stellt ein Paradoxon dar (BROCKHAUS, 1998; CARMESIN, 2014). Die Auflösung dieses Paradoxons gelingt dadurch, dass sich die Lernenden diese Entgegengesetztheit bewusst machen. Dazu sind die Lernenden hier beschleunigte Beobachter und klären sowie vernetzen für jede Situation drei Dinge, die Wahrnehmung, die Messung und die Berechnung. Das zeigt besonders deutlich die Klassenarbeit (Kasten 12).

### 8.3 Sprache

Bei der betrachteten Unterrichtssequenz »Beschleunigte Systeme« gibt es neben dem Begriff der Trägheitskraft weitere gehaltvolle und für das Lernen ergiebige Bezüge zwischen der Alltags- und der Fachsprache. Diese werden hier erörtert:

*Ausgangslage:* Die Schüler stehen am Beginn der Sekundarstufe 2 und haben bereits vor dem Unterricht umfangreiche sprachliche Kompetenzen zum Thema Trägheitskräfte und Newton'sche Physik:

- Sie können bereits über ihre Sinneseindrücke sachgerecht sprechen: Ihr Gleichgewichtssinn signalisiert ihnen Beschleunigungen, Schwerkräfte und Trägheitskräfte. Die Alltagssprache bevorzugt die Bezeichnung als Kraft, beispielsweise als Zentrifugalkraft.
- Sie kennen bereits die Fachsprache zu Kräften aus der Sekundarstufe 1 (LEISEN, 2005). Insbesondere können sie bereits fachgerecht über die verformende und beschleunigende Wirkung der Kraft sowie das Wechselwirkungsprinzip sprechen.
- Sie kennen die Fachsprache, die im Zusammenhang der drei Newton'schen Axiome entwickelt wurde.

Eine Besonderheit besteht hier darin, dass die Lernenden bereits vielfältige sprachliche Möglichkeiten haben, ihre Sinneseindrücke zum Gleichgewichtssinn und Kraftsinn zu artikulieren. Da der Gleichgewichtssinn auf drei unterschiedliche Dinge zugleich anspricht, Beschleunigungen, Schwerkraft und Trägheitskräfte, liegt eine doppelte Unschärfe in der Wahrnehmung sowie in der Verbalisierung vor. Zudem liegt eine sehr hohe Schärfe, Zuverlässigkeit und Kompetenz beim teils unbewussten Anwenden der Sinneseindrücke auf den aufrechten Gang vor. Da das Wechselwirkungsprinzip auf Trägheitskräfte nicht anwendbar ist, können die Lernenden das vertraute Sprachschema nicht anwenden (CARMESIN 2014).

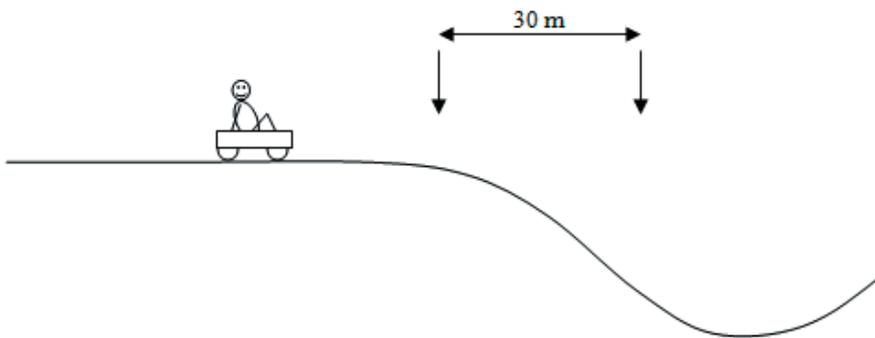
*Lernprozess:* Der vorgestellte Unterricht fußt zunächst immer auf Versuchen, bei denen die Lernenden Sinneseindrücke und Messergebnisse gewinnen. Diese müssen immer miteinander

verglichen und im Rahmen der bereits bekannten physikalischen Prinzipien gedeutet werden. Eine sprachliche Besonderheit besteht darin, dass die Lernenden auch ihre Sinneseindrücke artikulieren, vergleichen, deuten und bewerten müssen. Eine weitere sprachliche Besonderheit besteht darin, dass in der Literatur (VOGEL, 1977) Sinneseindrücke zur Trägheitskraft oftmals mit abwertenden Vokabeln wie »Scheinkraft« verbunden werden. Das wird hier vermieden, um zur bewussten Nutzung der Sinne zu ermuntern. Allerdings wird den Schülern auf jeden Fall mitgeteilt, dass es viele Bücher gibt, in denen die Trägheitskraft als Scheinkraft angesehen wird.

*Erlernte Sprache:* Nach der Unterrichtssequenz sollen die Lernenden ihre Sinneseindrücke differenziert und stimmig zur Newton'schen Mechanik verbalisieren sowie bewerten können. Das entspricht dem empirischen Befund, dass Inhalte



1. Anke fährt mit einer Katapultachterbahn waagrecht an und ihr Beschleunigungssensor zeigt in Fahrtrichtung 0,8 Sekunden lang eine Beschleunigung von  $40 \text{ m/s}^2$  an.
  - a) Bestimme die so erreichte Geschwindigkeit.
  - b) Skizziere mit einem Pfeil die beschleunigende Kraft.
  - c) Gib an, was hierbei der Beschleunigungssensor in senkrechte Richtung anzeigt.



2. Achim fährt waagrecht Achterbahn mit der Geschwindigkeit  $20 \text{ m/s}$ . Ab dem ersten Pfeil fliegt er einige Millimeter über der Schiene und landet beim zweiten Pfeil wieder auf dem Gleis. Bestimme für den Flug
  - a) die Dauer,
  - b) den Höhenverlust,
  - c) für alle drei Richtungen die Anzeige eines Beschleunigungssensors,
  - d) was Achim spürt.



3. Ein Maculaorgan ist wie dargestellt verformt. Skizziere durch einen Pfeil die
  - a) Beschleunigung,
  - b) Trägheitskraft, die das Organ im bewegten Schüler verformt,
  - c) Kraft, die den Schüler beschleunigt.

und Sprache gleichzeitig gelernt werden (RINCKE, 2010). Die Unterrichtsbeobachtungen und die Ergebnisse der Klassenarbeit zeigen, dass dieses Ziel im Unterrichtsversuch weitgehend erreicht wurde.

## 9 Zusammenfassung

Die Trägheitskraft ist eine grundlegende Brücke. Sie befähigt beschleunigte Schüler ihre Sinneseindrücke im Einklang mit der Newton'schen Mechanik zu sehen. Ohne diesen Einklang entscheiden sich viele im Alltag für die Nutzung ihrer Sinneseindrücke und gegen die Nutzung einer nur für das Ruhesystem erklärten Newton'schen Mechanik. Beim Thema Trägheitskraft können die Schüler ihre physikhaltigen Sinnesorgane in spannenden und lebensweltlichen Situationen erproben und erkunden. Sie vernetzen so Erleben, Messen und Berechnen in gehaltvoller Weise. Sie werden dabei befähigt, die Newton'sche Mechanik sowohl im Alltag als auch in fachlichen Kontexten anzuwenden.

## Literatur

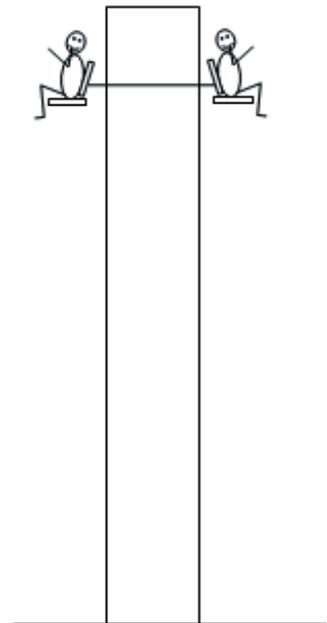
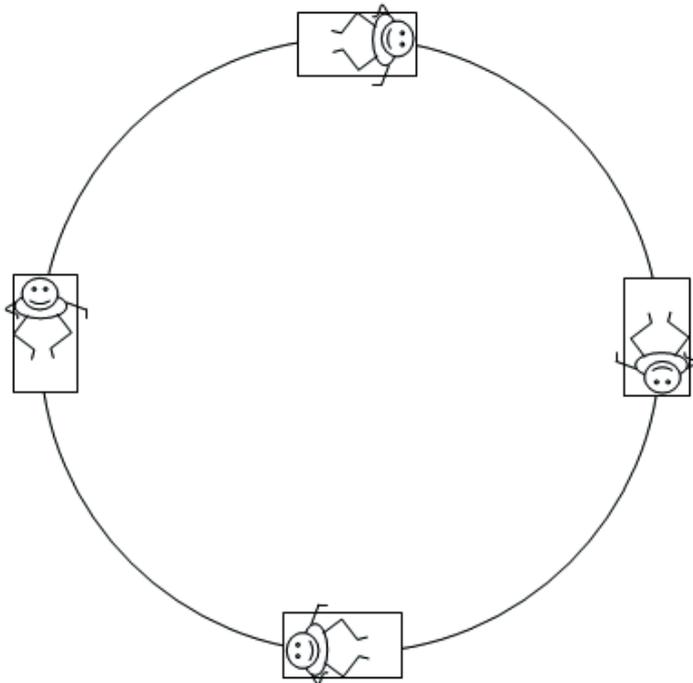
BOYSEN, G., HEISE, H., LICHTENBERGER, J., SCHEPERS, H. & SCHLICHTING, H.-J. (1997). *Physik Oberstufe Ausgabe A Band 1*. Berlin: Cornelsen.

CARMESIN, H.-O. (2004). Messung von Beschleunigungen mit einer Bogenwasserwaage im Physikunterricht einer 11. Klasse. In: NORDMEIER, V. & OBERLÄNDER, A. (Hg.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik*. ISBN 3-86541-066-9.

CARMESIN, H.-O. (2014). Trägheitskraft – Eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinneseindrücken und der Newton'schen Mechanik – Teil 1: Sachanalyse. *MNU* 67(3), 176–181.

CHROST, G., GEHRMANN, K., MUNDLOS, B., RODE, M. & SCHOB-LINSKI-VOIGT, U. (2007). *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5–10, Naturwissenschaften*. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium.

4. Simone fällt in einem Freifallturm 3 s im freien Fall. Gib an, was
- sie dabei spürt,
  - ihr Beschleunigungssensor dabei anzeigt.  
Berechne die so
  - erreichte Geschwindigkeit
  - zurückgelegte Strecke.



5. Alfred hat eine Masse von 70 kg, fährt in einem Karussell mit einem Radius 5 m sowie der Umlaufdauer 3,14 s und fühlt sich mit einer Kraft nach außen gedrückt. Berechne die
- Kreisfrequenz  $\omega$ ,
  - Zentripetalbeschleunigung  $a$ ,
  - Kraft, mit der sich Alfred nach außen gedrückt fühlt.
  - Zeichne die Beschleunigungssensoranzeige mit einem Pfeil.  
(Maßstab 1 cm entspricht 10 m/s<sup>2</sup>; waagerechte Komponente)

KIRCHER, E., GIRWIDZ, R. & HÄUSSLER, P. (2001). *Physikdidaktik*. 2. Aufl. Berlin: Springer, 55.

LEISEN, J. (2005). Muss ich jetzt auch noch Sprache unterrichten? Sprache und Physikunterricht. *Unterricht Physik*, 4–9.

RINCKE, K. (2010). Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 235–260.

VOGEL, H. (1977). *Gerthsen – Physik*. 13. Aufl. Berlin: Springer, 39–40.

WILHELM, T. (2005). *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*. Dissertation. Würzburg: Universität.

Dr. HANS-OTTO CARMESIN studierte in Mainz, habilitierte in Bremen, unterrichtet seit 1999 Physik sowie Mathematik am Gymnasium Athenaeum in Stade und leitet die dortige Sternwarte. Er ist Fachleiter für Physik am Studienseminar in Stade und erhielt den Klaus von Klitzing Preis sowie den Preis der Stiftung Niedersachsen Metall für sein Engagement in den Bereichen Fachdidaktik, Jugend forscht und Schüler-Ingenieur-Akademie.  
Anschrift: Harsefelder Straße 40, 21680 Stade,  
e-mail: Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

