

## Ein Fallturm für Bremen

Im September 1985 wurde auf Anregung von Forschungsminister Riesenhuber das Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) der Universität Bremen gegründet. Zurzeit sind dort 88 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt, davon 63 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen.

Für das Institut wurden insgesamt ca. 15 Millionen Euro aufgewendet, die zu gleichen Teilen aus Mitteln des Bundes und des Landes Bremen stammen. Hinzu kommen noch Einwerbungen von sog. Drittmitteln. In Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie steht die Durchführung von Experimenten unter Mikrogravitation im Vordergrund, d. h. bei einer Restbeschleunigung von  $10^{-5}$  bis  $10^{-6} g$ .

Hierzu wurde als zentraler Bestandteil des Institutsgebäudes ein 146 m hoher Fallturm errichtet (vgl. Bild). Er enthält eine 110 m lange Fallröhre mit einem Durchmesser von 3,5 m, die innerhalb von ca. 1,5 Stunden auf einen Druck von  $10^{-5}$  bar evakuiert werden kann. Damit ist es möglich, bis zu dreimal am Tag für jeweils 4,74 Sekunden in freiem Fall den Zustand der Schwerelosigkeit zu erreichen.

Die Experimente werden in einer speziell konstruierten Fallkapsel durchgeführt, in der ein Rechner zur Steuerung der Experimente und der optischen Aufzeichnungsgeräte untergebracht ist. Diese Kapsel wird am Ende der Fallstrecke in einem 8 m hohen, mit feinkörnigen Polystyrenkügelchen gefüllten Behälter abgebremst. Der Innenraum der Kapsel bietet Platz für Experimentiergeräte mit Ausmaßen von max. 2,4 m Länge und 0,8 m Durchmesser und einer Masse von bis zu 500 kg. Am Fuß des Turms wird eine Abschussvorrichtung installiert, mit der die Kapsel im Turm einen Parabelflug ausführt, womit sich die Zeit der Schwerelosigkeit auf neun Sekunden ausdehnen lässt.

Auf dem Forschungsprogramm stehen insbesondere Phänomene aus den Bereichen der Strömungsmechanik, Verbrennungsphysik und Materialforschung. Die Untersuchungen dienen teilweise zur Vorbereitung und Optimierung von Weltraumexperimenten.



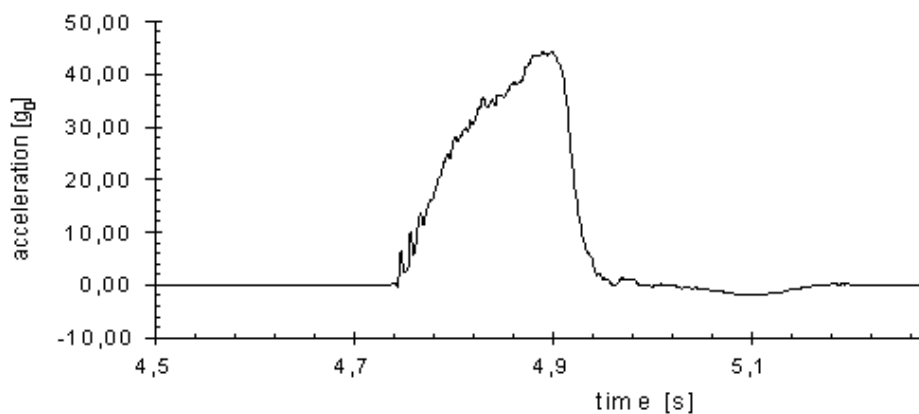
© ZARM

Quelle: Th. Bührke, in: *Physikalische Blätter* 8/339 (1989).

### ▼ AUFGABEN

- Berechne die genaue Fallzeit bei einer Fallstrecke von 110 m.
- Wie groß ist die Geschwindigkeit der Kapsel, wenn sie den Abbremsbehälter erreicht?
- Berechne die Bremsverzögerung (negative Beschleunigung), die die Kapsel im Styroporbecken erfährt. – Würde ein Mensch in der Kapsel den Bremsvorgang überleben?
- Wie lange dauert der Bremsvorgang?
- Berechne a) und b) für den Fall, dass der Turm doppelt so hoch wäre.
- Wie tief müsste nun die Abbremsstrecke sein, wenn wir die gleiche Bremsverzögerung annehmen?

## Restbeschleunigung und Schwerelosigkeit



Die Grafik zeigt die Abbremsbeschleunigung während des Eintauchens der Fallkapsel mit 167 km/h in den mit Polystyren-Kügelchen gefüllten Abbremsbehälter. Die durchschnittlich wirkende 40fache Erdanziehungskraft über ca. 0,2 Sekunden ist derart sanft, dass alle (selbst empfindliche) Bauteile unbeschädigt bleiben.

Quelle für Grafik und Text: <http://www.zarm.uni-bremen.de>

### ▼ AUFGABEN

Im Text wird von einer Beschleunigung von 40 g berichtet, die etwa 0,2 Sekunden wirksam ist.

- Betrachte das Zeit-Beschleunigung-Diagramm und erkläre kurz, wie die obigen Angaben zustande kommen.
- Angenommen die Beschleunigung wäre *konstant* (40 g). Welche Geschwindigkeit (Eintauchen) würde sich dann ergeben?

Die Annahme einer konstanten Beschleunigung ist hier *nicht* richtig, wie man an der Kurve unschwer erkennen kann. Der richtige Wert für die Eintauchgeschwindigkeit lässt sich berechnen, indem man die Fläche unter der Beschleunigungskurve bestimmt.

- Überlege: Warum entspricht dieser Flächeninhalt der gesuchten Geschwindigkeit?

Eine genaue Flächenbestimmung ist bei der vorliegenden Kurve kaum möglich. Näherungsweise lässt sich die Fläche jedoch gut durch eine Dreiecksfläche ermitteln.

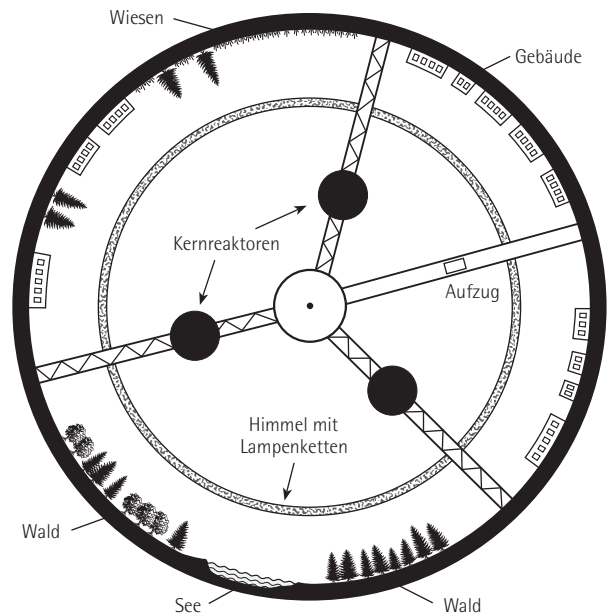
- Zeichne ein passendes Dreieck über die Kurve und bestimme dessen Fläche.
- Vergleiche deinen Wert mit dem angegebenen Geschwindigkeitswert von 167 km/h.

## Künstliche Schwerkraft im Raumschiff „Spacewheel II“

Das Raumschiff „Spacewheel II“, das im Auftrag der intergalaktischen Konföderation zu einer 350 Jahre dauernden Mission zum neu entdeckten Planetensystem Golex aufgebrochen ist, soll den 1365 Wissenschaftlern und Crew-Mitgliedern (darunter 290 Kinder) auch während des Fluges ein erdähnliches Leben ermöglichen.

Das Raumschiff hat die Form eines riesigen Torus. Im Inneren dieses reifenartigen Gebildes sind Arbeits-, Aufenthalts- und Schlafräume untergebracht, die von Wiesen, Sträuchern und Bäumen umgeben sind. Diese sollen für eine saubere Atemluft sorgen. Auch kleine Tiere leben in diesem von Computern überwachten Biotop. Drei kleine Kernreaktoren, die drehsymmetrisch in den Speichen des Riesenrades untergebracht sind, sorgen für die notwendige Energie, die vor allem für die riesigen Lampen benötigt wird. Diese Lampenkettensorgen für taghelles Licht und ermöglichen das Wachstum der Pflanzen, wenn das Raumschiff aus dem Bereich unserer Sonne verschwindet.

Das Raumschiff hat einen Durchmesser von 3000 Metern und wird durch neu entwickelte Ionentriebwerke auf seine Reisegeschwindigkeit gebracht. Um die Schwerkraft der Erde zu simulieren, *rotiert* das Raumschiff um seine Nabe.

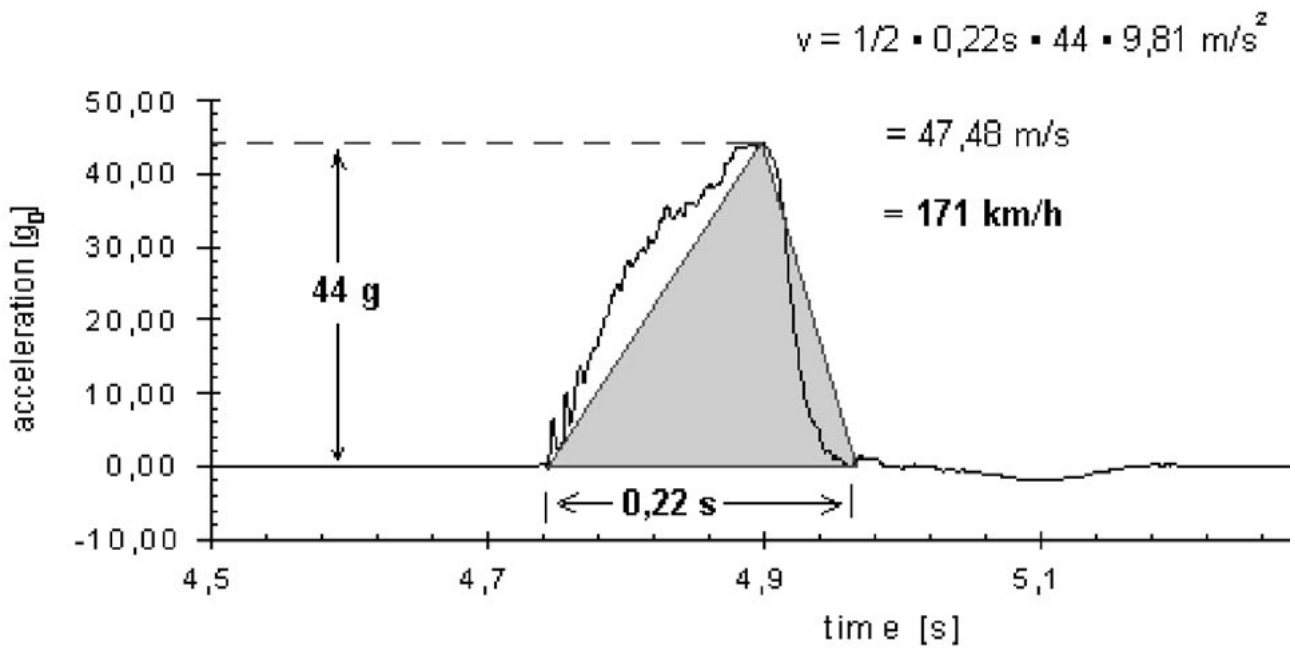


### ▼ AUFGABEN

- Berechne die Umdrehungsdauer des Raumschiffs.
- Jemand läuft (sprintet) in Drehrichtung des Torus und dann gegen die Drehrichtung. Fühlt er sich dabei jeweils leichter, schwerer oder unverändert? (Begründe!)
- Um von der Nabe (Experimentieräume mit Schwerkraft null) zum Boden des Torus zu kommen, ist in einer Speiche ein Aufzug untergebracht. Welche Kräfte spürt ein Mensch im Aufzug, wenn dieser sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt?
- In einem Schwimmbad springt ein Kind von einem 10-Meter-Turm (Genauer: Es macht einen Schritt vorwärts über die Kante der Plattform. Fällt das Kind senkrecht nach unten? Oder schwebt es gar in der Luft? (Begründe!) Tipp: Überlege dir die Situation von der Position eines außenstehenden Beobachters.
- Jemand wirft einen Basketball senkrecht nach oben in Richtung Nabe. Kommt der Ball wieder genau zum Werfer zurück? Begründe!

## Lösung zum Arbeitsblatt „Restbeschleunigung und Schwerelosigkeit“

Bestimmung der Endgeschwindigkeit mithilfe einer Dreiecksfläche siehe Grafik.

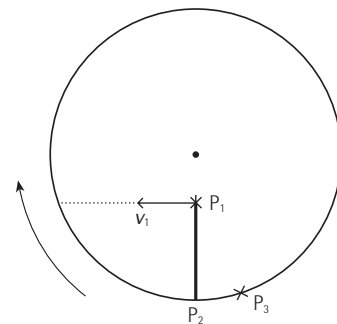


Grafik: <http://www.zam.uni-bremen.de>

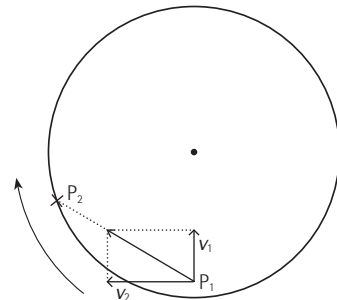
## Lösungen zum Arbeitsblatt „Künstliche Schwerkraft im Raumschiff ‚Spacewheel II‘“

- a) Umlaufdauer  $T = 77,6$  Sekunden.
- b) Wenn er in Drehrichtung läuft, wird seine Bahngeschwindigkeit größer, also wird er „schwerer“. Wenn er gegen die Drehrichtung läuft, wird er „leichter“.
- c) Angenommen er startet von der Nabe. Dann hat er dort eine sehr kleine Bahngeschwindigkeit. Bewegt sich der Aufzug nach oben, muss die Person auf immer größere Bahngeschwindigkeiten gebracht werden. Dafür sorgt die Wand des Aufzuges. Diese drückt ihn nämlich auf eine größere Geschwindigkeit. Die Person meint, durch eine unsichtbare Kraft (Scheinkraft) an die Wand gepresst zu werden.
- d) Im Punkt  $P_1$  hat das Kind eine kleinere Bahngeschwindigkeit ( $v_1$ ) als der Fußpunkt des Sprungturms ( $v_2$ ). Sobald das Kind nach vorne schreitet, bewegt es sich kräftefrei mit der konstanten Geschwindigkeit  $v_1$  auf einer Geraden nach links. Währenddessen bewegt sich der Fußpunkt  $P_2$  weiter. Dieser hat eine größere Geschwindigkeit, aber auch eine größere Strecke zurückzulegen. Ob das Kind nun genau senkrecht unter seinem Startpunkt aufkommt, lässt sich ohne Weiteres nicht entscheiden.

Eine genau geometrische Analyse des Problems liefert: Das Kind kommt im Punkt  $P_3$  auf. Dieser liegt etwa  $0,7$  m von  $P_2$  entfernt.



- e) Hier ist die Situation einfacher zu entscheiden: Die Geschwindigkeit des Balls setzt sich aus seiner tangential wirkenden Bahngeschwindigkeit  $v_1$  und der Wurfgeschwindigkeit  $v_2$  zusammen. Mit dieser neuen Geschwindigkeit bewegt sich der Ball geradlinig zum Punkt  $P_2$ . Da er schneller ist als sein Abwurfort und außerdem noch einen kürzeren Weg zurückzulegen hat, wird der Ball – vom Werfer aus betrachtet – vor diesem aufkommen. Ein Basketballspiel würde in Spacewheel II also etwas anders ablaufen, als auf der Erde.



Diese Beispiele zeigen, dass die Welt in Spacewheel II eben nur *erdähnlich* ist. Viele Bewegungen laufen dort etwas anders ab. Dennoch würden die Bewohner sich daran sicher schnell gewöhnen.

**Eine interessante Zusatzfrage:** Im Boden des Raumschiffes ist ein großes Loch. Eine Person (im Raumanzug) tritt in dieses Loch. Fällt diese Person durch das Loch in den Weltraum?