Aufgaben 4 Translations-Mechanik Gleichförmige Kreisbewegung, Bezugssystem, Scheinkräfte

Lernziele

- die Grössen zur Beschreibung einer Kreisbewegung und deren Zusammenhänge kennen.
- die Frequenz, Winkelgeschwindigkeit, Bahngeschwindigkeit für eine gleichförmige Kreisbewegung bestimmen können.
- die allgemeinen Zusammenhänge zwischen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung kennen.
- wissen und verstehen, dass eine gleichförmige Kreisbewegung eine beschleunigte Bewegung ist.
- wissen und verstehen, dass bei einer gleichförmigen Kreisbewegung eines Körpers die Beschleunigung des Körpers und folglich die resultierende Kraft, d.h. die Summe aller auf den Körper wirkenden Kräfte in Richtung des Kreismittelpunktes gerichtet ist.
- bei einer gleichförmigen Kreisbewegung den Zusammenhang zwischen resultierender Kraft, Masse, Winkelgeschwindigkeit und Kreisbahnradius anwenden können.
- Problemstellungen zur gleichförmigen Kreisbewegung bearbeiten können.
- verstehen, was Trägheits- bzw. Scheinkräfte sind.
- wissen und verstehen, dass die Zentrifugalkraft und die Corioliskraft Scheinkräfte sind.
- wissen und verstehen, was das Laborsystem ist.
- einen einfacheren Vorgang bezüglich verschiedener Bezugssysteme beschreiben können.
- die drei Newton'schen Axiome in der Sprache der modernen Systemphysik kennen und verstehen.

Aufgaben

Gleichförmige Kreisbewegung

4.1 Betrachten Sie das Theorie-Blatt „Gleichförmige Kreisbewegung". Bestimmen Sie den Zusammenhang zwischen ...

a) ... der Winkelgeschwindigkeit ω und der Frequenz f.

b) ... der Bahngeschwindigkeit v und der Winkelgeschwindigkeit ω.

4.2 Ein Körper befindet sich auf der Erde (mittlerer Erdradius r_E = 6371 km) in Chur (geografische Breite φ = 47°). Wegen der Erdrotation führt der Körper eine gleichförmige Kreisbewegung durch.

Bestimmen Sie ...

a) ... die Frequenz f des Körpers.

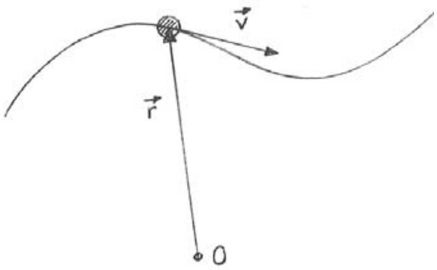
b) ... die Winkelgeschwindigkeit ω des Körpers.

c) ... die Bahngeschwindigkeit v des Körpers.

Hinweise:
- Geben Sie die Resultate jeweils zuerst allgemein algebraisch an.
- Berechnen Sie dann die konkreten Zahlenresultate mit einem Taschenrechner.

4.3 Betrachten Sie das Theorie-Blatt „Gleichförmige Kreisbewegung". Bestimmen Sie, wie der Winkel φ von der Winkelgeschwindigkeit ω und der Zeit t abhängt, falls $\varphi(0s) := 0$

4.4 Bei einer **allgemeinen Bewegung** eines Körpers im dreidimensionalen Raum kann der Ort des Körpers durch einen Ortsvektor $\vec{r}$ beschrieben werden:

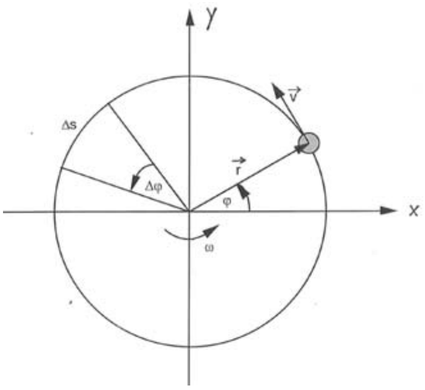


Die Geschwindigkeit $\vec{v}$ und die Beschleunigung $\vec{a}$ des Körpers werden dann wie folgt definiert:

$$\vec{v} := \dot{\vec{r}}$$

$$\vec{a} := \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{r}}$$

Betrachten Sie nun die **gleichförmige Kreisbewegung** eines Körpers in der x-y-Ebene:



Im Unterricht wurde aufgezeigt, dass der Ortsvektor $\vec{r}$ wie folgt lautet:

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

a) Bestimmen Sie den Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}$, indem Sie den Ortsvektor $\vec{r}$ nach der Zeit t ableiten.

Hinweis:
- Die Komponenten von $\vec{v}$ sind die Ableitungen der entsprechenden Komponenten von $\vec{r}$.

b) Überprüfen Sie, dass $\vec{v}$ zu jedem Zeitpunkt senkrecht zu $\vec{r}$ gerichtet ist.

c) Bestimmen Sie den Beschleunigungsvektor $\vec{a}$, indem Sie den Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}$ nach der Zeit t ableiten.

d) Überprüfen Sie, dass $\vec{a}$ zu jedem Zeitpunkt entgegengesetzt zu $\vec{r}$ gerichtet ist.

Hinweis:
- $\vec{a}$ kann als Vielfaches von $\vec{r}$ ausgedrückt werden.

e) Bestimmen Sie den Betrag der Beschleunigung $\vec{a}$ in Abhängigkeit des Radius‘ r und der Winkelgeschwindigkeit ω.

4.5 Wird die Bewegung der Erde um die Sonne vernachlässigt, so führt ein mit der Erde fest verbundener Körper (m = 70 kg) wegen der Erdrotation eine gleichförmige Kreisbewegung aus.

a) Aus welchen Einzelkräften setzt sich die resultierende Kraft zusammen?
Skizzieren Sie den Körper, und zeichnen Sie alle an ihm angreifenden Kräfte ein.

b) (siehe nächste Seite)

b) Bestimmen Sie den Betrag der resultierenden Kraft, falls sich der Körper auf der geografischen Breite φ befindet:

i) $\varphi = 0°$ ii) $\varphi = 30°$ iii) $\varphi = 60°$ iv) $\varphi = 90°$

Hinweise:
- Geben Sie das Resultat zuerst allgemein algebraisch an.
- Berechnen Sie dann die konkreten Zahlenresultate mit einem Taschenrechner.

4.6 Ein Körper der Masse m ist am Ende einer Schnur der Länge *l* befestigt. Er wird mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω auf einem horizontal liegenden Kreis herumgeschleudert.

a) Skizzieren Sie die Anordnung.
Zeichnen Sie sowohl alle Kräfte, die am Körper angreifen, als auch die resultierende Kraft ein.
Die gezeichneten Längen der Kraftpfeile sollen dabei proportional zu den Beträgen der Kräfte sein.

b) Bestimmen Sie die Winkelgeschwindigkeit ω in Abhängigkeit des Winkels α zwischen der Schnur und der Vertikalen.

Bezugssystem, Scheinkräfte

4.7 Ein Körper wird bezüglich des sogenannten Laborsystems (= Bezugssystem, in welchem die Erde ruht) mit der Geschwindigkeit v_0 unter dem Winkel α zur Horizontalen schräg nach oben abgeworfen.

Von welchem anderen Bezugssystem aus erscheint die Bewegung des Körpers ...

a) ... als freier Fall?

b) ... als waagrechter Wurf?

c) ... als senkrechter Wurf?

4.8 In der Aufgabe 4.9 werden Sie einen Text zu Trägheitskräften in einem beschleunigten Bezugssystem studieren. In diesem Text werden die drei Newton'schen Axiome erwähnt.

In der herkömmlichen "Kräfte-Sprache" lauten die drei Newton'schen Axiome wie folgt:

(1) Ein Körper beharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, wenn keine Kraft auf ihn wirkt. (**Trägheitsprinzip**)

(2) Die Summe aller auf einen Körper wirkenden Kräfte ist (bei konstanter Masse des Körpers) proportional zur Beschleunigung des Körpers. (**Aktionsprinzip**)

(3) Übt ein Körper A eine Kraft auf einen Körper B aus, so übt der Körper B eine gleich grosse,entgegengesetzt gerichtete Kraft auf den Körper A aus. (**Wechselwirkungsprinzip, "actio = reactio"**)

Wenn man das erste Newton'sche Axiom in die Sprache der modernen Systemphysik übersetzt, lautet es wie folgt:

(1) Der in einem Körper gespeicherte Impuls ändert sich nicht, wenn kein Impuls in ihn hinein oder aus ihm heraus fliesst.

Übersetzen Sie das zweite und dritte Newton'sche Axiom auf analoge Weise in die Sprache der modernen Systemphysik. Formulieren Sie also die Axiome mit Hilfe der Begriffe "Impuls" und "Impulsströme".

4.9 Studieren aus dem Buch Metzler-Physik (Kopien auf den folgende drei Seiten) den Abschnitt "1.2.9 Trägheitskräfte im beschleunigten Bezugssystem: Galilei-Transformation und Inertialsystem" (Seiten 56 bis 58). Lassen Sie dabei jedoch den letzten Absatz "Galilei Transformation und Inertialsysteme" (Seite 58) weg.

Hinweis:
- Im Text wird die resultierende Kraft bei einer gleichförmigen Kreisbewegung („Zentripetalkraft“) mit $\vec{F}_R$ und die Zentrifugalkraft mit $\vec{F}_Z$ bezeichnet.

1.2.9 Trägheitskräfte im beschleunigten Bezugssystem: Galilei-Transformation und Inertialsystem

Häufig werden Zentripetalkraft und Zentrifugalkraft verwechselt. Die **Zentrifugalkraft** zählt zu den Kräften, die nur in beschleunigten Bezugssystemen auftreten. Dazu werden einige Versuche von zwei Bezugssystemen aus, nämlich im (unbeschleunigten) Inertialsystem (→ 1.2.1) und im beschleunigten Bezugssystem betrachtet.

Versuch 1: Auf einem (niedrigen) Fahrtisch liegt eine Kugel der Masse m. Der Tisch wird nach rechts mit konstanter Beschleunigung a bewegt (Abb. 56.1).
Beobachtung: Den Vorgang verfolgen die Beobachterin A im Inertialsystem des Physikraums und der Beobachter B im beschleunigten Bezugssystem des Tisches.
1. A stellt fest: Während der Tisch nach rechts beschleunigt wird, bleibt die Kugel relativ zu ihr wegen der Trägheit liegen; sie unterliegt also keiner Kraft (Abb. 56.1 a).
2. B stellt fest: Die Kugel wird von ihm weg beschleunigt. Nach seiner Ansicht wirkt auf sie folglich eine Kraft nach links (Abb. 56.1 b).
3. Beide Beobachter stellen denselben Vorgang verschieden dar. Welche Beobachtung ist „richtig"?

Versuch 2: Auf einer Kreisscheibe, die sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω dreht, wird eine Kugel mit Schnur und Kraftmesser gehalten, sodass sie sich auf der Kreisscheibe mitdreht (Abb. 57.1).
Beobachtung: Wieder beurteilen den Vorgang die Beobachterin A in ihrem Inertialsystem und der Beobachter B im mitbewegten System der Kreisscheibe.
1. A erkennt an der Verlängerung des Kraftmessers, dass ständig eine Kraft, die *Zentripetal-* oder *Radialkraft* F_R auf die Kugel zum Kreismittelpunkt hin wirkt, die für ihre Kreisbewegung verantwortlich ist (Abb. 57.1 a).
2. B sieht ebenfalls am Kraftmesser, dass auf die Kugel ständig eine Kraft zum Mittelpunkt hin wirkt. Er sieht aber gleichzeitig, dass in seinem System die Kugel in Ruhe, also im Gleichgewicht ist. Daher schließt er auf eine *Kompensationskraft,* die nach außen wirkt. Diese bezeichnet er als *Zentrifugal-* oder *Fliehkraft* F_z (Abb. 57.1 b).
3. Beide Beobachter registrieren die Zentripetalkraft. Während aber für B außerdem noch die Zentrifugalkraft F_z existent ist, ist diese für A nicht vorhanden.

Gedankenversuch: Ein gläserner Fahrstuhl in einem Warenhaus fährt mit der Beschleunigung a aufwärts. An seiner Decke hängt an einem Kraftmesser eine Kugel (Abb. 57.2).
Feststellung:
1. Die Beobachterin A neben dem Fahrstuhl sieht, wie der Kraftmesser die Kraft $F_F = m\,(g + a)$ anzeigt. Sie schließt: Von dieser Kraft ist die Teilkraft $F_A = m\,a$ für die Beschleunigung verantwortlich, die andere Teilkraft $F_G = m\,g$ wird durch die Gewichtskraft der Kugel $G = -m\,g$ (nach unten wirkend) kompensiert.
2. B, der im Fahrstuhl die Kugel beobachtet, liest am Kraftmesser ebenfalls die nach oben wirkende Kraft $F_F = m\,(a + g)$ ab. Für ihn befindet sich aber die Kugel in Ruhe. Im Gegensatz zu A schließt er daraus, dass auf die Kugel nach unten zusätzlich zur Gewichtskraft $G = -m\,g$ die Kraft $F_T = -m\,a$ wirkt.

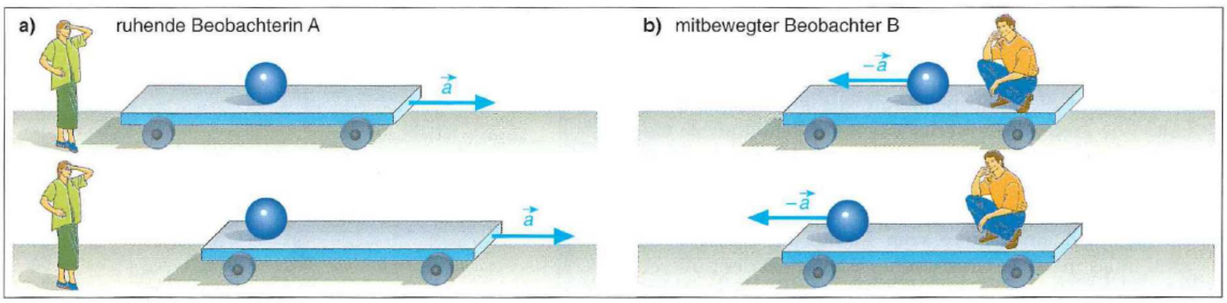
Alle drei Versuche zeigen, dass in den (nicht beschleunigten) Inertialsystemen die Vorgänge so ablaufen, wie man sie nach den Newton'schen Axiomen erwartet. Für den Beobachter in den beschleunigten Bezugssystemen treten dagegen zusätzlich **Scheinkräfte** oder – wie sie auch genannt werden – **Trägheitskräfte** auf.
Nach dem 3. Newton'schen Axiom gibt es zu jeder Kraft auf einen Körper eine Gegen- oder Wechselwirkungskraft auf einen anderen Körper. Für die Trägheitskraft $F_A = -m\,a$, die der Beobachter im beschleunigten System von Versuch 1 feststellt, wie auch für die Zentrifugalkraft $F_z = m\,\omega^2\,r$ im System der Kreisscheibe und die Trägheitskraft $F_A = -m\,a$ im beschleunigten System des Fahrstuhls findet man jedoch keine Gegenkraft auf einen anderen Körper. Für diese Kräfte gilt das 3. Newton'sche Axiom nicht. Allgemein gilt:

> **Trägheits- oder Scheinkräfte** treten nur in beschleunigten Bezugssystemen, nicht in Inertialsystemen auf. Trägheits- oder Scheinkräfte erkennt man daran, dass es zu ihnen *keine Gegenkräfte* nach dem 3. Newton'schen Axiom gibt.

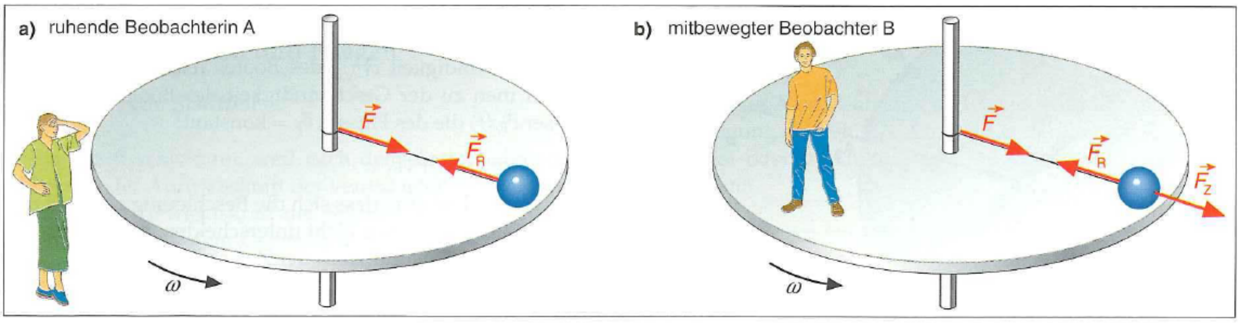
Im beschleunigten System der Kreisbewegung ist die *Zentrifugalkraft* Kompensationskraft zur Radialkraft $\vec{F}_R = -m\,\omega^2\,\vec{r}$, sodass für die Zentrifugalkraft gilt:

$$\vec{F} = m\,\omega^2\,\vec{r}.$$

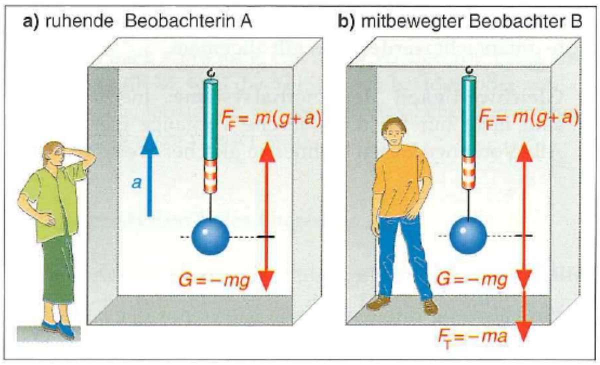
Auch wenn man die Trägheitskräfte als Scheinkräfte bezeichnet, so haben sie doch für den Beobachter im beschleunigten Bezugssystem reale Existenz.



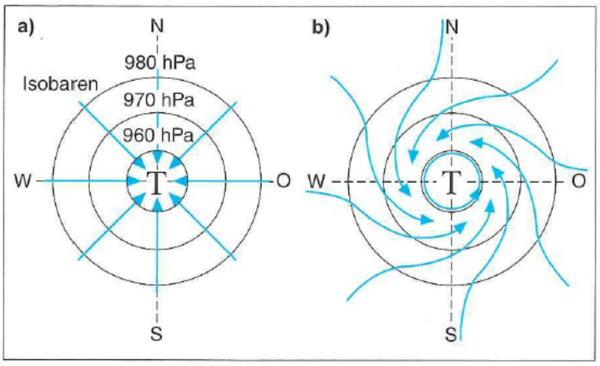
56.1 Trägheitskraft. **a)** Für die ruhende Beobachterin bleibt die Kugel wegen ihrer Trägheit in Ruhe; sie erfährt keine Kraft. **b)** Der mitbewegte Beobachter stellt eine Beschleunigung der Kugel fest; für ihn wirkt auf ~~den Wagen~~ eine Kraft, die Trägheitskraft F_T.
die Kugel



57.1 Beschleunigtes Bezugssystem auf einer sich drehenden Kreisscheibe. **a)** Für die Beobachterin im Inertialsystem wird die Kugel ständig zum Drehpunkt hin beschleunigt). **b)** Für den mitbewegten Beobachter ruht die Kugel; er schließt daher auf die Existenz der Zentrifugalkraft F_Z.



57.2 Kräfte in einem beschleunigten Fahrstuhl, **a)** von außen aus einem Inertialsystem beobachtet, **b)** durch eine Videokamera im beschleunigten Bezugssystem registriert

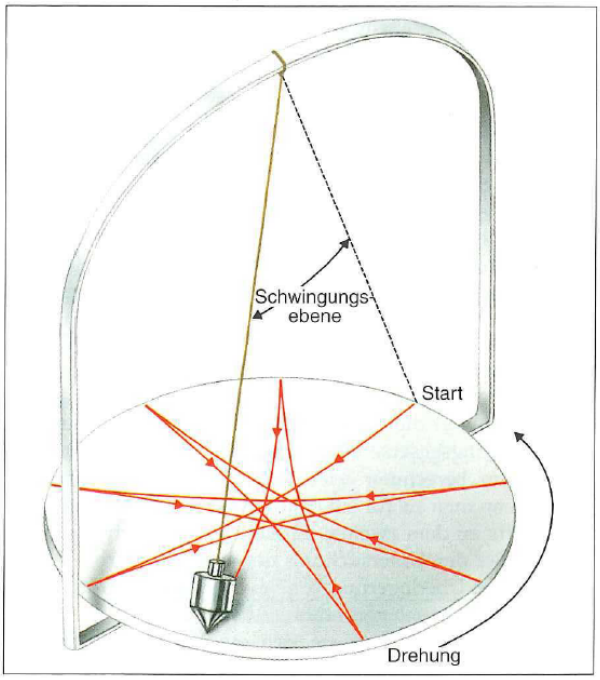


57.3 **a)** Bei nichtdrehender Erde strömten die Winde in gerader Richtung in das Tief, den Ort niedrigen Luftdrucks. **b)** Durch die Coriolis-Kraft werden sie auf der Nordhalbkugel nach rechts abgelenkt.

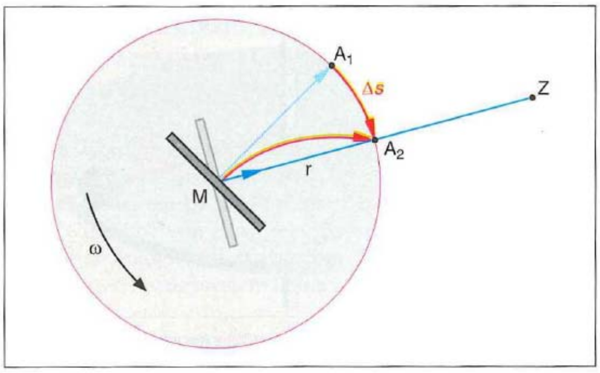
Der Besucher eines Karussells „erlebt" die Zentrifugalkraft ebenso wie der Autofahrer bei der Kurvenfahrt. Der Autofahrer „erlebt" die Trägheitskräfte beim plötzlichen Anfahren und Bremsen ebenso wie der Benutzer eines Fahrstuhls. Fehlt bei Kurvenfahrt oder beim Anfahren oder Bremsen die Kompensationskraft, wirken die Trägheitskräfte.

Da die Erde sich dreht, ist sie kein Inertialsystem, sondern ein beschleunigtes Bezugssystem. Das hat FOUCAULT 1850 im Pariser Pantheon eindrucksvoll mit einem 67 m langen Pendel und einer 28 kg schweren Kupferkugel, Schwingungsdauer 16,4 s, in einem Pendelversuch nachgewiesen. Lässt man das Pendel nach einer Auslenkung los, so wird es auf der nördlichen Halbkugel ständig nach rechts hin abgelenkt (Abb. 57.3). Für die ablenkende Kraft ist keine Gegenkraft vorhanden. Der *Foucault'sche Pendelversuch*, wie er auch im Deutschen Museum in München zu sehen ist, „beweist" damit, dass die Erde sich dreht.

Die beim Foucault'schen Pendelversuch beobachtete Trägheitskraft wirkt auf alle Körper, die sich auf der Erdoberfläche bewegen. Nach ihrem Entdecker CORIOLIS heißt sie **Coriolis-Kraft.** Sie bewirkt auf der Nordhalbkugel eine Rechtsablenkung, auf der Südhalbkugel eine Linksablenkung. Das gilt für Windsysteme (Passate, Zyklone) ebenso wie für Meeresströmungen. Beim Einströmen in ein Tiefdruckgebiet erfahren die Luftmassen eine Rechtsablenkung; dies führt zur Bildung einer linksdrehenden Zyklone (Abb. 57.4).



57.4 Foucault'sches Pendel. Unter der sich drehenden Unterlage (Erde) bleibt die Schwingungsebene im Raum (im Inertialsystem) fest: Die Bahn auf der Unterlage gibt die gezeichnete Kurve.



58.1 Zur Coriolis-Kraft. Der Punkt A der Scheibe dreht sich von A_1 nach A_2, während die Kugel in raumfester Richtung von M auf Z zurollt: Ihre Bahn auf der Scheibe ist nach rechts abgelenkt.

Das **Zustandekommen der Coriolis-Kraft** soll anhand der Abb. 58.1 einsichtig gemacht werden. Rollt auf einer Kreisscheibe, die mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotiert, von der Mitte aus eine Kugel in Richtung auf den festen Punkt Z außerhalb der Scheibe mit der Geschwindigkeit v zu, so erreicht sie den Scheibenrand nicht im Punkt A_1, der beim Start auf der Ziellinie lag, sondern in A_2, da A_1 sich inzwischen weitergedreht hat. Für den mitdrehenden Beobachter dagegen scheint die Kugel nach rechts um das Bogenstück $\Delta s = \omega r \Delta t$ von A_2 nach A_1 beschleunigt zu sein. Dieser Bogen $A_2 A_1$ hängt mit der gesuchten Beschleunigung a_C, wobei man die Drehbewegung der Scheibe als gleichförmig annimmt, über $\Delta s = \frac{1}{2} a_C \Delta t^2$ zusammen. Setzt man die Ausdrücke für das Bogenstück gleich: $\omega r \Delta t = \frac{1}{2} a_C \Delta t^2$ und berücksichtigt, dass die Kugel vom Mittelpunkt bis zum Rand die Zeit $\Delta t = r/v$ braucht, erhält man die Coriolis-Beschleunigung $a_C = 2 v \omega$ und mit der Kugelmasse m die Coriolis-Kraft $F_C = 2 m v \omega$.

> Die **Coriolis-Kraft** ist eine Scheinkraft oder Trägheitskraft, die in rotierenden Bezugssystemen auftritt; sie wirkt senkrecht zur Relativgeschwindigkeit des Körpers im bewegten Bezugssystem. Auf der Nordhalbkugel der Erde wirkt sie rechtsablenkend, auf der Südhalbkugel linksablenkend. Die Coriolis-Kraft hat auf der geografischen Breite φ die Größe $F_C = 2 m v \omega \sin \varphi$.

Galilei-Transformation und Inertialsysteme

Die klassische Mechanik beruht auf einfachen Grundsätzen. Zu ihnen gehört die **Galilei-Transformation,** nach der man die Bewegungsgesetze eines Vorgangs für ein zweites Bezugssystem berechnen oder übertragen, „transformieren" kann, wenn man sie für ein erstes System aufgestellt hat, das sich relativ zu dem zweiten mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Bei der Untersuchung der Impulsgesetze (→ 1.2.3) wie auch bei Überlagerung von Bewegungen (→ 1.1.6) haben wir davon Gebrauch gemacht.

In einem System 1 bewege sich ein Körper mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_1(t)$, die von der Zeit abhänge. In einem System 2, das sich gegenüber 1 mit der konstanten Geschwindigkeit $\vec{v}_0$ bewegt, registriert man dann die Geschwindigkeit $\vec{v}_2(t) = \vec{v}_1(t) + \vec{v}_0$. Ein Beispiel dafür ist in Abb. 31.1 (→ 1.1.6) gegeben. Die beiden Bezugssysteme sind dort auf das strömende Wasser und auf das Ufer bezogen. Fragt man nach der Geschwindigkeit $\vec{v}_G(t)$ des Bootes relativ zum Ufer, so addiert man zu der Geschwindigkeit des Bootes durch das Wasser $\vec{v}_R(t)$ die des Flusses $\vec{v}_F$ = konstant:

$$\vec{v}_G(t) = \vec{v}_R(t) + \vec{v}_F.$$

Entscheidend ist nun, dass sich die Beschleunigungen in den beiden Bezugssystemen nicht unterscheiden, wie man durch Ableiten der Gleichung nach der Zeit sieht:

$$\vec{a}_G(t) = \vec{a}_R(t).$$

Denn die konstante Geschwindigkeit $\vec{v}_F$ ergibt beim Ableiten null. Mit den Beschleunigungen stimmen aber auch die Kräfte in beiden Systemen überein. Beschleunigungen und Kräfte werden in allen Inertialsystemen in derselben Weise gemessen. Es ist also gleichgültig, in welchem Intertialsystem Abläufe untersucht werden. Das gilt allgemein.

> **Gleichwertigkeit der Inertialsysteme:** Inertialsysteme sind nicht nur für mechanische Vorgänge gleichwertig. Alle Vorgänge laufen in ihnen in gleicher Weise ab.

Aufgaben

1 Ein Fahrzeug durchfährt eine Kurve mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 90$ km/h. Ein Kraftmesser, an dem eine Kugel ($m = 500$ g) hängt, zeigt während der Kurvenfahrt die Kraft $F = 6{,}0$ N an.
Beschreiben Sie den Vorgang von beiden Bezugssystemen aus und berechnen Sie den Kurvenradius.

***2** Konstruieren Sie die Bahn einer Kugel, die auf einer mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{1}{12}\,\text{s}^{-1}$ rotierenden Scheibe vom Mittelpunkt gegenüber dem Laborsystem mit der Geschwindigkeit $v = 6$ cm/s abgeschossen wird, im Laborsystem und im System der drehenden Scheibe.

***3** Ein Fahrstuhl bewegt sich mit konstanter Beschleunigung $a < g$ nach unten. Im Fahrstuhl hängt an einem Kraftmesser eine Kugel.
Beschreiben und skizzieren Sie mit Angabe der Kräfte,
a) was ein Beobachter A im System 1, in dem der Fahrstuhl beschleunigt wird, und **b)** ein Beobachter B im System 2, das mit dem Fahrstuhl verbunden ist, beobachten und feststellen.

***4** In einem Fahrstuhl steht ein Mann auf einer Personen-(Feder-)waage. Sie zeigt beim Anfahren des Fahrstuhls $F = 950$ N, beim Halten $F = 880$ N an.
a) In welcher Richtung fährt der Fahrstuhl an?
b) Berechnen Sie die Beschleunigung.
c) Was ergibt sich, wenn der Fahrstuhl mit einer betragsmäßig gleichen Beschleunigung anhält?
d) Zeichnen Sie die Verhältnisse beim Anfahren und Anhalten.

***5** Ein Körper wird mit der Geschwindigkeit v_0 unter dem Winkel α zur Horizontalen abgeworfen. Von welchem Bezugssystem aus erscheint die Bewegung
PA
a) als freier Fall;
b) als waagerechter Wurf;
c) als senkrechter Wurf?

4.10 Ein Fahrstuhl bewegt sich im Laborsystem mit konstanter Beschleunigung nach unten. Im Fahrstuhl hängt eine Kugel an einem Kraftmessgerät.

Zwei Beobachter A und B befinden sich in verschiedenen Bezugssystemen:

a) Der Beobachter A befindet sich im Laborsystem.

b) Der Beobachter B befindet sich im Ruhesystem des Fahrstuhls, d.h. im Bezugssystem, in welchem der Fahrstuhl in Ruhe ist.

Beschreiben Sie, was die beiden Beobachter A und B am Kraftmessgerät ablesen, und erklären Sie die Beobachtung aus Sicht des jeweiligen Bezugssystems.

Lösungen

4.1 a) $\omega = 2\pi f$ b) $v = r\omega$

4.2 a) $f = \frac{1}{T} = 1.2 \cdot 10^{-5}$ Hz b) $\omega = \frac{2\pi}{T} = 7.3 \cdot 10^{-5}\ s^{-1}$

c) $v = \frac{2\pi\, r_E \cos(\varphi)}{T} = 0.32$ km/s

4.3 $\varphi = \omega t$

4.4 a) $\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \begin{pmatrix} -\, r\omega \cdot \sin(\omega t) \\ r\omega \cdot \cos(\omega t) \end{pmatrix}$

b) $\vec{v} \cdot \vec{r} = 0$

c) $\vec{a} = \dot{\vec{v}} = \begin{pmatrix} -\, r\omega^2 \cdot \cos(\omega t) \\ -\, r\omega^2 \cdot \sin(\omega t) \end{pmatrix}$

d) $\vec{a} = -\,\omega^2\, \vec{r}$ $\quad -\,\omega^2 < 0$

e) $a := |\vec{a}| = r\omega^2$

4.5 a) Gewichtskraft, Haftreibungskraft, Normalkraft

b) $F_{res} = m\, r_E \cos(\varphi)\, \omega^2$

i) $F_{res} = 2.4$ N ii) $F_{res} = 2.0$ N

iii) $F_{res} = 1.2$ N iv) $F_{res} = 0$ N

4.6 a) ...

b) $\omega = \sqrt{\frac{g}{l} \frac{1}{\cos(\alpha)}}$

4.7 Das Bezugssystem bewegt sich bezüglich des Laborsystems geradlinig gleichförmig…

a) … schräg nach oben in die Anfangsrichtung und mit der Anfangsgeschwindigkeit des abgeworfenen Körpers.

b) … senkrecht nach oben mit der Geschwindigkeit, die gleich der vertikalen Komponente der Anfangsgeschwindigkeit des abgeworfenen Körpers ist.

c) … waagrecht mit der Geschwindigkeit, die gleich der horizontalen Komponente der Anfangsgeschwindigkeit des abgeworfenen Körpers ist.

4.8 (1) Der in einem Körper gespeicherte Impuls ändert sich nicht, wenn kein Impuls in ihn hinein oder aus ihm heraus fliesst.

(2) Fliesst Impuls in einen Körper hinein oder aus ihm heraus, so ist die Summe der entsprechenden Impulsstromstärken gleich der Änderungsrate des im Körper gespeicherten Impulses und somit (bei konstanter Masse des Körpers) proportional zur Änderungsrate der Geschwindigkeit des Körpers. (**Impulsbilanz, Grundgesetz der Mechanik**)

(3) Fliesst Impuls von einem Körper A zu einem Körper B, so ist die Stromstärke des aus dem Körper A heraus fliessenden Impulses gleich gross wie die Stromstärke des in den Körper B hinein fliessenden Impulses.

4.9 ...

4.10 Beide Beobachter stellen fest, dass das Kraftmessgerät eine Kraft anzeigt, die kleiner ist als die Gewichtskraft der Kugel.

a) Da die Kugel nach unten beschleunigt wird, muss der in der Kugel gespeicherte Impuls zunehmen (Ann.: positive Richtung nach unten). Es muss also weniger Impuls durch das Kraftmessgerät abfliessen als über das Gravitationsfeld zufliesst.

b) Die Kugel ist in Ruhe. Nach der Impulsbilanz müsste also gleich viel Impuls aus der Kugel abfliessen wie durch das Gravitationsfeld zufliesst. Da der am Kraftmesser angezeigte Impulsstrom schwächer ist als der gravitative Impulsstrom, schliesst der Beobachter B fälschlicherweise auf einen zusätzlichen abfliessenden Impulsstrom bzw. auf eine nach oben wirkende Scheinkraft.