ETH-Leitprogramm Physik:

„Überlagerung von Geschwindigkeiten“

Version
Oktober 1995

Stufe, Schulbereich
Maturitätsschulen Klassen 9-10, Diplommittelschulen

Fachliche Vorkenntnisse
Kinematik der geradlinigen gleichförmigen Bewegung

Bearbeitungsdauer
3 Lektionen

Bezugsquelle
Dipl. Phys. H. P. Dreyer
Fachdidaktik Physik
ETH-Hönggerberg HPZ F 0.1
8093 Zürich
Telefon 01 / 633 26 31 - Telefax 01 / 633 11 15

Die *ETH-Leitprogramme* sind ein Gemeinschaftsprojekt von Karl Frey und Angela Frey-Eiling (Initiatoren), Walter Caprez (Chemie), Hans Peter Dreyer (Physik), Werner Hartmann (Informatik), Urs Kirchgraber (Mathematik), Hansmartin Ryser (Biologie), Jörg Roth (Geographie), zusammen mit den Autorinnen und Autoren.

Das Projekt *ETH-Leitprogramme* wurde durch die ETH Zürich finanziell unterstützt.

Diese Vorlage darf für den Gebrauch im Unterricht nach Belieben kopiert werden. Nicht erlaubt ist die kommerzielle Verbreitung.

Vorwort

Die Betreuung von Studenten bei ihrer Semesterarbeit veranlasste mich, selber ein Leitprogramm zu erstellen. Dabei entstand dieses Material, das schon sehr früh im Physikunterricht zum Einsatz gelangen kann. Dank seinem bescheidenen Umfang eignet es sich besonders gut als Einstieg in diese Unterrichtsmethode.

Neben den Erprobungen in meinen eigenen Klassen und den Rückmeldungen von meinen Schülern haben auch die Erfahrungen, welche meine Kolleginnen und Kollegen an der Kantonsschule Rämibühl Zürich mit diesem Leitprogramm gemacht haben, wesentlich zum Ergebnis beigetragen. Ihnen allen danke ich herzlich für Ihre Korrekturen und konstruktiven Vorschläge.

Literargymnasium Rämibühl Zürich, August 1995 W. Vogel

Einführung

Unser heutiges Leben ist geprägt von einer ausgesprochenen Mobilität. Wir alle möchten möglichst schnell - und meist auch möglichst bequem - ans Ziel gelangen. Dazu dienen uns sehr verschiedene Fortbewegungsmittel.

Fussgänger lassen sich von Rolltreppen oder Rollbänder transportieren. Wie ist das jetzt, wenn sich besonders Eilige darauf selber noch fortbewegen? Schafft man es auch, über die Rolltreppe mit falscher Laufrichtung ans Ziel zu gelangen?

Wieviel Zeit gewinnt ein Flugzeug beim Flug mit Rückenwind? Verliert das Flugzeug auf dem Rückweg mit Gegenwind gleichviel?

Und wie überquert man mit dem Boot einen Fluss? Kann man überhaupt zum exakt gegenüberliegenden Punkt gelangen?

Sie sehen, bei all diesen Beispielen kommen zwei Bewegungen gleichzeitig vor. Man bewegt sich in einem System (Rolltreppe, Luft, Wasser), das sich seinerseits gegenüber einem ruhenden Bezugssystem bewegt. In diesem Leitprogramm werden Sie lernen, wie man mehrere Bewegungen überlagert. Sie werden die gleiche Bewegung in zwei verschiedenen Bezugssystemen betrachten und erfahren, wie man aus der Geschwindigkeit im einen System diejenige im andern ermitteln kann. So werden Sie schliesslich auf die oben aufgeworfen Fragen, die Sie (vielleicht) rein gefühlsmässig schon richtig beantwortet haben, eine eindeutige und begründete Antwort geben können.

Das **Ziel** ist, dass Sie nach diesem Leitprogramm

- dieselbe Bewegung aus der Sicht von zwei verschiedenen, gleichförmig gegeneinander bewegten Bezugssystemen beschreiben können,
- aus der Geschwindigkeit im einen System die Geschwindigkeit im andern System berechnen können.

Inhaltsverzeichnis

Titelblatt **I**

Informationen, Copyright **II**

Vorwort, Einführung **III**

Inhaltsverzeichnis **IV**

Arbeitsanleitung **V**

Kapitel 1 **Bewegungen auf einer Geraden** **1**
1.1 Auf dem Rollband vorwärts 2
1.2 Das Rollband läuft rückwärts 4
1.3 Geschwindigkeiten als Vektoren 6
Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben 8

Kapitel 2 **Geradlinige Bewegungen verschiedener Richtungen** **11**
Fährt das Boot senkrecht zur Flussrichtung? 12
Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben 16

Additum **Ruhe oder Bewegung?** **21**
Ballspicken im Zug 22
Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben 27

Anhänge

Anhang 1 Tests und Lösungen Z 1.1-Z 1.2
Anhang 2 Mediothek für die Schülerinnen und Schüler Z 2.1
Anhang 3 Experimentiermaterial Z 3.1
Anhang 4 Vom Autor benützte Quellen Z 4.1
Anhang 5 Hinweise Z 5.1-Z 5.2
Anhang 6 Arbeitsblätter Z 6.1-Z 6.4

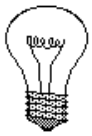
Arbeitsanleitung

Sie werden hauptsächlich selbständig arbeiten. Damit Sie dabei auch wirklich zum gesteckten Ziel gelangen, werden Sie von diesem Leitprogramm geführt, durch die verschiedenen Lernetappen geleitet.

Nach einer Übersicht sind in jedem Kapitel die Lernziele formuliert. Dann arbeiten Sie den Stoff durch. Dabei weisen die nachfolgenden Zeichen Sie auf bestimmte Tätigkeiten hin.

Dieses Symbol zeigt Ihnen, dass Sie nun ein **Experiment** oder ein Gedankenexperiment durchführen müssen. Für gewisse Aufzeichnungen wird Ihnen ein Arbeitsblatt zur Verfügung gestellt.

Hier bekommen Sie Gelegenheit, mit einer **Kontrollfrage** oder einer **Aufgabe** zu überprüfen, ob Sie den letzten Abschnitt verstanden haben. Sie können auch selber kontrollieren, ob Sie zur richtigen Lösung gelangt sind, denn diese finden Sie jeweils am Schluss des betreffenden Kapitels. Dort wird Ihnen *(in Kursivschrift)* auch gesagt, welchen Abschnitt Sie noch einmal bearbeiten müssen, falls Sie nicht die richtige Lösung gefunden haben.



Dieses Symbol weist auf eine **Zusammenfassung** hin. Vielleicht notieren Sie sich aber auch selber gewisse Merksätze, welche den Stoff eines Abschnittes zusammenfassen.

Wenn Sie die Aufgaben und Lernkontrollen erfolgreich bearbeitet haben, melden Sie sich bei der Lehrerin oder dem Lehrer zu einem Kapiteltest. Dabei geht es in erster Linie darum, zu überprüfen, ob Sie genügend sattelfest sind, um das nächste Kapitel in Angriff zu nehmen.

Nun wollen wir aber beginnen. Wir sehen uns erst beim Test. Denn nur wenn Sie sich völlig in die Sackgasse gedrängt fühlen, sollen Sie bei mir Hilfe holen.

Bewegungen auf einer Geraden

Übersicht
Lernziele für Kapitel 1

1.1 Auf dem Rollband vorwärts
1.2 Das Rollband läuft rückwärts
1.3 Geschwindigkeiten als Vektoren

Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben

Übersicht

In diesem Kapitel betrachten wir die Situation auf der Rolltreppe, besser noch auf dem Rollband, denn dabei müssen wir den Höhenunterschied nicht berücksichtigen. Auf dem horizontalen Rollband können wir uns unsererseits bewegen, allerdings nur entweder in der Laufrichtung des Bandes oder dieser entgegen. Die verschiedenen Bewegungen laufen somit alle auf einer Geraden ab. Weil dabei nur zwei Richtungen auftreten, können wir die verschiedenen Geschwindigkeiten durch Addition und Subtraktion berechnen. Wir werden dabei aber auch ein Verfahren entwickeln, das wir später auf beliebige Richtungen anwenden können. Wir machen dabei von der Möglichkeit Gebrauch, gerichtete Grössen als Vektoren zu betrachten und sie mit Pfeilen darzustellen.

Lernziele für Kapitel 1

- Sie können eine Bewegung auf dem Rollband aus der Sicht des daneben stehenden Beobachters beschreiben.
- Sie kennen den Unterschied zwischen einem Vektor und seinem Betrag.
- Sie wissen, wie man mit Hilfe der Vektoraddition Geschwindigkeiten auf einer Geraden zusammensetzen und berechnen kann.

1.1 Auf dem Rollband vorwärts

Sie gehen am Flughafen über ein Rollband. Diese Bewegung wollen wir von verschiedenen Standpunkten aus beobachten. Zuerst beschreiben wir Ihre Bewegung auf dem ruhenden Band, bewegen dann das Band und betrachten dabei Ihre Bewegung vom ruhenden Boden aus.

Experiment 1.1.

Verwenden Sie einen 2 cm breiten Streifen Millimeterpapier als Modell für ein Rollband und das Arbeitsblatt zu Kapitel 1. Führen Sie die nachfolgenden Schritte aus.

(1) Das Rollband ruht und sie bewegen sich darauf mit der Geschwindigkeit v_1 = 1,5 cm/s. Zeichnen Sie auf dem Papierstreifen links aussen die Startlinie für die Zeit t = 0. Dann markieren Sie jeweils Ihre Position auf dem Band (Ihren "Fussabdruck") nach jeder Sekunde und schreiben Sie zu jedem Punkt die entsprechende Zeit (1s, 2s, 3s, 4s,...).

(2) Übertragen Sie Ihre Markierungen vom Papierstreifen auf das Rollband in Figur 1.1. Ihres Arbeitsblattes.

(3) Legen Sie Ihren Papierstreifen auf das gezeichnete Rollband, sodass sich die beiden Zeichnungen decken.

(4) Lassen Sie jetzt "das Band laufen", indem Sie es mit der Geschwindigkeit v = 1,0 cm/s nach rechts verschieben. Nach jeder Sekunde halten Sie den verschobenen Streifen fest und übertragen den zu der betreffenden Zeit gehörenden Punkt auf die Linie unterhalb des gezeichneten Rollbandes. Beschriften Sie auch Punkte auf dieser Linie mit den betreffenden Zeiten (1s, 2s, 3s, 4s,...).

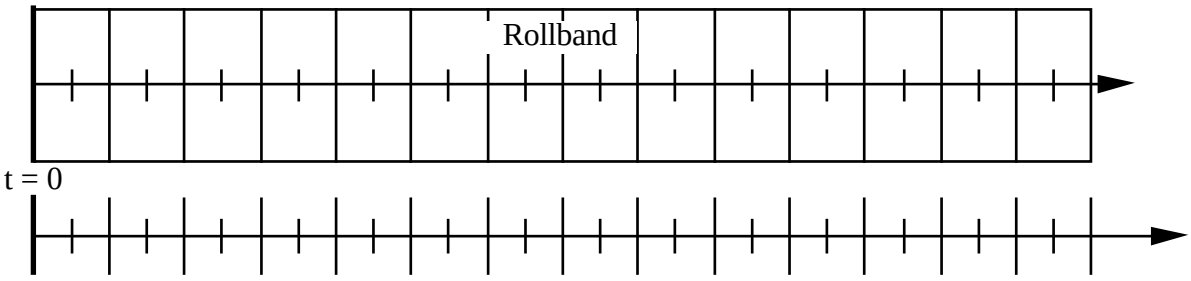
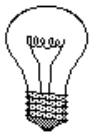


Fig. 1.1.

Aufgabe 1.1.
Wie beschreibt ein Beobachter, der auf dem ruhenden Boden steht, Ihre Bewegung auf dem laufenden Band? Formulieren Sie dies schriftlich. Verwenden Sie auch Zahlen, um diese Bewegung so genau wie möglich zu beschreiben. Vergleichen Sie **nachher** Ihre Lösung mit derjenigen am Schluss des Kapitels 1.

Wir haben nun dieselbe Bewegung in zwei verschiedenen Bezugssystemen betrachtet. Das Bezugssystem „Band“ ist dabei mit der Geschwindigkeit v relativ zum Bezugssystem „Boden“ bewegt. Ihre Geschwindigkeit im 1. Bezugssystem „Band“ ist v_1, Ihre Geschwindigkeit im 2. Bezugssystem „Boden“ ist v_2.

Aufgabe 1.2.
Wie berechnet man für das in Fig. 1.1. gezeichnete Beispiel die Geschwindigkeit v_2 aus den beiden Geschwindigkeiten v_1 und v? Schreiben Sie Ihre Lösung mit den Symbolen v_1, v_2 und v auf und überprüfen Sie es durch Einsetzen der Zahlen. (Lösung am Schluss des Kapitels)



Fassen Sie zusammen!

Notieren Sie sich in einem Merksatz die Erkenntnis, welche Sie in diesem Abschnitt gewonnen haben und die in der Lösung der letzten Aufgabe zum Ausdruck kommt. (Eine mögliche Formulierung finden Sie bei der Lösung 1.2. am Schluss des Kapitels.)

1.2. Das Rollband läuft rückwärts

Sie bewegen sich (in Gedanken) bezüglich des Bandes wie vorher mit v_1 = 1,5 cm/s, doch das Band läuft relativ zum Boden nun mit der Geschwindigkeit v = 1,0 cm/s in entgegengesetzter Richtung.

Aufgabe 1.3.
Wie berechnen Sie für diesen Fall Ihre Geschwindigkeit v_2 im Bezugssystem „Boden“? Schreiben Sie die Rechnung zuerst wiederum mit den Symbolen auf und setzen Sie dann die Werte ein.

Falls Ihre Lösung nicht mit derjenigen im Anhang übereinstimmt, fahren Sie an dieser Stelle weiter im Leitprogramm. Bei richtiger Lösung können Sie den nächsten Abschnitt überspringen und gerade mit Aufgabe 1.5 weiterfahren.

Experiment 1.2.
Benützen Sie den Streifen Millimeterpapier von Kap. 1.1. und das Arbeitsblatt. Legen Sie das bewegliche Rollband auf das Rollband in Figur 1.2., sodass die beiden Zeichnungen sich decken. Lassen Sie nun das Band laufen, indem Sie es mit v = 1,0 cm/s in entgegengesetzter Richtung wie Ihre Bewegung auf dem Band, also nach links verschieben. Markieren Sie auf der Linie unterhalb des Bandes die Position Ihrer „Fussabdrücke“ nach jeder Sekunde bezüglich des ruhenden Bodens und schreiben sie die entsprechende Zeit dazu.

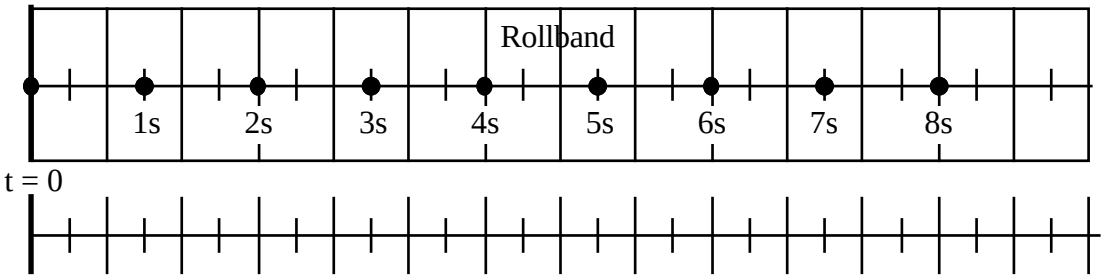


Fig. 1.2.

Aufgabe 1.4.
Wie beschreibt ein Beobachter, der auf dem ruhenden Boden steht, Ihre Bewegung auf dem laufenden Band? Formulieren Sie dies möglichst genau.
Wie schnell bewegen Sie sich aus der Sicht dieses Beobachters? Welche Rechnung führen Sie dazu aus?

Aufgabe 1.5.

Wie beschreibt ein Beobachter, der auf dem ruhenden Boden steht, Ihre Bewegung auf dem laufenden Band, falls das Band mit v = 2,0 cm/s entgegen Ihrer Bewegung, also nach links läuft? Formulieren Sie dies möglichst genau.

Berechnen Sie Ihre Geschwindigkeit v_2 im Bezugssystem „Boden“.

Vergleichen Sie danach Ihre Lösung mit derjenigen am Schluss des Kapitels.

Fassen Sie zusammen!

Welche Erkenntnisse haben Sie in diesem zweiten Abschnitt gewonnen? Worin unterscheiden sich die Ergebnisse von denjenigen des ersten Abschnitts? (Vielleicht blättern Sie nochmals zurück!) Versuchen Sie selber einen Merksatz als Zusammenfassung für dieses Unterkapitels 1.2 zu formulieren.

1.3. Geschwindigkeiten als Vektoren

Bei einer Bewegung ist offensichtlich nicht nur die Grösse der Geschwindigkeit wesentlich, sondern auch die Bewegungsrichtung. Diese Richtung ordnet man der Geschwindigkeit zu. Diese wird somit zu einer **gerichteten Grösse,** zu einem sogenannten **Vektor**. Derartige vektorielle Grössen sind nur dann vollständig bestimmt, wenn man ihre Richtung und ihren Betrag angibt. Sie werden gekennzeichnet, indem man über ihrem Symbol einen Pfeil setzt:

Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}$

Vielleicht haben Sie in der Mathematik schon etwas von Vektoren gehört, oder Sie haben früher einmal im Physikunterricht mit der Kraft eine andere gerichtete Grösse kennengelernt. Dort haben Sie wohl auch erfahren, wie man Vektoren darstellt und wie man sie zusammensetzt. Erinnern Sie sich?

Mit den nachfolgenden Aufgaben können Sie Ihre Kenntnisse von damals auffrischen und anwenden. Falls Sie noch nie mit Vektoren gearbeitet haben oder sich beim besten Willen nicht mehr erinnern können, dann lesen Sie die Aufgaben zuerst sorgfältig und studieren danach am Schluss des Kapitels die betreffenden Lösungen. Mit den dort formulierten Hilfen *(in Kursivschrift)* können Sie sich die nötigen Kenntnisse aneignen.

Aufgabe 1.6.

Im Experiment 1.1. hatten wir drei Geschwindigkeiten:

$\vec{v}_1$ = Ihre Geschwindigkeit bezüglich des Bandes

$\vec{v}$ = Geschwindigkeit des Bandes bezüglich des Bodens

$\vec{v}_2$ = Ihre Geschwindigkeit bezüglich des Bodens

Stellen Sie diese drei Geschwindigkeiten als Vektoren dar.

Beschreiben Sie, wie die beiden Eigenschaften "Betrag" und "Richtung" aus dieser Darstellung herausgelesen werden können.

Aufgabe 1.7.

In Aufgabe 1.2. haben Sie den Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}_2$ berechnet aus den Beträgen von $\vec{v}_1$ und $\vec{v}$. Führen Sie nun diese Rechnung für die betreffenden **Vektoren** durch, indem Sie die Regeln anwenden, die Sie zum Beispiel für die Konstruktion der resultierenden Kraft gelernt haben. Führen Sie die Konstruktion aus und formulieren Sie, wie Sie dabei vorgehen.

Aufgabe 1.8.

Lösen Sie die Aufgaben 1.3. und 1.5. nun ebenfalls durch Konstruktion des Geschwindigkeitsvektors $\vec{v}_2$. Beachten Sie, dass nun das Band in entgegengesetzter Richtung läuft. Führen Sie die Konstruktion aus und formulieren Sie, wie Sie die Lösungen der Aufgaben 1.3. und 1.5 aus der Konstruktion herauslesen können.

Die Lösungen der Aufgaben 1.7. und 1.8. zeigen, dass die Bestimmung der Geschwindigkeit gemäss $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}$ für **alle** Fälle angewendet werden kann, wenn man die Geschwindigkeiten als **Vektoren** betrachtet und die Regeln der **Vektoraddition** anwendet.

Wir fassen zusammen:

Bewegt sich ein Körper mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_1$ bezüglich eines Bezugssystems 1, und ist dieses seinerseits mit der Geschwindigkeit $\vec{v}$ relativ zu einem Bezugssystem 2 bewegt, so ergibt sich die Geschwindigkeit $\vec{v}_2$ des Körpers bezüglich des Bezugssystems 2 aus der **Vektoraddition** $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}$

Wenn Sie das Gefühl haben, dieses ganze Kapitel verstanden zu haben, dann melden Sie sich beim Lehrer zum Kapiteltest. Sollten Sie sich noch etwas unsicher fühlen, wählen Sie für das Rollband-Problem einige andere Geschwindigkeiten und ermitteln Sie die gesuchte Geschwindigkeit durch Konstruktion mit den Vektoren. Schliessen Sie die Augen und stellen Sie sich die Situation vor. Stimmt das Resultat Ihrer Konstruktion mit dieser Vorstellung überein?

War der Lehrer beim Test der Meinung, dass Sie zu den "Schnelleren" gehören (oder müssen Sie ohnehin warten bis sie den Kapiteltest absolvieren können), dann haben Sie nun noch Zeit, das Gelernte auf ein weiteres, bei der Einführung aufgeworfenes Problem anzuwenden. Wagen Sie nach dem Lesen der folgenden Aufgabe eine Prognose, bevor sie sich an die Auflösung machen!

Aufgabe 1.9.

Ein Flugzeug fliegt mit der Geschwindigkeit 300 km/h bezüglich der ruhenden Luft von A zum 720 km entfernten Flugplatz B und anschliessend wieder zurück. Am nächsten Tag herrscht ein konstanter Wind von 60 km/h in Richtung von A nach B. Das Flugzeug fliegt somit mit Rückenwind von A nach B, doch die Rückkehr von B nach A erfolgt bei gleich starkem Gegenwind. Berechnen Sie für jede Etappe die Reisezeit und vergleichen Sie die beiden Gesamtzeiten für Hin- und Rückweg.

Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben

Lösung 1.1.

Meine Bewegung auf dem laufenden Band ist aus der Sicht des Beobachters auf dem ruhenden Boden geradlinig und gleichförmig. Bezüglich des Bodens lege ich in jeder Sekunde 2,5 cm zurück; meine Geschwindigkeit ist also hier v_2= 2,5 cm/s.

Hilfe: Falls Ihre Antwort nicht sinngemäss dieser Lösung entspricht, überprüfen Sie nochmals die Konstruktion der "Fussabdrücke". Sie sollte die untenstehende Figur ergeben. Studieren Sie auch im Theorieheft nochmals die Definition der Geschwindigkeit. Ergänzen Sie allenfalls Ihre Lösung.

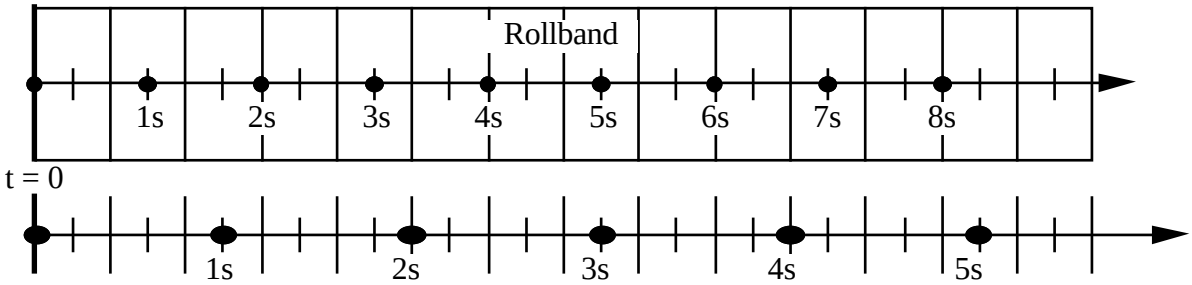


Fig. 1.1.

Lösung 1.2.

$v_2 = v_1 + v$ $\qquad$ v_2 = 1,5 cm/s + 1,0 cm/s = 2,5 cm/s

Hilfe: Kontrollieren Sie, welches Symbol für welche Geschwindigkeit verwendet wird. Schreiben Sie zu jedem Symbol in Worten, um was für eine Geschwindigkeit es sich handelt.

Wir fassen zusammen:

Bewegt sich die Unterlage in gleicher Richtung wie wir, so addieren sich die beiden Geschwindigkeiten!

Lösung 1.3.

$v_2 = v_1 - v$ $\qquad$ v_2 = 1,5 cm/s - 1,0 cm/s = 0,5 cm/s

Hilfe: Fahren Sie im Leitprogramm weiter, indem Sie den entsprechenden Versuch wie beschrieben durchführen.

Lösung 1.4.

Meine Bewegung auf dem laufenden Band ist aus der Sicht des Beobachters auf dem ruhenden Boden geradlinig und gleichförmig, aber langsamer als bezüglich des Bandes. Bezüglich des Bodens lege ich in jeder Sekunde nur noch 0,5 cm zurück; meine Geschwindigkeit ist also hier v_2 = 0,5 cm/s. Diese Geschwindigkeit bekomme ich durch folgende Rechnung:

$v_2 = v_1 - v$ = 1,5 cm/s - 1,0 cm/s = 0,5 cm/s

Hilfe: Falls Ihre Antwort nicht sinngemäss dieser Lösung entspricht, überprüfen Sie nochmals die Konstruktion der "Fussabdrücke". Sie sollte die nachfolgende Figur ergeben.

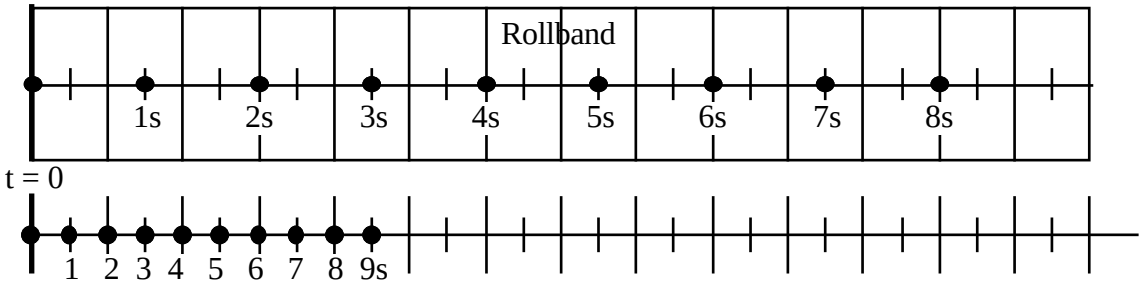


Fig. 1.2.

Sie können hier ablesen, dass Sie in jeder Sekunde gerade 0,5 cm weiter kommen. Somit ist Ihre Geschwindigkeit bezüglich des Bodens 0,5 cm/s.

Lösung 1.5.

Aus der Sicht des Beobachters auf dem ruhenden Boden gehe ich geradlinig gleichförmig, aber rückwärts. In jeder Sekunde läuft das Band um 2,0 cm zurück, während ich in dieser Zeit nur gerade um 1,5 cm vorwärts komme. Bezüglich des Bodens bleibe ich also jede Sekunde um 0,5 cm hinter meiner letzten Position zurück. Meine Geschwindigkeit bezüglich des Bodens ist somit v_2 = 0,5 cm/s, aber in entgegengesetzter Richtung. Diese Geschwindigkeit bekomme ich durch folgende Rechnung:

$$v_2 = v_1 - v = 1{,}5 \text{ cm/s} - 2{,}0 \text{ cm/s} = -0{,}5 \text{ cm/s}$$

Das negative Vorzeichen kennzeichnet die entgegengesetzte Richtung.

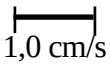
Hilfe: Benützen Sie den Streifen Millimeterpapier von Kap. 1.1. und das Arbeitsblatt. Legen Sie das bewegliche Rollband auf das Rollband in Figur 1.3., sodass die beiden Zeichnungen sich decken. Lassen Sie nun das Band laufen, indem Sie es mit v = 2,0 cm/s in entgegengesetzter Richtung wie Ihre Bewegung auf dem Band, also nach links verschieben. Markieren Sie auf der Linie unterhalb des Bandes die Position Ihrer „Fussabdrücke“ nach jeder Sekunde bezüglich des ruhenden Bodens und schreiben sie die entsprechende Zeit dazu.

Lösung 1.6.

Hilfe: Sie sehen, der Vektor wird als Pfeil dargestellt. Versuchen Sie aus der obigen Lösung herauszufinden, wie die beiden Eigenschaften "Betrag" und "Richtung" dabei zum Ausdruck kommen. Vielleicht hilft Ihnen weiter, wenn Sie die Länge der Pfeile mit einem Maßstab messen. Formulieren Sie zuerst selber je in einem Satz, wie die Richtung einerseits und der Betrag andererseits aus der Pfeildarstellung des Geschwindigkeitsvektors abgelesen werden kann. Vergleichen Sie dann Ihre Lösung mit der nachfolgenden.

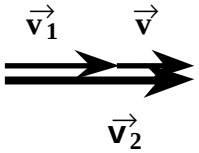
Die Richtung der Geschwindigkeit ist die Richtung der Pfeilspitze.

Der Betrag der Geschwindigkeit kann aus der Länge des Pfeiles abgelesen werden. Dazu gehört eigentlich die Angabe der Länge einer Einheit, hier: 1,0 cm $\triangleq$ 1,0 cm/s oder



Lösung 1.7.

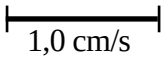
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}$$



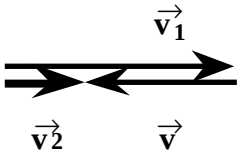
Regel: Man hängt die Vektoren, die addiert werden, aneinander. Die Summe ist dann derjenige Vektorpfeil, der vom Anfang des ersten Vektors zur Spitze des letzten Vektors führt.

Lösung 1.8.

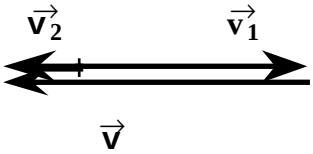
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}$$



Aufg. 1.3.



Aufg. 1.5.



Weil das Band nach rückwärts läuft, ist der Pfeil $\vec{v}$ entgegengesetzt zum Pfeil $\vec{v}_1$. Die Länge des Pfeils $\vec{v}_2$ bestätigt die Ergebnisse der Aufgaben 1.3. und 1.5. (Beachten Sie, dass bei dieser Konstruktion ein anderer Maßstab verwendet wurde: 1,0 cm/s entspricht einer Pfeillänge von 2 cm)

Hilfe: Lesen Sie nochmals die Lösung zu Aufgabe 1.7. Zeichnen Sie auf einem Blatt zuerst die Länge, die Sie dem Betrag 1,0 cm/s zuordnen wollen, und dann die Pfeile für die beiden gegebenen Vektoren $\vec{v}_1$ und $\vec{v}$ Führen Sie dann die Konstruktion von $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}$ exakt nach der formulierten Regel durch.

Lösung 1.9.

Strecke AB: s = 720 km

a) ohne Wind: Reisegeschwindigkeit v_1 = 300 km/h

Zeit für eine Etappe: $t_1 = s/v_1$ = 720 km/300 km/h = 2,4 h = 144 min = 2 h 24 min

Gesamte Reisezeit: $t_{total} = 2\ t_1$ = 4,8 h = 288 min = **4 h 48 min**

b) Mit Wind v = 60 km/h :

Hinweg Reisegeschwindigkeit bez. Boden: $v_2 = v_1 + v$ = 360 km/h

Zeit für Hinweg: $t_2 = s/v_2$ = 720 km/360 km/h = 2 h = 120 min

Rückweg Reisegeschwindigkeit bez. Boden: $v_2' = v_1 - v$ = 240 km/h

Zeit für Rückweg: $t_2' = s/v_2'$ = 720 km/240 km/h = 3 h = 180 min

Gesamte Reisezeit: $t_{total} = t_2 + t_2'$ = 2 h + 3 h = **5 h** > 4 h 48 min !

Geradlinige Bewegungen verschiedener Richtungen

Übersicht
Lernziel für Kapitel 2

Fährt das Boot senkrecht zur Flussrichtung?

Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben

Übersicht

In diesem Kapitel nehmen wir das Problem mit der Flussüberquerung in Angriff. Wir werden dabei die Verfahren anwenden, die wir im letzten Kapitel kennengelernt haben. Fällt es Ihnen leicht, mit Vektoren umzugehen, Konstruktionen mit Pfeilen durchzuführen und können Sie das Resultat auch interpretieren, werden Sie schon nach wenigen Übungsaufgaben imstande sein, den Kapiteltest erfolgreich zu bestehen. Gehören Sie eher zu jenen Leuten, die eine Bewegung im ganzen Ablauf sehen müssen, um sie auch beschreiben zu können, dann werden Sie weiterhin mit dem "laufenden Band" experimentieren und sich auf diesem Wege das nötige Verständnis aneignen.

Lernziel für Kapitel 2

- Sie können mit Hilfe der Vektorkonstruktion Geschwindigkeiten mit beliebigen Richtungen zusammensetzen und für spezielle Fälle ihre Beträge berechnen.

Fährt das Boot senkrecht zur Flussrichtung?

Wir stellen uns ein Boot vor, das vom geraden Ufer genau rechtwinklig "in See sticht" und sich mit einer Geschwindigkeit $\vec{v}_1$ bezüglich des ruhenden Sees bewegt. Nun lassen wir aber in Gedanken das Wasser fliessen und zwar parallel zum Ufer mit einer Geschwindigkeit $\vec{v}$. Statt einer Seeüberquerung haben wir somit eine Flussüberquerung.

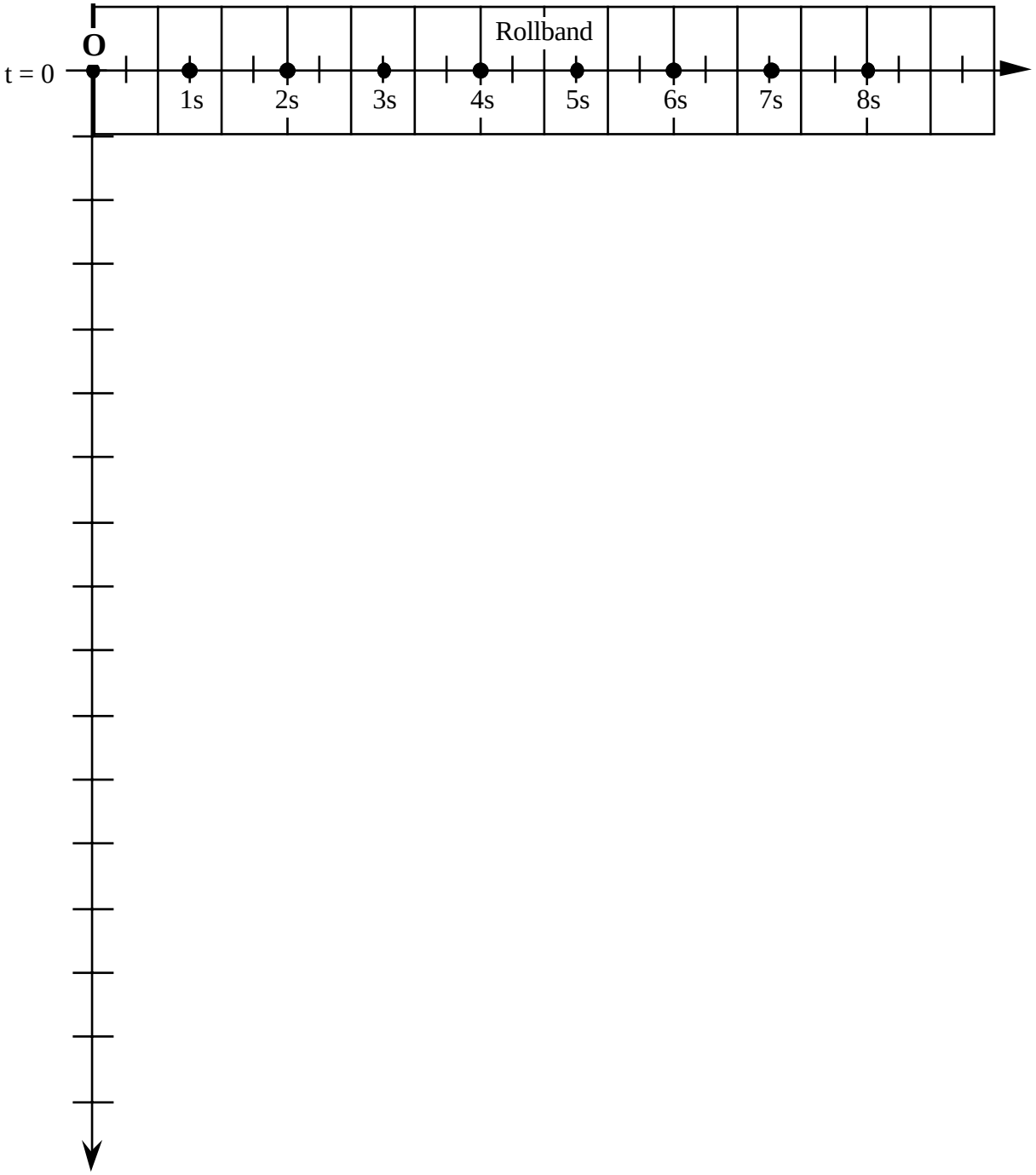
Aufgabe 2.1.

Bei der eben geschilderten Flussüberquerung betrage die Bootsgeschwindigkeit bezüglich des ruhenden Wassers v_1= 3 m/s, die Geschwindigkeit des Flusswassers relativ zum ruhenden Ufer sei v = 4 m/s. Ermitteln Sie den Betrag der Bootsgeschwindigkeit $\vec{v}_2$ bezüglich des ruhenden Ufers und beschreiben Sie in Worten, wie sich das Boot für einen Beobachter am Ufer bewegt.

Falls Sie mit dieser Aufgabe überhaupt nicht zurecht kommen, lassen Sie sie aus und fahren mit dem Experiment 2.1. weiter. Können Sie eine Lösung finden, vergleichen Sie diese mit derjenigen am Schluss dieses Kapitels..

Experiment 2.1.

Benützen Sie den Streifen Millimeterpapier von Kap. 1.1. und das Arbeitsblatt zu Kapitel 2, welches die nachfolgende Figur enthält. Legen Sie das bewegliche Rollband auf das gezeichnete Rollband des Arbeitsblattes, sodass die beiden Zeichnungen sich decken. Lassen Sie nun das Band laufen, indem Sie es mit der Geschwindigkeit v = 2,0 cm/s senkrecht nach unten verschieben. Achten Sie darauf, dass die Verschiebung genau rechtwinklig zum Rollband-Streifen erfolgt. Fixieren Sie die Position Ihrer "Fussabdrücke" nach jeder Sekunde bezüglich des ruhenden Arbeitsblattes, indem Sie mit einer Nadel (Zirkel) durch den entsprechenden Fussabdruck auf dem beweglichen Band stechen. Markieren Sie diese Positionen anschliessend mit einem Bleistift und schreiben Sie die entsprechenden Zeiten dazu.



Aufgabe 2.2.

Beschreiben Sie Ihre Bewegung auf dem verschobenen Band aus der Sicht eines Beobachters, der bezüglich des Arbeitsblattes ruht. Formulieren Sie dies schriftlich. Verwenden Sie auch Zahlen, um diese Bewegung so genau wie möglich zu beschreiben. Vergleichen Sie nachher Ihre Lösung mit derjenigen am Schluss des Kapitels

Aufgabe 2.3.

Zeichnen Sie in der Zeichnung von Experiment 2.1. folgende Pfeile:

- Waagrecht vom Nullpunkt O zur Lage des Fussabdruckes nach 1 s auf dem ruhenden Rollband.
- Senkrecht vom Nullpunkt O zum Ort, wo der Startpunkt des bewegten Rollbandes nach 1 s lag.
- Schräg vom Nullpunkt O zur Lage des 1. Fussabdruckes (nach 1 s) auf dem bewegten Rollband.

Welche Bedeutung kann man diesen Pfeilen zuordnen? Wie kann man den letzten Pfeil aus den ersten beiden konstruieren? (Lösung am Schluss des Kapitels)

Wenn Sie nun die Lösung dieser Aufgabe verstanden haben, sollte es Ihnen keine Schwierigkeiten bereiten, die Aufgabe 2.1. korrekt zu lösen. Setzen Sie also nochmals bei jener Aufgabe ein. Nach der Kontrolle Ihrer Lösung von Aufgabe 2.1. am Schluss dieses Kapitels fahren Sie dann an dieser Stelle mit dem Leitprogramm fort.

Aufgabe 2.4.

Betrachten Sie nochmals Ihre Lösung von Aufgabe 2.1. Wir haben den Betrag und die Richtung der Geschwindigkeit $\vec{v}_2$ durch Messung aus der Konstruktionsfigur entnommen. Wie könnte man die Pfeillänge und den Winkel α aus den gegebenen Geschwindigkeiten $\vec{v}_1$ und $\vec{v}$ **berechnen**? Falls Sie die Lösung schon vorher durch Rechnung ermittelt haben, schreiben Sie die betreffenden Gesetze und Berechnungen hier nochmals auf.

Aufgabe 2.5.

Verändern Sie in Aufgabe 2.1. die Bootsgeschwindigkeit $\vec{v}_1$ derart, dass die Richtung des Bootes nicht mehr rechtwinklig zum Flussufer ist. Ermitteln Sie die Geschwindigkeit $\vec{v}_2$ durch Konstruktion. Können die bei der letzten Aufgabe verwendeten Gesetze für die Berechnung des Geschwindigkeitsbetrages und des Winkel α angewendet werden? Wenn ja, führen Sie diese Rechnungen aus. Wenn nein, begründen Sie dies; überlegen Sie aber auch, ob es bei geeigneter Wahl der Bootsgeschwindigkeit $\vec{v}_1$ nicht doch noch eine weitere Situation gibt, bei welcher die Berechnungsregeln anwendbar sind.

Wir fassen zusammen:

Mit den Regeln der Vektoraddition lassen sich Bewegungen beliebiger Richtungen überlagern. Die Geschwindigkeitsvektoren werden durch Konstruktion ermittelt. Für die Berechnung der Beträge und der Winkel, welche die Richtung beschreibenden, sind Gesetze der Geometrie anzuwenden.

Zum Schluss dieses Kapitels wollen wir uns einer in der Einleitung aufgeworfenen Frage annehmen. "Kann man mit dem Boot den Fluss so überqueren, das man genau auf gleicher Höhe am andern Ufer ankommt?" In der Lösung von Aufgabe 2.5. haben Sie gesehen, dass dies bei geeigneter Wahl der Bootsgeschwindigkeit möglich ist. Wir wollen diese nun bei einem konkreten Beispiel berechnen.

Aufgabe 2.6.

Ein 30 m breiter Fluss wird mit einem Boot innerhalb von 20 s überquert, wobei die Bewegungsrichtung vom ruhenden Ufer aus gesehen genau rechtwinklig zum Ufer verläuft. Das Flusswasser fliesst bezüglich des Ufers mit 2,0 m/s. Wie gross ist die Bootsgeschwindigkeit bezüglich des Wassers und in welche Richtung (Winkel angeben) muss der Bootsführer steuern ?

Hilfe: Benutzen Sie die Angaben, um zunächst eine Zeichnung der Situation zu machen. Achten Sie dabei insbesondere auf die Richtung, welche die Geschwindigkeitsvektoren haben müssen. Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Bootes bezüglich des Ufers und konstruieren Sie die Zusammensetzung der Geschwindigkeitsvektoren. Als zweite Möglichkeit können Sie den Fluss massstäblich aufzeichnen und die Strecke, die das Flusswasser während der 20 s dauernden Flussüberquerung abwärts fliesst, berechnen .

Noch eine letzte Aufgabe, die Ihnen zeigt, ob Sie das Problem nun richtig im Griff haben:

Aufgabe 2.7.

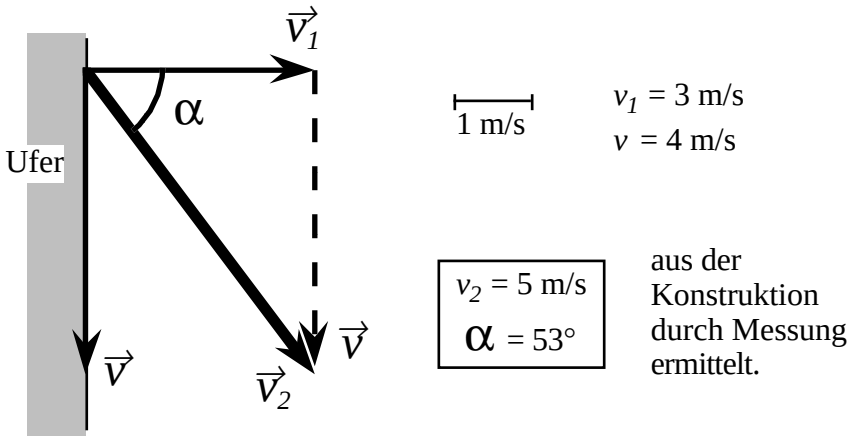
Wiederum soll das Boot das andere Ufer auf der Höhe des Startpunktes erreichen. Bei gegebener Strömungsgeschwindigkeit lassen Sie in Gedanken den Bootsführer einmal schneller, ein andermal langsamer fahren. Wie beeinflusst dies die Richtung, in die er steuern muss? Im Speziellen interessieren uns besonders grosse und besonders kleine Geschwindigkeiten. Diskutieren Sie die beiden Grenzfälle.

Wenn Sie nun auch diese letzte Aufgabe gemeistert haben, dann haben Sie den obligatorischen Teil gut gelernt und können sich getrost zum Kapiteltest beim Lehrer melden. Dieser gibt Ihnen dann das "OK" für den fakultativen Teil, das Additum.

Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben

Lösung 2.1.

Für die Geschwindigkeits**vektoren** gilt die Gleichung $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}$. Weil die Richtungen dieser Vektoren hier nicht parallel sind, können die **Beträge** der Geschwindigkeiten (3 m/s und 4 m/s) nicht mehr einfach addiert werden, sondern müssen durch Konstruktion oder mit Hilfe von geometrischen Gesetzen bestimmt werden.



Das Boot wird flussabwärts abgetrieben. Es bewegt sich jedoch geradlinig, allerdings in einer andern Richtung, nämlich um den Winkel 53° gegenüber der Richtung senkrecht zum Ufer. Das Boot bewegt sich gleichförmig mit der konstanten Geschwindigkeit $\vec{v}_2$, deren Betrag v_2 = 5 m/s ist. Diese Werte lassen sich aus der Konstruktion durch Messung entnehmen.

Stimmt Ihre Konstruktion mit dieser Lösung überein und ist auch Ihre Interpretation sinngemäss, so können Sie im Leitprogramm die nachfolgende Sequenz überspringen und bei Aufgabe 2.4 weiterfahren.

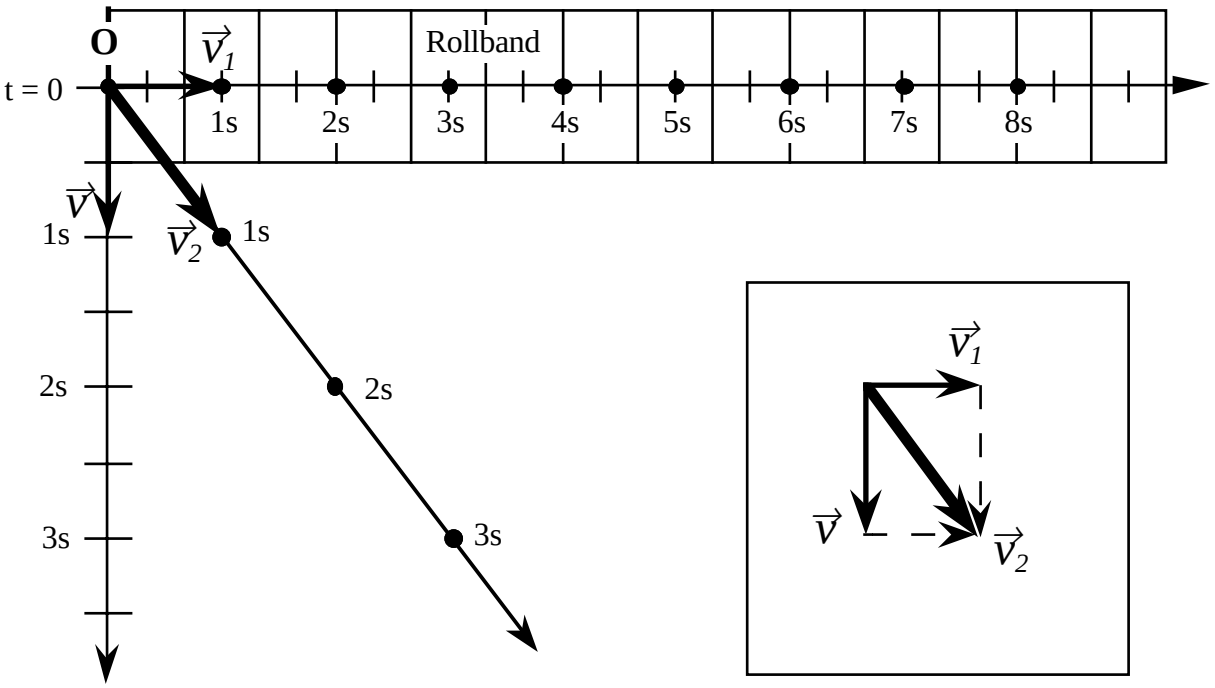
Hilfe: Falls Sie nicht zur selben Lösung gekommen sind, überprüfen Sie, ob Sie bei der Konstruktion die Pfeillängen richtig gewählt haben. Vielleicht haben Sie auch zuwenig exakt gezeichnet. Falls Sie mit der Interpretation des Resultates Mühe haben, ist es ratsam, wenn Sie nun im Leitprogramm mit dem Exp. 2.1. weiterfahren.

Lösung 2.2.

Meine Bewegung auf dem laufenden Band aus der Sicht eines Beobachters, der bezüglich des Blattes ruht, ist geradlinig und gleichförmig. Die Richtung der Bewegung verläuft allerdings im Vergleich zur Bewegungsrichtung auf dem ruhenden Band um einen Winkel von ca. 53° nach unten. Bezüglich des Zeichnungsblattes wird in jeder Sekunde eine Strecke von 2,5 cm zurückgelegt. Meine Geschwindigkeit hat hier also den Betrag v_2 = 2,5 cm/s.

Hilfe: Falls Ihre Antwort nicht sinngemäss dieser Lösung entspricht, überprüfen Sie die Konstruktion der "Fussabdrücke". Lesen Sie auch nochmals Ihre Lösung zu Aufgabe 1.1.

Lösung 2.3.

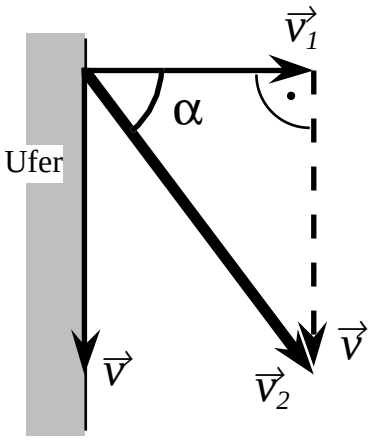


Die Pfeile bezeichnen den Weg, der bei jeder der drei Bewegungen in der ersten Sekunde zurückgelegt wird, d.h. es sind eigentlich die Geschwindigkeitsvektoren. Die drei Pfeile bilden ein Vektorparallelogramm, das in diesem Fall die Form eines Rechteckes hat. Die Geschwindigkeit $\vec{\mathbf{v}}_2$ bezüglich des ruhenden Systems ergibt sich somit als Resultierende aus der Geschwindigkeit $\vec{\mathbf{v}}_1$ auf dem ruhenden Rollband und der Geschwindigkeit $\vec{\mathbf{v}}$, mit der sich das Rollband relativ zum ruhenden System bewegt:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v} \qquad \text{(Konstruktion im kleinen Bild)}$$

Hilfe: Vielleicht finden Sie in Ihrem alten Physikheft die Regel für die Konstruktion der Resultierenden von zwei Kräften oder in Ihren Mathematikunterlagen die Getze für die Addition von Vektoren, welche nicht parallel zueinander sind. Oder fragen Sie jemanden aus der Klasse, ob sie/er Ihnen diese Konstruktion nochmals erklärt.

Lösung 2.4.



Satz von Pythagoras im rechtwinkligen Dreieck :

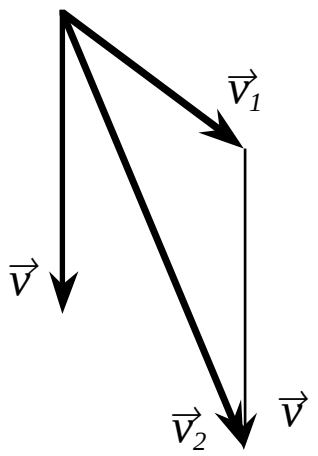
$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + v^2} = \sqrt{(3\ \text{m/s})^2 + (4\ \text{m/s})^2} = 5\ \text{m/s}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{v}{v_1}\right) = \arctan\left(\frac{4\ \text{m/s}}{3\ \text{m/s}}\right) = 53{,}13°$$

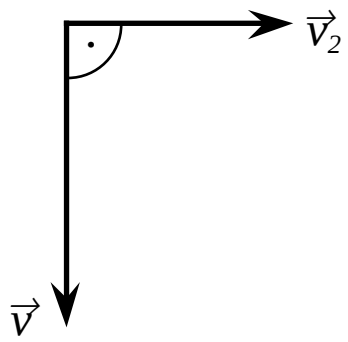
Hilfe: Schauen Sie in "Formeln und Tafeln" im Kapitel Planimetrie die Sätze im rechtwinkligen Dreieck nach. Betrachten Sie die Skizze. Welche Grössen entsprechen dort den hier gegebenen Grössen v_1 und v, welche den gesuchten Grössen v_2 und α? Welche Sätze verknüpfen nun die gegebenen mit den gesuchten Grössen?

Lösung 2.5.

Zum Beispiel



$$\boxed{\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}}$$

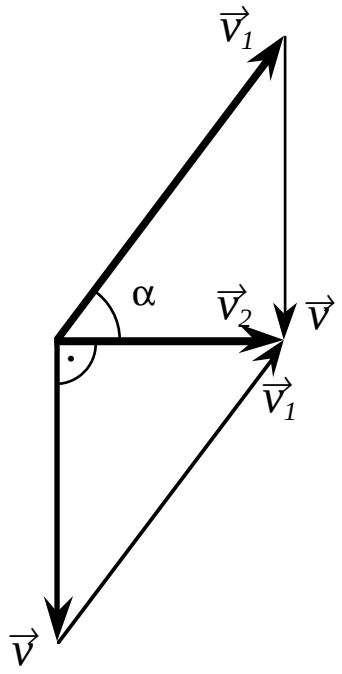


Die verwendeten Sätze gelten nur im rechtwinkligen Dreieck. Steht die Bootsrichtung nicht mit 90° zum Ufer, ist das Dreieck nicht rechtwinklig und somit diese Sätze nicht anwendbar.
Wird allerdings die Bootsgeschwindigkeit $\vec{v_1}$ mit ihrem Betrag und ihrer Richtung so gewählt, dass die Geschwindigkeit $\vec{v_2}$ des Bootes bezüglich des ruhenden Ufers rechtwinklig zum Ufer steht, ergibt sich ebenfalls ein rechtwinkliges Dreieck. Zeichnen Sie im nebenstehenden Beispiel $\vec{v_1}$ so ein, dass dieser Fall eintritt.

Hilfe: Haben Sie den ersten Teil der Lösung zwar eingesehen, doch den beschriebenen zweiten Spezialfall nicht zeichnen können, dann machen Sie sich frisch an die Aufgabe 2.6. Dort wird dieses Problem an einem konkreten Fall behandelt.

Lösung 2.6.

Geg.: Geschwindigkeit des Systems Fluss relativ zum System Ufer: v = 2,0 m/s
In der Zeit t = 20 s bewegt sich das Boot um s_2 = 30 m bezüglich des Systems Ufer.
Dies ergibt die Geschwindigkeit $v_2 = s_2/t$ = 30 m / 20 s = 1,5 m/s bez. System Ufer.

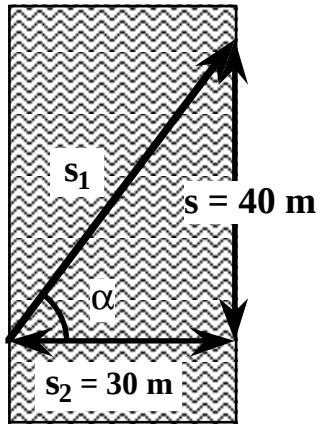


$$\boxed{\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}}$$

$$v_1 = \sqrt{v_2^2 + v^2} = \sqrt{(1{,}5\ \text{m/s})^2 + (2\ \text{m/s})^2} = 2{,}5\ \text{m/s}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{v}{v_2}\right) = \arctan\left(\frac{2\ \text{m/s}}{1{,}5\ \text{m/s}}\right) = 53{,}13°$$

Oder: In der Zeit t = 20 s fliesst das Wasser um die Strecke s = v·t = 2,0 m/s · 20 s = 40 m bezüglich des Ufers flussabwärts. Der Bootsführer muss somit beim Start einen Punkt am Gegenufer ansteuern, der um die Strecke s = 40 m weiter oben liegt als der senkrecht gegenüberliegende Punkt.

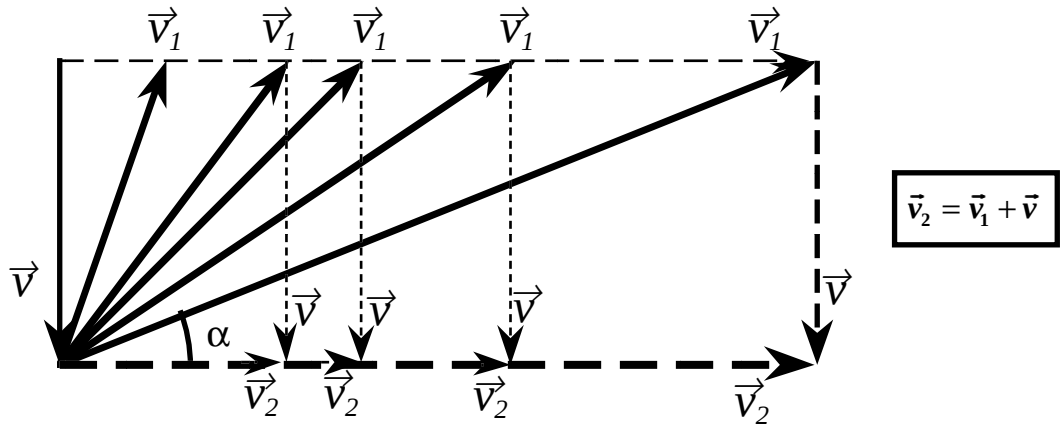


$$s_1 = \sqrt{s_2^2 + s^2} = \sqrt{(30\ \text{m})^2 + (40\ \text{m})^2} = 50\ \text{m}$$

$$v_1 = s_1/t = 50\ \text{m}/20\ \text{s} = 2{,}5\ \text{m/s}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{s}{s_2}\right) = \arctan\left(\frac{40\ \text{m}}{30\ \text{m}}\right) = 53{,}13°$$

Lösung 2.7.



Je kleiner der Betrag (die Pfeillänge) der Bootsgeschwindigkeit $\vec{v}_1$ gewählt wird, desto grösser wird der Winkel α zur rechtwinkligen Richtung.

Beim Winkel α = 90° wäre die Bootsgeschwindigkeit v_1 gleich gross wie die Fliessgeschwindigkeit v, aber eine Überquerung wäre dann nicht mehr möglich. Die Bootsgeschwindigkeit muss somit auf jeden Fall grösser als die Fliessgeschwindigkeit sein.

Andererseits ist der Winkel α = 0° für die Richtung von $\vec{v}_1$ niemals möglich, selbst mit sehr grosser Bootsgeschwindigkeit nicht, ausser wenn die Fliessgeschwindigkeit null wäre. Dann hätten wir wieder den Fall eines Sees, mit dem wir dieses Kapitel begonnen haben.

Ruhe oder Bewegung?

Übersicht
Lernziel für das Additum

Ballspicken im Zug

Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben

Übersicht

Ist ein Körper in Ruhe oder in Bewegung? Kann man diese Frage eindeutig beantworten? Die Jogger auf dem Laufband waren sicher in Bewegung- aber innerhalb des Fitness-Centers blieben sie an Ort! Die Zeitung, die Sie im Intercity lesen, fährt mit Ihnen von Zürich nach Bern - aber vor Ihren Augen liegt Sie in Ruhe (sonst könnten Sie wohl kaum lesen)! Dieses Leitprogramm-Heft liegt vor Ihnen in Ruhe - aber eigentlich rast es mit Ihnen und der ganzen Erde durchs Weltall auf dem Weg um die Sonne herum.

"Ruhe oder Bewegung?" - die Antwort ist eine Sache des Bezugssystems. Aber gibt es vielleicht **ein** Bezugssystem, das als **absolut ruhend** bezeichnet werden kann? Wie findet man dieses spezielle Bezugssystem? Vielleicht liegt für Sie die Antwort schon auf der Hand; aber können Sie auch den Beweis antreten, dass dieses System sicher nicht bewegt ist? Dieses Kapitel soll Ihnen etwas Klarheit verschaffen, aber Ihnen gleichzeitig auch aufzeigen, dass Sie dieses Problem noch nicht völlig durchschauen können. Trösten Sie sich, es hat bis 1905 gedauert und brauchte einen Einstein, bis die Relativität ins richtige Licht gerückt wurde. Und Sie haben schliesslich noch fast zwei Jahre Physikunterricht vor sich.

Lernziel für das Additum

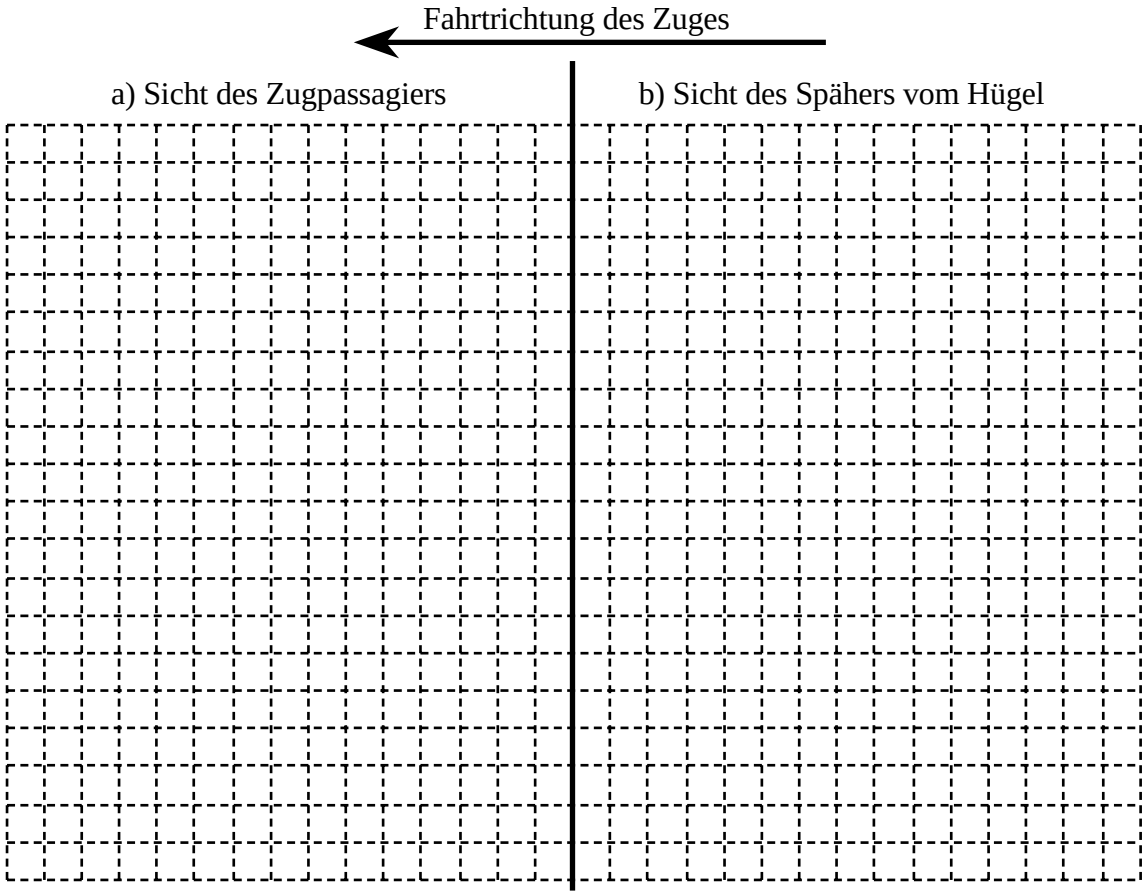
- Sie kennen Eigenschaften von Bezugssystemen, welche zueinander gleichförmig geradlinig bewegt sind.

Ballspicken im Zug

Sicher kennen Sie dieses Geschicklichkeitsspiel: Ein trichterförmiges Körbchen enthält unten eine elastische Feder, die beim Drücken eines Hebels einen Ball in die Luft spickt - und diesen Ball soll man dann mit dem Körbchen wieder auffangen. Fixiert man diese Einrichtung derart, dass der Ball genau senkrecht (vertikal) abgeschossen wird, fällt er "automatisch" wieder ins Körbchen zurück. Eine solche "Spickapparatur" werde nun in einem Zug befestigt. Im Bahnhof wird überprüft, ob der Ball sich wirklich genau vertikal bewegt. Danach wird der Ball hochgespickt, während der Zug mit satten 140 km/h durch das Rhonetal saust.

Gedankenexperiment A.1.

Schliessen Sie die Augen und lassen Sie den oben beschriebenen "Spickvorgang während der Zugfahrt" in Gedanken ablaufen. Nehmen Sie dabei einmal (gedanklich) Platz im Zug neben der Spickapparatur. Ein zweites Mal rüsten Sie sich (gedanklich) mit einem Feldstecher aus, setzen sich auf einen Hügel neben der Bahnlinie und betrachten den Spickvorgang im Zug aus dieser Warte. Beschreiben Sie, wie der Ball sich bewegt a) aus der Sicht des "Zugpassagiers", b) aus der Sicht des "Spähers vom Hügel". Zeichnen Sie auf dem Arbeitsblatt in die Figur, die mit der untenstehenden übereinstimmt, je einige Momentaufnahmen des Balles (insbesondere auch den höchsten Punkt), und beschreiben Sie die Bewegung in Worten.



Frage: Kann der Zugpassagier, der keine Sicht nach aussen hat, aus der Bewegung des gespickten Balles herauslesen, dass er sich in einem fahrenden und nicht in einem ruhenden Zug befindet?

Bevor wir dieser Frage weiter nachgehen, schauen wir die Sache am wirklichen Experiment an.

Experiment A.2.

Der Lehrer wird Sie zur Versuchsanordnung führen. Dort finden Sie auf einer horizontalen geraden Schiene einen Wagen mit einem Trichter, der mit einer "Spickeinrichtung" versehen ist. Führen Sie damit folgende Handgriffe aus.

(1) Nehmen Sie den Vollgummiball aus dem Trichter.

(2) Stellen Sie den Hebel seitlich neben dem Trichter vertikal nach unten.

(3) Stossen Sie mit dem Metallstab die Stahlkugel soweit in den Trichterhals, bis sie unten bleibt. (Sie hören oder spüren, wie es einrastet).

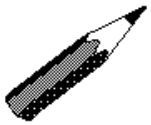
(4) Legen Sie den Gummiball wieder in den Trichter.

(5) Halten Sie den Wagen fest und kippen Sie den Hebel neben dem Trichter. Dadurch spickt der Gummiball senkrecht nach oben - und er sollte bei ruhendem Wagen wieder in der Mitte des Trichters landen.

(6) Führen Sie diesen Versuch (Handgriffe (1) - (5)) vielleicht noch ein zweites Mal durch, um sich zu überzeugen, wie gut die vertikale Bewegung stimmt.

(7) "Laden" Sie die Spickapparatur gemäss (1) bis (4). Geben Sie dem Wagen nun einen Stoss nach links. Etwa in der Mitte der Schiene befindet sich seitlich ein viereckiger Körper, der den Hebel der Spickapparatur während der Fahrt auslösen kann. Der Anstoss des Wagens muss vor Erreichen dieses "Spickpunktes" abgeschlossen sein, sollte aber auch nicht allzu weit davon entfernt beendet werden.

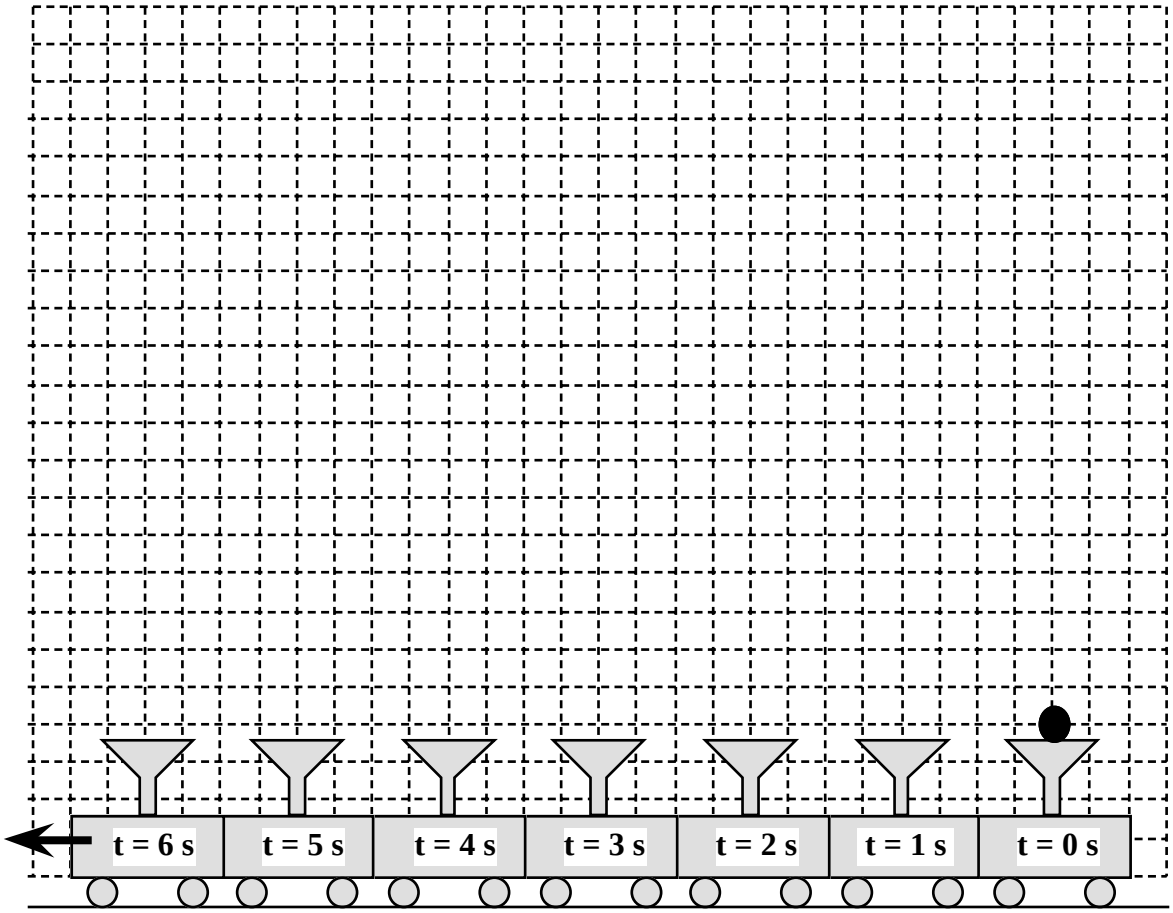
(8) Wiederholen Sie den Versuch gemäss Punkt (7), doch versuchen Sie dabei den Wagen stärker oder schwächer anzustossen.



Aufgabe A.1.

Zeichnen Sie auf dem Arbeitsblatt zum Additum, das die folgenden Figur enthält, die Bewegung des Balles aus Ihrer Sicht auf. Zeichnen Sie die ungefähre Position des Balles zu den Zeitpunkten, da der Trichter auf dem Wagen die gezeichneten Positionen hat. (Die angegebenen Zeiten sind nur Orientierungshilfen und sind nicht wörtlich zu nehmen.)

Beschreiben Sie die Bewegung in Worten. Entspricht die beobachtete und gezeichnete Flugbahn einer der Bewegungen im Gedankenexperiment A.1.? Welcher? Ist dies auch der Beobachterstandpunkt, den Sie jetzt inne hatten?



Aufgabe A.2.

Haben Sie die kleine Laus gesehen, die auf dem Wagen mitgefahren ist und Ihr Experiment als Passagier mitverfolgt hat? Führen Sie ein Interview mit ihr. Was erzählt **sie** Ihnen über den Spickversuch? Wie sah sie den ersten Versuch (als Sie den Wagen festhielten), wie den zweiten Versuch (als Sie den Wagen angeschoben hatten)?

Und nun nochmals die Frage: Kann der Zugpassagier aus der Bewegung des gespickten Balles herauslesen, dass er sich in einem fahrenden und nicht in einem ruhenden Zug befindet?

(Lösung am Schluss dieses Kapitels)

Offensichtlich lassen sich "Ruhe" und "gleichförmige, geradlinige Bewegung" des Zuges nicht unterscheiden. In beiden Fällen ist die Geschwindigkeit unverändert, sowohl ihre Richtung wie ihr Betrag bleiben gleich. Im Fall der Ruhe ist der Betrag einfach null.

Hat ein Körper eine bestimmte Geschwindigkeit, so behält er diese bei bis er durch einen äusseren Einfluss, eine sogenannte Kraft, zu einer Änderung gezwungen wird.

Dies kann zum Beispiel durch Reibung passieren oder - wie beim vertikal hochfliegenden Ball - durch die Erdanziehung. Diese Tendenz, seine Geschwindigkeit beizubehalten (auch wenn diese null ist) schreibt man der Trägheit (lat. inertia) des Körpers zu. Die oben eingerahmte Aussage bezeichnet man als **Trägheitsprinzip**.

Ein Bezugssystem, in welchem das Trägheitsgesetz gilt, nennt man **Inertialsystem.**

Aufgabe A.3.
Auf dem Tisch stehen einige Lexika. Schlagen Sie in mehreren nach, was darin unter dem Stichwort "Inertialsystem" steht. Notieren Sie sich diejenige Definition, die Ihnen am aussagekräftigsten erscheint. Sie können sich auch eine Definition notieren, die Sie aus mehreren Lexika zusammenstellen.

Jedes Bezugssystem, das gegenüber einem Inertialsystem gleichförmig geradlinig bewegt ist, ist seinerseits ein Inertialsystem. Unter all den unzähligen Inertialsystemen gibt es nun aber **keines**, das für sich in Anspruch nehmen darf, **das absolut ruhende** Inertialsystem zu sein. Es gibt nämlich in der Mechanik kein physikalisches Experiment, mit dem man herausfinden kann, ob man sich in einem ruhenden oder in einem gleichförmig bewegten Bezugssystem befindet. (Der "lausige" Erlebnisbericht bestätigt dies.) Lesen Sie dazu auch den nachfolgenden Ausschnitt aus dem Berkeley Physik Kurs, Band 1 (S. 49):

Absolute und relative Geschwindigkeit

Hat der physikalische Begriff der absoluten Geschwindigkeit irgendeine Bedeutung? Nach allen bisher durchgeführten Experimenten muß man diese Frage verneinen. Das führt zu einer fundamentalen Hypothese, der Hypothese der *Galilei-Invarianz:*

Die grundlegenden Gesetze der Physik sind identisch in allen den Bezugssystemen die sich gegeneinander mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen

Nach dieser Hypothese kann ein Beobachter, der in einem fensterlosen Kasten eingeschlossen ist, durch kein Experiment feststellen, ob er relativ zu den Fixsternen in Ruhe oder im Zustand der gleichförmigen Bewegung ist. Nur wenn er durch ein Fenster sieht und seine Bewegung mit der der Sterne vergleicht, kann er erkennen, ob er sich relativ zu ihnen gleichförmig bewegt. Selbst dann kann er nicht sagen, wer sich bewegt, er oder die Sterne. Das Galileische Invarianzprinzip war eines der ersten, die in der Physik definiert wurden. Es bildete die Grundlage für Newtons Auffassung vom Universum. Es hat wiederholten Experimenten standgehalten und dient als einer der Eckpfeiler der speziellen Relativitätstheorie. Die Hypothese ist so bemerkenswert einfach, dass sie auch ernsthaft in Betracht gezogen würde, wenn jeglicher strenger Beweis fehlte. Die Hypothese der *Galilei-Invarianz* steht in voller Übereinstimmung mit der speziellen Relativitätstheorie, wie wir in Kapitel 11 sehen werden.

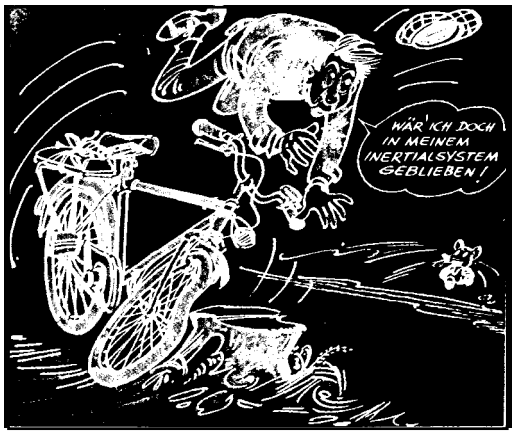
Was können wir mit dieser Hypothese anfangen? Die Hypothese, daß der Begriff einer absoluten Geschwindigkeit in der Physik keinen Sinn hat, schränkt teilweise Form und Inhalt aller bereits bekannten und noch nicht entdeckten physikalischen Gesetze ein. Wenn die Galilei-Invarianz stimmt, dann müssen dieselben Gesetze für zwei Beobachter gelten, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, jedoch ohne relative Beschleunigung bewegen. Angenommen, beide beobachten ein bestimmtes Phänomen, wie den Zusammenstoß zweier Teilchen. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Geschwindigkeiten werden die Beobachter den Vorgang verschieden beschreiben. Mit Hilfe der Gesetze der Physik können wir vorhersagen, was der eine Beobachter sehen wird, wie die Teilchen wechselwirken und wie sie dem anderen Beobachter erscheinen werden.

Demnach können die physikalischen Gesetze des zweiten Beobachters auf zwei Wegen aus denen des ersten gewonnen werden. Einerseits sind sie nach der Hypothese identisch. Andererseits können wir aus der Phänomenbeschreibung und den Gesetzen des ersten Beobachters die Beschreibung des zweiten Beobachters voraussagen. Und daraus können wir die Gesetze herleiten, die der zweite Beobachter finden wird. Die beiden Methoden liefern dieselben tatsächlichen physikalischen Gesetze.

Sie und die Laus haben die "Spickbewegung aus dem Trichter" in zwei verschiedenen Bezugssystemen erlebt, Sie im System "Schulzimmer", die Laus im System "Wagen". Das System "Wagen" ist relativ zum Schulzimmer mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt. Ist diese Geschwindigkeit konstant, ist nicht nur das "ruhende" Schulzimmer, sondern auch der Wagen ein Inertialsystem. Während Sie den Wagen anstiessen (und die Laus gerade ihr Nickerchen machte), änderte sich die Geschwindigkeit des Wagens. In jener Phase war der Wagen beschleunigt und somit kein Inertialsystem. Darauf werden wir erst später im Physikunterricht zurückkommen.

Die Beschreibung der Spickbewegung aus Ihrer Sicht unterscheidet sich von derjenigen der Laus (siehe Aufgaben A.1. und A.2.). Allerdings kann man von der einen zur andern gelangen, indem man die Ballbewegung und die Relativbewegung zwischen den beiden Systemen zusammensetzt. Zur Momentangeschwindigkeit des Balles, wie sie die Laus im vertikalen Wurf beobachtet, addieren Sie in jedem Zeitpunkt die Geschwindigkeit des Wagens mit Berücksichtigung der Richtung, also vektoriell. *(Falls Sie nicht mehr genau wissen, wie das vor sich geht, blättern Sie zurück zur Flussüberquerung im Kapitel 2.)*

Die beiden Bewegungsbeschreibungen unterscheiden sich also genau um die Geschwindigkeit, mit der sich das eine Bezugssystem relativ zum andern bewegt. Diesen Unterschiede kann man sehr deutlich erfahren, wenn man das Bezugssystem wechselt. Einen Eindruck davon vermittelt das nebenstehende Bild aus Dorn-Bader, Physik in einem Band (S. 233).



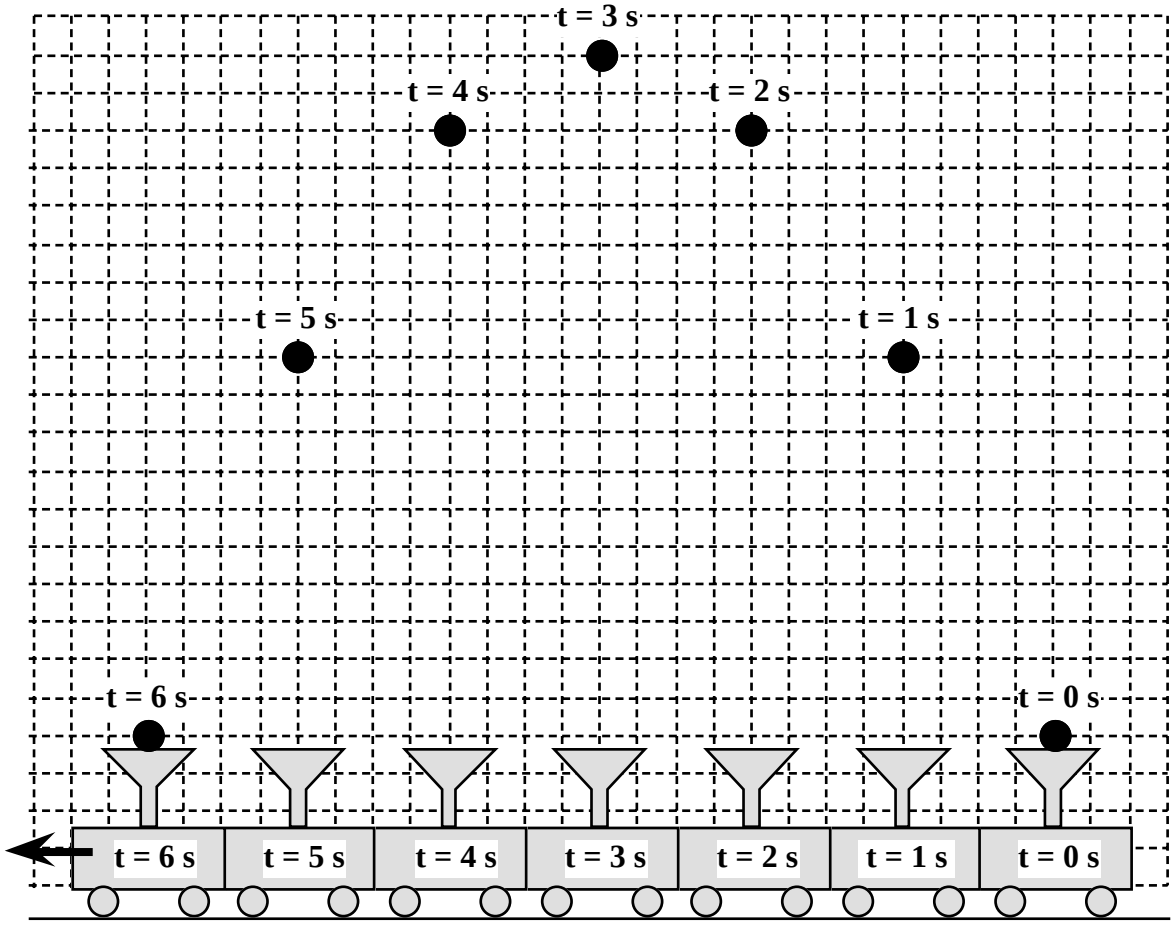
Eine ähnliche Erfahrung macht der blinde Passagier, der vom fahrenden Zug abspringt. Im Bezugssystem Zug war er in Ruhe, hatte somit bezüglich des Bahndammes dieselbe Geschwindigkeit wie der Zug. Wechselt er nun ins Bezugssystem Bahndamm, so ist er gegenüber diesem bewegt. Da heisst es dann rennen, sonst liegt man auf der Nase.

Die Frage, ob es wirklich kein Experiment gibt, mit dem man den Bewegungszustand des Bezugssystems ermitteln kann, stellt sich von neuem in der Optik. Das Licht hat eine bestimmte Geschwindigkeit. Diese müsste sich somit ändern, wenn man das Bezugssystem wechselt. Optische Experimente mit Licht müssten also anders ablaufen. Diese Problemstellung lag dem Experiment von Michelson und Morley zugrunde und war somit Ausgangspunkt zur speziellen Relativitätstheorie von Albert Einstein.

Holen Sie sich in der Handbibliothek das Lehrbuch J. Schreiner, Physik 4 und lesen Sie darin die Seiten 1 bis 3. Auch wenn Sie nicht alles verstehen können (dies betrifft insbesondere die Beschreibung des Versuchs von Michelson & Morley), so gibt Ihnen dieser Text doch einen kleinen Einblick in die Problemstellung. Er zeigt Ihnen aber auch, wie beschränkt unsere persönliche Erfahrung ist, und dass uns in gewissen Bereichen die Vorstellungskraft im Stich lässt.

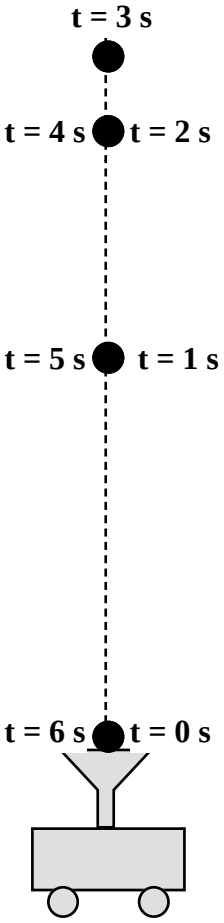
Lösungen und Hinweise zu den Aufgaben

Lösung A.1.



Ihr Standpunkt ist derjenige des "Spähers auf dem Hügel" mit dem Bezugssystem Erde. Einerseits fliegt der Ball vertikal aufwärts und wird immer langsamer bis zum höchsten Punkt. Gleichzeitig aber hat er die gleiche Vorwärtsbewegung wie der Wagen, sodass der Ball in jedem Moment vertikal über den Trichter ist und schliesslich nach einer Abwärtsbewegung, die immer schneller wird, wieder genau im Trichter landet. Vor dem Abschuss liegt der Ball im Trichter und bewegt sich somit genau gleich wie der Wagen mit einer bestimmten Geschwindigkeit $\vec{v}$ vorwärts. Diese Geschwindigkeit hat er auch beim Abschuss und er nimmt diese Geschwindigkeit auch mit auf seinen Flug. Die Bewegung des Balles ist somit eine Zusammensetzung aus der vertikalen Auf- und Ab-Bewegung, die wir bei festgehaltenem Wagen beobachtet haben, und der horizontalen Bewegung des Wagens. (Die Aufzeichnung der Ballbewegung bei ruhendem Wagen finden Sie übrigens auf der nächsten Seite.)

In Ihrer Zeichnung sollte die Lage des Balles in jedem Moment vertikal über der entsprechenden Trichterposition gezeichnet sein. Korrigieren Sie allenfalls Ihre Zeichnung und ergänzen Sie die Beschreibung.



Lösung A.2.

"Frau Laus, Sie waren soeben Zeugin eines Ereignisses. Erzählen Sie bitte, was Sie erlebt haben."

"Es gab eine gewaltige Eruption! Eine riesige Kugel flog aus diesem mächtigen Trichter und stieg weit in den Himmel. Sie flog genau senkrecht, wurde aber offenbar immer langsamer. Und dann fiel sie wieder runter. Immer schneller strebte sie der Erde zu. Zum Glück blieb sie dabei stets auf einer geraden Linie, denn so landete sie schliesslich wieder in diesem Trichter, der sie mit einem ohrenbetäubenden Getöse verschluckte. Es handelte sich übrigens nicht um ein einmaliges Naturschauspiel. Einige Zeit vorher hatte sich genau dasselbe Ereignis schon ein- oder zweimal in ganz genau gleicher Weise zugetragen. Ich musste mich von jenem Schreck etwas erholen und machte ein Nickerchen, aber dann wurde ich durch diesen erneuten Ausbruch jäh geweckt."

Für einen Zugpassagier läuft dieses Spickexperiment genau gleich ab, ob es im ruhenden Zug gemacht wird, oder in einem Zug, der sich gleichförmig geradlinig bewegt (vgl. nebenstehendes Bild). Er kann durch dieses Experiment nicht feststellen, ob er ruht oder bewegt ist.

Arbeitsblatt zu Kapitel 1

Experiment 1.1.

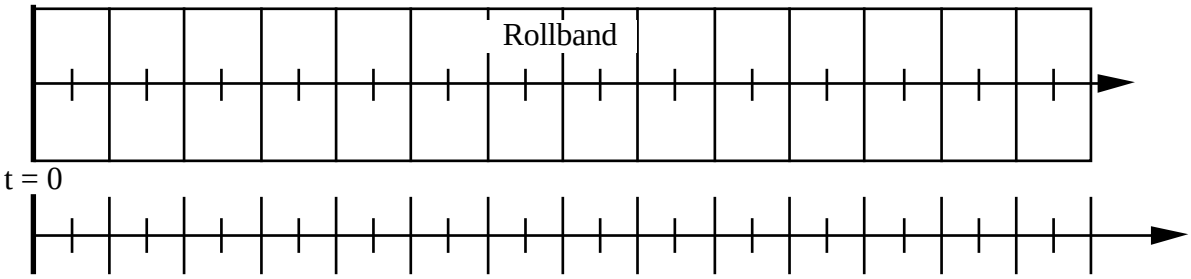


Fig. 1.1.

Experiment 1.2.

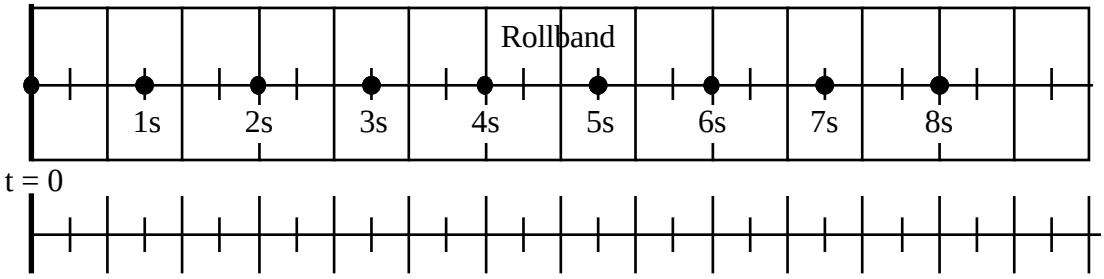


Fig. 1.2.

Hilfe zu Aufgabe 1.5.

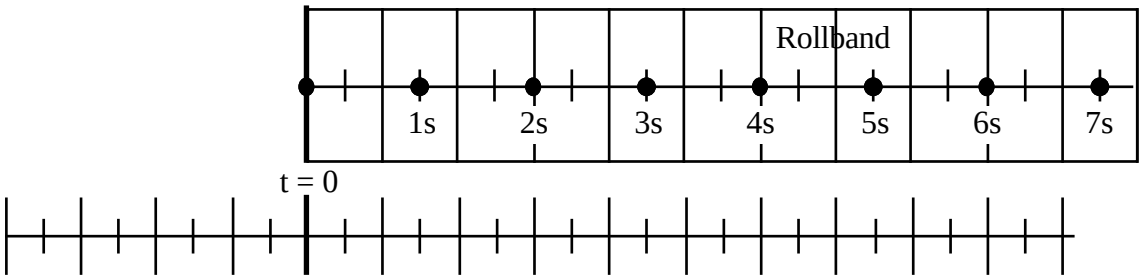
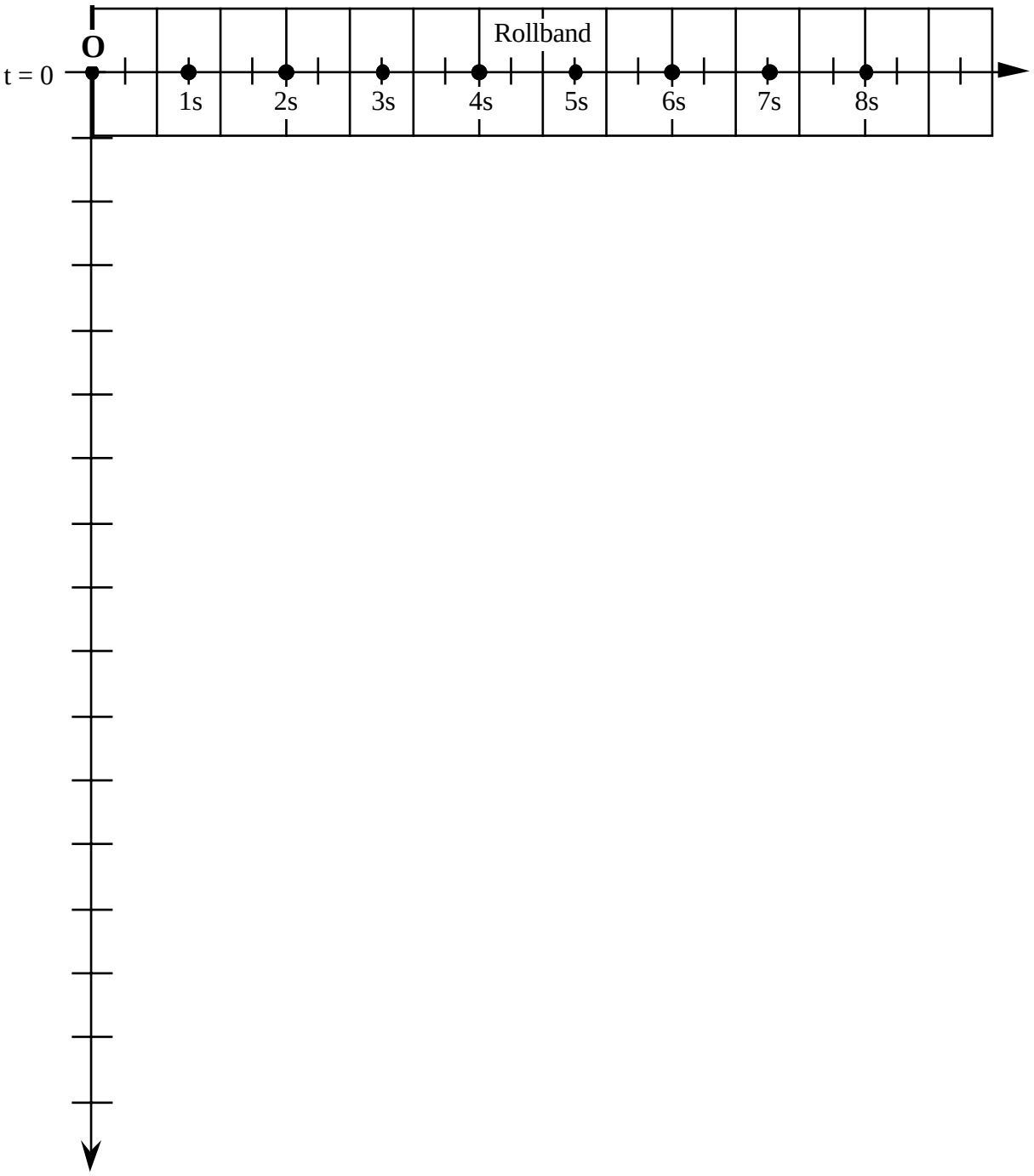


Fig. 1.3.

Arbeitsblatt zu Kapitel 2

Experiment 2.1.

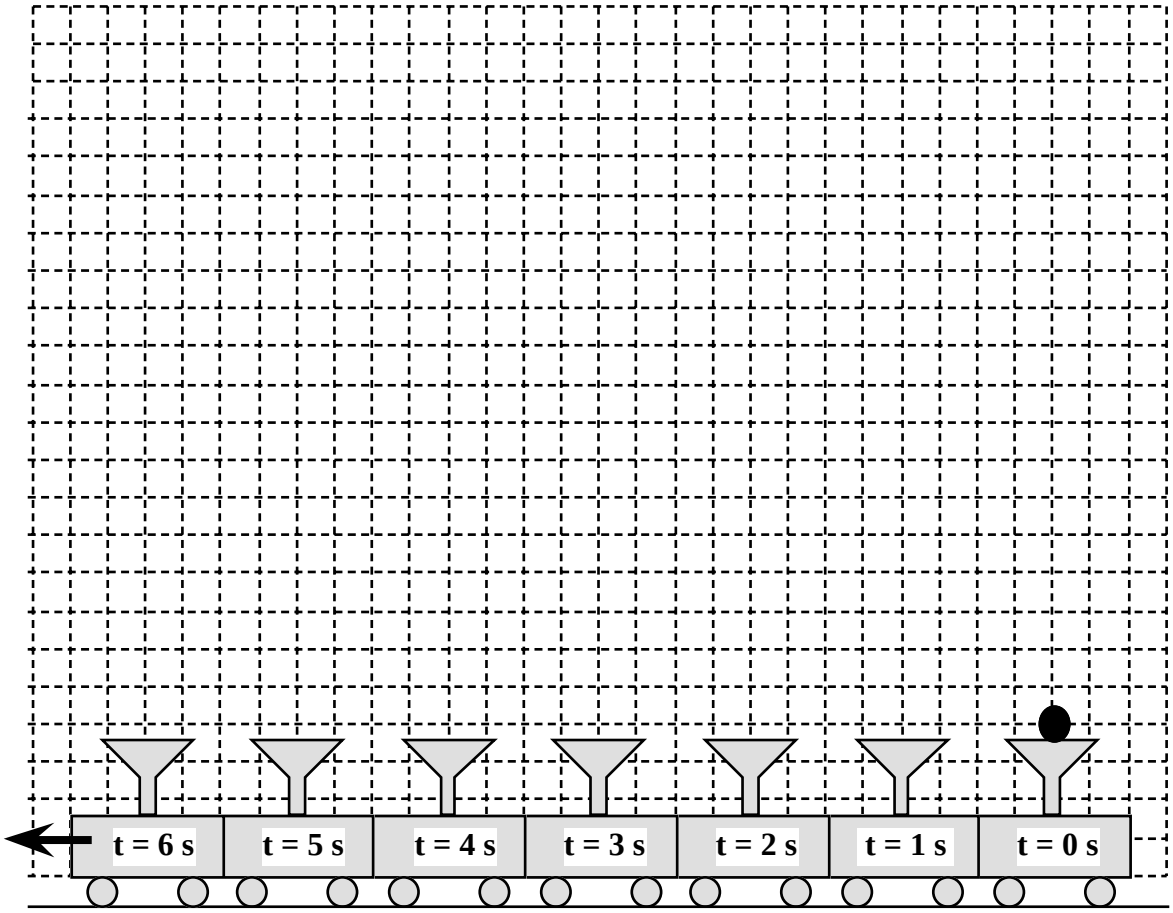


Arbeitsblatt zum Additum

Gedankenexperiment A.1

Fahrtrichtung des Zuges

a) Sicht des Zugpassagiers	b) Sicht des Spähers vom Hügel

Arbeitsblatt zum Additum

Experiment A.2.