

Nr.	Datum	Kapitel	Versuch
1	09.10.	1.3.2	<b><u>Zeitmessung: Pendel</u></b> Eine kleine Metallkugel hängt an einem langen, dünnen Draht. Wenn man die Kugel ein wenig auslenkt, schwingt sie mit konstanter Periodendauer (hier: Periodendauer $T \approx 2$ s). Die Dauer eines langen Ereignisses kann gut gemessen werden, indem man die Anzahl von Schwingungen zählt. Kurze Ereignisse mit $t < T$ können nicht gemessen werden (z.B. Gegenstand vom Tisch fallen lassen).
2	09.10.	1.3.2	<b><u>Zeitmessung: Stoppuhr</u></b> Messung der Dauer eines Ereignisses mit Stoppuhr: intrinsisches Drehpendel („Unruh“), mit dem eine Zeiger-Anzeige betrieben wird. Genauigkeit der Anzeige: $\Delta t = 0,1$ s. Die Genauigkeit wird außerdem durch die Präzision des „Drückens“ von Start zu Stopp beeinflusst. Faustregel bei guter Konzentration: Fehler des einmaligen Drückens: $\pm 0,2$ s; Gesamtfehler von Start + Stopp: $\pm 0,3$ s.
3	09.10.	1.3.2	<b><u>Zeitmessung: Oszilloskop</u></b> Periodische Schwingung eines Quarzkristalls erzeugt einen sehr schnellen internen „Takt“. Eingeleitete elektrische Signale werden mit diesem Takt verglichen und sichtbar gemacht. Beispiel: Laufzeit eines kurzen elektrischen Signals in einem Kabel: Messung mit der Genauigkeit von einigen 10 Nanosekunden.
4	10.10.	1.3.2	<b><u>Zur Definition des Meters</u></b> Modellexperiment: Wir messen die Laufzeit eines elektr. Signals durch ein Kabel der Länge $L = 53,6$ m und erhalten $t = 548$ ns. Weil das Kabel zweimal durchlaufen wird, ergibt sich die Geschw. $v = 1,956 \cdot 10^8$ m/s, fast $2/3$ der Lichtgeschwindigkeit $c_0$ im Vakuum. Früher wurde auch $c_0$ auf diese Art gemessen. Inzwischen wurde der Wert von $c_0$ fest und konstant definiert – wenn man nun ein solches Experiment macht, kann man daraus also nicht den Wert von $c_0$ messen, sondern die Länge.
5	10.10.	1.3.2	<b><u>Längenmessung: verschiedene Genauigkeiten</u></b> Der Durchmesser einer Kugel wird mit einem Messstock (Genauigkeit einige Millimeter), einem Lineal (Genauigkeit ca. 0,5 mm), einer Schiebelehre mit Nonius (Genauigkeit 0,05 mm) und mit einer Mikrometerschraube gemessen (Genauigkeit besser als 0,01 mm). Dementsprechend muss das Ergebnis mit unterschiedlich vielen Kommastellen angegeben werden. Alle genaueren Messungen liegen innerhalb der Fehlergrenzen der ungenaueren, was zeigt, dass alle Messungen „in Ordnung“ waren.
6	10.10.	1.3.2	<b><u>Längenmessung: Interferometer</u></b> In einem Interferometer wird Licht geteilt und wieder zusammengeführt, sodass ein Interferenzmuster entsteht (helle und dunkle Streifen). Ein Spiegel ist an einem Objekt befestigt, dessen Bewegung vermessen wird. Wenn sich Spiegel bewegt, verschiebt sich das Muster, wobei eine Verschiebung um einen ganzen Interferenzstreifen bedeutet, dass der Spiegel um eine halbe Wellenlänge verschoben wurde. Mit Lichtwellenlängen um 500 nm erhält man eine Genauigkeit von ca. 10 nm.

7	10.10.	1.3.2	<p><b><u>Massenmessung:</u></b>          Waage: Eine unbekannte Masse wird mit genormten Gewichtsstücken verglichen, deren Masse schlussendlich auf das Urkilogramm zurückgeführt werden kann (oder auf ein modernes Massenormal). Damit auch Massedifferenzen verlässlich angezeigt werden können, ist ein Hebelsystem erforderlich (→ später).</p>
8	10.10.	1.3.2	<p><b><u>Masse: träge und schwere Masse</u></b>          Ein Wagen wird horizontal beschleunigt, indem vorne ein Faden befestigt ist, der mit einer Umlenkrolle an einem senkrecht hängenden Gewicht befestigt ist. Die Beschleunigung ist umso kleiner, je mehr Masse der Wagen hat (bei gleichem Gewicht für den „Antrieb“). Dies zeigt uns, dass die Masse auch die Eigenschaft „Trägheit“ besitzt.</p>
9	16.10.	2.1.1	<p><b><u>Positionsmessung <math>x(t)</math>:</u></b>          Messung der Zeit <math>t_i</math> an festen Positionen <math>x_i</math> (anstatt Messung der Position zu bestimmten Zeiten): Eine Kugel rollt durch drei Lichtschranken, deren Position vorab genau bekannt ist. Jede Lichtschranke liefert ein Zeitsignal, wenn die Kugel dort ankommt, sodass dann die drei Wertepaare <math>(x_1, t_1)</math>, <math>(x_2, t_2)</math> und <math>(x_3, t_3)</math> bekannt sind. aus denen man grob eine Funktion <math>x(t)</math> ermitteln könnte (viel besser, wenn man mehr Wertepaare hätte).</p>
10	16.10.	2.1.2	<p><b><u>Bestimmung mittlerer Geschwindigkeiten:</u></b>          Aus der Differenz von je zwei Positionen und der Differenz der zugehörigen Zeitpunkte können mittlere Geschwindigkeiten berechnet werden.</p>
11	16.10.	2.1.2	<p><b><u>Messung momentaner Geschwindigkeiten:</u></b>          Jede Lichtschranke liefert zwei Zeitwerte: Unterbrechung des Lichts, wenn die Kugel beginnt, den Lichtstrahl zu blockieren und Ende der Unterbrechung (wenn der Lichtstrahl wieder zum Detektor durchkommt). Als „Entfernung“ wird der Durchmesser der Kugel genommen (um so viel hat sie sich zwischen den beiden gemessenen Zeiten weiterbewegt). Daraus erhält man die Geschwindigkeit beim Durchlaufen des Lichtschrankens (immer noch gemittelt, aber über viel kürzere Zeit).</p>
12	16.10.	2.1.2	<p><b><u>Geschwindigkeitsmessung mit Fliehkraftmesser:</u></b>          An einer rotierenden Achse ist ein Fliehkraftregler befestigt: Das sind zwei Kugeln, die an Stangen seitlich an der Achse hinunter hängen. Wenn sich die Achse samt den Kugeln dreht, werden sie von der „Fliehkraft“ von der Achse weggedrückt und steigen dadurch höher, und zwar je nach Drehgeschwindigkeit. Die erreichte Höhe kann mechanisch auf einen Zeiger für einen „Tachometer“ übertragen werden.</p>
13	17.10.	2.1.3	<p><b><u>Sichtbarmachung beschleunigter Bewegung:</u></b>          Aus einem Flüssigkeitstank fallen mit regelmäßiger Frequenz kleine Tropfen nach unten. Dies wird mit einem „Strobsokop“ beleuchtet, das ist eine Lampe, die mit fester Frequenz kurze Lichtblitze abstrahlt. Dadurch sieht man immer wieder den „Schnappschuss“ einer Tropfenkette, deren Abstand nach unten hin gleichmäßig zunimmt. Weil die Tropfen alle denselben Zeitabstand haben, ist dieser wachsende Abstand ein Maß für die zunehmende Geschwindigkeit.</p>

14	23.10.	2.2.2	<b><u>Waagrechter Wurf:</u></b> Ein kleiner Ball wird auf einer waagrechten Tischplatte beschleunigt und fällt dann auf den Boden. Besonders in einer Zeitlupenaufnahme erkennt man die Parabelform der Flugkurve: Die Bahn wird immer steiler und nähert sich von der Waagrechten immer weiter an die Senkrechte an.
15	23.10.	2.2.2	<b><u>Schiefer Wurf:</u></b> In einer Federwurfmaschine wird in einem Rohr eine Feder mit einer wohldefinierten Kraft gespannt und arretiert. Eine kleine Stahlkugel wird ins Rohr gegeben, dann wird die Feder freigegeben, entspannt sich und schleudert die Kugel aus dem Rohr. Der Winkel des Rohrs kann auf Werte zwischen 0 und 90° eingestellt werden. Hier wurde gezeigt, dass die Kugel am weitesten fliegt, wenn der Winkel im Bereich von 45° eingestellt ist.
16	23.10.	2.2.2	<b><u>Drehbewegung:</u></b> Immer, wenn ein Körper eine Richtungsänderung durchmacht, wirkt eine Zentripetalbeschleunigung, die in Richtung auf den Krümmungsmittelpunkt der Bahnkurve zeigt. Dies kann sichtbar gemacht werden, indem eine Kreisbewegung von der Seite betrachtet wird: Man sieht den kreisenden Punkt nun hin und her laufen. Besonders an den Umkehrpunkten ist klar, dass eine Beschleunigung (= Änderung der Geschwindigkeit) wirkt, die genau zum Mittelpunkt zeigt.
17	23.10.	3.1.1	<b><u>Trägheitsprinzip:</u></b> Ein Holzklotz, eine hölzerne Rolle und eine Stahlkugel werden auf dem Boden in Bewegung gesetzt. Je kleiner die Reibungskraft ist, desto mehr nähert man sich dem Ideal des „kräftefreien Körpers“, der sich mit konstanter Richtung und Geschwindigkeit weiterbewegen muss.
18	23.10.	3.1.3	<b><u>Reaktionsprinzip</u></b> Wenn man von einem fahrbaren Untersatz nach vorne abspringt, bewegt sich das Gefährt nach hinten los. Hier: abspringen von einem fahrbaren Tisch.
19	24.10.	3.2.2	<b><u>Messung der Erdbeschleunigung:</u></b> Ein kleines Metallstück wird von einem Elektromagneten festgehalten. Sobald dieser ausgeschaltet wird, fällt das Metallstück hinunter und landet nach 50,0 cm auf einem Schalter, der beim Aufprall auslöst. Magnet-Ausschalten und Schalter-Signal werden auf einem Oszilloskop dargestellt, wo sich die Zeitdifferenz genau messen lässt. Daraus bekommt man $g$ sehr genau (Annahme: konstant beschl. Bewegung)
20	24.10.	3.2.2	<b><u>Cavendish-Waage</u></b> Das klassische Experiment zum Bestimmen der Gravitationskonstante (Beschreibung: Ende dieser Datei!)
21	30.10.	3.2.3	<b><u>Federkraft</u></b> An eine oben befestigte Spiralfeder werden unten mehr und mehr immer gleiche Massen angehängt. Man sieht, dass die Länge mit jeder dazu kommenden gleichen Masse $m$ um das gleiche Stück $\Delta L$ ausdehnen muss, um die nötige Federkraft zum Kompensieren der Schwerkraft aufzubringen. Federkraft und Auslenkung sind also proportional.

22	30.10.	3.2.4	<p><b><u>Gleitreibung:</u></b> Auf einem breiten Gummiband (so wie ein Laufband) liegt ein Holzstück und wird mittels Federwaage festgehalten. Wenn das Band unter dem Holzstück weggezogen wird, messen wir an der Federwaage eine Kraft (Gleitreibung!), die im Wesentlichen konstant bleibt, auch wenn sich das Tempo des Bandes verändert. Wenn das Holzstück mit Gewichten beschwert wird, wird die gemessene Kraft größer (proportional zum Massenzuwachs).</p>
23	30.10.	3.2.4	<p><b><u>Trockene Reibung:</u></b> Ein Holzstück liegt auf einem schiefen Brett. Die Neigung ist so eingestellt, dass es gerade nicht wegrutscht. Durch einen leichten Schlag setzt es sich in Bewegung und bleibt dann nicht mehr stehen, sondern rutscht mit zunehmender Geschwindigkeit das Brett hinunter. Man erkennt: Wenn die Haftreibung gerade überwunden ist, „übernimmt“ die Gleitreibung. Da diese deutlich kleiner ist als die Haftreibung, ist die Hang-Abtriebskraft nun deutlich größer als die Reibung, sodass eine nennenswerte Beschleunigungskraft vorhanden ist.</p>
24	30.10.	3.2.4	<p><b><u>Viskose Reibung:</u></b> Eine kleine Kugel fällt in einem mit Öl gefüllten Rohr nach unten. Dabei erreicht sie rasch eine Endgeschwindigkeit, bei der sich die viskose Reibung und die Schwerkraft gegenseitig aufheben. Aus der Messung dieser Geschwindigkeit kann die Zähigkeit der Flüssigkeit bestimmt werden. Darum heißt dieses Gerät „Kugelfallviskosimeter“.</p>
25	31.10.	3.2.6	<p><b><u>Zentripetalkraft:</u></b> Auf einem Drehtisch befindet sich – im Zentrum befestigt – eine Federwaage, an der eine Rolle hängt, die durch die Trägheit dazu drängt, den drehenden Tisch zu verlassen. Die Federwaage stellt durch ihre Federkraft die Zentripetalkraft zur Verfügung, die benötigt wird, um die Rolle auf der Kreisbahn zu halten. Diese Kraft kann somit gemessen werden und wird mit Radius und Bahngeschwindigkeit nachgerechnet.</p>
26	31.10.	3.3.1	<p><b><u>Weiterleiten von Kräften:</u></b> Zwei Federwaagen hängen übereinander, unten wird ein Gewicht angehängt. Beide Federwaagen zeigen das ganze Gewicht an (die obere sogar etwas mehr: auch Gewicht der unteren Federwaage!).</p>
27	31.10.	3.3.1	<p><b><u>Aufteilen von Kräften:</u></b> Zwei Federwaagen hängen nebeneinander. An beiden unteren Enden ist eine weitere Federwaage befestigt, an der ein Gewicht hängt. Die untere Federwaage zeigt doppelt so viel Gewicht an wie jede der beiden oberen, weil die Gewichtskraft auf beide aufgeteilt wird. Wenn oben eine und unten zwei Federwaagen hängen, ist das ebenso: Das Gesamtgewicht teilt sich auf beide auf.</p>
28	31.10.	3.3.1	<p><b><u>Aufteilen von Kräften:</u></b> Auf der schiefen Ebene liegt eine Rolle, die über Faden und Umlenkrad mit einem frei hängenden Gewicht verbunden ist. Das Gewicht ist viel leichter als die Rolle und kann sie trotzdem im Gleichgewicht halten, weil ein Teil der Schwerkraft der Rolle als „Normalkraft“ auf die Ebene wirkt.</p>

29	31.10.	3.3.1	<p><b>Flaschenzug:</b></p> <p>Ein 4-fach-Flaschenzug ist so aufgebaut, dass das unten angehängte Gewicht von 4 nebeneinander hängenden Fäden gehalten wird. Eigentlich ist das nur ein Faden, der über insgesamt drei Rollen geführt wird. Dadurch wird am Ende die Kraft von 3 der 4 Fäden auf einen festen haken übertragen, nur einer ist frei. Dort muss man nur ein Viertel des Gewichts festhalten; wenn man das Gewicht haben will, ist nur dies reduzierte Kraft nötig (plus Reibung), der Faden muss aber viermal weiter gezogen werden als das Gewicht in die Höhe kommt.</p>
30	06.11.	3.3.4	<p><b>Kreisbewegung 1:</b></p> <p>Eimer, zum Teil mit Wasser gefüllt, wird am gestreckten Arm um eine waagrechte Achse gedreht. Wasser bleibt drin, wenn die Rotation schnell genug ist, auch wenn der Eimer gerade kopfüber ist.</p> <p>Grund: Damit das Wasser auf der Kreisbahn bleibt, braucht es eine Zentripetalkraft, die größer ist als die Schwerkraft (Rest wird durch statische Kräfte bereitgestellt) – also ist kein Kraftanteil übrig, der das Wasser noch näher an den Bahnmittelpunkt heranziehen könnte.</p>
31	06.11.	3.3.4	<p><b>Kreisbewegung 2:</b></p> <p>Eine kleine Metallstange wird auf eine waagrechte Platte gestellt, die an vier Fäden hängt. Wenn man die Platte schnell genug rotiert, bleibt die Stange innen auf der Platte „stehen“, auch wenn sie gerade waagrecht oder sogar kopfüber „steht“, weil die Zentripetalkraft, die von der Platte ausgeübt wird, in jedem Moment größer ist als die Schwerkraft.</p>
32	06.11.	3.3.4	<p><b>Rotation und Reibung:</b></p> <p>Ein kleines Objekt (Radiergummi) liegt auf einer rotierenden Scheibe. Bei einer gewissen Drehgeschwindigkeit setzt er sich in Bewegung und fliegt außen von der Scheibe: Wenn die Haftreibung die nötige Zentripetalkraft nicht aufbringen kann, kann die dann einetzende (kleinere!) Gleitreibung das schon gar nicht. Die Gleitreibung verändert Tempo und Richtung des Objekts, kann aber nicht verhindern, dass es nach außen getragen wird.</p>
33	06.11.	3.3.5	<p><b>Luftreibung:</b></p> <p>Fallenlassen „gleicher“ Kugeln (gleicher Radius und Oberfläche) mit unterschiedlicher Masse (Tischtennisball und Stahlkugel). Stahlkugel fällt schneller, obwohl im Vakuum beide gleich schnell wären und die Reibungskraft genau gleich ist: Hier geht es ums Verhältnis aus Schwerkraft und Reibungskraft, das für die Stahlkugel größer ist.</p>
34	07.11.	3.3.6	<p><b>Federpendel:</b></p> <p>An eine senkrecht hängende Spiralfeder werden verschieden Massen gehängt und zum Schwingen gebracht. Beobachtungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je größer die Masse ist, desto länger wird die Periodendauer.</li> <li>- „Weichere“ Feder macht längere Periodendauer auch länger.</li> <li>- Die Anfangs-Auslenkung spielt keine Rolle: Periodendauer immer gleich.</li> </ul>
35	07.11.	3.3.7	<p><b>Gespannte Leine:</b></p> <p>An eine waagrecht straff gespannte Leine wird mittig ein kleines Gewicht gehängt, wodurch sie in der Mitte ein wenig durchhängt. Ein Kraftmesser an einem Aufhängepunkt zeigt deutlich mehr an als die Gewichtskraft.</p>