

87	09.01.	6.2.2	<p><u>Biegung eines einfach eingespannten Stabs</u> Ein Stab wird mit verschiedenen Gewichten am freien Ende belastet. Die Durchbiegung ist genau proportional zur Belastung. Zwei geometrisch gleiche Rundstäbe aus Messing und aus Stahl werden mit demselben Gewicht belastet. Der Messingstab biegt sich ca. zweimal so weit durch. Ein rechteckförmiger Stab (Seitenverhältnis 2:1) wird einmal über die Längs- und einmal über die Schmalseite gebogen, indem dasselbe Gewicht angehängt wird. Ersteres macht viermal stärkere Durchbiegung.</p>
88	09.01.	6.2.2	<p><u>Biegung eines beidseitig aufliegenden Stabs</u> Ein metallener Rundstab liegt an den beiden Enden auf Schneiden, ist aber nicht eingespannt. In der Mitte wird er mit einem Gewicht belastet und biegt sich symmetrisch durch. Ein 2,5-mal dickerer Rundstab aus demselben Material biegt sich ca. 40 Mal weniger durch, weil das Flächenträgheitsmoment mit der 4. Potenz des Radius skaliert.</p>
89	15.01.	6.2.3	<p><u>Scherung eines Quaders:</u> Ein Quader aus Schaumstoff hat an der Boden- und Deckfläche jeweils eine steife Plastikplatte aufgeklebt. Die Bodenplatte wird festgehalten, die Deckplatte wird durcheine waagrechte Kraft verschoben. Dadurch werden die vorher senkrechten Seitenwände des Quaders schräg.</p>
90	15.01.	6.2.3	<p><u>Torsionsschwingung:</u> An einem dünnen Stahlseil hängt eine Halterung, in der ein Metallstab mittig so befestigt ist, dass er waagrecht hängt. Anfangs ist Anordnung in Ruhe. Wenn der Metallstab um eine senkrechte Achse verdreht wird, dreht er sich langsam zurück in die Ausgangsstellung und darüber hinaus: Es entsteht eine Drehschwingung, die von der Torsion des Drahts angetrieben wird.</p>
91	15.01.	6.3.1	<p><u>Hydraulische Presse:</u> Eine Flüssigkeit befindet sich in einem geschlossenen Gefäß. In einem Kolben mit kleinem Durchmesser wird ein Stempel nach unten gedrückt. Dies geschieht fast mühelos mit Hilfe eines Hebels. Gleichzeitig drückt in einem zweiten Kolben ein großer Stempel nach außen, an dem im Experiment Kräfte bis zu 2 kN verfügbar waren, um ein Gummi-Objekt zu komprimieren.</p>
92	16.01.	6.3.2	<p><u>Magdeburger Halbkugeln:</u> Zwei Halbkugeln (Innendurchmesser 9,0 cm) werden dicht aufeinander gesetzt und ihr Innenraum wird ausgepumpt (Restdruck $p < 1$ mbar). Danach lassen sich die Halbkugeln nicht mehr trennen. Z.B. wird die obere Halbkugel festgehalten und an die untere ein 15-kg-Gewicht gehängt: trotzdem bleiben sie fest zusammen. Wenn wieder Luft eingelassen wird, fallen die Halbkugeln von selbst auseinander.</p>
93	16.01.	6.3.2	<p><u>Kommunizierende Gefäße (statisch):</u> Aus einem waagrecht Glasröhrchen ragen fünf Glasröhrchen senkrecht nach oben. Das waagrechte Rohr ist an einem Ende verschlossen und am anderen mit einem Reservoir-Gefäß verbunden. Das Wasser steht in allen 5 Röhrchen und im Reservoir gleich hoch.</p>

94	16.01.	6.3.2 6.4.1 6.4.2	<u>Kommunizierende Gefäße (mit Strömung):</u> In der Anordnung von oben (Glasröhrchen mit fünf nach oben ragenden Röhrchen daran) wird der Verschluss abgenommen, sodass das Wasser aus dem Reservoir durch das waagrechte Röhrchen strömt und am offenen Ende austritt. Das waagrechte Röhrchen hat in der Mitte (beim dritten hochstehende Rohr) eine Engstelle. Wir beobachten, dass der Wasserspiegel in den Röhrchen nun tendenziell in Fließrichtung abnimmt; am tiefsten ist er aber in der Mitte (an der Engstelle), davor deutlich höher und dahinter knapp höher.
95	16.01.	6.3.2	<u>Auslaufgefäß:</u> Ein hoher, schmaler Behälter hat in drei verschiedenen Höhen je ein kleines Loch. Wenn der Behälter mit Wasser gefüllt ist, strömt aus jedem Loch ein feiner Wasserstrahl. Die Ausflussgeschwindigkeit steigt stark vom oberen zum unteren Loch (Grund: nach unten zunehmender Druck), was man anhand der Geometrie der Strahlen qualitativ erkennt.
96	16.01.	6.3.3	<u>Auftrieb:</u> Ein Gefäß voll Wasser steht auf einer Waage. Nun wird von oben eine Stahlkugel mit bekanntem Volumen an einem Faden ins Wasser hängen gelassen, so dass sie vollständig eintaucht, aber nicht am Boden aufliegt. Die Waage zeigt einen Anstieg des Gewichts genau um die Gewichtskraft des verdrängten Wassers (der Rest der Kugelmasse hängt immer noch am Faden).
97	22.01.	6.3.3	<u>Cartesischer Taucher:</u> In einem Glas voll Wasser schwimmt ein Objekt, das innen hohl ist und unten eine Öffnung hat. Der Hohlraum ist mit so viel Luft gefüllt, dass das Objekt gerade noch an der Wasseroberfläche schwimmt. Ganz oben im Glas ist Luft, und das Glas ist mit einem flexiblen Deckel dicht verschlossen. Wenn man auf den Deckel drückt, sinkt das Objekt im Wasser ab: Der Druck im Glas erhöht sich (Luft wird komprimiert), dadurch wird der Druck unter Wasser auch größer und die Luft im Objekt wird auch komprimiert, sodass von unten mehr Wasser hineinfließt, sodass es nun so schwer ist, dass es untergeht.
98	22.01.	6.3.3	<u>Verdrängungswaage:</u> In einem Becherglas schwimmt ein becherartiger Körper, der außen eine Skala aufgemalt hat, die auf Null steht. Wenn man irgendwas in den Schwimmkörper gibt, sinkt dieser tiefer ein – die Skala gibt dann eingefüllte Masse an.
99	22.01.	6.3.3	<u>Stabiles Schwimmen:</u> Ein leeres Reagenzglas kann in Wasser nicht stabil schwimmen, sondern fällt um und legt sich auf die Seite. Wenn man die richtige Menge Wasser einfüllt, schwimmt es aufrecht und stabil.
100	22.01.	6.3.4	<u>Druckmessung: Dosenbarometer</u> Eine Metalldose ist mit einer bestimmten Gasmenge gefüllt. Wenn sich der Außendruck ändert, wölben sich Deckel und Boden nach außen oder innen. Diese kleine Bewegung wird über ein mechanisches Hebelsystem verstärkt und auf einen Zeiger übertragen, der den Außendruck anzeigt.

101	22.01.	6.3.4	<u>Druckmessung: U-Rohr-Manometer:</u> Ein U-Rohr aus Glas ist zum Teil mit Wasser gefüllt. Eines der beiden Rohre ist mit einem Stopfen luftdicht verschlossen. Das andere Rohr ist offen, sodass hier der aktuelle Luftdruck auf den Wasserspiegel drückt. Gleichstand der Wasserspiegel ist nur möglich, wenn der Druck „innen“ und „außen“ gleich ist. Wenn sich der Außendruck ändert (z.B. steigt), wird die Wassersäule verschoben (z.B. tiefer auf der Außenseite und höher auf der verschlossenen Seite), sodass die Luft im verschlossenen Teil komprimiert oder verdünnt wird (hier z.B. dichter, also höherer Druck). Die Druckdifferenz kann also nicht nur aus der Höhendifferenz der beiden Wasserspiegel bestimmt werden.
102	22.01.	6.3.5	<u>Oberflächenspannung mit Ring:</u> Ein Metallring ist an drei Fäden genau waagrecht aufgehängt (Symmetrieachse senkrecht). Der Untere umfang ist als dünne Schneide ausgebildet. Wenn der Ring mit dieser Seite auf eine Wasserfläche aufgesetzt und hochgezogen wird, bildet sich unter der Schneide ein senkrechter Wasserfilm aus, der mit hochgezogen wird. Dabei wird die Kraft auf den Ring immer größer (gemessen mit Federwaage). Bei Erreichen der Oberflächenspannung reißt der Wasserfilm.
103	22.01.	6.3.5	<u>Randwinkel in einem Gefäß:</u> Wenn man von der Seite durch ein Glasgefäß mit quadratischem Querschnitt schaut, sieht man, wie das Wasser am Rand hochgezogen wird. Der Effekt ist wesentlich stärker in einem Glasgefäß, dessen Querschnitt ein Dreieck mit einem sehr spitzen Winkel ist: in dieser Ecke wird das Wasser sehr stark hochgezogen.
104	22.01.	6.3.5	<u>Randwinkel von Wassertropfen:</u> Wasser wird aus einer Spritze auf eine waagrechte Gummioberfläche aufgebracht – es entsteht ein nahezu halbkugelförmiger Tropfen (Randwinkel $\alpha \approx 90^\circ$). Dasselbe auf einer sauberen Glasplatte ergibt einen sehr flachen Tropfen mit einem Randwinkel weit unter 10° .
105	22.01.	6.3.5	<u>Kapillarität:</u> Mehrere dünne Glaskapillaren mit kleinem Innendurchmesser sind nebeneinander so angebracht, dass alle mit einem Ende in eine Flüssigkeit ragen. In allen wird die Flüssigkeit hochgezogen – umso mehr, je dünner die Kapillare ist.
106	23.01.	6.4.1	<u>Venturi-Rohr:</u> Mit einem Gebläse wird Luft in ein Rohr geblasen, das sich konisch verengt und dann wieder erweitert. An mehreren Stellen sind kleine U-Rohre am Rohr angebracht (eine Öffnung mit dem Innenraum verbunden, die zweite mit außen). Ohne Strömung sind beide Wasserspiegel in allen U-Rohren gleich hoch. Mit Strömung steigt der Spiegel zum Rohr hin, umso mehr, je enger das Rohr ist.
107	23.01.	6.4.1	<u>Das hydrodynamische Paradoxon:</u> Zwei dünne Metallplättchen hängen parallel nebeneinander, jede oben drehbar gelagert, mit einem breiten Spalt dazwischen. Wenn man in diesen Spalt bläst, drückt man nicht etwa die Plättchen auseinander: Sie ziehen sich vielmehr an, sodass sich der Spalt da zwischen fast schließt.

108	23.01.	6.4.1	<u>Prandtl'sches Staurohr:</u> Ein Luftstrom wird von vorne auf ein dünnes Rohr geleitet. Vorne hat das Rohr eine kleine Öffnung, die mit einem Arm eines U-Rohrs verbunden ist. An der Seite des Rohrs gibt es mehrere Löcher, die mit dem zweiten Arm des U-Rohrs verbunden sind. Vorne liegt der Gesamtdruck an (keine vorbeiströmende Luft). An der Seite ist der stat. Druck wegen der vorbeiströmenden Luft um den Staudruck reduziert. Das U-Rohr zeigt also den Staudruck an; hier ist an der Skala die Strömungsgeschw. angeschrieben.
109	23.01.	6.4.1	<u>Zerstäuber:</u> Ein Luftstrom wird waagrecht über das obere Ende eines Steigrohrs geblasen, das in eine Flüssigkeit ragt (z.B. Parfum). Der Staudruck senkt den statischen Druck im Steigrohr: Flüssigkeit wird hochgepumpt und in den Luftstrom gezogen, wobei sie in feine Tröpfchen „zerstäubt“.
110	23.01.	6.4.1	<u>Ball im Luftstrom:</u> Ein Fön bläst schräg nach oben. Wenn man einen Tischtennisball in den Luftstrom gibt, bleibt er in einer gewissen Höhe vom Fön stabil in der Luft. Genaue Beobachtung zeigt, dass sich der Ball unterhalb der Mittellinie der Strömung befindet: Dann ist der statische Druck über dem Ball kleiner (hohe Strömungsgeschwindigkeit) und darunter größer.
111	23.01.	6.4.1	<u>Strömung um ein Flügelprofil:</u> Eine Luftströmung in einem geschlossenen Kreislauf ist sichtbar, weil kleine Metallfolien-Schnipsel beigefügt sind. Ein Profil von der Form eines Flugzeugflügels wird in die Strömung eingebracht (oben gewölbt, unten flach, vorne abgerundet, hinten spitz zulaufend). Die Strömung läuft oben schneller am Flügel vorbei als unten (Unterdruck!). Wenn der Flügel verkippt wird (vorne hoch!), wird dieser Effekt noch stärker. Wenn der Kippwinkel zu groß wird, reißen die Stromlinien ab und es bilden sich über dem Flügel Wirbel, die den Auftrieb massiv absenken.
112	23.01.	6.4.1	<u>Magnus-Effekt:</u> Eine zylindrische Stange rollt eine schiefe Ebene hinunter und fällt am Ende in ein Wasserbecken. Dort fällt sie nicht einfach hinunter, sondern beschreibt einen Bogen, der sie unter die schiefe Ebene führt und setzt sich erst dann auf dem Boden des Beckens nieder.
113	29.01.	6.4.2	<u>Rotationsviskosimeter:</u> Ein Zylinder dreht sich in einer Flüssigkeit und wird dazu über eine Spiralfeder von einer Achse auf konstanter Winkelgeschwindigkeit gehalten. Die Deformation der Feder ist ein Maß für die Viskosität.
114	29.01.	6.4.2	<u>Ausflussviskosimeter:</u> Ein hohes mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß kann unten durch eine lange, dünne waagrechte Kapillare (Länge und Durchmesser bekannt) entleert werden. Druckdifferenz (aus Höhendifferenz!) und Volumenfluss werden gemessen. Dies ergibt nach Hagen-Poiseuille die Viskosität.
115	29.01.	6.4.2	<u>Kugelfallviskosimeter:</u> Eine Kugel „fällt“ in einem schräg stehenden Rohr voller Flüssigkeit. Der Rohr-Innendurchmesser ist nur knapp größer als der Kugeldurchmesser. Dadurch fällt die Kugel recht langsam. Zähigkeit $\eta \sim 1/\nu$

Cavendish-Waage (zu Versuch Nr. 20)

2 Testmassen m (jeweils $m = 15 \text{ g}$) auf einem Stab, jeweils $d = 5 \text{ cm}$ von der Mitte des Stabs entfernt.
(Gesamtlänge des Stabs: $2d = 10,0 \text{ cm}$).

Trägheitsmoment des Stabs mit den beiden Kugeln bei Drehung um seinen Mittelpunkt:

$$I_0 = 2 \cdot m \cdot d^2 \quad (\text{„2“ wegen 2 Massen}).$$

Periodendauer der Drehschwingung dieser „Hantel“ (an Torsionsfaden im Zentrum aufgehängt):

$$t_0 = 520 \text{ s} \pm 30 \text{ s} \quad (\text{Messung Hr. Wenz})$$

Daraus Richtmoment κ des Torsionsfadens

$$t_0 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I_0}{\kappa}} \quad \rightarrow \quad \kappa = 4\pi^2 \cdot \frac{I_0}{t_0^2} = 4\pi^2 \cdot 2m \cdot \frac{d^2}{t_0^2}$$

Anziehung der kleinen mit jeweils einer großen Kugel (Masse $M = 1,5 \text{ kg}$) über Abstand $b = 5 \text{ cm}$ gibt Drehmoment:

$$D = 2 \cdot F_g \cdot d = 2 \cdot G \cdot \frac{M \cdot m}{b^2} \cdot d$$

Stationär ist das gleich wie das rücktreibende Moment durch den Torsionsfaden $D = -D_r \cdot \varphi$
Gleichsetzen und Einsetzen von D_r ergibt:

$$2 \cdot G \cdot \frac{M \cdot m}{b^2} \cdot d = 4\pi^2 \cdot 2m \cdot \frac{d^2}{t_0^2} \cdot \varphi \quad \rightarrow \quad G = 4\pi^2 \cdot \frac{b^2}{t_0^2} \cdot \frac{d}{M} \cdot \varphi$$

Hier ist für φ der Drehwinkel einzusetzen zwischen Ruhelage der „Hantel“ und Auslenkung, wenn die Bleikugeln auf einer Seite dran sind. Gemessen wurde der vierfache Winkel 4φ : Erstens wurde der Winkelunterschied zwischen Anziehung auf einer Seite und auf der anderen Seite betrachtet, nicht zur Ruhelage, also 2φ . Außerdem wurde jeder Winkel doppelt gemessen (reflektierter Laserstrahl).

Messergebnis: $4\varphi = 55 \text{ mm}$ Abweichung / 350 cm Weglänge Spiegel-Messstock.

Macht also: $4\varphi = 0,90^\circ \rightarrow \varphi = 0,225^\circ = 3,93 \text{ mrad}$

Einsetzen: $G = 4\pi^2 \cdot \frac{0,05^2}{520^2} \cdot \frac{0,05}{1,5} \cdot 3,93 \cdot 10^{-3} = 4,78 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2)$