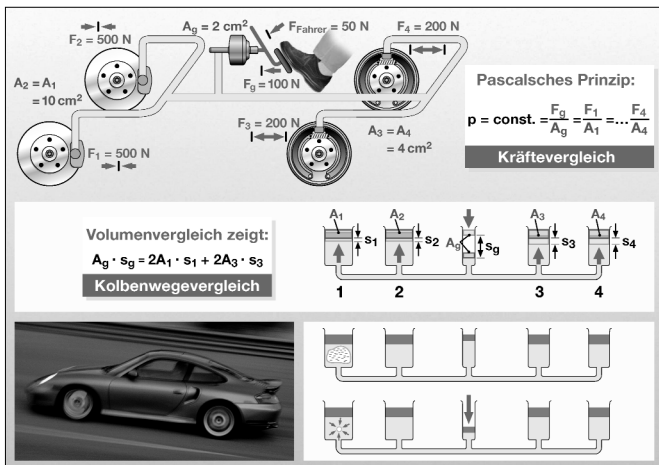


Transparent 4: Druck in Flüssigkeiten und Gasen



Einsatz des Transparents

Das Transparent zeigt am Beispiel des *hydraulischen Fahrzeug-Bremssystems* die Nutzung des „Pascalschen Prinzips“. Damit bezeichnet man die physikalische Erkenntnis, dass sich in geschlossenen Systemen, die ausschließlich Flüssigkeit enthalten, der Druck gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet.

Der Einsatz des *Transparents 4* und das verwendete Anwendungsbeispiel des Auto-Bremssystems empfiehlt sich als Vertiefung und Ergänzung des „Pascalschen Prinzips“, das gemäß Richtlinien in der 9. Klasse der Sekundarstufe I behandelt wird.

Inhalt des Transparents

Auf der Folie werden die Zusammenhänge deutlicher dargestellt als üblicherweise in den Physikbüchern. Zusätzlich wird hier auch quantitativ auf die unterschiedliche *Kraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse* ausführlich eingegangen (die Kraft ist ja im Gegensatz zum Druck nicht gleich!). Die quantitative Betrachtung der beim Bremsen wirkenden Kräfte wird in der zugehörigen *Kopiervorlage* vertieft.

Oben: Die Darstellung zeigt ein hydraulisches Bremssystem in vereinfachter Prinzipdarstellung. Über die üblichen Details hinaus, sind hier zusätzlich die Querschnittsflächen von Geberzylinder (= Hauptbremszylinder) und den Radbremszylindern an Vorder- bzw. Hinterachse angegeben. Da diese Querschnittsflächen an Vorder- und Hinterachse verschieden sind, wird auch die unterschiedliche Aufteilung der Bremskraft auf Vorder- und Hinterräder plausibel. In der Zeichnung wurden vereinfachte Zahlenangaben verwendet, so dass die zugehörigen Rechenschritte noch leicht nachvollziehbar sind.

Hinweis: Sollte zum Zeitpunkt des Einsatzes dieser Folie das Hebelgesetz noch nicht bekannt sein, müssten zur Begründung der Kraftverstärkung durch den

Hebel des Bremspedals bei den vorgegebenen einfachen Hebelarmen Erfahrungen der Schüler aus dem Mathematikunterricht über „Verhältnisse“ eingesetzt werden.

Mitte: Die Darstellung des Kolbenwegevergleichs zeigt, welche Wege die einzelnen beteiligten Arten von Kolben (Geberkolben, Kolben der vorderen Scheibenbremsen und Kolben der hinteren Trommelbremse) beim Bremsvorgang zurücklegen.

Hinweis: Zur Veranschaulichung des Prinzips sind die Kolbenwege größer als in Wirklichkeit dargestellt.

Unten rechts: Die Abbildung zeigt, was passiert, wenn Luft oder Gas in das Bremssystem gelangt. Dann ist die Bedingung nicht mehr erfüllt, dass das System ausschließlich mit Flüssigkeit gefüllt ist: Statt der erwünschten Kraftübertragung vom Fahrer auf die Radbremszylinder verkleinert sich durch den Druckaufbau nur das Volumen der eingeschlossenen Gasblase. Ein normaler Bremsvorgang ist nicht möglich.

Unten links: Das Foto einer glühenden Brems Scheibe soll den Schülerinnen und Schülern eine Möglichkeit für das Entstehen von Dampfblasen im System (also einer unerwünschten teilweisen Füllung mit Gas) vorstellen. Schülern ohne jegliche Erfahrung mit Autofahrten im Gebirge ist zu vermitteln, dass der rotglühende Zustand der Brems Scheibe nicht nur unter Laborbedingungen auf dem Prüfstand erreicht werden kann.

Der im Unterricht zu diesem Thema als Freilandversuch ausführbare Versuch mit einem Kolbenprober wird unbedingt empfohlen: Der Kolbenprober wird erst komplett mit Wasser, dann nur zu einem Teil mit Wasser gefüllt (Rest Luft). In beiden Fällen versucht man (oder lässt versuchen), den Kolbenprober zusammenzudrücken und zeigt so die unterschiedliche Wirkung.

Kopiervorlage

Lernziele:

- Die Schüler sollen ihre Kenntnisse des Pascalschen Gesetzes vertiefen und es in Sachaufgaben anwenden können.
- Die Schüler sollen zu den Fragestellungen angemessene und sachbezogene Überlegungen anstellen und ihre Vermutungen in fachlich korrekter Sprache äußern können.

Der Informationstext von *Kopiervorlage 4* und die Aufgabe oben auf der Kopiervorlage sollen den Schülerinnen und Schülern zeigen, dass die Darstellung auf dem Transparent zwar besonders übersichtlich ist, dass aber in der Praxis im Auto ein etwas komplizierteres Bremssystem (zu Gunsten größerer Sicherheit) eingebaut wird.

Lösung der Kopiervorlage

Aufgabe 1:

Tritt beim Einkreisbremssystem irgendwo ein Leck auf, kann gar kein Druck mehr im System aufgebaut werden. Beim Zweikreisbremssystem bleiben aber immer mindestens zwei Räder bremsbereit.

Den Hauptteil der Kopiervorlage bildet die quantitative Aufgabe zum **hydraulischen Bremssystem**. Die einzelnen Aufgabenteile bauen in logischer Folge aufeinander auf.

Aufgabe 2:

Zu a): Die Lösung erfordert Kenntnisse des Hebelgesetzes oder kann mit den Gesetzmäßigkeiten des Dreisatzes (direkte Proportionalität) durchgeführt werden. In jedem Falle ergibt sich ein Ansatz entsprechend folgendem Muster:

$$60 \text{ N} \times 24 \text{ cm} = F_g \times 8 \text{ cm} \Leftrightarrow \\ F_g = (60 \text{ N} \times 24 \text{ cm}) / 8 \text{ cm} = \underline{180 \text{ N}}$$

Zu b): Es gilt das Pascal'sche Gesetz:

$$p = \text{const.} = F_g / A_g = F_1 / A_1 = \dots = F_4 / A_4$$

Daraus ergibt sich der Ansatz:

$$F_g / A_g = F_1 / A_1 \\ \Leftrightarrow 180 \text{ N} / 1,2 \text{ cm}^2 = F_1 / 9 \text{ cm}^2 \\ \Leftrightarrow F_1 = (180 \text{ N} \times 9 \text{ cm}^2) / 1,2 \text{ cm}^2 \\ \Leftrightarrow F_1 = \underline{1350 \text{ N}} (= F_2)$$

Die Kraft, welche die Bremskolben der vorderen **Scheibenbremsen** auf die Bremsscheiben ausüben, beträgt also jeweils 1350 N.

Zu c): Entsprechend gilt für die Kraft auf die Bremsbeläge der hinteren **Trommelbremsen**:

$$\dots \Leftrightarrow 180 \text{ N} / 1,2 \text{ cm}^2 = F_3 / 3 \text{ cm}^2 \\ \Leftrightarrow F_3 (= F_4) = (180 \text{ N} \times 3 \text{ cm}^2) / 1,2 \text{ cm}^2 \\ = \underline{450 \text{ N}}$$

Zu d): Die Wege müssen klein sein, weil die Bremsen dann um so schneller und direkter auf den Pedaldruck hin ansprechen. Zur Ermittlung der Wege der Bremskolben („Lüftspiele“) kann man folgende Tatsache nutzen: Das Volumen $V_g = A_g \times s_g$, das der Geberkolben im Hauptbremszylinder durchfährt, muss gleich der Summe der entsprechenden Volumina in den Radbremszylindern sein.

$$A_g \times s_g = A_1 \times s_1 + A_2 \times s_2 + A_3 \times s_3 + A_4 \times s_4$$

Da die Volumina an beiden Vorderradbremmen und beiden Hinterradbremmen gleich sind, ergibt sich:

$$A_g \times s_g = 2 \times A_1 \times s_1 + 2 \times A_3 \times s_3 \\ \Leftrightarrow s_g = (2 \times A_1 \times s_1 + 2 \times A_3 \times s_3) / A_g \\ \Leftrightarrow s_g = (2 \times 9 \text{ cm}^2 \times 0,2 \text{ mm} + 2 \times 3 \text{ cm}^2 \times \\ 1 \text{ mm}) / 1,2 \text{ cm}^2 \\ = (3,6 \text{ cm}^2 \text{ mm} + 6 \text{ cm}^2 \text{ mm}) / 1,2 \text{ cm}^2 \\ = 9,6 \text{ cm}^2 \text{ mm} / 1,2 \text{ cm}^2 \\ \Leftrightarrow s_g = \underline{8 \text{ mm}}$$

Dies wäre der Weg, den der Geberkolben im Hauptbremszylinder zurücklegen müsste, bis die Bremsbeläge anliegen.

Zu e): Der Fahrer hat mit seinen Erfahrungen, wie tief er in der Praxis das Bremspedal treten muss, natürlich Recht. Der Wert von 8 mm berücksichtigt nämlich in keiner Weise das Leerspiel des Bremspedals. Bevor

die Kraft des Fahrerfußes auf den Hauptbremszylinder wirkt, muss das konstruktiv beabsichtigte Leerspiel der Pedalerie durchlaufen werden. Erst dann kann Bremskraft übertragen werden, und nur diese Phase ist in die Berechnungen eingegangen. Ein Verweis auf Erfahrungen der Schüler mit den Bremssystemen an ihren Zweirädern dürfte eine sinngemäß richtige Antwort hervorbringen.