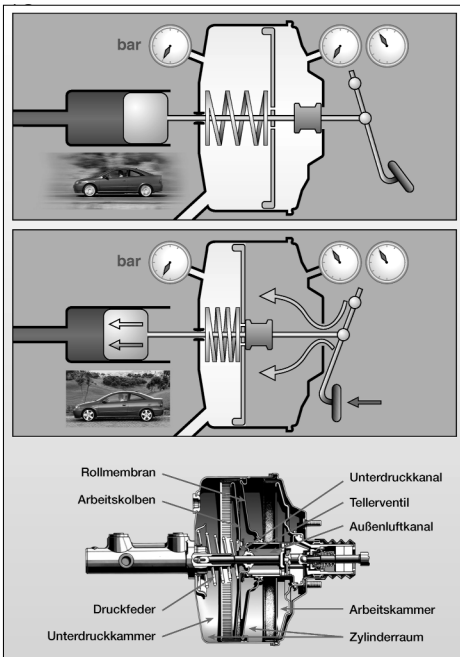


Transparent 5: Atmosphärischer Druck (Schweredruck)



Einsatz des Transparents

In den üblichen Physikbüchern gibt es zum Thema „Schweredruck in Flüssigkeiten und Gasen“ kaum technische Beispiele aus der heutigen Zeit. Mit dem auf dem Transparent erklärten **Bremskraftverstärker**, der ebenfalls **atmosphärischen Druck** nutzt, kann ein modernes Beispiel heutiger Technik im Unterricht behandelt werden, das die Schülerinnen und Schüler motiviert.

Der Vorgang der Bremsunterstützung für den Fahrer durch die Wirkung des äußeren Luftdrucks wurde auf der Folie für das Verständnis der Schüler vereinfacht.

Inhalt des Transparents

Oben und Mitte: Man erkennt auf den vereinfachten Darstellungen den so genannten **Unterdruck-Bremskraftverstärker** sowie das Bremspedal und links den Hauptbremszylinder mit der Druckleitung zu den Fahrzeugbremsen.

Die **Rohrleitung** an der linken Kammer des Bremskraftverstärkers ermöglicht den Unterdruck gegenüber der Außenluft:

- Beim **Ottomotor** verbindet sie die Kammer mit dem **Ansaugrohr** des Motors hinter dem Luftfilter. So entsteht bei laufendem Motor dort ständig ein mehr oder weniger starker Unterdruck, da der arbeitende Motor die Wirkung einer Luft absaugenden Kolbenpumpe hat.
- Beim **Dieselmotor** entstünde an derselben Stelle nicht genügend Unterdruck, da dessen Leistung nicht mit einer Drosselklappe im Ansaugkanal, son-

dern durch die Menge des von der Einspritzpumpe eingespritzten Kraftstoffes gesteuert wird. Deswegen wird beim Dieselmotor die linke Kammer des Bremskraftverstärkers über die erwähnte Leitung mit einer **separaten Unterdruckpumpe** verbunden, die vom Motor angetrieben wird.

Die drei dargestellten Dosenbarometer zeigen die jeweiligen Druckverhältnisse im System an. Zusätzlich ist geringerer Druck an einer helleren Farbgebung zu erkennen.

Das **obere Bild** zeigt den Zustand „**Fahrer bremst nicht**“. Das Ventil auf der rechten Seite schließt die Öffnung zur Außenluft ab und gibt die Öffnung zum Unterdruckbereich frei. Infolgedessen herrscht auf beiden Seiten des Arbeitskolbens der gleiche Druck, nämlich der Unterdruck, den das System erzeugt. Es wirkt keine Kraft auf den Arbeitskolben und damit auch nicht auf den Kolben im Hauptbremszylinder.

Das **untere Bild** zeigt den Zustand einer **Vollbremsung**: Der Fahrer tritt das Bremspedal voll durch und erzeugt zum einen über die Druckstange Kraft auf den Kolben des Hauptbremszylinders. Zum anderen schiebt er das oben erwähnte Ventil nach links. Dadurch wird die Öffnung zwischen der rechten und linken Kammer des Bremskraftverstärkers geschlossen und die Öffnung zwischen der rechten Kammer und der Außenluft geöffnet. Die unter normalem Luftdruck stehende Außenluft dringt nun in die rechte Kammer ein. Da die linke Kammer nach wie vor unter Unterdruck verbleibt, wirkt eine zusätzliche Kraft von rechts auf den Arbeitskolben bzw. die Druckstange, und verstärkt bei entsprechend großer Fläche des Arbeitskolbens deutlich die Kraft des Fahrers.

Bei einer normal starken Bremsung reagiert der echte Bremskraftverstärker mit einer angemessenen Teil-Unterstützung. Die Vorgänge sind allerdings zu kompliziert, um sie in dieser vereinfachten Version darstellen zu können.

Unten: Die technische Abbildung zeigt den Schülerinnen und Schülern wie ein Unterdruck-Bremskraftverstärker tatsächlich aussieht.

Kopiervorlage

Kopiervorlage 5 enthält eine quantitative Aufgabe zu der Wirkung des oben beschriebenen Bremskraftverstärkers. Die verwendeten Daten sind reale Fahrzeugdaten. Für die Schüler verblüffend ist, welche zusätzliche Bremswirkung der nicht stark vom normalen Luftdruck abweichende Unterdruck hervorrufen kann.

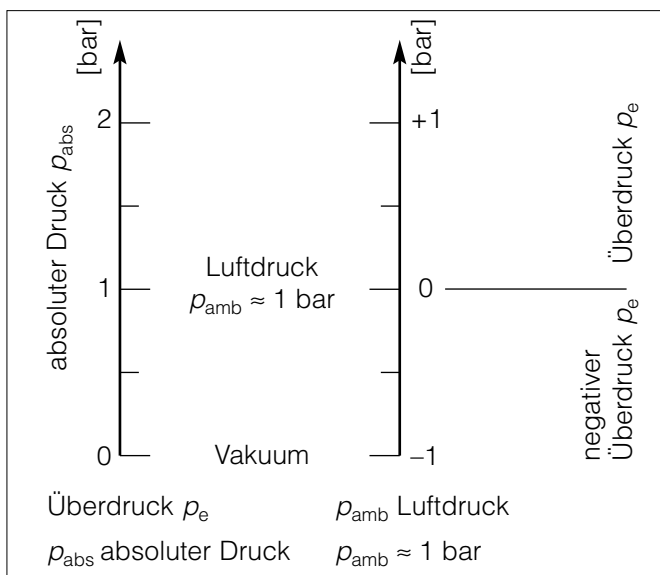
Im oberen Teil der Kopiervorlage 5 werden den Schülerinnen und Schülern weitere Informationen zum Thema „Verwendung des **atmosphärischen Unterdrucks** im Kraftfahrzeug“ gegeben. Für weitere Infor-

mationen sei auf die Literaturliste und die zu der Transparente-Mappe gehörenden Internetseiten www.physik-am-auto.de verwiesen. Wenn es sich zeitlich ergibt, kann dieses Thema Inhalt eines Referats für einen interessierten Schüler werden.

Im unteren Teil der Kopiervorlage folgt eine quantitative Aufgabe, die den Schülern deutlich macht, wie sehr die Wirkung des Unterdrucks den Bremsvorgang unterstützt.

Lernziele

- Die Schüler sollen ihre Kenntnisse über den atmosphärischen Druck vertiefen und seine prinzipielle Nutzenanwendung beim Kraftfahrzeug (ohne zu viel Details!) beschreiben können.
- Die Schüler sollen Sachaufgaben zu diesem Thema korrekt bearbeiten und richtig lösen können.



Definition Überdruck/Unterdruck

Überdruck $p_e = p_{abs} - p_{amb}$. Der Überdruck ist positiv, wenn $p_{abs} > p_{amb}$ und negativ, wenn $p_{abs} < p_{amb}$ ist (Unterdruck).

Beispiel Autoreifen:

$$p_e = 2,2 \text{ bar}; p_{amb} = 1 \text{ bar}; p_{abs} = ?$$

$$p_{abs} = p_e + p_{amb} = 2,2 \text{ bar} + 1 \text{ bar} = \underline{3,2 \text{ bar}}$$

Lösung der Kopiervorlage

Aufgabe 1:

Aus der Grundformel für den Druck $p = F / A$ ergibt sich in diesem speziellen Falle:

$$\Delta p = F / A$$

$$\Leftrightarrow F = \Delta p \times A = 0,2 \text{ bar} \times \pi \times r^2$$

$$\Leftrightarrow F = 0,2 \times 10 \text{ N/cm}^2 \times \pi \times (12,5 \text{ cm})^2$$

$$\Leftrightarrow F = 2 \text{ N/cm}^2 \times \pi \times 156,25 \text{ cm}^2 \approx \underline{981,75 \text{ N}}$$

Aufgabe 2:

Für eine vergleichbare Last liefert die angegebene Beziehung (1 kg entspricht 9,81 N) :

$$m = 981,75 \text{ N} / 9,81 \text{ N/kg} \approx \underline{100 \text{ kg}}$$

Der Fahrerfuß wird demnach beim Bremsen mit einer Kraft unterstützt, die der Gewichtskraft einer Last von 100 kg entspricht!

Hinweis: Die in dieser Aufgabe verwendeten Daten sind realitätsnah; die Wirkung des Bremskraftverstärkers ist also recht beeindruckend.