

Das Luftballon-Rätsel

Ernst Reinwein

Im Laufe der Jahre ist mir einige Male eine Rätselfrage untergekommen, bei der eine eindeutige, physikalisch begründete, Antwort erwartet wurde. Erstaunlicher Weise fielen diese je nach Autor unterschiedlich, ja gegensätzlich aus. Die Frage lautet: Was passiert, wenn zwei Kinderluftballons unterschiedlich stark aufgeblasen und dann so miteinander verbunden werden, dass die Innenluft von einem zum anderen strömen kann. Üblicherweise wird eine der folgenden Antworten erwartet

- nichts passiert, beide Ballons behalten ihre anfängliche Größe,
- der größere Ballon bläst den kleineren auf bis beide gleich groß sind und
- der kleinere Ballon bläst den größeren noch mehr auf.

Sofort ist klar, es muss mit dem Luftdruck in jedem Ballon zu tun haben, um genau zu sein mit dem Überdruck gegenüber dem normalen Luftdruck. Zur Erinnerung: der normale Luftdruck beträgt etwa $1\text{kg/cm}^2 = 1\text{bar} = 100\text{kPa} = 1000\text{hPa} = 750\text{mmHg}$. Bei Autoreifen wird der notwendige Überdruck in bar angegeben, z.B. bei der Tankstelle auf 2,5 bar aufgepumpt bedeutet einen absoluten Luftdruck von 3,5 bar im Reifen. Und in welcher Größenordnung liegt der Luftdruck in einem Kinderluftballon? Ganz einfach, Luftballon aufblasen und an ein Manometer, das beispielsweise vom Blutdruckmesser ausgeborgt wurde, anschließen. Dieses zeigt Werte um 20 bis 40mmHg (0,027-0,053bar bzw. 27-53hPa), also ein ziemlich kleiner Überdruck, den die Lunge gerade noch aufbringen kann zum Aufblasen der Ballons.

Wird das Manometer beim langsamen Luftablassen beobachtet fällt auf, dass der Druck anfänglich langsam sinkt, aber kurz bevor der Luftballon leer ist deutlich sichtbar ansteigt bevor er auf Null geht. Ein Hinweis, dass der Druck sich nicht proportional zum Volumen verhält!

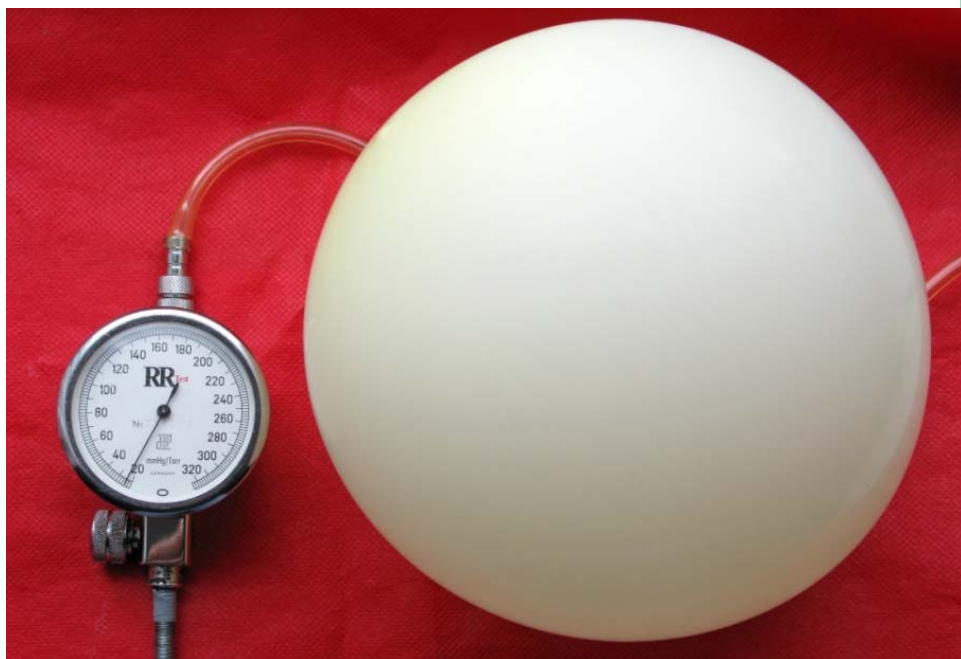
Zum genauen erfassen des Druckverlaufs dient ein Datenlogger mit Drucksensor, der in den Luftballon gegeben wird.

Wird der Ballon zuerst kräftig aufgepumpt und dann langsam die Luft abgelassen ergibt sich beim Auslesen des Datenloggers am PC das **Diagramm 1**.

Zwar sind auf der x-Achse Sekunden aufgetragen, doch entspricht dieser Verlauf etwa einem gleichmäßig abnehmenden Volumen. Die y-Achse zeigt den Innendruck in hPa. Und wie schon mit dem Manometer bemerkt gibt es einen Druckerstoss kurz vor dem leer werden



Datenlogger der Firma MSR mit Luftdrucksensor



Voruntersuchung des Luftballons mit einem Manometer



Diagramm 1: Druckverlauf bei abnehmendem Volumen eines Luftballons

des Ballons. Wenn nun zwei Ballons zusammengeschlossen werden, so haben sie gemeinsam ein konstantes Luftvolumen. Grafisch kann das dargestellt werden, indem das Druckdiagramm gespiegelt wird und der Abstand der beiden Stellen ohne Überdruck (unten links und unten rechts) diesem gemeinsamen Volumen ($V_{rot} + V_{grün}$) entspricht. Die anfängliche Aufteilung des Gesamtvolumens auf die beiden Ballons wird im Diagramm durch zwei senkrecht übereinander liegende Punkte markiert. Durch die Verbindung der Ballons erfolgt ein Druckausgleich bis ein Schnittpunkt zwischen der grünen und der roten Kurve erreicht ist (von V_1 nach V_2). Grafisch kann das wie in **Diagramm 2** dargestellt werden.

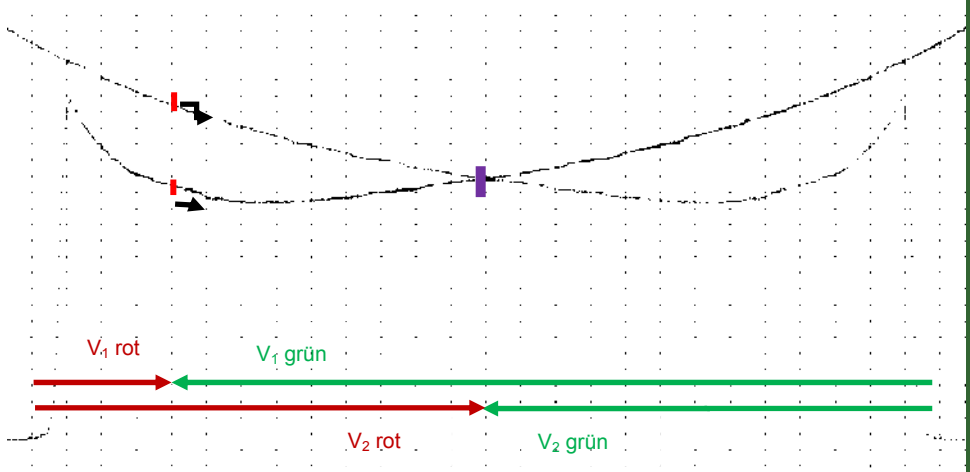
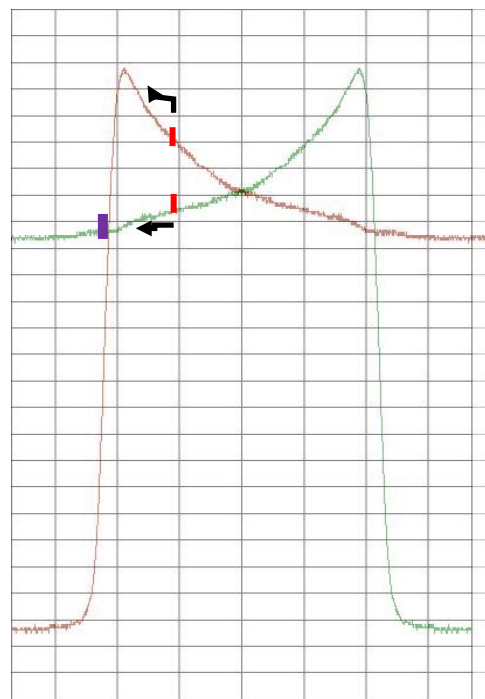


Diagramm 2: Druckverlauf zweier zusammengeschlossener Luftballons

Bei den rot eingezeichneten Marken im Bild oben ist der rote Ballon ziemlich klein (auf der x-Achse nach rechts steigt sein Volumen) und der grüne Ballon sehr groß (auf der x-Achse nach rechts sinkt sein Volumen). Bei Druckausgleich sind beide gleich groß.

Das **Diagramm 4** scheint schwierig zu sein, weil die beiden Kurven die meisten Schnittpunkte haben. Das Gesamtvolumen der Luft liegt zwischen den beiden oberen Diagrammen, wie aus dem waagrechten Abstand der leeren Ballons (rot links unten, grün rechts unten) erkennbar ist. Doch wohin die Reise geht ist leicht erkennbar: der Ballon mit dem höheren Druck verliert an Volumen bis der nächste Schnittpunkt erreicht ist, also je nach Startpunkt analog zu einem der oberen Diagramme.

Zusammenfassend wird klar, dass entweder die Lösung b) oder die Lösung c) zutreffen kann, je nach der Füllmenge der einzelnen Luftballons zu Beginn des Versuchs und des sich daraus ergebenden Gesamtvolumens.



Der Fall im **Diagramm 3** ist tückisch. Beide Ballons sind klein, dabei ist bei den hellroten Marken im Diagramm der rote Ballon der kleinere. Er hat den höheren Druck und drückt den Großteil seiner Luft in den grünen Ballon. Somit wächst der grüne Ballon (mit verringertem Druck) und der anfänglich schon kleinere rote Ballon hat den anderen aufgepumpt und sieht nun praktisch leer aus.

Diagramm 3: Druckverlauf zweier kleiner zusammengeschlossener Luftballons

Zur Messmethode

Der Luftdruck wird im Datenlogger aufgezeichnet und mit einer zugehörigen Software als Funktion der Zeit als Diagramm am PC dargestellt. Diese Kurve am PC ist die erste grüne Kurve (**Diagramm 1**).

Als nächstes habe ich mit Photoshop dieses Diagramm gespiegelt. Nun konnte ich die Spiegelung mit dem ursprünglichen Diagramm übereinander legen (jedes mit 50% Sichtbarkeit) und gegeneinander seitlich soweit verschieben, dass je nach Verschiebung die drei weiteren Diagramme (**Diagramme 2-4**) herausgekommen sind. Jedes dieser drei Diagramme stellt eine andere gemeinsame Luftmenge der beiden Ballons dar, dh jedes Diagramm zeigt die Druckverläufe für ein anderes Gesamtluftvolumen.

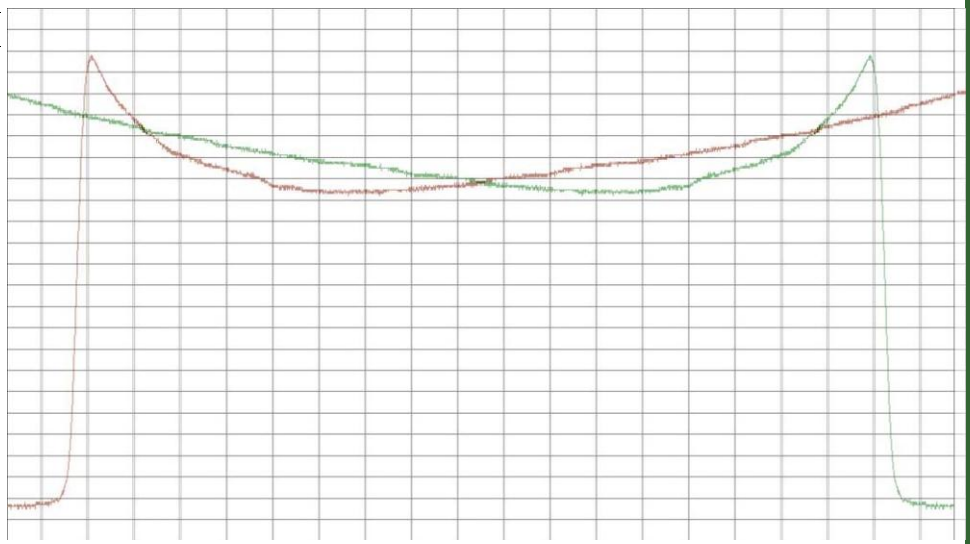


Diagramm 4: Druckverlauf zweier zusammengeschlossener Luftballons