

Rund ums Vakuum II

Experimente

Experimente:

- (1) Demonstration des Vakuums
- (2) Wasser siedet unterhalb von 100 °C
- (3) Kohlenstoffdioxid-Gehalt von Mineralwasser
- (4) Mineralwässer und pH-Wert

(1) Demonstration des Vakuums mit angefärbtem Wasser

Das Experiment veranschaulicht noch deutlicher als die Experimente zur Dichte-Bestimmung von Gasen die Wirkung des Vakuums.

Bei der Dichtebestimmung von Gasen sind die Effekte weniger anschaulich und eindrucksvoll, weil die Gase farblos sind.

(1) Demonstration des Vakuums mit angefärbtem Wasser
Vor und nach dem Öffnen des Dreiwegehahns

Ein Kombistopfen ist nützlich, er verzeiht Fehlstellungen des DWH



(1) Demonstration des Vakuums mit angefärbtem Wasser
*Zwei weniger geschickte Varianten: Verwendung eines Erlenmeyer-Kolbens
bzw. Standzylinders; Silikonschlauch bzw. H.-V. zum Ansaugen.*



(1) Demonstration des Vakuums mit angefärbtem Wasser
Variante: Drei 120 mL-Spritzen an einer Hahnenbank



(1) Demonstration des Vakuums mit angefärbtem Wasser
Nach dem Öffnen der Dreiwegehähne
Man erkennt am Wasserstand die Qualität des Vakuums



Die Qualität des Vakuums ist z. B. bei der Dichtebestimmung von Gasen wichtig

Falls das Volumen quantitativ 100,0 mL betragen soll bietet sich auch eine 100 mL-Spritze an.

Die Skala sollte mit Buchfolie oder Tesafilm geschützt werden.

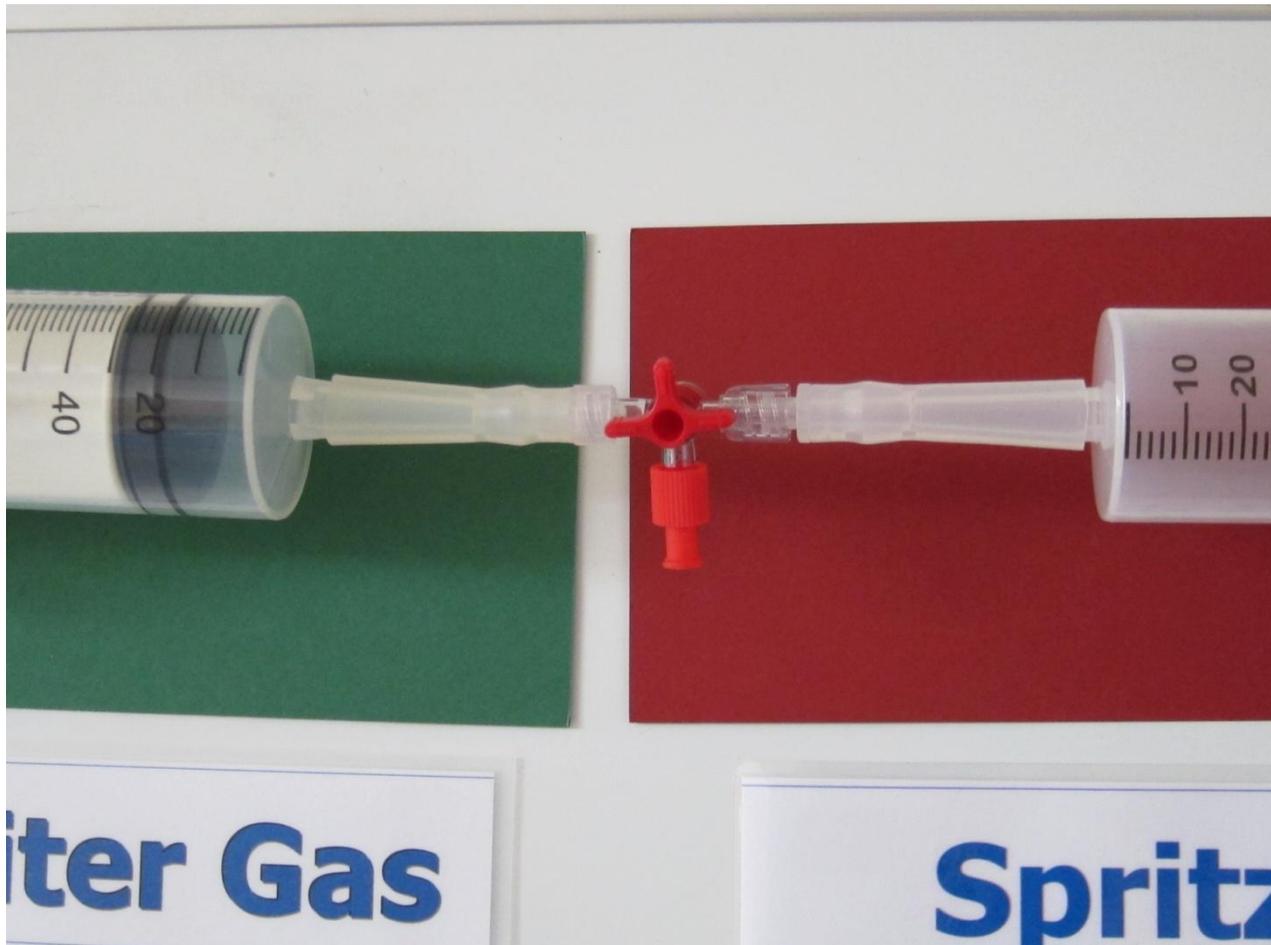
Als Vorratsspritze wird eine Spritze mit 120 mL des Gases oder der Flüssigkeit verwendet. So hat man über das Restvolumen die Kontrolle, welches Volumen tatsächlich in die Vakuum-Spritze gedrückt wurde.

Die Qualität des Vakuums zeigt sich:

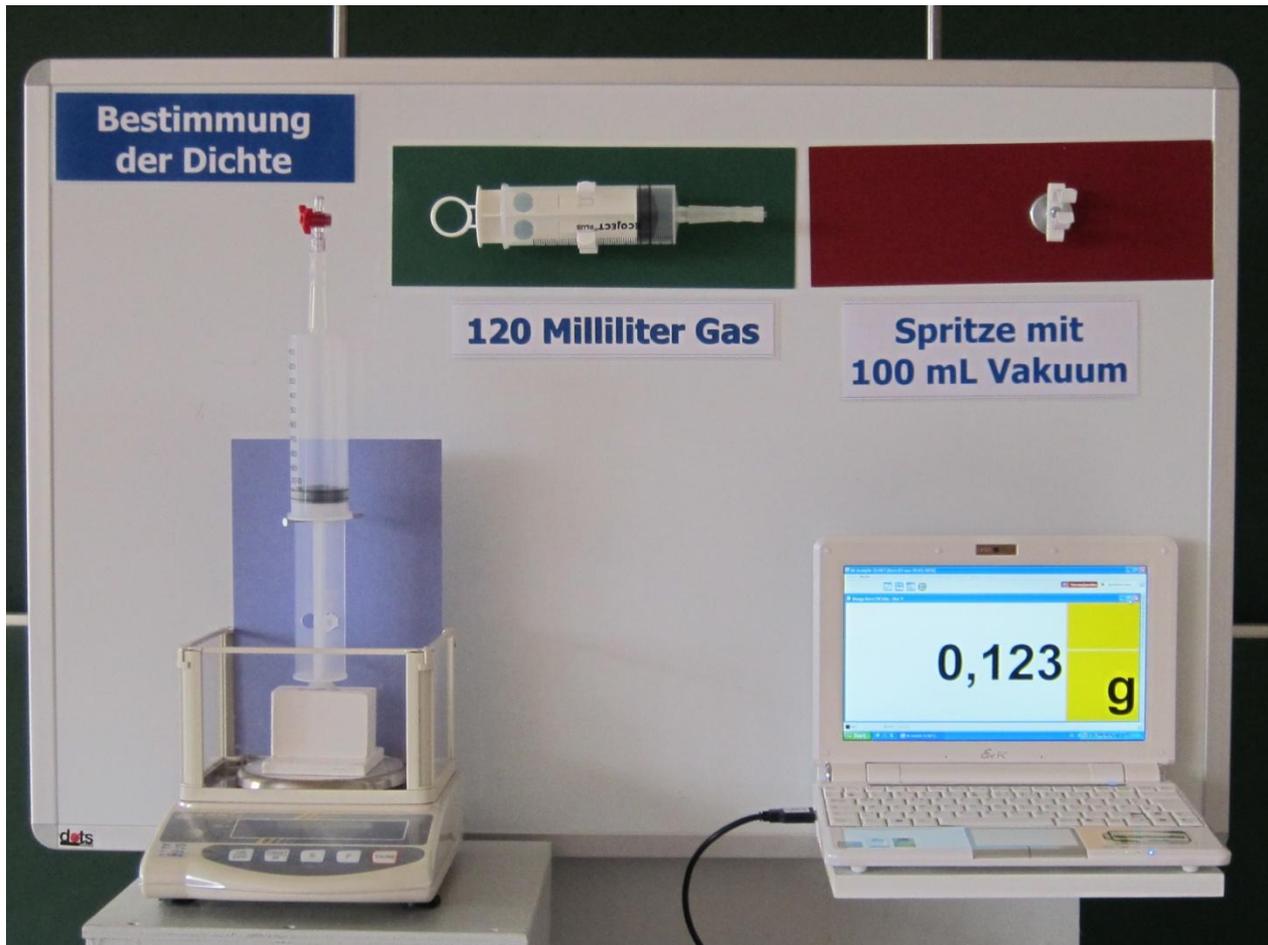
Von 120 mL des Gases werden z. B. nur 96 mL in die 100 mL-Spritze gedrückt



Die Qualität des Vakuums zeigt sich:
Wenn man den Kolben bei 104 mL fixiert,
werden genau 100 mL in die Vakuum-Spritze gedrückt



Die Qualität des Vakuums zeigt sich:
Wenn man den Kolben bei 104 mL fixiert,
werden genau 100 mL in die Vakuum-Spritze gedrückt



(2) Wasser siedet unterhalb von 100 °C

Das Experiment zeigt, dass Wasser bei geringem Druck deutlich unter 100 °C siedet. Bei ca. 60 °C ist der Effekt sehr gut erkennbar.

Es gibt verschiedene Durchführungsvarianten.

(2) Wasser siedet unterhalb von 100 °C

Eine Spritze ($V = 120 \text{ mL}$) wird z. B. mit 30 mL (Leitungs-) Wasser von Raumtemperatur (z. B. mit BTB angefärbt) gefüllt.

Vakuum wird aufgezogen, der Stempel fixiert.

Dann stellt man die Spritze bis zur Höhe des eingefüllten Wassers in ein Wasserbad, dessen Temperatur ca. 60 °C beträgt.

Nach kurzer Zeit ist das Sieden zu erkennen. (Die Spritze kann aus dem Wasserbad genommen werden.)

Wenn man den Nagel herauszieht (das Vakuum beendet) hört das Sieden sofort auf.

Eine Spritze ohne Vakuum dient als Vergleich. Das Wasser siedet nicht.

Wenn man in dieser Spritze nach dem Aufheizen ein Vakuum erzeugt, beginnt das Wasser zu siedeln.

Zwei Spritzen im Wasserbad: links Vakuum, rechts Normaldruck.
Das Wasser siedet nur in der linken Spritze bei ca. 60 °C.



Die Experimente lassen sich als Schülerübung oder als Demonstrationsversuch durchführen
Wasser nicht angefärbt



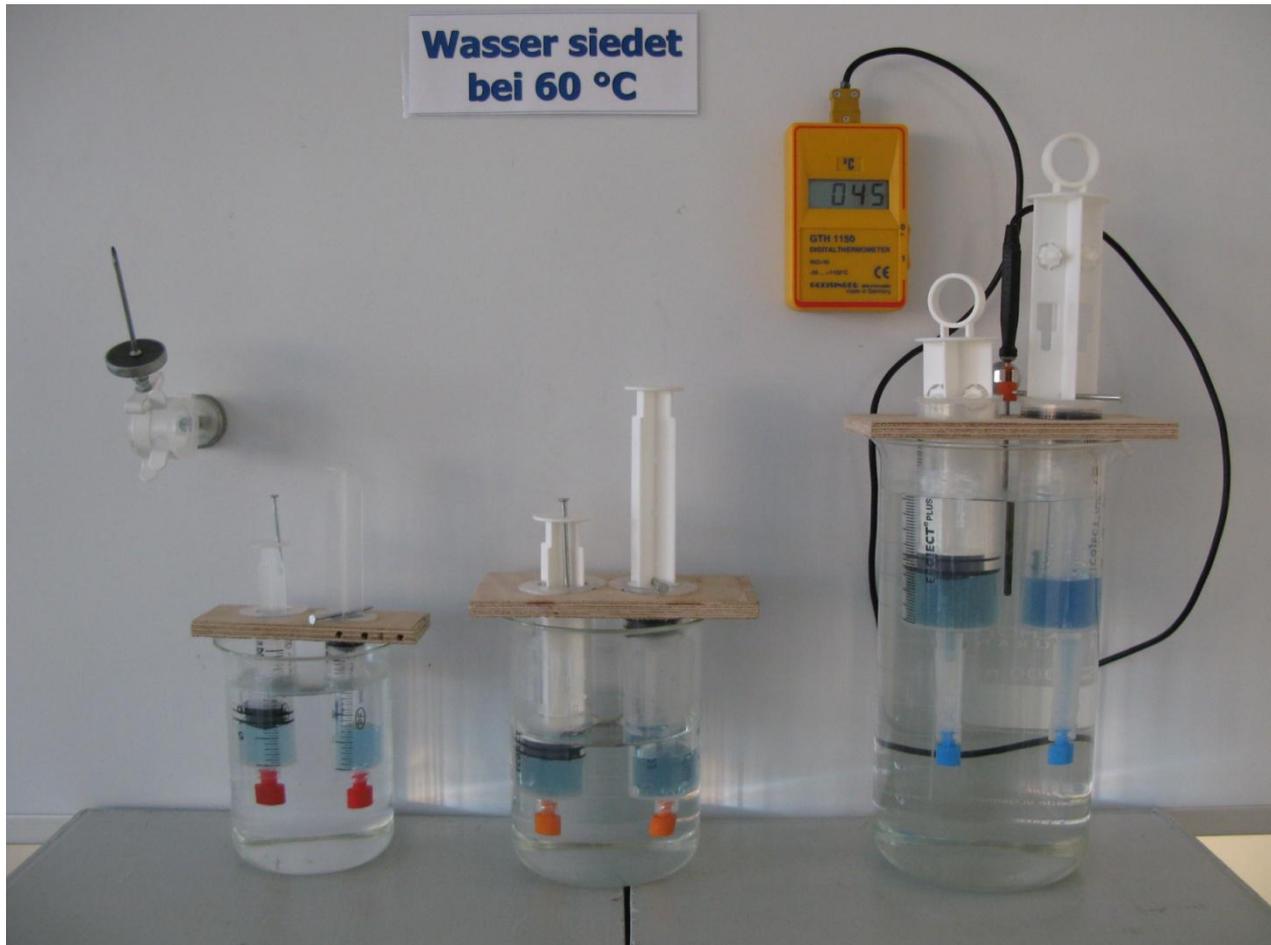
Die Experimente lassen sich als Schülerübung oder als Demonstrationsversuch durchführen
Federklammern, Wasser nicht angefärbt



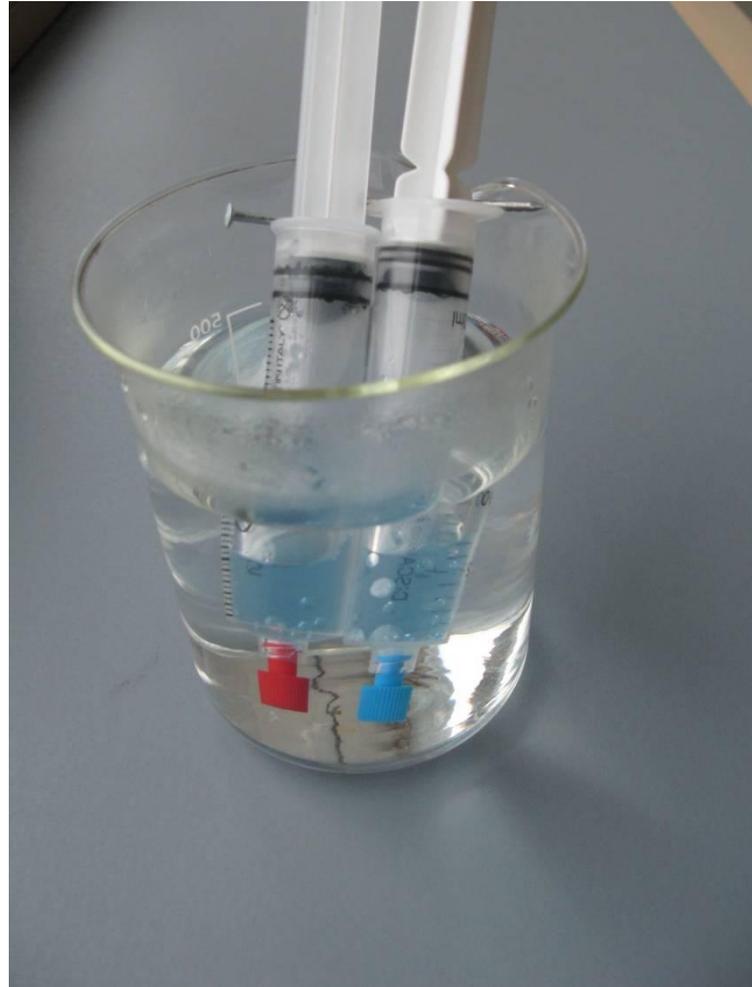
Die Experimente lassen sich in unterschiedlichen Spritzen durchführen: 20 mL, 60 mL, 120 mL



Die Experimente lassen sich als Schülerübung oder als
Demonstrationsversuch durchführen
Brettchen als Halterung, Wasser angefärbt



Die Experimente lassen sich als Schülerübung oder als Demonstrationsversuch durchführen
ohne Brettchen, Wasser angefärbt



(3) Kohlenstoffdioxid-Gehalt in Mineralwässern, Mineralwässer und pH-Wert.

Das gelöste Kohlenstoffdioxid wird dem Mineralwasser in mehreren Schritten entzogen.

Je nach Jahrgangsstufe kann man das Wasser mit einem Indikator anfärben (im Folgenden geschehen) oder aber mit den farblosen Lösungen arbeiten.

Erst die Deutung der Indikatorfarben führt zu einer überraschenden Lösung.

(3.1) Kohlenstoffdioxid-Gehalt in Mineralwässern

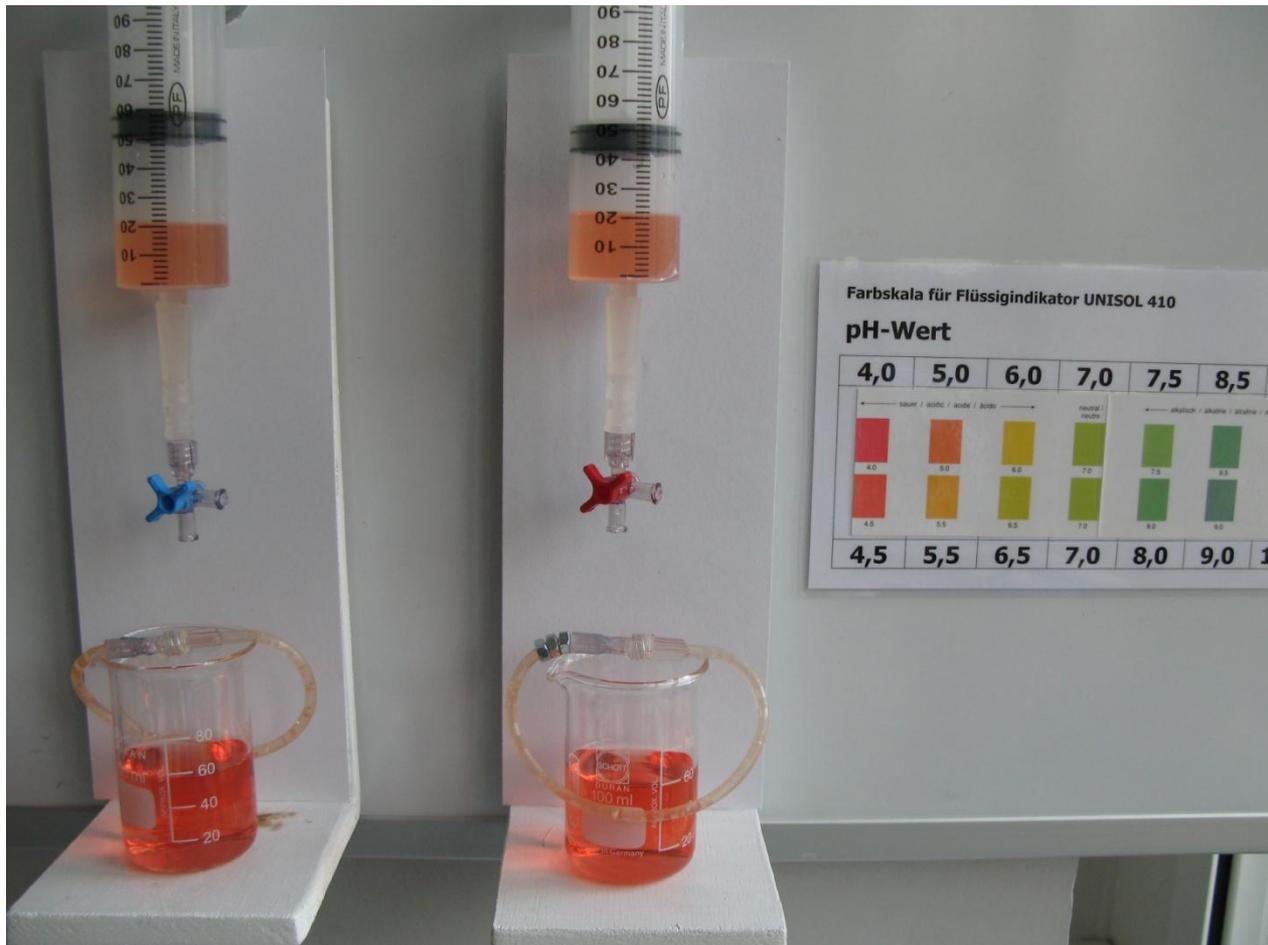
Die gleiche Menge (20 mL) Mineralwasser wird in die Spritzen gesaugt:
links: Sorte „Classic“, rechts: Sorte „medium“



Bereits beim Ansaugen des Mineralwassers entweicht bereits Kohlenstoffdioxid(g): aus je 20 mL Mineralwasser der Sorte „classic“ ca. 20 mL CO₂(g), der Sorte „medium“ ca. 10 mL Gas.



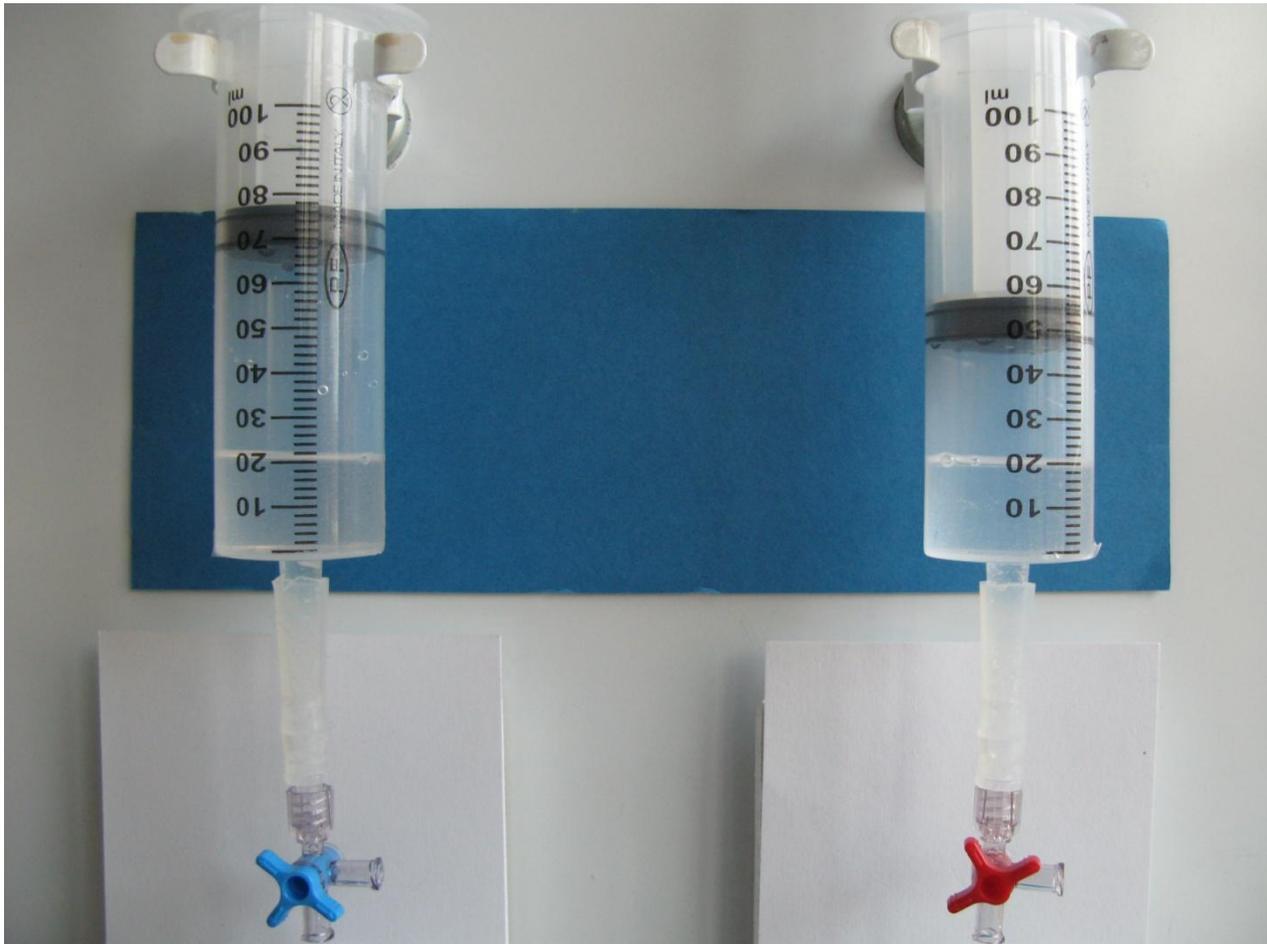
Nach dem Schütteln (ca. 30 Sekunden) steigt das Gasvolumen deutlich.
Links (von 20 mL) auf 38 mL, rechts von (10 mL) auf 22 mL.



Dann wird ein Unterdruck erzeugt (Kolben auf 100 mL fixiert); nach dem Schütteln und dem Lösen des Kolbens (Druckausgleich) ist das Gasvolumen links auf 48 mL und rechts auf 36 mL gestiegen.



Die Durchführung der Experimente ist – abhängig von der Unterrichtssituation - auch ohne Indikator sinnvoll



(Zwischen-)Ergebnis

Die Ergebnisse sind überraschend, wenn man die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser bei Zimmertemperatur betrachtet:

1,45 g CO₂/Liter bedeutet ca. 800 mL CO₂(g)/Liter.

Demnach können aus 20 mL Mineralwasser höchstens 16 mL CO₂(g) austreten. Es sind selbst bei der Sorte „Medium“ deutlich mehr ...

Zusammenfassung der Messwerte

<i>Löslichkeit von CO₂ in Wasser: 1,45 g CO₂ / Liter</i>	Sorte Classic	Sorte Medium
Flüssigkeitsvolumen	20 mL	20 mL
Nach dem Ansaugen	20 mL Gas	10 mL Gas
Nach dem Schütteln	38 mL Gas	22 mL Gas
Nach Unterdruck und Druckausgleich	48 mL Gas	36 mL Gas
<i>Aus der Löslichkeit abgeleiteter Maximalwert</i>	<i>16 mL Gas</i>	<i>16 mL Gas</i>

Auflösung des Widerspruchs

Das Mineralwasser enthält deutlich mehr gelöstes Kohlenstoffdioxid als die Löslichkeit vermuten lässt (übersättigte Lösungen):

z. B. 7 g CO₂/L bei der Sorte „Classic“
und 4,5 g CO₂/L bei der Sorte „Medium“.

Dies wird auch deutlich, wenn man mit Mineralwasserproben arbeitet, die schon länger geöffnet waren. Das Volumen des entstehenden Kohlenstoffdioxids ist in diesen Fällen deutlich geringer.

Zusammenfassung der Messwerte

<i>Löslichkeit von CO₂ in Wasser: 1,45 g CO₂ / Liter</i>	Sorte Classic 7 g CO ₂ /L	Sorte Medium 4,5 g CO ₂ /L
Flüssigkeitsvolumen	20 mL	20 mL
Nach dem Ansaugen	20 mL Gas	10 mL Gas
Nach dem Schütteln	38 mL Gas	22 mL Gas
Nach Unterdruck und Druckausgleich	48 mL Gas	36 mL Gas
<i>Aus der Löslichkeit abgeleiteter Maximalwert</i>	<i>16 mL Gas</i>	<i>16 mL Gas</i>
Aus den Angaben der Hersteller abgeleitete Maximalwerte	<u>75 mL Gas</u>	<u>50 mL Gas</u>

Wenn die Angaben stimmen, dann müsste das restliche Mineralwasser noch gelöstes Kohlenstoffdioxid enthalten. Dafür sprechen die gelbe Farbe des Indikators (pH = ca. 6,5) und der pH-Wert des stillen Wassers.

Erster Lösungsansatz:

Lässt sich durch zusätzliches Erwärmen des Mineralwassers noch mehr Kohlenstoffdioxid aus der Lösung austreiben?

Dies gelingt nicht. Beim Erwärmen nach der „Vakuum-Behandlung“ entsteht kein zusätzliches Kohlenstoffdioxid-Gas.

(3.2) Mineralwässer und pH-Wert



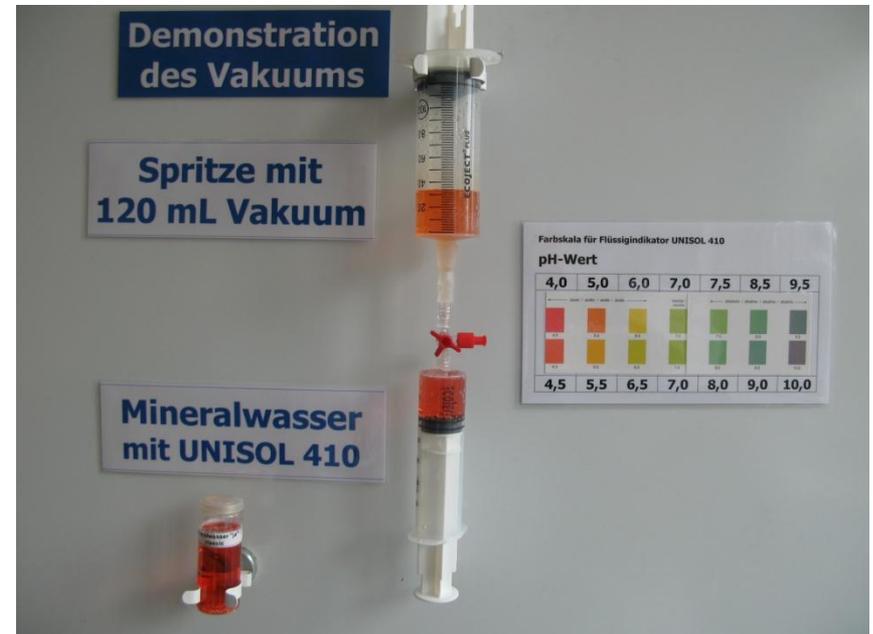
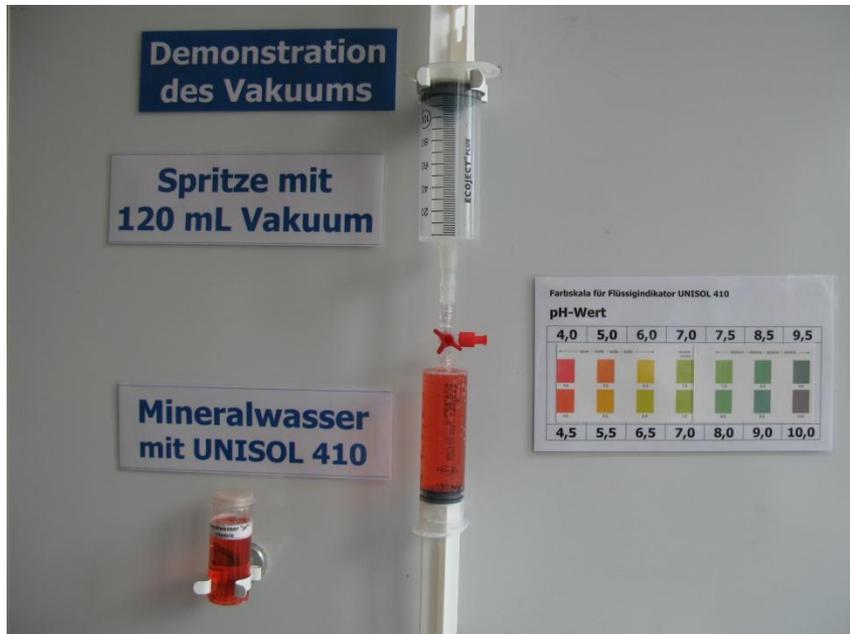
Unisol 410 als Indikator

Die pH-Werte sind unterschiedlich. Das stille Wasser ist neutral.

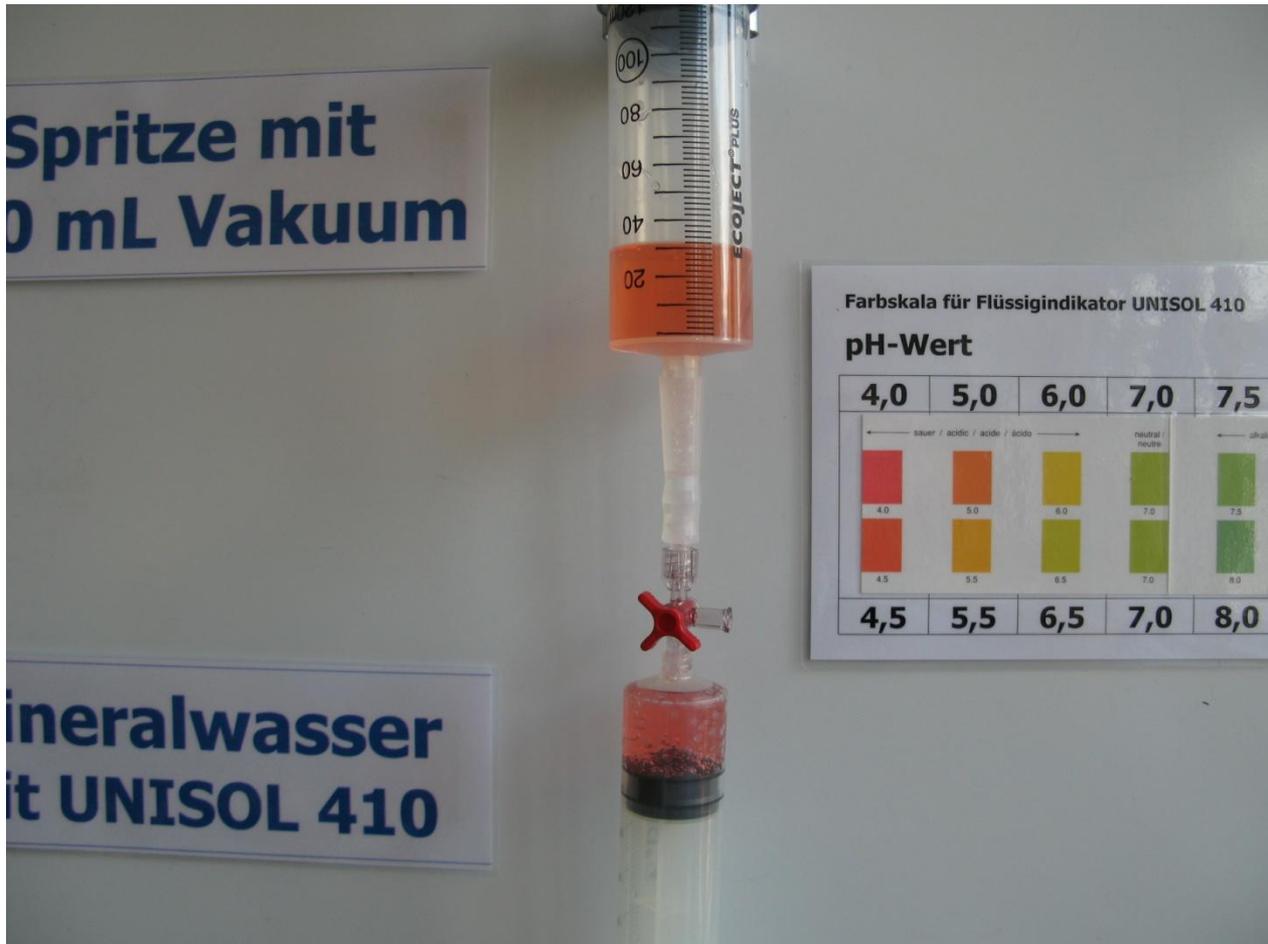


Verwendung von Mineralwasser „Classic“ (Sprudel)

Etwa 20 mL werden in die obere Spritze gesaugt,
der Rest dient als Vergleich.

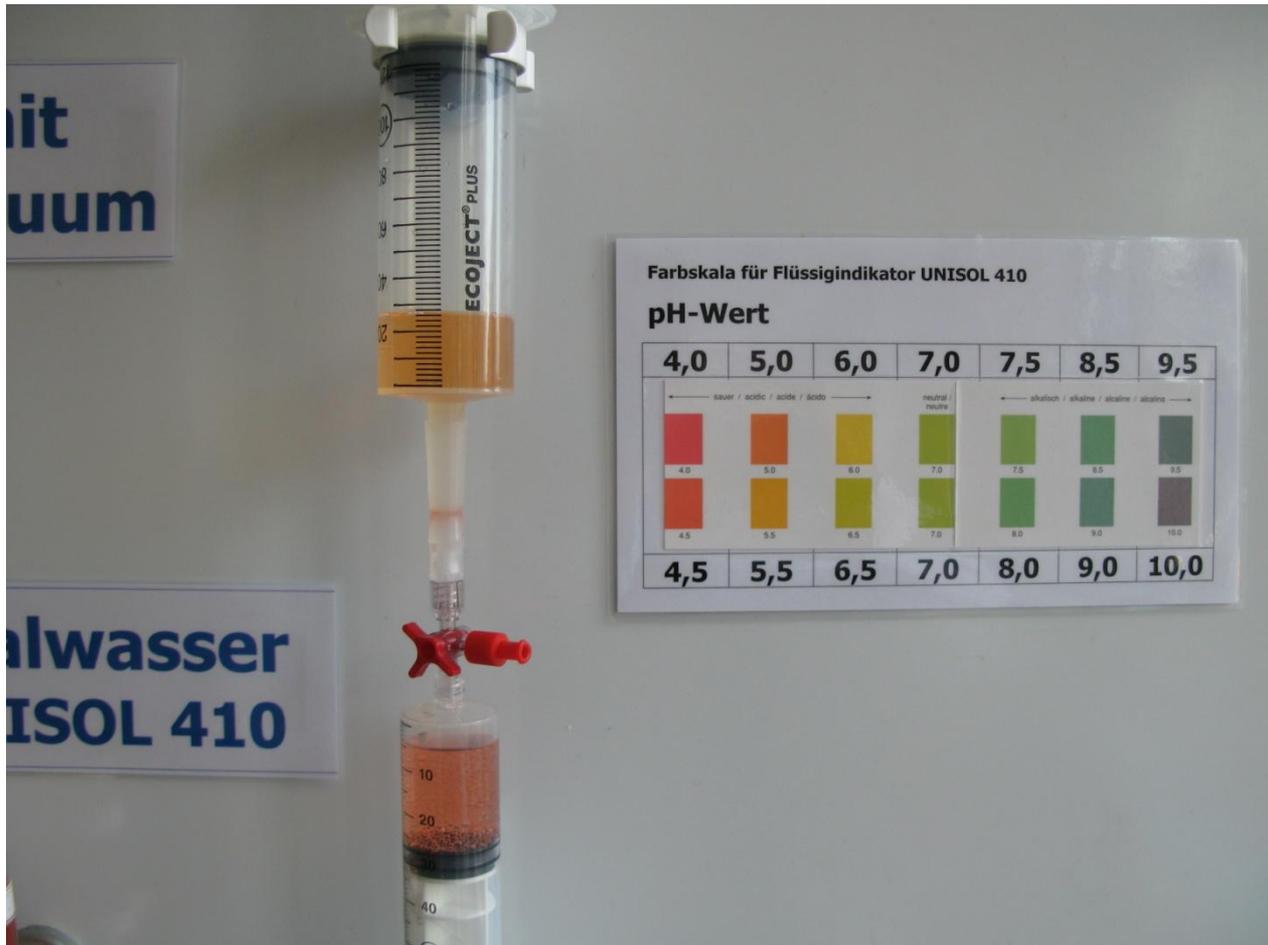


Der pH-Wert steigt durch den CO₂-Verlust von ca. 4 auf ca. 5 (Farbänderung mäßig)



Verwendung von Mineralwasser „Medium“

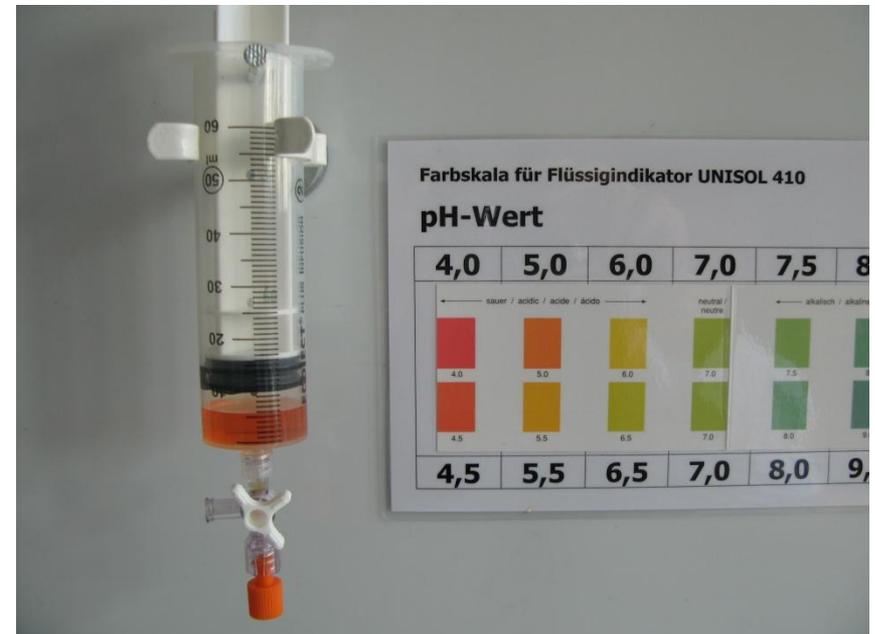
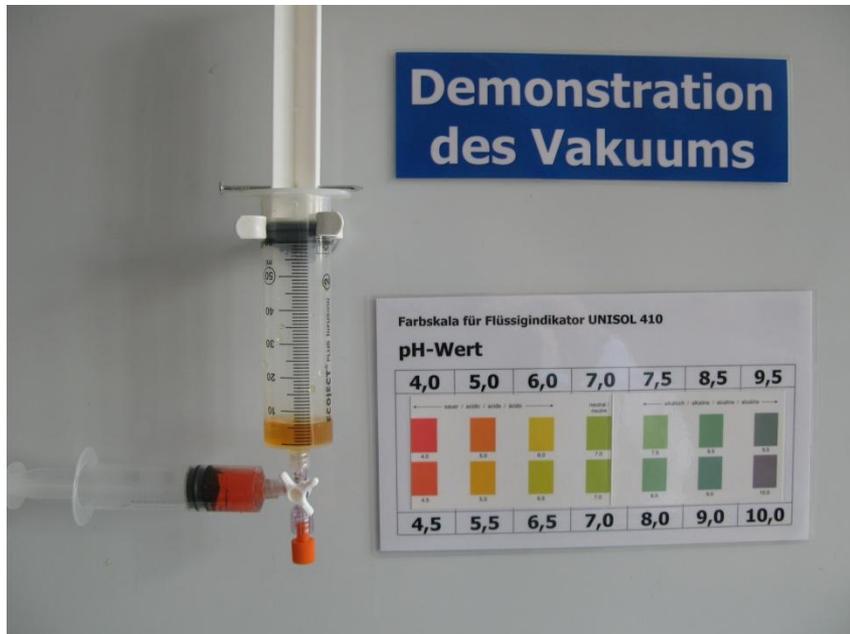
Der pH-Wert steigt durch den CO₂-Verlust von ca. 5 auf ca. 6 (Farbänderung deutlicher)



Der Effekt ist umkehrbar:

links: Höherer pH-Wert (pH = 6) im Vakuum

rechts: Beim Erzeugen eines Überdrucks sinkt der pH-Wert wieder (pH = 4,5)



Zweiter Lösungsansatz:

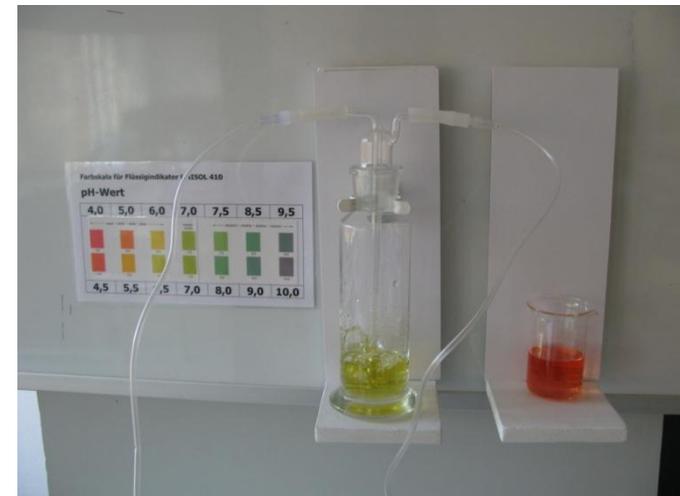
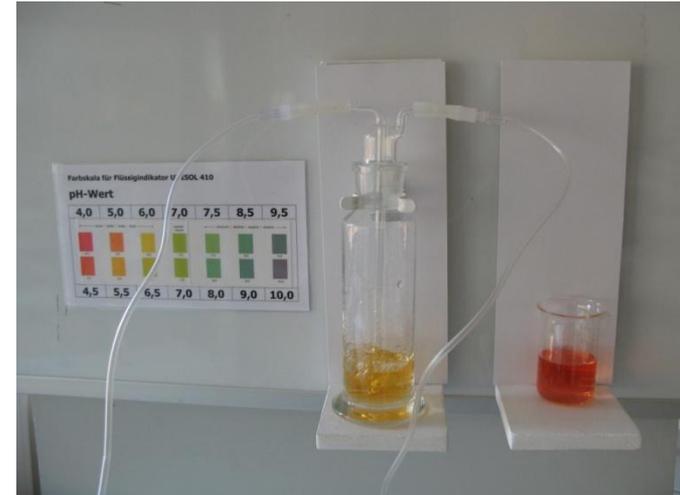
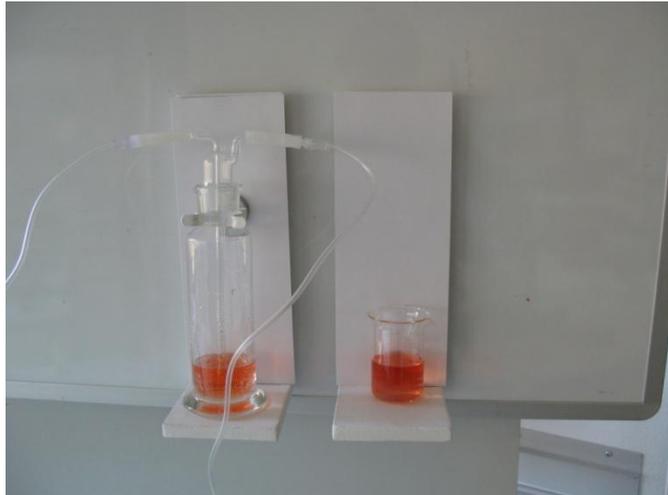
Ein ganz anderes Experiment bietet eine Hilfe.

Das Experiment kann mit verschiedenen Gasen durchgeführt werden, die Ergebnisse sind bei richtiger Wahl des Gases identisch.

Sehr irreführend für die Schüler ist es, wenn man (zunächst) Erdgas – oder das in der Schule verwendete Brennergas – durch eine Gaswaschflasche mit Mineralwasser (Classic), welches mit Unisol 410 versetzt wurde, leitet:

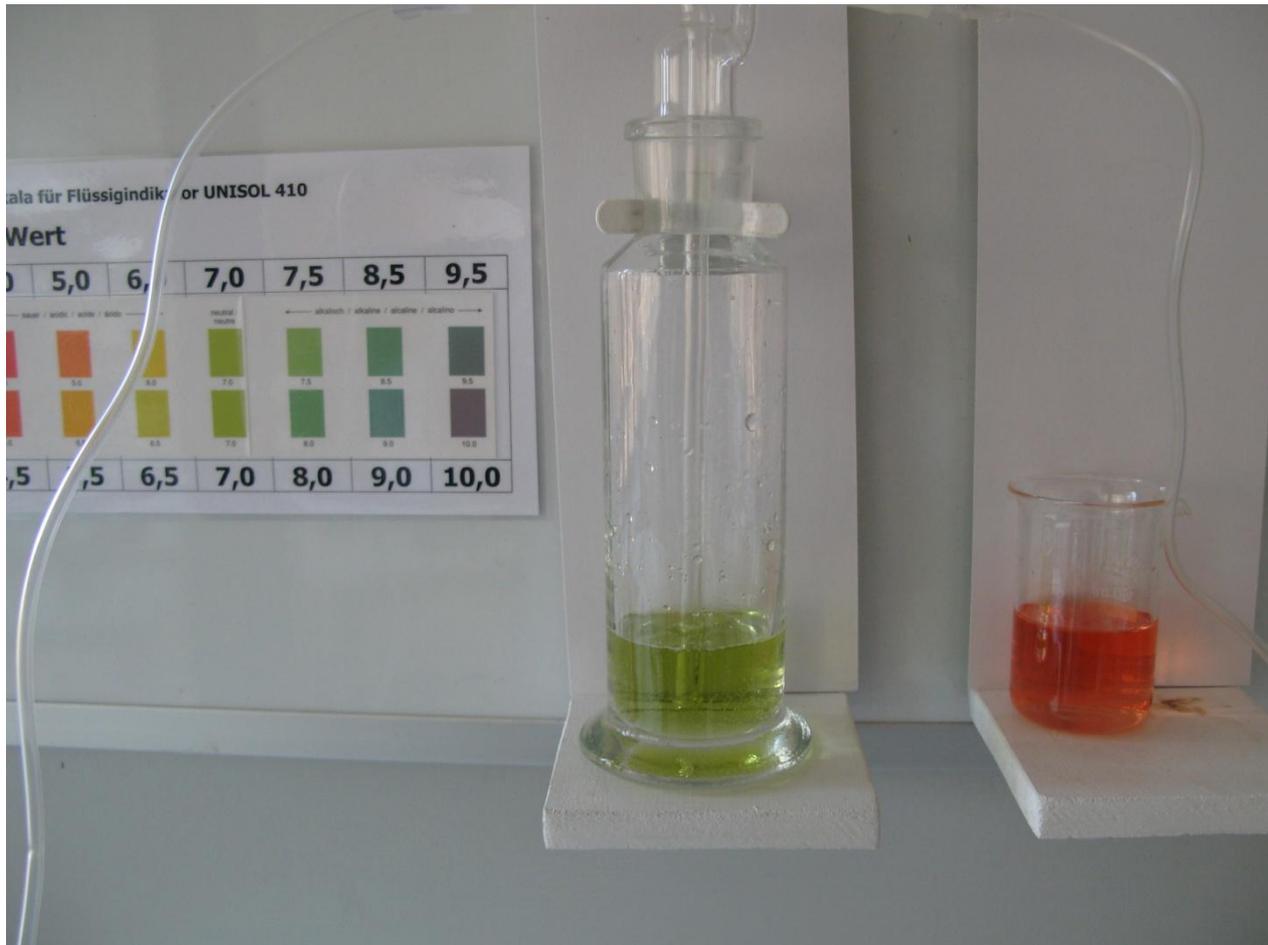
Experiment: Durch Mineralwasser wird z. B. Erdgas geleitet

*Veränderung des Indikators nach jeweils 30 Sekunden:
Der pH-Wert steigt*



Experiment: Durch Mineralwasser wird Erdgas geleitet

Endzustand nach ca. 2 Minuten: Die Lösung ist neutral



Ohne Hilfestellung durch den Lehrer werden die Schüler u. U. keine Deutung finden.

Das Experiment lässt sich (anschließend) mit anderen Gasen wiederholen, die Ergebnisse sind identisch: Neutrale Lösung als Endzustand.

Geeignete Gase sind Stickstoff, Luft; Butan usw., alle Gase außer Kohlenstoffdioxid.

Die Deutung ergibt, dass sich wegen der ständigen Gleichgewichtsstörung zwischen Lösung und Gasphase (Entfernen des ausgetriebenen Kohlenstoffdioxids) kein Gleichgewicht zwischen $\text{CO}_2(\text{aq})$ und $\text{CO}_2(\text{g})$ einstellen kann.

Das Kohlenstoffdioxid wird der Lösung komplett entzogen.

Nach dieser „Hilfestellung“ sollte den Schülern das Problem der Vakuum-Experimente auffallen:

Das aus der Lösung ausgetriebene Kohlenstoffdioxid darf nicht im Kontakt mit der Lösung (dem Mineralwasser) bleiben, sonst stellt sich immer wieder ein neues Gleichgewicht ein, die Lösung bleibt (schwach) sauer.

Die Änderung der Versuchsdurchführung liegt auf der Hand: Das gasförmige Kohlenstoffdioxid wird über den DWH in eine zweite Spritze gedrückt, dann wird das Vakuum erneut aufgezogen.

Nach mehreren Schritten ist die Lösung tatsächlich neutral. Bei den letzten Schritten bildet sich kaum noch Kohlenstoffdioxid-Gas, der pH-Wert steigt jedoch merklich.

Endzustand in der Spritze nach mehrfacher Wiederholung des „Vakuum-Experiments“.



Variante (u. a. von Borstel-Skript S. 37)

Mit dem verwendeten Indikator (Merck Mischindikator 5; Tashiro) ist die Änderung des pH-Wertes gut erkennbar, nicht aber die neutrale Lösung.

V3: Einfluss des Drucks auf die Löslichkeit von Kohlestoffdioxid



In eine Spritze mit durchbohrtem Stempel füllt man 20 mL mit Indikator versetztes Wasser – aus einer weiteren Spritze lässt man durch die Lösung CO_2 sprudeln, bis die Farbe des Indikators umschlägt.

Die Hälfte der Lösung gibt man in eine andere Spritze und bewahrt diese zum Farbvergleich auf. Die Spritze mit dem durchbohrten Stempel wird verschlossen und durch kräftiges Ziehen am Stempel ein Unterdruck erzeugt. Der Stempel kann durch das

Loch mit einem Nagel fixiert werden. Man sieht ein deutliches Ausgasen und zugleich einen Farbumschlag des Indikators.