

1 Stoffe und Stoffumwandlungen

Aufbau und Funktionsweise eines Gasbrenners (Bunsenbrenner); Zusammensetzung und Verbrennungsprodukte von Erdgas (Baars)

Vorbemerkungen / Hinweise

Es hat sich als äusserst spannend erwiesen, in den ersten Wochen mit neuen Klassen (Quarten, Gym1) für ca. vier Lektionen im Labor zu arbeiten. Neben den notwendigen Verhaltensregeln lernen die Schülerinnen und Schüler (S+S) den Aufbau eines Bunsenbrenners kennen, seine Funktionsweise anhand der Verbrennung von Erdgas sowie dessen Zusammensetzung und Verbrennungsprodukte. In diesem Zusammenhang kommt die Verdauung («Verbrennung») unserer Nahrungsmittel zur Sprache mit einem Abstecher zur Fotosynthese. Damit wird exemplarisch gezeigt, wie aus beobachtbaren Phänomenen und gezielten Fragestellungen befriedigende Antworten erhalten werden können. Dies ist ein Beispiel der typischen Arbeitsweise der Chemikerinnen und Chemiker: Weg der Erkenntnisgewinnung.

Mit Ausnahme des Nachweises von Kohlenstoffdioxid werden alle Versuche von den S+S in Zweiergruppen durchgeführt.

Arbeitsmaterialien pro Zweiergruppe für alle S+S-Versuche

Brenner mit Dreifuss und Keramikdrahtnetz; 500- oder 600-ml-Becherglas (hoch); Porzellanschale Ø 8 cm; Holzklammer; Korkstopfen (Weinkorken); Siedesteinchen; Tabelle mit Glühfarben von Stahl (Kopiervorlage); Tiegelzange

Nachweis von Kohlenstoffdioxid durch die Lehrperson:

Brenner; Glastrichter mit kurzem Gummischlauch und 250-ml-Waschflasche; Reagenzglas; Tropfpipette; 2 Stative mit Doppelmuffen und Stativklammen; Vakuumpumpe

Chemikalien

Die H-Sätze findet man unter www.hep-verlag.ch/chemie-zusatzmaterial-lehrpersonen: «Sicherer Umgang mit Chemikalien, Mikroorganismen und Strahlenquellen an Schulen», Anhang C S. 58ff

Calciumhydroxid-Lösung, konzentriert
H315 H318 H335



Kupferdrähtchen, Cu(s), ca. 0.5 mm, Länge
ca. 12 cm

Magnesiumoxid-Stäbchen, MgO(s)

Eiswürfel

V1 Aufbau und Funktionsweise eines Gasbrenners

Sicherheitsvorschriften

Labormantel und Schutzbrille tragen; lange Haare nach hinten zusammenbinden

Versuchsbeschreibung

Zerlegen Sie einen Brenner in seine Einzelteile und überlegen Sie sich die Bedeutung der einzelnen Bestandteile. Setzen Sie den Brenner wieder zusammen, öffnen Sie die Gaszufuhr,

zünden Sie das Erdgas an und „spielen“ Sie anschliessend mit den verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten. Skizzieren Sie die beiden charakteristisch voneinander unterscheidbaren Flammentypen.

Beobachtung und Interpretation

Nach dem Abschrauben des Brennerrohrs, das zwei Öffnungen im unteren Teil aufweist, die geöffnet und verschlossen werden können, sieht man am Brennerfuss eine kurze und eine lange Röhre (Schlot, Schornstein). Erstere dient der Zufuhr des Gases, das man zum Arbeiten mit dem Brenner verwendet; ein Hebel reguliert die Gasmenge. Das ausströmende Gas saugt durch die Öffnungen Luft an, sodass sich im Brennerrohr beide Gase vermischen. Dies war die Idee von Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899). Damit wurde eine russfreie Flamme mit hoher Temperatur möglich. Durch die lange Röhre, die am oberen Ende des Brennerrohrs endet, strömt wenig Gas, das die dauernd brennende Sparflamme bildet (kein erneutes Anzünden, wenn der Brenner für kurze Zeit nicht benötigt wird).

Es lassen sich zwei Flammentypen unterscheiden, die im V2 genauer untersucht werden:

- rauschende Flamme (Heizflamme, Vormischflamme) mit einem inneren und einem äusseren Kegel; Luftzufuhr offen
- leuchtende Flamme (Diffusionsflamme); Öffnungen für die Luftzufuhr geschlossen

V2 Entstehung der beiden Flammentypen und ihre Temperaturen

Sicherheitsvorschriften

Labormantel und Schutzbrille tragen; lange Haare nach hinten zusammenbinden

Versuchsbeschreibung

Halten Sie ein Magnesiumoxid-Stäbchen (leitet die Wärme nicht) etwa 1 cm über der Öffnung des Brennerrohrs so in die rauschende bzw. leuchtende Flamme, dass es auf beiden Seiten herausragt. Verändern Sie die Abstände vom Rohrende nach oben und warten Sie jeweils ca. eine Minute, bevor Sie den Abstand wieder vergrössern.

Aus der Farbe des glühenden Stäbchens kann auf die Temperatur der Flamme geschlossen werden. Als Hilfsmittel dient eine Tabelle der Glühfarben von Stahl. Zeichnen Sie in die jeweilige Skizze der beiden Flammen die heissen Stellen ein. Ermitteln Sie, wo der Ort mit der höchsten Temperatur liegt.

Kupfer besitzt eine Schmelztemperatur von $t_m = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$. Versuchen Sie, ein dünnes Kupferdrähtchen, das Sie in einen Korkstopfen stecken (Kupfer leitet die Wärme, Kork nicht), in beiden Flammen zu schmelzen. Damit keine Kupferstücke in den Schornstein des Brenners fallen, schieben Sie eine Holzklammer unter den Brennerfuss, sodass der Brenner schräg steht.



Entsorgung

Die Reste der (abgekühlten) Kupferdrähtchen kommen in den Hausmüll. Die Magnesiumoxid-Stäbchen werden zur weiteren Verwendung zurückgelegt.

Beobachtung und Interpretation

Rauschende Flamme (Heizflamme, Vormischflamme):

Man kann zwei Kegel in der Flamme beobachten. An den Rändern des inneren Kegels leuchtet das Magnesiumoxid-Stäbchen rot bis rotweiss, im Innern des Kegels bleibt das Stäbchen weiss. Anscheinend verbrennt das Gas-Luft-Gemisch nur am Rand des inneren Kegels. Dies lässt sich überprüfen, indem man das Köpfchen eines intakten Streichholzes rasch genau über die Öffnung des Brennerrohrs hält. An den beiden Rändern beginnt das Holz zu brennen, nicht jedoch das Köpfchen über der Rohröffnung. In der Spitze des inneren Kegels erreicht die Temperatur gemäss den Glühfarben von Stahl eine Temperatur von ca. 950 °C. Das Kupferdrähtchen schmilzt v. a. sehr schnell in der Spitze des inneren Kegels. Hier ist die Temperatur also um die 1100 °C.

Wie kommt die rauschende Flamme zustande? [Hier ist es von Vorteil, wenn die Lehrperson vorzeichnet und die Bewegung der Gasströme mit Pfeilen (Vektoren) symbolisiert.]

Das Gas-Luft-Gemisch strömt mit hoher Geschwindigkeit aus dem Rohr und verteilt sich nach allen Raumrichtungen. Zündet man die Mischung an, „frisst“ sich die Flamme mit hoher Geschwindigkeit in Richtung Brennerrohröffnung. An den Rändern des inneren Kegels sind beide Geschwindigkeiten gleich gross. Da sich die heissen, gasförmigen Produkte nach oben bewegen, erreicht die Temperatur an der Spitze des inneren Kegels ein Maximum: „In der Spitze liegt die Hitze“.

Da die Verbrennung im inneren Kegel noch nicht vollständig ist (zu wenig Sauerstoff), strömen die heissen Verbrennungsprodukte nach allen Seiten und vermischen sich mit der Luft (Sauerstoff). In einer zweiten Verbrennung bildet sich somit der äussere Kegel.

Hinweis: Früher, als städtische Gaswerke Leuchtgas aus Kohle herstellten, nahm um die Mittagszeit (Kochzeit) der Gasdruck oft markant ab. Das ausströmende Gasgemisch im Brenner war damit langsamer als die Flamme, die sich deshalb in das Brennerrohr hinein bewegte. Ist der Gasdruck zu hoch, steigt die Flamme immer höher und erlöscht schliesslich, wenn sich das Gas-Luft-Gemisch zu stark verdünnt hat.

Leuchtende Flamme (Diffusionsflamme):

Nur nach langer Zeit und bei ruhiger Hand fängt das Magnesiumoxid-Stäbchen ein wenig zu leuchten an. Ausserdem wird es teilweise schwarz. Die Temperaturen in dieser Flamme sind also deutlich geringer als in der rauschenden Flamme. Das Erdgas mischt sich erst oberhalb des Brennerrohrs mit Luft. Die Vermischung ist schlecht, weshalb es zu einer unvollständigen Verbrennung kommt.

V3 Untersuchung der leuchtenden Flamme

Sicherheitsvorschriften

Labormantel und Schutzbrille tragen; lange Haare nach hinten zusammenbinden

Versuchsbeschreibung

Halten Sie eine mit kaltem Wasser halb gefüllte Porzellanschale mithilfe einer Tiegelzange für kurze Zeit in die leuchtende Flamme.

Entsorgung

Die Porzellanschale wird mit wenig Seife unter dem fliessenden Wasser gewaschen.

Beobachtung und Interpretation

An der Unterseite der Porzellanschale setzt sich ein schwarzer Belag ab. Es handelt sich um Russ, Kohlenstoff, der folglich gebundener Bestandteil von Erdgas sein muss.

Bei dieser Gelegenheit kann man die S+S darauf hinweisen, dass Kohlenstoff (Russ) auch zu sehen ist, wenn Lebensmittel einer zu hohen Temperatur ausgesetzt werden (z. B. beim Grillen von Fleisch, Gemüse etc.; vgl. auch Abschnitt 1.1).

V4 Verbrennungsprodukte der Heizflamme I

Sicherheitsvorschriften

Labormantel und Schutzbrille tragen; lange Haare nach hinten zusammenbinden

Versuchsbeschreibung

Auf einen Dreifuss mit Keramikdrahtnetz wird ein aussen trockenes, mit kaltem Wasser (eventuell Zugabe eines Eiswürfels) zu etwa zweidrittel gefülltes 500- oder 600-ml- Becherglas gestellt. Man gibt noch zwei bis drei Siedesteinchen dazu. Unter den Dreifuss stellt man einen Brenner mit der Heizflamme. Beobachten Sie die Aussenwand des Glases sowie das Wasser im Glas.

Beobachtung und Interpretation

Sehr rasch nach dem Anzünden des Brenners beschlägt sich das Glas an der Aussenseite mit Wasser. Nach längerer Zeit steigen Gasblasen vom Boden des Glases im Innern auf.

Sind diese beiden Beobachtungen protokolliert, stellt man die Brenner ab und diskutiert die Frage, woher das Wasser an der Glasaussenseite kommt. Die Antwort der S+S ist praktisch immer einhellig: „Das Wasser kommt aus der Luft.“ Als Lehrperson geht man natürlich auf diese Aussage ein. Hier einige ähnliche Phänomene aus dem Alltag als Diskussionsgrundlage: Das Beschlagen von Brillengläsern, wenn man aus einer kalten Umgebung in einen warmen Raum geht; die Beobachtung, dass sich die Scheiben beschlagen, wenn sich mehrere Menschen in ein kaltes Auto setzen; die Entstehung von Föhn in den Alpen; Bildung von Nebel in der Nacht.

Anscheinend kann die Luft, abhängig von der Temperatur und bei gleichem Druck, unterschiedliche Mengen an Wasserdampf(g) aufnehmen. Man unterscheidet dabei

- maximale Luftfeuchtigkeit: Höchstmenge an Wasserdampf bei einer bestimmten Temperatur; g/m^3
- absolute Luftfeuchtigkeit: die in einem bestimmten Luftvolumen enthaltene Masse an Wasserdampf; g/m^3
- relative Luftfeuchtigkeit: Verhältnis der tatsächlich enthaltenen zur maximal möglichen Wassermasse

→ Je wärmer die Luft bei gleichem Druck ist, desto mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen.

→ Wenn die heißen Verbrennungsprodukte nach oben steigen, wird die Luft um das Glas erwärmt und kann deshalb mehr Wasserdampf aufnehmen. Das Kondenswasser an der Glasaußenwand kann folglich nicht aus der Luft kommen!

→ Die Verbrennungsprodukte von Erdgas enthalten Wasser; die warme Luft um das Glas erreicht die maximale Luftfeuchtigkeit; das durch die Verbrennung kontinuierlich gebildete Wasser kondensiert deshalb an der kühlen Glasoberfläche. Die oftmals geäußerte Idee der S+S, dass das Kondenswasser vom Wasser aus dem Glas kommt, kann man nachprüfen durch Abdecken des Glases mit einer Alufolie.

→ Information der Lehrperson: Das Erdgas enthält gebundenen Wasserstoff, der mit dem Sauerstoff der Luft zu Wasser reagiert.

Bei Normaldruck beträgt die maximale Luftfeuchtigkeit bei 10 °C 9.41 g/m^3 , bei 30 °C 30.38 g/m^3 und bei 60 °C mehr als 100 g/m^3 .

Wieso steigen Gasblasen am Boden des Glases auf, bevor das Wasser zu sieden beginnt? Hier kann man als Information die Tatsache mitteilen, dass das ehemalige AKW Mühleberg bei hohen Luft- und Wassertemperaturen die Leistung herunterfahren musste: Das Kernkraftwerk wurde mit Aarewasser gekühlt.

→ Anscheinend handelt es sich bei den Gasbläschen um Luft, die im Wasser gelöst ist. Im Gegensatz zur Luft nimmt die Löslichkeit von Gasen in Wasser mit steigender Temperatur ab.

→ Durch die Reduzierung der Leistung des Kernkraftwerks wurde verhindert, dass sich das Aarewasser noch mehr erwärmte. Erwärmung bedeutet eine Abnahme des im Wasser gelösten Sauerstoffs und damit eine Gefährdung des Fischbestands in der Aare.

Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser in mg/l:

0 °C : 70.7 10 °C : 56.4 20 °C : 45.5 30 °C : 36.8 40 °C : 29.8 50 °C : 23.9 °C

V5 Verbrennungsprodukte der Heizflamme II; ein Experiment für Lehrerinnen und Lehrer

Sicherheitsvorschriften

Labormantel und Schutzbrille tragen; lange Haare nach hinten zusammenbinden

Versuchsbeschreibung

Die Verbrennungsprodukte von Erdgas werden mithilfe einer Vakuumpumpe über einen Glastrichter durch eine Waschflasche geleitet, die zu etwa einem Drittel mit konzentrierter Calciumhydroxid-Lösung (Kalkwasser) gefüllt ist.

Als Parallel-Versuch bläst man vorsichtig Ausatemluft mit einer Tropfpipette durch wenig Kalkwasser in einem Reagenzglas.



Entsorgung

Die Lösungen kommen zu den basischen/sauren Abfällen

Beobachtung und Interpretation

Das Kalkwasser in der Waschflasche und im Reagenzglas trübt sich sehr rasch.

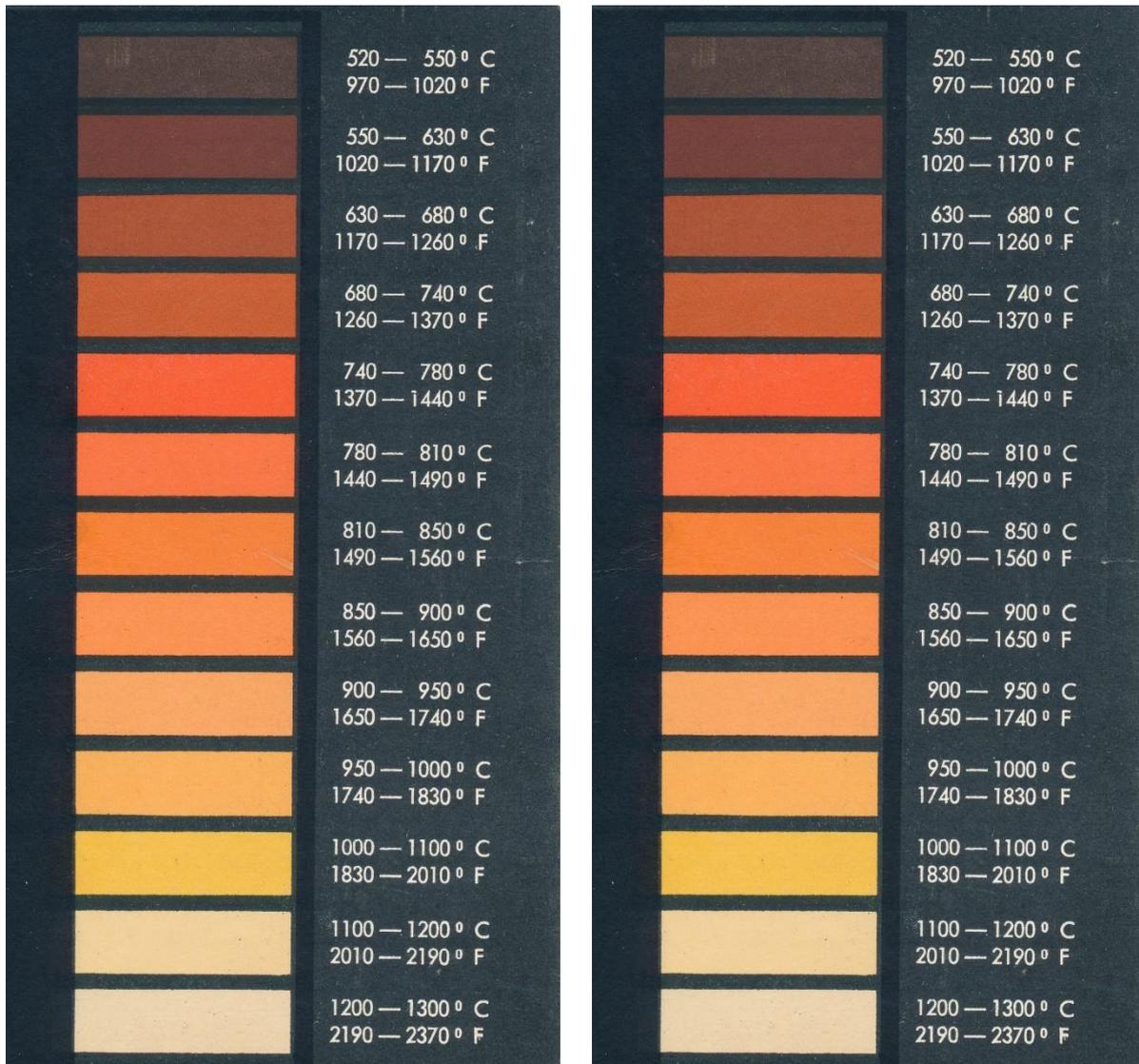
Den S+S ist bekannt, dass wir Kohlenstoffdioxid und Wasser ausatmen. Die Trübung muss also von Kohlenstoffdioxid verursacht werden, das bei der Verbrennung von Erdgas bzw. bei der Verdauung unserer Nahrung entsteht.

→ Sowohl Erdgas wie auch unsere Nahrungsmittel enthalten die gebundenen Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff, die bei der Verdauung (Katabolismus, Kap. 22) Kohlenstoffdioxid und Wasser bilden.

Eventuell kann an dieser Stelle die Zurückverfolgung von Erdgas und Nahrungsmitteln bis zur Photosynthese diskutiert werden (gespeichertes Arbeitsvermögen; Abschnitt 1.3).

Reaktionsgleichung Kohlenstoffdioxid + Kalkwasser:





Glühfarben des Stahls zur ungefähren Ermittlung der Temperatur der Heizflamme eines Gasbrenners

© Böhler Edelmehle