

Metastabile chemische Systeme und Aktivierungsenergie

(ArtikelNr.: P1136400)

Lehrerinformation

Einführung

In der (physikalischen) Chemie unterscheidet man (neben dem instabilen Stoffsystem) zwischen stabilen und metastabilen Stoffsystemen. Bei einem metastabilen Stoffsystem ist die Aktivierungsenergie der Reaktion sehr groß, so dass bei Raumtemperatur die Reaktionsgeschwindigkeit nahezu null ist. Daher erscheint das Stoffsystem als stabil, obwohl die Reaktion exotherm ist, d.h. unter Energieabgabe verläuft. Ein Beispiel für ein metastabiles Stoffsystem ist ein Gasgemisch aus Sauerstoff und Wasserstoff. Obwohl die Reaktion energetisch begünstigt ist, läuft die Knallgasreaktion nur mit Hilfe einer Aktivierungsenergie (z.B. Zündfunken) ab.

Die Ursache für diese Erscheinungsform liegt in der hohen Aktivierungsbarriere, man sagt "metastabile Systeme sind kinetisch gehemmt". Diese kinetische Hemmung kann durch Aktivierung (z.B. elektrische Energie) aufgehoben werden. Die zur Aufhebung der kinetischen Hemmung notwendige (Aktivierungs)energie kann auch durch Zugabe eines Katalysators herabgesetzt werden.

Lernziel

Mit Hilfe dieser Versuche soll gezeigt werden, dass exotherme Reaktionen nicht immer spontan einsetzen, sobald die Reaktionspartner zusammentreffen. Insbesondere tritt dann keine Reaktion ein, wenn die einzelnen Reaktionspartner in festen Zustand vorliegen. Die Feststoffe beginnen meist erst nach Zufuhr eines Energiebetrages (= Aktivierungsenergie) miteinander zu reagieren.

Gemenge solcher Reaktionspartner werden als metastabile Systeme bezeichnet. Erst durch Zufuhr von Aktivierungsenergie werden sie in einen "instabilen" (aktivierten) Zustand versetzt, der zur Reaktion führt.

Außer Gemengen (die sich im metastabilen Zustand befinden) können sich auch einzelne reine Stoffe in metastabilen Zuständen befinden. Führt man solchen Stoffen geringe Energiebeträge zu, so gehen sie durch innere Umsetzungen in andere Stoffe über.

Material

Position	Material	Bestellnr.	Menge
1	Präzisionswaage, Sartorius ENTRIS623-1S, 620 g / 0,001 g	49294-99	1
2	Stahlflasche, Sauerstoff, 2 l, gefüllt	41778-00	1
3	Stativ-Fuß DEMO	02007-55	1
4	Druckminderventil für O ₂	33482-00	1
5	Tischständer für 2 l-Stahlflaschen	41774-00	1
6	Verbrennungsrohr, l = 300 mm, NS 19, Quarzglas	33948-01	1
7	Bunsenstativ, 210 x 130 mm, h = 750 mm	37694-00	1
8	Sicherheitsunterlegplatte	39180-10	1
9	Teclubrenner mit Nadelventil, für Erdgas, DIN-Ausführung	32171-05	1
10	Quarzglaswolle 10 g	31773-03	1
11	Eisen,feines Pulver, 1000 g	30068-70	1
12	Ansatzstück NS 19/26 auf GL 18/8	35678-01	2
13	Schwefel, chem. rein, 1000 g	30216-70	1
14	Teflon-Manschetten NS 19, 10 Stück	43616-00	1
15	Glasröhrchen, rechtwinklig, 85 x 60, 10 Stück	36701-52	1
16	Mörser mit Pistill, 150 ml, Porzellan	32604-00	1
17	Maulschlüssel 32/30 für Stahlflaschen	40322-00	1
18	Stativstange Edelstahl 18/8, l = 600mm, d = 10mm	02037-00	2
19	Universalklemme, Stellschraube an beweglicher Seite	37715-00	2
20	Reagenzglas, d = 16 mm, l = 16cm, Laborglas, 100 Stück	37656-10	1
21	Sicherheits-Gasschlauch, DVGW , lfd. Meter	39281-10	1
22	Pinzette, l = 200 mm, gerade, stumpf	40955-00	1
23	Doppelmuffe -Kreuzklemme-	37697-00	2
24	Wägeschalen, quadratisch, 84 x 84 x 24 mm, 25 Stück	45019-25	1
25	Schliffklemme, Kunststoff, NS 19	43614-00	2
26	Eisenstäbchen, d = 2 mm, l = 200 mm, 5 Stück	45127-00	1
27	Anzünder für Erd- und Flüssiggas	38874-00	1
28	Löffelspatel, Stahl, l = 150 mm	33398-00	1
29	Gummischlauch , Innen-d = 6 mm, lfd. m	39282-00	1
30	Schlauchschelle für d = 12-20 mm, 1 Stück	40995-00	2

Sicherheitshinweise



Während des Versuches müssen alle im Raum befindlichen Personen eine Schutzbrille tragen!

Gefahren



H- und P-Sätze

Sauerstoff, Gasflasche

- H270 Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel
- H280 Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren
- P244 Ventile und Ausrüstungsteile öl- und fettfrei halten
- P220 Von Kleidung/.../brennbaren Materialien fernhalten/entfernt aufbewahren
- P370+P376 Bei Brand: Undichtigkeit beseitigen, wenn gefahrlos möglich
- P403 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren

Quarzglaswolle

- H335 Kann die Atemwege reizen
- H332 Gesundheitsschädlich bei Einatmen
- P261 Einatmen von Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol vermeiden
- P304 + P340 BEI EINATMEN: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert
- P312 Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen
- P403 + P233 Behälter dicht verschlossen an einem gut belüfteten Ort aufbewahren
- P405 Unter Verschluss aufbewahren
- P501 Inhalt/Behälter in einer anerkannten Abfallentsorgungsanlage zuführen.

Eisen, Pulver

- H228 Entzündbarer Feststoff
- P210 Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen
- P501 Inhalt/Behälter in einer anerkannten Abfallentsorgungsanlage zuführen.

Schwefel, Pulver

- H315 Verursacht Hautreizungen
- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen
- P302+P352 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser waschen
- P332+P313 Bei Hautreizung: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen
- P362+P364 Kontaminierte Kleidung ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.

Einführung

Anwendung und Aufgabe

Bei einem metastabilen Stoffsystem ist die Aktivierungsenergie der Reaktion sehr groß, so dass bei Raumtemperatur die Reaktionsgeschwindigkeit nahezu null ist. Daher erscheint das Stoffsystem als stabil, obwohl die Reaktion exotherm ist, d.h. unter Energieabgabe verläuft. Ein Beispiel für ein metastabiles Stoffsystem ist ein Gasgemisch aus Sauerstoff und Wasserstoff. Obwohl die Reaktion energetisch begünstigt ist, läuft die Knallgasreaktion nur mit Hilfe einer Aktivierungsenergie (z.B. Zündfunken) ab.

Mit Hilfe dieser Versuche soll bestätigt werden, dass exotherme Reaktionen nicht immer spontan einsetzen, sobald die Reaktionspartner zusammentreffen. Dazu wird das Reaktionsverhalten einer Mischung von Eisen- und Schwefelpulver untersucht. Insbesondere tritt dann keine Reaktion ein, wenn die einzelnen Reaktionspartner in festen Zustand vorliegen. Die Feststoffe beginnen meist erst nach Zufuhr eines Energiebetrages (= Aktivierungsenergie) miteinander zu reagieren.

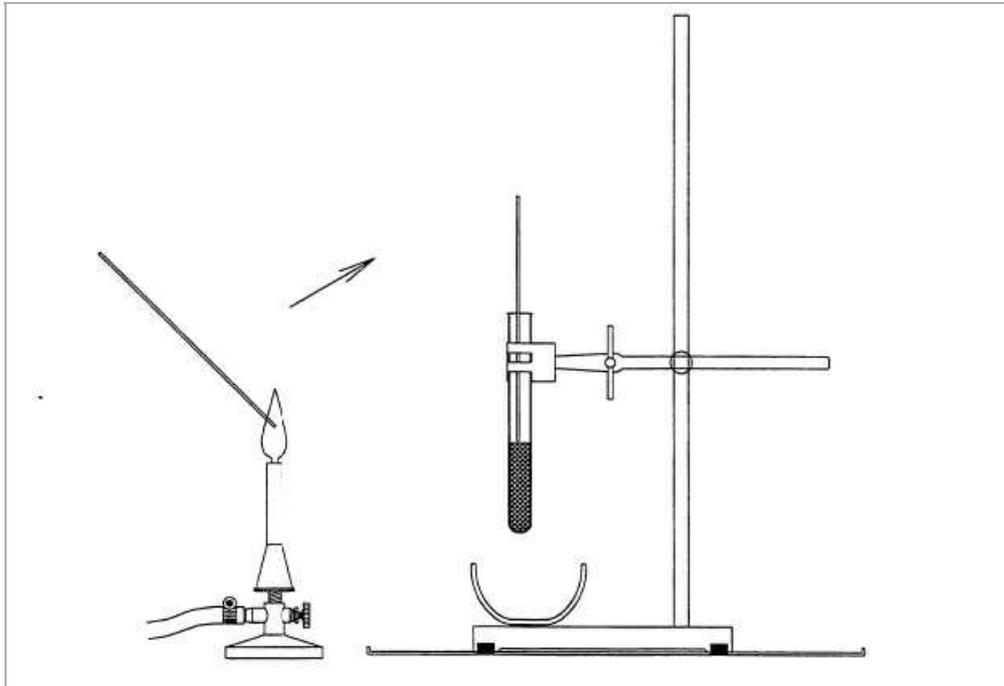
Material

Position	Material	Bestellnr.	Menge
1	Stativ-Fuß DEMO	02007-55	1
2	Stativstange Edelstahl 18/8, l = 600mm, d = 10mm	02037-00	2
3	Bunsenstativ, 210 x 130 mm, h = 750 mm	37694-00	1
4	Doppelmuffe -Kreuzklemme-	37697-00	2
5	Universalklemme, Stellschraube an beweglicher Seite	37715-00	2
6	Sicherheitsunterlegplatte	39180-10	1
7	Reagenzglas, d = 16 mm, l = 16cm, Laborglas, 100 Stück	37656-10	1
8	Mörser mit Pistill, 150 ml, Porzellan	32604-00	1
9	Eisenstäbchen, d = 2 mm, l = 200 mm, 5 Stück	45127-00	1
10	Verbrennungsrohr, l = 300 mm, NS 19, Quarzglas	33948-01	1
11	Ansatzstück NS 19/26 auf GL 18/8	35678-01	2
12	Schliffklemme, Kunststoff, NS 19	43614-00	2
13	Teflon-Manschetten NS 19, 10 Stück	43616-00	1
14	Glasröhrchen, rechteckig, 85 x 60, 10 Stück	36701-52	1
15	Teclubrenner mit Nadelventil, für Erdgas, DIN-Ausführung	32171-05	1
16	Sicherheits-Gasschlauch, DVGW , lfd. Meter	39281-10	1
17	Schlauchschelle für d = 12-20 mm, 1 Stück	40995-00	2
18	Anzünder für Erd- und Flüssiggas	38874-00	1
19	Stahlflasche, Sauerstoff, 2 l, gefüllt	41778-00	1
20	Druckminderventil für O2	33482-00	1
21	Maulschlüssel 32/30 für Stahlflaschen	40322-00	1
22	Tischständer für 2 l-Stahlflaschen	41774-00	1
23	Präzisionswaage, Sartorius ENTRIS623-1S, 620 g / 0,001 g	49294-99	1
24	Wägeschalen, quadratisch, 84 x 84 x 24 mm, 25 Stück	45019-25	1
25	Gummischlauch , Innen-d = 6 mm, lfd. m	39282-00	1
26	Löffelspatel, Stahl, l = 150 mm	33398-00	1
27	Pinzette, l = 200 mm, gerade, stumpf	40955-00	1
28	Quarzglaswolle 10 g	31773-03	1
29	Eisen,feines Pulver, 1000 g	30068-70	1
30	Schwefel, chem. rein, 1000 g	30216-70	1

Aufbau und Durchführung

Versuchsteil 1: Reaktion von Eisen und Schwefel zu Eisensulfid

In einem Mörser werden 7 g reines Eisenpulver mit 4 g Schwefelpulver gleichmäßig vermischt. Dieses Gemisch füllt man in ein Reagenzglas und hält dieses Reagenzglas gemäß Abbildung 1 senkrecht an einem Stativ und stellt den (wieder gereinigten) Mörser darunter. Den ganzen Aufbau stellt man auf eine hitzefeste Sicherheitsunterlegplatte

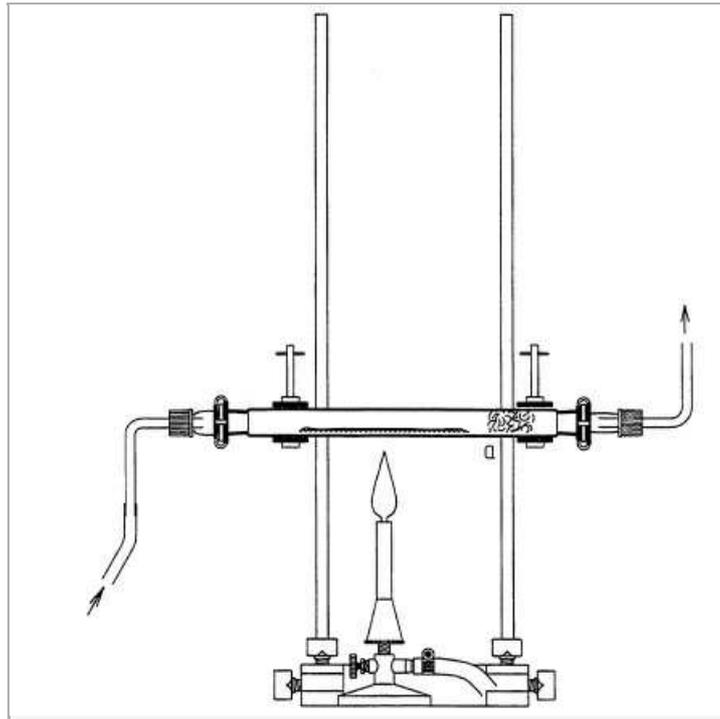


Nun erhitzt man das Ende eines Eisendrahtes in der Flamme eines Gasbrenners bis es glüht und führt diesen (glühenden) Eisendraht dann rasch an das Gemenge im Reagenzglas.

Achtung: Bei der Reaktion wird sehr viel Wärme frei, so dass das Reagenzglas meist infolge von Wärmespannungen zerspringt (Aufbau im Abzug)

Versuchsteil 2: Reaktion von Eisensulfid mit Sauerstoff

Das Reaktionsprodukt Eisensulfid aus Versuchsteil 1 wird im Mörser fein pulverisiert. Anschließend bringt man dieses Pulver in ein waagrecht gehaltenes Verbrennungsrohr aus Quarzglas und verteilt es in dem Rohr wie in Abbildung 2 über einen längeren Abschnitt in einer zusammenhängenden Schicht von etwa 2 mm Dicke. Von einer Seite her schiebt man noch einen kleinen Bausch aus Quarzwolle in das Verbrennungsrohr ("a" in Abbildung 2) und verschließt dieses dann mit dem Ansatzrücken NS 19 / GL 18 in die rechtwinklige Glasröhrchen eingesetzt sind.



Den fertigen Versuchsaufbau (gemäß Abbildung 2) verbindet man mit einer Sauerstoffquelle (Stahlflasche). Nun erhitzt man -wie in Abbildung 2 gezeigt- das Eisensulfid mit einer Gasflamme an dem Ende, dass der Sauerstoffquelle zugewandt ist, bis zur Rotglut. Nun lässt man einen schwachen Sauerstoffstrom durch das Quarzrohr treten. Sobald das erhitzte Eisensulfid hell aufglüht, löscht man die Gasflamme des Gasbrenners.

Beobachtung und Auswertung

Beobachtung

Aufgabe 1

Das Gemenge reagiert nicht von alleine. Es wirkt stabil. Nach dieser Feststellung bringt man ein Ende eines Eisendrahtes ($d = 2$ mm) in der Gasflamme auf helle Glut und führt dieses dann rasch an das Gemenge im Reagenzglas.

Das Gemisch beginnt an der Berührungsstelle sofort zu reagieren. Die Reaktion wandert von der Zündstelle unter Aufglühen durch das ganze Gemenge hindurch. Dabei wird viel Wärmeenergie frei, so daß das Reagenzglas meist infolge von Wärmespannungen zerspringt.

Aufgabe 2

Eine Reaktion zwischen Eisensulfid und Sauerstoff schreitet unter starkem Aufglühen durch das Eisensulfid fort. Gleichzeitig tritt aus dem Austrittsrohr Schwefeldioxid (Geruch) und etwas Schwefeltrioxid (Rauch) aus.

Auswertung

Auswertung 1: Reaktion von Eisen und Schwefel zu Schwefelsulfid

Das System Eisen/Schwefel ist sehr energiereich, was die stark exotherme Reaktion zeigt. Es reagiert jedoch nicht selbständig, sondern erst nach Zufuhr einer Aktivierungsenergie an einer kleinen Stelle (Zündstelle). Durch diesen Energiebetrag wird eine kleine Menge des Gemisches zur Reaktion angeregt. Die bei der beginnenden Reaktion freiwerdende Energie aktiviert die angrenzenden Gemengeteilchen und bringt sie ihrerseits zur Reaktion. Auf diese Weise schreitet die Reaktion durch das Gemenge fort. Der insgesamt bei der Reaktion freiwerdende Energiebetrag, die Reaktionsenthalpie, ist wesentlich größer, als der zur Aktivierung aufgebrauchte Energiebetrag.

Das System Eisen/Schwefel befindet sich zunächst in einem metastabilen Zustand. In diesem (Gemenge)Zustand kann es viele Jahre überdauern, ohne dass zwischen den Gemengekomponenten eine Reaktion einsetzt. Durch die Zufuhr eines geringen Energiebetrags wird es an einer Stelle in einen instabilen Zustand überführt, der die Reaktion einleitet. Unter Wärmeabgabe geht das Gemisch in die stabile Verbindung Eisensulfid über:



Das heißt nun jedoch nicht, dass das Eisensulfid für alle Zeit stabil sein muss. In Kombination mit anderen Stoffen kann das Eisensulfid wieder metastabile Systeme bilden, die nach Aktivierung unter Wärmeabgabe, also exotherm, reagieren. Das zeigt auch der Versuch "Reaktion von Eisensulfid mit Sauerstoff"

Auswertung 2: Reaktion von Eisensulfid mit Sauerstoff

Die Reaktion von Eisensulfid mit Sauerstoff läuft exotherm ab. Das metastabile Ausgangssystem (Eisensulfid/Sauerstoff) reagiert nach Zufuhr von Aktivierungsenergie unter Abgabe von Wärmeenergie. Das Endsystem Fe_2O_3 / SO_2 muss somit energieärmer als das Ausgangssystem sein. Das bedeutet jedoch nicht, dass diese Stoffe keinerlei Energie mehr enthalten. Auch sie können mit anderen Reaktionspartnern wieder energiereiche (metastabile) Systeme bilden, z.B. Eisenoxid und Aluminium (= Thermitgemisch)

