Logo folgt

Stand: 24.11.2026 | Quelle: DEGINTU

Experiment: Grüner Stahl; Reduktion von Eisen(III)-oxid mit Wasserstoff

DEGINTU-ID: 208444 | Nr: 3108 | Institut für Chemieinformation

Schülerversuch ab Jahrgangsstufe 10

Kategorie: Modelle und Simulationen, Metalle und Salze, Redoxreaktion

Reaktionsgleichung

$Zn + 2\ HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$ (exotherm)
$Fe_2O_3 + 3\ H_2 \rightarrow 2\ Fe + 3\ H_2O$ (endotherm)
Beschleunigung: $Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$
Bei der Variante Druckgasflasche entfallen die Reaktionen von Zink.
Nachweis: $Fe + 2\ HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2$
Vergleich Hochofen: $Fe_2O_3 + 3\ CO \rightarrow 2\ Fe + 3\ CO_2$
Vergleich Direktreduktion mit Erdgas (Heinzerling, berichtigt im Erratum): Reformer $3\ CH_4 + 3\ H_2O \rightarrow 3\ CO + 9\ H_2$; Nettoreaktion $4\ Fe_2O_3 + 3\ CH_4 \rightarrow 8\ Fe + 6\ H_2O + 3\ CO_2$

Durchführung

⚠ **Erprobungsvorschrift, noch nicht im Labor erprobt.**

Vorbereitung des Kippschen Apparats

1. Etwa 10 bis 15 Zink-Granalien durch die seitliche Öffnung in den mittleren Reaktionsraum geben.
2. 30 mL Salzsäure (10 %) im Messzylinder abmessen und mit wenigen Tropfen Kupfer(II)-sulfat-Lösung (1 mol/L) versetzen. Das Kupfer beschleunigt die Gasentwicklung.
3. Die Säure durch die obere Öffnung einfüllen, bis die Granalien bedeckt sind. Die Gasentwicklung setzt ein.
4. Den Stopfen mit dem Zweiwegehahn in die seitliche Öffnung stecken und den Hahn schließen. Das entstehende Gas drückt die Säure in den oberen Vorratsbehälter, die Reaktion kommt zum Stillstand.

Vorbereitung der Pipette

1. Einen kleinen Pfropfen Eisenwolle mit dem Metalldraht bis kurz vor die Verjüngung der Pipette schieben.
2. Mit dem Mikrospatel wenig Eisen(III)-oxid einfüllen und durch Klopfen zu einer dünnen, etwa 5 cm langen Schicht verteilen. Der Gasweg muss frei bleiben.
3. Die Pipette über das Schlauchstück mit dem Zweiwegehahn verbinden, waagerecht einspannen und den Apparat auf die passende Höhe bringen. Die Pipettenspitze zeigt von Personen und vom Brenner weg.

Durchführung

1. Den Hahn öffnen: Die Säure fließt in den Reaktionsraum zurück, Wasserstoff strömt durch die Pipette.
2. Mindestens 1 min spülen. Dann an der Pipettenspitze Gas in einem kleinen, umgedrehten Reagenzglas auffangen und abseits des Aufbaus die Knallgasprobe machen. Erst wenn sie leise abbrennt, weiterarbeiten.
3. Den Brenner entzünden und das Eisenoxid von unten kräftig erhitzen, bis es sich vollständig schwarz gefärbt hat. Danach noch etwa 2 min weiter erhitzen (vorläufiger Richtwert), denn die Schwarzfärbung zeigt nur die ersten Reduktionsstufen an. Den Brenner dabei von Küvette und Pipettenspitze fernhalten.
4. Den Brenner wegnehmen und löschen. Den Hahn noch offen lassen, bis die Pipette abgekühlt ist (etwa 2 min), dann schließen.
5. Einen Magneten von außen an die Pipette halten, an Edukt (vorher, an unerhitzter Stelle) und Produkt.
6. Das abgekühlte Produkt durch das weite Pipettenende in ein Reagenzglas klopfen; die Eisenwolle bleibt in der Pipette, weil auch sie Gas entwickeln und Eisen vortäuschen würde. Etwa 2 mL Salzsäure (10 %) zugeben, Flammen fernhalten, und auf Gasblasen achten. Zum Vergleich eine Spatelspitze unerhitztes Eisen(III)-oxid ebenso behandeln.

Variante: Wasserstoff aus der Druckgasflasche (nur Lehrerversuch, im Abzug)

Rückfalloption, wenn kein Kippscher Apparat vorhanden ist: Die Wasserstoff-Druckgasflasche wird direkt an die Pipette angeschlossen. „Direkt“ heißt ohne Gasentwickler; Druckminderer, Feinregulierventil und Rückschlagsicherung bleiben nötig. Zink und Kupfer(II)-sulfat-Lösung entfallen; Salzsäure wird nur für den Nachweis gebraucht. Die Pipette wird wie oben vorbereitet.

1. Aufbau in Strömungsrichtung: gegen Umfallen gesicherte Wasserstoff-Druckgasflasche, Druckminderer für Wasserstoff, Feinregulierventil, Rückschlagsicherung (Flammensperre), Waschflasche mit wenig Wasser als Blasenzähler, Pipette. Pipette und Brenner stehen im Abzug. Verbindungen auf Dichtheit prüfen.
2. Flaschenventil öffnen, kleinen Hinterdruck einstellen und mit dem Feinregulierventil einen schwachen Gasstrom einregeln (Richtwert: etwa 2 Blasen pro Sekunde).
3. Mindestens 1 min spülen und die Knallgasprobe wie oben machen. Erst wenn sie leise abbrennt, weiterarbeiten.
4. Erhitzen und Abkühlen unter Wasserstoff, Magnetprüfung und Salzsäure-Nachweis wie oben.
5. Flaschenventil schließen, Leitung über die Pipette entspannen, Druckminderer und Feinregulierventil schließen. Die Flasche nach dem Versuch aus dem Unterrichtsraum entfernen.

Beobachtung

Beim Kippschen Apparat steigen am Zink Gasblasen auf. Das rote Pulver wird beim Erhitzen zunächst schwarz und gegen Ende zunehmend grau (Rosenberg et al. und Heinzerling beschreiben das Produkt als grau bzw. stahlgrau; in der Pipette noch nicht erprobt), hinter der heißen Zone schlagen sich Wassertröpfchen an der Glaswand nieder. Das rote Edukt reagiert nicht auf den Magneten, das Produkt folgt ihm und richtet sich an ihm auf. Mit Salzsäure entwickelt das Produkt Gasblasen, das Vergleichsoxid nicht.

Auswertung

Wasserstoff reduziert Eisen(III)-oxid über die Zwischenstufen Magnetit und Wüstit zu fein verteiltem Eisen und wird selbst zu Wasser oxidiert. Der letzte Schritt vom Wüstit zum Eisen ist der langsamste. Die Reaktion ist endotherm und läuft nur unter ständiger Wärmezufuhr. Im Hochofen ist Kohlenstoff das Reduktionsmittel, dabei entsteht Kohlenstoffdioxid; bei der Reduktion mit Wasserstoff entsteht als Nebenprodukt nur Wasser.

Das Modell hat Grenzen. Das Produkt ist noch kein Stahl, sondern entspricht dem Eisenschwamm der Direktreduktion; Stahl entsteht erst durch Einschmelzen und Einstellen der Legierung. „Grün“ ist das Verfahren nur, wenn der Wasserstoff mit erneuerbarem Strom durch Elektrolyse gewonnen wird, was für Wasserstoff aus Zink und Salzsäure nicht gilt. Auch Flaschengas ist nur dann grün, wenn es so hergestellt wurde; heute stammt Wasserstoff überwiegend aus Erdgas. Der Magnet allein beweist kein Eisen, denn auch Magnetit (Fe3O4) ist schwarz und magnetisch. Erst die Gasentwicklung mit Salzsäure zeigt metallisches Eisen, denn die Oxide lösen sich ohne Gasentwicklung. Als kostengünstigeren Weg stellt Heinzerling (s. Literatur) die Direktreduktion mit Ammoniak vor. Auch sie ist nur grün, wenn das Ammoniak aus grünem Wasserstoff stammt. Das eigentliche Reduktionsmittel ist auch dort Wasserstoff, der aus dem Ammoniak frei wird (Ma et al., s. Literatur). Einen eigenen Versuchsentwurf dazu enthält die VV #208490. Als Übergang können Direktreduktionsanlagen mit Erdgas arbeiten, das ein Reformer zu Synthesegas aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff umsetzt; dabei entsteht weiter Kohlenstoffdioxid.

Geräte und Material

Kippscher Apparat im Kleinmaßstab (Kipp-Küvette, Bezugsquelle laut Quelle: Hedinger) mit kleinem Trichter, Gummistopfen mit einer Bohrung, passender Zweiwegehahn, Pasteurpipette aus Glas mit passendem Schlauchstück, Hebebühne, Stativ mit Klemme, Messzylinder 50 mL, Tropfpipette, Becherglas, Mikrospatel, Metalldraht zum Einschieben der Eisenwolle, Gasbrenner, kleines Reagenzglas für die Knallgasprobe, Magnet, 2 Reagenzgläser im Ständer, bei Vorführung Schutzscheibe

Zusätzlich bei der Variante Druckgasflasche: Wasserstoff-Druckgasflasche mit Flaschensicherung, Druckminderer für Wasserstoff, Feinregulierventil, Rückschlagsicherung (Flammensperre), Waschflasche, Schläuche, Abzug; Kipp-Küvette, Stopfen, Hahn, Messzylinder, Tropfpipette und Becherglas entfallen.

Für die Erprobungsaufträge (s. Sonstiges): Heißluftgebläse, Waage, Analysenwaage (0,1 mg), Backpapier, Quarzrohr, leere Gaswaschflasche, Schale mit Eiswasser, zweite Rückschlagsicherung (Flammensperre).

Zusammengestellt i. A. Claude am 04.11.2026 aus den beiden Quellen, noch nicht erprobt. Salzsäure 10 %, Eisenwolle und die Mengen (30 mL; Granalienzahl geschätzt) stammen aus dem stummen Video; Schwab nennt Schwefelsäure 1 mol/L und Stahlwolle 000 und gibt keine Mengen an. Ergänzungen gegenüber den Quellen: Spülzeit, Knallgasprobe, Abkühlen unter Wasserstoff (Schwab schließt den Hahn vor dem Abstellen des Brenners), Magnetit-Hinweis, Salzsäure-Nachweis, Modellgrenzen. Beide Quellen sehen einen Schülerversuch vor; Die Beschränkung S9K hat der Auftraggeber am 04.11.2026 gesetzt; die Erprobung steht aus, und die Variante Druckgasflasche bleibt Lehrerversuch. Das Experiment von Heinzerling arbeitet mit Ammoniak und ist in die VV #208490 eingearbeitet (Volltext seit 05.11.2026).

Variante Druckgasflasche auf Wunsch ergänzt i. A. Claude am 04.11.2026; sie steht in keiner der beiden Quellen, Aufbau und Blasenrichtwert sind ungeprüft (veröffentlichter Druckgasaufbau: s. Nachtrag Betten et al.). Bei dieser Variante entfallen in der Stoffliste Zink, Kupfer(II)-sulfat, Zinkchlorid und Kupfer.

Die Variante Ammoniak ist am 04.11.2026 auf Wunsch i. A. Claude in die eigene VV #208490 ausgelagert worden.

Heizquelle (Vorgabe des Auftraggebers, i. A. Claude, 04.11.2026): Heißluftgebläse statt Gasbrenner, soweit möglich. Für die Eisenreduktion ist weiter der Brenner vorgesehen, weil das Gebläse dort vermutlich nicht genügt. Bei der Erprobung mit Wasserstoff trotzdem zuerst das Gebläse auf höchster Stufe versuchen und das Ergebnis mit einem Nachweis prüfen: Bei zu niedriger Temperatur kann schon Magnetit entstehen, der ebenfalls schwarz und magnetisch ist, sodass Farbe und Magnet Eisen nur vortäuschen. Eine Probe des Produkts in verdünnter Salzsäure entwickelt nur mit Eisen deutlich Gas. Die Düse des Gebläses ist eine Zündquelle und bleibt nach dem Abstellen heiß.

Erratum (i. A. Claude, 04.11.2026): Die beiden berichtigten Gleichungen sind mit dem Wortlaut des Erratums abgeglichen und ausgeglichen. Sie betreffen die Erdgas-Route, nicht diesen Versuch. Der Erratum-Text spricht von Eisen(II)oxid, die Gleichung nutzt Fe2O3; übernommen ist die Gleichung.

Nachtrag Literatur (i. A. Claude, 04.11.2026). Chen et al., Wasserstoff: Reines Fe2O3 als etwa 2 mm dicker Pressling, stetig aufgeheizt mit 5 K/min in 10 L/h reinem Wasserstoff, ist bei 457 °C zu 50 %, bei 513 °C zu 90 % und bei 530 °C zu 99 % umgesetzt (Messdaten zu Supplementary Fig. S3). Die Temperatur schließt das Heißluftgebläse also nicht von vornherein aus, wenn am Pulver etwa 530 °C ankommen; das ist nicht gemessen. Von 10 auf 99 % Umsatz vergehen dort aber gut 30 min und über 5 L Gas, während der Kippsche Apparat aus 30 mL Salzsäure 10 % rechnerisch nur etwa 1 L liefert. Der Erprobungsauftrag bleibt deshalb bestehen; das Gebläse der Quelle ist ein geregeltes Laborgerät an einer 0,6-mm-Kapillare und kein Beleg für Schulgeräte. Bei 700 °C (50 mg Pulver, 10 L/h) ist die Massenabnahme nach rund 2 min abgeschlossen; die Kurve endet bei etwa 83 % des rechnerischen Umsatzes, was der Aufsatz nicht erläutert. Daraus stammt der Richtwert von 2 min Nachheizen; die Übertragung auf die Pipette ist ungeprüft. Geschwindigkeitsbestimmend ist Wüstit → Eisen, auch wegen unvollständiger Wasserabfuhr; das stützt dünne Schicht und freien Gasweg. Nickel oder Nickeloxid senken die Reduktionstemperatur um rund 100 K und halbieren die Zeit, sind hier aber nicht übernommen: Nickelmonoxid ist Carc. 1A (H350i), Nickelpulver Carc. 2 (H351), STOT RE 1 (H372) und Skin Sens. 1 (H317).

Ma et al. nennen poröses Eisen als anfällig für stark exotherme Rückoxidation; das stützt das Abkühlen unter Wasserstoff.

Erprobungsauftrag Kupfer(II)-oxid als Beschleuniger (i. A. Claude, 04.11.2026; eigene, ungeprüfte Idee, nicht Teil des Ablaufs): Prüfen, ob etwas Kupfer(II)-oxid im Eisen(III)-oxid die Reduktion so beschleunigt oder die nötige Temperatur so senkt, dass kürzeres Heizen, weniger Gas oder das Heißluftgebläse genügen. Chen et al. messen diese Wirkung für Nickel; Kupfer nennen sie nur nach der Wasserstoff-Adsorption als Kandidaten und verwerfen es wegen schlechter Legierbarkeit mit Eisen, was hier keine Rolle spielt. Eine Wirkung ist damit nicht belegt. Vorschlag: etwa 10 Massen-% Kupfer(II)-oxid untermischen (Richtwert) und mit Blindprobe ohne Kupferoxid vergleichen, gleiche Heizquelle, Zeit und Gasmenge, beide mit Salzsäure-Nachweis. Dabei prüfen, ob Kupfer den Nachweis stört, denn Reste von Kupferoxid lösen sich in Salzsäure, und Kupfer(II)-Ionen reagieren mit Eisen. Kupfer(II)-oxid ist Aquatic Acute 1 und Chronic 1 (H400, H410; M = 100), in DEGINTU zusätzlich Acute Tox. 4; Rückstände in den Behälter für schwermetallhaltige Abfälle. Es steht nur für diese Erprobung in der Stoffliste. Das Kupfer(II)-sulfat im Kippschen Apparat hat damit nichts zu tun; es beschleunigt nur die Gasentwicklung am Zink.

Nachtrag Betten et al., Unterricht Chemie 186 (i. A. Claude, 04.11.2026). Ausgewertet ist nur der frei lesbare Anfang; er bricht beim Nachweis ab. Abbildung 1 liegt nicht vor, nur die Aufmacherzeichnung der Seite; ob sie ihr entspricht, ist offen. Der Beitrag beschreibt einen Lehrerversuch als Demonstration für die Sekundarstufe II mit Wasserstoff 5.0 aus der Druckgasflasche: etwa 5 g Eisen(III)-oxid auf etwa 6 cm im Quarzrohr (20 × 2,6 cm) zwischen Quarzwolle, Spülen bis zur negativen Knallgasprobe, 4 bis 6 min mit dem Gasbrenner erhitzen (ggf. mit Diffusor), dann das Produkt im anhaltenden Wasserstoffstrom 6 bis 10 min bis handwarm abkühlen und dabei mit dem Magneten auflockern. Das stützt hier die Variante Druckgasflasche als Lehrerversuch, Spülen mit Knallgasprobe, den Brenner als Heizquelle und das Abkühlen unter Wasserstoff. Die etwa 2 min Abkühlzeit dieser VV gelten nur für die kleine Probe in der Pipette; ob sie reichen, ist bei der Erprobung zu prüfen. Abweichungen, hier nicht übernommen: Quarzrohr und 5 g statt Pipette und Mikromenge. Laut Text und Zeichnung sitzt die Rückschlagsicherung dort am Gasaustritt, der austretende Wasserstoff brennt dort ab, und zwischen Flasche und Rohr ist keine Sicherung eingezeichnet; hier sitzt sie vor der Pipette, und das Gas strömt schwach in den Abzug. Die Zeichnung zeigt hinter dem Rohr eine Gaswaschflasche im Wasserbad der pneumatischen Wanne, vermutlich als Kühlfalle für das Reaktionswasser mit dem Eiswasser (aus der Zeichnung geschlossen, im Text nicht gelesen). Die Rolle von Calciumchlorid und Watte bleibt offen. Nichts davon ist in diese VV übernommen. Abgleich mit dem Volltext steht aus.

Erprobungsauftrag Kühlfalle (i. A. Claude, 04.11.2026; nach der Zeichnung bei Betten et al., nicht Teil des Ablaufs, nur Variante Druckgasflasche): Hinter der Pipette eine leere Gaswaschflasche im Eiswasser einbauen, um das Reaktionswasser zu sammeln. Rechnerisch ergeben 100 mg Eisen(III)-oxid nur etwa 34 mg Wasser; zu prüfen ist, ob das sichtbar wird oder schon in der Pipette bleibt. Der Blasenzähler mit Wasser befeuchtet das Gas vor der Pipette. Für diesen Auftrag gehört er deshalb hinter die Kühlfalle, und eine Blindprobe ohne Eisenoxid muss zeigen, dass ohne Reaktion kein Wasser ankommt. Mit dem Kippschen Apparat ist das Gas ohnehin feucht, der Beleg also nicht eindeutig. Die Waschflasche darf den Gasweg nicht merklich drosseln.

Erprobungsauftrag Abbrennen (i. A. Claude, 04.11.2026; nicht Teil des Ablaufs, nur Variante Druckgasflasche, im Abzug): Bis dahin strömt das Gas schwach in den Abzug. Zu prüfen ist, ob der überschüssige Wasserstoff wie bei Betten et al. am Austritt abgebrannt werden kann. Dafür eine zweite Rückschlagsicherung (Flammensperre) am Austritt einbauen, erst nach bestandener Knallgasprobe entzünden und die Flamme vor dem Abstellen des Gases nicht aus dem Blick lassen; die Wasserstoffflamme ist kaum sichtbar. Die Flamme ist eine zusätzliche Zündquelle am Gasweg und in der kleinen Pipette unerprobt. Auch Rosenberg et al. brennen den Wasserstoff an der Spitze ab, mit Kupferdraht in der Glasspitze und Glaswolle als Rückschlagsicherung.

Nachtrag Rosenberg et al., CHEMKON 32 (2025) 197–200 (i. A. Claude, 05.11.2026). Demonstration mit Wasserstoff im senkrecht eingespannten Quarzrohr (20 cm, Ø 1,8 cm), zu je einem Drittel Tongranulat (Seramis), Eisen(III)-oxid-Granulat und Tongranulat; Glaswolle und Kupferdraht in der Glasspitze als Rückschlagsicherung; negative Knallgasprobe, Wasserstoff an der Spitze entzünden, mit Kartuschen- oder Lötbrenner bis zur Rotglut erhitzen, unter Wasserstoff abkühlen. Das stützt Spülen, Knallgasprobe, Brenner und Abkühlen unter Wasserstoff, ebenso die graue Endfarbe. Wird die Glaspipette bei der Erprobung weich, ist bei der Variante Druckgasflasche ein Quarzrohr die veröffentlichte Lösung; Betten et al. und Rosenberg et al. verwenden beide eines.

Nicht übernommen: (1) Granulat aus Eisenoxid und Tapetenkleister. Es hält den Gasweg offen, aber die Autoren schreiben selbst, dass der Säurenachweis damit nicht aussagekräftig ist; der Salzsäure-Nachweis ist hier fest im Ablauf. Vermutlich verkohlt der Kleister zudem in der Rotglut, und Kohlenstoff kann Eisenoxid ebenfalls reduzieren (eigene Einschätzung, ungeprüft). Abbildung 3 zeigt überwiegend schwarze Stücke mit grauen und einzelnen roten Anteilen. (2) Ausschluss von Magnetit mit einer Magnetometer-App. Dass loses Pulver keine messbare Dauermagnetisierung zeigt, schließt Magnetit nicht sicher aus (eigene Einschätzung, ungeprüft). (3) Die Bezeichnung Hochofen; beschrieben wird die Direktreduktion im Schachtofen. Als Unterrichtseinstieg nennt der Aufsatz den Beitrag der „Sendung mit der Maus“ zu Klimawandel und Energie, zur Vertiefung ein Planspiel (Neff et al., s. Literatur).

Erprobungsauftrag Massenbilanz (i. A. Claude, 05.11.2026; nach Heinzerling, nicht Teil des Ablaufs): Pipette oder Quarzrohr mit Eisenwolle leer, mit Eisenoxid und nach dem Versuch auf der Analysenwaage (0,1 mg) wägen, vorher Kondenswasser austreiben. Das Verhältnis Einwaage zu Auswaage beträgt rechnerisch 1,43 für Eisen, 1,11 für Wüstit und 1,03 für Magnetit und würde ohne Säure zwischen ihnen unterscheiden. Zu prüfen ist, ob es bei Eisenwolle und feuchtem Gas aus dem Kippschen Apparat noch eindeutig ist; die Eisenwolle kann im Gasstrom selbst Masse ändern.

Erprobungsauftrag Wasserglas-Granulat (i. A. Claude, 05.11.2026; nach Rossow/Flint, nicht Teil des Ablaufs, nur für Quarzrohr, nicht für die Pipette): Das Kleister-Rezept bei Rosenberg et al. stammt aus Rossow/Flint, CHEMKON 13 (2006) 31–32. Dort ist als zweites Bindemittel Wasserglas genannt: Eisen(III)-oxid-Pulver damit andicken, etwa 3 mm dick auf Backpapier trocknen lassen und zu etwa stecknadelkopfgroßen Stückchen zerschlagen. Es verkohlt nicht, sodass der Einwand gegen den Kleister entfiele. Zu prüfen ist mit Blindprobe, ob Granulat ohne Reduktion mit Salzsäure gasfrei bleibt und ob die Reduktion im Korn vollständig abläuft (eigene, ungeprüfte Erwartung; die Quelle hat es nicht mit Wasserstoff untersucht). Natriumsilikat ist in DEGINTU als Skin Corr. 1B, Eye Dam. 1 und STOT SE 3 eingestuft; die Einstufung der verwendeten Wasserglas-Lösung prüfen, beim Anrühren Schutzbrille und Schutzhandschuhe. Das Anrühren bleibt Sache der Lehrkraft.

Gefahrstoffe

Name	Formel	CAS-Nr.	H-Sätze	P-Sätze	Piktogramme
Eisen, Pulver	Fe	7439-89-6	H228 H252	P210 P235 P240 P241 P280 P403+P235	GHS02
Eisen(III)-oxid	Fe_2O_3	1309-37-1			
Kupfer, Pulver	Cu	7440-50-8	H228 H410	P210 P240 P241 P273 P370+P378	GHS02, GHS09
Kupfer(II)-oxid	CuO	1317-38-0	H410	P273	GHS09
Natriumsilikat	$Na_2O \cdot n\ SiO_2$	1344-09-8	H290 H314 H335	P234 P260 P271 P280 P303+P361+P353 P305+P351+P338	GHS05, GHS07
Salzsäure 10%	HCl·aq		H290 H315 H319 H335	P261 P280 P302+P352 P304+P340 P303+P361+P353 P305+P351+P338	GHS05, GHS07
Wasserstoff	H_2	1333-74-0	H220	P210 P377 P381 P403	GHS02
Zinkchlorid	$ZnCl_2$	7646-85-7	H302 H314 H410	P273 P280 P308+P310 P301+P330+P331 P305+P351+P338	GHS05, GHS07, GHS09

Wasserstoff, Druckgas	H_2	1333-74-0	H220 H280	P210 P377 P381 P403	GHS02, GHS04
Eisen, Wolle	Fe	7439-89-6			
Zink, Granalien	Zn	7440-66-6			
Eisen(II)-chlorid-4-Hydrat	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	13478-10-9	H302 H314	P280 P310 P305+P351+P338	GHS05, GHS07
Wasser, entionisiert	H_2O	7732-18-5			
Kupfer(II)-sulfat 1M	$CuSO_4 \cdot aq$		H302 H318 H411	P273 P280 P302+P352 P305+P351+P338	GHS05, GHS07, GHS09

Persönliche Schutzausrüstung

- Eine **Gestellschutzbrille** ist zu tragen.
- Als Spritzschutz dienen **Nitril-Einmalhandschuhe**.

Schutzmaßnahmen

Abzug bei der Variante Druckgasflasche. i. A. Claude

Gefahren

- durch Einatmen
- durch Hautkontakt
- durch Augenkontakt
- Brandgefahr
- Explosionsgefahr

Weitere Gefahren und Hinweise

Gefährdungen (i. A. Claude, 04.11.2026): Wasserstoff bildet mit Luft explosionsfähige Gemische. Die Eisenwolle sitzt auf der Auslassseite. Sie schützt nur gegen eine Zündung an der Pipettenspitze, nicht gegen eine Zündung an der heißen Zone in Richtung Küvette. Deshalb erst nach Spülen und Knallgasprobe heizen; die Quelle verzichtet wegen der kleinen Gasmenge auf die Probe. Frisch reduziertes, fein verteiltes Eisen kann an Luft selbst aufglühen; deshalb unter Wasserstoff abkühlen lassen und nicht heiß ausschütten. Die Glaspipette ist nach dem Erhitzen lange heiß. Chloridhaltige Reaktionslösung und Kupfer sind gewässergefährdend.

Variante Druckgasflasche (i. A. Claude, 04.11.2026): Der Gasvorrat ist nicht wie beim Kippschen Apparat durch die Zinkmenge begrenzt, und die Flasche steht unter hohem Druck (H220, H280). Deshalb nur als Lehrerversuch im Abzug, mit Rückschlagsicherung und schwachem Gasstrom; ausströmendes Gas darf sich nicht im Raum ansammeln.

Sicherheitshinweise

Schutzbrille tragen. Bei Vorführung Schutzscheibe zu den Schülerinnen und Schülern. Erst nach Spülen und bestandener Knallgasprobe heizen. Brenner von Küvette und Pipettenspitze fernhalten. Pipette unter Wasserstoff abkühlen lassen. Nur reines Zink verwenden. Variante Druckgasflasche: nur Lehrerversuch im Abzug, Flasche sichern, Rückschlagsicherung einbauen, Flaschenventil nach dem Versuch schließen. i. A. Claude

Substitution

Substitution 1

Substitution von Gefahrstoffen, Verwendungsformen und -verfahren wurde geprüft. Der Versuch ist zur Vermittlung wesentlicher Lerninhalte nicht verzichtbar und kann unter Einhaltung der in der Versuchsvorschrift genannten Einschränkungen und mit den dort genannten Schutzmaßnahmen durchgeführt werden.
Gefährliche Stoffeigenschaften oder andere Gefährdungen, die eine Durchführung durch Schüler/innen oder Lehrkräfte grundsätzlich ausschließen würden, sind nicht bekannt. Die Stoffliste DGUV Information 213-098 in degintu.dguv.de wurde berücksichtigt.

Entsorgung

Der Apparat mit Füllung kann wiederverwendet werden. Sonst die Lösung in den Behälter für schwermetallhaltige Abfälle geben, nicht ins Abwasser. Das Produkt nach dem Abkühlen anfeuchten; die Pipette mit Inhalt zum Glasabfall. Die Nachweisproben in den Behälter für saure anorganische Abfälle. Bei der Variante Druckgasflasche fällt sonst keine Reaktionslösung an; das Wasser der Waschflasche kann ins Abwasser.

Literatur

M. Schwab: Reduktion von Eisenoxid mit Wasserstoff, https://www.fachreferent-chemie.de/wp-content/uploads/Reduktion-mit-Wasserstoff2.pdf.
Zentrum für Chemie e. V. / Schule 3.0: Versuch: Reduktion von Eisenoxid mit Wasserstoff „Grüner Stahl vs klass. Hochofenprozess“, Video, 26.09.2023, https://youtu.be/AlH3eIAEGaw (Durchführung A. Ludewig, A. Knapp; nach Schwab, modifiziert).
Weiterführend: P. Heinzerling: Von der Forschung direkt in die Schule: Grüner Stahl – Direktreduktion mit Ammoniak, CHEMKON 31 (2024) 221–225, DOI 10.1002/ckon.202400004; Erratum: CHEMKON 32 (2025) 75, DOI 10.1002/ckon.202580242.
Max-Planck-Gesellschaft: Mit Ammoniak zu grünem Stahl, https://www.mpg.de/20212313/mit-ammoniak-zu-klimaneutralem-stahl.
Y. Ma et al.: Reducing Iron Oxide with Ammonia: A Sustainable Path to Green Steel, Adv. Sci. 10 (2023) 2300111, DOI 10.1002/advs.202300111.
X. Chen et al.: Solid–solid catalysis for sustainable alloy synthesis, Nat. Synth. 5 (2026) 1340–1348, DOI 10.1038/s44160-026-01086-5, mit Supplementary Data 3.

S. Betten, K. Schürmann, D. Thiele, K. Sommer: Reduktion von Eisen(III)-oxid mit Wasserstoff zu Eisen, Unterricht Chemie Nr. 186 (2021), Friedrich Verlag,
https://www.friedrich-verlag.de/friedrich-plus/sekundarstufe/chemie/chemische-reaktionen/reduktion-von-eiseniii-oxid-mit-wasserstoff-zu-eisen-10582 (nur frei lesbarer Anfang ausgewertet, Seitenzahl fehlt; laut Rosenberg et al. Experimentekarte).
Weiterführend: D. Rosenberg, T. Wagner, A. Hallmann: Der Zukunfts-Hochofen – ein Modellversuch zum Hochofenprozess mit (grünem) Wasserstoff, CHEMKON 32 (2025) 197–200, DOI 10.1002/ckon.202400058.
M. Rossow, A. Flint: Sauerstoff aus Oxi-Reinigern – der Hochofen im Reagenzglas, CHEMKON 13 (2006) 31–32.
Nicht eingesehen, zitiert bei Rosenberg et al.: S. Neff, A. Engl, B. Risch: Klimafreundliche Stahlproduktion im 21. Jahrhundert, Unterricht Chemie 186 (2021) 30–35.

Hinweis: Diese PDF-Datei ersetzt nicht die Gefährdungsbeurteilung und deren Dokumentation z.B. mit der Datenbank DEGINTU (degintu.dguv.de).

Erstellt am 24.11.2026 | DEGINTU - https://degintu.dguv.de