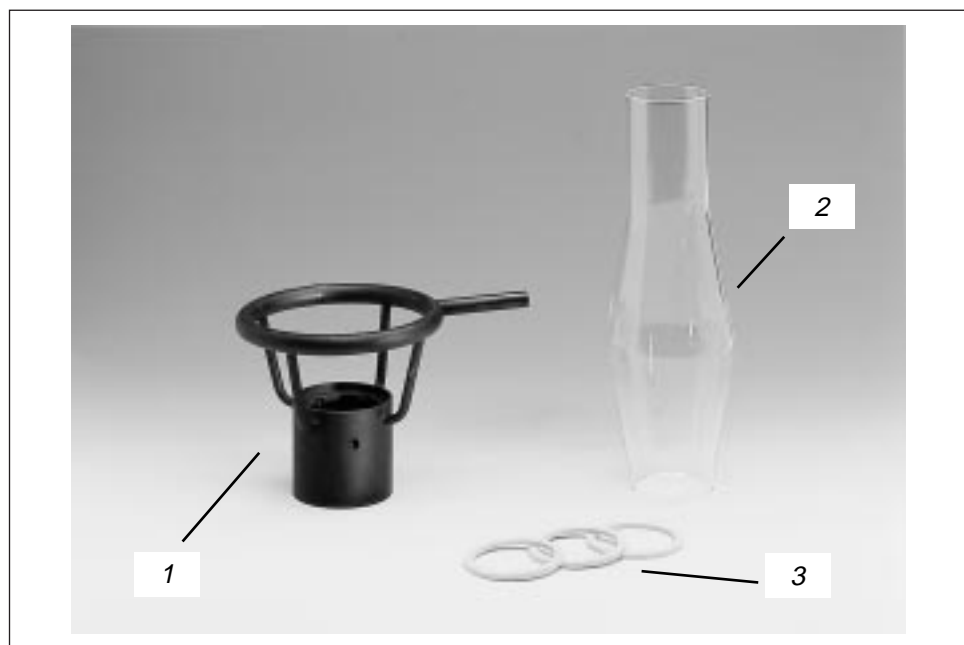




## Gestell mit Ringluftleitung für Hochofen-Funktionsmodell

36688.01

### Betriebsanleitung



#### 1 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Mit dem Experimentiergerät "Hochofen-Funktionsmodell" kann die Reduktion von Eisenerz zum Roheisen, wie sie in Hochofen abläuft, in beeindruckender Weise wirklichkeitsnah nachvollzogen werden. Das Hochofenmodell selbst, die Ausgangsmaterialien, die Beschickung und die Funktion sind mit dem Original weitgehend identisch. Im Vergleich zum Originalhochofen ist das Modell jedoch für die Belange des Unterrichts vereinfacht und aus Gründen der besseren Beobachtbarkeit der ablaufenden Vorgänge sinnvoll abgeändert worden.

So lassen sich durch den aus Glas gefertigten Schacht- und Rastteil (Glasschacht) die zur Formebene (vergl. Abb. 3) hin zunehmenden Temperaturen (Intensität der Glut) sowie das Absinken der Erz-Kohle-Schichten während der Reaktion direkt beobachten. Das bei der Reaktion entstehende Gichtgas kann an der Schachtöffnung abgefaßt werden. Bedingt durch die Größe und die Vereinfachungen kann bei dem Modellversuch nicht in allen Bereichen eine volle Übereinstimmung mit dem Originalhochofenprozeß erreicht werden. So kann die während der Reaktion durch die Kohleschicht hindurchtropfende und sich im Gestell sammelnde Schmelze nicht abgestochen werden. Das Eisenabstichloch und das Schlackenabflußloch sind im Gestell des Hochofenmodells durch je eine Anbohrung gekennzeichnet. Das im Modellversuch erzeugte Produkt erreicht nicht die Qualität der im Originalhochofen erzeugten Produkte. Nach Beendigung des Versuches befindet sich im Gestell ein metallartig aussehender Klumpen, der aus Schlacke und teilweise reduziertem Eisenerz und Roheisen besteht.

#### 2 BESCHREIBUNG

Das Hochofenmodell (vergl. Abb. 1) besteht aus dem in Metall ausgeführten "Gestell" (mit der Ringluftleitung und den Windformen) 1 und aus dem aus schwerschmelzbarem

Glas ausgeführten "Schacht" 2. Zwischen Schacht und Gestell ist zur Abdichtung ein Ring aus keramischer Faser 3 eingelegt.

Der Lieferumfang des Experimentiergerätes "Hochofen-Funktionsmodell" (Bestell-Nr.: 36688.88) umfaßt:

Gestell mit Ringluftleitung	36688.01
Hochofenschacht, Duran	36688.09
Ring, keramisch Faser, 5 St.	36688.08

Darüber hinaus benötigt man noch folgendes Zubehör:

Eisenerz für Hochofen, 500g	36688.05
Aktivkohle, gekörnt, 500 g	30011.50
Heißluftgebläse mit Adapter	36688.93
Sicherheitsunterlegplatte	39180.10
Gummischlauch, $d_i = 8$ mm	39283.00
Schlauchklemme, $b = 15$ mm	43631.15
Bunsenstativ, $h = 500$ mm	(2x) 37692.00
Doppelmuffe	(2x) 37697.00
Universalklemme	(2x) 37715.00
Tiegelzange	33600.00
Glasstab	
Gasbrenner (2x)	

Der zum Betrieb des Modells notwendige Luftstrom kann mit einem Heiß-Kaltluftgebläse erzeugt werden. Der Hochofen wird gemäß Abb. 2 an einem Bunsenstativ über einer

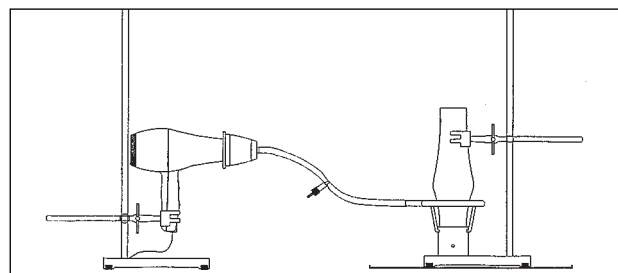


Abb. 2: Experimenteller Aufbau

Sicherheitsunterlegplatte befestigt. Das Gebläse hält man an einem zweiten Stativ und verbindet es mittels des Adapters und Gummischlauches mit dem Anschlußstutzen an der Ringluftleitung des Gestells. Um später eine gewisse Regulierungsmöglichkeit für den Luftstrom zu haben, versieht man den Schlauch mit einer Schlauchklemme.

### 3 HANDHABUNG

Ein Ring aus keramischer Faser wird in die Nut im inneren Teil des Gestells durch Andrücken mit den Fingerspitzen gleichmäßig eingelegt. Auf den Stutzen der Ringluftleitung wird ein Ende eines etwa 50 cm langen Gummischlauches geschoben. Das andere Ende des Schlauches befestigt man am Stutzen des Gebläseadapters. Auf den Ring aus keramischer Faser wird der Glasschacht (vergl. Abb. 1) gestellt. Das obere Ende des Glaskörpers ist mit einer Doppelmuffe und einer Universalklemme am Stativ zu halten. Dabei ist darauf zu achten, daß der Glaskörper gleichmäßig und dicht auf dem keramischen Ring aufsitzt. Eine Schlauchklemme wird auf den Gummischlauch geschoben. Sie dient zur Regulierung des Luftstroms, der mit Hilfe des Gebläses in die Ringluftleitung eingeblasen wird. Das Gebläse wird mit Hilfe einer Universalklemme und Doppelmuffe an einem zweiten Stativ gehalten. Das Stativ mit dem Hochofenmodell wird zum Schutz des Tisches auf eine Sicherheitsunterlegplatte gestellt. Zwei Gasbrenner (am besten Teclubrenner), das Eisenerz, die Aktivkohle, ein Glasstab und eine Tiegelfange sind bereitzuhalten.

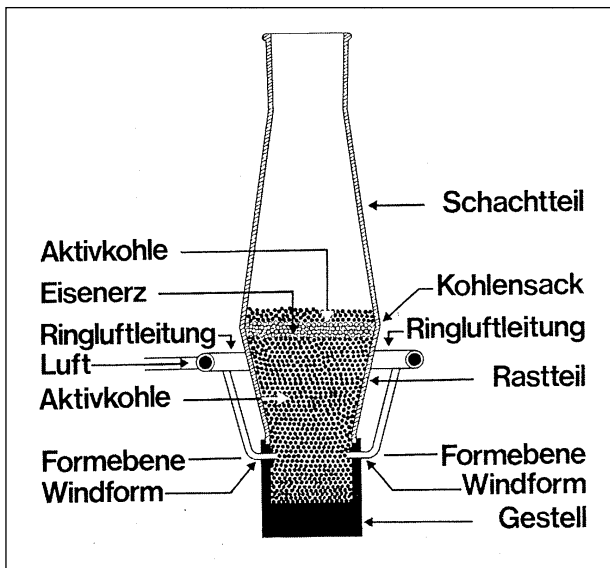


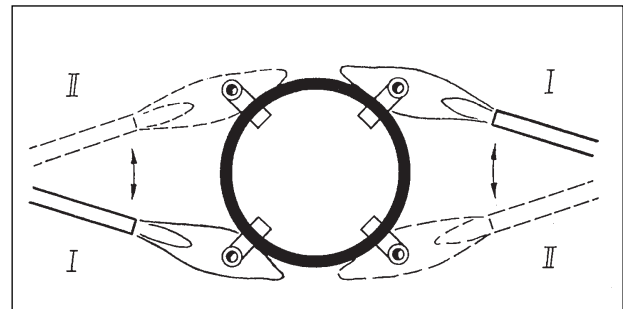
Abb. 3: Schnitt durch das Hochofenfunktionsmodell

Die Reaktion im "Hochofen-Funktionsmodell" kann auf zweierlei Art in Gang gesetzt werden:

1. Man füllt bei abgenommenem Glaskörper (Schacht- und Rastteil) das Gestell bis kurz unterhalb der Windform (Lufteintrittsöffnungen) mit Aktivkohle auf, setzt den Rastteil des Glaskörpers auf den Dichtring und hält ihn, wie angegeben (s.o.) am Stativ (vergl. Abb. 2). Mit Hilfe einer Tiegelfange wird ein kleines Holzkohlestückchen in die Brennerflamme gehalten und zum Glühen gebracht. Das Gebläse (Kaltluft) ist einzuschalten und die Schlauchklemme ganz zu öffnen. Das glühende Holzkohlestück wirft man auf die Aktivkohleschicht direkt vor die Luftertrittsöffnungen. Auf das durch die Luftzufuhr weiter glühende Holzkohlestück gibt man vorsichtig etwas Aktivkohle. Es ist darauf zu achten, daß das Holzkohlestück nicht ganz durch die hinzukommende Aktivkohle bedeckt wird, da sonst die

Glut erstickt. Glüht auch die mit der Holzkohle in Berührung kommende Aktivkohle und erweitert sich der Glutherd, so wird nun auf einmal bis zum Kohlesack (das ist bis zur weitesten Stelle des Glaskörpers) Aktivkohle aufgefüllt. Auf die Aktivkohle gibt man dann 20 bis 25 g Eisenerz und verteilt dieses annähernd gleichmäßig mit Hilfe eines langen Glasstabes auf der Kohleoberfläche. Diese Eisenerzschicht wird nun mit einer etwa 1 cm hohen Aktivkohleschicht bedeckt. Der Versuch läuft jetzt ohne weiteres Zutun ab.

2. Das "Hochofenfunktionsmodell" wird sofort mit den unter 1. aufgeführten drei Schichten (Aktivkohle, Eisenerz, Aktivkohle) gefüllt. Hierauf ist das Gebläse (Kaltluft) einzuschalten und die Schlauchklemme ganz zu öffnen. Mit zwei starken Brennerflammen wird nun zunächst vorsichtig fächernd der Rastteil des Glaskörpers, insbesondere der direkt über dem Gestell befindliche Teil, etwa 1 Minute gleichmäßig erwärmt. Anschließend werden die Brennerflammen direkt auf die Windformen gerichtet. Es wird dabei so verfahren, daß die beiden Flammen stets auf gegenüberliegende Windformen gerichtet werden (vergl. Abb. 4).



4: Abb. Brennerstellung beim Erhitzen der Windformen

Der Wechsel zwischen Brennerstellung I und II soll zu Beginn des Erhitzens schneller erfolgen, kann aber nach etwa 1 Minute in immer größeren Zeitabständen vorgenommen werden. (Bei ungleichmäßigem Erhitzen besteht die Gefahr, daß der untere Teil des Glaskörpers springt.) Die Windformen sind solange zu erhitzen, bis die Aktivkohle unmittelbar an der Stelle des Luftertritts zu glühen beginnt, was nach etwa 2 bis 4 Minuten der Fall ist. Zeigt sich vor mindestens drei Windformen, möglichst bei allen vier, ein deutlich sichtbarer Glutherd, so können die Brenner entfernt werden. Der Versuch läuft nun ohne weiteres Zutun ab.

Wenn die Aktivkohleschicht bei der Ingangsetzung des Versuches am unteren Glasrand ringsherum glüht, wird bereits soviel Kohlenstoffmonoxid erzeugt, daß dies an der Schachtoffnung mit der Brennerflamme entzündet werden kann. Sobald das Gas an der Schachtoffnung brennt, muß die Luftzufuhr gedrosselt werden, da sich sonst der Glutherd zu stark vergrößert und dadurch den Glaskörper zu hoch belastet. Die Schlauchklemme wird soweit zuge dreht, daß die Gichtgasflamme 20 cm Höhe nicht überschreitet. Das aus der Schachtoffnung austretende und als Gichtgas bezeichnete Produkt brennt normalerweise ununterbrochen. Wenn die Reduktion des Eisenerzes stark einsetzt, kommt es zu einer Verkleinerung, manchmal auch zum Verlöschen der Gichtgasflamme nämlich dann, wenn der Kohlenstoffmonoxidgehalt unter die Brennbarkeitsgrenze sinkt. Erlischt die Flamme vorher, so ist das Gas erneut mit der Brennerflamme zu entzünden (Man beachte die Giftigkeit von Kohlenstoffmonoxid).

Während der Betriebszeit des Hochofens lassen sich einige

Beobachtungen machen, die für die Technik des Hochofenprozesses sehr wichtig sind. Der Prozeß verläuft bei kontinuierlichem Absinken der Kohle-Eisenerz-Schichten ohne weiteres Zutun. Es kann jedoch - wie im Originalhochofen auch - vorkommen, daß Erzteilchen verkleben und daß durch den Druck der hochströmenden Gase die darüberliegende Beschickung oder Teile davon nicht nachrutschen ("Hängen des Hochofens"). Die dabei entstehenden Hohlräume leuchten intensiv auf und sind daher leicht zu erkennen. Die Ursache liegt in Verbackungen und Verklebungen der oberen Schichten infolge Wärmeausdehnung. Um diesen zu begegnen, hat der Hochofen die typische Doppelkegelform erhalten. Sie ermöglicht im Schachtteil den absinkenden Schichten bei zunehmender Erwärmung die Ausdehnung, ohne daß dabei stärkere Verbackungen und in deren Gefolge stärkere Drücke auf die Hochofenwände auftreten.

Im Bereich der Rast (dem sich nach unten verjüngenden Teil des Hochofens) verbrennt die Kohle bis zu einem geringen Restvolumen, das in die flüssige Schlacke eingeht und sich mit dem flüssigen Eisen im Gestell sammelt. Durch diese Konstruktion können also im richtigen Hochofen die Koks- und Erzsichten kontinuierlich nachrutschen.

Im kleinen Hochofenmodell kommt diese Konstruktion natürlich nicht zur Wirkung, da die Beschickung hier praktisch nur im Rastteil erfolgt und dadurch leicht Verbackungen auftreten können. Man kann die hängenden Schichten hier aber leicht zum Nachsturz bringen, wenn man kurzzeitig die Luftzufuhr unterbricht, indem man den Schlauch kurz zudrückt.

Sind im Laufe der Versuches die Kohle-Erz-Schichten bereits tiefer gesunken, so können mitunter durch den Druck der eingeblasenen Luft glühende Kohleteilchen aus dem Glasschacht gewirbelt werden (*Vorsicht* - Brandgefahr!). Dies läßt sich durch entsprechende Drosselung der Luftzufuhr mit Hilfe der Schlauchklemme abstellen. Eine etwas brodelnde Bewegung der obersten Kohleschicht gegen Versuchsende ist unbedenklich und braucht nicht abgestellt zu werden.

Nach 20 bis 30 Minuten - die Beschickung sollte um 2 bis 3 cm abgesackt sein - wird der Versuch durch Abstellen der Luftzufuhr (Ausschalten des Gebläses) beendet.

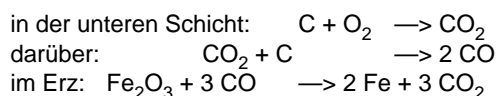
Schlacke, Roheisen und reduziertes Eisenerz sind dann bereits durch die noch verbliebene Kohleschicht getropft und haben sich im Gestell gesammelt.

Man wartet, bis von außen keine Glut mehr zu sehen ist (etwa 2 bis 4 Minuten) und öffnet hierauf den Modellhochofen, indem der am Stativ gehaltene Glaskörper vorsichtig hochgezogen wird. (Empfindliche Tischoberflächen, z.B. Kunststoffe, sind durch eine geeignete Unterlage vor den noch sehr heißen herausfallenden Produkten zu schützen!).

Mit Hilfe der Tiegelflange wird die restliche Kohle beiseite geschoben und das im Gestell liegende Reaktionsprodukt entnommen.

Unter den Rückständen findet man neben Asche und Kohleresten metallartig aussehende Klumpen. Sie bestehen aus Schlacke, aus teilweise reduziertem Erz (Magnetit) und aus geringen Anteilen von reinem Eisen.

Im Hochofenmodell sind somit folgende Reaktionen abgelaufen:



Da im Modell natürlich nicht die hohe Temperatur eines richtigen Hochofens erreicht werden kann, kann das Eisen auch nicht verflüssigt und im Gestell "abgestochen" werden.

Wird der Versuch zu früh abgebrochen, so hat sich noch nicht genügend von der hindurchtropfenden Schmelze im Gestell gesammelt. Man findet dann noch in der Kohleschicht über der Formebene im Stadium des Teigigwerdens zusammengebackene Erz-Eisen-Schlackeprodukte.

Die bei dem Versuch nicht verbrauchte Aktivkohle kann zur erneuten Beschickung des Hochofens verwendet werden. Das im Hochofenmodell erzeugte Reaktionsprodukt hat vom Aussehen her die Homogenität einer starren Schmelze. Das zeigt, daß die eingesetzten festen Erzstücke den flüssigen Zustand durchlaufen haben müssen, ehe sie das Gestell erreicht haben und zu einem festen Klumpen erstarrt sind. Dafür spricht auch, daß das Füllgut lediglich 2 bis 3 cm abgesunken ist, während das Eisenerz den viel längeren Weg bis ins Gestell zurückgelegt hat. Dies ist nur möglich, wenn es durch die Kohleschicht hindurchgeflossen ist.

Das gewonnene Reaktionsprodukt zeigt gegenüber dem eingesetzten Erz deutlich andere Eigenschaften. Es hat eine andere Farbe, sieht metallartig aus (Glanz) und wird von einem Magneten angezogen. Das Ausgangserz zeigt dagegen kaum magnetischen Eigenschaften. Die Magnetprobe beweist, daß auf jeden Fall eine Reduktion des Eisenerzes stattgefunden hat. Offen bleibt, ob die Reduktion bis zur Stufe des Roheisens oder lediglich bis zu einer magnetitartigen Vorstufe abgelaufen ist. Dies kann mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit entschieden werden.

Bei der elektrischen Leitfähigkeit tastet man mit zwei nahe beieinanderliegenden Elektroden (ca. 2 mm Abstand) das Produkt auf leitende Stellen ab. Als Prüfelektroden können zwei Eisenstäbchen dienen. Die Leitfähigkeitswerte werden an einem Amperemeter abgelesen (vergl. Abb. 5). Anstelle des Amperemeters kann eventuell auch eine kleine Glühlampe eingesetzt werden.

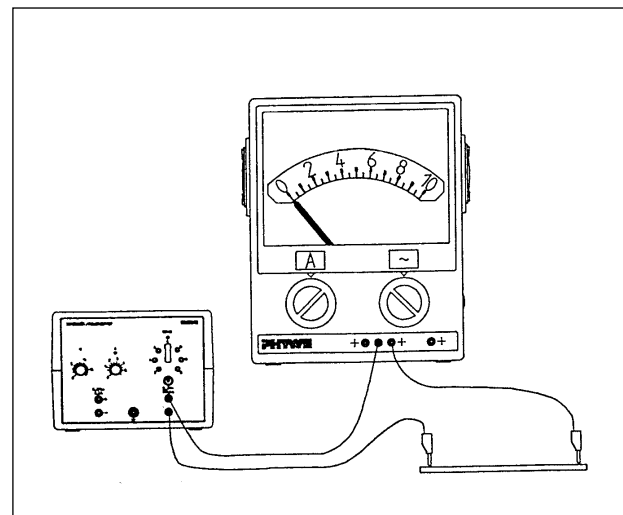


Abb. 5: Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit

Auf Grund der kleinen eingesetzten Menge können Gangartzusammensetzung und -menge sowie der Eisenoxidanteil relativ stark schwanken. Dies hat zur Folge, daß die ermittelten Leitfähigkeitswerte von Versuch zu Versuch unterschiedlich sind. Jedoch können stets stromleitende Stellen nachgewiesen werden. Die Leitfähigkeitsmessungen zeigen, daß das oxidische Erz teilweise bis zum Roheisen reduziert ist und daß auch partiell eine Trennung von Eisen und Schlacke stattgefunden hat. Die Untersuchung zeigt außerdem, daß der Reduktionsvorgang im Hochofen sich

nicht direkt vom Eisen(III)-oxid des Erzes zum Roheisen, sondern über oxidische Zwischenstufen (wie des Magnets) vollzieht. Roheisen kann, außer über die Leitfähigkeit auch durch die Salzsäure-Probe nachgewiesen werden. Da das Eisen in dem erhaltenen Produkt in Schlacke eingebettet ist, zeigt dieser Nachweis erst bei Proben mit einem erhöhten Roheisengehalt (ca. 40 bis 50%) gute Ergebnisse. Die Abweichungen der im Hochofenmodell hergestellten Produkte von den Originalprodukten des Hochofens (nicht vollständige Reduktion der Eisenoxide und nur partielle Trennung von Eisen und Schlacke) können aus den Vereinfachungen und der im Vergleich zum Originalhochofen geringen Größe des Hochofenmodells erklärt werden. Die zu kurze Aufkohlungsstrecke, das Fehlen speziell auf die Erzzusammensetzung abgestimmter Zuschläge und die zu niedrigen Gestelltemperaturen sind als Hauptursachen der Abweichung zu nennen.

Aufgrund der gegenüber dem Originalhochofen geringeren Temperaturen gelingt dieser Versuch nur zufriedenstellend mit einem niedrigschmelzenden Eisenerz wie z.B. Nimbærz oder Raseneisenstein. Desweiteren ist darauf zu achten, daß die verwendete Aktivkohle eine nicht zu kleine Körnung (im Schnitt mindestens 2,5 mm) aufweist.

Die im einzelnen beim Hochofenprozeß ablaufenden chemischen Vorgänge sind ausführlich in den einschlägigen Schul- und Hochschulbüchern beschrieben. Es wird daher hier nicht weiter darauf eingegangen.

#### **4 HINWEISE FÜR DEN UMGANG UND DIE WARTUNG DER VERSUCHSGERÄTES**

Der empfindlichste Teil des "Hochofen-Funktionsmodells" ist der aus DURAN® gefertigte Glaskörper. Auf Grund des bei ca. 815°C liegenden Erweichungspunktes von Duranglas kommt es im Laufe des Versuches zu einer leichten Ausbeulung des kurzen zylindrischen auf dem Ring aus keramischer Faser stehenden Glasrandes. Dies ist jedoch für den Ablauf des Versuches unbedenklich. Ein solcher Glaskörper ist auch für weitere Versuche noch voll einsatzfähig.

Duranglas hat eine gute Temperaturwechselbeständigkeit; dennoch können auf Grund der hohen Wärmebelastung und der großen Temperaturunterschiede während des Versuches Spannungen im Glas auftreten. Es ist somit möglich, daß im unteren Teil des Glaskörpers Sprünge entstehen. Grundsätzlich besteht immer die Möglichkeit, daß der Glaskörper während des Versuchs oder beim Abkühlen nach dem Versuch aufgrund der großen auftretenden Spannungen im Glas springt. Dies gilt auch für einen neuen Glasschacht bei seiner ersten Benutzung. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines solchen Sprunges ist um so größer, je höher man die Temperatur bei der Reaktion werden läßt. Dabei kann ein Stück Glas aus dem Schacht herausbrechen. Ein solcher Glasschacht kann dann nicht weiter verwendet werden. Entsteht dabei lediglich ein Sprung im Glaskörper, so kann dieser noch ein weiteres Mal für das Experiment verwendet werden. Dann ist allerdings mit größter Vorsicht vorzugehen, da ein solcher Glasschacht während des Versuches aufplatzen könnte und heiße glühende Kohle und Erz/Schlacke-Gemische herausfallen könnten.

Das Springen des Glaskörpers läßt sich weitgehend vermeiden, wenn

1. der Glaskörper möglichst gleichmäßig erhitzt wird und
2. nach Beendigung des Versuches der Glaskörper langsam abkühlt, was erreicht wird, wenn er nach der Entnahme des Reaktionsproduktes noch einige Zeit über dem Gestell belassen wird. Die vom Metallkörper hochströmende warme Luft ermöglicht eine langsamere

Abkühlung.

Sollte der Glaskörper während des Versuches leichte Beschädigungen erhalten haben, so ist bei der Reinigung und bei Wiederverwendung mit besonderer Vorsicht vorzugehen.

Die Reinigung des Glaskörpers erfolgt, nachdem er vollständig abgekühlt ist, mit Wasser und üblichen Glasspülmitteln unter Zuhilfenahme einer Bürste.

Verunreinigungen, die, bedingt durch die hohe Temperatur, in das Glas eingesintert sind, führen dazu, daß der Glaskörper im untersten Teil immer undurchsichtiger wird und schließlich nicht mehr verwendet werden kann.

Der Metallkörper des "Hochofen-Funktionsmodells" ist nach Gebrauch lediglich von Substanzresten zu befreien und mit einem feuchten Lappen abzuwischen.

Ist der Ring aus keramischer Faser nach mehrfachem Gebrauch beschädigt, so daß der Glaskörper nicht mehr sicher darauf steht, wird er durch einen neuen ersetzt.

#### **5 SICHERHEITSHINWEISE**

Bei dem Versuch besteht die Gefahr von Funkenflug. Der Versuch sollte daher im geschlossenen Abzug oder sogar im Freien mit genügenden Sicherheitsabständen durchgeführt werden. Es ist unbedingt dafür Sorge zu tragen, daß entsprechende Brandschutzmaßnahmen ergriffen werden und kein Beobachter durch die heißen Funken verletzt werden kann. Desweiteren entsteht Kohlenstoffmonoxid bei der Reaktion, das an der Schachttöffnung abgebrannt werden kann.

Kohlenstoffmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmackloses, giftiges, hochentzündliches Gas. In Gemischen mit Luft besteht Explosionsgefahr (untere Zündgrenze: 12,5%, obere: 74%). Als sehr starkes Blutgift bewirkt es eine Sauerstoffverarmung im Organismus. Bei schweren Vergiftungen können durch diesen Sauerstoffmangel bedingt Spätschäden auftreten. Aus diesem Grund sind Experimente bei denen Kohlenstoffmonoxid entsteht in einem gut ziehenden Abzug durchzuführen.

*Erste Hilfe bei Kohlenstoffmonoxidvergiftungen:* Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen. Bei Atemnot sofort für die Zufuhr von Frischluft sorgen, wenn nötig eine Atemspende verabreichen. Atemwege auf jeden Fall freihalten. Für warme und bequeme Lagerung sorgen. Bei Gefahr der Bewußtlosigkeit erfolgt die Lagerung und der Transport in stabiler Seitenlage.