Übungsaufgabe Boudouard-GG — Musterlösung

Aufgaben 1-3: Zur Wiederholung der Inhalte aus der Sekundarstufe I

1. *Formulieren Sie für die in den verschiedenen Abschnitten des Hochofens ablaufenden Reaktionen die Reaktionsgleichungen. (Gehen Sie vom Eisenoxid mit der Formel Fe_2O_3 aus)*

Verbrennungszone: $2\ C + O_2 \longrightarrow 2\ CO$

Reduktionszone: $Fe_2O_3 + 3\ CO \longrightarrow 2\ Fe + 3\ CO_2$

$C + CO_2 \longrightarrow 2\ CO$

2. *Erläutern Sie, wieso sich das im unteren Bereich des Hochofens erzeugte CO-Gas zur vollständigen Reduktion des Eisenoxids viel besser eignet als fester Kohlenstoff.*

CO ist ein Gas und kann daher viel besser in die kleinsten Lücken zwischen die Eisenoxid-Partikel gelangen als fester Kohlenstoff. Somit besteht quasi eine größere Kontaktfläche zwischen den Reaktionspartnern, so dass die Reaktion effektiver abläuft.

3. *Um eine möglichst große Ausbeute an Eisen zu erhalten, sollte verhindert werden, dass das durch den unteren Teil des Hochofens rutschende flüssige Eisen durch die eingeblasene Luft oxidiert wird. Erläutern Sie, inwiefern das durch eine ausreichend große Mengen Kohlenstoff erreicht werden kann, die oben zusammen mit dem Eisenerz eingefüllt werden.*

Da sowohl Kohlenstoff als auch Kohlenmonoxid ein größeres Bindungsbestreben zu Sauerstoff haben als Eisen (sonst würden sie auch nicht mit Eisenoxid reagieren und dieses reduzieren), reagieren diese bevorzugt mit dem Luftsauerstoff bzw. reduzieren das entstandene Eisenoxid sofort wieder.

Aufgaben 4-8: Aufgaben zum Prinzip von Le Chatelier

4. ***Erläutern Sie, inwiefern man anhand des Diagramms in M2 und des Prinzips von Le Chatelier feststellen kann, welche der Teilreaktionen des Boudouard-Gleichgewichts exotherm und welche endotherm ist.***

Boudouard-Gleichgewicht: $C + CO_2 \rightleftharpoons 2\ CO$

Die Kurvenverläufe zeigen: Je höher die Temperatur, desto größer der Anteil vom Kohlenmonoxid.
Nach dem Prinzip von Le Chatelier wird durch eine Temperaturerhöhung die endotherme Teilreaktion begünstigt - das muss demnach die CO-Bildungsreaktion sein.
Die Rückreaktion, bei der C und CO_2 entstehen, muss demnach exotherm sein. Diese wird durch eine Erniedrigung der Temperatur begünstigt.

5. ***Erläutern Sie mit Hilfe von M2, weshalb in den obersten Bereichen des Hochofens kein CO mehr gebildet wird, obwohl CO_2-Gas durch Kohle hindurchströmt.***

Im oberen Bereich des Hochofens liegen Temperaturen von „nur noch“ 200 - 300 °C vor (also 473-573 K). Bei diesen Temperaturen liegt das Gleichgewicht komplett auf der Seite von C und CO_2.

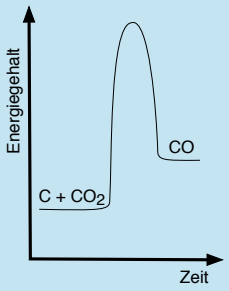
6. Beurteilen Sie, ob und wie die Lage des Boudouard-Gleichgewichts durch eine Veränderung des Drucks beeinflusst werden kann.

Boudouard-Gleichgewicht: $C + CO_2 \rightleftharpoons 2\ CO$

Auf der Eduktseite taucht ein Gasteilchen auf (CO_2), auf der Produktseite dagegen sind es zwei (2 CO). Durch eine Erhöhung des Drucks wird nach dem Prinzip von Le Chatelier das Gleichgewicht auf die Seite mit weniger gasförmigen Teilchen verschoben, das wäre in diesem Falle also die Eduktseite.

7. Die Aktivierungsenergie der Boudouard-Reaktion ist recht hoch. Erläutern Sie, inwiefern das erklärt, dass CO bei Raumtemperatur überhaupt existiert (was man bei Betrachtung des Diagramms in M2 nicht erwarten würde).

Wenn bei einer unvollständigen Verbrennung CO entsteht und dieses dann schnell abkühlt, reicht die kin. Energie der Moleküle nicht aus, um bei einem Zusammenprall mit anderen CO-Molekülen zu C und CO_2 zu reagieren.
Dies würde erklären, warum bei Raumtemperatur CO beständig ist, denn nach dem Diagramm in M2 wäre zu erwarten, dass CO komplett zu C und CO_2 reagiert.



8. ***Sowohl im Verbrennungsraum des Otto-Motors als auch im Verbrennungsraum des Dieselmotors kommt es in der extrem kurzen Verbrennungszeit zur Bildung von CO-Molekülen, da nicht überall ausreichend O_2-Moleküle in der Nähe der Brennstoffmoleküle vorhanden sind. Wegen des höheren Drucks bildet sich im Dieselmotor aus diesen CO-Molekülen deutlich mehr Ruß (Kohlenstoff) als im Ottomotor. Erklären Sie die Kausalität. (Aufgrund der schnellen Abkühlung der Verbrennungsprodukte beim Verlassen des Zylinders findet danach kaum noch Rußbildung statt).***

Wenn bei einer unvollständigen Verbrennung CO entsteht und dann schnell abkühlt, reicht die kin. Energie der Moleküle nicht aus, um bei einem Zusammenprall mit anderen CO-Molekülen zu C und CO_2 zu reagieren. Dies muss dann bei Raumtemperatur der Fall sein (vom D

Durch den höheren Druck im Verbrennungsraum des Dieselmotors wird das Gleichgewicht, wie in Aufgabe 6 schon erläutert wurde, auf die Seite von CO_2 und C verschoben. Trotz der sehr hohen Temperaturen im Verbrennungsraum verschiebt sich das Gleichgewicht etwas auf die Eduktseite, so dass merkliche Mengen Ruß entstehen.
Nach dem Verlassen des Zylinders (also des Verbrennungsraumes) kühlen die Gase so schnell ab, dass eine Reaktion zu C und CO_2 (die ja durch die Temperaturerniedrigung begünstigt würde) nur in geringem Maße abläuft. Hierfür ist wieder die sehr große Aktivierungsenergie für die Reaktion von Bedeutung.