

# Problematik der Ammoniak-Synthese

1. **Synthese von Ammoniak:**  $3 \text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -92 \text{ kJ/mol}$   
Die Synthese von Ammoniak ist also eine **exotherme Reaktion**.

2. **Stickstoff** ist ein **extrem reaktionsträges** Element:

Dissoziationsenergie von  $\text{N}_2(\text{g})$ :  $\Delta_{\text{diss}} H = +945 \text{ kJ/mol}$

zum Vergleich:  $\text{O}_2$ :  $\Delta_{\text{diss}} H = +498 \text{ kJ/mol}$  Doppelbindung

$\text{H}_2$ :  $\Delta_{\text{diss}} H = +436 \text{ kJ/mol}$  Einfachbindung

$\text{Cl}_2$ :  $\Delta_{\text{diss}} H = +242 \text{ kJ/mol}$  Einfachbindung

3. Deswegen braucht die Reaktion eine **extrem hohe Aktivierungsenergie**:

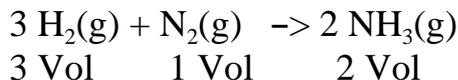
$$\Delta E_{\text{akt}} = +230 \text{ kJ/mol}$$

Das bedeutet: **man muß die Ausgangsstoffe hoch erhitzen!**

4. Bei **600 °C** wird aber bereits gebildeter Ammoniak fast völlig in  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2$  gespalten:  
Die **Rückreaktion wird also bevorzugt!**

5. Die Reaktion  $3 \text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$  ist demnach eine **Gleichgewichtsreaktion**.

6. Nach dem **Satz von Avogadro** verläuft aber die Hinreaktion so, dass aus 4 Volumina Gas 2 Volumina Gas entstehen.



**Satz von Avogadro:** Gleiche Volumina von Gasen enthalten bei gleichem Druck und Temperatur die gleiche Anzahl von Teilchen.

7. Nach dem **Prinzip des kleinsten Zwangs** verschiebt sich das **Gleichgewicht nach rechts**, wenn der **Druck** erhöht wird.

**Prinzip des kleinsten Zwangs:** Übt man auf ein chemisches System, das sich im Gleichgewicht befindet, einen äußeren Zwang aus, so weicht das System dem Zwang aus und es stellt sich eine neue Gleichgewichtslage ein.

8. Da die Reaktion exotherm verläuft, liegt nach dem **Prinzip des kleinsten Zwangs** das **Gleichgewicht** umso mehr **nach rechts** verschoben, je niedriger die **Temperatur** ist.

9. Nach dem **Prinzip des kleinsten Zwangs** verschiebt sich das **Gleichgewicht nach rechts**, wenn ein oder mehrere **Produkte** aus dem Gleichgewicht herausgezogen werden.

## 10. Technische Lösung:

- ① Synthese mit einem **Katalysator**, Erniedrigung der Aktivierungsenergie:  $\Delta E_{\text{akt}} = +10 \text{ kJ/mol}$
- ② Katalysator: aus Eisen(II)-/(III)-oxid mit Zusätzen von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$
- ③ Durchführung bei **20-30 MPa** und **450-500 °C**.
- ④ Endprodukt enthält 15-25 % Ammoniak, unverbrauchtes Restgas wird in den Kreislauf zurückgeschickt.
- ⑤ **Kontinuierliches Verfahren**.