

Ammoniak NH₃

-technische Erzeugung seit 1913 nach dem *Haber-Bosch*-Verfahren

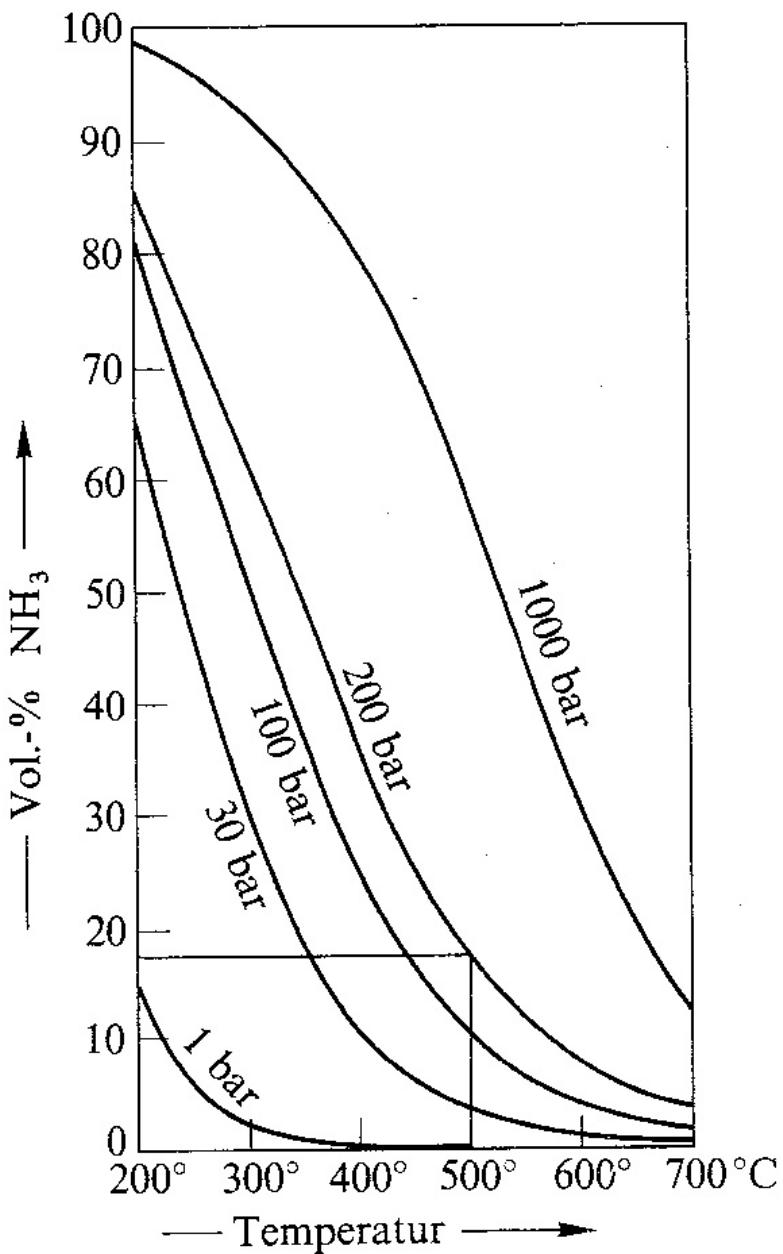


exotherm

Volumenverminderung

Le Chatelier

Gleichgewichtseinstellung: NH₃ p ↑, T ↓



Abhangigkeit der Ammoniak-Ausbeute von Druck und Temperatur

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$$
$$1 \text{ at} = 98,1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$



Eine praktisch quantitative Ammoniakausbeute würde man bei Zimmertemperatur und 1000 bar erzielen.

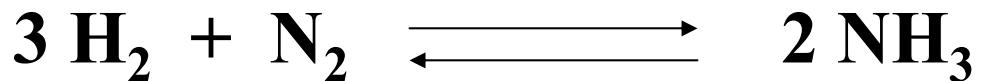
aber



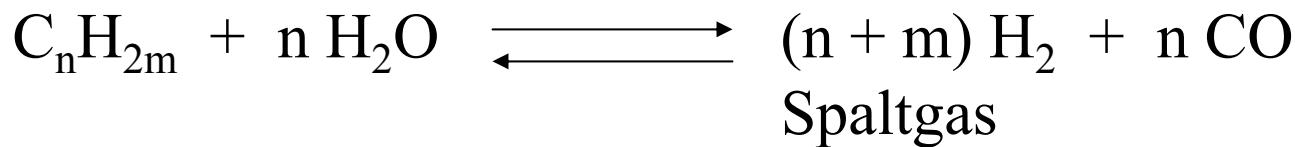
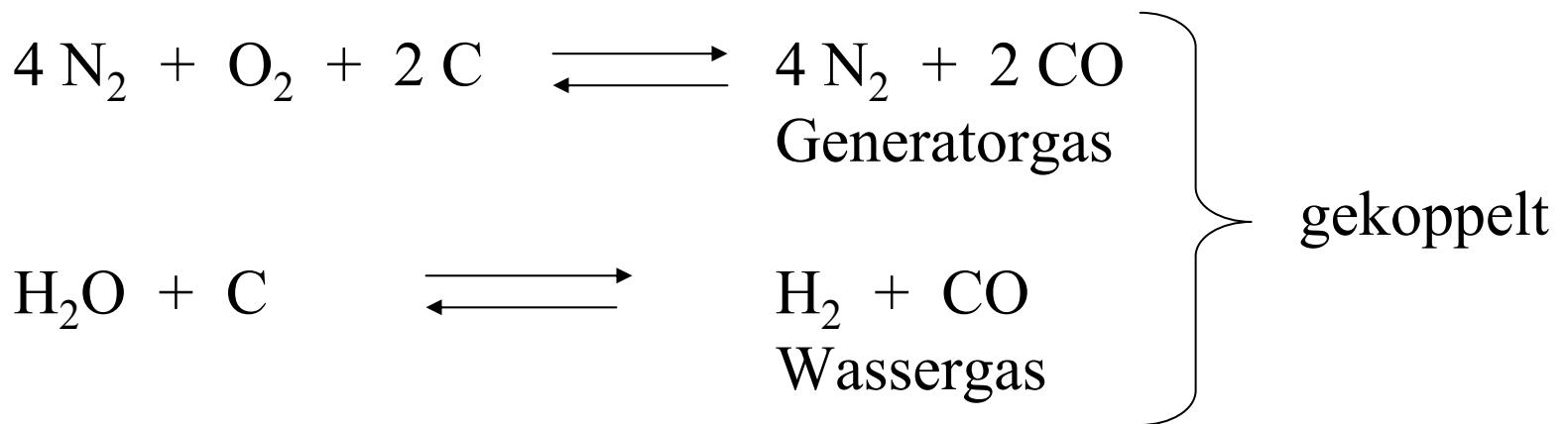
Bei dieser Temperatur ist aber die Geschwindigkeit der Umsetzung unmeßbar klein und Katalysatoren wirken auf die Reaktion der Ammoniakbildung erst ab ca. 400 °C genügend beschleunigend.



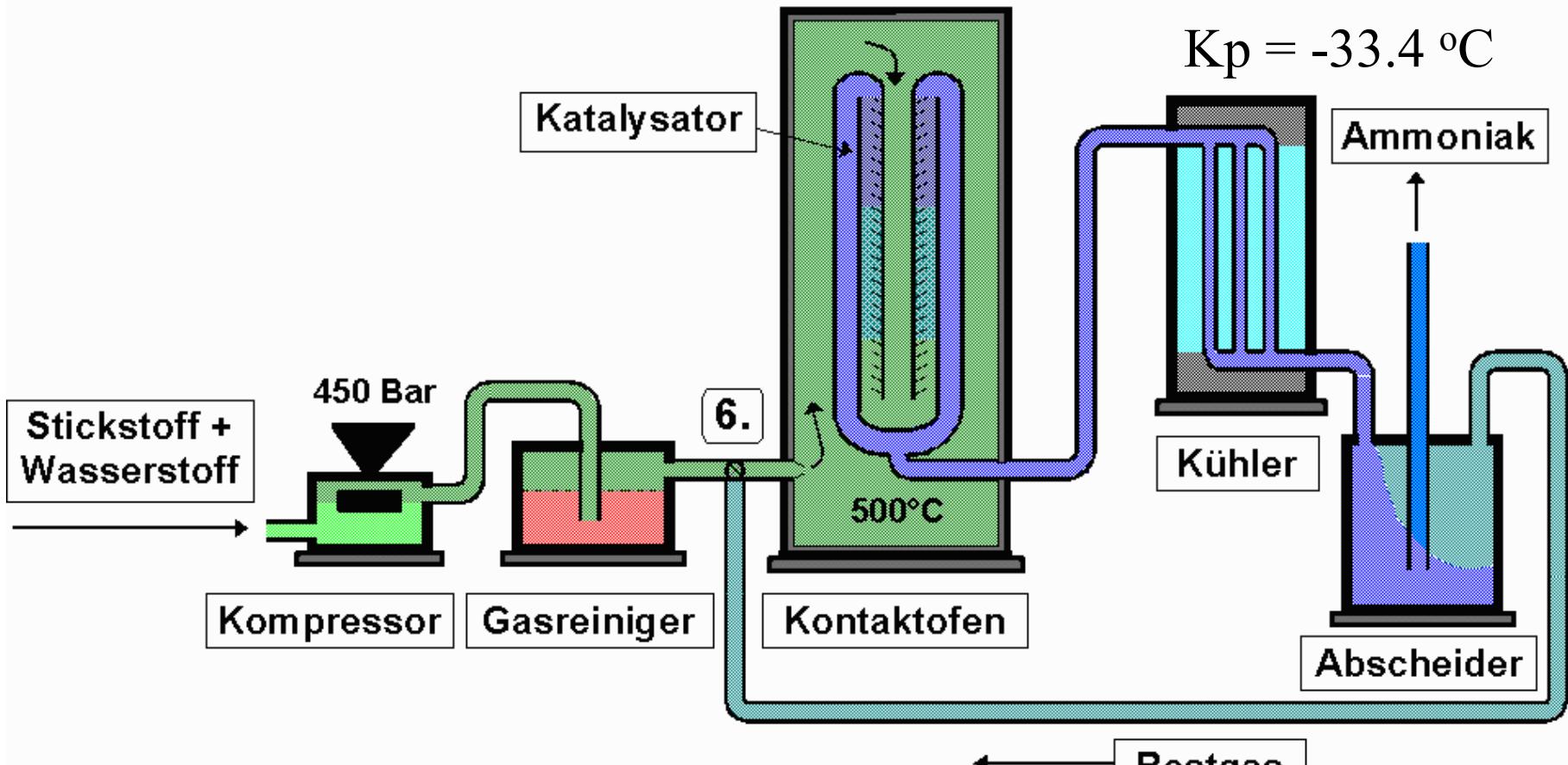
Mindestens 400 °C →
Atmosphärendruck → 0.13Vol.% → $p \uparrow$

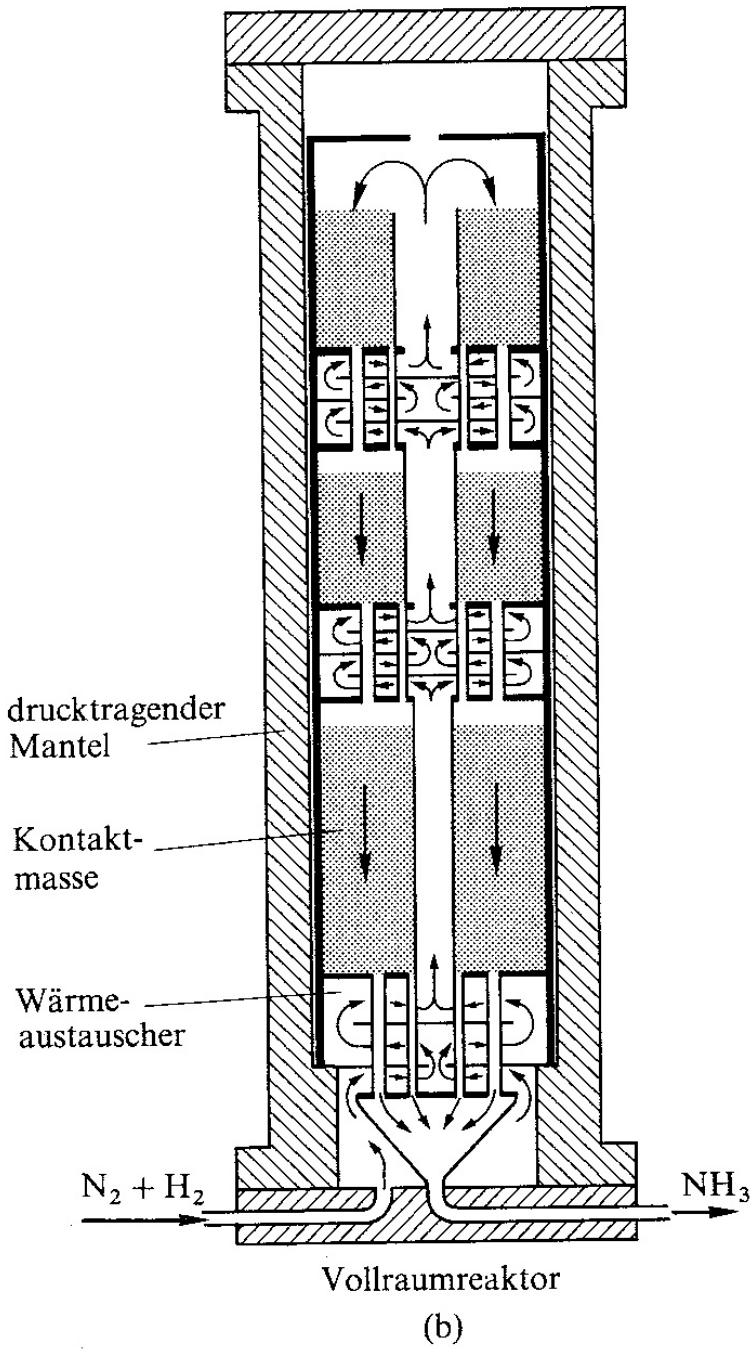
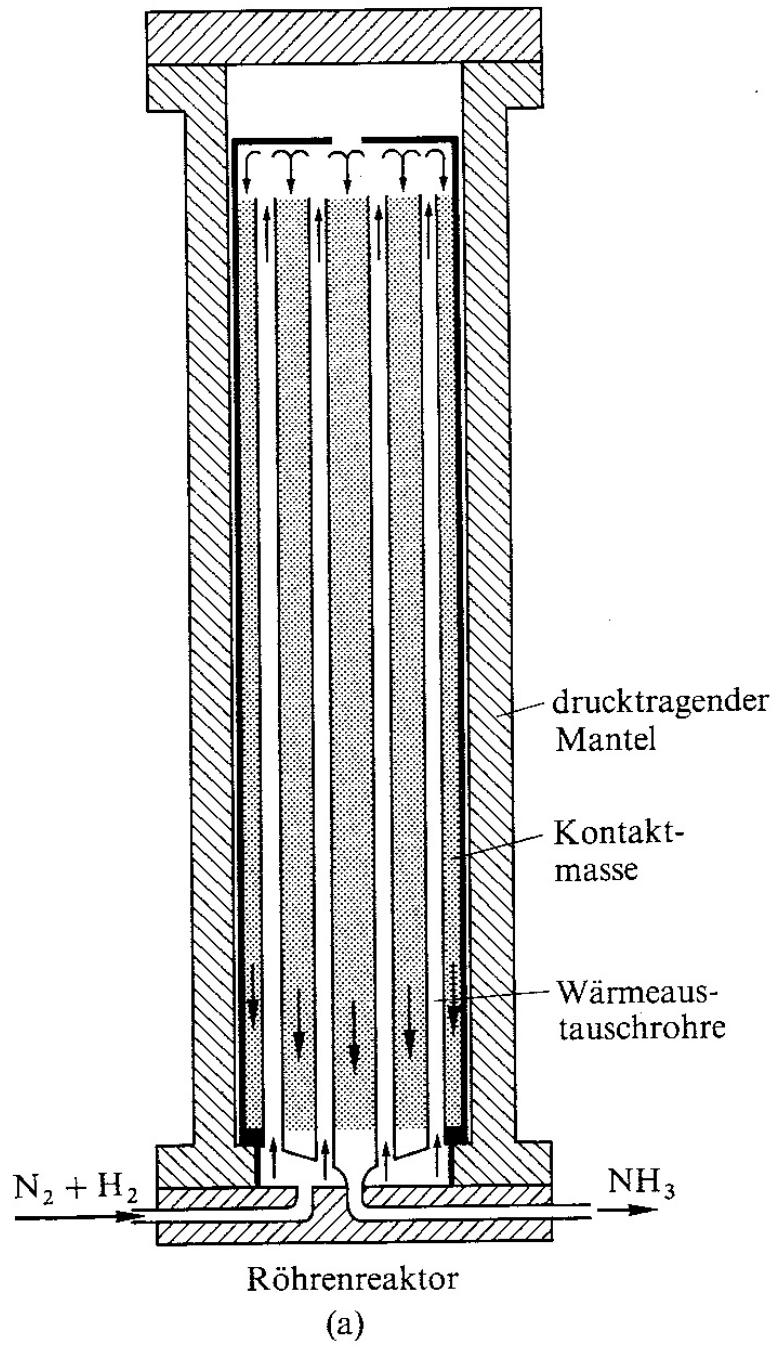


Gewinnung der Ausgangsstoffe:



Die Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren





NH₃-Synthese:

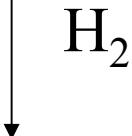
500 °C

200 – 400 bar

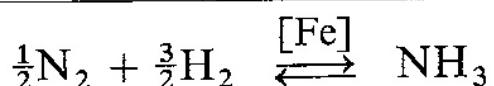
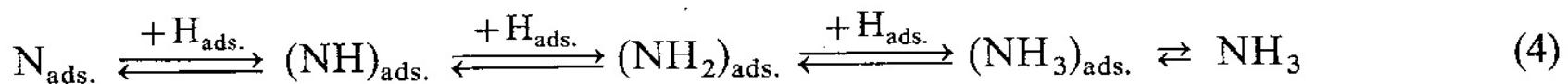
Katalysator (Kontakt): Fe₃O₄ / Fe₂O₃

Mittasch 1910

Al₂O₃ / K₂O / CaO

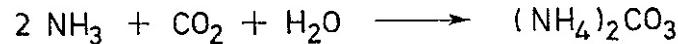


Fe

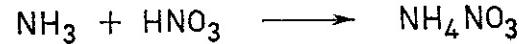
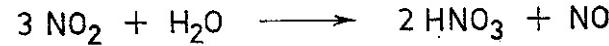
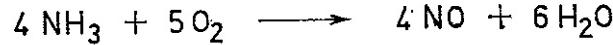


Herstellung von Düngemitteln

Ammoniumsulfat



Ammoniumnitrat

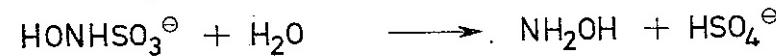
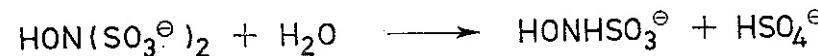
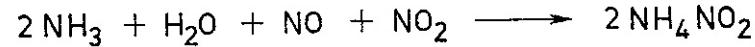


Harnstoff



Herstellung von Zwischenprodukten

Hydroxylamin



Hydrazin

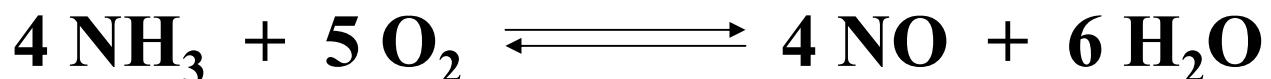


Blausäure



Salpetersäure HNO₃

Ostwald-Verfahren: katalytische Ammoniakverbrennung



$$\Delta_{\text{R}}H = -910 \text{ KJ/mol}$$

Katalysator: Pt/Rh-Netze

700-800 °C

- sehr kurze Berührungszeit von ca. 1/1000 s, da NO bei 700 °C nur metastabil ist

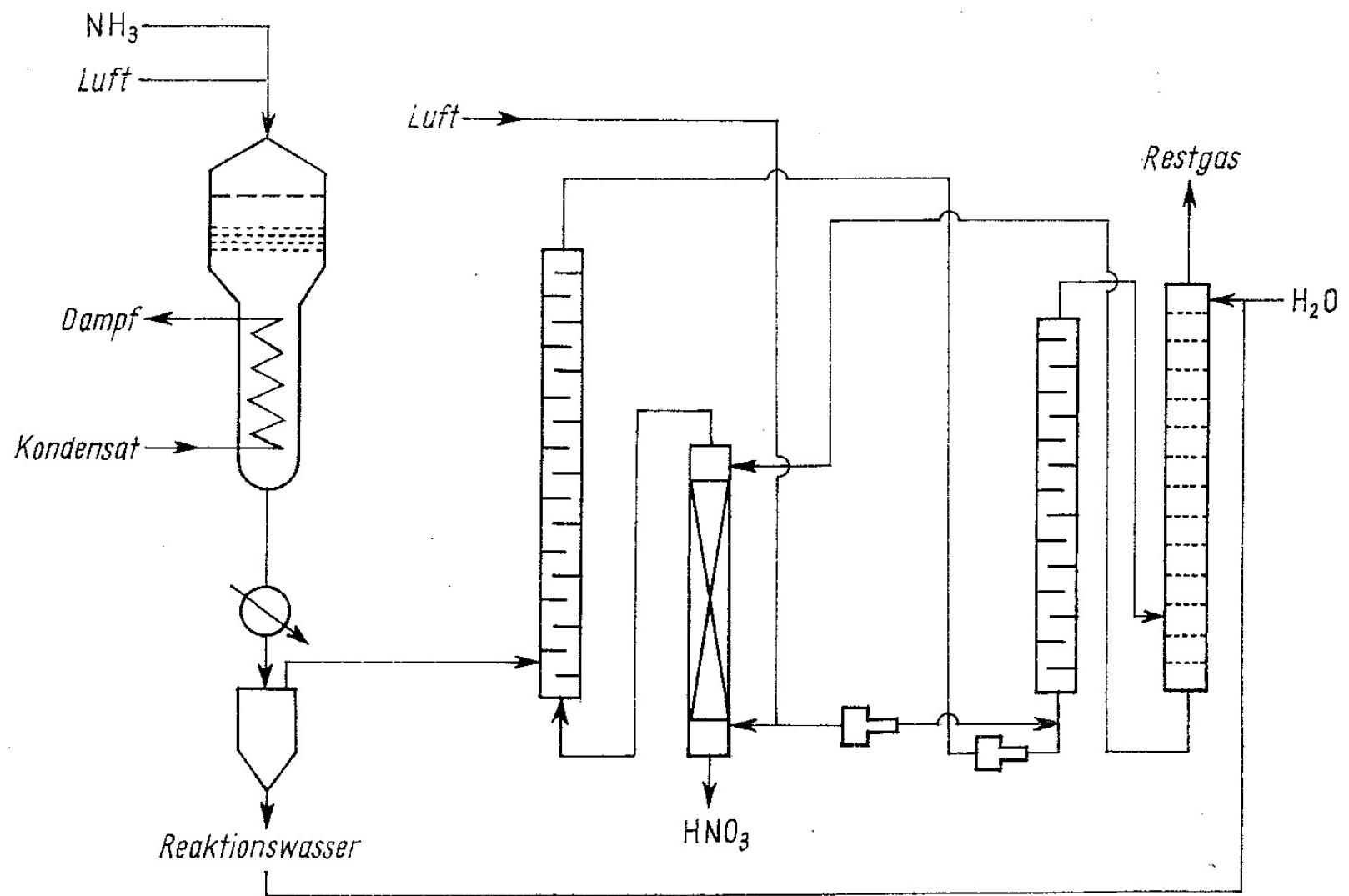
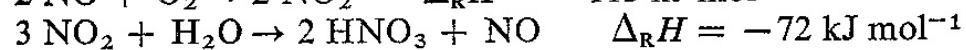
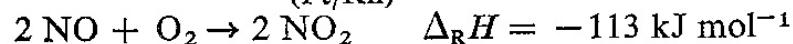
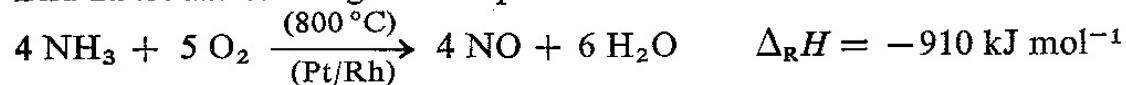
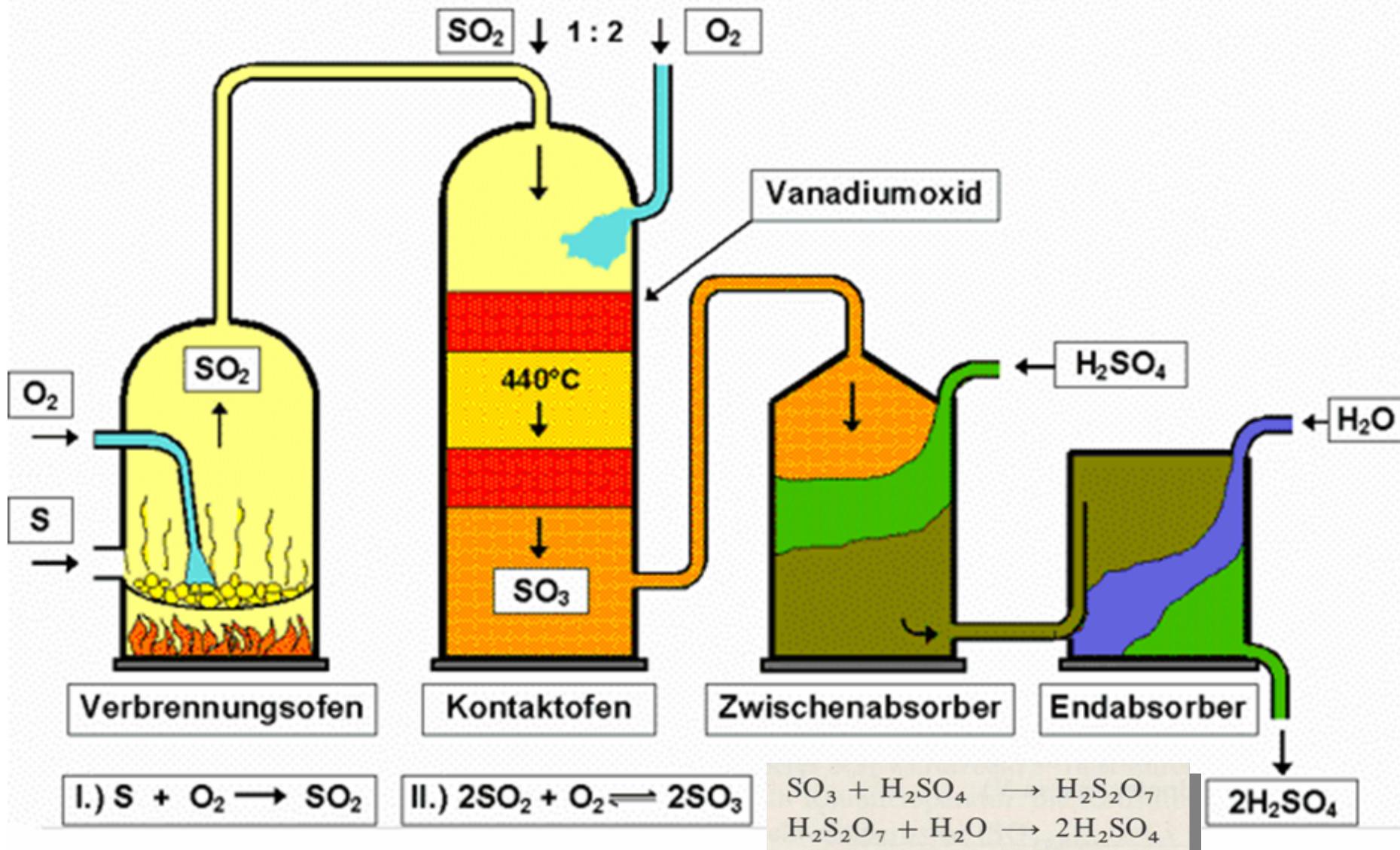


Bild 2.9.5. Herstellung von Salpetersäure durch Oxidation von Ammoniak



!

Die Schwefelsäureherstellung nach dem Doppelkontaktverfahren



Technisch wird SO₂ durch Verbrennen von Schwefel

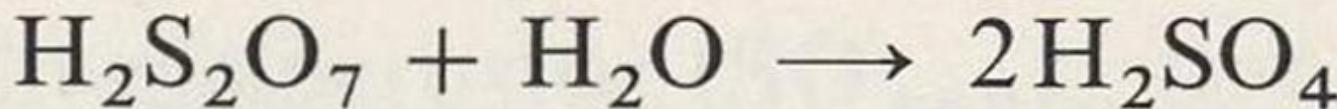
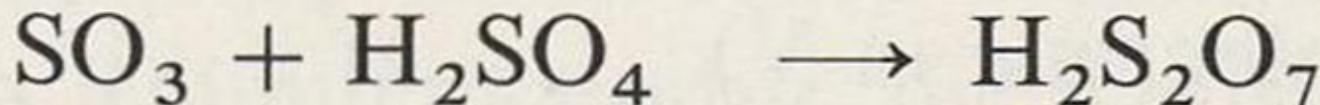
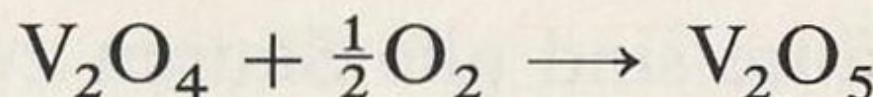
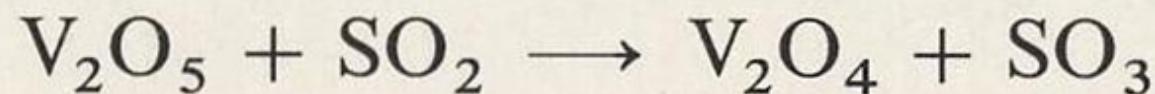


und durch Erhitzen sulfidischer Erze an der Luft (Abrösten)

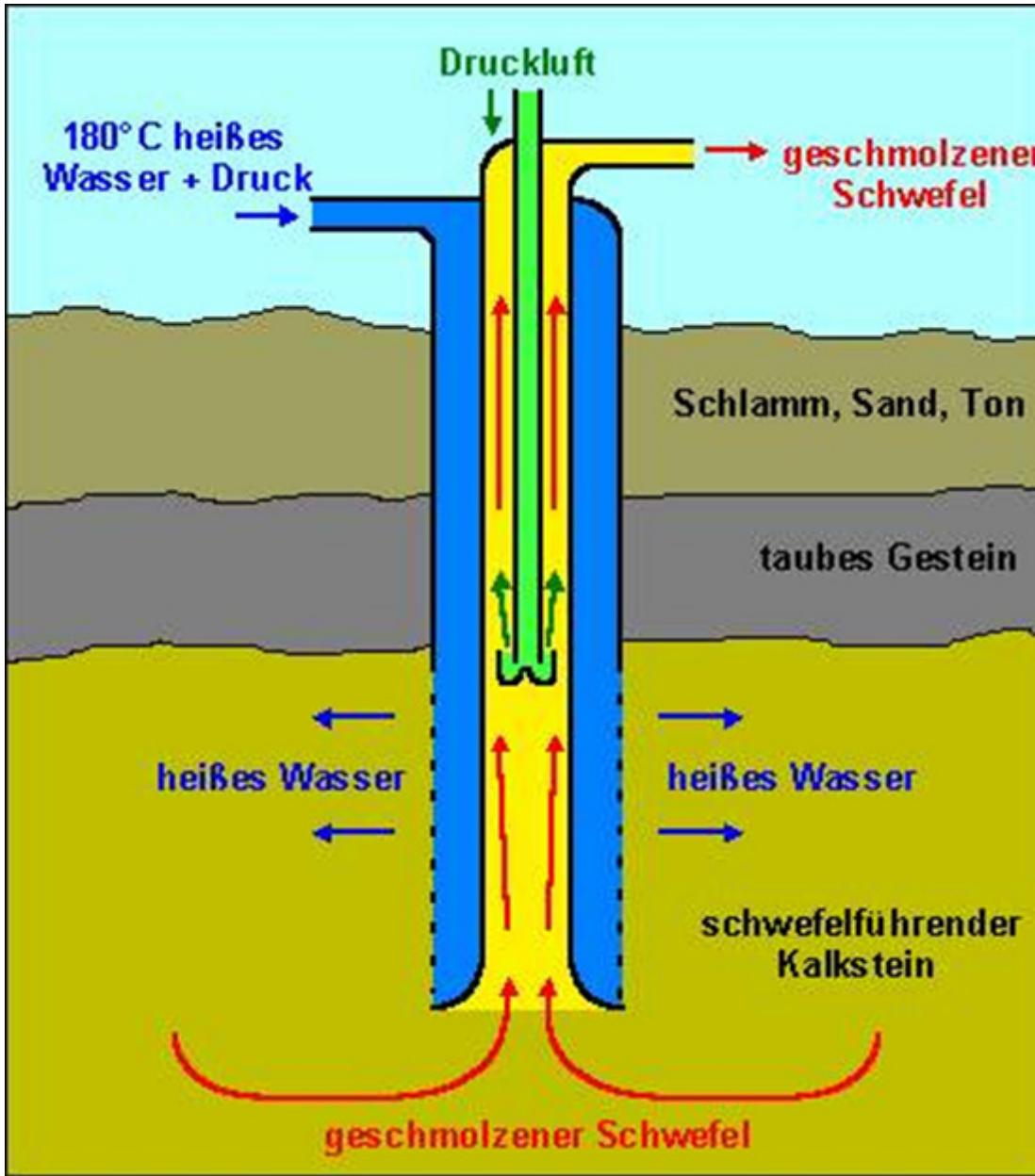


hergestellt.

Katalysator:



Frasch-Verfahren



Claus-Prozeß

Erdgas: enthält H₂S (15 %)



Claus-Kessel 1200 °C



300-350 °C, AlO(OH) Claus-Ofen

Schwefel lässt sich sicherer transportieren als Schwefelwasserstoff oder Schwefeldioxid.

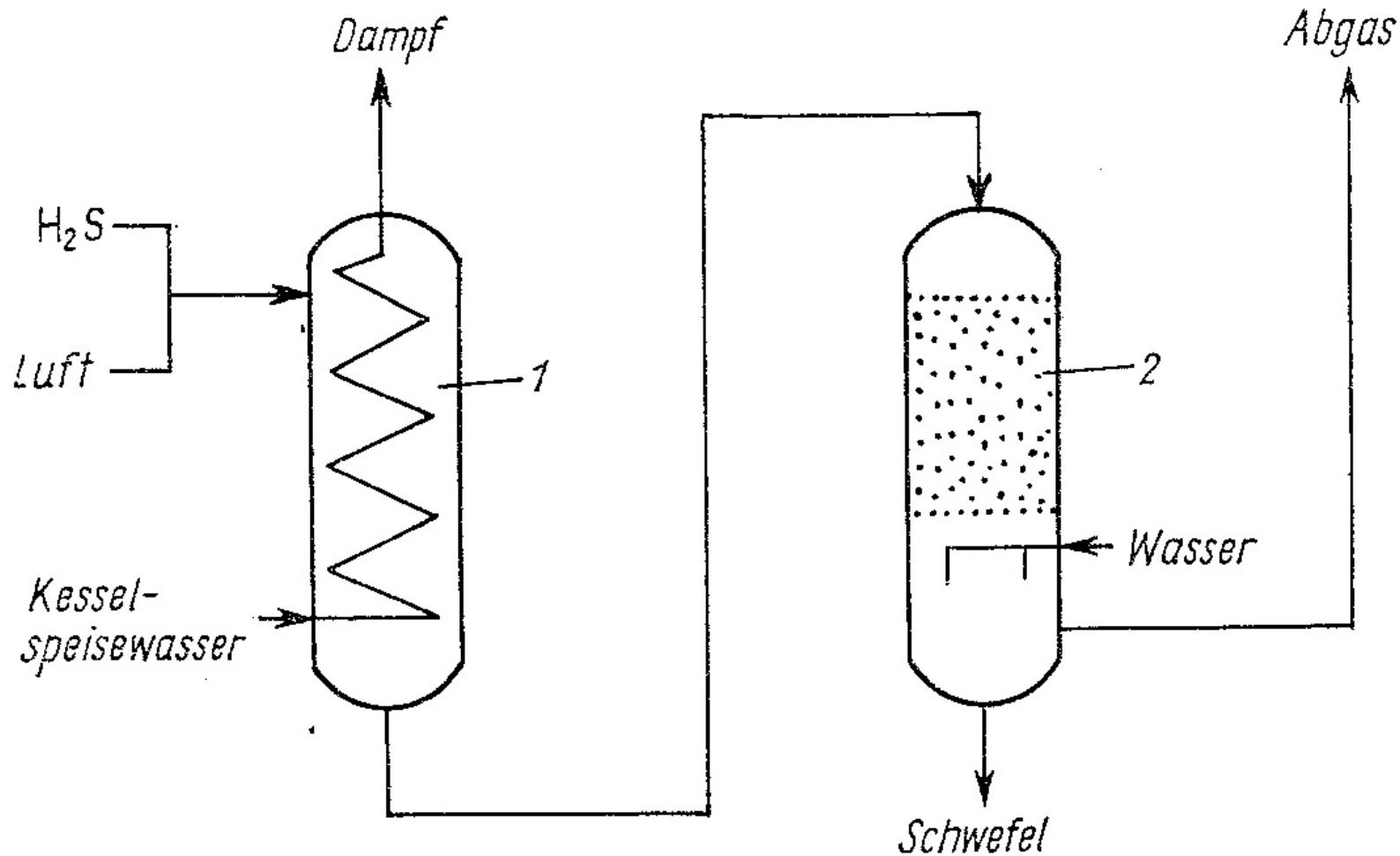


Bild 2.10.1. Prinzipschema des CLAUS-Prozesses

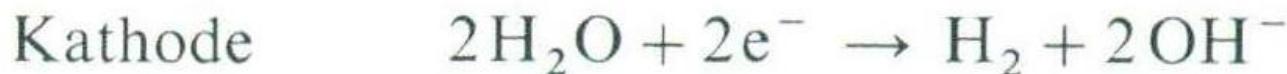
1 CLAUS-Kessel

2 CLAUS-Ofen

Chloralkali-Elektrolyse

1. Diaphragmaverfahren

Trennung von Anoden- und Kathodenraum durch poröse, stromdurchlässige Scheidewand



Gesamtvorgang



Kathode: Fe Anode: Elektrographit

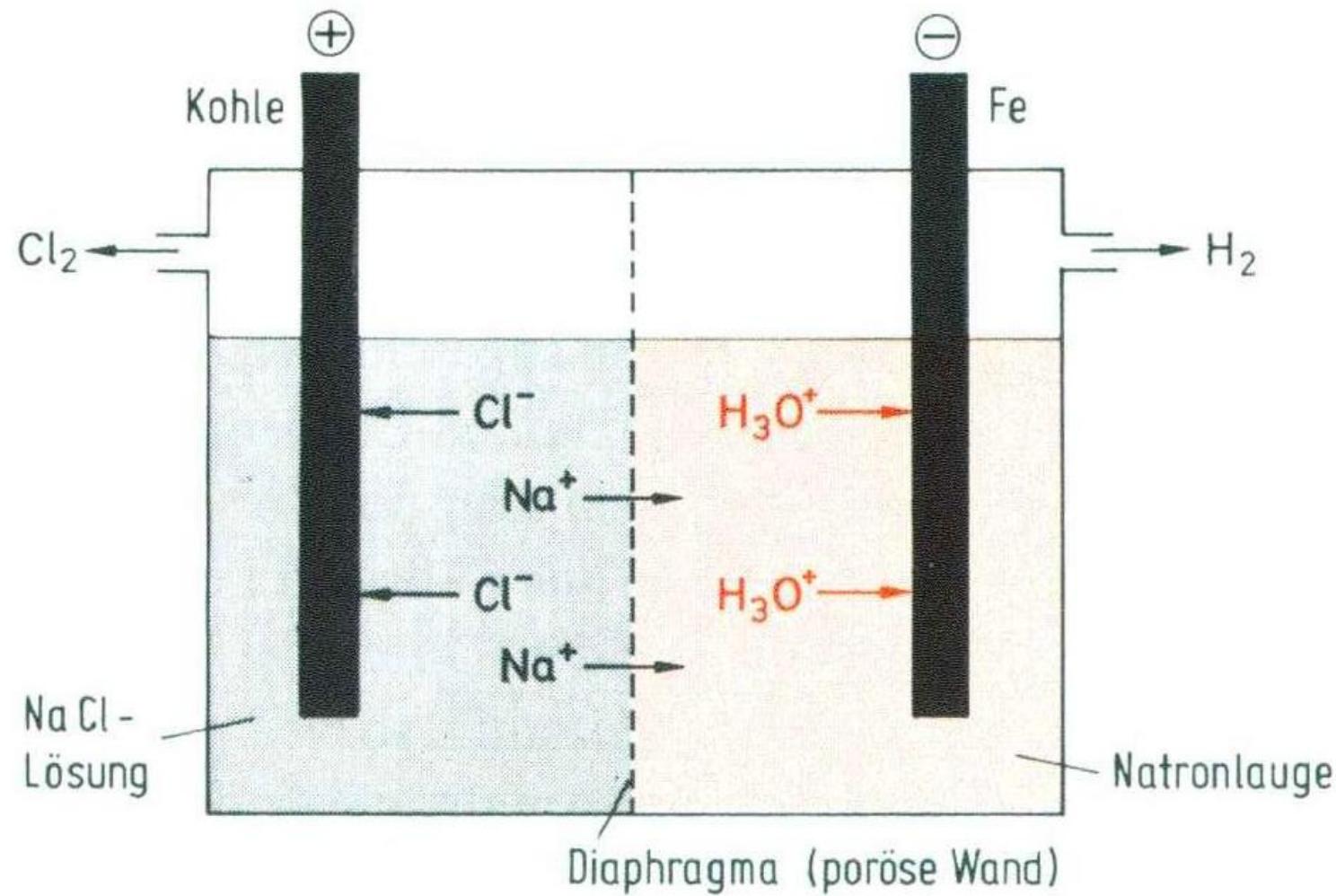


Abb. 3.49 Elektrolyse einer NaCl-Lösung mit dem Diaphragmaverfahren.

Chloralkali-Elektrolyse

2. Amalgamverfahren

Trennung von Anoden- und Kathodenraum durch
Quecksilber



Das Amalgam wird mit Wasser unter Bildung von Natronlauge und Wasserstoff zersetzt.



Kathode: Hg Anode: Elektrographit

Amalgamverfahren

