

# Ammoniaksynthese nach Haber-Bosch

---

1. Allgemeine Einführung
2. Chemisches Grundprinzip
3. Industrielle Umsetzung
4. Anwendung und Auswirkungen

# 1. Allgemeine Einführung

---

## Steckbrief: Ammoniak (NH<sub>3</sub>)



T

giftig



N

umweltgefährlich

farbloses, stechend  
riechendes Gas

**Vorkommen:** im Harn als  
Abbauprodukt des  
Stoffwechsels

□ **RS-Sätze:** R 10-23-34-50  
S 9-16-26-36/37/39-45-61  
**MAK:** 50 ml/m<sup>3</sup>

**MG:** 17,03 g/mol

**Dichte:** 0,771 g/l (NH<sub>3</sub> : Luft =  
0,5967)

**Schmelztemperatur:** -78 °C

**Siedetemperatur:** -33 °C

**Wasserlöslichkeit**

**(alkalisch):**

bei 20 °C 520 l/l

**Explosionsgrenze:** 15,5-28  
Vol.-% (Luft)

---

# 1. Allgemeine Einführung

---

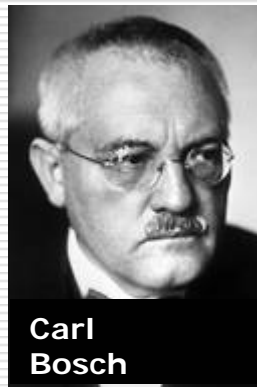
- Das Haber-Bosch Verfahren wurde zuerst im Labormaßstab 1903 bis 1909 vom deutschen Physiko-Chemiker Fritz Haber ausgearbeitet und 1913 von Carl Bosch im industriellen Maßstab umgesetzt. Dieses Verfahren stellte zum ersten Mal einen großtechnischen Eingriff in die Abfolge natürlicher chemischer Reaktionen dar. Das sonst durch die Zersetzung von Aminosäuren entstehende Ammoniak, wird im Haber-Bosch-Verfahren synthetisch aus seinen Elementen hergestellt. Das Haber-Bosch-Verfahren ist die Grundvoraussetzung für einen Großteil der heute gängigen Stickstoffchemie, in der Ammoniak als Ausgangsstoff für weitere Synthesen von Stickstoffderivaten dient, z.B. bei der Herstellung von Salpetersäure und die daraus resultierende Düngemittelchemie.
-

# 1. Allgemeine Einführung

---

Fritz Haber

1918 Nobelpreis für Chemie



Carl Bosch

1931 Nobelpreis für Chemie



Die erste Apparatur zur Ammoniaksynthese von Fritz Haber.

---

## 2. Chemisches Grundprinzip

---

- Dem Haber-Bosch-Verfahren liegt folgendes chemisches Gleichgewicht zu Grunde:
  - $3 \text{H}_2 + \text{N}_2 \leftrightarrow 2 \text{NH}_3$
  - Diese Reaktion verläuft exotherm, bei Zimmertemperatur liegt das Gleichgewicht jedoch vollständig auf der Seite der Ausgangsstoffe. Der Grund dafür ist die hohe Bindungsenergie des Stickstoffmoleküls. Diese liegt bei ca. 950 kJ/Mol. Da aber die bei der Reaktion freigesetzte Energie nur ca. -60 kJ/Mol beträgt, ergibt sich nach dem Born-Haberschen-Kreisprozess (Summe aller Energien im System) eine positive Gesamtenthalpie des Systems. So ist es also notwendig die Reaktionsbedingungen anzupassen.
-

## 2. Chemisches Grundprinzip

---

- Ideal wäre ein Ablauf der Reaktion unter geringen Temperaturen und hohem Druck, wobei der hohe Druck das zugunsten des Gesamtvolumens beeinflusst. Bei diesen Bedingungen ist die Reaktionsgeschwindigkeit allerdings sehr gering. Man muss also Energie zuführen um eine schnellere Reaktion zu erreichen. Dabei kann man die Temperatur nicht beliebig weit erhöhen, da sonst der exothermen Reaktion entgegengewirkt wird. Um die sich hier entgegenwirkenden Faktoren (hohe Temperatur, exotherme Reaktion) auszugleichen, werden Katalysatoren eingesetzt.
-

### 3. Industrielle Umsetzung

---

Bei der industriellen Umsetzung des im Labor erdachten Verfahrens muss man möglichst gewinnbringend arbeiten. Dies erreicht man, indem man aus möglichst günstigen Ausgangsstoffen ein möglichst reines und somit gewinnbringendes Produkt herstellt. Dies beinhaltet nicht nur den Einkaufspreis des Ausgangsstoffes, sondern auch, bei eigener Herstellung des Stoffes, ein energiearmes Verfahren.

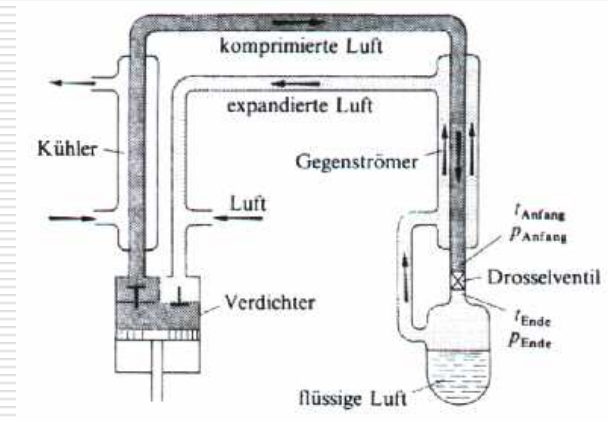


Fabrikanlage zur  
Ammoniaksynthese

---

### 3. Industrielle Umsetzung

Den Stickstoff gewinnt man durch fraktionierte Destillation nach dem Linde-Verfahren. Luft wird komprimiert und gekühlt und durch eine Drossel entspannt. Dabei erhöht sich unter Energieaufwand die Entropie, was die Luft noch weiter abkühlt. Die Luft wird in einem Kreislauf solange gekühlt, bis sie sich verflüssigt. Aufgrund der verschiedenen Siedepunkte von Sauerstoff und Stickstoff können diese beim Erwärmen der flüssigen Luft voneinander getrennt werden.



Prinzip des  
Linde-Verfahrens



### 3. Industrielle Umsetzung

---

- Wasserstoff wird durch Steam-Reforming gewonnen. Dabei wird Methangas mit Wasserdampf bei 900°C an einem Nickelkatalysator zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgesetzt:



- Beide Stoffe werden in einem Reaktor zur Reaktion gebracht. Dabei werden die speziellen Faktoren der Reaktion (hohe Temperaturen, hoher Druck, Katalysatoren) in die Reaktion eingebracht.



Anlage zur Herstellung des Synthesegases

---

### 3. Industrielle Umsetzung

---

- Die heutigen Reaktoren bestehen aus Chrom- Molybdän-Stählen, da sie extrem hart sind und nur sehr geringe Mengen Kohlenstoff enthalten. Die geringe Menge an Kohlenstoff in dem Stahl ist sehr wichtig, da sich sonst der Wasserstoff mit dem Kohlenstoff verbindet und Methan entsteht. Dieses würde sich bei den hohen Temperaturen entzünden und es würde zur Explosion kommen. Außerdem nutzt man heute Wärmetauscher.
  - Als Katalysator wird ein Eisenkatalysator verwendet, wobei Eisenoxide mit Aluminium(III)-oxid, Kaliumoxid und Calciumoxid geschmolzen werden. Der Katalysator wird gekörnt, wobei das Aluminiumoxid ein zusammensintern der Eisenkörner verhindert. Kaliumoxid dient als sehr unedles Metall der Verstärkung der katalytischen Wirkung, da es das Eisen edler erscheinen lässt (Opferelektrode). Das Calciumoxid erfüllt die Aufgabe eines Strukturstabilisators.
-

### 3. Industrielle Umsetzung

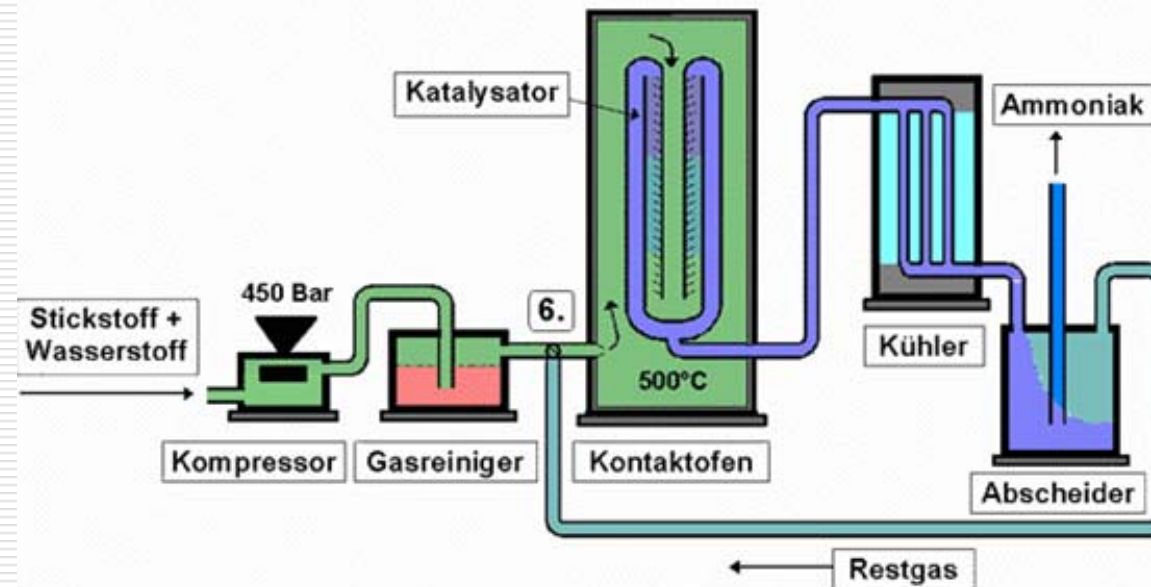
---

- Der molekulare Stickstoff wird am Eisen in atomaren Stickstoff und ein Nitrid- Ion gespalten, der ein Oberflächennitrid bildet ( $\text{FeN}$ ). Dieses Nitrit reagiert mit Wasserstoff, der am Katalysator ebenfalls gespalten wird zu Ammoniak. Dies erfolgt über die Zwischenschritte des Imids und des Amids aus dem sich schließlich ein Oberflächenammoniakat bildet, dass schnell unter Abgabe von Ammoniak zerfällt. Die Ammoniak- Ausbeute des Haber- Bosch- Verfahrens liegt bei 17,6%. Das entstandene Ammoniakgas wird in zwei verschiedenen Methoden von den verbliebenen Ausgangsstoffen getrennt:
    - Absorption des Ammoniaks mit Wasser
    - Kühlung (Verflüssigung des Ammoniaks)
-

### 3. Industrielle Umsetzung

---

Die Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren



## 4. Anwendung und Auswirkungen

---

- Das Haber- Bosch Verfahren stellt einen wichtigen Teil in der Chemie des 20. Jahrhunderts dar. In den Jahren vor der Einführung des Verfahrens musste man für die Herstellung von stickstoffhaltigen Produkten auf natürliche Salpetervorkommen zurückgreifen. Heute ist man in der Lage , unabhängig von seiner geographischen Lage und somit der Menge an eigenen Vorkommen Salpeters, eine beliebige Menge an Ammoniak „aus der Luft“ zu gewinnen.
  - Als das Verfahren bekannt wurde war die Folge daraus ein massiver Preisfall von stickstoffhaltigen (künstlichen) Düngern, was die Agrarproduktion erheblich steigerte.
  - Nachteile brachte das Verfahren vor allem den Staaten Südamerikas, welche über große Salpetervorkommen verfügen. Sie verloren ihren wirtschaftlichen Anschluss an Europa und Nordamerika.
-