

# Das Haber-Bosch-Verfahren

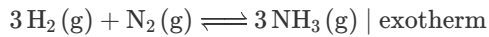
## Wie Chemie die Ernährung der Menschheit veränderte

LNCU.de  
ID 36413  
CC-BY-SA 4.0  
Online abrufen

### M1 Probleme und Lösungen bei der Stickstoffixierung

#### Es sieht so einfach aus

Die Gleichung zur Herstellung von Ammoniak, aus dem man leicht Düngemittel herstellen kann, ist unkompliziert:



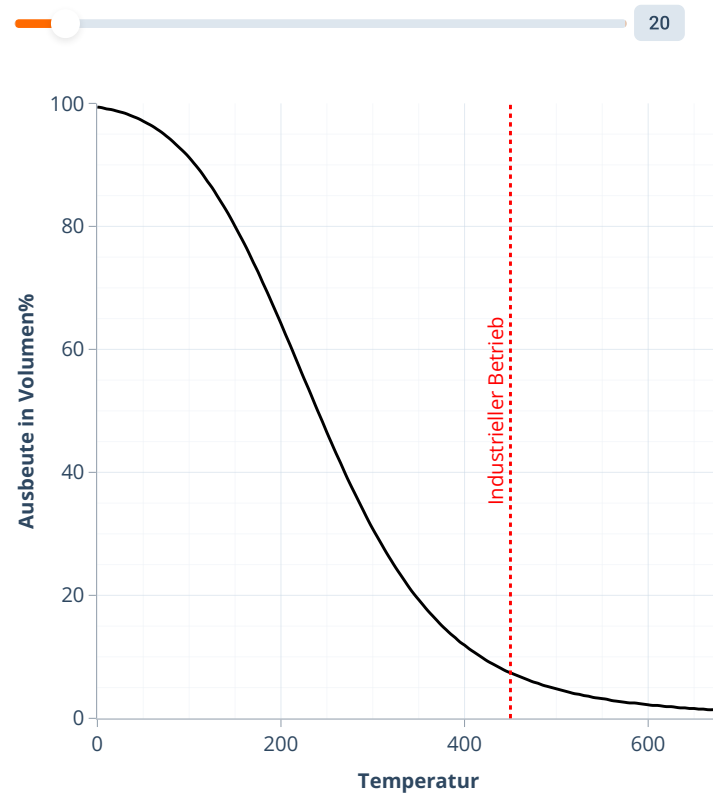
Schau es dir erst einmal selbst an: Druck, Temperatur ... welche Einstellungen würdest Du prinzipiell für eine optimale Ausbeute wählen?

#### Das Problem

Niedrige Temperatur und hoher Druck – nach dem Prinzip von Le Chatelier scheint damit alles entschieden: Die Reaktion ist exotherm, Abkühlen begünstigt also die Bildung von Ammoniak; und weil aus vier Gasteilchen nur zwei werden, verschiebt hoher Druck das Gleichgewicht ebenfalls zum Ammoniak hin.

Doch genau bei der **Temperatur** liegt der Haken. Bei niedriger Temperatur läuft die Reaktion zwar in die gewünschte Richtung, aber so langsam, dass praktisch nichts entsteht. Die Lage des Gleichgewichts und die Geschwindigkeit, mit der es sich einstellt, sind zwei verschiedene Dinge – und sie ziehen hier in entgegengesetzte Richtungen.

Druck in bar



#### Der Ausweg

Der Ausweg ist ein **Kompromiss**: eine **höhere Temperatur** von etwa 400–500 °C, damit die Reaktion überhaupt schnell genug abläuft. Das Diagramm zeigt den Preis dafür – mit steigender Temperatur **sinkt die Ausbeute**. Ein **Eisenkatalysator** beschleunigt die Einstellung des Gleichgewichts zusätzlich, verschiebt es aber nicht: An der mageren Ausbeute ändert er nichts. Auch der **hohe Druck** von etwa 150–300 bar hilft nur begrenzt – und ist technisch wie energetisch so aufwendig, dass das Verfahren an ihm beinahe gescheitert wäre (mehr dazu im nächsten Abschnitt).


Damit aus diesem schlechten Geschäft ein lohnendes wird, braucht es weitere Kunstgriffe – im Querschnitt der Anlage in **M3** zu entdecken.

### Aufgaben zu M1

- 1 Begründen Sie mit dem Prinzip von Le Chatelier, warum eine niedrige Temperatur und ein hoher Druck die Ammoniak-Ausbeute jeweils erhöhen. Beziehen Sie sich dabei ausdrücklich auf die Reaktionsgleichung (exotherm; Zahl der Gasteilchen).
- 2 Im industriellen Betrieb wird dennoch bei etwa 450 °C gearbeitet. Erklären Sie diesen scheinbaren Widerspruch mithilfe der Begriffe Lage des Gleichgewichts und Geschwindigkeit der Einstellung.
- 3 Verändern Sie im Diagramm den Druck: Vergleichen Sie die Ausbeute bei etwa 450 °C für einen niedrigen und einen hohen Druck. Erläu-

## Aufgaben zu M2

- 4 Stellen Sie die Beiträge von Fritz Haber und Carl Bosch gegenüber: Wofür steht der Laborversuch von 1909, wofür die großtechnische Anlage ab 1910/1913? Erklären Sie an Beispielen aus dem Text, warum aus dem „hohen Druck“ aus **M1** ein eigenständiges technisches Großproblem wurde.
- 5 **Fritz Haber** und **Carl Bosch** wurden durch ein nach ihnen benanntes Verfahren und einen Nobelpreis sichtbar. **Clara Immerwahr**, ebenfalls promovierte Chemikerin, blieb das verwehrt. Arbeiten Sie am Beispiel der drei Personen den Unterschied zwischen einer wissenschaftlichen Leistung und ihrer Anerkennung heraus und benennen Sie mögliche Ursachen, was beides um 1900 beeinflusste.

Wie wir mit Fritz Habers Erbe – und mit Lebensgeschichten wie der von Clara Immerwahr – heute umgehen sollten, ist eine eigene, anspruchsvolle Frage. Ihr gehen wir auf einer gesonderten Seite nach: Soll die **Fritz-Haber-Straße**  umbenannt werden?

## M2 Von Habers Labor zur großtechnischen Anlage

Im Jahr **1909** arbeiteten **Fritz Haber** und sein Team in Karlsruhe an einem Problem, das viele Wissenschaftler damals für kaum lösbar hielten: der technischen Nutzung des Stickstoffs aus der Luft. <sup>1</sup> Damit Stickstoff und Wasserstoff zu Ammoniak reagieren konnten, mussten hohe Drücke, Temperaturen von etwa 500 °C und geeignete Katalysatoren kombiniert werden. Viele Versuche scheiterten, Apparaturen wurden undicht oder hielten den Belastungen nicht stand. Immer wieder mussten neue Materialien getestet und technische Lösungen entwickelt werden. <sup>2</sup> Am 2. Juli 1909 gelang schließlich erstmals die kontinuierliche Herstellung kleiner Mengen flüssigen Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff. Die Apparatur produzierte zunächst nur wenige Tropfen pro Stunde – dennoch gilt dieser Tag als entscheidender Durchbruch des späteren Haber-Bosch-Verfahrens. <sup>3</sup>



Abb. 1: Habers Ammoniak-Reaktor <sup>4</sup>


Bereits **ab 1910** begann die BASF unter Leitung von **Carl Bosch** mit der Entwicklung großtechnischer Hochdruckanlagen. Bosch gelang es, Habers Laborversuch in ein industrielles Verfahren zu überführen. Dafür mussten unter anderem riesige Hochdruckreaktoren entwickelt, neue hitze- und druckbeständige Werkstoffe gefunden sowie Probleme mit undichten Leitungen, Explosionen und der Versprödung von Stahl durch Wasserstoff gelöst werden. 1913 nahm schließlich die erste industrielle Anlage zur Ammoniakproduktion in Oppau den Betrieb auf. Carl Bosch erhielt später gemeinsam mit Friedrich Bergius den Nobelpreis für Chemie des Jahres 1931 für die Entwicklung chemischer Hochdruckverfahren. <sup>5</sup>



Abb. 2: Bau des Ammoniak-Reaktors 1913 Oppau. <sup>6</sup>



Abb. 3: Clara Immerwahr <sup>7</sup>

Auch die **Chemikerin** und erste Ehefrau von Fritz Haber, **Clara Immerwahr** begleitete Habers wissenschaftliche Arbeit fachlich und diskutierte seine Forschung mit ihm. Nach der Geburt ihres Sohnes konnte sie ihre eigene wissenschaftliche Arbeit jedoch kaum noch fortführen, da Frauen damals meist keine gleichberechtigten Möglichkeiten in Forschung und Hochschule erhielten. <sup>8</sup> Für die „Synthese von Ammoniak aus seinen Elementen“ erhielt dann Fritz Haber später den Nobelpreis für Chemie des Jahres 1918, der auch aufgrund des Krieges erst 1920 verliehen wurde. Der Preis war damals umstritten: Einige französische und britische Wissenschaftler blieben der Verleihung fern, da Haber wegen seiner Rolle im chemischen Krieg des Ersten Weltkriegs kritisch gesehen wurde. <sup>9</sup> Die **p** **roblematischen Seiten**  dieser Geschichte betrachten wir an anderer Stelle.



## Aufgaben zu M3

- 6 Untersuchen Sie die markierten Stellen ① bis ④ im Anlagenschema. Geben Sie für jede Stelle an: Welche Störung des Gleichgewichts wird hier bewusst herbeigeführt – und in welche Richtung verschiebt sie das Gleichgewicht? Begründen Sie jeweils mit dem Prinzip von Le Chatelier. An einer der vier Stellen wird das Gleichgewicht bewusst in die ungünstige Richtung verschoben. Identifizieren Sie diese Stelle und begründen Sie, warum man diesen Nachteil in Kauf nimmt

### M3 Querschnitt einer Anlage

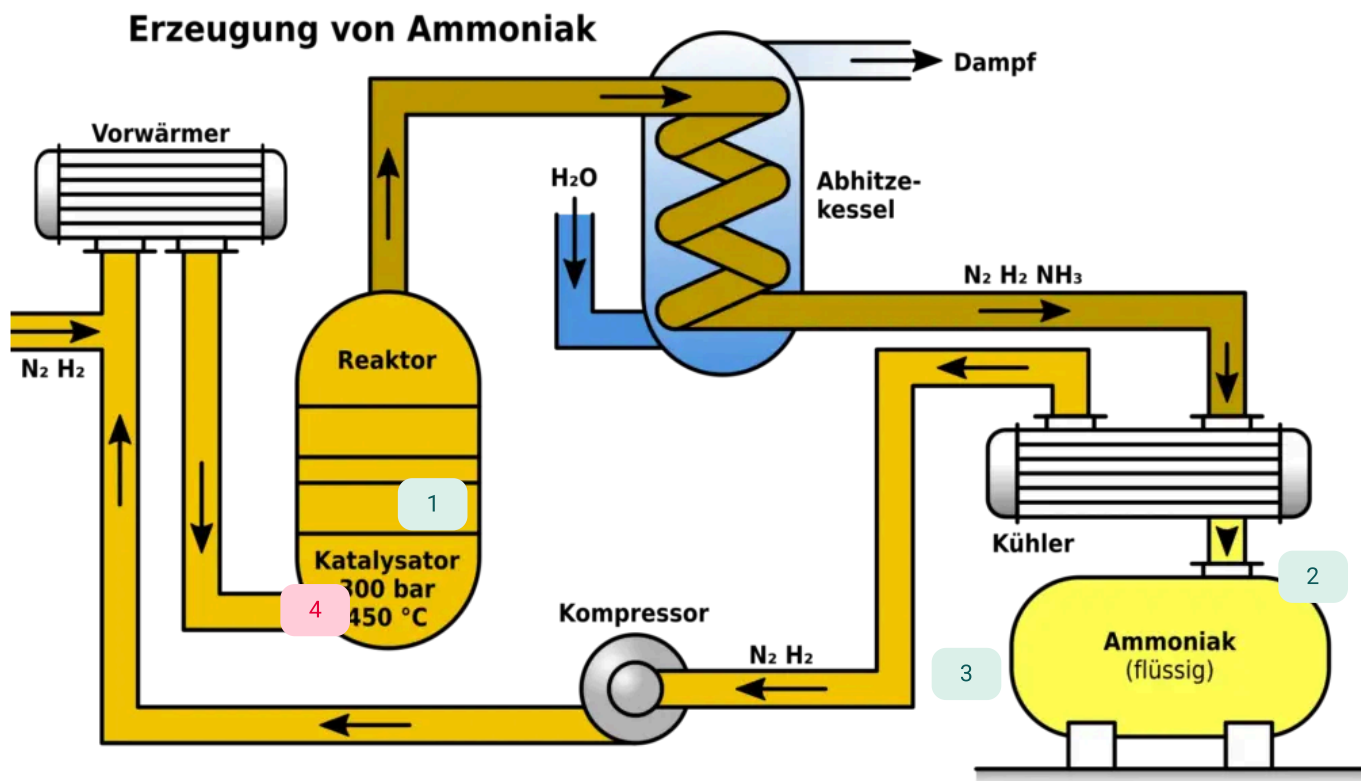


Abb. 4: Eine Anlage als Schema – die Gewinnung von  $H_2$  erfolgt zurzeit noch aus Erdgas. <sup>10</sup>

### M4 Für Interessierte: Interessantes rund herum

#### Das Ostwald-Verfahren

Ammoniak ist noch kein Dünger. Den entscheidenden nächsten Schritt liefert das Ostwald-Verfahren: Ammoniak wird – wieder an einem Katalysator, diesmal aus Platin – mit Luftsauerstoff zu Stickstoffmonoxid und weiter zu Stickstoffdioxid oxidiert; mit Wasser entsteht daraus Salpetersäure. Aus Salpetersäure und Ammoniak wird Ammoniumnitrat, einer der wichtigsten Stickstoffdünger überhaupt.

Erst Haber-Bosch und Ostwald zusammen machen aus Luftstickstoff streubaren Dünger. Entwickelt hat das Verfahren Wilhelm Ostwald bereits um 1902. Passenderweise erhielt er 1909 den Chemie-Nobelpreis – ausdrücklich für seine Arbeiten zur Katalyse sowie zu

#### Ein weiterer Nobelpreis

Der Eisenkatalysator, der das Gleichgewicht beschleunigt, ohne es zu verschieben, war jahrzehntelang eine Blackbox: Man wusste, dass er wirkt, aber nicht genau, wie. Aufgeklärt hat das der deutsche Physikochemiker Gerhard Ertl. Mit Methoden der Oberflächenchemie zeigte er Schritt für Schritt, was an der Eisenoberfläche geschieht: Das besonders reaktionsträge Stickstoffmolekül – mit seiner stabilen Dreifachbindung – wird an der Oberfläche in einzelne Stickstoffatome zerlegt. Erst dieser Schritt macht den weiteren Weg zum Ammoniak möglich; er ist der eigentliche Engpass der Synthese. Für seine „Studien chemischer Vorgänge an festen Oberflächen“ erhielt Ertl 2007 den

#### Zahlen, Daten, Fakten

1909 produzierte Habers erste Apparatur nur wenige Tropfen Ammoniak pro Stunde. Heute werden weltweit rund 150 Millionen Tonnen Ammoniak pro Jahr hergestellt (Schätzungen reichen je nach Zählweise bis etwa 200 Mio. t) – Ammoniak gehört damit zu den mengenmäßig größten Produkten der gesamten chemischen Industrie; größter Produzent ist mit Abstand China. Möglich macht das ein Prozess unter erstaunlich harten Bedingungen: Die rund 300 bar im Reaktor entsprechen etwa dem Wasserdruck in 3000 Metern Meerestiefe – bei zugleich etwa 450 °C. Was dieser gewaltige Eingriff in den Stickstoffkreislauf für Welternährung,

den Grundlagen chemischer Gleichgewichte und Reaktionsgeschwindigkeiten: genau die drei Begriffe, um die sich auch diese Seite dreht.<sup>11</sup>

Chemie-Nobelpreis – verkündet an seinem 71. Geburtstag. Die Pointe: Er forschte als Direktor am Fritz-Haber-Institut in Berlin – benannt nach jenem Mann, dessen Geschichte weiter oben erzählt wird.<sup>12</sup>

Energieverbrauch und Umwelt bedeutet, ist das Thema der nächsten Seite.<sup>13</sup>

## Einzelnachweise

- <sup>1</sup> Stoltzenberg, D. (1999), Fritz Haber, Carl Bosch und Friedrich Bergius – Protagonisten der Hochdrucksynthese. Chemie in unserer Zeit, 33: 359-364. <https://doi.org/10.1002/ciuz.19990330607>,
- <sup>2</sup> Fritz Haber: „The Synthesis of Ammonia from its Elements“, Nobel Lecture, 2. Juni 1920, veröffentlicht unter: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1918/haber/lecture/>(zuletzt abgerufen am 20.05.2026).
- <sup>3</sup> Im Science Museum London existiert sogar noch ein versiegeltes Röhrchen mit Ammoniak von diesem Versuch. s. Science Museum Group: „Sample of Haber's synthetic ammonia, 2 July 1909“, <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co525226/sample-of-habers-synthetic-ammonia-2-july-1909> (zuletzt abgerufen am 20.05.2026).
- <sup>4</sup> JGvBerkel, Public domain, via Wikimedia Commons
- <sup>5</sup> <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/history/Carl-Bosch#02-514455657>
- <sup>6</sup> © BASF; BASF-Negativnummer 1795-alt, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons
- <sup>7</sup> Public domain, via Wikimedia Commons
- <sup>8</sup> Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh): „Clara Immerwahr“, <https://www.gdch.de/publikationen/biographien-von-chemikerinnen/clara-immerwahr.html>, zuletzt abgerufen am 20.05.2026).
- <sup>9</sup> The Nobel Prize in Chemistry 1918 – Fritz Haber, Nobel Prize Outreach AB, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1918/haber/facts/>, zuletzt abgerufen am 20.05.2026).
- <sup>10</sup> Gregor von Borstel, 2026 verändert nach Sven, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons
- <sup>11</sup> Nobelprize.org: The Nobel Prize in Chemistry 1909 – Wilhelm Ostwald. [nobelprize.org/prizes/chemistry/1909/](https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1909/)
- <sup>12</sup> Nobelprize.org: The Nobel Prize in Chemistry 2007 – Gerhard Ertl. [nobelprize.org/prizes/chemistry/2007/](https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2007/)
- <sup>13</sup> Produktionsmenge: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries – Nitrogen/Ammonia; International Fertilizer Association.