

# KÉMIA IDEGEN NYELVEN



## Kémia németül

*Szerkesztő: Horváth Judit*

Az első fordulóra beérkezett fordítások értékelését a következő számban közöljük.

*Chemie auf Deutsch* (fordításra kijelölt német nyelvű szakszöveg)

## Kunstdünger (Teil 2)

---

### Stickstofffixierung – Was ist darunter zu verstehen?

**Alle Lebewesen**, Tiere und Pflanzen, brauchen **Stickstoff**, da er **Bestandteil** der **Aminosäuren in Proteinen** und der **Nukleinsäuren** ist, d.h. lebensnotwendigen chemischen Stoffen aller lebenden Organismen. Da die **Moleküle des Luftstickstoffs**  $N_2$  aus je zwei **über eine Dreifachbindung gekoppelten Stickstoffatomen** bestehen, ist diese Bindung **sehr stabil und reaktionsträge**.  $N_2$  wird daher auch als **Inertgas** bezeichnet.  $N_2$  **kann daher weder von Tieren noch Pflanzen direkt aus der Luft für die Bildung von Proteinen aufgenommen werden**. Lebewesen sind daher auf **Stickstoffverbindungen, wie Ammonium  $NH_4^+$  und Nitrat  $NO_3^-$**  angewiesen.

### Kunstdünger – Was ist das?

Kunstdünger sind (mineralische) Düngemittel, die mithilfe von **chemischen und industriellen Verfahren** hergestellt oder aufbereitet werden. Wegen ihrer **schnellen Wirkung** und **hohen Konzentration**

sind Kunstdünger in der Lage, **akute Mängel** der Pflanzenernährung zu beheben. Die **Rohstoffe für mineralische Dünger** werden **aus fossilen Lagerstätten abgebaut** oder – im Falle von Stickstoff – im Haber-Bosch-Verfahren erzeugt. All diese müssen noch weiter **chemisch umgesetzt** werden. Die chemisch veränderten Rohstoffe sind **besser in Wasser** oder in bodeneigenen Säuren **löslich**. So machte die **industrielle Produktion von Mineraldünger** das immense Wachstum der Weltbevölkerung im 20. Jahrhundert möglich.

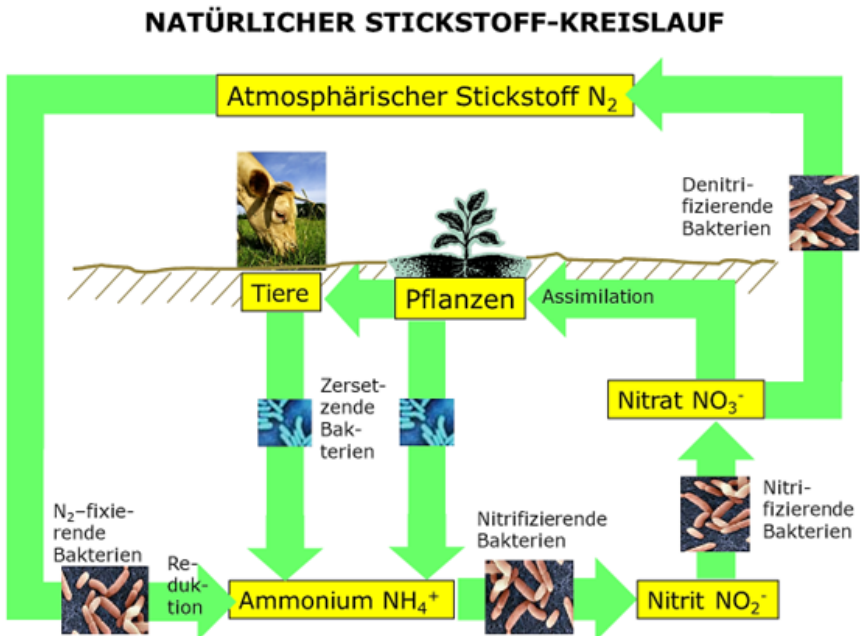


Bild 1: **Der natürliche Stickstoff-Kreislauf.** Die Ausscheidungen der Lebewesen werden durch zersetzende Bodenbakterien zu Ammonium.

**Assimilation:** Aufnahme des Stickstoffs durch die Pflanze.

**Stickstofffixierung:** Umwandlung des chemisch inerten, molekularen Stickstoffs N<sub>2</sub>.

**Denitrifikation:** Umwandlung des im Nitrat NO<sub>3</sub><sup>-</sup> gebundenen N zu molekularem Stickstoff N<sub>2</sub> durch Bakterien.

## Ammoniaksynthese als Ausgangsprozess zur Düngemittelherstellung

Rund **80 Prozent** des hergestellten  $\text{NH}_3$  werden **als Düngemittel** eingesetzt. Ohne  $\text{NH}_3$  wäre es nicht möglich, die stetig wachsende Bevölkerung mit ausreichend Nahrung zu versorgen.

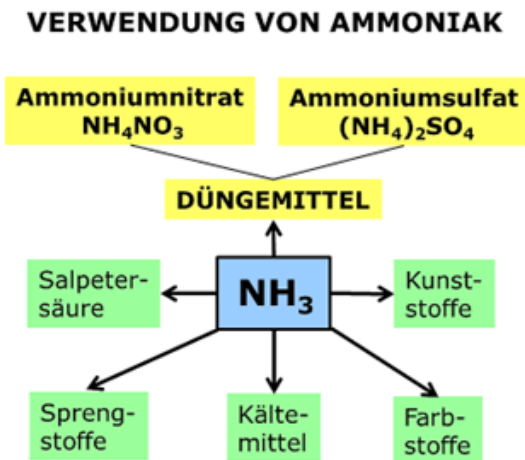
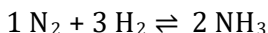


Bild 2: Parallel zur Düngemittelindustrie spielt  $\text{NH}_3$  auch als **Grundstoff für zahlreiche Feinchemikalien**.



Das ist **eine der einfachsten Formeln der anorganischen Chemie**. Praktisch jedoch waren die **Schwierigkeiten fast unüberwindlich**, weil in dem Reaktor  $450^\circ\text{C}$  und  $300 \text{ bar}$  Druck erforderlich sind. Aber nach erfolgreicher Meisterung der Probleme sollte damit **Brot aus Luft** entstehen.

1900 meldete **Wilhelm Ostwald** (1853–1932) ein **Patent** zur "Herstellung von Ammoniak und Ammoniakverbindungen aus freiem Stickstoff und Wasserstoff" an. Im Labormaßstab gelang es ihm durch "geeignete Kontaksubstanzen oder Katalysatoren bereits bei geringer Erhitzung auf  $250$  bis  $300^\circ\text{C}$ " **Ammoniak herzustellen**. In der gleichen Patentschrift empfahl er die **Durchführung unter hohem Druck**, "da die verhältnismäßige Menge des Ammoniaks im Gasgemisch mit steigendem Druck zunimmt".

Was **in der Natur** winzige nitrifizierende **Bodenbakterien bei Atmosphärendruck, Umgebungstemperatur** und Feuchte mühelos fertigbringen, ist **in der technischen Synthese** ein langer und **mühevoller Weg**, die Stickstofffixierung - **hohe Drücke, hohe Temperaturen** in den Reformern, Konvertern, Waschkolonnen, Reaktoren, Kompressoren, Wärmetauschern. **Hohe Investitionskosten, großer Energieverbrauch**, aber die Chemiker und Ingenieure haben es mit dem Einsatz von viel Gehirnschmalz und **jahrelanger Ausdauer** zustandegebracht.

Großtechnisch wird  $\text{NH}_3$  heutzutage nach dem **Haber-Bosch-Verfahren** hergestellt, das 2013 sein 100-jähriges Jubiläum feierte.  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2$  werden **bei Temperaturen von 400 bis 500 Grad Celsius** und **Drücken von 150 bis 250 bar** über einen **Eisenkatalysator** geleitet. Diese Prozessparameter sind ein Kompromiss zwischen der thermischen Stabilität von  $\text{NH}_3$ , der Reaktionsrate und der Katalysatoraktivität. Unter **Gleichgewichtsbedingungen** wird ein **Umsatz von 15 Prozent** erreicht. Der benötigte  $\text{N}_2$  wird durch kryogene Luftzerlegung gewonnen, wohingegen  $\text{H}_2$  durch **Dampfreformierung von Methan  $\text{CH}_4$**  erzeugt wird.

**Fritz Haber** (\*1868 Breslau, †1934 Basel) entwickelte von 1904 bis 1908 zusammen mit **Carl Bosch** (1874–1940) die Ammoniaksynthese, erhielt 1910 darauf das Patent und legte damit die Grundlage für künstlich hergestellten Stickstoffdünger, der **für die Ernährung der Hälfte der Weltbevölkerung unerlässlich** ist. Er bekam dafür **1919 den Nobelpreis für Chemie**.

### **Geburtsstunde der Hochdrucktechnik in der Chemie**

Ab 1907 wurde ganz klar, dass die Synthese nur bei hohen Drücken und Temperaturen gelingen würde. Habers Berechnungen ergaben, dass Erfolg nur bei den **damals völlig unrealistischen Bedingungen** von  $600^\circ\text{C}$  und 200 bar möglich sein würde. Das Budget der TH Karlsruhe war viel zu schmal, um diese Apparaturen zu bezahlen. Im nahen Ludwigshafen fand er einen Kooperationspartner in der **BASF** (Badische Anilin- und Sodafabrik), die in zukunftssträchtige Technologien investieren wollte. Nicht nur, dass **unter diesen Bedingungen noch niemals großtechnische Verfahren durchgeführt wurden**, sondern es gab praktisch keinen **Katalysator**

(einen Stoff, der die **Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion erhöht**, ohne dabei selbst verbraucht zu werden), der bei 500°C funktionierte.

Fritz Haber und G. van Oordt verwendeten schon 1904 **reines Eisen**, das aber noch **nicht in der richtigen Modifikation** vorlag. 1909 experimentierte Haber mit **Osmium** und sogar mit **Uran** als Katalysator. Im TH-Institut bauten sie mit finanzieller Hilfe der BASF eine **Hochdruckapparatur**, für die alle Komponenten speziell konstruiert und gebaut werden mussten, der **Kompressor**, die **Wärmetauscher**, der **Reaktor samt Katalysator**, die **Dichtungen** und **Ventile**. Die Apparatur, ausgelegt für 250 bar, arbeitete nach dem **Kreislaufverfahren**, d.h. das **gebildete Ammoniak** musste aus dem umlaufenden Synthesegas  $N_2 + H_2$  **abgetrennt** werden. Im März 1909 war es so weit mit ihrer kleinen Versuchsanordnung.

Alwin Mittasch (1869–1953) suchte in den Folgejahren nach der optimalen Zusammensetzung für den Katalysator. Er fand heraus, dass eine **bestimmte Eisenmodifikation** am besten geeignet ist. **Magnetit** oder Eisen(II,III)-oxid  $Fe_3O_4$  wird in der **reduzierend** wirkenden Umgebung des Reaktors **zu stark porösem**, kubisch-raumzentriertem  **$\alpha$ -Eisen umgewandelt**. Die innere **Oberfläche** dieses Eisens ist sehr hoch und ermöglicht einen hohen Gas-Kontakt. Wenig zugesetztes **Aluminiumoxid** begünstigt die Bildung des  $\alpha$ -Eisens, Kaliumoxid stabilisiert die Struktur.

Nachdem 1911 eine erste kleinere Anlage für mehrere Wochen in Betrieb war, **ohne dass der Reaktor platzte**, wurde die ganze finanzielle Kraft der BASF für den Bau einer **Großanlage** in der Nachbargemeinde Oppau eingesetzt. **1913 ging sie in Betrieb**, erzeugte eine **Tagesmenge von 20 t** gebundenen Stickstoffs. Sie wurde laufend ausgebaut: Noch 1913 wurden die **Reaktoren von 4 auf 8 m Höhe** gebracht, ihr **Durchmesser stieg von 29 auf 68 cm**, 1915 betrug die Höhe schon 12 m und der Durchmesser 1 m, Tagesproduktion 25 t (25 tato). Als der **erste Weltkrieg** ausbrach, verlangte das **Kriegsministerium dringend nach Ammoniak**, weil daraus (leider) auch  **Sprengstoff** hergestellt werden kann. Die Produktion konnte nur durch den Bau eines neuen Werkes erhöht werden; aus strategischen Gründen entschloss man sich für den Standort Leuna bei Merseburg (weg von der französischen Grenze!). 1917 wurde die für 350 tato

gebundenen Stickstoff ausgelegte Anlage angefahren. 1925 lag die BASF-Produktion an beiden Standorten schon bei 950 tato, 1928 bei 1700 tato.

Für eine **Tagesproduktion von 1500 Tonnen Ammoniak** setzt man einen **Reaktor von 2,40 m Durchmesser, 30 m Länge** und einem **Gewicht von ca. 400 Tonnen** ein. Er fasst etwa **100 Tonnen Katalysator** (heute meist **Eisen mit Zusätzen von Oxiden des Calciums, Aluminiums und Siliziums** sowie **Kaliumcarbonat**).

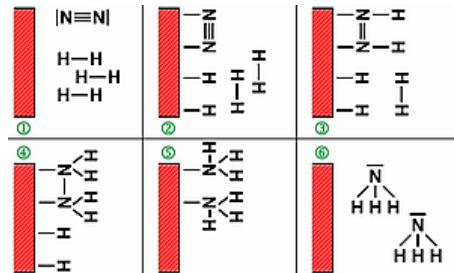


Bild 3. (links) So sieht es aus, das Herzstück der Ammoniaksynthese-Anlage, der **Hochdruck-Reaktor**, hier ein Exemplar von 1921, auf dem Gelände des Karlsruher Instituts für Technologie. 300 bar und 450°C - damals eine große Herausforderung für die Stahlindustrie und die Berechnungsingenieure.

**Außen** ist das Reaktionsrohr mit **druckbeständigem, dickem Stahl** verstärkt. **Innen darf kein Stahl** verwendet werden, weil der **Wasserstoff mit dem im Stahl enthaltenen Kohlenstoff reagieren würde**. Deshalb besteht das Innenrohr aus **kohlenstoffarmem, reinem Eisen**.

Bild 4. (rechts) So arbeitet der **Katalysator** (rot) bei der Ammoniaksynthese: Aus  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2$  wird in sechs (schematischen) Stufen  $\text{NH}_3$ . Es bedarf einiger Anstrengung, die stabile **Dreifachbindung der Stickstoffatome aufzubrechen**. Schrittweise lagern sich drei H-Atome am N-Atom an.

## Großtechnische Durchführung

Die **Herstellung von Ammoniak** besteht traditionell aus **zwei integrierten Prozessstufen**: dem **Synthesegas-Prozess** und der Ammoniak-Synthese nach dem **Haber-Bosch Verfahren**. Die **Herstellung** erfolgt **kontinuierlich** in einem **mehrstufigen Verfahren**:

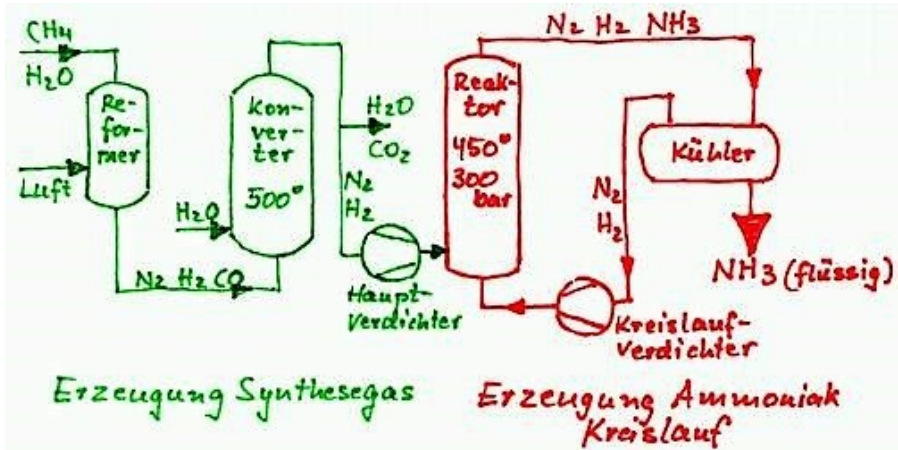
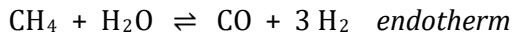


Bild 5. Haber-Bosch-Verfahren, stark vereinfachtes Schema.  
Aus Erdgas, Wasser und Luft wird Ammoniak.

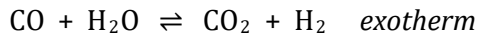
**Primärreformer:** Bei 800°C reagiert Methan  $\text{CH}_4$  mit Wasserdampf  $\text{H}_2\text{O}$  zu Kohlenmonoxid  $\text{CO}$  und **Wasserstoff  $\text{H}_2$** .



**Sekundärreformer:** Der Sauerstoff  $\text{O}_2$  der **zugeführten Luft** reagiert mit  $\text{CH}_4$  zu  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$ . Der träge **Stickstoff  $\text{N}_2$**  reagiert nicht.



**Konverter:** Das Katalysatorgift  $\text{CO}$  reagiert bei 500°C mit  $\text{H}_2\text{O}$  zu Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  und **Wasserstoff  $\text{H}_2$** .



**Waschturm:** Das Katalysatorgift  $\text{CO}_2$  muss entfernt werden. Kohlenstoffdioxid lässt sich mit Wasser **herauswaschen** (lösen). Dieses wird an die **Getränkeindustrie** verkauft. So erhält man die reinen Gase Stickstoff und Wasserstoff.

**Hauptverdichter:** In einem **Kompressor** wird das Gasgemisch aus Stickstoff und Wasserstoff auf den notwendigen Druck komprimiert.

**Reaktor:** In einem zylinderförmigen, **druckfesten Reaktionsrohr** wird das Gasgemisch unter ca. 300 bar Druck auf bis zu 530 °C erhitzt. Dabei strömt das Gasgemisch durch den **porösen Katalysator** und reagiert zu Ammoniakgas.

**Kühler:** Die Reaktionsstoffe  $N_2$ ,  $H_2$  und  $NH_3$  werden von 450 °C herunter gekühlt, das  $NH_3$  **kondensiert aus**.

**Kreislaufverdichter:** Die noch **nicht reagierten Gase**  $N_2$  und  $H_2$  werden über einen Kreislaufkompressor **dem Reaktor wieder zugeführt**.

### **Gut oder schlecht?**

Innerhalb der Stickstoffdüngerkette wird die meiste Energie für die **Produktion** des N-Düngers verbraucht. Während für die Produktion **von einer Tonne N als Kalkammonsalpeter** etwa **40 GJ** benötigt werden, verbrauchen **Transport und Ausbringung** dieser Tonne N **nur 1 bzw. 3 GJ**. **Das Ammoniak wird aus Luftstickstoff ( $N_2$ ) und Erdgas, das zu 82% als Prozessgas und zu 18% als Brennstoff verwendet wird, synthetisiert.** Insgesamt ist der **Herstellungsprozess stark endotherm**, d. h. es wird viel Energie verbraucht (je kg  $NH_3$ -N etwa 1 l Öl-Äquivalente). **Mit einem Anteil von einem bis drei Prozent am weltweiten Energiebedarf ist die Ammoniak-synthese einer der größten industriellen Energieverbraucher.** Allerdings wurde die **Energieeffizienz** der N-Düngemittelproduktion innerhalb der letzten **100 Jahre deutlich verbessert**. In einem modernen Werk, das Erdgas verwendet, ist der Verbrauch nahezu **auf das theoretische Minimum** zurückgegangen.

**Erdgas ist fossil**, und die **elektrische Energie** zum Antrieb der Kompressoren stammt hauptsächlich **aus fossilen Quellen**. Der **Haber-Bosch-Prozess** ist **energieintensiv**, erhöht den **CO<sub>2</sub>-Ausstoß** und damit die Erwärmung der Atmosphäre. Pro Tonne produziertem  $NH_3$  werden zwei Tonnen klimaschädliches **Kohlenstoffdioxid**  $CO_2$  **freigesetzt**. Die **wertvollen Kohlenwasserstoffe** werden also **nicht in das Endprodukt**  $NH_3$  umgewandelt, sondern lediglich in das derzeit noch nicht großtechnisch verwertbare  $CO_2$ .



Seit dem Zweiten Weltkrieg brachte die Industrie immer **wirksamere** und **gezielter einsetzbare** chemische Düngemittel auf den Markt. Im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts geriet der synthetische Dünger jedoch zunehmend in die **Kritik**, da seine **übermäßige Verwendung** für verschiedene **ökologische Schäden** wie die Ermüdung des Bodens, **Sauerstoffmangel** und **Fischsterben** verantwortlich gemacht wurde. Bei **Überdüngung** wird ein großer **Teil des Nitrats in Flüsse ausgeschwemmt** und verursacht erhebliche Umweltprobleme, z.B. **Eutrophierung von Binnengewässern**, das ist eine **unerwünschte Zunahme an Nährstoffen im Wasser**.

**Seit ca. 1985 sinkt der Verbrauch von mineralischen Düngemitteln in Deutschland.**

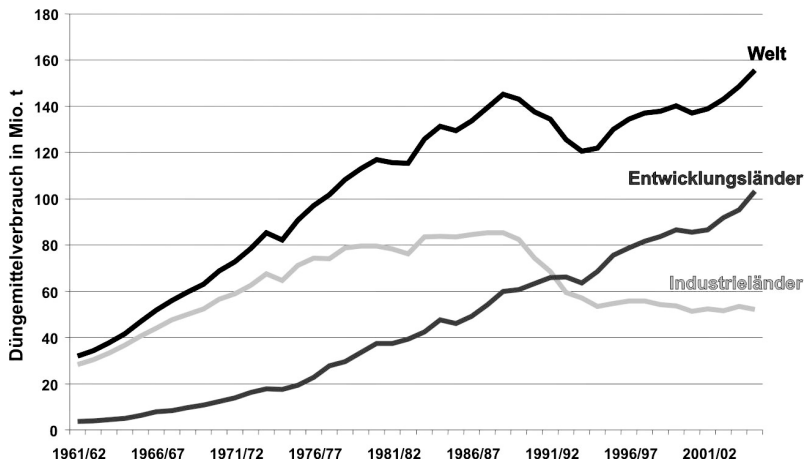


Bild 6. Entwicklung des weltweiten Düngemittelverbrauchs in den Jahren 1961 – 2005

Es bestehen erhebliche **Zweifel**, dass die Erhöhung der Stickstoffdünger-Produktion die einzige Antwort auf die Welternährungsprobleme darstellt. Die **andere Möglichkeit**, auf die schon Haber in seiner Nobelpreisrede hingewiesen hatte, wäre die **biologische Stickstofffixierung**, d.h. der Versuch einer **Nachahmung des Stickstoffkreislaufs**, wie er in der Natur abläuft. Hier wird noch viel Arbeit notwendig sein, die für **Biologen, Chemiker und Ingenieure** dieser und der **nächsten Generation** eine **sehr große Herausforderung** darstellt.

**Forrás:**

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#dungemittel-was-ist-das>

<https://www.chemie.de/lexikon/Dünger.html>

<https://www.plantura.garden/gartenpraxis/duenger/kunstduenger>

<https://www.bundestag.de/resource/blob/567976/bb4895f14291074b0a342d4c714b47f8/wd-8-088-18-pdf-data.pdf>

<https://heureka-stories.de/1913-die-kleinbildkamera/2-uncategorised/66-was-ist-aus-habers-erfindung-geworden.html>

<https://heureka-stories.de/1913-die-kleinbildkamera/2-uncategorised/65-die-ammoniaksynthese-die-ganze-geschichte.html>

<https://heureka-stories.de/1908-die-ammoniaksynthese.html>

<https://www.seilnacht.com/Lexikon/erdoel.html#Synthesegas>

<https://www.seilnacht.com/chemiker/chehab.html#ammoniaksynthese>

<https://www.seilnacht.com/Lexikon/HaberBo.htm>

<https://www.fcho.de/de/23-deutsche-kategorien/aktuelles/128-ammoniak-gibt-grund-zum-feiern-festsymposium-mit-chemie-olympioniken-und-studenten-w%C3%BCrdigt-100-jahre-haber-bosch-verfahren.html>

<https://blog.deutsches-museum.de/2016/07/31/gut-oder-schlecht>

<https://www.chemanager-online.com/themen/produktion/seit-100-jahren-hoch-hinaus>

<https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/uid/publikationen/tb2007.pdf>

**Beküldési határidő: a következő szám feladatainak márciusi határideje.**

Az ábrákon szereplő feliratokat nem kell lefordítani! Az ábrák (képek) segítik a megértést, a kész fordításba azonban nem kérem bemásolni/beilleszteni őket (helytakarékoság végett). Elég a képaláírások fordítását megadni a megfelelő helyen.

Kézzel írt vagy szövegszerkesztővel készített fordítás egyaránt beküldhető. A kézzel írók (is) mindenképpen hagyjanak a **lap mindkét szélén legalább 1–1 cm margót** (a pontoknak). **Minden lap tetején** szerepeljen a **beküldő neve, osztálya, valamint iskolájának neve.**

## Kémia angolul

*Szerkesztő: Tóth Edina*

A berillium egyike a periódusos rendszer azon elemeinek, melyeknek rendszerint fejből tudjuk a vegyjelét, a periódusos rendszerben elfoglalt helyét... és ezen felül talán még egy-két információmorzsát. Pedig az elem nagy történeti jelenőséggel bír! A következő fordítási feladat erre (is) választ ad.

**Beküldési határidő: 2023. február 17.**

### Beryllium (Be)<sup>(1)</sup>

... formerly known as (until 1957) glucinium, it is the lightest member of the alkaline-earth metals of Group 2 (IIa) of the periodic table, used in metallurgy as a hardening agent and in many outer space and nuclear applications.

Element Properties		atomic number	4
melting point	1,287°C (2,349°F)	atomic weight	9.0121831
boiling point	2,471°C (4,480°F)	specific gravity	1.85 at 20°C (68°F)
oxidation state	+2	electron configuration	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup>

### Occurrence, properties, and uses

Beryllium is a steel-gray metal that is quite brittle at room temperature, and its chemical properties somewhat resemble those of aluminum. It does not occur free in nature. Beryllium is found in beryl and emerald, minerals that were known to the ancient Egyptians. Although it had long been suspected that the two minerals were similar, chemical confirmation of this did not occur until the late 18th century. Emerald is now known to be a green variety of beryl. Beryllium was discovered (1798) as the oxide by French chemist Nicolas-Louis Vauquelin in beryl and in emeralds and was isolated (1828) as the metal independently by German chemist Friedrich Wöhler and French chemist Antoine A.B. Bussy by the reduction of its chloride with potassium. Beryllium is

widely distributed in Earth's crust and is estimated to occur in Earth's igneous rocks to the extent of 0.0002 percent. Its cosmic abundance is 20 on the scale in which silicon, the standard, is 1,000,000. The United States has about 60 percent of the world's beryllium and is by far the largest producer of beryllium; other major producing countries include China, Mozambique, and Brazil.

There are about 30 recognized minerals containing beryllium, including beryl ( $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ , a beryllium aluminum silicate), bertrandite ( $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$ , a beryllium silicate), phenakite ( $\text{Be}_2\text{SiO}_4$ ), and chrysoberyl ( $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ ). (The precious forms of beryl, emerald and aquamarine, have a composition closely approaching that given above, but industrial ores contain less beryllium; most beryl is obtained as a by-product of other mining operations, with the larger crystals being picked out by hand.) Beryl and bertrandite have been found in sufficient quantities to constitute commercial ores from which beryllium hydroxide or beryllium oxide is industrially produced. The extraction of beryllium is complicated by the fact that beryllium is a minor constituent in most ores (5 percent by mass even in pure beryl, less than 1 percent by mass in bertrandite) and is tightly bound to oxygen. Treatment with acids, roasting with complex fluorides, and liquid-liquid extraction have all been employed to concentrate beryllium in the form of its hydroxide. The hydroxide is converted to fluoride via ammonium beryllium fluoride and then heated with magnesium to form elemental beryllium. Alternatively, the hydroxide can be heated to form the oxide, which in turn can be treated with carbon and chlorine to form beryllium chloride; electrolysis of the molten chloride is then used to produce the metal. The element is purified by vacuum melting.

Beryllium is the only stable light metal with a relatively high melting point. Although it is readily attacked by alkalis and nonoxidizing acids, beryllium rapidly forms an adherent oxide surface film that protects the metal from further air oxidation under normal conditions. These chemical properties, coupled with its excellent electrical conductivity, high heat capacity and conductivity, good mechanical properties at elevated temperatures, and very high modulus of elasticity (one-third greater than that of steel), make it valuable for structural and thermal applications. Beryllium's dimensional stability and its ability to take a high polish have made it useful for mirrors and camera shutters in space,

military, and medical applications and in semiconductor manufacturing. Because of its low atomic weight, beryllium transmits X-rays 17 times as well as aluminum and has been extensively used in making windows for X-ray tubes. Beryllium is fabricated into gyroscopes, accelerometers, and computer parts for inertial guidance instruments and other devices for missiles, aircraft, and space vehicles, and it is used for heavy-duty brake drums and similar applications in which a good heat sink is important. Its ability to slow down fast neutrons has found considerable application in nuclear reactors.

Much beryllium is used as a low-percentage component of hard alloys, especially with copper as the main constituent but also with nickel- and iron-based alloys, for products such as springs. Beryllium-copper (2 percent beryllium) is made into tools for use when sparking might be dangerous, as in powder factories. Beryllium itself does not reduce sparking, but it strengthens the copper (by a factor of 6), which does not form sparks upon impact. Small amounts of beryllium added to oxidizable metals generate protecting surface films, reducing inflammability in magnesium and tarnishing in silver alloys.

Neutrons were discovered (1932) by British physicist Sir James Chadwick as particles ejected from beryllium bombarded by alpha particles from a radium source. Since then beryllium mixed with an alpha emitter such as radium, plutonium, or americium has been used as a neutron source. The alpha particles released by radioactive decay of radium atoms react with atoms of beryllium to give, among the products, neutrons with a wide range of energies—up to about  $5 \times 10^6$  electron volts (eV). If radium is encapsulated, however, so that none of the alpha particles reach beryllium, neutrons of energy less than 600,000 eV are produced by the more-penetrating gamma radiation from the decay products of radium. Historically important examples of the use of beryllium/radium neutron sources include the bombardment of uranium by German chemists Otto Hahn and Fritz Strassmann and Austrian-born physicist Lise Meitner, which led to the discovery of nuclear fission (1939), and the triggering in uranium of the first controlled-fission chain reaction by Italian-born physicist Enrico Fermi (1942).

The only naturally occurring isotope is the stable beryllium-9, although 11 other synthetic isotopes are known. Their half-lives range from 1.5

million years (for beryllium-10, which undergoes beta decay) to  $6.7 \times 10^{-17}$  second for beryllium-8 (which decays by two-proton emission). The decay of beryllium-7 (53.2-day half-life) in the Sun is the source of observed solar neutrinos.

[...]

### **Dating geological events with beryllium (2)**

Using a technique known as cosmogenic nuclide dating, scientists can determine how long rocks have been exposed to the air by measuring their levels of beryllium-10, a radioactive isotope of beryllium. Cosmogenic nuclide dating is often used to determine the dates of important geological events, such as glacier advances and retreats, rock slides, meteor impacts and lava flows.

For example, after a rock avalanche, boulders that land on top of the heap have surfaces that are exposed to the sky for the first time. Particles from incoming cosmic rays (high-energy radiation from outer space) begin to hit these boulder surfaces, creating beryllium-10. The longer the surface area is exposed, the greater the amount of beryllium-10, according to the University of Utah.

In a recent study, researchers at the University of Utah conducted the first rigorous analysis to date a landslide that had occurred thousands of years ago in what is now Zion National Park in Utah. Scientists have known for some time that the flat floor of this park was previously a lake originally created when a massive rock avalanche dammed up the Virgin River, but it was still unclear exactly when this landslide occurred. To find out, the researchers analyzed the levels of beryllium-10 in 12 boulders taken from the area.

Their findings conclude that the rock avalanche occurred about 4,800 years ago as a single event, with a range of uncertainty that gives or takes 400 years, according to the University of Utah. Their work was published in 2016 in *GSA Today*, the journal of the Geological Society of America.

### **Berylliosis<sup>(3)</sup>**

... a systemic industrial disease caused by poisoning with beryllium, usually involving the lungs but occasionally affecting only the skin. There are two forms: an acute illness occurring most frequently in

workers extracting beryllium metal from ore or manufacturing beryllium alloys, and a slow-developing chronic disease occurring in scientific and industrial workers who are exposed to beryllium-containing fumes and dust.

The acute disease involves both skin and lungs, causing a burning rash, eye irritation, nasal discharge, a cough, and chest tightness. The skin disease is caused by direct contact with beryllium salts and the lung disease by inhalation of metal dust or beryllium compounds. Most of those affected by acute berylliosis recover within a few months, but a small number of patients develop a highly fatal inflammation of the lung within 72 hours after a brief, massive exposure to beryllium. The chronic disease may occur more than 15 years after exposure, although the later it develops, the milder it is likely to be. It generally causes shortness of breath, especially after exercise, exhaustion, and a dry cough and can produce a permanent, though moderate, disability.

### **Based on the following sources:**

(1) <https://www.britannica.com/science/beryllium>

(2) <https://www.livescience.com/28641-beryllium.html>

(3) <https://www.britannica.com/science/berylliosis>

(last accessed 12/01/2023)

A szeptemberi feladat mintafordítása:

### **Az elemek és izotópjaik stabilitása**

A világegyetemben mindösszesen 80 stabil kémiai elem található. Ezeknek az elemeknek egy vagy több izotópja nem vesz részt spontán radioaktív bomlásban. Az ólmot követően bármelyik elemet is tekintjük, annak nem fordulnak elő stabil izotópjai. A periódusos rendszerben az ólmot megelőző elemek közül kettő, a technécium és a prométium kizárólag radioaktív izotópként létezik. Hagyományosan a bizmutot, pontosabban a 209-es tömegszámú bizmutatomot tekintették az utolsó állandó izotópnak, azonban 1949-ben már elméletileg valószínűsítették azt, hogy ez az izotóp nem lehet stabil. 2003-ig kellett várni, hogy megfigyeljék ennek a „stabil” izotópnak a bomlását, és meghatározzák a

felezési idejét, ami  $1,9 \cdot 10^{19}$  év. Két másik elem is létezik, aminek csak radioaktív izotópjai vannak: az urán és a tórium, ezek meglehetősen nagy mennyiségben találhatóak meg a Földön, mert egyes izotópjaik felezési ideje  $-10^8-10^9$  év –, majdnem akkora, mint maga a Föld kora.

Az a tény, hogy a stabil elemek száma korlátozott, megmagyarázható azzal, hogy az atommag pozitív töltésű protonokat tartalmaz. A protonok között ugyanúgy taszító erők működnek, mint az elektronok között, melyet az 1. fejezetben tárgyaltunk. A neutronokat egyszerűen a pozitív töltéseket elválasztó anyagként is el tudjuk képzelni. A protonok számának növekedéséhez képest az elemek közönséges izotópjában a neutronok száma nagyobb mértékben növekszik. A 126 neutronnal rendelkező ólom után, a pozitív töltések száma túl nagy lesz az atommagban ahhoz, hogy az stabil maradjon, ezáltal a taszító erők érvényesülnek. Az összes ezt követő elemnek csak radioaktív izotópjai léteznek.

Az atommag jobb megértése érdekében megalkothatjuk az atommag kvantummechanikai vagy héj modelljét. Ahogy Niels Bohr az elektronokat energiaszinteken képzelte el, hasonlóan képzelhetjük el mi is a protonokat és a neutronokat (összefoglaló néven: a nukleonokat). Így az atommagon belül a protonok és a neutronok egymástól függetlenül töltik fel az energiaszinteket a főkvantumszámmal ( $n$ ) megfelelően. Azonban a mellékkvantumszám ( $l$ ) az elektronokkal ellentétben nem korlátozott. Valójában a nukleonok esetében a feltöltődési sorrend  $1s, 1p, 2s, 1d...$  Az atommag minden energiaszintjét ugyanazon mágneses kvantumszámok szabják meg, mint az elektronokét, tehát van egy darab  $s$  szint, három darab  $p$  szint és öt darab  $d$  szint. Mindkét nukleontípusnak van spinkvantumszáma, ami  $+\frac{1}{2}$  vagy  $-\frac{1}{2}$  lehet.

## **A magspinek párképzése**

Az elektronok viselkedésétől eltérően, a spinek párba rendeződése a nukleonok esetében fontos tényező. Valójában a 273 stabil atommagból csak négy olyan létezik, melyben a protonok és a neutronok egyaránt páratlan számúak. A páros számú protonnal rendelkező elemek általában nagyszámú stabil izotóppal rendelkeznek, míg amelyeknek protonszáma páratlan, egy vagy legfeljebb két állandó izotópjuk van. Például a céziumnak (55 proton) csak egy állandó izotópjja van, míg a



bárium (56 proton) hét állandó izotóppal rendelkezik. A bizmutot megelőző elemek közül kizárólag a technécium és a prométium olyanok, melyek radioaktív izotópként léteznek, bár mindkettőnek páratlan a protonszáma.

A páros protonszámú atommagok nagyobb stabilitása összefüggésbe hozható a Földön való előfordulásuk gyakoriságával. Ahogy a növekvő rendszámmal az előfordulásuk gyakorisága csökken, azt láthatjuk, hogy a páratlan protonszámú elemek gyakorisága körülbelül egytizede páros szomszédjaiknak.

### Héjak az atommagban

A Meyer–Jensen-héjmodell segítségével azt találjuk, hogy az atommagok esetében a betöltött energiaszintek az egyik nukleonból 2, 8, 20, 28, 50, 82 és 126 darabot tartalmaznak (ehhez képest az elektronok 2, 10, 18, 36, 54 és 86 darabot), s így az első betöltött kvantumszint megfelel az  $1s^2$  konfigurációnak, a következő  $1s^2 1p^6$  konfigurációjú, végül az ezt követő pedig az  $1s^2 1p^6 2s^2 1d^{10}$ . Ezeket a szinteket egymástól függetlenül töltik fel a protonok és a neutronok. Észrevehetjük, hogy úgy, mint az elektronok energiaszintjei, a telített nukleonszintek bizonyos állandóságot biztosítanak egy atommagnak. Például az ólmot követő, a természetben előforduló radioaktív elemek bomlása ólomizotópot eredményez, melyek mindegyike 82 protont tartalmaz.

A betöltött energiaszintek hatása megjelenik az állandó izotópoknál is, így az 50 protont tartalmazó ónnak van a legtöbb stabil izotópja (10). Ehhez hasonlóan hét különböző elem izotópja tartalmaz 82 neutron (izotón atomok), s hat különböző elemnek van 50 neutronot tartalmazó izotópja.

Ha egy nukleonra nézve a teljesen betöltött energiaszintek stabilitást adnak az atommagnak, akkor azt gondolhatjuk, hogy ha ez mindkét nukleonnal megtörténik (duplán mágikus magok), akkor az még kedvezőbb lenne, és ez valóban így is van.

Nevezetesen a négyes tömegszámú héliumatom, melynek mind a protonjai, mind a neutronjai is  $1s^2$  konfigurációjúak, a második leggyakoribb izotóp a világegyetemben, és a hélium-4 atommag (alfa-részecske) számos magreakció során keletkezik. Hasonlóan, a következő kétszeresen telített mag, az oxigén-16 (8 p, 8 n), ami az oxigén 99,8 százalékát teszi ki ezen a bolygón. A kalcium követi a sort, a

kalcium-40 izotóp (20 p, 20 n) az elem 97 százalékát teszi ki. Ahogy a 2.8. ábrán láthattuk, a neutronok száma gyorsabban növekszik, mint a protonok száma, ezáltal duplán stabil izotóp az ólom-208 (82 p, 126 n). Ez az ólom a legnagyobb tömegű stabil izotópja, ráadásul a természetben is a leggyakoribb.

### **Új elemek szintézise**

Mind a kémikusoknak, mind a fizikusoknak célja új kémiai elemek szintézise. Ennek elérése érdekében a célpont egy nagy rendszámú elem, amit egy neutronban gazdag elem atomjaival ütköztetnek, melyek együttesen adják a kívánt elem rendszámát. A közönséges, 40-es tömegszámú, kétszeresen mágikus kalciumizotóp mellett a természetes kalcium körülbelül 0,2%-ban neutronban gazdag, kétszeresen mágikus kalcium-48 (20 p, 28 n) izotópot tartalmaz. 1,4-es neutron-proton arányával a kalcium-48 számos új elem szintézisének kulcsa. Kalcium-48 atommagokkal ütköztetve a magfizikusok beszámoltak arról, hogy a 114-es rendszámú elemet plutónium-244-ből, a 115-ös rendszámút amerícium-243-ből, a 116-os elemet a kúrium-248-ből, a 117-es elemet a berkélium-249-ből és a 118-as elemet kalifornium-249-ből állították elő. Most a következő periódus első elemeinek előállítására cél, s ez kihívásokkal teli feladat lesz. Nincsenek hosszú életű, még nagyobb rendszámú célizotópok, míg a legvalószínűbb nagyobb rendszámú lövedék a titán-50 lehetne, amelynek neutron-proton aránya mindössze 1,27, így kevésbé valószínű, hogy a kívánt rendszámú, hosszú felezési idejű atomok keletkeznek. Ráadásul még nagy neutron-proton arány mellett is egy új elem bármely izotópjának felezési ideje olyan rövid lesz, hogy ennek az elemnek a kémiáját lehetetlen lesz tanulmányozni.