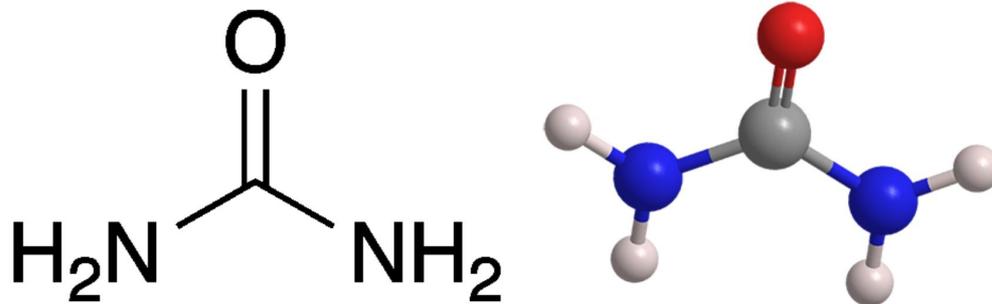


Urea / Harnsäure



Harnstoff, auch bekannt als Carbamid, ist eine sichere, nützliche Verbindung mit einer bedeutenden Geschichte. Es ist ein natürlich vorkommendes Molekül, das durch den Proteinstoffwechsel produziert wird und reichlich im Urin von Säugetieren vorkommt.

Im Jahr 1828 veröffentlichte der deutsche Chemiker Friedrich Wöhler, damals an der Polytechnischen Schule (heute Technische Universität) in Berlin, einen bahnbrechenden Artikel, in dem er zeigte, dass ein Biomolekül, Harnstoff, aus einem nichtbiologischen Ausgangsmaterial synthetisiert werden kann. Wöhler stellte die anorganische Verbindung Ammoniumcyanat im Labor her und erhitze sie anschliessend, wodurch sie zu Harnstoff isomerisierte. Die heute als "Wöhler-Synthese" bekannte Reaktion trug dazu bei, das Konzept des Vitalismus zu widerlegen, das besagte, dass "organische" Moleküle nur von lebenden Organismen hergestellt werden können.

In einer Reaktion, die der Wöhler-Synthese ähnelt, kann Ammoniumcarbamat in Harnstoff und Wasser umgewandelt werden. Dies ist die Grundlage des Verfahrens, das seit fast einem Jahrhundert zur industriellen Herstellung von Harnstoff verwendet wird. Ammoniak und Kohlendioxid (CO_2) reagieren exotherm unter Bildung des Carbamatsalzes, das anschliessend unter Bildung von Harnstoff erhitzt wird. Die in der ersten Reaktion erzeugte Wärme treibt die zweite an. Typischerweise werden Ammoniak und Harnstoff in derselben Anlage hergestellt, so dass ein Teil des Kohlendioxids, das bei der Ammoniakproduktion anfällt, zur Herstellung von Harnstoff verwendet werden kann.

Die weltweite Produktionskapazität für Harnstoff beträgt ≈ 220 Mio. t/Jahr. Warum wird Harnstoff in so grossen Mengen hergestellt? Die Antwort ist, dass Harnstoff neben Ammoniak den höchsten Stickstoffgehalt aller Industriechemikalien hat und als Düngemittel sehr gefragt ist. Im Boden zerfällt er wieder zu Ammoniak (eigentlich Ammoniumionen) und Kohlendioxid. Stickstofffixierende Bakterien oxidieren das Ammonium zu Nitrat, das von den Wurzeln der Nutzpflanzen leicht aufgenommen wird. Zusätzlich zu seinem hohen Stickstoffgehalt ist Harnstoff besonders nützlich, weil er als Feststoff in Pelletform ausgebracht werden kann; und seine ungewöhnlich hohe Löslichkeit in Wasser erlaubt es, ihn in Lösungen mit anderen Pflanzennährstoffen einzubringen.

Mehr als 90 % der Harnstoffproduktion gehen in die Landwirtschaft. Die restlichen ≈ 20 Mio. t, die jährlich hergestellt werden, gehen in die Tierfütterung (u. a. Rinder können ihn in Eiweiss umwandeln), in Harnstoff-Formaldehyd-Harze, Weichmacher für die Hautpflege und in die Barbitursäureherstellung. Die stark negative Lösungswärme von Harnstoff in Wasser ist die Grundlage von Kühlakkus, in denen sich in Plastikbeuteln Harnstoff und Wasser in getrennten Kammern befinden. Wird die Versiegelung zwischen ihnen aufgebrochen, entsteht durch die Vermischung eine kurzfristige Kühlung für schmerzende Gelenke und Muskeln.

Es gibt immer Raum für Verbesserungen. In einem Artikel aus dem Jahr 2018 beschrieb der britische Wissenschaftsautor David Bradley Möglichkeiten, wie Harnstoff in der Landwirtschaft effizienter eingesetzt werden könnte. Und letztes Jahr beschrieben Shuangyin Wang und Kollegen an der Hunan Universität (Changsha, China) und anderen Institutionen in einer Art "Harnstoff-Revolution" einen elektrochemischen Weg zu Harnstoff.

Obwohl Harnstoff in der Landwirtschaft weit verbreitet ist, ist die derzeitige Harnstoffproduktion entschieden nicht "grün". Die Ammoniak- und Harnstoffproduktion verbraucht $>2\%$ der weltweiten Energie und emittiert mehr CO_2 als jeder andere industrielle Prozess. Wangs Gruppe entwickelte eine elektrochemische Methode, die Ammoniak überspringt und Stickstoffgas, CO_2 und Wasser bei Umgebungstemperatur und -druck direkt in Harnstoff umwandelt. Der Syntheseweg ist komplex, und der Prozess ist noch nicht effizient oder ausreichend produktiv, aber das Ziel ist sicherlich erstrebenswert.