

The Abduction of Persephone

Luísa Keintzel

Abundance

Åsa Sonjasdóttir

Agrarian Revolution

Enzo Camacho & Ami Lien

Agri-Science Fiction

Antje Majewski

Ammonia

Benjamin Steininger

If all the ammonia factories used to produce agrochemical fertilizer were immediately shut down, a third of the world's population would starve. Half the nitrogen molecules in our bodies have passed through a Haber-Bosch reactor. Industry now extracts as much nitrogen from the air as all natural bacterial processes on Earth combined. These staggering statistics on ammonia synthesis have been compiled by geographers such as Vaclav Smil and chemical historians like Jens Soentgen. It would be difficult to cite a chemical process with more troubling implications. It affects us more closely than we realize, and its reach is far greater than we might imagine.

The high-pressure synthesis of ammonia (NH_3), in which a catalyst – usually a compound of iron (Fe), aluminium (Al) and potassium (K) – binds nitrogen (N) and hydrogen (H), was developed by BASF before the First World War. This process has since become one of the most problematical monuments to twentieth-century science and industry. The artificial molecules it generates, and the processes they drive, are omnipresent – not just in all ecosystems and human bodies, but at every level of twentieth-century history itself. The Haber-Bosch process is tied to not only global nutrition but also destruction on a global scale and vice versa. Even before they were used to manufacture artificial fertilizer, the first ammonia factories in Ludwigshafen and later Leuna supplied ammunition for the First World War. The production facilities built for this war of attrition were then repurposed for agriculture. 'Bread and death from the air' was coined to cover the ambivalence in the 1920s.

Industrial fertilizer production can be linked to large-scale and planetary contexts in two ways. The construction of its infrastructure requires planetary networks, processes and strategic considerations. And in turn, planetary networks, processes and strategic considerations arise from its products.

The technical process, the individuals involved, and the great wheels of world history which ammonia synthesis immediately set in motion after its development have been the subject of countless accounts – from academic histories of science and geography to sensationalist industrial novels printed in the hundreds of thousands, which from the 1930s to the 1950s mythologized German chemists. The story has all the hallmarks of a classic technological drama: 'ingenious inventors' such as Carl Bosch, 'tragic figures' like Fritz Haber – whose wife Clara Immerwahr shot herself with his service revolver as he refined chemical warfare – a world war, and the 'solution to world hunger'.

Yet the familiar narrative requires rethinking. The setting, the framework and the dilemma have shifted in recent decades. With the emergence of the Anthropocene and the realization

that human-industrial activity is transforming Earth's systems and natural history in the long term, ammonia synthesis also appears in a new light. Regarded for nearly a century as a technological triumph that alleviated global crises, it is now a planetary crisis in itself. Even as its destructive potential was acknowledged – most recently in the 2020 Beirut explosion, when an ammonium nitrate storage facility blew up – its role as an existential problem remained largely overlooked.

Almost all the hockey stick graphs mapping the Great Acceleration of Earth system and sociocultural parameters in the second half of the twentieth century – CO_2 emissions, biodiversity loss, erosion, ocean acidification, resource depletion – are directly linked to the global production of artificial fertilizers. The Green Revolution reshaped agriculture, fuelling population explosion, urbanization, and the transformation of entire ecosystems. Artificial molecules don't merely shape world history for nations and humans (as was already evident around 1914); they also inscribe themselves into Earth's history, affecting all other forms of life. And they do so in ways that deviate from their original intended purpose.

At the upper end of time scales that are only abstractly comprehensible to humans – at the level of the natural history of the future – previously unforeseeable processes must now be factored into the overall picture of ammonia synthesis's effects. This, in turn, calls for a reassessment of all other scales embedded in the broader process. Artificially fertilized agriculture is planetary agriculture; the chemical industry of artificial fertilizers is a planetary chemical industry. The significance – and destructiveness – of this technology lies in its partly intentional, partly unintentional entanglement of vastly different scales, processes and systems.

Ammonia synthesis became a paradigmatic case for the concept of 'planetary technology', a term used by cultural and epistemological theorists since the 1920s. Under the impact of the attrition of the First World War, which was itself driven by this technology, writers such as Ernst Jünger, Walter Benjamin and Martin Heidegger explored the deeply ambivalent nature of a technoscience that not only endowed humanity with planetary power, yet also subjected it to 'gigantic' structures no longer within its control.

A century later, ammonia synthesis presents multiple, highly specific manifestations of the 'planetary' and the 'technical'. Its history is one of extremes. The Year Without a Summer in 1816, when volcanic ash from Mount Tambora's eruption the previous year in Indonesia triggered global famines, inspired Justus von Liebig to establish the foundations of agricultural chemistry, recognizing the need for a precise understanding of the chemical requirements of plants and soils. Agriculture, he observed, depends on the continuous supply of phosphorus, potash and nitrate (i.e. nitrogen compounds). The depletion of soils had been understood since antiquity, yet solutions remained elusive, whether in Mesopotamia, Italy or North Africa. Soils that remain stable over long periods in their natural state depend on specific geological and climatic factors. In the Nile Valley, their fertility relies on the continental influx of mineral and organic silt from the tropics, while in the fertile loess plains and black earth regions in Ukraine and the American Midwest, they are sustained by fossilized forest soils transported across continents by glaciers.

In the nineteenth century, global trade networks were established to supply German fields with nitrates unavailable in Europe, sourced from Chile or the guano islands of the Southern Hemisphere – a dependency that proved disastrous during wartime naval blockades but became surmountable once the

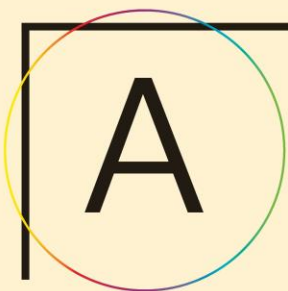
atmosphere itself, above all the nitrogen it contains, was harnessed as a chemical resource. But according to Haber-Bosch, nitrogen could only be converted into ammonia at a pressure of 300 atmospheres and at high temperatures close to the point where iron begins to glow red-hot. Even then, a catalyst was required to accelerate the reaction. In Haber's early experiments, this was osmium – one of the hardest, rarest and most expensive metals in the Earth's crust. However, due to its extreme scarcity with the global supply at the time amounting to a mere 40 kilograms, it was entirely unsuitable for industrial-scale operations. To conserve this limited stock, artificial metal compounds were developed and tested in 6,000 experiments conducted up until 1912 in search of a viable alternative. This led to a cascade of technical hybrids: food through plants through fertilizer through nitrogen through an iron-based catalyst enhanced with aluminium and potassium compounds, which is still in use to this day. Yet, despite the advent of electron microscopy and femtosecond lasers (1 fs = 0.000,000,000,000,001 sec) in the 1980s, as well as AI-driven advances in physics and chemistry, its precise function on an atomic scale remains incompletely understood.

Thanks to its factories in Ludwigshafen-Oppau opened in 1913 and the Leuna works built in just nine months near Merseburg in 1917, Germany was able to fight the First World War – but also to lose it, as the Treaty of Versailles transferred its patents to the victorious powers. The petrochemical industry – driving the production of plastics, high-performance fuels and solvents – was built on an almost identical infrastructure through transatlantic collaboration between German coal chemistry and American petrochemistry, spearheaded by I.G. Farben and Standard Oil.

By the time of the postwar *Wirtschaftswunder* (economic miracle), ammonia synthesis had merged with petrochemistry: the hydrogen needed to synthesize ammonia from nitrogen no longer came from water but from cheap natural gas. Today, the process spans the globe – from China, the Volga and the Caribbean to Louisiana and the Persian Gulf – acting as a planetary reactor fusing atmospheric nitrogen with lithospheric hydrogen in order to feed it into the biosphere. However, nearly 70 per cent of the nitrates applied to fields don't end up in crops, animals or on dinner plates. Instead, they leach into rivers and oceans, fuelling explosive algal blooms and creating oxygen-depleted dead zones from the Baltic Sea to the Gulf of Mexico.

Resolving the contradictions between growth and destruction – between what began as a kind of 'liberation' from age-old agricultural constraints during the Green Revolution and today's critical, once again tightly constrained predicament, in which every scale, from the nitrogen molecule to the entire biosphere, is entangled – will take time, if it ever succeeds at all. The first step is to recognize, articulate and expose the contradictions. They are laid out before us, undeniable and immediate.

Consider this: within the EU, consumers can reliably expect food labels to disclose the presence of potential allergens such as celery or peanuts. Yet, in stark contrast, there is no equivalent labelling for the Anthropocene imprint on our plates – no indication of the chemical-biotic synthesis behind the ingredients we consume, a synthesis shaped by processes spanning all geohistorical layers, systemic spheres, and both quantitative and qualitative planetary scales.



Agrarrevolution

Enzo Camacho & Ami Lien

Agro-Science-Fiction

Antje Majewski

Ammoniak

Benjamin Steininger

Ein Drittel der Menschen weltweit müsste hungern, würde man alle Ammoniakfabriken zur Kunstdüngerproduktion abschalten. Jedes zweite Stickstoffmolekül in unseren Körpern hat zuvor einen Reaktor nach „Haber-Bosch“ durchlaufen. Industriell wird genauso viel Stickstoff aus der Luft gebunden wie durch alle natürlichen, und das heißt bakteriellen Prozesse auf der Erde zusammen. Es sind gewaltige Zahlen, die Geografen wie Vaclav Smil und Chemiehistoriker wie Jens Soentgen zur Ammoniksintthese zusammentragen. Und Verstärkeres kann man schwer über ein chemisch-technisches Verfahren sagen. Es ist uns viel näher, als wir ahnen, und es reicht viel weiter, als wir glauben möchten.

Die Hochdrucksynthese von Ammoniak (NH_3), bei der ein Katalysator – meist Verbindungen aus den Elementen Eisen (Fe), Aluminium (Al) und Kali (K) – die chemischen Elemente Stickstoff (N) und Wasserstoff (H) miteinander verknüpft, wurde noch vor dem Ersten Weltkrieg bei der BASF entwickelt. Das Verfahren ist seither eines der problematischsten Monumente der Wissenschaft und Industrie des 20. Jahrhunderts. Die hier produzierten künstlichen Moleküle und die von ihnen angekurbelten Prozesse sind überall. In allen Körpern, Ökosystemen, aber auch auf allen Ebenen dessen, was wir als Geschichte des 20. Jahrhunderts kennen. Nicht nur Ernährung, auch Zerstörung hängen im Weltmaßstab an „Haber-Bosch“ – und umgekehrt. Die ersten Ammoniakfabriken bei Ludwigshafen und später Leuna produzieren statt Kunstdünger die Munition für die Materialschlachten des Ersten Weltkriegs. Und es sind die hierfür aufgebauten Produktionskapazitäten, die dann in die Landwirtschaft fließen. „Brot und Tod aus Luft“ heißt es in den 1920er Jahren.

Industrielle Düngemittelproduktion ist damit auf zweifache Weise mit großen und größten Kontexten verknüpft. In den Aufbau ihrer Infrastrukturen gehen planetarische Netzwerke, Prozesse und Kalküle ein. Und es sind wiederum planetarische Netzwerke, Prozesse und Kalküle, die aus ihren Produkten erwachsen.

Das technische Verfahren, die daran beteiligten Personen und die großen Räder der Weltgeschichte, in die die Ammoniaksynthese gleich nach ihrer Entwicklung eingegriffen hat, waren und sind Gegenstand zahlloser Darstellungen, von akademischer Wissenschaftsgeschichte und Geografie bis hin zu reißerischen Rohstoffromanen, die von den 1930er bis in die 1950er Jahre in Hunderttausendauflagen die Heldentaten deutscher Chemiker in jeden Bücherschrank transportieren. „Geniale Tüftler“ wie Carl Bosch, „tragische Figuren“ wie Fritz Haber, dessen Frau Clara Immerwahr sich mit seinem Dienstrevolver erschießt, während er den Gaskrieg optimiert, ein Weltkrieg, die „Lösung des Welthungers“ – die Geschichte hat alles, was ein Technikdrama alter Bauart braucht.

Tatsächlich tut es not, das bekannte Drama neu aufzusetzen. Bühne, Handlungsrahmen, Dilemma, dies alles hat sich in den letzten Jahrzehnten verschoben. Mit der Diagnose vom „Anthropozän“, mit der Erkenntnis, dass menschlich-industrielles Handeln Erdsysteme und Naturgeschichte langfristig verändert, erscheint auch die historisch-technische Formation der Ammoniaksynthese in neuem Licht. Was knapp 100 Jahre lang als Beitrag zur Lösung von Weltproblemen gelten konnte – bei aller Kenntnis der zerstörerischen Seite derselben Technologie, zu sehen zuletzt 2020 bei der Explosion eines Kunstdüngersilos in Beirut –, muss nun als eigenständiges planetarisches Problem verstanden werden. Nahezu alle Hockeyschlägerkurven der *Great Acceleration*, der „Großen Beschleunigung“ erdsystemischer wie sozio-kultureller Parameter in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts – CO_2 -Ausstoß, Rückgang der Biodiversität, Erosion, Versauerung der Ozeane, Ressourcenabbau – stehen in enger Beziehung zur globalen Produktion von Kunstdüngern und damit zur sogenannten „Grünen Revolution“ der Landwirtschaft, zu Bevölkerungsexplosion, Verstädterung, zum Umbau ganzer Landschaften und Ökosysteme. Künstliche Moleküle greifen nicht nur – wie bereits um 1914 zu sehen – in die Weltgeschichte der Staaten und Menschen ein, sie schreiben auch Erdgeschichte für alle anderen Lebensformen mit. Und sie tun dies anders, als es die ursprüngliche Planung vorgesehen hatte.

Am oberen Ende der für Menschen nur noch abstrakt greifbaren Maßstäbe, auf der Ebene der Naturgeschichte der Zukunft, müssen also bis dato nicht absehbare Prozesse in das Gesamtbild der Wirkungen der Ammoniaksynthese mitgedacht werden.

Damit aber sind auch alle anderen Skalen, die in den Gesamtprozess eingebunden sind, neu zu bewerten. Kunstgedüngte Landwirtschaft ist planetarische Landwirtschaft, eine Chemieindustrie der Kunstdünger ist planetarische Chemieindustrie. In der teils intendierten, teils völlig unintendierten Verknüpfung unterschiedlichster Skalen, unterschiedlichster Prozesse, unterschiedlichster Systeme besteht die Bedeutung und die Brisanz dieser Technologie.

Ammoniaksynthese wird damit zum Musterfall für den in der Kultur- und Erkenntnistheorie seit den 1920er Jahren klassischen Terminus der „planetarischen Technik“. Unter dem Eindruck der exakt von dieser Technologie angetriebenen Materialschlachten des Ersten Weltkriegs diskutierten Autoren wie Ernst Jünger, Walter Benjamin oder Martin Heidegger den höchst ambivalenten Charakter einer Technowissenschaft, die Menschen sowohl mit planetarischer Macht ausstattet, wie auch als ohnmächtige Objekte in „riesenhafte“, gerade nicht mehr kontrollierbare Gefüge einspannt.

Ein Jahrhundert später lassen sich an der Ammoniaksynthese zahlreiche, jeweils sehr spezifische Spielarten des „Planetarischen“ und zahlreiche, jeweils sehr spezifische Spielarten des „Technischen“ festmachen. Die Geschichte dieser Technik lässt sich als Parforceritt quer durch die Extreme darstellen. Die Hungersnöte im globalen „Jahr ohne Sommer“ 1816, ausgelöst vom Ausbruch des indonesischen Vulkans Tambora, gelten in Justus von Liebig's Lebensrückschau als Auslöser seiner Gründung einer „Agriculturchemie“ für exaktes Wissen, also von den chemischen Bedürfnissen von Pflanzen und Böden. Nur wenn die drei chemischen Komponenten Phosphat, Kali und Nitrate (also Stickstoffverbindungen) immer wieder den Böden von außen zugeführt werden, kann Landwirtschaft betrieben werden. Dass Böden auslaugen, ist zwar seit der Antike bekannt, aber verhindert werden konnte es nicht, weder in Mesopotamien noch in Italien und Nordafrika. Böden, die im Naturzustand über lange Zeiten stabil sind, hängen etwa im Niltal am kontinentalen Zustrom mineralischen und organischen Schlammes aus den Tropen oder in den Börden und Schwarzerdregionen zwischen Ukraine und Mittlerem Westen der USA an fossilen, per Gletscher kontinental verfrachteten Waldböden. Im 19. Jahrhundert wurden globale Handelsnetzwerke etabliert, um deutsche Äcker mit in Europa nicht greifbaren Nitraten aus Chile oder von Guano-Inseln auf der Südhälfte der Welt zu düngen – fatal bei kriegerischen Seeblockaden, lösbar, wenn die Atmosphäre selbst und ihr Stickstoff zur chemischen Ressource werden. Aber nur bei 300 Atmosphären Druck und bei hohen Temperaturen knapp am Rotpunkt des Eisens lässt sich Stickstoff künstlich in die Bindung zwingen – nach Haber-Bosch. Und auch dann nur, wenn ein Katalysator die Reaktion beschleunigt. In Habers Experimenten war es das Element Osmium, eines der teuersten, härtesten, in der Erdkruste seltensten und daher auf keine Weise für den industriellen Maßstab geeignetes Metall. Um den Weltbestand von damals lächerlichen 40 Kilo zu schonen, wurden in 6000 Experimenten bis 1912 künstliche Metallmischungen als Katalysator erprobt. Eine Kaskade technischer Hybride: Nahrung durch Pflanzen durch Dünger durch Stickstoff durch den Katalysator „Eisen-Tonerde-Kali“. Die Mischung ist nach wie vor im Einsatz, aber ihre im atomaren Maßstab exakte Wirkung ist noch immer nicht in allen Details erforscht – trotz Elektronenmikroskopie und Femtosekundenlasern (1 fsec = 0,000 000 000 000 001 sec) seit den 1980er Jahren, trotz KI in Physik und Chemie. Mit den Fabriken in Oppau-Ludwigshafen ab 1913 und mit den in neun Monaten aus dem Boden bei Merseburg gestampften Leunawerken ab 1917 kann der Weltkrieg geführt, aber nur verloren werden, mit

dem Versailler Vertrag gehen die Patente an die Siegermächte. Auf fast denselben Apparaturen wird dann die Petrochemie gegründet, die Erzeugung von Kunststoffen, Hochleistungstreibstoffen, Lösungsmitteln, in interkontinentaler Zusammenarbeit von deutscher Kohle- und amerikanischer Erdölchemie, von I. G. Farben und Standard Oil. Auch die Ammoniaksynthese selbst rückt in der Nachkriegs- und Wirtschaftswunderzeit an die Petrochemie heran: Der Wasserstoff, den man mit Stickstoff verbindet, stammt nicht mehr aus Wasser, sondern aus billigem Erdgas. Eine global expandierende Technosphäre der Ammoniaksynthese in allen wichtigen Erdgasregionen der Welt – in China, an der Wolga, in der Karibik, in Louisiana, am Persischen Golf – verknüpft als planetarischer Reaktor Stickstoff aus der Atmosphäre mit Wasserstoff aus der Lithosphäre, um sie in die Biosphäre einzuspeisen. Und zwar in groteskem Übermaß, denn fast 70 Prozent der auf die Felder ausgebrachten Nitrate landen genau nicht in Pflanzen, Tieren und auf Tellern, sondern in der Hydrosphäre der Gewässer und Ozeane, wo sie – wie in der Ostsee oder im Golf von Mexiko – explosives Algenwachstum und sauerstofflose, tote Zonen erzeugen.

Die Widersprüche aufzulösen aus Wachstum und Zerstörung, aus dem Befreiungsmoment der „Grünen Revolution“ und der Zwangslage, in die genau hier alle Skalen von Stickstoffmolekül bis zur gesamten Biosphäre verstrickt werden, wird dauern – wenn es denn je gelingt. Ein erster Schritt ist das Erkennen, Benennen und Zuspitzen der Widersprüche. Sie liegen auf dem Tisch. So können sich heutige Konsument:innen innerhalb der EU darauf verlassen, dass potenziell allergene Rückstände von Sellerie oder Erdnüssen in Lebensmitteln gekennzeichnet sind. Keine Kennzeichnung dagegen gibt es für die anthropozäne Provokation auf unseren Tellern: für die chemisch-biotische Synthese aus Zutat aus allen geohistorischen Schichten, systemischen Sphären, quantitativen und qualitativen Skalen des Planeten.

Anbruch einer Epoche, Wohnen, Zerfall

Gauri Gill & Rajesh Vangad