

GRÜNER KLEE

UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

www.stickstoffausstellung.de



Universität Augsburg
Wissenschaftszentrum
Umwelt



CARL BOSCH
MUSEUM
HEIDELBERG
GEMEINNÜTZIGE GMBH

Eine Ausstellung des Wissenschaftszentrums Umwelt der Universität Augsburg und des Carl Bosch Museums Heidelberg
Gefördert durch die Klaus Tschira Stiftung und aus Mitteln der High-Tech-Offensive Zukunft Bayern

GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



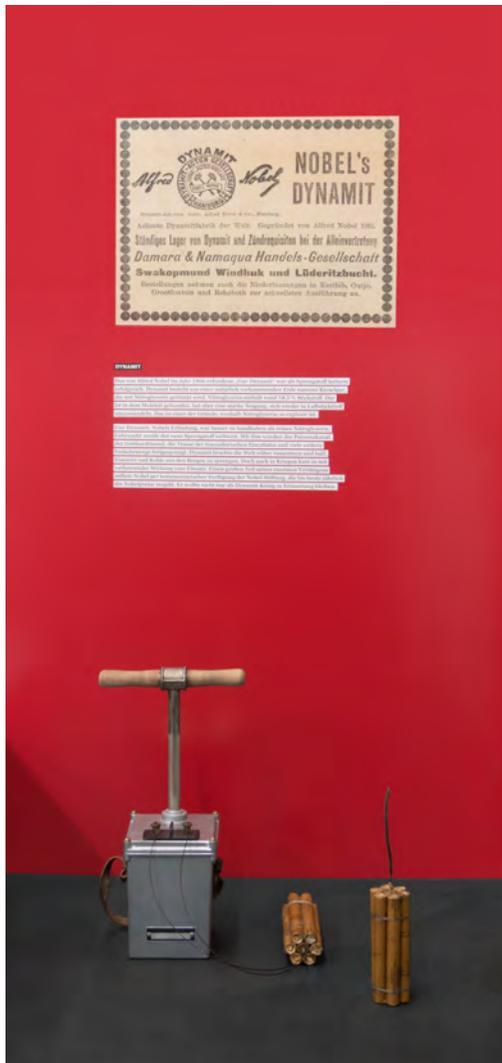
GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

Die Haber-Bosch-Synthese, mit der seit 100 Jahren, seit dem 9. September 1913, Stickstoffdünger aus Luft und Erdgas hergestellt wird, aber auch Sprengstoffe, wird oft als wichtigste Erfindung des 20. Jahrhunderts bezeichnet. Wichtiger als Computer, Kernkraft oder Internet? Das kann man so sehen, denn der vermeintlich banale Stickstoffdünger hat durch einen technischen Bypass eine fundamentale ökologische Grenze überwunden.

Reaktiver Stickstoff, der Motor allen biologischen Wachstums, ist in der Natur knapp. Nur bestimmte Bakterien und Gewitter liefern Nachschub. Damit waren bislang unverrückbare Grenzen, auch für den Menschen gesetzt, weil die Nahrungsmittelproduktion durch das natürliche Stickstofflimit kontrolliert wird. Durch die industrielle Stickstoffsynthese ist reaktiver Stickstoff heute im Überfluss herstellbar. Und er wird auch seit nun 100 Jahren in stetig steigender Menge produziert. Damit konnten die Ernten weltweit verdoppelt werden und die beackerbare Fläche ließ sich multiplizieren. Das enorme Bevölkerungswachstum auf derzeit 7 Milliarden Menschen wäre ohne dieses Verfahren nicht möglich gewesen.

Die Haber-Bosch-Synthese hat die ökologische Nische des Menschen gesprengt; heute sind wir gefordert, uns selbst Grenzen zu setzen. Darin liegt die welthistorische Bedeutung dieses Verfahrens. Während es früher zu wenig reaktiven Stickstoff gab, gibt es nun in vielen Ökosystemen zu viel davon. Der Planet Erde verträgt keine beliebig steigende Stickstoffmenge. Die unbegrenzt wachsende Bevölkerung erzeugt politische und ökologische Konflikte. Auch ganz wörtlich lieferte das Haber-Bosch-Verfahren explosive Substanz: Reaktiver Stickstoff ist die Grundsubstanz fast aller konventioneller Sprengstoffe und Treibladungen. Zwar hätten die großen Kriege des 20. Jahrhunderts wohl auch ohne das Haber-Bosch-Verfahren stattgefunden, sie wären aber kürzer gewesen, weil die Munition schneller ausgegangen wäre.

Unsere Ausstellung „Grüner Klee und Dynamit – Der Stickstoff und das Leben“ erzählt die Geschichte des Stickstoffs mit vielen einzigartigen Exponaten. Wir erläutern die biologische Bedeutung des Stickstoffs, seine ökologische Problematik, aber auch seine politische Relevanz. Mittelalterliche Ateliers des Alchemisten und des Salpeterers werden reizvoll kontrastiert durch moderne Hochtechnologie. Viele Hands-on-Exponate machen den Stoff und seine Geschichte begreifbar. Die Ausstellung ist für Besucher aller Altersstufen ab 8 Jahren geeignet.

Die Ausstellung zeigt, dass die Geschichte des Stickstoffs immer mehr vom Menschen geprägt wird. Und auch die Zukunft wird von uns abhängen, von unserer technischen Fantasie und von unserem politischen Mut. Während es vor 100 Jahren darum ging, Grenzen zu überwinden, wird es in Zukunft auch darum gehen, dass wir uns selbst Grenzen setzen: dort nämlich, wo die natürlichen Grenzen aufgehoben wurden.

Dr. Jens Soentgen
Wissenschaftlicher Leiter
Wissenschaftszentrums Umwelt
Universität Augsburg

Gerda Tschira
Gründerin
Carl Bosch Museums Heidelberg

Sabine König
Geschäftsführerin
Carl Bosch Museums Heidelberg

GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

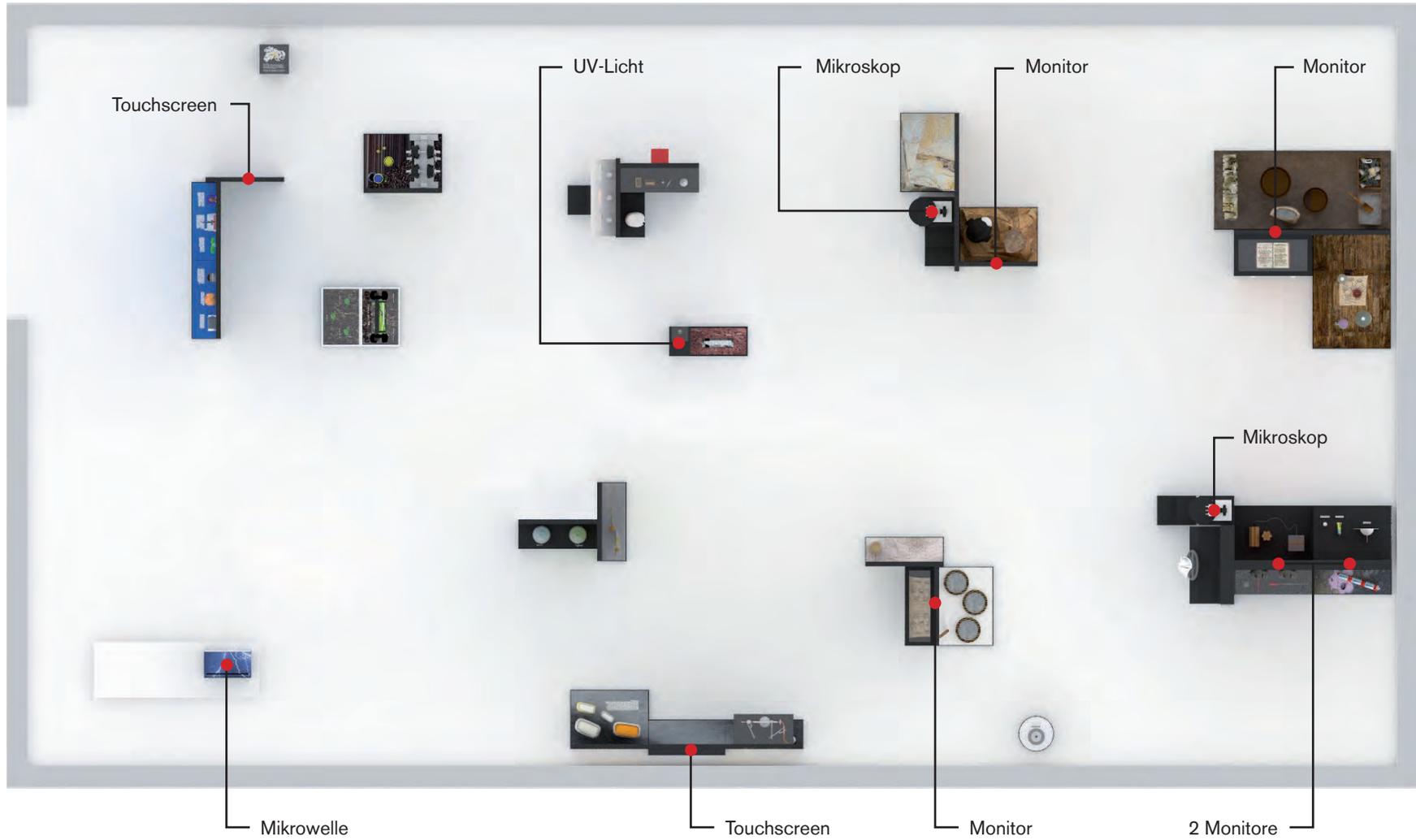
Exemplarischer Grundriss mit 153 qm



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

Exponate mit Stromanschluss



Insel 1 / Kapitel 1

STICKSTOFF – EIN LEBENSELIXIER

Reinen Stickstoff kann man nicht atmen, daher der Name. Und doch könnte kein Lebewesen ohne Stickstoff existieren. Stickstoff ist der Motor allen biologischen Wachstums. Er ist unentbehrlich für alle Lebensfunktionen.

Es gibt zwei Sorten Stickstoff: Den nichtreaktiven, den wir mit jedem Atemzug ein- und ausatmen, weil Luft zu 78 % aus nichtreaktivem Stickstoff besteht. Alle anderen Formen von Stickstoff sind reaktiv, hierzu zählen Stickoxide, Ammoniak, Nitrate, Aminosäuren und Proteine. Reaktiver Stickstoff ist in der Natur normalerweise knapp. Nur einige Bakterienarten beherrschen die Kunst, Luftstickstoff in reaktiven umzuwandeln.

Seit dem 9. September 1913 nutzt der Mensch ein von den Chemikern Fritz Haber und Carl Bosch entwickeltes Verfahren, mit dem man in einem riesigen Reaktionsrohr Luftstickstoff in Ammoniak umwandelt. Ammoniak ist die wichtigste Form reaktiven Stickstoffs, aus ihm werden Kunstdünger, Kunststoffe und Sprengstoffe hergestellt. Jener 9. September 1913 war ein Wendepunkt in der Geschichte des Lebens und hat das Gesicht unseres Planeten verändert. Denn der ungeheure Anstieg der Weltbevölkerung auf heute über 7 Milliarden Menschen wäre ohne das Haber-Bosch-Verfahren nicht möglich gewesen.

Reaktiver Stickstoff ermöglicht das Leben, verdoppelt die Ernten und hat zu Kriegen geführt. Unsere Ausstellung erzählt seine Geschichte und wagt einen Blick in die Zukunft.



Insel 1 / Kapitel 2

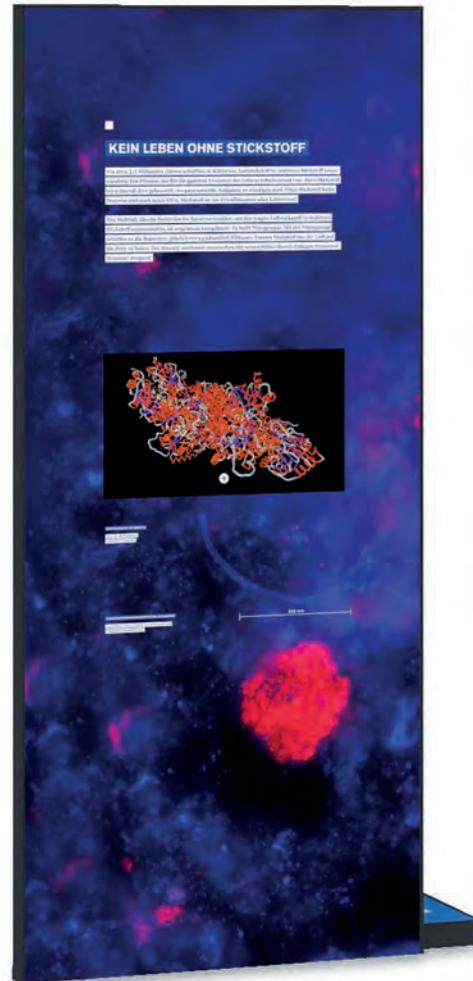
KEIN LEBEN OHNE STICKSTOFF

Vor etwa 2,5 Milliarden Jahren schafften es Bakterien, Luftstickstoff in reaktiven Stickstoff umzuwandeln. Ein Prozess, der für die gesamte Evolution des Lebens entscheidend war, denn Stickstoff wird überall dort gebraucht, wo ganz spezielle Aufgaben zu erledigen sind. Ohne Stickstoff keine Proteine und auch keine DNA. Stickstoff ist ein Grundbaustein aller Lebewesen!

Das Molekül, das die Bakterien bis heute verwenden, um den trägen Luftstickstoff in reaktiven Stickstoff umzuwandeln, ist ungeheuer kompliziert. Es heißt Nitrogenase. Mit der Nitrogenase schaffen es die Bakterien, jährlich etwa einhundert Millionen Tonnen Stickstoff aus der Luft auf die Erde zu holen. Der Mensch produziert inzwischen mit seinen Haber-Bosch-Anlagen ebensoviel, Tendenz: steigend.

DER FeMo-COFAKTOR

Manche Bakterien sind in der Lage, den trägen Luftstickstoff zu aktivieren. In den Bakterien wiederum wirkt das Enzym Nitrogenase, ein sehr komplexes Protein. Dies hier ist jener Teil der Nitrogenase, der für die Stickstoffbindung zuständig ist: Der FeMo-Cofaktor. Eine molekulare Maschine, die es hinbekommt, den trägen Luftstickstoff bei Zimmertemperatur aufzuschließen, unter anderem mithilfe von Molybdän (Mo) und Eisen (Fe). So entsteht aktivierter Stickstoff, den das Bakterium nutzen kann – und alle Wesen, die mit ihm kooperieren.



Insel 1 / Kapitel 3

WIE DER STICKSTOFF IN DIE PFLANZEN KOMMT

Die Luft ist voller Stickstoff, aber er ist für das Leben vorerst wertlos. Das Leben braucht reaktiven Stickstoff! Der entsteht zum einen durch die hohe Energie der Blitze bei Gewittern. Einen eigenen Weg fanden vor 2,5 Milliarden Jahren winzige Einzeller. Diese Bakterien leben zum Teil im Boden, zum Teil im Meer, zum Teil leben sie zur Untermiete in den Wurzeln bestimmter Pflanzen. Dort nennt man sie Knöllchenbakterien. Sie versorgen die Pflanzen mit aktiviertem Stickstoff und erhalten von diesen Schutz und etwas Zucker.

Im Boden leben übrigens auch andere Bakterien, die genau das Gegenteil tun: Sie wandeln reaktiven Stickstoff wieder in Luftstickstoff. So schließt sich der Kreis.

DAS GEHEIMNIS DES KLEES

Es gibt 243 Arten Klee. Und viele Menschen glauben, dass vierblättrige Kleeblätter Glück bringen. Klee gehört zur Gruppe der sogenannten Leguminosen, in deren Wurzeln sich Knöllchenbakterien ansiedeln. Diese Bakterienart lebt in Symbiose mit der Pflanze und bindet den Stickstoff in der Bodenluft. Für die Lieferung von aktiviertem Stickstoff bekommen die Bakterien von der Pflanze Zucker und Nährstoffe. Klee enthält aufgrund dieser Kooperation besonders viel Stickstoff. Deshalb lieben ihn Kühe, die diesen Stickstoff für ihre Milch gut brauchen können. Wo Klee oder andere Leguminosen gepflanzt werden, erhöhen sie den Stickstoffgehalt des Bodens. Klee wird seit dem 17. Jahrhundert zur Gründüngung gepflanzt und erhöht die Ernten signifikant.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

13

KARNIVOREN: WER FRISST WEN

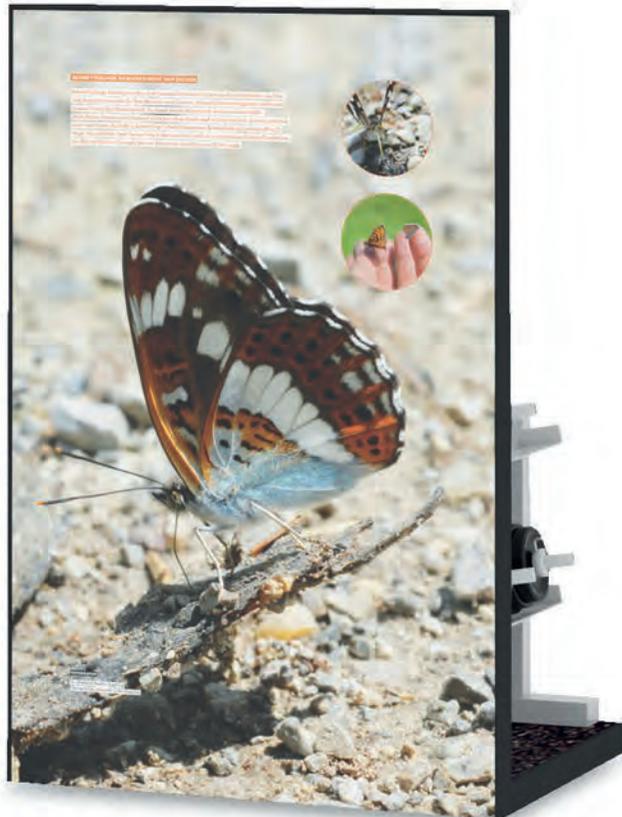
Es gibt Pflanzen, die ihren Stickstoffbedarf auf räuberische Art und Weise decken. Sie fangen Tiere und verdauen sie. Diese Pflanzengruppe bezeichnet man als Karnivoren (Fleischfresser). Solche Pflanzen leben meist in sehr nährstoffarmen Gefilden, zum Beispiel auf Bäumen oder in Mooren.



Insel 1 / Kapitel 3

SCHMETTERLINGE BRAUCHEN NICHT NUR ZUCKER

Schmetterlinge benötigen neben dem Energielieferanten Zucker auch Aminosäuren, als Bau- und Reparaturmaterial für ihre Muskeln und Gewebe. Einige Schmetterlingsarten lieben aus diesem Grund den Hautschweiß, da dieser neben Salzen auch Aminosäuren enthält. Auch Butter, Sahne und Schmand enthalten diese Stoffe und wirken auf viele Arten anziehend, daher der Name Butterfly („Butterfliege“) beziehungsweise Schmetterling („Schmandling“). Sogar Kot und tote Tiere finden viele Falter attraktiv, weil sie verwertbaren Stickstoff enthalten. Im Bild ein Kleiner Eisvogel, der am Bein einer überfahrenen Kröte saugt.



Insel 1 / Kapitel 3

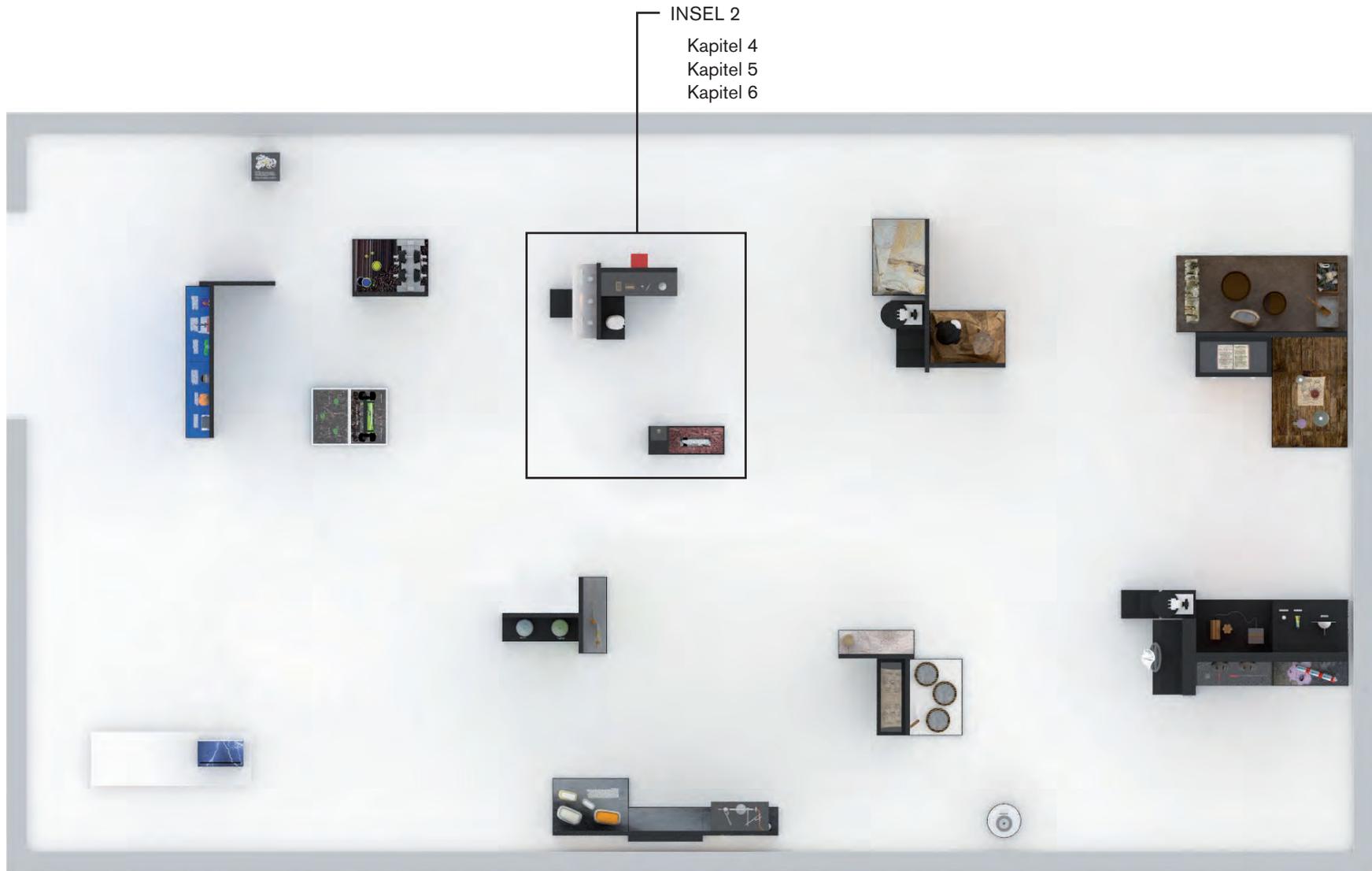
AUCH MENSCHEN BRAUCHEN STICKSTOFF

Wo Muskeln wachsen, braucht der Körper reaktiven Stickstoff. Neben Kohlenhydraten, Vitaminen, Mineralstoffen und Fetten benötigen wir Proteine, und zwar nicht zu knapp! Proteine sind Stickstoffverbindungen. Etwa 1 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht benötigt man täglich. Aus den Proteinen werden Körpergewebe aufgebaut, zum Beispiel Muskeln, aber auch Haut, Haare und Hirn. Bei sportlicher Anstrengung nutzt der Körper die Proteine als Brennstoff, denn sie lassen sich leichter verbrennen als Fett. Als Abfallprodukt entsteht neben Harnstoff bei manchen Menschen auch Ammoniak, der mit dem Schweiß ausgeschieden wird. Er sorgt für den stechenden Geruch in Fitness-Studios.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



Insel 2 / Kapitel 4

STICKSTOFF RIECHEN

Der reine Stickstoff der Luft ist geruchlos. Stickstoffverbindungen hingegen haben oft einen heftigen, meist üblen, manchmal lieblichen Geruch.

JASMIN

Indol, eine wichtige Stickstoffverbindung, ist im Jasmin in geringen Mengen enthalten und prägt diesen betörenden Duft. In größeren Konzentrationen jedoch riecht Indol nach Fäkalien!

HIRSCHORNSALZ

„Frau Nachbarin, euer Fläschchen!“ – sagt Gretchen im Faust, als ihr schwindelig wird. Die Riechfläschchen enthielten meist Ammoniumcarbonat, das an der Luft Ammoniak freisetzte. Der kraftvolle Geruch sollte die Lebensgeister anregen.

BLAUSÄURE / BITTERMANDEL

Viele Pflanzen enthalten als Fraßschutz Blausäureglycoside, die dann, wenn die Pflanze verletzt wird, das sehr giftige Gas Blausäure freisetzen. Besonders blausäurereich ist etwa der Kirschlorbeer, der in Deutschland als Heckenpflanze sehr beliebt ist. Blausäure (chemisch HCN) riecht ähnlich wie Mandelaroma, das hier den giftigen Stoff vertritt.



Insel 2 / Kapitel 5

STICKSTOFF ESSEN

Salmiak, ein Salz des Ammoniaks, wird unter anderem als Würze für Lakritz verwendet. Der Name leitet sich her von sal ammoniacum, Salz des Ammon. Dieses Salz wurde im Altertum in der Nähe eines ägyptischen Tempels gefunden, der dem Gott Ammon geweiht war. Er könnte dort aus Kamelurin entstanden sein. Später hat man Salmiak in Ägypten aus dem Ruß von verbranntem Kamelmist hergestellt. Heute wird er – Gott sei dank! – anders produziert.

Salmiak wirkt bei Entzündungen des Rachens und schmeckt erfrischend.



Insel 2 / Kapitel 6



ACHTUNG DROGEN

Alkaloide schmecken meist bitter – es sind Abwehrstoffe, mit denen sich die Pflanze gegen das Gefressenwerden schützt. Die Stoffe wirken stark auf das Nervensystem und den Organismus. Diese Wirkungen hat sich die Medizin zunutze gemacht – viele Alkaloide sind Bestandteil traditioneller und moderner Medikamente. Manche Alkaloide wurden Teil unseres Alltags, wie das Coffein im Kaffee oder das Chinin im Tonic Water. Einige Alkaloide erzeugen Rauschzustände, wie zum Beispiel Morphin oder Psilocybin. Alle Alkaloide enthalten Stickstoff.

COFFEIN

Der wirksame Wachmacher im Kaffee und im schwarzen Tee ist das Coffein, ebenfalls ein Alkaloid, eine Stickstoffverbindung. Kaffee war das Wahlgetränk der Aufklärer: „Das Kaffeehaus hat die Schenke entthront“ schrieb Jules Michelet, der französische Historiker und pries das „nüchterne Getränk, das die Wolken der Einbildungskraft vertreibt“. Alkohol zählt übrigens zu den ganz wenigen Rauschmitteln, die keinen Stickstoff enthalten!

SCHLAFMOHN

Morphin wird in der Medizin als Schmerzmittel bei schweren Krankheiten eingesetzt. Morphin und das daraus hergestellte Heroin werden aber auch illegal gehandelt: 0,1 Gramm Heroin kosten auf der Straße etwa 10 Euro. Das illegale Heroin ist damit teurer als Gold. Drogenabhängige nutzen Heroin und Morphin als Rauschmittel. Je nach Gewöhnung beläuft sich die nötige Dosis auf 0,5 bis 3 Gramm pro Tag.

GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

Insel 2 / Kapitel 6

CHININ

Dieses besonders bitter schmeckende Alkaloid wird aus der Rinde des Chinarindenbaums gewonnen, der im Hochwald der Anden wächst. Die Indianer nutzten sowohl die leistungssteigernde wie auch die fiebersenkende Wirkung der Substanz und machten die Weißen damit vertraut. Chinin ist zudem ein wichtiges Medikament gegen die Malaria. In geringer Menge ist es auch in manchen Erfrischungsgetränken, wie Tonic Water oder Bitter Lemon enthalten. Manche mögen es bitter! Im UV-Licht fluoresziert der Stoff.



Insel 3 / Kapitel 7



SALPETER

Der Name Salpeter leitet sich vom lateinischen *sal petrae* her und heißt soviel wie Felsensalz. Salpeter zählt zu den ältesten natürlichen Stickstoffverbindungen, die der Mensch kennt. Heute wird Salpeter künstlich hergestellt. Es gibt verschiedene Sorten, die in der Chemie zum Beispiel als Kaliumnitrat, Calciumnitrat und Natriumnitrat bezeichnet werden.

Calciumnitrat wird auch als Mauersalpeter bezeichnet, da er oft an den Wänden von Ställen oder in Höhlen kristallisiert. Er bildet feine, haarige Überzüge auf den Wänden, die an Schimmel erinnern. Man kann ihn abkehren, und so hieß diese Sorte Salpeter auch Kehrsalpeter. In Höhlen und Ställen kann er kristallisieren, weil er hier vor Regengüssen, die ihn wegwaschen würden, geschützt ist. Auch in ganz normaler Erde ist er meist vorhanden. Brennessel und Holunder zeigen salpeterreiche Böden an. Gebildet wird der Salpeter von Bakterien aus Luft und organischen Materialien, wie zum Beispiel Kot und Urin.

Insel 3 / Kapitel 8



GUANO: DÜNGER DER INKA

Schon die Inkas düngten ihre Pflanzungen mit Guano. Das ist Vogelkot, den Generationen von Seevögeln auf den knochentrockenen Vogelinseln vor der Westküste Südamerikas angehäuft haben.

Anfang des 19. Jahrhunderts hatten auch die Europäer den nützlichen Stoff entdeckt und importierten große Mengen. Die USA erließen sogar ein Gesetz, das die Inbesitznahme von Guano-Inseln durch Nordamerikaner legalisierte. Guano enthält sehr viel aktivierten Stickstoff und auch Phosphor, darum ist er ein ausgezeichnete Dünger, der heute noch abgebaut wird. Durch die Analyse des Wunderdüngers wurde erkannt, dass Stickstoff für die Pflanzenernährung zentral ist.

OPFER FÜR HUAMANCANTAC

Die Inkas regulierten den Abbau des Guanos streng und schützten die Vögel, die ihn produzierten. Sie verehrten sogar einen Guano-Gott namens Huamancantac, dem silberne Gegenstände geopfert wurden. Heute noch finden sich auf den Vogelinseln präcolumbische Opferstätten.

Insel 4 / Kapitel 9

DIE UNGELIEBTEN SIEDER

Der älteste Explosivstoff ist das Schwarzpulver. Es besteht zum größten Teil aus Kaliumnitrat (Salpeter), einer Stickstoffverbindung. Hinzu kommen Kohle und Schwefel. Um an den Salpeter zu gelangen, reiste im 17. und 18. Jahrhundert der Salpetersieder (Salpeterer) mit Vollmacht der Landesherren von Hof zu Hof und kratzte den ausgeblühten Mauersalpeter von den Wänden der Stallungen. Zudem hatte er das Recht, die Böden der Ställe und Wohnhäuser aufzubrechen und die salpeterhaltige Erde mitzunehmen. Zwar waren die Salpeterer verpflichtet, alle Beschädigungen zu reparieren, aber kamen sie dieser Pflicht auch immer nach? Oft wird von Streit berichtet. Niemand freute sich, wenn sie auftauchten.

Der Salpeter wurde aus der Erde aufwendig ausgewaschen, mithilfe von Pflanzenasche umgesetzt und anschließend gereinigt. Dann wurde er in Säcke oder Fässer gefüllt und zum Sammelposten in die Residenzstadt gebracht. Mit dem indischen Salpeterhandel und mit der Entdeckung des Chilesalpeters Anfang des 19. Jahrhunderts verlor der Beruf des Salpetersieders an Bedeutung.



Insel 4 / Kapitel 9

ANLEITUNG ZUM AUSKOCHEN DES SALPETERS AUS STALLERDE

Um an den Salpeter zu gelangen, wurde in den Ställen gegrabene Erde mit etwas Pflanzenasche (Kaliumcarbonat) gemischt, in ein großes Fass geschaufelt und mit heißem Wasser übergossen. Das Wasser sickerte dann durch die Erde und löste dabei den Salpeter. Die braune Brühe zapfte der Salpeterer unten ab. Sie wurde geklärt, indem man Eiklar hineinmischte, das die Verunreinigungen an sich zog. Dann ließ man den Salpeter auskristallisieren.

VOM MAUERSALPETER ZUM KALIUMNITRAT

Für Schießpulver ist besonders gut Kaliumnitrat geeignet, weil es, anders als die anderen Salpetersorten, nicht dazu neigt, Wasser zu ziehen. In der Stallerde liegt aber vor allem Mauersalpeter (Calciumnitrat) vor. Indem die Salpeterer ihre Erde mit Pflanzenasche (Kaliumcarbonat) mischten und diese Mischung wässerten, erhielten sie den gewünschten Stoff. Die Salpeterer glaubten, dass die zugesetzte Pflanzenasche den Salpeter reinigt, weil Pflanzenasche auch sonst als Reinigungsmittel verwandt wurde. Tatsächlich aber setzt sich in den Bottichen Calciumnitrat (Mauersalpeter) mit Kaliumcarbonat (Pflanzenasche) zu Kaliumnitrat (schießpulvergeeignetem Salpeter) und Calciumcarbonat (schwerlöslichem Kalk) um.



Insel 4 / Kapitel 9

DIE SALPETERGÄRTEN

Weil Salpeter ein Produkt von Bakterien ist, kann man die Salpeterernte erhöhen, indem man die Bakterien füttert. Seit dem Mittelalter, ohne etwas von Bakterien zu ahnen, legten die Menschen Salpetergärten an. Tierische Abfälle (Kot, Urin und Blut) wurden mit kalkhaltigen Erden, sowie Erde von Friedhöfen und Schlachthöfen und mit Kalk, Schutt und Asche in Gruben gefüllt oder zu Haufen geschichtet, überdacht und ab und zu mit Jauche oder Urin begossen. Durch die Zersetzung bildete sich nach ein bis zwei Jahren so viel Salpeter, dass er aus der Erde ausgewaschen werden konnte. Das Verfahren war aber aufwändig und teuer: Die meisten Salpeterer zogen deshalb lieber von Dorf zu Dorf, um Stallerde zu graben.

KÖNIGSWASSER

Reine Salpetersäure hieß bei den Alchemisten Scheidewasser, weil sie Silber und Kupfer, aber kein Gold löst. Mit ihr konnte man Metallgemische und Legierungen trennen (scheiden). Königswasser ist eine Mischung von konzentrierter Salpetersäure mit konzentrierter Salzsäure. Die Alchemisten stellten dieses Königswasser folgendermaßen her: Sie mischten Ton mit Kochsalz, formten Kügelchen aus dem Gemisch und glühten diese: Es bildete sich Salzsäure, der „spiritus salis“. Wenn man Salpeter in Tonscherben glüht, erhält man den „spiritus nitri“, Salpetersäure. Beides gemischt ergibt Königswasser – das in der Lage ist, sogar Gold aufzulösen.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

Insel 4 / Kapitel 9

DER KALTE DRACHE

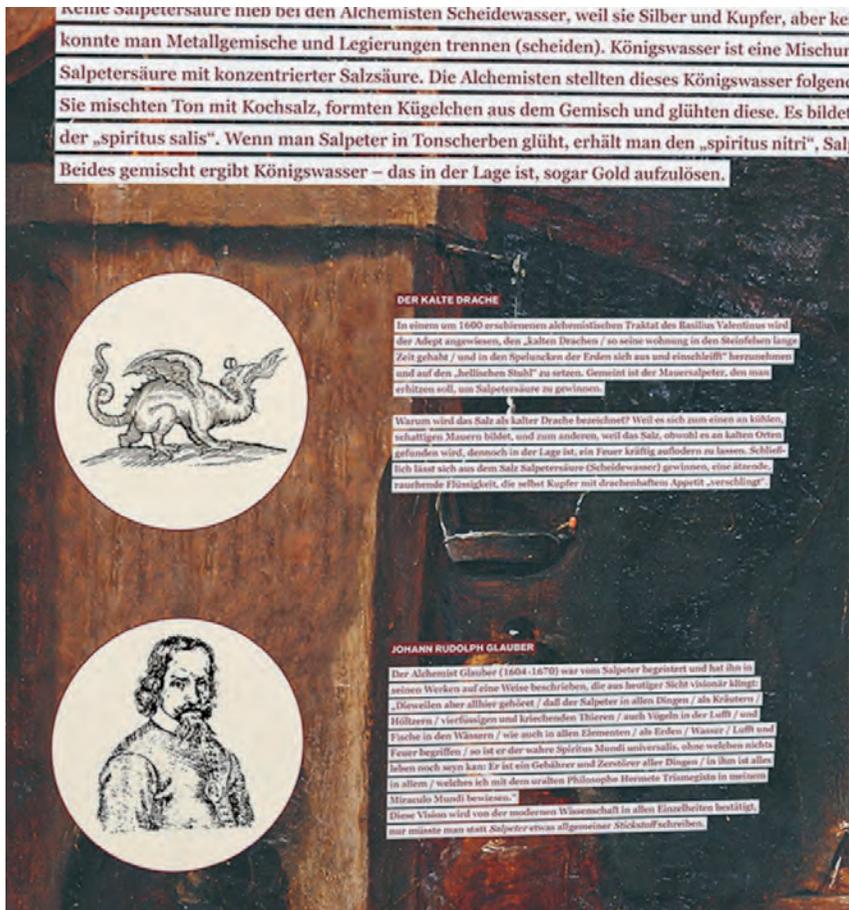
In einem um 1600 erschienenen alchemistischen Traktat des Basilius Valentinus wird der Adept angewiesen, den „kalten Drachen / so seine wohnung in den Steinfelsen lange Zeit gehabt / und in den Speluncken der Erden sich aus und einschleift“ herzunehmen und auf den „hellischen Stuhl“ zu setzen. Gemeint ist der Mauersalpeter, den man erhitzen soll, um Salpetersäure zu gewinnen.

Warum wird das Salz als kalter Drache bezeichnet? Weil es sich zum einen an kühlen, schattigen Mauern bildet, und zum anderen, weil das Salz, obwohl es an kalten Orten gefunden wird, dennoch in der Lage ist, ein Feuer kräftig auflodern zu lassen. Schließlich lässt sich aus dem Salz Salpetersäure (Scheidewasser) gewinnen, eine ätzende, rauchende Flüssigkeit, die selbst Kupfer mit drachenhaftem Appetit „verschlingt“.

JOHANN RUDOLPH GLAUBER

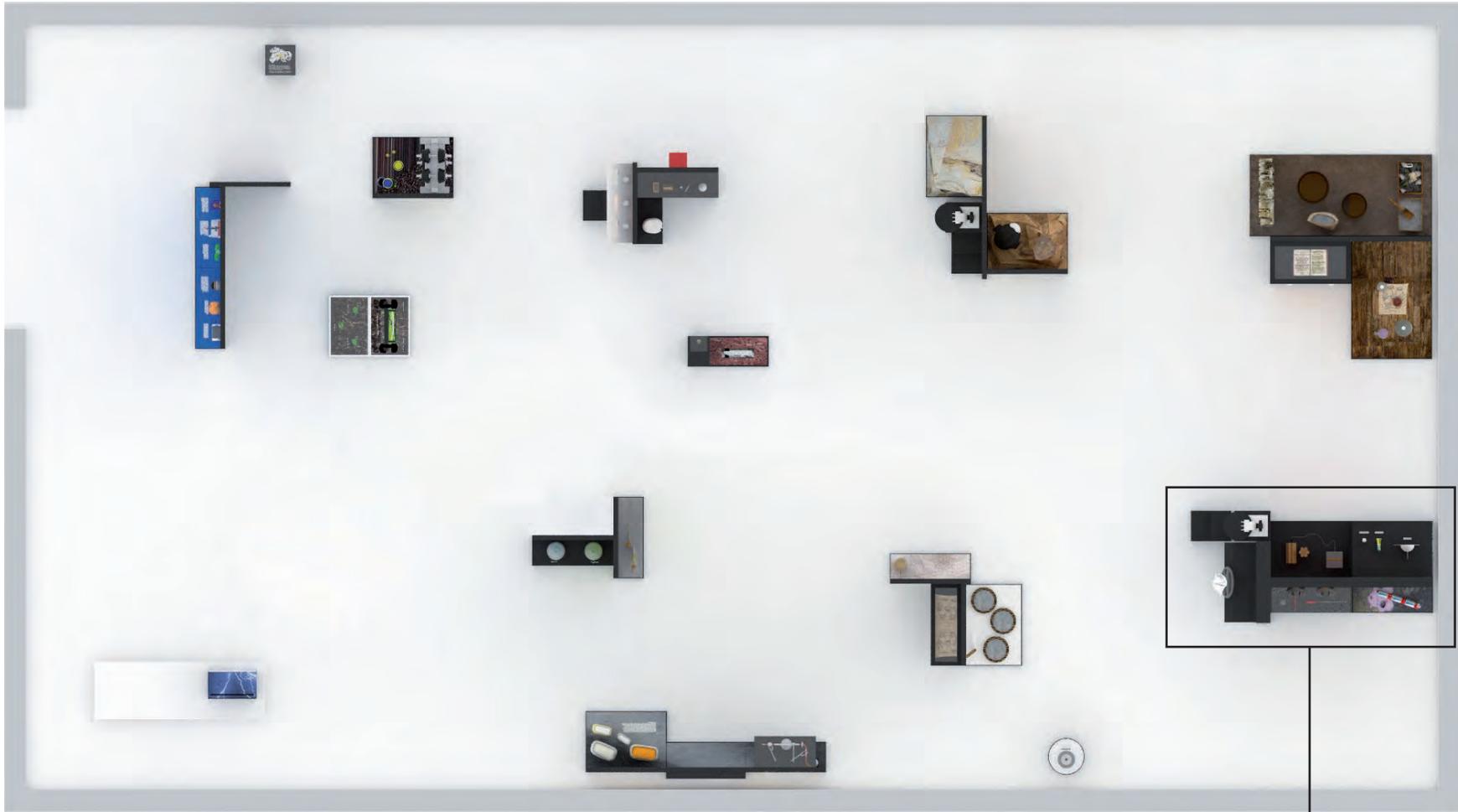
Der Alchemist Glauber (1604-1670) war vom Salpeter begeistert und hat ihn in seinen Werken auf eine Weise beschrieben, die aus heutiger Sicht visionär klingt: „Dieweilen aber allhier gehöret / daß der Salpeter in allen Dingen / als Kräutern / Hölzern / vierfüßigen und kriechenden Thieren / auch Vögeln in der Luft / und Fische in den Wässern / wie auch in allen Elementen / als Erden / Wasser / Luft und Feuer begriffen / so ist er der wahre Spiritus Mundi universalis, ohne welchen nichts leben noch seyn kan: Er ist ein Gebährer und Zersthörer aller Dingen / in ihm ist alles in allem / welches ich mit dem uralten Philosopho Hermete Trismegisto in meinem Miraculo Mundi bewiesen.“

Diese Vision wird von der modernen Wissenschaft in allen Einzelheiten bestätigt, nur müsste man statt Salpeter etwas allgemeiner Stickstoff schreiben.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



INSEL 5
Kapitel 10

Insel 5 / Kapitel 10



SCHIESSPULVER

Aus Stickstoff und Wasserstoff lässt sich Ammoniak herstellen und daraus Salpetersäure, die der Ausgangsstoff für viele explosive Stoffe ist. Der erste Sprengstoff und zugleich die erste Treibladung für Geschosse war das Schwarzpulver. Sein Hauptbestandteil ist Kaliumnitrat, auch Salpeter genannt. Kaliumnitrat ist ein Salz der Salpetersäure.

Schwarzpulver entwickelt viel Rauch beim Abfeuern. Heute wird meist die nicht rauchende Nitrocellulose (Schießbaumwolle), die durch die Reaktion von gewöhnlicher Baumwolle mit Salpetersäure entsteht, als Grundsubstanz von Treib- und Sprengladungen verwendet.

DYNAMIT

Das von Alfred Nobel im Jahr 1866 erfundene „Gur-Dynamit“ war als Sprengstoff äußerst erfolgreich. Dynamit besteht aus einer natürlich vorkommenden Erde namens Kieselgur, die mit Nitroglycerin getränkt wird. Nitroglycerin enthält rund 18,5 % Stickstoff. Der ist in dem Molekül gebunden, hat aber eine starke Neigung, sich wieder in Luftstickstoff umzuwandeln. Das ist einer der Gründe, weshalb Nitroglycerin so explosiv ist.

Gur-Dynamit, Nobels Erfindung, war besser zu handhaben als reines Nitroglycerin. Gebraucht wurde der neue Sprengstoff weltweit. Mit ihm wurden der Panamakanal, der Gotthardtunnel, die Trasse der transsibirischen Eisenbahn und viele weitere Verkehrswege freigesprengt. Dynamit brachte die Welt näher zusammen und half, Eisenerz und Kohle aus den Bergen zu sprengen. Doch auch in Kriegen kam es mit verheerender Wirkung zum Einsatz. Einen großen Teil seines enormen Vermögens stiftete Nobel per testamentarischer Verfügung der Nobel-Stiftung, die bis heute jährlich die Nobelpreise vergibt. Er wollte nicht nur als Dynamit-König in Erinnerung bleiben.

Insel 5 / Kapitel 10

SAFETY FIRST

Manchmal dienen Sprengstoffe der Sicherheit. Airbag-Systeme enthalten Natriumazid, eine Stickstoffverbindung. Bei einem Unfall wird zunächst eine Schwarzpulverladung elektrisch gezündet. Das dadurch erhitzte Natriumazid zerfällt in die Elemente Natrium und Stickstoff. Das gebildete Stickstoffgas bläst den Airbag auf, während das Natrium durch Filtersysteme zurück gehalten wird.

SPRENGKAPSELN

Der Münchner Walter Linderer hatte schon 1951 die Idee, Autofahrer durch einen Luftsack zu schützen, der sich beim Aufprall automatisch aufbläst. Er sah eine Pressluftflasche vor, deren Ventil bei Unfällen automatisch geöffnet wurde. Heute werden Sprengkapseln verwendet, die bei schweren Stößen zünden.



Insel 5 / Kapitel 10

SPRENGEN MIT AMMONIUMNITRAT

Ammoniumnitrat ist ein wichtiger Rohstoff moderner Sprengstoffe. Wie die meisten Sprengstoffe enthält es viel Stickstoff: 35 %. Der Stoff wird deshalb in vielen Ländern auch als Düngemittel verkauft. In handelsüblichen Düngern wird das Ammoniumnitrat so präpariert, dass es nicht ohne weiteres zünden kann.

BENGALISCHE FEUER UND RAKETEN

Nicht nur für Sprengstoff und Waffen, auch für Silvesterraketen und Böller braucht man Salpeter. In China, Indien und Südostasien war dieser Einsatz des Salpeters vermutlich länger bekannt als in Europa. Heute noch gibt es in Thailand Raketenwettbewerbe, wie zum Beispiel das „Bun-Bong-Fei“, ein Raketenfest, das zum Ende der Trockenzeit in thailändischen Dörfern gefeiert wird. Riesige, selbstgebaute Raketen werden dabei in den Himmel geschossen, um die Regengötter milde zu stimmen.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



INSEL 6
Kapitel 11

Insel 6 / Kapitel 11

SALPETER SEGELT UM DIE WELT

An der Westküste Südamerikas wurden Anfang des 19. Jahrhundert reichhaltige Vorkommen an „Chilesalpeter“ (Natriumnitrat) in einem wüstenartigen Gebiet entdeckt. Sofort war das Interesse der Europäer geweckt, denn mit diesem Chilesalpeter ließen sich ungeheure Mengen Mineraldünger, Sprengstoff und Munition herstellen. Der Stoff wurde in großen Mengen exportiert. Dabei wurden meist Großsegler eingesetzt, die für die lange und gefährliche Strecke, die um Kap Hoorn herumführte, zwischen 80 und 100 Tagen brauchten. Nicht selten kam es dabei zu Unfällen, denn schon wenige Funken aus einer Seemannspfeife konnten gewaltige Brände auslösen, die kaum zu löschen waren.

Die Vorkommen in Südamerika waren von so großer Bedeutung, dass die Länder Chile, Peru und Bolivien im Streit um die Abbaugelände von 1879 bis 1884 einen erbitterten Krieg führten. Der Krieg endete mit der Niederlage Perus und Boliviens. Bolivien hat seither keinen Zugang mehr zum Meer. Das Land will sich damit jedoch nicht abfinden und unterhält bis heute eine Flotte, die auf dem Titicacasee stationiert ist.

CHILESALPETER

Die salpeterhaltigen Schichten (Caliche) wurden freigesprengt, dann kleingeschlagen und transportiert. Der aufbereitete Salpeter wurde von verschiedenen Häfen entlang der chilenischen Küste vor allem nach Europa exportiert.



Insel 6 / Kapitel 11

SALPETER AUS OSTINDIEN

In Teilen Ostindiens reichert sich Salpeter in der Erde an. Das Klima ist warm und feucht, das gefällt den Mikroorganismen. Besonders die Gegend um Bihar war ein wichtiges Produktionsgebiet. Verlassene Siedlungen und auch alte Friedhöfe bargen dort besonders salpeterreiche Erde. Salpeter wurde von einer sehr armen Kaste, den Nuniah, aus Erde gewonnen. Von der Region Bihar aus deckte England seinen Salpeterbedarf, den es permanent für seine Kriege benötigte und handelte auch gewinnbringend mit dem begehrten Stoff.

jarua sora

So wurde in der Gegend von Bihar Salpeter bezeichnet, der durch Kochen von Erde erzeugt wurde.

abi sora

Dies war der Name von Salpeter, der aus Lauge entsteht, die man in der Sonne stehen lässt.

kalmi sora

So bezeichnete man gereinigten Salpeter.

KÜHLEN MIT SALPETER

Kaiser Akbar (1542-1605), der wohl bedeutendste indische Herrscher der vor-kolonialen Zeit, trank gereinigtes Gangeswasser, das durch eine Salpeterlösung gekühlt wurde. Auch heute noch wird Salpeter im medizinischen Bereich für Kühlzwecke verwandt.



Insel 6 / Kapitel 11

TOD DEN TYRANNEN!

Die meisten europäischen Nationen importierten den Salpeter, den sie für ihre vielen Kriege brauchten, aus Indien. Mit dem Pariser Frieden 1753 zwischen England und Frankreich verlor Frankreich neben seinem nord-amerikanischen Kolonialbesitz auch seine indischen Besitzungen. Nun musste der Salpeter im eigenen Land hergestellt werden. Berühmte Chemiker wie Antoine Lavoisier suchten nach neuen Zugängen zu dem Stoff und fanden zumindest viele Methoden, den Salpeter besser zu reinigen und effizienter herzustellen. Als Österreich, Preußen und England 1793 den Salpeternachschub für das revolutionäre Frankreich blockierten, wurde überall in Frankreich tonnenweise Erde gekocht und aus dem Sud Salpeter bereitet. Nur so konnte der Munitionsnachschub für die Revolutionsarmee gesichert werden.

ANTOINE LAURENT DE LAVOISIER

Antoine Lavoisier (1743-1794) gilt als Vater der modernen Chemie. Er zeigte, dass Sauerstoff für die Verbrennung nötig ist, wies nach, dass Wasser eine Verbindung ist, entdeckte, dass Diamanten aus Kohlenstoff bestehen und entwickelte die erste systematische Benennungsmethode für chemische Stoffe, die sich weltweit durchsetzte und in den Grundzügen heute noch in Gebrauch ist. Lavoisier gehörte zur französischen Oberschicht, er war im vorrevolutionären Frankreich ein reicher Steuerpächter und einige Jahre zuständig für das Salpeter- und Schießpulverwesen. Auch dem revolutionären Frankreich bot Lavoisier seine Dienste an und wollte etwa die Produktion von Salpeter und Schießpulver weiter verbessern. Doch seine frühere Tätigkeit für das Establishment holte ihn ein und er wurde 1794 zum Tode verurteilt. Der Mathematiker Louis Lagrange sagte am Nachmittag der Hinrichtung Lavoisiers: „Sie brauchen nur einen Moment, um diesen Kopf abzuschlagen, aber es dauert vielleicht hundert Jahre, bis ein ähnlicher wieder nachwachsen wird.“



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



INSEL 7
Kapitel 12

Insel 7 / Kapitel 12

DER WENDEPUNKT: DAS HABER-BOSCH-VERFAHREN

„Daß die wichtigsten Dinge durch Röhren getan werden. Beweise erstlich die Zeugungsglieder, die Schreibfeder und unser Schießgewehr“
Georg Christoph Lichtenberg

Eine der wichtigsten Röhren der Weltgeschichte kannte Lichtenberg noch nicht: Es ist das Reaktionsrohr des Haber-Bosch-Verfahrens. Dieses mit einem Eisenkatalysator gefüllte riesige und schwerk gepanzerte Rohr schließt den Luftstickstoff auf und wandelt ihn in Ammoniak.

Aus Ammoniak wird Kunstdünger hergestellt, der für größere Ernten sorgt. Das enorme Bevölkerungswachstum der letzten 100 Jahre wäre ohne das Haber-Bosch-Verfahren nicht möglich gewesen. Umweltwissenschaftler haben errechnet, dass 40 % der jetzt lebenden Menschen ohne die Ammoniaksynthese, wie das Haber-Bosch-Verfahren auch bezeichnet wird, nicht ernährt werden könnten. Das Reaktionsrohr hat wahrlich zeugende Kraft.





Insel 7 / Kapitel 12

VOM STICKSTOFF ZUM AMMONIAK – VOM AMMONIAK ZUR SPANPLATTE

Neben Kunstdünger werden Melaminharze, Nylon, viele Klebstoffe und die meisten Sprengstoffe – über ein oder zwei Zwischenstufen – aus dem Haber-Bosch-Ammoniak hergestellt. Auch diese MDF-Platte wird mit Harnstoffharzen zusammengehalten, die ihren Ursprung in der Ammoniaksynthese haben.

KUNSTDÜNGER

Bis zum 9. September des Jahres 1913 stammte fast der gesamte reaktive Stickstoff auf Erden aus natürlichen Prozessen. Der größte Teil wurde von Bakterien gebildet. Erst das Haber-Bosch-Verfahren ermöglichte es, Kunstdünger im ganz großen Maßstab herzustellen. Kunstdünger enthält neben Stickstoff meist noch andere Nährstoffe, vor allem Phosphat und Kalium sowie Spurenelemente. Stickstoff ist aber für das Pflanzenwachstum oft der wichtigste Faktor. Man kann Pflanzen ansehen, wenn sie an Stickstoffmangel leiden, denn dann bekommen sie gelbe Blätter, weil sie Stickstoff für ihr Blattgrün benötigen.

Insel 7 / Kapitel 12

FRITZ HABER

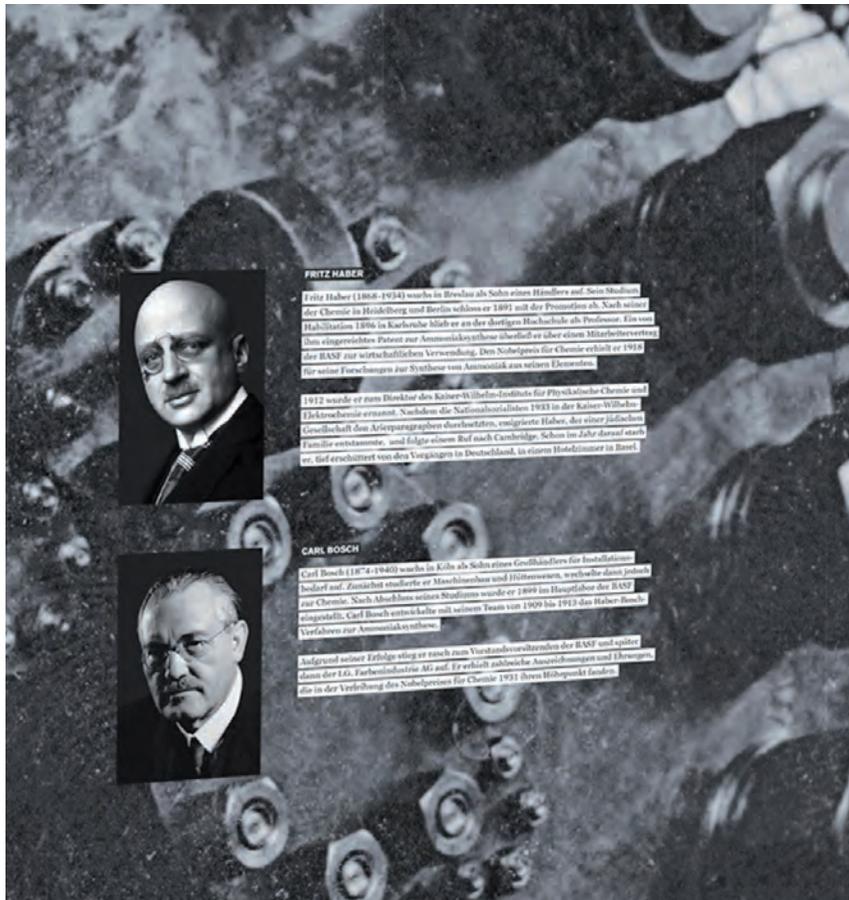
Fritz Haber (1868-1934) wuchs in Breslau als Sohn eines Händlers auf. Sein Studium der Chemie in Heidelberg und Berlin schloss er 1891 mit der Promotion ab. Nach seiner Habilitation 1896 in Karlsruhe blieb er an der dortigen Hochschule als Professor. Ein von ihm eingereichtes Patent zur Ammoniaksynthese überließ er über einen Mitarbeitervertrag der BASF zur wirtschaftlichen Verwendung. Den Nobelpreis für Chemie erhielt er 1918 für seine Forschungen zur Synthese von Ammoniak aus seinen Elementen.

1912 wurde er zum Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physikalische Chemie und Elektrochemie ernannt. Nachdem die Nationalsozialisten 1933 in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft den Arierparagraphen durchsetzten, emigrierte Haber, der einer jüdischen Familie entstammte, und folgte einem Ruf nach Cambridge. Schon im Jahr darauf starb er, tief erschüttert von den Vorgängen in Deutschland, in einem Hotelzimmer in Basel.

CARL BOSCH

Carl Bosch (1874-1940) wuchs in Köln als Sohn eines Großhändlers für Installationsbedarf auf. Zunächst studierte er Maschinenbau und Hüttenwesen, wechselte dann jedoch zur Chemie. Nach Abschluss seines Studiums wurde er 1899 im Hauptlabor der BASF eingestellt. Carl Bosch entwickelte mit seinem Team von 1909 bis 1913 das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese.

Aufgrund seiner Erfolge stieg er rasch zum Vorstandsvorsitzenden der BASF und später dann der I.G. Farbenindustrie AG auf. Er erhielt zahlreiche Auszeichnungen und Ehrungen, die in der Verleihung des Nobelpreises für Chemie 1931 ihren Höhepunkt fanden.



Insel 8 / Kapitel 13

EINE ERFINDUNG; DIE DEN PLANETEN VERÄNDERT

Das Haber-Bosch-Verfahren wurde als wichtigste Erfindung des 20. Jahrhunderts bezeichnet, wichtiger als Computer, Fernseher, Mobiltelefon und Kernenergie. Denn ohne dieses Verfahren könnten 40 % der heute lebenden Menschen nicht ernährt werden. Im Jahr 1900 lebten auf der Erde 1,6 Milliarden Menschen, heute sind es 7 Milliarden. Im Jahr 1900 ernährte 1 Hektar Land (100 x 100 Meter) nicht einmal 2 Menschen, heute können 4,3 von den Erträgen leben, und dies ist zum größten Teil ein Resultat der Stickstoffdüngung. Müssten wir von heute auf morgen auf die Formen von Landwirtschaft umstellen, die um 1900 in Gebrauch waren, käme es zu Hungersnöten ungeheuren Ausmaßes und in der Folge zu gewaltigen Unruhen und Kriegen.

Durch den Kunstdünger konnte das Problem der ungleichen Verteilung von Nahrung nicht gelöst werden, auch wenn in den Jahren zwischen 1965 bis 2000 im Zuge der sogenannten Grünen Revolution die Nahrungsmittelproduktion weltweit verdoppelt hat. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche vergrößerte sich, meist auf Kosten der Urwälder.

Heute wird an Land ebensoviel Luftstickstoff durch das Haber-Bosch-Verfahren wie durch natürliche Prozesse in reaktiven Stickstoff umgewandelt. Dünger hat beträchtliche Nebenwirkungen, weil fast immer viel mehr auf die Felder gekippt wird, als die Pflanzen brauchen. Über das Grundwasser gelangt er in Flüsse und schließlich ins Meer. Dort düngt er weiter, aber das Ergebnis ist wenig erfreulich. Der Mississippi zum Beispiel führt heute die vierfache Stickstoffmenge wie 1900. Im Golf von Mexiko kommt es deshalb jedes Jahr zu großen Algenblüten. Auch in der Ostsee kommt es oft zu Algenblüten, wie auf dem Satellitenbild zu sehen ist. Nicht nur der reaktive Stickstoff, auch das Phosphat, das im Kunstdünger ebenfalls enthalten ist, sind dafür verantwortlich. Die Algen vergiften das Wasser und entziehen ihm, wenn sie sterben, Sauerstoff. Tote Zonen entstehen im Meer. Neben der Überfischung ist die Überdüngung (Eutrophierung) die größte Bedrohung für Ökosysteme in Seen, Flüssen und im Meer. Wenn der Dünger abgebaut wird, entsteht zudem Lachgas, das zur Klimaerwärmung beiträgt.

Wenn aus den gut gedüngten Feldern Nitrat ins Grundwasser und von dort in die Brunnen gelangt, kann dieses Wasser schwerwiegende Krankheiten auslösen, vor allem bei Säuglingen, aber auch bei Erwachsenen mit geschädigter Darmflora.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

Insel 8 / Kapitel 13

WASSERPROBE A

Ungedüngte, reine Wasserprobe. In ihr bilden sich kaum Algen.

WASSERPROBE B

Diese Wasserprobe wurde mit etwas Kaliumnitrat gedüngt. Es entwickeln sich wesentlich mehr Algen als in der ungedüngten Probe. In der Natur beeinträchtigt Stickstoffeintrag die ökologische und gesundheitliche Qualität der Gewässer erheblich.



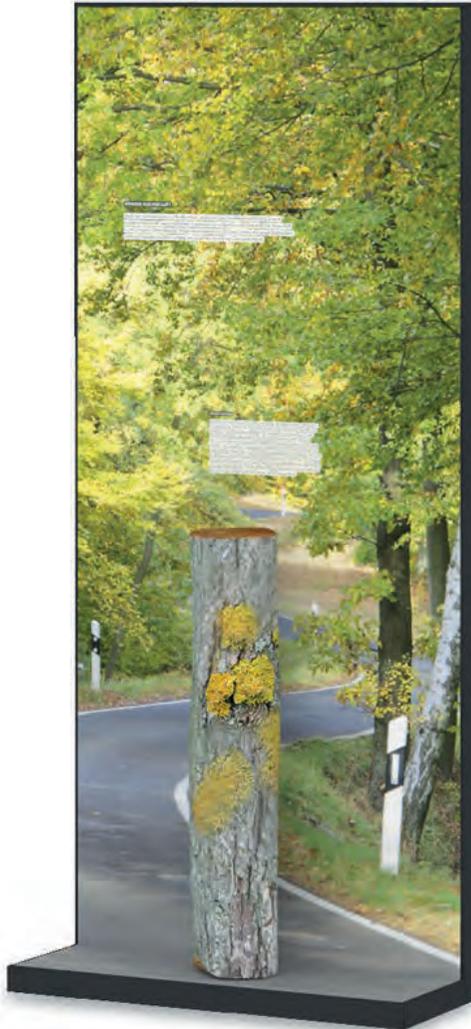
Insel 8 / Kapitel 13

DÜNGER AUS DER LUFT

Auch aus Automotoren und Kraftwerken, sogar aus ganz normalen Gasboilern kommt reaktiver Stickstoff. Denn bei hohen Temperaturen verbinden sich Stickstoff und Sauerstoff zu Stickoxiden. Besonders im Winter kann man den süßlichen Geruch der gesundheitsschädlichen Stickoxide deutlich riechen, wenn auf der Straße ein Auto vorbeifährt.

GELBFLECHTEN

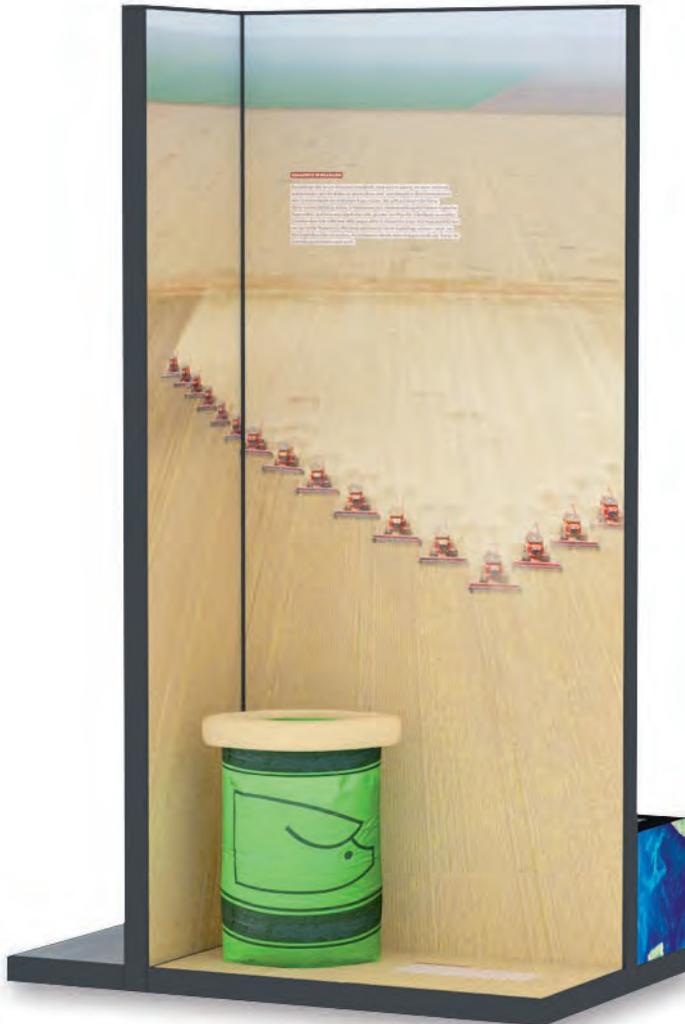
Gelbflechten sind bei uns inzwischen sehr häufig. Sie zeigen an, dass viel reaktiver Stickstoff in der Luft ist. Die Luft enthält dann winzige, schwebende Kristalle und Tröpfchen von Stickstoffverbindungen, zum Beispiel Ammoniumnitrat. Dieser schwebende Dünger gelangt durch die düngende Landwirtschaft in die Luft, aber auch durch das Verbrennen von Heizöl oder Kohle und auch durch den Autoverkehr. Denn bei hohen Temperaturen verbindet sich der Luftsauerstoff mit dem Luftstickstoff zu Stickoxid. So senken sich in Deutschland aus der Luft pro Jahr etwa 30 Kilogramm reaktiven Stickstoffs auf jeden Hektar Land, auch dort, wo gar keine Landwirtschaft betrieben wird. Viele Ökosysteme, zum Beispiel Moore oder Heiden, vertragen diesen Dünger schlecht. Seltene Pflanzen werden durch Arten verdrängt, die den Dünger aus der Luft besser nutzen, um sich auszubreiten.



Insel 8 / Kapitel 13

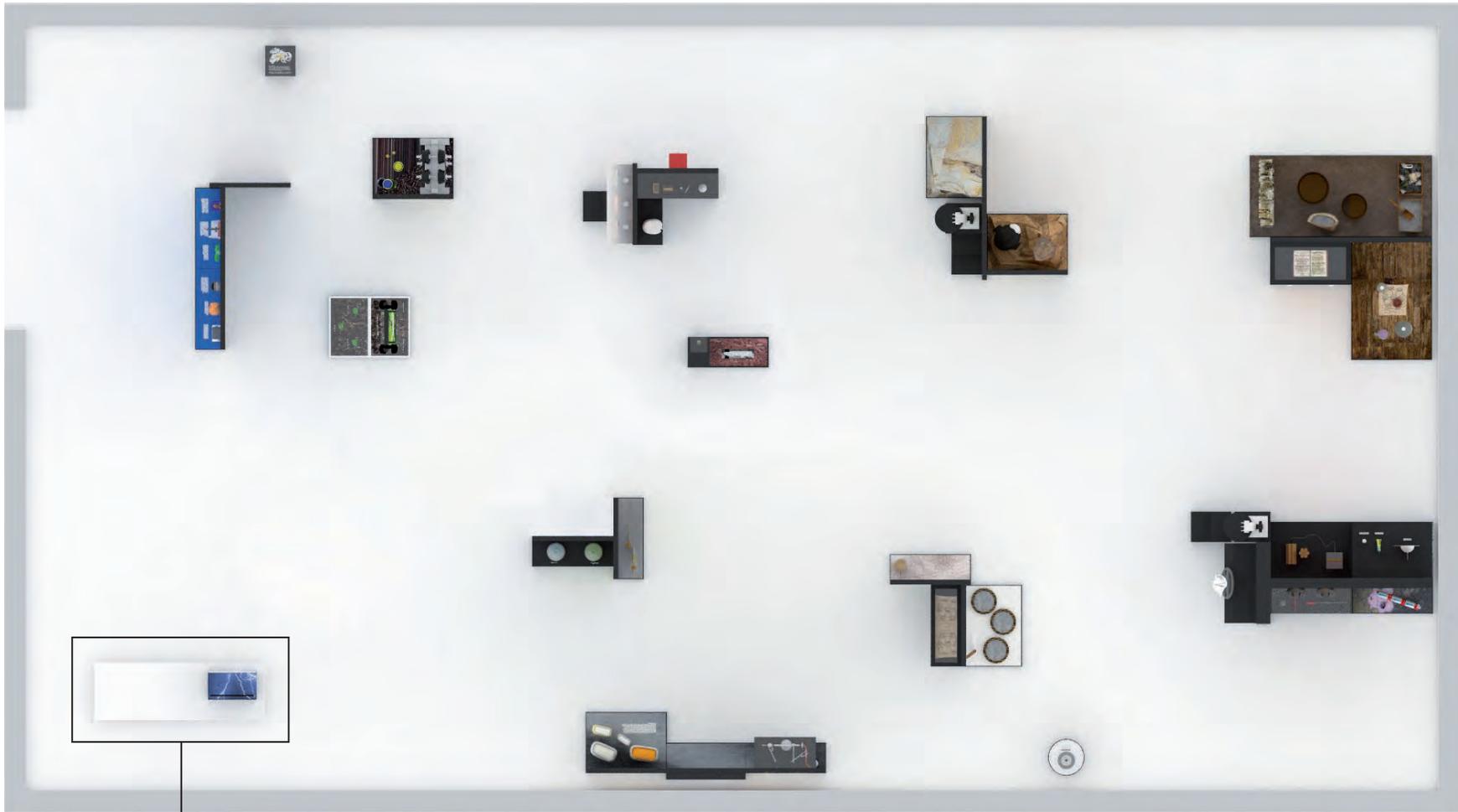
SOJAERNTEN IN BRASILIEN

Kunstdünger hat es uns Menschen ermöglicht, auch dort zu ackern, wo zuvor niemand ernten konnte, weil die Böden zu nährstoffarm sind, zum Beispiel in Moorlandsschaften oder in den Gebieten des tropischen Regenwaldes. Das geht auf Kosten der Natur. Heute werden täglich in Afrika, in Südostasien und Lateinamerika große Flächen tropischer Regenwälder und Savannen abgebrannt oder gerodet, um Platz für Ackerfläche zu schaffen. Zwischen dem Jahr 2000 und 2006 gingen allein in Amazonien jedes Jahr Regenwaldflächen von der Größe Hessens (21.000 Quadratkilometer) durch Kahlschlag verloren, meist, um dem Sojaanbau Platz zu machen. Auf politischen Druck vieler Gruppen wurde das Tempo der Entwaldung inzwischen gedrosselt.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN



FORSCHERTISCH

Forschertisch

BLITZE PRODUZIEREN DÜNGER

Durch Blitze wird Luftstickstoff in reaktiven Stickstoff umgewandelt. Gewitterregen enthält Salpetersäure und Nitrate, die das Pflanzenwachstum ankurbeln. Die Norweger Kristian Birkeland und Sam Eyde versuchten daher 1903, das Gewitter nachzuahmen, um Stickstoff zu binden. Sie stellten mit elektrischen Lichtbögen aus Stickstoff und Sauerstoff Stickoxide her. Daraus konnten dann Düngemittel oder Sprengstoffe hergestellt werden. Das Verfahren verschlang aber gewaltige Mengen elektrischer Energie und konnte sich daher nicht durchsetzen. In der Mikrowelle kann man das Birkeland-Eyde-Verfahren imitieren. Aus Stickstoff und Sauerstoff entstehen dabei Stickoxide.



GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

ALLGEMEINE AUSSTELLUNGSINFORMATIONEN

Die Ausstellung erzählt die Geschichte des Stickstoffs mit einzigartigen Exponaten, interaktiven Stationen und faszinierenden Experimenten. Die Geschichte des Stickstoffs ist aktuell – vor 100 Jahren (1913) wurde der erste Kunstdünger in Ludwigs-hafen produziert. Heute erzeugt der Mensch mehr reaktiven Stickstoff auf technischem Weg, als durch alle natürlichen Prozesse auf der Landoberfläche entsteht. Einerseits konnten dadurch die Ernten pro Hektar verdoppelt, teilweise sogar verdreifacht werden. Mehr Menschen können ernährt werden, das Wachstum der Weltbevölkerung von weniger als zwei (1913) auf heute sieben Milliarden Menschen ist durch dieses Verfahren ermöglicht worden. Doch es gibt auch Schattenseiten. Der größte Teil des künstlichen Stickstoffs verteilt sich in Wasser, Boden und Luft und beschädigt natürliche Ökosysteme. Sowohl in der Ostsee wie auch im Golf von Mexiko bilden sich jedes Jahr riesige tote Zonen aufgrund der Belastung mit Dünger, der in diese Meere hineingespült wird.

PLATZBEDARF

Die Ausstellung kann mit allen Elementen auf 150 Quadratmetern gezeigt werden. Sie entfaltet sich jedoch auch gut auf einer Fläche von 400 Quadratmetern. Steht nur eine geringere Fläche als 150 Quadratmeter zur Verfügung, kann auf den Aufbau einzelnen Stationen verzichtet werden, der Ausstellungsfaden bleibt trotzdem erhalten, sofern Anfang und Ende gezeigt werden. Es besteht die Möglichkeit die Kapitelnummerierung individuell anzupassen.

Um zügige und verlustfreie Umzüge zu ermöglichen, werden viele Elemente der Ausstellung in Transportkisten verpackt, welche während der Standzeit vom Leihnehmer eingelagert werden müssen. Der Platzbedarf beträgt rund 12 Kubikmeter.

GRÜNER KLEE UND DYNAMIT

DER STICKSTOFF UND DAS LEBEN

TEAM

Dr. Jens Soentgen / Wissenschaftlicher Leiter des Wissenschaftszentrums Umwelt der Universität Augsburg

Gerda Tschira / Gründerin des Carl Bosch Museums Heidelberg

Sabine König / Geschäftsführerin des Carl Bosch Museums Heidelberg

Jan Dübbers / Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Carl Bosch Museums Heidelberg

Dr. Claudia Schmidt / Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg

Knut Völzke / Leise Integrated Design

AUSSTELLUNGSGESTALTUNG

Leise Integrated Design, Frankfurt am Main

www.leise-leise.com

KONTAKT

Wissenschaftszentrum Umwelt (WZU)

Universität Augsburg

Universitätsstraße 1a

86159 Augsburg

Dr. Jens Soentgen

Telefon 0049 (0)821 598 3560

E-Mail soentgen@wzu.uni-augsburg.de

www.stickstoffausstellung.de

Stand 09.07.2014