

Urania



**„Ihr seid alle Mischlinge -
mit Migrationshintergrund“**

**Informationsschrift des
NATURWISSENSCHAFTLICHEN VEREINS ZU LÜBECK**

Nr. 54 – 2022 / 2023



**Naturwissenschaftlicher
Verein zu Lübeck e.V.
gegründet 1872**

Urania

Informationsschrift des
Naturwissenschaftlichen Vereins zu Lübeck e.V., gegr. 1872
Der Verein ist eine Tochter der GEMEINNÜTZIGEN in Lübeck

Redaktion:

Dr. Wolfgang Czieslik – Email: vorstand@nwv-luebeck.de

Verantwortlich im Sinne des Presserechtes sind die Autorinnen/Autoren der Beiträge. Die in den Beiträgen wiedergegebenen Meinungen müssen nicht mit denen der Redaktion übereinstimmen.

Dieses Heft enthält Links zu externen Websites Dritter, auf deren Inhalt der NWV zu Lübeck keinen Einfluss hat. Für die Inhalte der verlinkten Seiten sind die jeweiligen Anbieter oder Betreiber der Seiten verantwortlich.

Geschäftsadresse des Vereins:

NWV c/o Museum für Natur und Umwelt, Musterbahn 8, 23552 Lübeck
Internet: <https://www.nwv-luebeck.de/>

Vorstand:

- 1. Vorsitzender: Dr. Jens-Uwe Hagenah
- 2. Vorsitzende: Dr. Wolfgang Czieslik
- Kassenwart: Uwe Spiekermann
- Beisitzer: Michael Möllers, Dr. Eckhard Scheufler

Beratende Mitglieder:

Dr. Wolfram Eckloff
Prof. em. Dr. Dietrich von Engelhardt
Prof. em. Dr. Rudolf Taurit

Mitgliedsbeiträge: Erwachsene 36 € (ermäßigt 15 €), Paare 45 €, Schüler/Studierende beitragsfrei.

Bankverbindung für Mitgliedsbeiträge und Spenden (abzugsfähig):

Sparkasse zu Lübeck,

IBAN: DE25 2305 0101 0001 0082 75, BIC: NOLADE21SPL

Die URANIA ist für Mitglieder kostenlos im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Preis dieses Heftes: 10 € im Einzelbezug

Satz und Layout: Wolfgang Czieslik, Stockelsdorf

Umschlagmotiv:

Modell des Neandertalers im Foyer des Neandertaler Museums in Mettmann

Zitat aus dem Vortrag von B. Kunze in diesem Heft



Inhalt

Vorwort zu den Themen dieses Heftes	2
Veranstaltungen 2022/2023	3
Medizin-Nobelpreis 2022: Svante Pääbo, der Neandertaler und ein neues Forschungsgebiet	4
Desoxyribonucleinsäure (DNA) – Träger der Erbinformation	19
Methoden zur Untersuchung von DNA-Material	23
Die Vervielfältigung der DNA mit der Polymerase Chain Reaktion (PCR)	23
Gelelektrophorese der DNA	24
Sequenzierung der DNA	25
Unsere Erde ist endlich	28
Eigenrotation der Sonne	43
Unser Buchtipp	44
Natur vor der Haustür	45
Nobelpreis Chemie: 2022 – Click - Chemie	47
Mitteilungen aus dem Verein	51
Nachruf auf Hans-Dieter Reusch	51
Jahreshauptversammlung 2023	52
Jahresbericht für 2022	52
Haushaltsübersicht 2022 und Plan 2023	54
Protokoll der Jahreshauptversammlung des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Lübeck	55

Vorwort zu den Themen dieses Heftes

Liebe Leserinnen und liebe Leser!

In dieser Ausgabe der Urania beschäftigen wir uns mit den Nobelpreisen 2022 für Medizin und Chemie, einem einfachen Nachweis, dass die Sonne keine Scheibe, sondern ein kugelförmiger Stern ist, der Natur vor der Haustür und den Ressourcen unserer Erde.

„Medizin-Nobelpreis 2022: Svante Pääbo, der Neandertaler und ein neues Forschungsgebiet“ heißt der Bericht über den Vortrag, den Frau Dr. Bärbel Kunze am 21. März 2023 im Großen Saal der Gemeinnützigen hielt. Svante Pääbo erhielt 2022 den Medizin Nobelpreis für die Entschlüsselung des Genoms des Neandertalers und die Begründung der Paläo-Genetik als neues Forschungsgebiet.

In dem Bericht **„Unsere Erde ist endlich“** über den Vortrag, den Dr. Wolfgang Czeslik in der Jahreshauptversammlung am 2. März 2023 hielt, geht es um unsere Lebensweise angesichts des Klimawandels und um die Nutzung der Ressourcen, die uns die Erde zur Verfügung stellt.

In dem Beitrag **„Nobelpreis für Chemie 2022: Click Chemie“** wird eine Synthesemethode beschrieben, durch die die Verknüpfung von zwei Molekülen stark vereinfacht wird und die auch für die Untersuchung der Interaktion von Biomolekülen in lebenden Zellen verwendet werden kann. Prof. Dr. Carsten Niemitz zeigt uns die **„Natur vor der Haustür“** und beschreibt ein einfaches Verfahren, mit dem gezeigt werden kann, dass die Sonne keine Scheibe sondern ein kugelförmiger Körper ist.

Unser Jubiläumsbuch **„NaWi(e) war das ? – 150 Jahre Naturwissenschaftlicher Verein zu Lübeck“** und aktuelle Informationen und Berichte über die Veranstaltungen des Vereins finden Sie auch auf unserer Homepage unter <https://www.nwv-luebeck.de>.

Viel Freude bei der Lektüre wünscht Ihnen

Ihr Wolfgang Czeslik

Veranstaltungen 2022/2023

Unter dem Motto „NaWi(e) war das? – NaWi(e) geht das?“ haben wir am **17. November 2022** das **150jährige Vereinsjubiläum** mit einem vielfältigen Programm in der Gemeinnützigen gefeiert. Prof. Dr. Dietrich von Engelhardt beschäftigte sich mit „Naturwissenschaft und Bildung – Dimensionen und Stationen in der Neuzeit“ und in einer Podiumsdiskussion, moderiert von Dr. Jens-Uwe Hagenah, ging es um „Fakten versus Fake News - Vermittlung naturwissenschaftlicher Kenntnisse, Methoden und Denkweisen“. Das Programm wurde durch das Große Moorlied, der szenischen Darstellung des Chemischen Kapitels der Wahlverwandtschaften, gespielt von Mitgliedern der Schauspielschule der Gemeinnützigen, und Musikbeiträgen der Musikschule der Gemeinnützigen abgerundet. Alle Beiträge sind als Audio-Dateien auf unserer Homepage abrufbar (<https://www.nwv-luebeck.de/unser-archiv/veranstaltungen-2022/150-jahre-nwv/>)

Im regelmäßig stattfindenden **Gesprächskreis** tauschten sich die Teilnehmenden im Berichtszeitraum aus über

- Aktivitäten im Jahr 2023
- Bioinformatik (Vortrag von Dr. Patrick Buchholz)
- Nobelpreis für Chemie 2022
- Energiewende, Wärmewende, Nutzung von Wasserstoff
- CMD Therapie mit Kiefergelenkorthopädie (Vortrag von Dr. Klaus Herrmann)

Familienworkshops

Unter dem Motto „NaWi(e) geht das? – Entdeckungsreisen in die Welt der Chemie und Physik“ konnten Erwachsene zusammen mit Kindern am Internationalen Museumstag (15. Mai 2022), am 18. September 2022, am 6. November 2022, am 22. Januar 2023, am 5. März 2023 und am Internationalen Museumstag (21. Mai 2023) Chemie- und Physikexperimente mit Materialien, die man im Supermarkt, in der Drogerie oder im Baumarkt kaufen kann, durchführen. Außerdem konnten wir am 12. Februar 2023 wieder den Workshop NaWi(e) geht das? - Entdeckungsreise in die Welt der Biologie anbieten, in dem Fragen wie „Wie entsteht Sauerkraut?“, „Was genau sind die Enzyme?“, „Woraus besteht ein Ei?“ oder „Wieso wird die Hefe dem Kuchen zugesetzt?“ beantwortet wurden.

Vortragsveranstaltungen

Im Rahmen der Jahreshauptversammlung am 2. März 2023 hielt Dr. Wolfgang Czieslik einen Vortrag zum Thema „Unsere Erde ist endlich“.

Der Dienstagsvortrag am 21. März 2023 zum Thema „Medizin-Nobelpreis 2022: Svante Pääbo, der Neandertaler und ein neues Forschungsgebiet“ wurde von Frau Dr. Bärbel Kunze gestaltet.

Medizin-Nobelpreis 2022: Svante Pääbo, der Neandertaler und ein neues Forschungsgebiet ¹

Bericht nach dem Vortrag von Frau Dr. Bärbel Kunze, Universität zu Lübeck, am 21. März 2023 in Großen Saal der Gemeinnützigen in Lübeck

Wolfgang Czieslik

Der Nobelpreis für Physiologie oder Medizin 2022 wurde an Svante Pääbo für die Entschlüsselung der Genome ausgestorbener Hominiden und seine Beiträge zur Evolution des Menschen verliehen.

„Die Menschheit hat sich schon immer für ihre Ursprünge interessiert. Woher kommen wir, und wie sind wir mit denen verwandt, die vor uns kamen? Was unterscheidet uns, den Homo Sapiens, von anderen Hominiden? Durch seine bahnbrechenden Forschungen hat Svante Pääbo etwas scheinbar Unmögliches geschafft: die Sequenzierung des Genoms des Neandertalers, eines ausgestorbenen Verwandten des heutigen Menschen. Außerdem machte er die sensationelle Entdeckung eines bisher unbekanntes Hominiden, Denisova. Pääbo fand auch heraus, dass ein Gentransfer von diesen nun ausgestorbenen Hominiden auf den Homo Sapiens nach der Migration aus Afrika vor etwa 70.000 Jahren stattfand. Dieser uralte Genfluss auf den heutigen Menschen hat auch heute noch eine physiologische Bedeutung, er beeinflusst zum Beispiel, wie unser Immunsystem auf Infektionen reagiert.

Pääbos bahnbrechende Forschungen führten zur Entstehung einer völlig neuen wissenschaftlichen Disziplin: der Paläogenetik.

Pääbos Entdeckung der genetischen Unterschiede, die alle lebenden Menschen von den ausgestorbenen Hominiden unterscheiden, bilden die Grundlage für die Erforschung dessen, was uns zu einzigartigen Menschen macht“.²



Der Neandertaler und wir: Svante Pääbo erhält den Medizin-Nobelpreis für seine Pionierarbeiten auf dem Gebiet der Paläogenetik. © Karsten Möbius

Abb. 1: Svante Pääbo; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Svante Pääbo wurde 1955 in Stockholm geboren, interessierte sich schon sehr früh für ägyptische Geschichte und ägyptische Mumien (Ägyptenreise im Jahr 1968) und begann 1975 ein Studium der Geschichte und Ägyptologie an der Universität Uppsala. Zwei Jahre später wechselte er zum Medizinstudium in Uppsala ohne sein Studium der ägyptischen Geschichte aufzugeben. Von 1981 bis 1986 war er Doktorand am Institut für Zellbiologie der Universität Uppsala. In dieser Zeit gelang ihm unabhängig von seinem Promotionsthema erstmals die

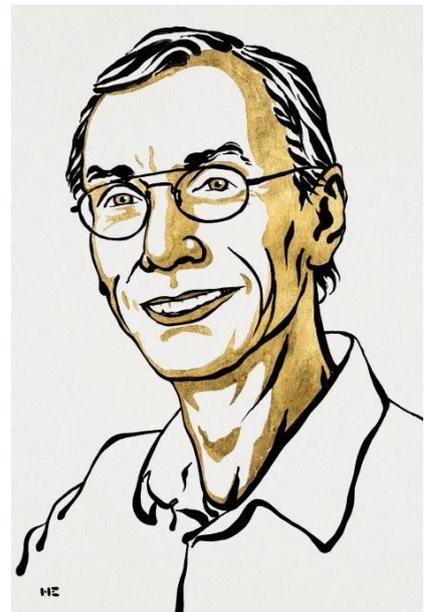


Abb. 2: Svante Pääbo
Bild: Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Klonierung der DNA einer Mumie (veröffentlicht in Nature 314, 644-645 (1985)). Nach der Promotion 1986 waren seine Post-Doc Stationen das Institut für Molekularbiologie der Universität Zürich und das Institut für Biochemie der University Berkley, wo er genetische Untersuchungen an Fossilien von Mammuts und Höhlenbären durchführte. 1990 habilitierte er im Fach Medizinische Genetik an der Universität Uppsala und war danach bis 1998 Professor für Biologie an der Universität München. 1997 publizierte er die erste DNA eines Neandertalers und wurde 1998 Direktor am Max Planck Institut für Evolutionäre Anthropologie in Leipzig. 2013 veröffentlichte er das erste vollständige Neandertaler Genom und 2020 charakterisierte er genetisch eine weitere Menschenform, den Denisovaner.

Genetische Untersuchungen an fossilen Materialien

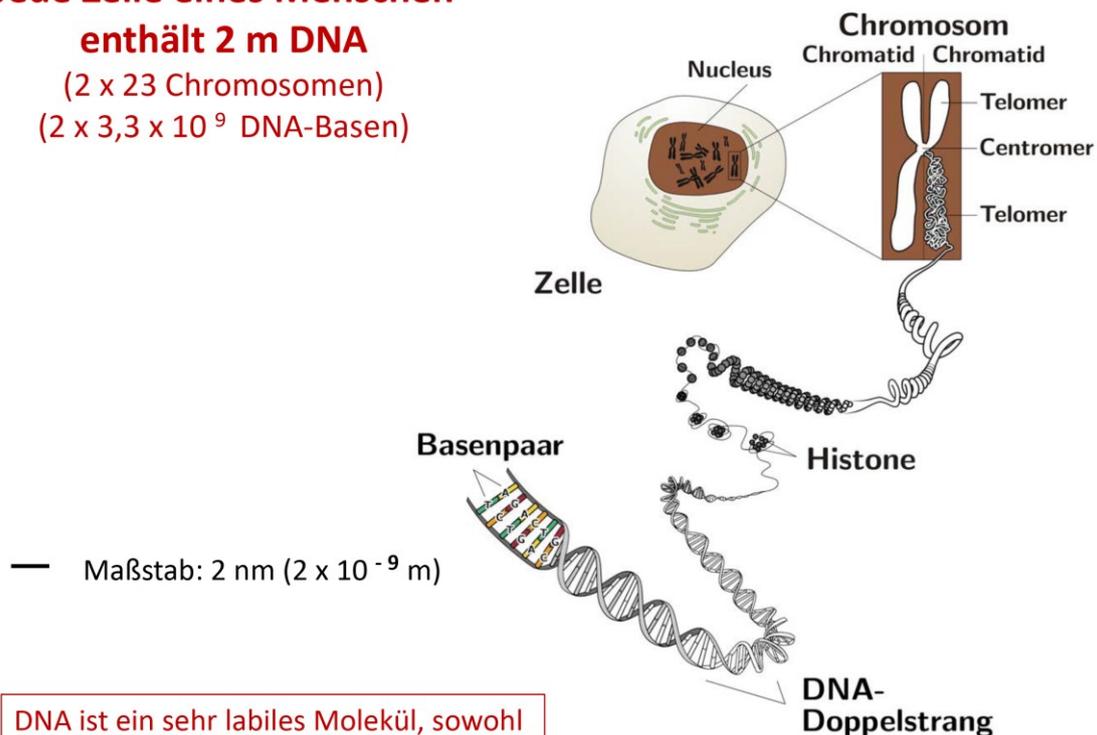
Jede Zelle, ausgenommen die Zellen der roten Blutkörperchen, enthalten in ihrem Kern den Bauplan des Lebens, die DNA³. Die DNA ist in bestimmten Phasen des Zelllebens in den Chromosomen verpackt. Würde man den DNA Faden aus den Chromosomen herausziehen, – dies ist in der Praxis nicht möglich – dann ergäbe dies einen 1 m langen Faden. Es handelt sich also um ein sehr langes Molekül, das allerdings nur einen sehr kleinen Durchmesser hat, nämlich 2 nm (2×10^{-9} m). Wenn man 40.000 DNA Stränge nebeneinanderlegt, dann erhält man den Durchmesser eines dickeren Menschenhaares (Durchmesser eines Menschenhaares: 0,05 mm – 0,08 mm oder 5×10^{-4} m – 8×10^{-5} m).

Jede Zelle eines Menschen

enthält 2 m DNA

(2 x 23 Chromosomen)

(2 x $3,3 \times 10^9$ DNA-Basen)



Quelle: de.m.wikipedia.org 9

Abb. 3: Informationen zur DNA; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Die DNA ist ein sehr labiles Molekül, das durch mechanische und chemische Einflüsse relativ leicht verändert und damit in seiner Funktion gestört werden kann. Für einen Organismus ist es allerdings wichtig, dass die DNA bei der Zellteilung intakt und vollständig an die nächste Genera-

tion weitergegeben wird. In der lebenden Zelle wird daher ein sehr großer Aufwand betrieben, um beschädigte DNA Stränge zu reparieren. In einem toten Organismus gibt es diese Reparaturmechanismen nicht mehr, so dass die DNA sich mit der Zeit so stark verändert, dass die Analyse des DNA-Materials stark erschwert oder gar nicht mehr möglich ist.

DNA-Strangbrüche können in totem Material nicht repariert werden; sie entstehen durch DNA-abbauende Enzyme und durch chemische Einflüsse.

Die DNA in totem Material bleibt am besten erhalten ...

- in Trockenheit
- unter Sauerstoff-Abschluß
- im Permafrost
- in abgeschlossenem Hartgewebe (Knochen oder Zähne)

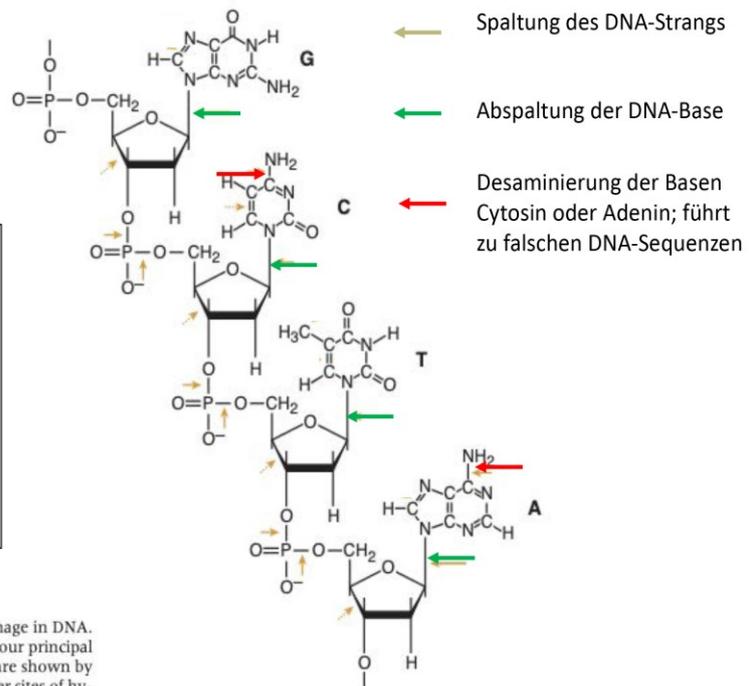


Figure 2-1 Major sites of hydrolytic and oxidative damage in DNA. A short segment of one DNA strand is shown with the four principal DNA bases. The major sites of hydrolytic depurination are shown by long solid gold arrows. Short solid gold arrows show other sites of hydrolytic attack. Major sites of oxidative damage are indicated by the dotted gold arrows. (Adapted from reference 294.)

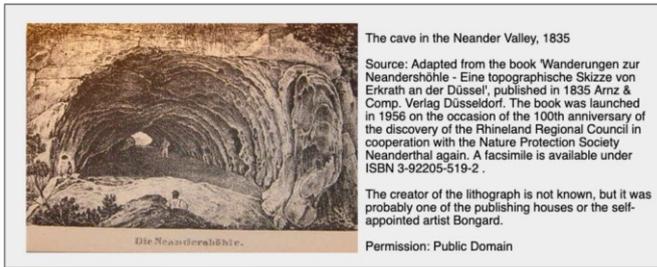
Verändert nach: E. Friedberg et al., DNA Repair and Mutagenesis, 2004

Abb. 4: Veränderung der DNA in toten Organismen durch verschiedene Einflüsse; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Das DNA-Material, mit dem Svante Pääbo gearbeitet hat stammt aus der kleinen Feldhofer Grotte bei Düsseldorf und aus der Denisova – Höhle. In der kleinen Feldhofer Grotte im Neandertal bei Düsseldorf wurde 1856 der Prototyp des Neandertalers gefunden. Das Skelett ist etwa 39.000 Jahre alt. In den 1970er Jahren wurden in der Denisova-Höhle im Altai-Gebirge in Sibirien zahlreiche Steinwerkzeuge, Schmuckstücke und fossile Knochenreste gefunden, die dem Denisova Menschen zugeordnet werden. Das DNA-haltige Material war 30.000 bis 100.000 Jahre lang ungeschützt den Umwelteinflüssen ausgesetzt.

Um die Qualität des DNA –Materials zu überprüfen, trennt man die unterschiedlich langen DNA Sequenzen in einem elektrischen Feld auf (Gel – Elektrophorese; s. Artikel „Methoden zur Untersuchung von DNA-Material“ in diesem Heft). Mit frischer DNA erhält man wenige scharfe Banden, die DNA – Sequenzen mit etwa 2.000 bis 20.000 Basenpaaren entsprechen (s. Abb. 6). Bei einer Gel-Elektrophorese von DNA-Material, das Pääbo aus alten ägyptischen Mumien isoliert hatte, sind nur unscharfe Streifen zu erkennen, die DNA-Sequenzen mit einigen hundert Basenpaaren entsprechen. Diese einige tausend Jahre alte DNA besitzt also in einem Strang nur 1% der Basen, die man in frischer DNA findet.

Funde bzw. Arbeiten in Höhlen



Fundort des Neandertaler-Typus-Exemplars

- Kleine Feldhofer Grotte
- Im Neandertal bei Düsseldorf
- Kalkabbau
- Erste Funde: 1856
- Alter des Skeletts: ca. 39.000 Jahre

Arbeiten in der Denisova-Höhle



Dort wird DNA-haltiges Material geborgen, das 30.000 bis 100.000 Jahre lang ungeschützt den Umwelteinflüssen ausgesetzt war.

Quelle: Spiegel-online; 22.12.2012

12

Abb. 5: Fundorte von DNA-Material, mit dem Svante Pääbo arbeitete;
Bildquelle: Vortrag B. Kunze

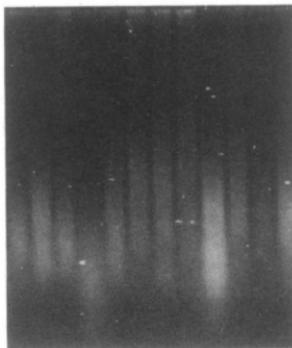
Gel-elektrophoretische Auftrennung von ...

alter DNA

und

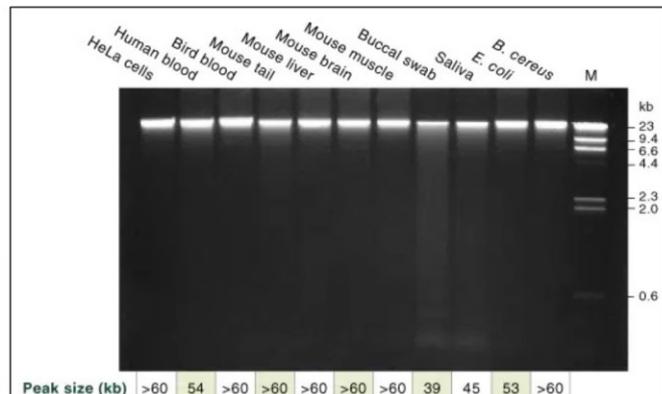
frischer DNA

ABCDEFGHIJKL



– 527 bp,
d.h. 0,53 kb

– 122 bp,
d.h. 0,12 kb



Quelle: New England Biolabs

FIG. 1. Agarose gel electrophoresis of DNA extracted from the remains of 12 old dry tissues. The gel contained 2% agarose and DNA was visualized by ethidium bromide. Letters refer to the samples analyzed (see *Materials and Methods*). Migration positions of molecular size markers are indicated in bp.

Alter dieser DNA: 3.000 bis 15.000 Jahre; je älter das Material, umso fragmentierter ist die DNA

14

Aus: S. Pääbo, 1989, PNAS, Vol 86, pp 1939-1943

Abb. 6: Gel-Elektrophorese von alter und frischer DNA; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Durch die Entwicklung der PCR – eine sehr effektive Methode zur Vervielfältigung der DNA (s. Artikel „Methoden zur Untersuchung von DNA-Material“ in diesem Heft) – vor etwa 40 Jahren, war es möglich geworden, sehr kleine Mengen an DNA sicher nachzuweisen und einem Organismus zuzuordnen.

Mit der PCR wird allerdings jedes einzelne DNA - Molekül, das sich in der zu untersuchenden Probe befindet, auch jede DNA – Verunreinigung, vervielfältigt. Neben der DNA von Primaten findet sich in den Proben DNA von Insekten, Bakterien und ggf. auch größeren Tieren. In dem Beispiel von Abb. 7 stammen nur 6% der vervielfältigten DNA von Primaten. Die zu vervielfältigenden Moleküle müssen mindesten eine Länge von 60 Basenpaaren haben. Durch die oben beschriebenen chemischen Veränderung der DNA während der Lagerung, insbesondere die Desaminierung, entstehen veränderte DNA – Sequenzen, die zu falschen Zuordnungen führen oder die gar nicht zugeordnet werden können.

Bei der Vervielfältigung der ancient DNA mittels PCR ergeben sich neue Probleme

- Es wird JEDES enthaltene DNA-Molekül vermehrt werden, auch jede Kontamination.
- In diesem Experiment sind nur sechs Prozent der amplifizierten DNA homolog zu Primaten-DNA; stammen also vom moderner Mensch oder vom Neandertaler.

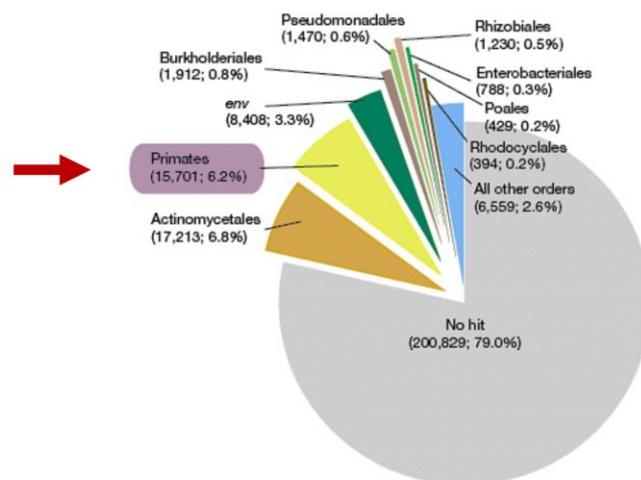


Figure 2 | Taxonomic distribution of DNA sequences from the Vi-80 extract. The taxonomic order of the database sequence giving the best alignment for each unique sequence read was determined. The most populous taxonomic orders are shown.

17

Quelle: Green et al., Nature, 16. November 2006

Abb. 7: Zusammensetzung des DNA – Materials in einer typischen Probe;
Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Die Primaten DNA, die Pääbo untersucht hat, besteht in den meisten Fällen aus der DNA des Neandertalers und der des modernen Menschen. Wenn man Glück hat – dies ist eher selten – findet man in dem Material 90% Neandertaler - DNA (s. Abb. 8).

Kontamination verschiedener Neandertaler-DNAs mit DNA des modernen Menschen

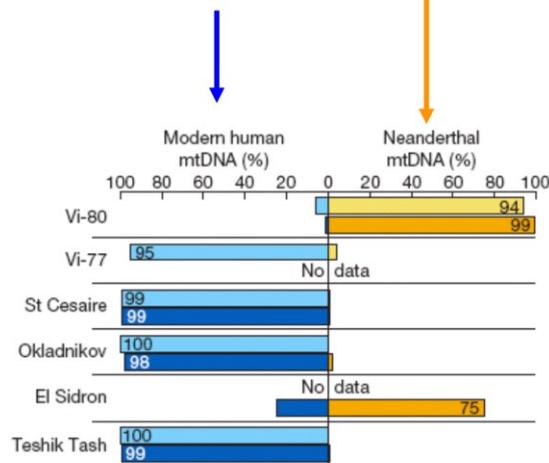


Figure 1 | Ratio of Neanderthal to modern human mtDNA in six hominid fossils. For each fossil, primer pairs that amplify a long (119 base pairs; upper lighter bars) and short (63 base pairs; lower darker bars) product were used to amplify segments of the mtDNA hypervariable region. The products were sequenced and determined to be either of Neanderthal (yellow) or modern human (blue) type.

Quelle: Green et al., Nature, 16. November 2006

14

Abb. 8: Zusammensetzung von Primaten - DNA aus verschiedenen Proben;
Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Von der ersten Neandertaler-DNA-Sequenz zum vollständigen Neandertaler Genom (1997 – 2013)

Nachdem sich durch die Entwicklung der PCR die Voraussetzungen für die Untersuchung der DNA sehr stark verbessert hatten und außerdem Erfahrungen bei der genetischen Untersuchung an Fossilien von Mammuts und Höhlenbären vorlagen, begann Svante Pääbo 1996 mit der Untersuchung von DNA aus Fossilien des Neandertalers. Dazu konnte er Material aus 39.000 Jahre alten Knochen des Neandertalers, die sich im LVR-Landesmuseum Bonn befinden, isolieren und untersuchen.

Isolierung von DNA aus Knochenmaterial (1996)



2 x 0,4 g Knochenmaterial
- Erhaltungszustand
- Kontaminationen
- Schutzmaßnahmen

Isolation und Vervielfältigung der DNA mit Hilfe der PCR-Technik.

Abb. 9: Isolierung von DNA –Material aus Knochen;
Bildquelle: Vortrag B. Kunze

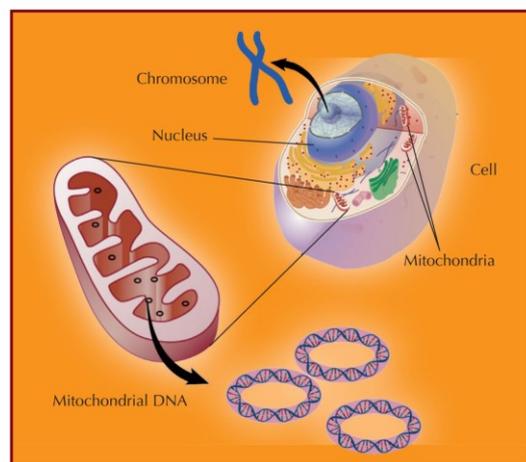
25

Um den Eintrag von Fremd-DNA – menschliche DNA, an den Instrumenten und Gefäßen anhaftende DNA von Bakterien u.a. – zu verhindern, musste die Isolierung und Aufarbeitung des Materials aus den Knochen unter Reinraum-Bedingungen durchgeführt werden. In der Erwartung, dass sich im Innern der Knochen noch Reste von Knochenmark-Zellen finden lassen wurden zwei Proben zu jeweils 0,4g Knochenmehl aus den Knochen entnommen. Eine Probe schickte Pääbo an ein befreundetes Labor in Großbritannien. Dort wurden die gleichen Untersuchungen durchgeführt, die Pääbo in seinem Institut, dem Max Planck Institut für Evolutionäre Anthropologie in Leipzig, durchführte. Damit konnten Fehler, die zu falschen Interpretationen führen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Für die ersten Untersuchungen wurde DNA aus den Mitochondrien, dem Kraftwerk in den Zellen, verwendet, da dort pro Zelle etwa 1000 DNA-Sequenzen vorliegen. Im Zellkern dagegen befinden sich nur jeweils zwei DNA-Stränge, die die Erbinformationen in sich tragen. Die ringförmige mitochondriale DNA ist außerdem weniger anfällig für Zersetzungsprozesse als die lange DNA Kette im Zellkern.

Welche DNA-Sequenz wurde in diesem Pilot-Experiment mittels PCR amplifiziert?

DNA – haltige Zellorganellen



26

Abb. 10: Zellorganellen in denen DNA erhalten ist; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Die mitochondriale DNA (mtDNA) wird mit der PCR-Technik vervielfältigt. Da mit der PCR alle DNA-Sequenzen vervielfältigt werden, – die ggf. vorhandene Neandertaler DNA genauso wie die von Bakterien, Höhlenbären u.a. – müssen diese Sequenzen voneinander getrennt werden. Dazu werden die gewonnenen PCR-Produkte in Plasmide – kleine, ringförmige doppelsträngige DNA-Moleküle, die in Bakterien vorkommen – kloniert und in *Escherichia coli* – Zellen eingefügt. Jede *Escherichia coli* –Zelle übernimmt dabei nur ein DNA-Molekül und trennt damit die unterschiedlichen DNA-Moleküle voneinander.

Klonierung der gewonnenen PCR-Produkte in Plasmide und Transformation von *Escherichia coli* - Zellen

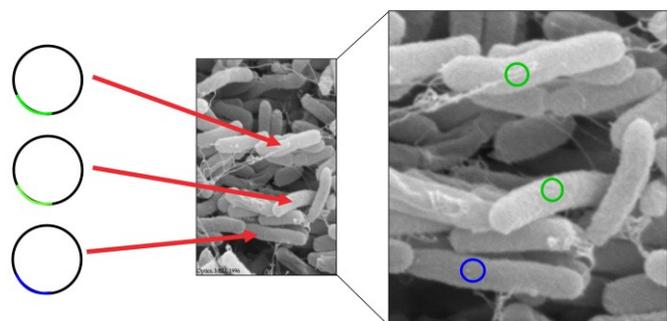
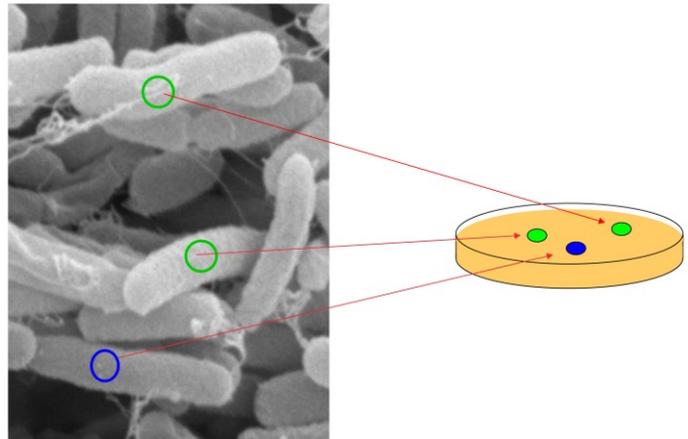


Abb. 11: Klonierung von PCR-Produkten in Plasmide und Transformation in *Escherichia coli* Zellen; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Ausplattieren der transformierten *E. coli*- Zellen und Vermehrung der Bakterien über Nacht

Die Zellen werden auf einem Nährboden ausgebracht, wo sie sich vermehren können. Aus jeder *Escherichia coli* – Zelle entsteht eine Bakterien-Kolonie mit identischen Zellen.

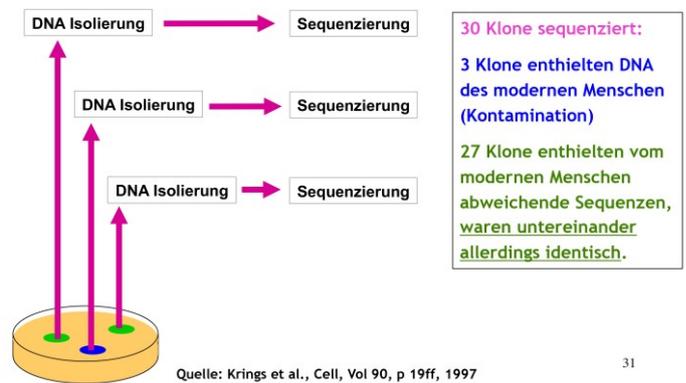


30

Abb. 12: Ausbringung der *Escherichia coli* –Zellen auf einem Nährboden, wo Bakterien-Kolonien mit jeweils identischen Zellen gebildet werden; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Aus den einzelnen Kolonien wird die Plasmid-DNA isoliert und dann sequenziert. Insgesamt wurden in diesem Experiment 30 Klone untersucht. Drei dieser Klone enthielten DNA des modernen Menschen. Aber 27 Klone enthielten Sequenzen, die von denen des modernen Menschen abweichen, aber untereinander identisch waren. Dies waren mtDNA-Sequenzen des Neandertalers (Abb. 13).

Isolierung der Plasmid-DNA aus den einzelnen Kolonien und Sequenzierung der DNA



31

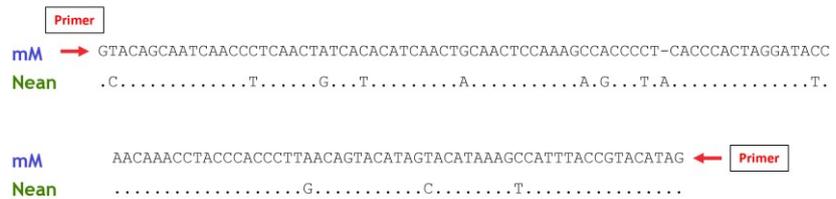
Abb. 13: Isolierung der Plasmid-DNA und Sequenzierung; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Im folgenden Schritt werden mtDNA-Sequenzen des modernen Menschen mit den in den beschriebenen Experimenten erhaltenen mtDNA-Sequenzen des Neandertalers verglichen, indem die Sequenzen mit entsprechenden Computerprogrammen so übereinander geschrieben werden, dass die Sequenzen zueinander passen. In der Abb. 14 werden alle Stellen, in denen die Neandertaler mtDNA mit der des modernen Menschen übereinstimmen mit einem Punkt gekennzeichnet. An den anderen Stellen stehen die entsprechenden Basen. In dem dargestellten Abschnitt unterscheiden sich die Sequenzen in 10% der Basen. Vergleicht man die mtDNA verschiedener Individuen des modernen Menschen miteinander, so erhält man einen Unterschied von etwa 2,2%. Dies bedeutet, dass die mtDNA in den 27 Klonen nicht dem modernen Menschen zugeordnet werden kann, es ist mtDNA des Neandertalers.

Diese Ergebnisse wurden 1997 veröffentlicht. Danach begann Pääbo mit der Untersuchung der DNA aus dem Zellkern der Knochenmarkszellen, die aus dem Knochenmehl des Neandertaler Knochens isoliert wurde. Am 16. November 2006 erschien in *Nature* ein Artikel, in dem mitgeteilt wurde, dass die erste Million Basen aus dem Kerngenom eines Neandertalers sequenziert worden sind.⁴

Da das Kerngenom etwa 3,3 Milliarden DNA-Basen enthält, entsprechen die sequenzierten eine Million Basenpaare etwa 0,03 % des Genoms. Um das Neandertaler Genom vollständig zu sequenzieren, musste man etwa 39 Millionen DNA-Bruchstücke sequenzieren – die Bruchstücke sind etwa 80 -85 Basen lang –und diese DNA noch in der richtigen Reihenfolge zusammenlegen. Dazu geht man grundsätzlich genauso vor wie es für die mtDNA beschrieben wurde. Man richtet die kurzen Bruchstücke des Neantaler-Genoms am vollständigen Referenzgenom des modernen Menschen aus (alignment).

Vergleich der erhaltenen mtDNA-Sequenzen: Moderner Mensch (mM) - Neandertaler (Nean)



13 Basenaustausche in 129 bzw. 130 Basen, d.h. ca. 10% Unterschied zwischen modernem Menschen und Neandertaler.
Moderne Menschen unterscheiden sich in diesem nicht-kodierenden Bereich der mtDNA um ca. 2,2%.

Sequenzen: Persönliche Mitteilung M. Mörl, MPI für evolutionäre Anthropologie, Leipzig

29

Abb. 14: Vergleich der mtDNA-Sequenzen des Modernen Menschen und des Neandertalers; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Das fossile Material ist in der Regel sehr stark mit Fremd-DNA kontaminiert, insbesondere von Bakterien. Die Analyse des Neandertaler-Kerngenoms wurde erst durch die rasante Entwicklung der Sequenzieretechnik seit der Jahrtausendwende möglich. Im Jahr 2000, als das menschliche Genom veröffentlicht wurde, konnten weniger als 1000 Kilobasen pro Tag und Sequenziermaschine analysiert werden; etwas mehr als 10 Jahre später sind es mehr als 1 Milliarde Kilobasen pro Tag und Maschine.

Die Analyse des Neandertaler-Kerngenoms wurde erst durch die rasante Entwicklung der Sequenzieretechnik seit der Jahrtausendwende möglich. Im Jahr 2000, als das menschliche Genom veröffentlicht wurde, konnten weniger als 1000 Kilobasen pro Tag und Sequenziermaschine analysiert werden; etwas mehr als 10 Jahre später sind es mehr als 1 Milliarde Kilobasen pro Tag und Maschine.

Am 2. Januar 2014 wurde das erste Neandertaler Genom in Nature publiziert.⁵

Diese Arbeiten wurden erst möglich, durch die sich rasant weiter entwickelnde Sequenzier-Technik (etwa seit 2005)

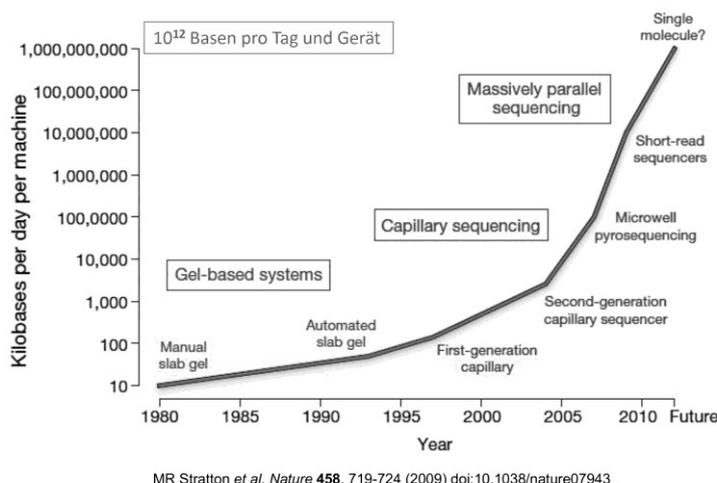


Abb. 15: Entwicklung der Sequenzier-Technik im Zeitraum von 1980 bis 2015; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains (Abstract)

Kay Prüfer, Fernando Racimo, Nick Patterson, Flora Jay, Sriram Sankararaman, Susanna Sawyer, Anja Heinze, Gabriel Renaud, Peter H. Sudmant, Cesare de Filippo, Heng Li, Swapan Mallick, Michael Dannemann, Qiaomei Fu, Martin Kircher, Martin Kuhlwilm, Michael Lachmann, Matthias Meyer, Matthias Ongyerth, Michael Siebauer, Christoph Theunert, Arti Tandon, Priya Moorjani, Joseph Pickrell, ...Svante Pääbo

Nature volume 505, pages 43–49 (2014)

We present a high-quality genome sequence of a Neanderthal woman from Siberia. We show that her parents were related at the level of half-siblings and that mating among close relatives was common among her recent ancestors. We also sequenced the genome of a Neanderthal from the Caucasus to low coverage. An analysis of the relationships and population history of available archaic genomes and 25 present-day human genomes shows that several gene flow events occurred among Neanderthals, Denisovans and early modern humans, possibly including gene flow into Denisovans from an unknown archaic group. Thus, interbreeding, albeit of low magnitude, occurred among many hominin groups in the Late Pleistocene. In addition, the high-quality Neanderthal genome allows us to establish a definitive list of substitutions that became fixed in modern humans after their separation from the ancestors of Neanderthals and Denisovans.

Die vollständige Genom-Sequenz eines Neandertalers aus dem Altai Gebirge (Abstract)

Wir präsentieren eine hochwertige Genomsequenz einer Neandertalerin aus Sibirien. Wir zeigen, dass ihre Eltern auf der Ebene von Halbgeschwistern verwandt waren und dass die Paarung zwischen nahen Verwandten unter ihren jüngsten Vorfahren üblich war. Wir sequenzierten auch das Genom eines Neandertalers aus dem Kaukasus mit geringer Abdeckung. Eine Analyse der Beziehungen und der Populationsgeschichte der verfügbaren archaischen Genome und der 25 Genome des heutigen Menschen zeigt, dass mehrere Genflüsse zwischen Neandertalern, Denisovanern und frühen modernen Menschen stattgefunden haben, möglicherweise einschließlich eines Genflusses in die Denisovaner aus einer unbekannt archaischen Gruppe. Somit kam es im Spätpleistozän zwischen vielen Hominidengruppen zu Kreuzungen, wenn auch in geringem Umfang. Darüber hinaus ermöglicht uns das hochwertige Neandertaler-Genom, eine endgültige Liste der Substitutionen zu erstellen, die beim modernen Menschen nach seiner Trennung von den Vorfahren der Neandertaler und Denisovaner fixiert wurden.

Übersetzung W. Czeslik mit Unterstützung von DeepL

Genetische Durchmischung und genetische Unterschiede

Der Neandertaler steht im Stammbaum nicht vor dem modernen Menschen, sondern Neandertaler und moderner Mensch hatten gemeinsame Vorfahren und haben sich dann in parallelen Zweigen des Stammbaumes entwickelt. Der Neandertaler entstammt einer Auswanderungswelle aus Afrika vor 600.000 Jahren und hat lange vor unseren Vorfahren in Europa gelebt. Unsere direkten Vorfahren sind vor etwa 150.000 Jahren wegen Klimaveränderungen aus der Gegend des heutigen Äthiopien nach Norden gewandert. Im Nahen Osten kam es vor etwa 50.000 Jahren zur Durchmischung von Neandertalern und modernen Menschen. Die Mischlinge waren fruchtbar, gaben also ihr Erbgut an die nächste Generation weiter. Sie wanderten dann teilweise nach Europa und teilweise nach Sibirien. Im Zeitraum von vor 50.000 bis 35.000 Jahren lebten Neandertaler und unsere Vorfahren parallel in Europa und im Nahen Osten. Die Neandertaler starben vor ca. 30.000 Jahren aus.

Die genetischen Spuren dieser Durchmischung sind noch heute im Genom der modernen Menschen – also in unseren Genomen – nachzuweisen.

- Jeweils etwa 2% unserer DNA (Eurasien) hat ihren Ursprung im Neandertaler-Genom.
- Aber, bei jedem von uns sind dies andere DNA Sequenzen.
- Es befinden sich keine ganzen „Neandertaler-Chromosome“ in unseren Genomen, sondern immer nur kleine Abschnitte mit einer Länge von 50 bis 100 Basenpaaren.



Ann Gibbons, SCIENCE, Vol. 343, 31. Jan. 2014 NEWS & ANALYSIS

- 1-3 % der Sequenzen im Genom von rezenten Europäern und Asiaten haben ihren Ursprung im Neandertaler-Genom.
- Die eingekreuzten Sequenzen (heute durchschnittlich 57 bp lang) verteilen sich ungleichmäßig in den modernen Genomen.
- In der Summe finden sich ca. 40% des Neandertalergenoms in diesen rezenten Genomen.
- Die Verteilung ist NICHT gleichmäßig.
- 60% der rezenten Eurasier haben Neandertaler-Sequenzen im Keratin-Gen.
- Weitere „Relikte“ des Neandertalers sind helle Hautpigmentierung und die **Disposition für Diabetes Typ 2**, Lupus und Morbus Crohn.
- Eine Neandertaler-Sequenz auf Chromosom 3 erhöht die Wahrscheinlichkeit für einen schweren Covid-Verlauf.
- Unterrepräsentiert sind Neandertaler-Sequenzen auf dem X-Chromosom und im Bereich von Genen, die im Hoden exprimiert werden.

54

Abb. 16: Neandertaler und Moderner Mensch; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

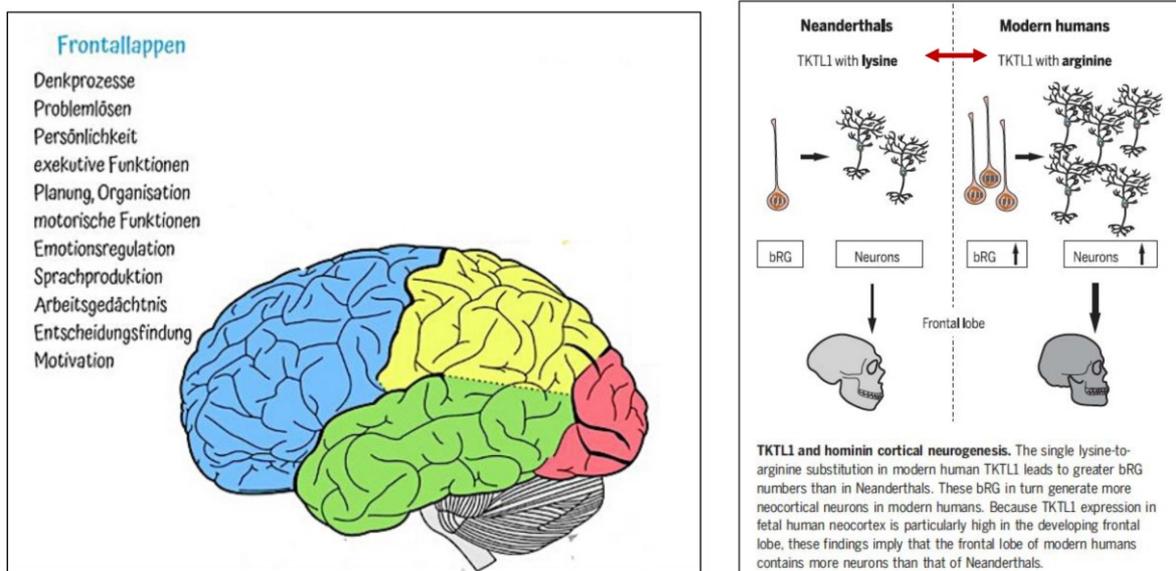
Was ist in den jeweiligen Genomen spezifisch für den Neandertaler bzw. für den modernen Menschen und was sind die entscheidenden Unterschiede?

Die Genome des Neandertalers und des modernen Menschen unterscheiden sich durch ⁶

- 31.389 Positionen, an denen einzelne Nukleotide ausgetauscht werden. Bei 3,3 Milliarden Basen ist dies etwa 1 Nukleotid pro 100.000 Basen.
- 125 Einfügungen und Löschungen
- 3.117 Regulator Bereiche (z.B. Promotoren (ca. 70.000), Enhancer und Silencer (ca. 400.000))
- 96 Aminosäure von ca. 20.000 Aminosäuren in den Proteinen

Solche geringen Unterschiede können durchaus große Auswirkungen haben:

Das Gehirn des Neandertalers ist etwa genau so groß wie beim modernen Menschen und auch ähnlich aufgebaut. Aber im Frontallappen - dem „Sitz“ der individuellen Persönlichkeit und des Sozialverhaltens (kognitive Fähigkeiten) - des modernen Menschen sind mehr Neuronen enthalten als in dem des Neandertalers. Dies wird durch einen Aminosäureaustausch bewirkt: In einem Protein der Neandertaler brG-Zellen – Vorläuferzellen der Neuronen – ist die Aminosäure Lysin enthalten. Beim modernen Menschen sitzt an der gleichen Stelle die Aminosäure Arginin. Dies führt zu einer verstärkten Zellteilung während der Embryonalentwicklung und damit zu mehr Neuronen im Frontallappen des modernen Menschen im Vergleich zum Neandertaler.



Quelle: Pinson A., et al., Science, 377, 09. Sept. 2022

Abb. 17: Vergleich der Bildung von Neuronen im Gehirn des Neandertalers und des modernen Menschen; Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Denisovaner und Neandertaler

**Ende 2010 wird es noch komplexer –
eine weitere „Menschenform“ wird genetisch charakterisiert.**

Zeitgleich mit Neandertalern und modernen Menschen lebte in Südsibirien eine **dritte „Menschenform“**.

Quelle: Krause et al., Nature (2010)



↑
**Denisova-Höhle
im Altai-Gebirge**

Abb. 18: Fundstellen von Fossilien des Denisova-Menschen;
Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Im Jahre 2010 wurden in der Denisova-Höhle im Altai-Gebirge ein Fingerknochen und ein Zahn gefunden. Die DNA-Analyse dieses Materials ergab, dass es weder von einem Neandertaler noch einem modernen Menschen bzw. seinen Vorfahren stammte. Vielmehr legten die Ergebnisse nahe, dass es sich um eine dritte Menschenform handelte, die nach dem Fundort als Denisovianer bezeichnet wurde.

Insgesamt wurden acht Fundstücke gefunden, die drei verschiedenen Denisovaner-Individuen zugeordnet werden konnten. Außerdem hat man einen 50.000 Jahre alten Fingerknochen gefunden, der einem Mädchen zugeordnet werden konnte, das weder ein Neandertaler noch ein Denisovaner ist.⁷ In der Kern-DNA wurden etwa gleich große Anteile an Neandertaler DNA und Denisovaner DNA gefunden. Das Mädchen war die Tochter einer Neandertaler-Mutter und eines Denisovaner-Vaters. Bisher ist dieses Mädchen das einzige Beispiel für einen Frühmenschen, das Eltern von zwei verschiedenen Menschenformen hat.

Erste Funde eines Denisova-Menschen

(etwa 50.000 Jahre alt)

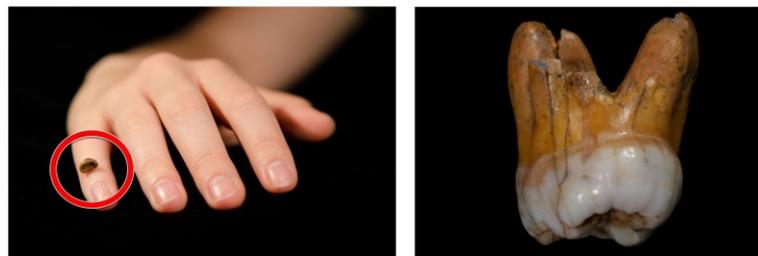


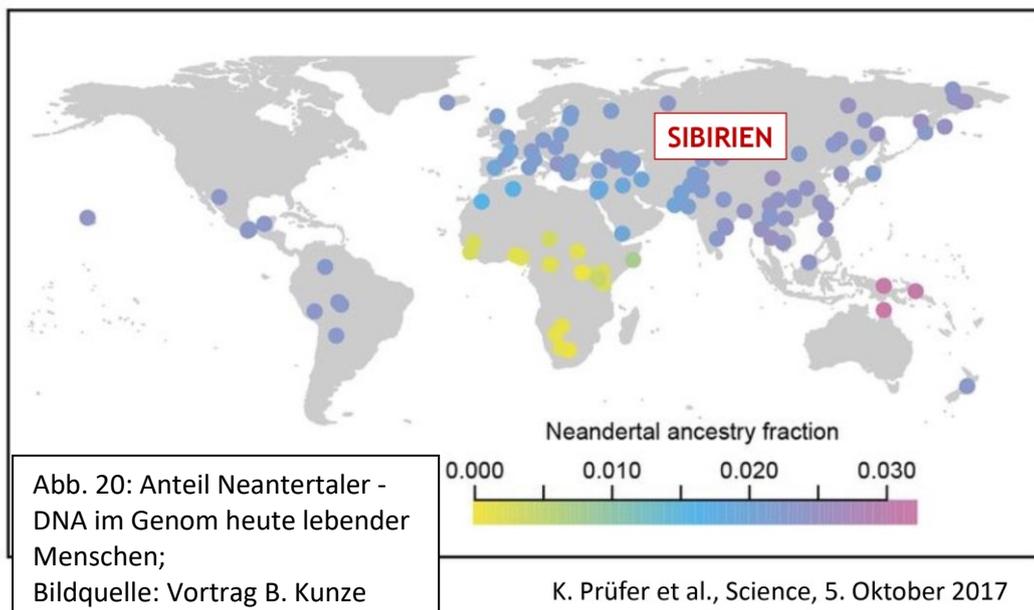
Abb. 19: Fingerknochen und Zahn eines Denisova Menschen; Bildquelle: Vortrag B. Kunze; M. Meyer et al., Science online, 10.1126, 2012

Die Neandertaler-DNA hat sich fast über die ganze Welt ausgebreitet. In Europa hat jeder Mensch etwa 2 % Neandertaler-DNA in seinem Genom. Im Genom der afrikanischen Menschen ist keine Neandertaler-DNA enthalten, es sei denn sie haben Europäische Vorfahren. Obwohl östlich von Sibirien kein Neandertaler Skelett gefunden wurde, haben Menschen in Papua-Neuguinea 3% Neandertaler-DNA in ihrem Genom, also 50% mehr als die Europäer. Neandertaler und Denisovaner haben sich in Sibirien durchmischt und diese Mischlinge sind weiter nach Osten gewandert.

Anteil von Neandertaler-DNA im Genom von rezenten Menschen

Die Überraschung – je weiter im Osten die rezenten Menschen leben, umso höher ist der Anteil von Neandertaler-DNA in ihrem Genom (knapp 3% versus 2%).

Obwohl östlich von Sibirien bisher noch kein Neandertaler-Skelett gefunden wurden.



64

Angesichts dieser Ergebnisse könnte der Neandertaler mit Fug und Recht sagen
„Ihr seid alle Mischlinge – mit Migrationshintergrund“

Quellen- und Literaturhinweise

1. Bericht basierend auf dem Vortrag von Dr. Bärbel Kunze im Rahmen der Dienstagsvorträge am 21. März 2023 in Großen Saal der Gemeinnützigen in Lübeck.
2. Nobel Prize in Physiology or Medicine 2022 – Press release (Übersetzung W. Czieslik); Original Text: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2022/press-release/>
Humanity has always been intrigued by its origins. Where do we come from, and how are we related to those who came before us? What makes us, *Homo sapiens*, different from other hominins?
Through his pioneering research, Svante Pääbo accomplished something seemingly impossible: sequencing the genome of the Neanderthal, an extinct relative of present-day humans. He also made the sensational discovery of a previously unknown hominin, Denisova. Importantly, Pääbo also found that gene transfer had occurred from these now extinct

hominins to *Homo sapiens* following the migration out of Africa around 70,000 years ago. This ancient flow of genes to present-day humans has physiological relevance today, for example affecting how our immune system reacts to infections.

Pääbo's seminal research gave rise to an entirely new scientific discipline; *paleogenomics*. By revealing genetic differences that distinguish all living humans from extinct hominins, his discoveries provide the basis for exploring what makes us uniquely human.

3. Weitergehende Informationen zur DNA und seiner Untersuchung finden sich auch in den Artikeln „Desoxyribonucleinsäure (DNA) – Träger der Erbinformation“ und „Methoden zur Untersuchung von DNA-Material“ in diesem Heft.
4. Richard E.Green et al. & Svante Pääbo, Analysis of one million base pairs of Neanderthal DNA, *Nature* 444, 330-336 (2006); <https://doi.org/10.1038/nature05336>
Abstract des Artikels:
Neanderthals are the extinct hominid group most closely related to contemporary humans, so their genome offers a unique opportunity to identify genetic changes specific to anatomically fully modern humans. We have identified a 38,000-year-old Neanderthal fossil that is exceptionally free of contamination from modern human DNA. Direct high-throughput sequencing of a DNA extract from this fossil has thus far yielded over one million base pairs of hominoid nuclear DNA sequences. Comparison with the human and chimpanzee genomes reveals that modern human and Neanderthal DNA sequences diverged on average about 500,000 years ago. Existing technology and fossil resources are now sufficient to initiate a Neanderthal genome-sequencing effort.
5. Prüfer, K., Racimo, F., Patterson, N. *et al.* & Svante Pääbo, The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains. *Nature* 505, 43–49 (2014).
<https://doi.org/10.1038/nature12886>
6. Svante Pääbo, „Über Neandertaler, Denisovaner und Moderne Menschen“, Österreichische Akademie der Wissenschaften, 2018; <https://www.youtube.com/watch?v=w5X8Xdl1QXY>
7. <https://www.scinexx.de/news/geowissen/kind-zweier-menschenarten/>

Hörens Wert ist das Gespräch zwischen Svante Pääbo und Ranga Yogeshwar anlässlich der Verleihung des KörberPreises an Svante Pääbo:

<https://www.youtube.com/watch?v=wpTtp5onMgk>

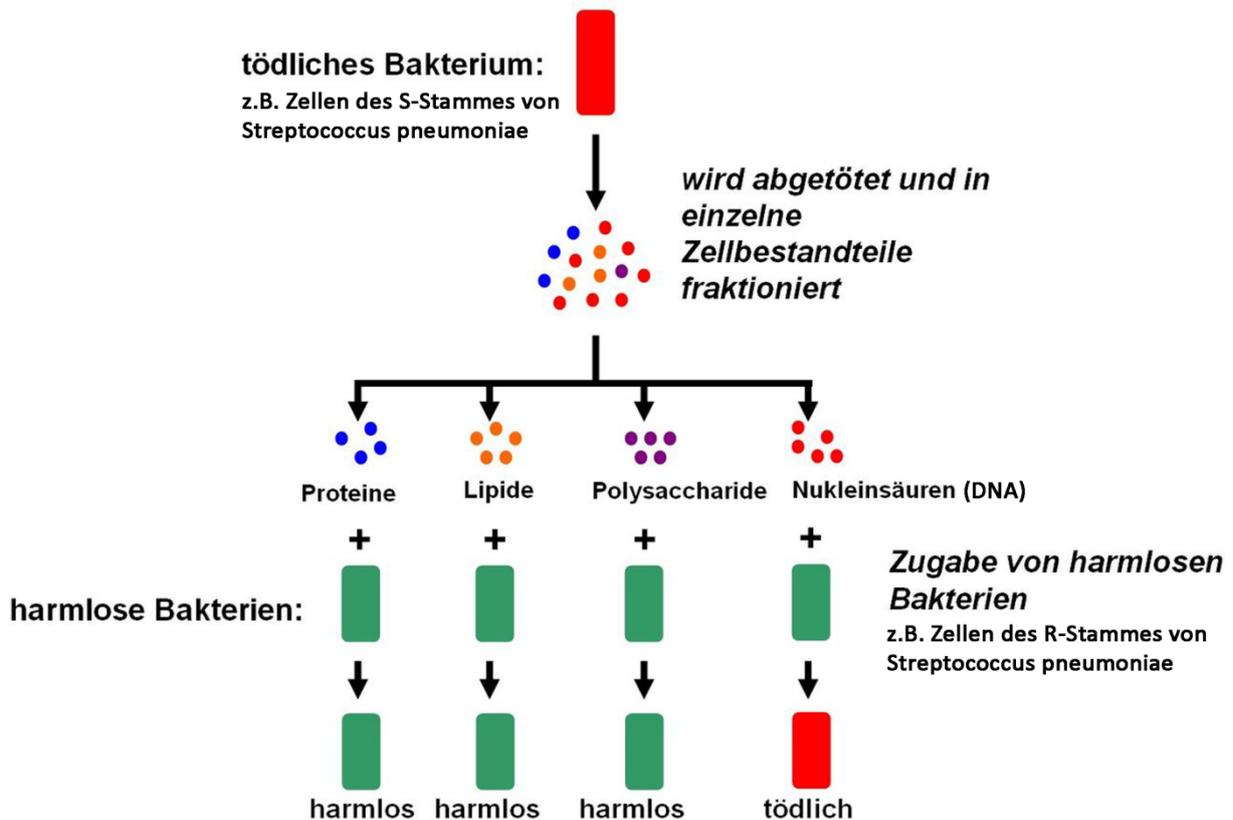


PD Dr. Bärbel Kunze ist bereits seit über 30 Jahren an der Universität zu Lübeck tätig. Die promovierte Diplom-Biologin schloss 1985 ihr Biologiestudium an der Justus-Liebig-Universität in Gießen ab und promovierte dort im Bereich Zellphysiologie über Genregulation bei dem Einzeller *Tetrahymena*. 1990 kam sie dann an das Institut für Biologie der Universität zu Lübeck und erwarb dort später die *Venia legendi* für das Fach Biologie mit ihrer Habilitation über die molekulargenetische Charakterisierung eines besonderen Abschnitts auf dem Chromosom 1 der Hausmaus. Seitdem ist Bärbel Kunze aktiv in der Lehre tätig. Eines ihrer Herzensprojekte ist das Lübecker offene

Labor (LoLa), das sie vor 20 Jahren aufgebaut hat und heute ein fester Bestandteil der Schülerakademie der Universität zu Lübeck ist. Das LoLa bietet für Schulkassen, BürgerInnen und interessierte Laien ein umfangreiches Kursangebot in verschiedenen Bereichen der modernen Biowissenschaften.

Desoxyribonucleinsäure (DNA) – Träger der Erbinformation

Die Desoxyribonucleinsäure (DNA) ist die Trägerin der Erbinformation. Diese Erkenntnis ist das Ergebnis von Experimenten, die im Jahr 1944 von dem kanadischen Mediziner Oswald Avery (* 21. Oktober 1877, † 2. Februar 1955) mit verwandten Stämmen des Bakteriums *Streptococcus pneumoniae* durchgeführt wurden.



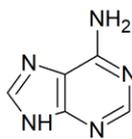
Schematische Darstellung des Versuchs von Avery (modifiziert nach ²⁾)

Harmlose Bakterien können zu tödlichen Bakterien werden, wenn Ihnen die Erbinformation der tödlichen Bakterien zugeführt wird. Das Fazit der Versuche ist, dass die DNA und nicht die Proteine, wie viele Biologen vor den Experimenten von Avery annahmen, die Trägerin der Erbinformation ist.

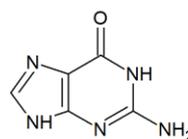
Die Desoxyribonucleinsäure (DNA) besteht aus der Phosphat-Gruppe, einem Zucker, der Desoxyribose und vier Basen, dem Adenin (A), Cytosin (C), Guanin (G) und Thymin (T).

Das Molekül der DNA besteht aus zwei langen Ketten, in der sich jeweils die Desoxyribose mit einem Phosphatrest abwechseln. Mit jeder Desoxyribose in dieser Kette ist jeweils eine der vier genannten Basen verbunden.

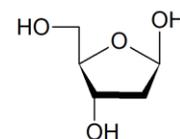
Beide Ketten sind über Wasserstoffbindungen zwischen zwei Basen miteinander verbunden - in der Abbildung „Strukturformel eines DNA-Ausschnittes“ durch Punkte dargestellt.



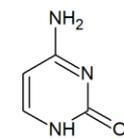
Adenin



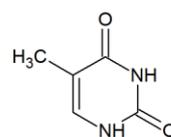
Guanin



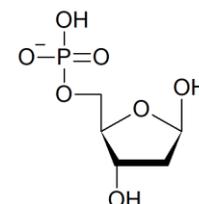
Deoxyribose



Cytosin

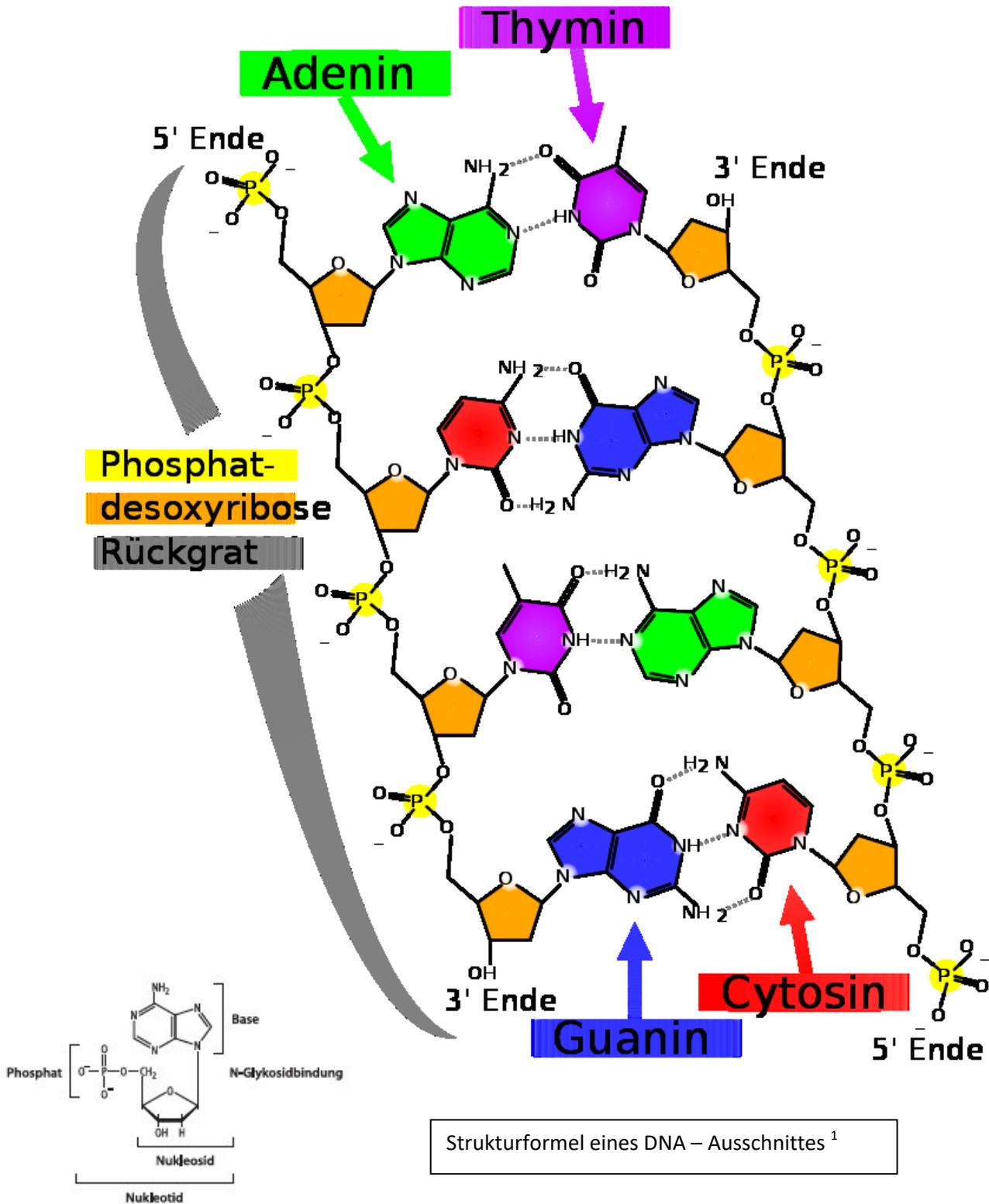


Thymin



2-Deoxyribose-5-phosphat

Dabei sind immer Adenin mit Thymin und Guanin mit Cytosin verbunden. Der Verbund aus einer Base, dem zugehörigen Zucker und einem Phosphatrest wird als Nukleotid bezeichnet. Die Kurzbezeichnungen A, G, C, T und U für die Basen werden auch für die Kennzeichnung des Nukleotids verwendet.



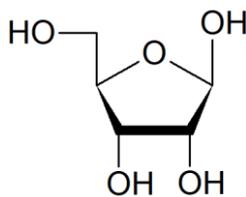
Sekundärstruktur der DNA

Die beiden DNA-Ketten liegen nun nicht einfach parallel nebeneinander, sondern sie sind zu einer Doppelhelix verdrillt. Das Doppel - Helix Modell für die Molekularstruktur der DNA wurde erstmalig 1953 von dem britischen Physiker Francis H. C. Crick (* 8. Juni 1916, † 28. Juli 2004) und dem amerikanischen Molekularbiologen James D. Watson (*6. April 1928) vorgeschlagen. Zur Veranschaulichung diente ein Modell, das die beiden Wissenschaftler aus Drähten, Blechstücken und Stativmaterial aufbauten.

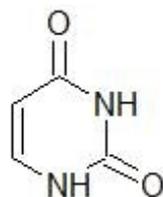


Rekonstruktion des Doppel-Helix Modells der DNA von Crick und Watson von 1953 ⁴

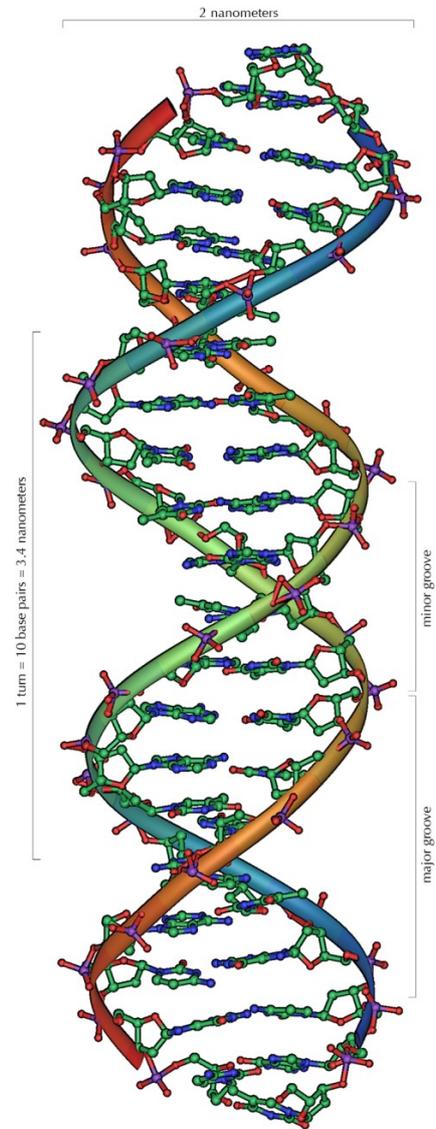
Bei vielen Prozessen in der Zelle, wie beispielsweise der Synthese von Proteinen, wird die Ribonucleinsäure (RNA) verwendet. Im Zucker-Phosphat-Strang der RNA befindet sich Ribose anstelle von Desoxyribose und die Base Thymin in der DNA wird durch die Base Uracil (U) in der RNA ersetzt.



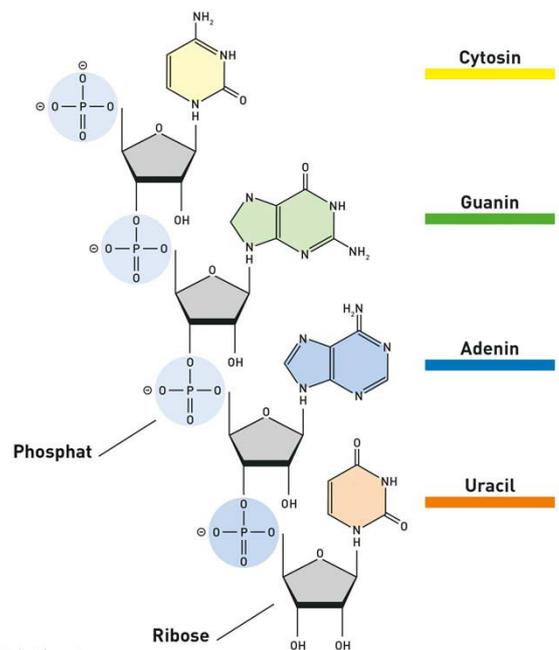
Ribose



Uracil



Ausschnitt von 20 Basenpaaren aus der DNA-Doppelhelix ⁵



Strukturformel eines RNA – Ausschnittes ³

Speicherung der genetischen Information in der DNA

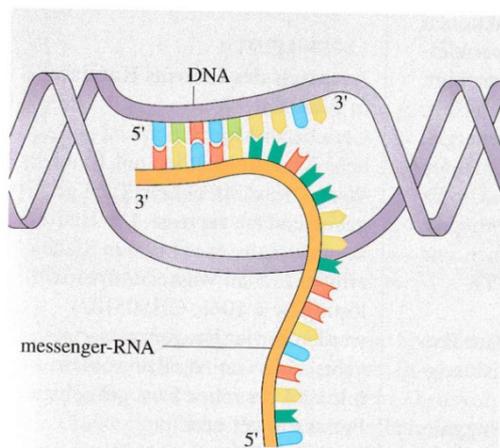
In der Abfolge der Basen in der DNA ist das Erbgut eines Organismus gespeichert. Die DNA des Menschen in einer menschlichen Zelle enthält etwa 3 Milliarden Basenpaare. Jeder Mensch ist ungefähr das Produkt von 100 Billionen Zellen, wovon etwa 25% Blutzellen sind, die keinen eigenen Zellkern besitzen.

Jeweils drei nebeneinander liegende Basen stellen den Code für eine Aminosäure dar, mit denen die Proteine aufgebaut werden. Mit vier verschiedenen Basen gibt es $4^3 = 64$ unterschiedliche Dreier-Kombinationen (Codons) der Basen. Beispielsweise wird die einfachste Aminosäure Glycin durch die Basen-Kombinationen GGA, GGC, GGG und GGU codiert. Da die Proteine aller Lebewesen aus insgesamt 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebaut werden, werden die meisten Aminosäuren durch mehr als ein Codon repräsentiert.

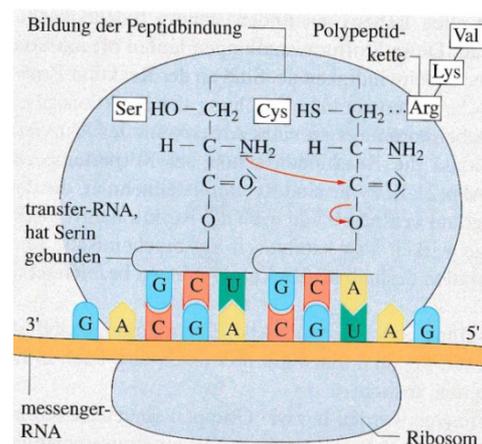
Proteinbiosynthese

Zunächst wird die Basensequenz eines Gens der DNA in die Basensequenz eines der DNA ähnlichen Moleküls, der messenger-RNA (mRNA), umgeschrieben. Dieser Vorgang heißt Transkription. Das messenger-RNA-Molekül transportiert die Information aus dem Zellkern heraus zu den Ribosomen im Zellplasma, wo die Synthese der Proteine erfolgt.

Die Übersetzung (Translation) der Basensequenz der mRNA in die Aminosäuresequenz des Proteins erfolgt wieder unter Mitwirkung von RNA-Molekülen. Die benötigten Aminosäuren werden durch transfer-RNA (tRNA) zum Ribosom transportiert. Für diesen Vorgang wird ein zum tRNA-Molekül passendes Aminosäuremolekül kurzzeitig gebunden. Im Ribosom erfolgt schließlich mit Hilfe des Enzyms Peptidyltransferase die Verknüpfung der Aminosäuren in der durch das Gen festgelegten Reihenfolge.⁶



Transkription: Die Basensequenz der DNA wird in die messenger-RNA umgeschrieben⁶



Prinzip der Translation: Bildung der Peptidbindung zwischen Serin und Cystein⁶.

Bild- und Textnachweise

1. https://de.wikipedia.org/wiki/Desoxyribonukleins%C3%A4ure#/media/Datei:Chemische_Struktur_der_DNA.svg
2. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Averyversuch.jpg>
3. <https://www.drze.de/jm-blickpunkt/somatische-gentherapie/module/rna-und-dna> (abgeschaltet)
s. auch <https://de.wikipedia.org/wiki/Ribonukleins%C3%A4ure>
4. Science Museum London: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co146411/crick-and-watsons-dna-molecular-model-molecular>
5. https://de.wikipedia.org/wiki/Desoxyribonukleins%C3%A4ure#/media/Datei:DNA_Overview.png
6. Leicht modifiziert nach Chemie Oberstufe, Cornelsen Verlag, Berlin 2010, S.421

Autor: Wolfgang Czieslik

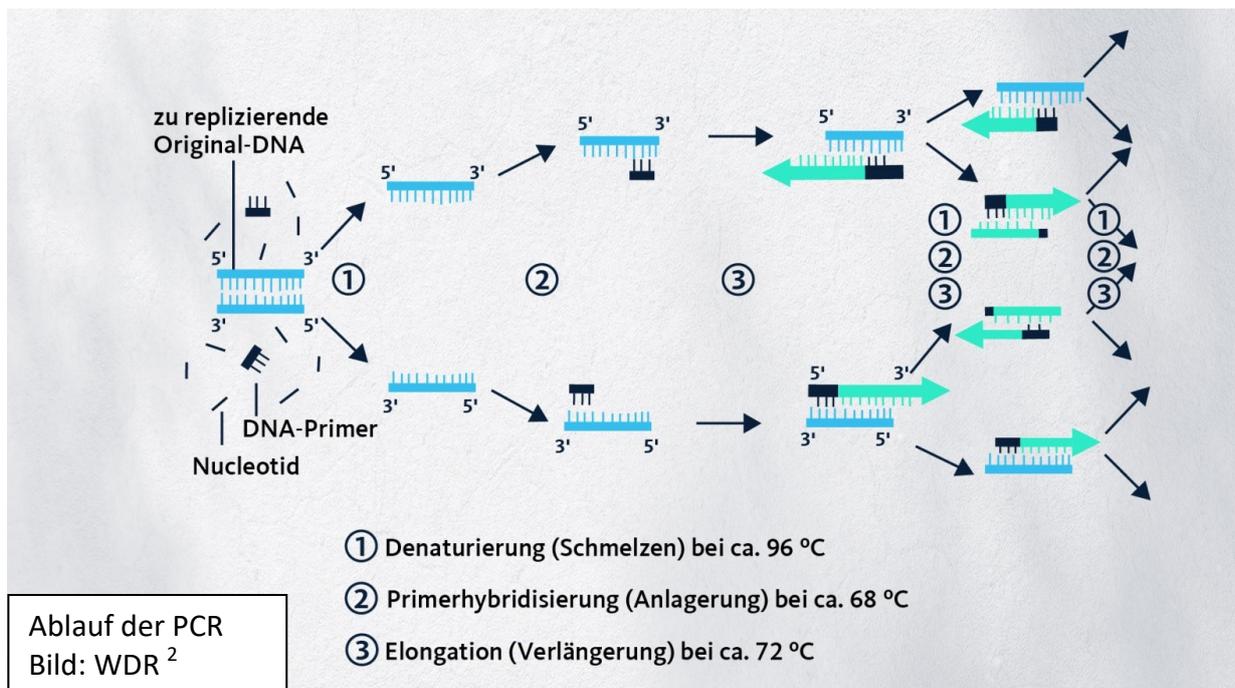
Methoden zur Untersuchung von DNA-Material

Die Vervielfältigung der DNA mit der Polymerase Chain Reaktion (PCR)¹

Die PCR - Polymerase Chain Reaction, auf Deutsch Polymerasekettenreaktion - ist ein System, mit dem man spezifische DNA-Sequenzen außerhalb des lebenden Organismus, *in vitro*, vervielfältigen kann. Entwickelt wurde sie 1983 von dem amerikanischen Biochemiker Kary Mullis (28.12.1944 – 7.10.2019), der hierfür 1993 den Nobelpreis für Chemie erhielt.

Komponenten für die PCR:

- DNA, die den zu vervielfältigenden Abschnitt enthält.
- Zwei Primer: kurze Nukleotid-Sequenzen, die sich an die Einzelstränge der DNA anlagern können und den Startpunkt der DNA-Synthese festlegen
- DNA-Polymerase: Enzym, das bei hohen Temperaturen stabil ist und die Synthese der festgelegten DNA katalysiert.
- Vier Nukleotide: Die Bausteine mit den Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin, aus denen die DNA aufgebaut wird.
- Magnesium-Ionen, die für die Funktion der Polymerase notwendig sind und Pufferlösungen mit denen der richtige pH-Wert der Lösungen eingestellt wird.



Die DNA, die vervielfältigt werden soll, befindet sich zusammen mit dem Primer, den Nukleotiden und zusätzlichen Reagenzien in dem Reaktionsgefäß.

- **Denaturierung:** Die Temperatur wird auf 94 bis 96°C erhöht, wobei sich die beiden DNA-Stränge voneinander lösen, so dass zwei Einzelstränge vorliegen.
- **Anlagerung:** Die Temperatur wird für ca. 30 s auf einen Wert zwischen 55 und 65°C gesenkt, so dass sich der Primer an einen Einzelstrang der DNA anlagern kann.
- **Verlängerung:** Bei einer Temperatur von 72°C wird ausgehend von den Primern mit Hilfe der Polymerase aus den Nukleotiden ein neuer Einzelstrang an die freiliegenden Einzelstränge der Ausgangs DNA angebaut. Aus einem Doppelstrang sind zwei geworden.

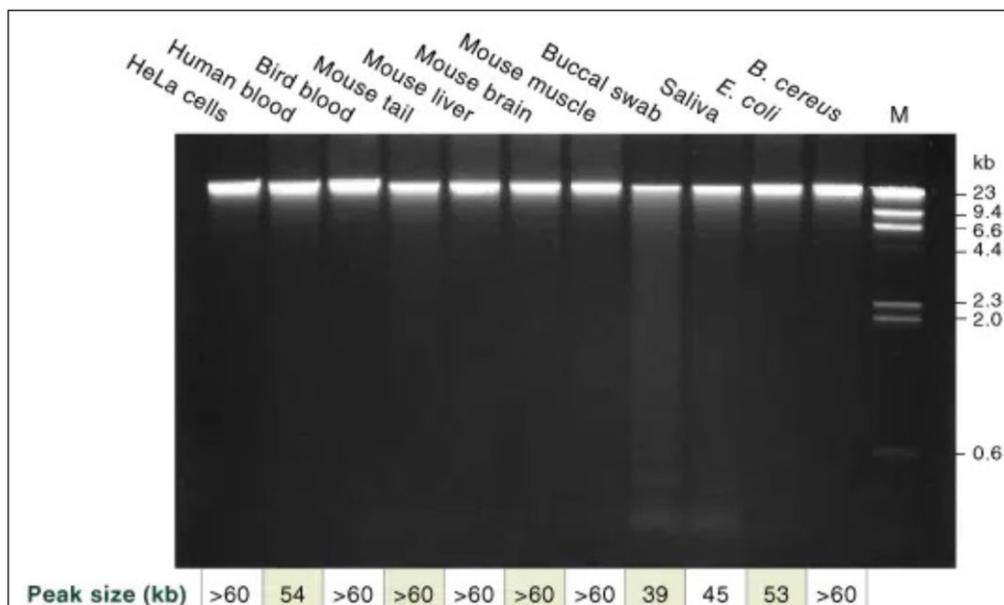
Danach beginnt ein neuer Zyklus aus Denaturierung, Anlagerung und Verlängerung, in dem aus den beiden DNA-Strängen vier DNA-Stränge werden. In den meisten Fällen werden etwa 30 Zyk-

len durchlaufen, wodurch aus einem DNA-Strang mehr als eine Milliarde, genau $2^{30} = 1.073.740.000$ Stränge werden.

Gelelektrophorese der DNA

Für die Auftrennung und Identifizierung des DNA-Materials wird die Gelelektrophorese verwendet. Dazu wird DNA in ein Agarose-Gel (Agarose ist ein Polysaccharid ³) eingebracht und anschließend wird eine Gleichspannung angelegt. Da die DNA eine negative Ladung an der Phosphatgruppe aufweist, wandert sie zum Pluspol. Dabei bewegen sich die kürzeren DNA-Stränge schneller als die längeren. Die Länge des PCR-Produktes kann dann durch den Vergleich mit einer Probe, die DNA-Fragmente bekannter Größe enthält und parallel zur Probe im Gel mitläuft, bestimmt werden.

Gel-elektrophoretische Auftrennung von frischer DNA



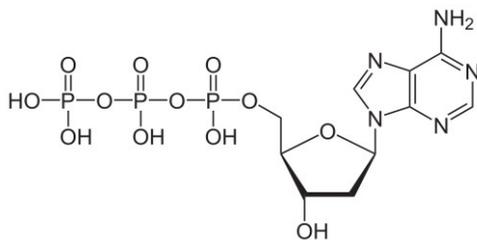
Die Kettenlänge der DNA wird als Anzahl der Basen angegeben. Dabei wird meist die Einheit kb (1 kb = 1000 Basen) verwendet.
Bildquelle: Vortrag B. Kunze

Quelle: New England Biolabs

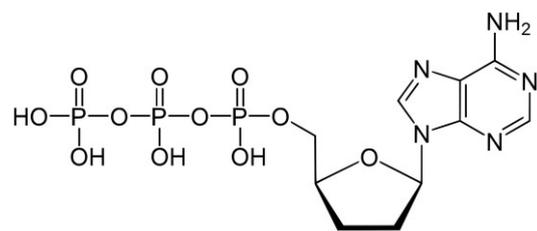
13

Sequenzierung der DNA

Der britische Biochemiker Frederick Sanger (* 13. August 1918; † 19. November 2013; erhielt zweimal den Nobelpreis für Chemie: 1958 für die Aufklärung der Struktur des Insulins und seine Arbeiten zur Proteinsequenzierung; 1980 zusammen mit Paul Berg (geb. 1926) und Walter Gilbert (geb. 1932) für Untersuchungen zur Ermittlung der Basensequenz in Nukleinsäuren) entwickelte Ende der 1970iger Jahre die Didesoxymethode für die DNA-Sequenzierung, die trotz der Weiterentwicklung der Sequenzierungsmethoden bis heute noch angewendet wird. Bei dieser Methode werden wie bei der PCR unter Verwendung von DNA Polymerase DNA-Stränge aus den einzelnen Nukleotiden (s. Text Desoxyribonucleinsäure (DNA) – Träger der Erbinformation) hergestellt. In dem Reaktionsgemisch befinden sich allerdings noch kleine Mengen von Nukleotiden bei denen an der Position 3 des Zuckers Deoxyribose die Hydroxygruppe durch ein Wasserstoffatom ersetzt wurde. Wenn dieses Nukleotid in den DNA-Strang eingebaut wird, führt dies zu einem Kettenabbruch, so dass unvollständige Kopien des zu sequenzierenden DNA-Stranges entstehen. Dadurch erhält man viele verschiedene DNA-Kopien, die an jeder Stelle der ursprünglichen DNA enden.



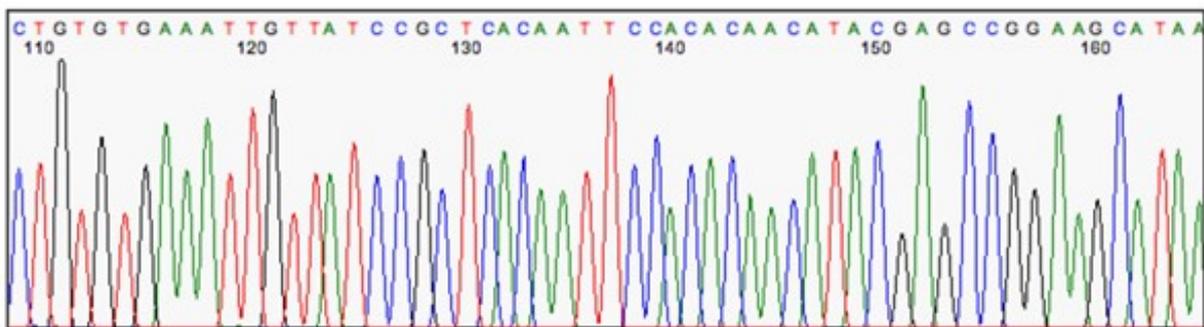
Desoxyriboadenosintriphosphat, mit Adenin als Base. Die OH-Gruppe an der 3'-Position erlaubt die weitere Kettenverlängerung.
Allgemein: Desoxyribonucleosidtriphosphat (dNTP),



Dideoxyriboadenosintriphosphat, mit Adenin als Base. Das Wasserstoffatom an der 3'-Position verhindert die weitere Kettenverlängerung.
Allgemein: Dideoxyribonucleosidtriphosphat (ddNTP),

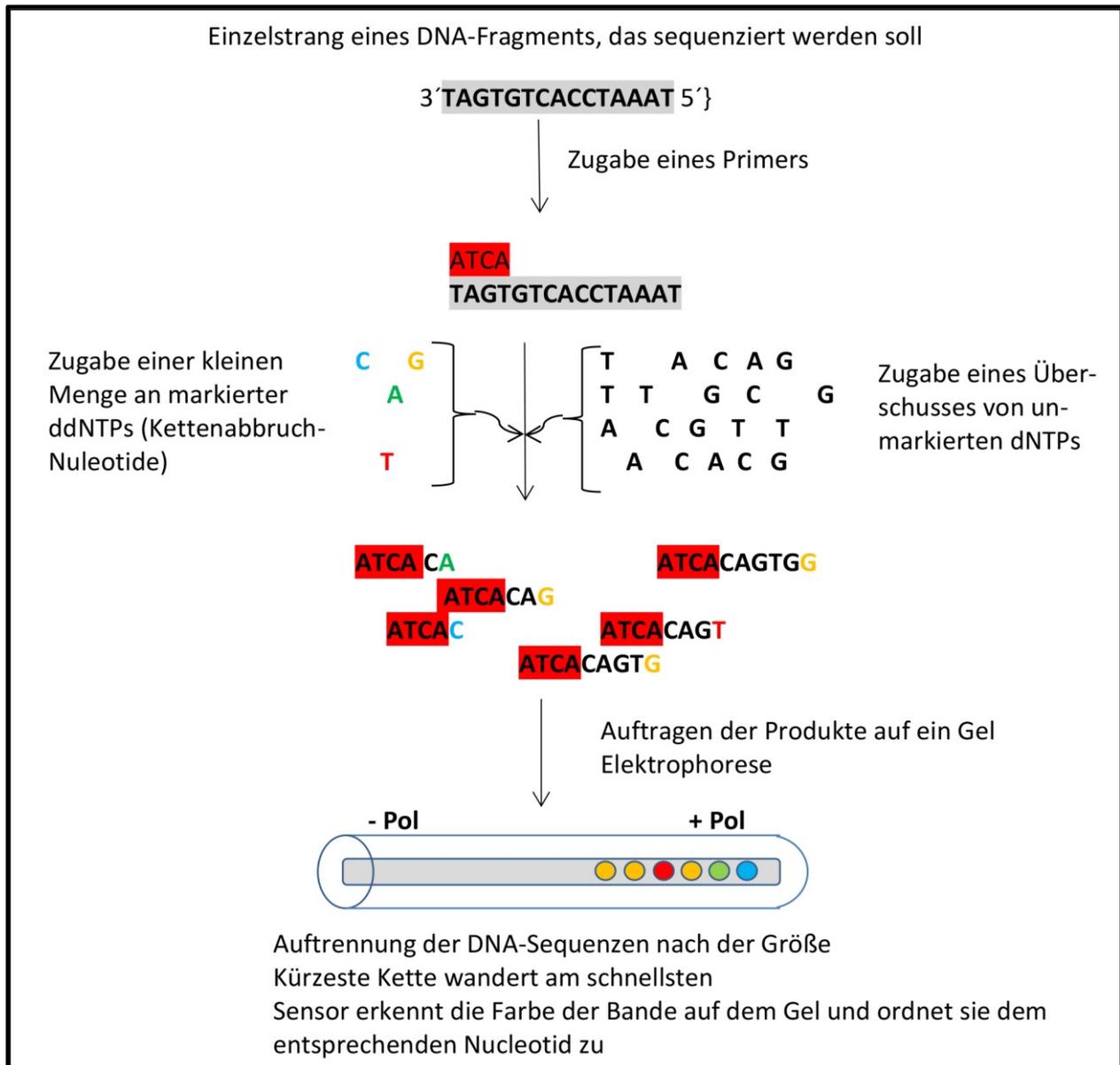
Sequenzierung mit Fluoreszenz-markierten Kettenabbruch-Nukleotiden

A, C, G, T



Ausschnitt der Daten einer automatischen Sequenzierung. Jeder Peak steht für ein Nukleotid in der DNA Sequenz.

In dieser Abbildung ist Guanin durch Farbe Schwarz gekennzeichnet und nicht Gelb wie in der nachfolgenden Abbildung. Bildquelle: Vortrag B. Kunze



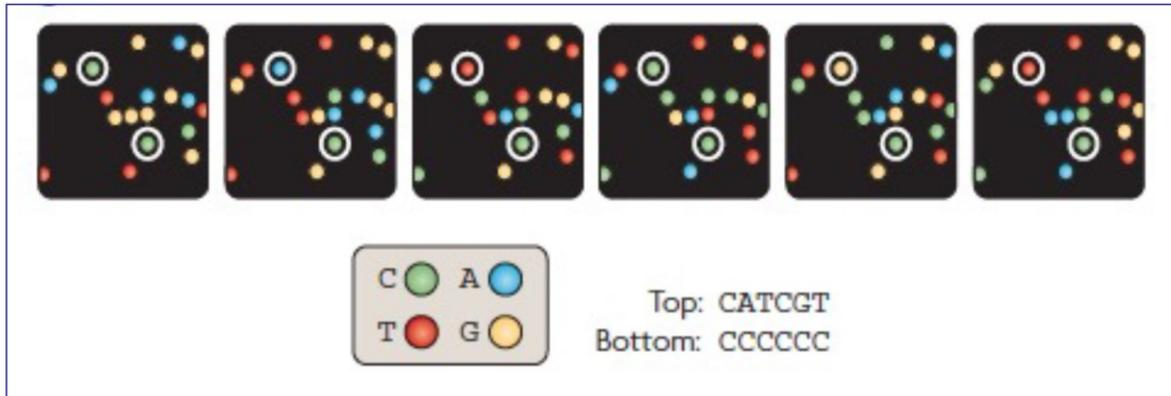
Das doppelsträngige DNA-Fragment wird wie bei der PCR in zwei Einzelstränge aufgetrennt.

- Zugabe eines Primers – ein kurzes DNA Fragment, das den Anfang der zu sequenzierenden Sequenz bestimmt.
- Zugabe von DNA-Polymerase, einem Überschuss an normalen Nucleotiden (dNTP) und eine kleine Menge der vier für den Kettenabbruch sorgenden ddNTP, von denen jedes mit einem jeweils andersfarbigen Fluoreszenzfarbstoff gekoppelt ist.
- Bei diesen Reaktionen entstehen viele unterschiedliche DNA-Stränge, die an jeder Stelle der ursprünglichen DNA enden.
- Die Produkte dieser Reaktionen werden auf ein langes dünnes Kapillargel aufgetragen und elektrophoretisch getrennt. Die kürzesten Stränge wandern am schnellsten in Richtung des positiven Pols. Mit einem Detektor wird die Farbe jeder Bande registriert und mit einem Computer wird diese Information in ein Nucleotid übersetzt. Im obigen Bild ergibt sich ab Position 5 folgende Reihenfolge der Basen: CAGTGG . Dies entspricht in dem untersuchten DNA-Strang der Abfolge GTCACC , da die Base Guanin immer mit Cytosin und die Base Adenin immer mit Thymin verbunden ist (modifiziert nach Abb. 10-17 in Alberts S. 379 ⁴).

Fluoreszenz-basierte Auswertung einer Next Generation Sequenzierung

Jeder Leuchtpunkt repräsentiert eine Position auf dem Mikro-Chip.

Zwischen den Abbildungen liegt jeweils ein Syntheseschritt.



Bildquelle: Vortrag B. Kunze

- Massiv parallele Sequenzierung von bis zu 1 Milliarde Sequenzen pro Geräteauf
- Max. Länge einer Sequenz etwa 1.000 Basen, durchschnittlich 200-500 Basen

Quelle: M. L. Metzker, Nature Reviews GENETICS, Vol. 11 Jan. 2010

42

Weiterentwickelte Sequenzierung basierend auf dem Prinzip der automatisierten Didesoxysequenzierung der Firma Illumina, Inc.

- Ein großes DNA-Stück wird in Millionen kleiner Fragmente zerstückelt. Diese Fragmente werden an eine Glasoberfläche angeheftet und durch PCR vermehrt, sodass DNA-Cluster entstehen, die jeweils Tausend von Exemplaren eines einzigen DNA-Fragments enthalten.
- Im ersten Schritt werden die verankerten DNA-Cluster mit DNA-Polymerase und einem speziellen Satz der vier Nucleosidtriphosphaten (NTPs) inkubiert. Diese NTPs enthalten einen reversiblen Fluoreszenzmarker mit einer für die jeweilige Base charakteristischen Farbe und in der 3'-Position eine Gruppierung, die die DNA-Synthese beendet. In dem Reaktionsgemisch sind keine normalen dNTPs vorhanden.
- Nachdem die DNA-Polymerase ein Nucleotid angehängt hat nimmt eine hochauflösende Kamera die Farbe der Fluoreszenz an jedem Cluster auf.
- Im nächsten Schritt werden die Fluoreszenzmarker und chemischen Blocker von dem angehängten Nucleotid entfernt.
- Dann wird eine neue Ladung fluoreszierender und reversibel blockierender NTPs zugegeben und eine neue Runde der DNA-Synthese beginnt.

Insgesamt wird dieser Zyklus mehr als 10 Millionen Mal durchlaufen. Aus den Sequenzen von Millionen sich überlappenden DNA-Fragmenten wird die vollständige Sequenz der untersuchten DNA rekonstruiert. (s. Abb. 10-21 in Alberts S. 383 ⁴)

Bild- und Textnachweise

1. <https://de.wikipedia.org/wiki/Polymerase-Kettenreaktion>
2. <https://www.quarks.de/gesundheitsmedizin/corona-test-wie-funktioniert-der-test/>
3. <https://de.wikipedia.org/wiki/Agarose>
4. B. Alberts & al. Lehrbuch der Molekularen Zellbiologie, WILEY-VCH, Weinheim 2021
Autor: Wolfgang Czieslik

Unsere Erde ist endlich

Wolfgang Czieslik

Eine Petrischale mit einem Durchmesser von ca. 10 cm ist für einen Menschen klar erkennbar ein Raum endlicher Größe. Einem Bakterium auf einem Nährboden allerdings – es ist so klein, dass es mit bloßem Auge nicht sichtbar ist – erscheint dieser Raum unendlich groß. In einer Petrischale mit einem Durchmesser von 10 cm könnten etwa 50.000 Bakterien (Größe etwa $2\mu\text{m}$) entlang einer Geraden aufgereiht werden. Ein einzelnes Bakterium hat also sehr viel Platz, hat ausreichend Nahrung und kann sich uneingeschränkt vermehren. Dies führt zunächst zu einem exponentiellen Wachstum bis die Nahrung und der Platz knapp werden, das Wachstum zurückgeht und die Kultur ggf. abstirbt.

Betrachten wir unsere Erde – es gibt vielleicht noch viele andere Erden im Universum – einmal ganz nüchtern und vorurteilslos.

Wir wissen, unsere Erde ist eine Kugel, auch wenn diese nicht perfekt ist. Schaut man genauer hin, dann ist sie an den Polen etwas abgeflacht und in der Äquatorebene etwas gestreckt. Heute gibt es die Möglichkeit, die Erde aus einer Höhe von 300 bis 400 km über der Erdoberfläche zu betrachten. Mittlerweile werden auch „touristische“ Reisen in diese Gegend angeboten.

Unsere Erde



Abb.1 : Unsere Erde

Durchmesser am Äquator: 12.756 km
Äquatorumfang: 40.075 km
Atmosphäre (Troposphäre)
von der Erdoberfläche: 7 – 17 km
Kontinentale Erdkruste: 30 – 80 km
Ozeanische Erdkruste: 5 – 8 km
Masse der Erde: $5,97 * 10^{24}$ kg
Masse der Atmosphäre: $5,15 * 10^{18}$ kg
Masse des Kohlenstoffdioxids (CO_2)
in der Atmosphäre: $3,09 * 10^{15}$ kg
Mittlere Entfernung der Erde
von der Sonne: $149,6 * 10^6$ km
Umlaufgeschwindigkeit der Erde
auf ihrer Bahn um die Sonne: 30 km/s

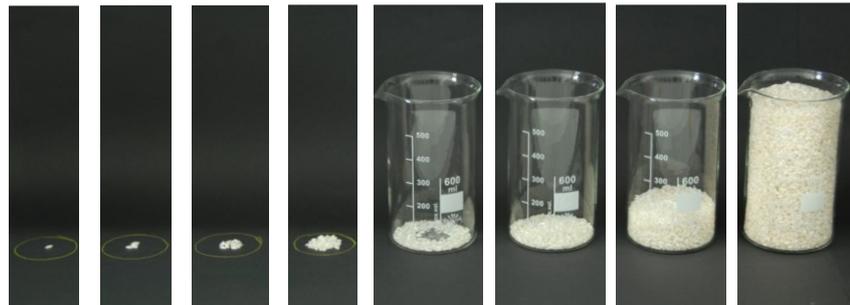
Bildquelle: Depositphotos

Unsere Erde ist mittlerweile ziemlich genau vermessen und gewogen worden. Ihr Durchmesser am Äquator beträgt 12.756 km, aber der Bereich an der Oberfläche der Erde, in der Leben denkbar ist, ist bestenfalls etwa 30 km dick. Am Mount Everest wurde 1924 von R.W.G. Hingston bis zu einer Höhe von 6700 m eine Spinnenart entdeckt⁵. Mikroorganismen wurden in einer Tiefe von bis zu fünf Kilometern unter Land und zehn Kilometern unter dem Ozeanspiegel gefunden.⁶

Exponentielles Wachstum

Exponentielles Wachstum, was heißt das eigentlich? Ein Beispiel: Auf einer kleinen Schale liegt ein Reiskorn als Representant für ein Bakterium. Bei der Vermehrung der Bakterien verdoppelt sich die Zahl der Bakterien nach jeder Teilung. Nach einer Verdopplung liegen also dementsprechend zwei Reiskörner auf der Schale. Nach der nächsten Verdopplung liegen dort vier Reiskörner. Nach der dritten Verdopplung sind es acht und nach der vierten 16 Reiskörner. Noch sieht dies ja ganz harmlos aus. Nach dem 14. Verdopplungsschritt sind wir schon bei 16364 Reiskörnern. Dabei gehen wir davon aus, dass die Verdopplungszeit immer gleich groß ist.

Simulation zur Bakterienvermehrung anhand der Verdopplung von Reiskörnern



Anzahl Verdopplungen n	0	2	4	6	8	10	12	14
Anzahl Reiskörner N	1	4	16	64	256	1024	4096	16364
Masse in g	0,03	0,12	0,50	2	8	32	128	512

Anzahl der neu hinzugekommenen Reiskörner nach jeder Verdopplung: 2^n n: Zahl der Verdopplungen
Summe der Reiskörner bis zum Verdopplungsschritt n: $2^{n+1} - 1$

Abb 2.: Verdopplung von Reiskörnern

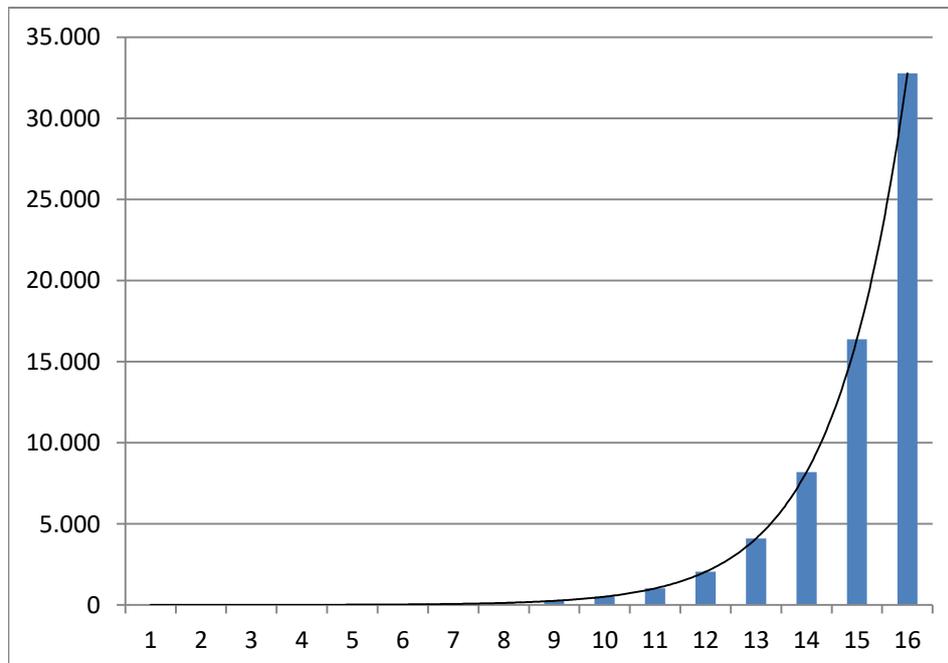


Abb. 3: In der grafischen Darstellung zum obigen Simulationsexperiment bis zur 16. Verdopplung sieht man zunächst nur eine leicht ansteigende Kurve, die zum Ende hin aber sehr steil ansteigt.

Gegenwärtig, im April 2023, beherbergt die Erde etwa 8 Milliarden Menschen. Die Entwicklung des Homo sapiens, unser direkter Vorfahr, beginnt vor 300.000 Jahren in Afrika. Von dort aus besiedelte er in mehreren Wellen die Welt. Vor etwa 2000 Jahren gab es weltweit 300 Millionen Menschen. Etwas mehr als 1500 Jahre später waren es doppelt so viele Menschen. Für den nächsten Verdopplungsschritt, also auf etwa 1,2 Milliarden Menschen, waren nur 250 Jahre notwendig. Vom Beginn der 1970er Jahre bis heute, also innerhalb von 50 Jahren, hat sich die Weltbevölkerung von knapp 4 Milliarden auf knapp 8 Milliarden Menschen verdoppelt.¹ Ebenso wie beim Beispiel der Vermehrung von Bakterien haben wir es bei der Entwicklung der Weltbevölkerung mit einem exponentiellen Wachstum zu tun. Es gibt aber einen entscheidenden Unterschied zwischen beiden Wachstumskurven: Bei der Vermehrung der Bakterien haben wir es immer mit dem gleichen Verdopplungszeitraum zu tun. Bei der Entwicklung der Weltbevölkerung haben sich die Verdopplungszeiträume kontinuierlich verringert.

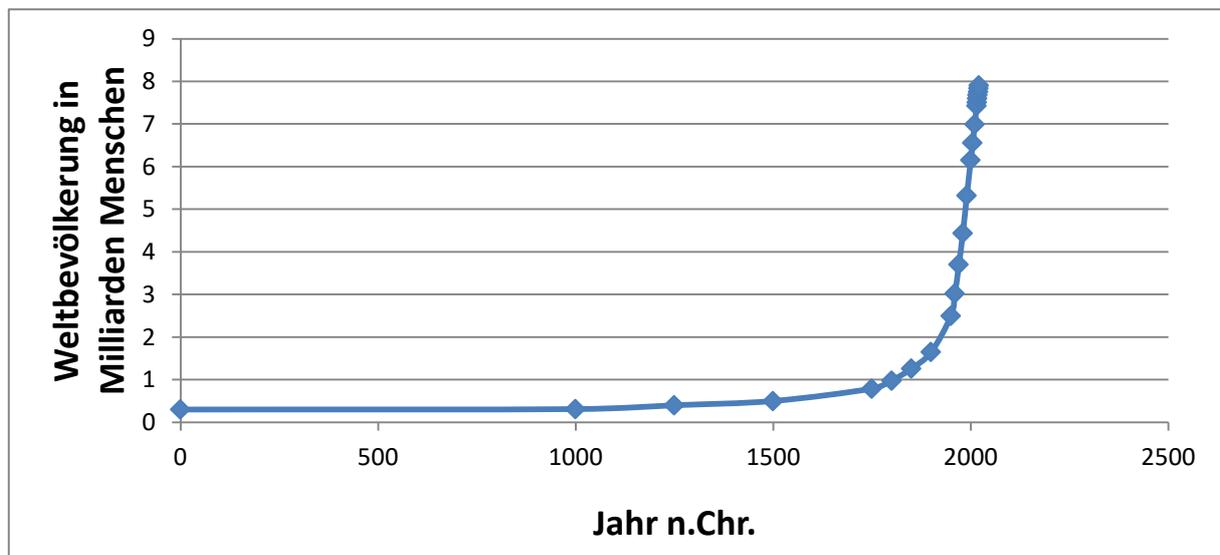


Abb. 4: Entwicklung der Weltbevölkerung in der Zeit nach Christi Geburt bis 2021¹

Die Bevölkerungsentwicklung gibt Anlass zur Vermutung, dass in absehbarer Zeit die Grenzen der Belastbarkeit der Erde erreicht werden. Eine einfache Betrachtung der Fläche, die jedem Menschen theoretisch zur Verfügung steht, kann hier vielleicht ganz hilfreich sein:

Die Oberfläche der Erde ($4\pi r^2$) beträgt etwa 512 Mio. km². Davon sind etwa 71% durch Meere und etwa 29% durch Festland (148 Mio. km²) bedeckt. Vor 2000 Jahren hatten die 300 Millionen Menschen auf der Erde theoretisch eine Fläche von knapp 50 ha / Person zur Verfügung. 1960 stand den 3 Milliarden Menschen 5 ha / Person zur Verfügung und heute, 2023, sind es bei 8 Milliarden Menschen nur noch 1,85 ha / Person.

Diese Betrachtung ist sehr theoretisch und berücksichtigt natürlich nicht die Verteilung der Menschen, die unterschiedlichen Ressourcen und Lebensbedingungen auf der Erde. Sie vermittelt aber doch einen Eindruck von der Begrenztheit unseres blauen Planeten.

Grenzen des Wachstums – Grenzen des Planeten Erde

1972 ist in „Die Grenzen des Wachstums – Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit“ ein Weltmodell vorgestellt worden, mit dem *die fünf wichtigsten Trends mit weltweiter Wirkung untersucht werden: die beschleunigte Industrialisierung, das rapide Bevölkerungswachstum, die*

weltweite Unterernährung, die Ausbeutung der Rohstoffreserven und die Zerstörung des Lebensraums².

„Der Standardverlauf des Weltmodells zeigt die Ergebnisse der Computersimulation unter der Voraussetzung, dass keine größeren Veränderungen physikalischer, wirtschaftlicher und sozialer Zustände eintreten, also die Entwicklung in gleichen Tendenzen verläuft, wie sie sich jetzt abzeichnet. Alle eingespeisten variablen Größen sind die der historischen Entwicklung von 1900 bis 1970. Nahrungsmittelerzeugung, Industrieproduktion und Bevölkerungszahl steigen weiter exponentiell, bis die rasch schwindenden Rohstoffvorräte zum Zusammenbruch des industriellen Wachstums führen. Da aber zeitliche Verzögerungsfaktoren wirken, steigen Bevölkerungszahl und Umweltverschmutzung auch danach noch einige Zeit weiter. Fallende Nahrungsmittelversorgung und der Ausfall medizinischer Fürsorge führen zu einer steigenden Sterberate und zu einem Stopp des Bevölkerungswachstums.“¹²

Mit diesem Bericht ist einer breiten Öffentlichkeit erstmals deutlich geworden, dass die Erde nicht nur räumlich begrenzt ist, sondern in vielerlei Hinsicht auch nur begrenzt belastbar ist. Auch wenn die Szenarien nicht in allen Fällen so eingetreten sind wie sie beschrieben wurden – die Rohstoffvorräte sind auch durch die Entwicklung der Fördermethoden nicht so knapp geworden, wie beschrieben –, hat die Entwicklung der letzten 50 Jahre doch dazu geführt, dass der Mensch die Erde in vielen Bereichen zu stark belastet.

In der nebenstehenden Grafik (Abb. 6) sind umweltrelevante Bereiche und ihr abgeschätztes Ausmaß im Verhältnis zum sicheren Bereich (grün) dargestellt. „Die mit 100% bezeichnete Grün/Gelb-Grenze ist die so genannte planetare Leitplanke. Ozonbelastung der Atmosphäre und die Versauerung der Meere haben diese Grenze gerade erreicht. Mit >300% und jenseits von Rot übertrifft der Verlust der Artenvielfalt die Toleranz der Natur um mehr als das Dreifache“.^{4, 8}

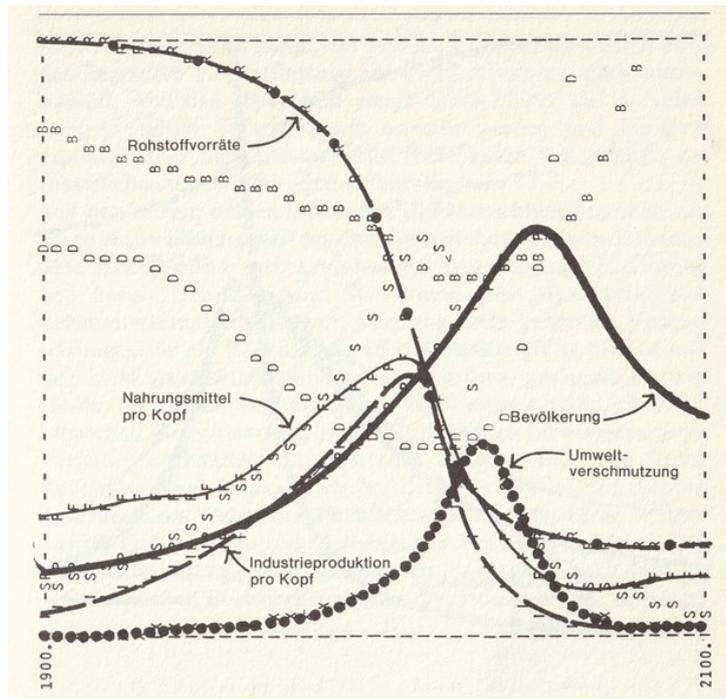


Abb. 5: Standardverlauf des Weltmodells nach D. Meadows¹²

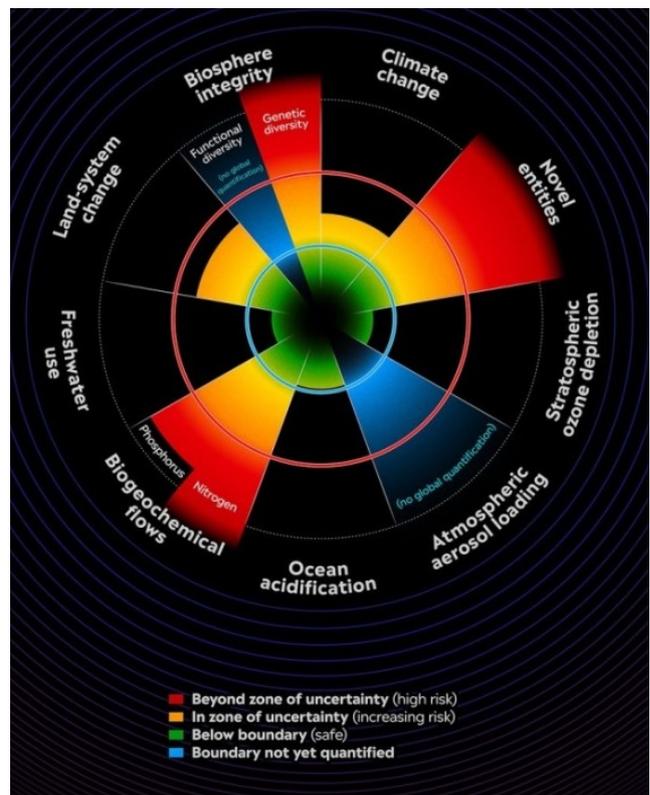


Abb. 6: Der aktualisierte Rahmen der Planetarischen Grenzen (2022) (novel entities: Chemische Verschmutzung).⁷

Wie weit die Menschen die Erde durch ihren Lebensstil belasten oder ob sie mit den Ressourcen auskommen, darüber gibt der ökologische Fußabdruck Auskunft. Es handelt sich hier um ein Buchhaltungssystem für die Umweltressourcen.

„Auf der Angebotsseite wird gemessen, welche Flächen der Planet hat: Wälder, Felder, Seen, Meere, Wüsten, Weiden, Steppen, Straßen und Städte. Dabei wird auch die unterschiedliche „biologische Produktivität“ der Erdoberfläche berücksichtigt. Das Ergebnis entspricht der Biokapazität der Erde.

Auf der Nachfrageseite wird berechnet wie viel Biokapazität die Menschen nutzen. Energiegewinnung, Bauland, Viehzucht: Jedes Wirtschaften beansprucht Fläche. Auch Abfälle und Abgase muss die Umwelt verarbeiten. Mit dem Ökologischen Fußabdruck kann man Angebot und Nachfrage vergleichen.

Wie viel Natur haben wir? Wie viel brauchen wir? Und wer nutzt wie viel? Die Einheit in diesem Buchhaltungssystem ist die biologisch produktive Fläche – dargestellt in der Maßeinheit „globale Hektar“ (gha).“⁹

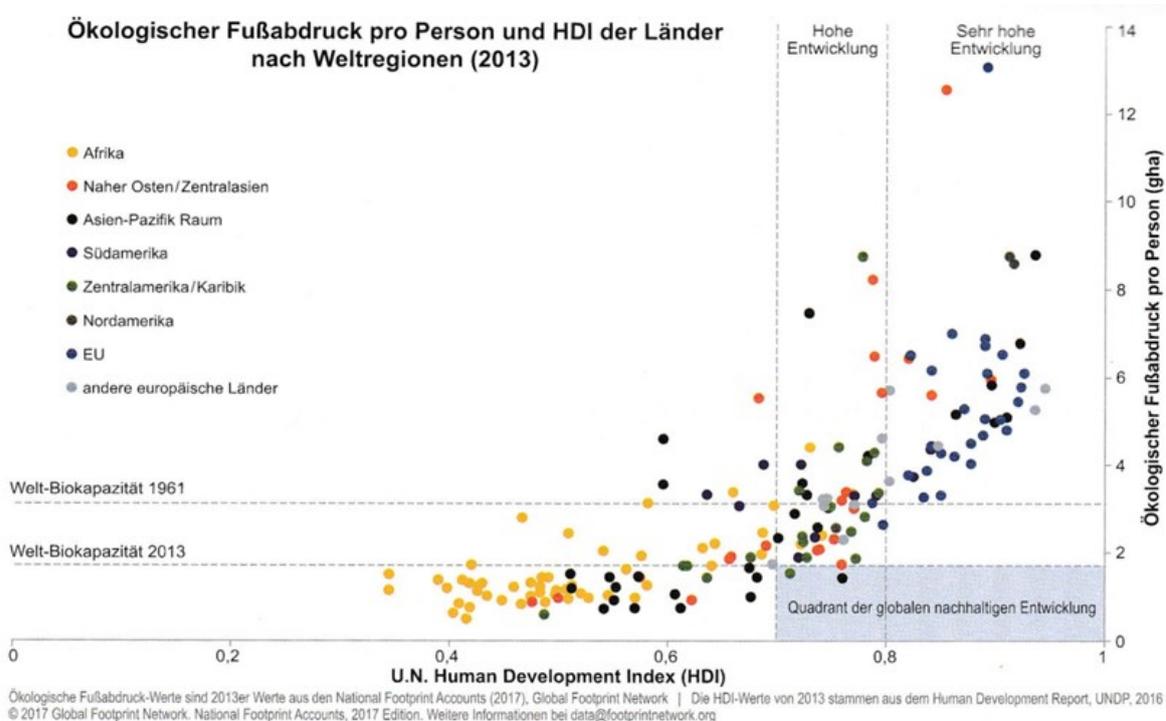


Abb. 7: „Ökologischer Fußabdruck pro Kopf in den Ländern (vertikale Achse) und der durchschnittlichen Human Development Index (HDI) der Personen in den jeweiligen Ländern (horizontale Achse). Der HDI ist ein Wohlergehungsindikator für Bildung, Gesundheit und Pro-Kopf-Einkommen. In der unteren rechten Ecke der Abbildung sehen wir das »Viereck der nachhaltigen Entwicklung«, wo der HDI über 0,8 liegt und der Pro-Kopf-Fußabdruck unter 1,8 Hektar. Die Tatsache, dass das Viereck der nachhaltigen Entwicklung praktisch leer ist, bedeutet, dass es fast kein Land gibt, das eine hohe sozioökonomische Leistung (HDI über 0,8) aufweist und gleichzeitig einen kleinen Fußabdruck (unter 1,8 Hektar) hat. Es gibt also kein einziges Land mit hohen Werten in allen drei »Säulen« der Nachhaltigkeit (wirtschaftliche, soziale, ökologische).“³

Wenn alle elf oder zwölf sozioökonomischen Sustainable Development Goals (SDGs) (Weizsäcker S. 90) in allen Ländern erreicht würden, würde man erwarten, dass durchschnittliche Fußabdrücke Größen von 4 bis 10 Hektar pro Person erreichen. Für 7,6 Milliarden Menschen würde das bedeuten, dass wir zwischen zwei und fünf Planeten von der Größe der Erde bräuchten!“ (Weizsäcker S. 96)

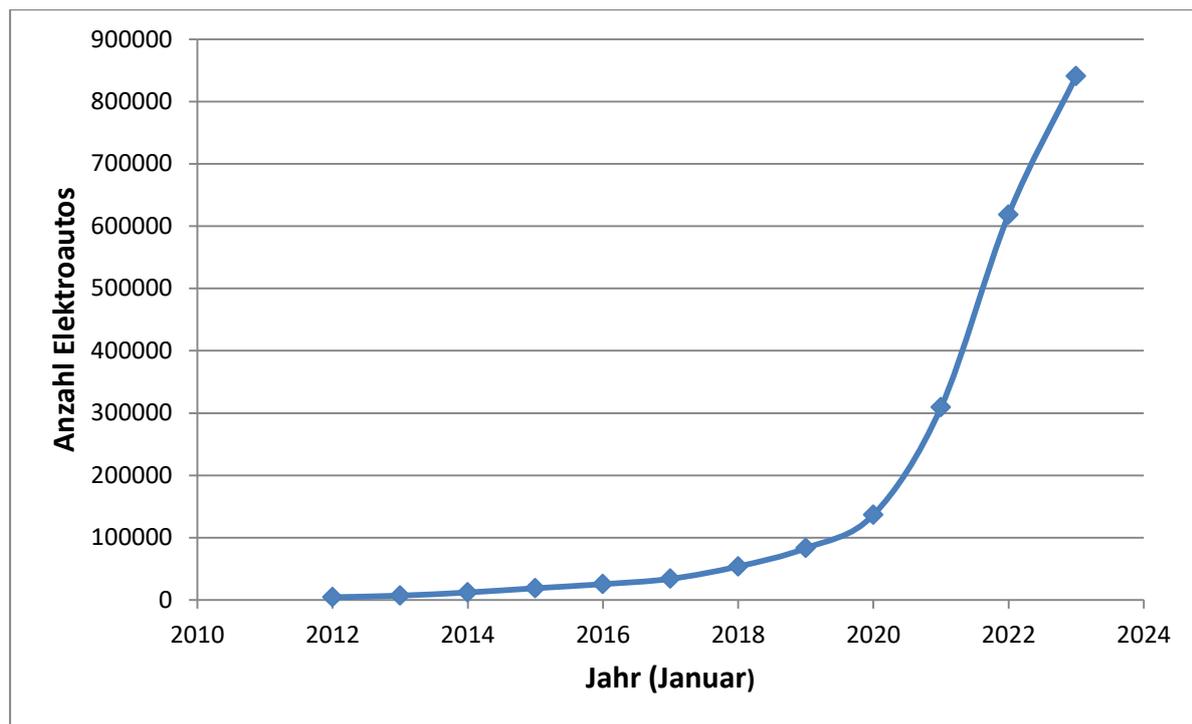
Vom Wissen zum Handeln

Was können und müssen wir tun, um die Belastung der Erde durch uns Menschen, die ja Teil der Erde sind und nicht außerhalb von ihr stehen, zu verringern? Ich möchte zwei vielfach diskutierte Themen aufgreifen: Die Verkehrswende und die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff.

Die Verkehrswende

Der Umstieg von den mit fossilen Treibstoffen angetriebenen Autos auf elektrisch betriebene Autos soll der Königsweg zur Verkehrswende sein.

Im Januar 2023 waren in Deutschland etwa eine Million Elektroautos zugelassen, dies sind 2% der zugelassenen PKW.



Jahr (Januar)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	10/2022
Anzahl Elektroautos	4541	7114	12156	18948	25502	34022	53861	83175	136617	309083	618460	840645

Abb. 8: Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2012 bis Oktober 2022 ¹¹

Was würde es für die Stromproduktion bedeuten, wenn im Verlauf der Zeit alle heute vorhandenen Pkw in Deutschland durch E-Autos ersetzt werden? In Deutschland gibt es zurzeit etwa 48 Mio Pkw. Legt man nur den Energiebedarf eines Kleinwagens mit 16 kWh/100 km und eine gefahrene Strecke von 10.000 km pro Jahr zugrunde, dann hätte jedes Auto pro Jahr einen Energiebedarf von 1600 kWh. Der Ersatz von 48 Mio Benzinern durch E-Autos würde zu einem Bedarf an elektrischer Energie von $7,82 \times 10^{10}$ kWh pro Jahr (= 78,2 TWh pro Jahr) führen. Dies sind 43,2% der Energie aus Photovoltaik und Windenergie in Deutschland im Jahr 2022, die zusätzlich allein für den Betrieb von E-Autos zur Verfügung stehen müssten und sinnvollerweise aus erneuerbaren Energiequellen stammen sollten.

Ein E-Auto emittiert im Fahrbetrieb zwar kein Kohlenstoffdioxid, aber bei der Produktion, der Wartung und der Entsorgung des Fahrzeugs liegen die Kohlenstoffdioxid-Emissionen in einer vergleichbaren Größenordnung wie bei den entsprechenden Prozessen eines Autos mit Verbrennermotor. Insbesondere für die Herstellung des Akkus

eines E-Autos werden Materialien wie Lithium und Cobalt verwendet, die knapp werden können und teilweise unter zweifelhaften Umständen gewonnen werden. Diese Belastungen könnten durch Maßnahmen wie das Recycling von Batterien und Fahrzeugbauteilen, die Verlängerung der Nutzungsdauer von Fahrzeugen oder auch die Reduzierung der Zahl der Fahrzeuge verringert werden.

Wasserstoff - Das Öl der Zukunft?

In allen Diskussionen zum Klimawandel, zur Energie- und Verkehrswende oder auch über die Veränderungen bei den Prozessen in der Grundstoffindustrie wird dem Wasserstoff eine besondere Bedeutung zugeschrieben.

Wasserstoff soll aus Wasser hergestellt werden und

- als Speichermedium für elektrische Energie genutzt werden.
- Erdgas in Gasheizungen und Industrieanlagen, in denen hohe Temperaturen benötigt werden, ersetzen.
- für die Herstellung von Stahl verwendet werden.
- zusammen mit Kohlenstoffdioxid für die Produktion von Treibstoffen und Grundchemikalien – Ammoniak, Methan, Methanol u.a. - in der Chemischen Industrie genutzt werden.
- aus Erdöl hergestellte Treibstoffe ersetzen.

Das Konzept mit Sonnenenergie gewonnenen Wasserstoff als Energieträger zu verwenden ist vor mehr als 50 Jahren entwickelt und von dem amerikanischen Elektrochemiker John O'M. Bockris und dem deutschen Physiker Eduard W. Justi in dem 1980 erschienenem Buch „Wasserstoff, Energie für alle Zeiten“¹³ beschrieben worden.

Im Folgenden werde ich mich auf die Gewinnung von Wasserstoff und seine Verwendung für die Herstellung von Stahl und die Produktion von Treibstoffen und Grundchemikalien beschränken. Das Ziel ist dabei fossile Rohstoffen – Kohle, Erdöl, Erdgas – zu ersetzen, um die Emission von Kohlenstoffdioxid möglichst vollständig zu vermeiden.

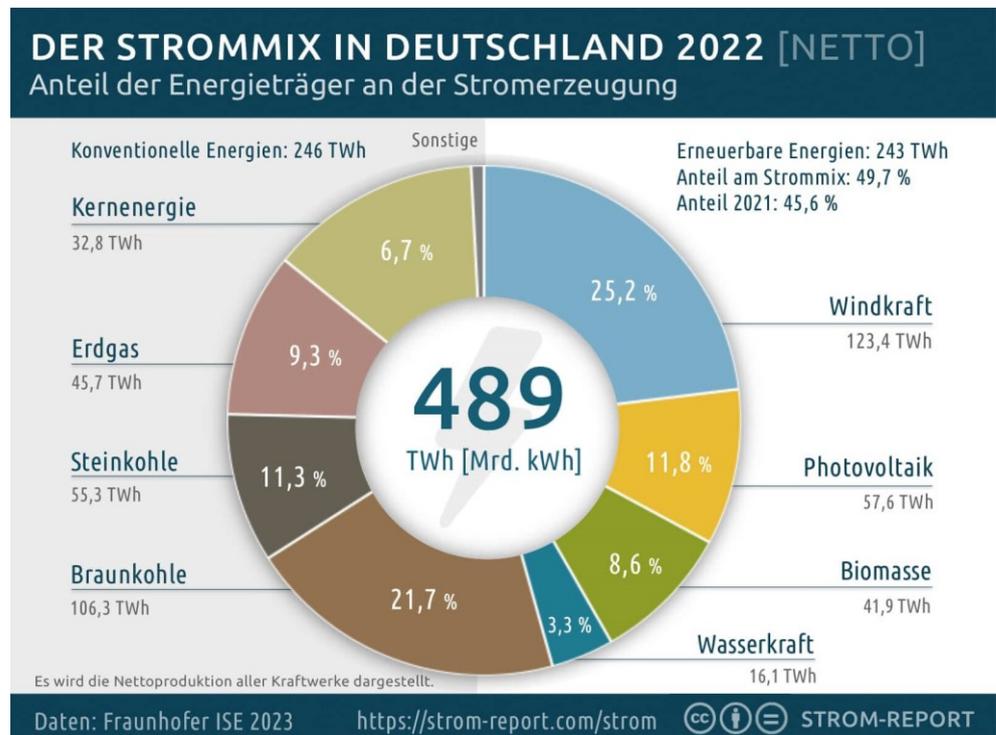


Abb. 9: Strommix in Deutschland 2022¹⁴

Kohlenstoffdioxidemissionen in Deutschland

Gesamte CO ₂ – Emissionen / Jahr in Deutschland (2021):	750 Mio t
CO ₂ – Emissionen / Jahr durch den Verkehr (2022):	148 Mio t
CO ₂ – Emissionen / Jahr durch die Industrie (2021):	120 Mio t
CO ₂ – Emissionen / Jahr durch die Stahlindustrie (2019):	39,6 Mio t
CO ₂ – Emissionen / Jahr durch die Zementindustrie (2021):	21 Mio t

Abb. 10: Kohlenstoffdioxidemissionen in Deutschland

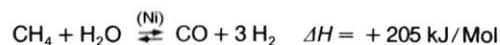
Herstellung von Wasserstoff

Wasserstoff ist zwar im gesamten Universum das häufigste Element, kommt aber auf der Erde nur zu weniger als 1% in elementarer Form vor. Für die Herstellung von Kraftstoffen muss also erst einmal Wasserstoff hergestellt werden. Dies geschieht heute größtenteils immer noch durch die Reaktion von Erdgas (Methan) mit Wasserdampf. Dabei entsteht neben Wasserstoff Kohlenstoffdioxid, das in die Atmosphäre entweicht. Die Alternative zu diesen Verfahren ist die Elektrolyse von Wasser, bei der es keine Kohlenstoffdioxidemissionen gibt, wenn elektrische Energie aus Windkraft- oder Photovoltaikanlagen verwendet wird. Im einfachsten Fall wird an zwei Elektroden, die in Wasser eintauchen, eine elektrische Spannung angelegt, wodurch an der negativen Elektrode Wasserstoff und an der positiven Elektrode Sauerstoff freigesetzt wird.

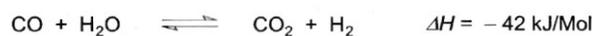
Für die Herstellung von 1 kg Wasserstoff durch Elektrolyse werden gegenwärtig ca. 53 kWh an elektrischer Energie benötigt.

Verwendung. Methan ist der Hauptbestandteil des Erdgases und der bei der Erdölraffination anfallenden leicht flüchtigen Anteile, die zum Teil abgefackelt werden (Flaregas). Es tritt auch in den bei der Verkokung von Steinkohle entweichenden Gasen auf und wird als *Heiz-* oder *Stadtgas* verwendet.

In der Technik stellt man aus Methan durch Dampfspaltung (steamreforming) bei etwa 800 °C (1075 K) am Nickelkontakt *Wasserstoff* und *Kohlenmonoxid* (Synthesegas) her:



Es handelt sich um eine Reduktion des Wassers durch den Kohlenstoff des Methans, der nach dessen thermischer Spaltung entsteht. Um reinen Wasserstoff zu gewinnen, unterwirft man das Kohlenmonoxid mit weiterem Wasserdampf der Konversion oder Konvertierung:

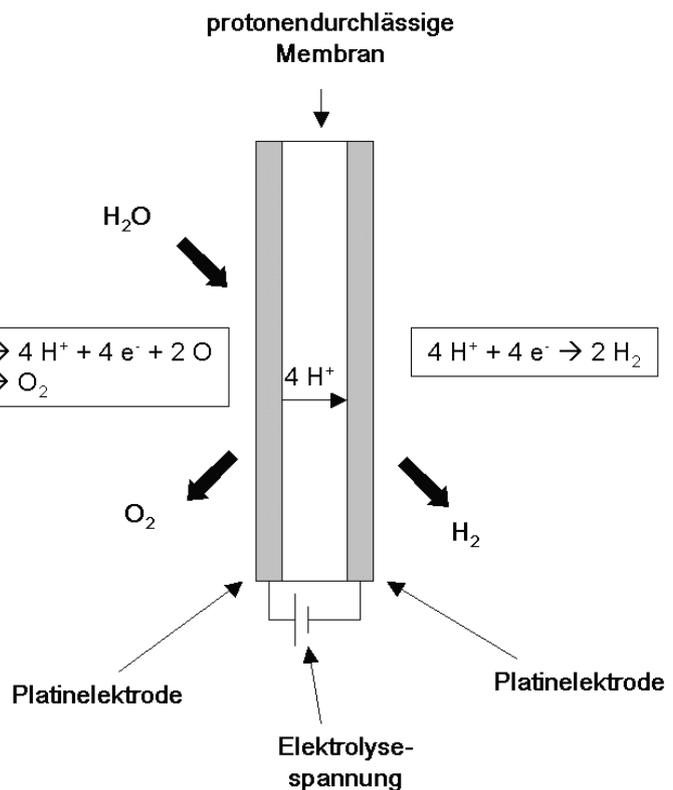


Die Reaktion ist im Gegensatz zu der Dampfspaltung exotherm, und sie läuft zwischen 300 und 400 °C (575–675 K) am chromaktivierten Eisenkontakt ab.

Abb. 11: Steamreforming von Methan zur Herstellung von Wasserstoff ^{15, 16, 17}

PEM-Elektrolyseur¹⁸

Im Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseur wird destilliertes Wasser durch elektrischen Strom in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Er besteht aus einer protonendurchlässigen Polymermembran („proton exchange membrane“ oder „polymer electrolyte membrane“, kurz „PEM“), die die Kathodenseite von der Anodenseite trennt. Diese Membran ist kathodenseitig (- Pol) mit einer porösen Elektrode aus auf Kohlenstoff geträgertem Platin und anodenseitig (+ Pol) mit metallischen oder als Oxid vorliegenden Edelmetallen (meist Iridium und Ruthenium) beschichtet. An diese Elektroden wird eine äußere Spannung angelegt. Auf der Anodenseite des Elektrolyseurs wird Wasser zugeführt.



Die katalytische Wirkung der Edelmetall-Elektrode führt zur Zersetzung des Wassers an der Anodenseite: Es entstehen Sauerstoff, freie Elektronen und positiv geladene H^+ -Ionen. Die Wasserstoff-Ionen diffundieren durch die protonenleitende Membran auf die Kathodenseite, wo sie mit den Elektronen zu Wasserstoff kombinieren.

Chemische Struktur einer protonendurchlässigen Membran

Nafion[®], ein Beispiel für eine Membran, die Protonen leitet, ist ein Copolymer aus Tetrafluorethylen (Teflon[®], Grundgerüst) und Perfluoro-alkylvinylethern (Seitenketten). Am Ende der Seitenketten befinden sich Sulfonsäure-Gruppen ($-SO_3H$). Wird die Membran befeuchtet, erhält sie einen sauren Charakter - tendiert also dazu, ein Proton abzugeben. Eine deprotonierte Sulfonsäure-Gruppe ist wiederum in der Lage, ein Proton aufzunehmen. Somit können Protonen über die Sulfonsäure-Gruppen durch die Membran wandern, die Membran wird leitfähig für Protonen.

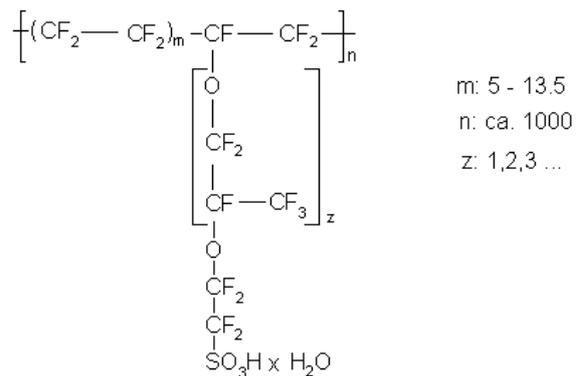


Abb. 12: PEM-Elektrolyseur zur Elektrolyse von Wasser¹⁸

Für beide Prozesse wird von außen zugeführte Energie benötigt. Bei der Elektrolyse sollte idealerweise elektrische Energie aus Windkraft- oder Photovoltaikanlagen verwendet werden. Damit würde wenigstens bei der Herstellung von Wasserstoff kein zusätzliches Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Dies bedeutet aber nicht, dass der ganze Prozess klimaneutral ist. Denn für den Bau der Anlagen - Windräder, Photovoltaikpanels, Elektrolyseure u.a. – werden Energie und Stoffe wie Stahl und Beton benötigt. Bei der Herstellung dieser beiden Baustoffe werden in Deutschland bei den gegenwärtig verwendeten Verfahren etwa ein Drittel der gesamten in der Industrie freigesetzten Mengen an Kohlenstoffdioxid emittiert.

Verwendung von Wasserstoff

In der chemischen Industrie wird Wasserstoff für zahlreiche Reaktionen zur Herstellung von Stoffen verwendet, die für die Produktion von Düngemitteln, Kunststoffen unterschiedlichster Art, Farbstoffen, Arzneimitteln und vieles andere mehr verwendet werden können.

Ammoniakherstellung

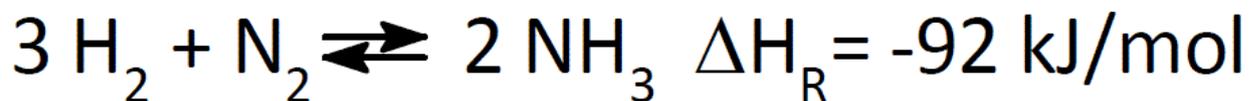


Abb. 13: Reaktionsschema der Ammoniaksynthese

Reaktionsbedingungen: Temperatur: 450 - 550° C; Druck: 150 – 250 bar; Katalysator: feinverteiltes α -Eisen mit diversen Oxiden (Aluminiumoxid, Calciumoxid u.a.) zur Verstärkung der Katalysatoraktivität.

Großverbraucher für Wasserstoff sind die Hersteller von Ammoniak. In Deutschland wurden im Jahr 2020 2,4 Megatonnen Ammoniak hergestellt. Hierfür werden etwa 425.000 t Wasserstoff benötigt, die zurzeit vor allem aus Erdgas (Methan) hergestellt werden. **Für die Herstellung dieser Menge an Wasserstoff durch eine Elektrolyse werden $2,24 \cdot 10^6$ kWh = 22,4 TWh an elektrischer Energie benötigt. Dies sind etwa 12,4% der im Jahr 2022 aus Photovoltaik und Windkraft erzeugten elektrischen Energie in Deutschland.**

Stahlherstellung - Direktreduktion

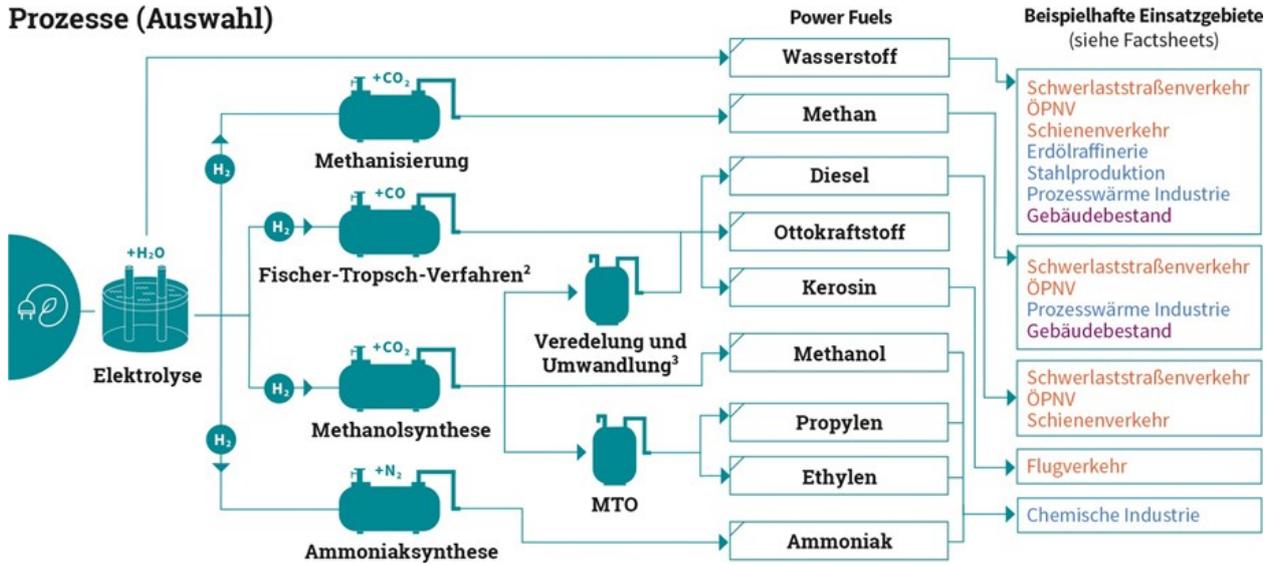
Eine wesentliche Emissionsquelle für Kohlenstoffdioxid ist die Herstellung von Stahl (s. Abb. 10), der beim Bau von Häusern, im Schiffbau, im Maschinenbau und damit auch in der Automobilindustrie und vielen anderen Bereichen auf absehbare Zeit auch weiterhin eine große Rolle spielen wird. Stahl wird heute im Prinzip durch die Reduktion von Eisenoxid mit Kohlenstoff erzeugt, wobei große Mengen an Kohlenstoffdioxid entstehen. Bei Thyssen Krupp in Duisburg-Hamborn wird zurzeit ein Verfahren zur Direktreduktion entwickelt, bei dem das Eisenoxid mit Wasserstoff und nicht mit Kohle reduziert wird.^{19, 20, 21}

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland ca. 40 Mio. t Rohstahl produziert. Bei der Direktreduktion von Eisenoxid mit Wasserstoff würden etwa 64 kg Wasserstoff für die Produktion von 1000 kg (1 t) Rohstahl benötigt – für 40 Mio. t Rohstahl wären dies dementsprechend 2,56 Mio t Wasserstoff. Für die Herstellung dieser Wasserstoffmenge durch Elektrolyse sind 135,7 TWh an elektrischer Energie notwendig. Dies sind etwa 75% der im Jahr 2022 aus Photovoltaik und Windkraft erzeugten elektrischen Energie in Deutschland.

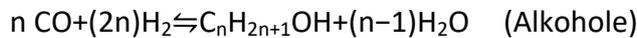
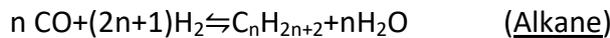
Power to X

Durch den Einsatz von Power to X Technologie kann elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen für die Herstellung synthetischer Energieträger (Power to Fuels) und chemischer Grundstoffe bei Reduzierung von CO₂-Emissionen genutzt werden.

Prozesse (Auswahl)



Die Fischer - Tropsch Synthese ist ein großtechnisches, Verfahren zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen durch die Hydrierung von Kohlenstoffmonoxid mit Wasserstoff. Die deutschen Chemiker Franz Fischer und Hans Tropsch entwickelten das Verfahren am Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr und meldeten es 1925 zum Patent an.



Die Reaktion findet bereits bei Atmosphärendruck und einer Temperatur zwischen 160 und 200 °C statt.

Methanisierung

Bei dieser Reaktion reagiert Kohlenstoffmonoxid oder Kohlenstoffdioxid bei Temperaturen von 300 bis 700 °C mit Wasserstoff zu Methan und Wasser. Diese Reaktion ist exotherm, muss jedoch durch einen Katalysator beschleunigt werden. Hierzu dienen meist Nickelkatalysatoren, die mit verschiedenen Promotoren und Stabilisatoren wie Aluminiumoxid und Zirkoniumdioxid verbessert werden.

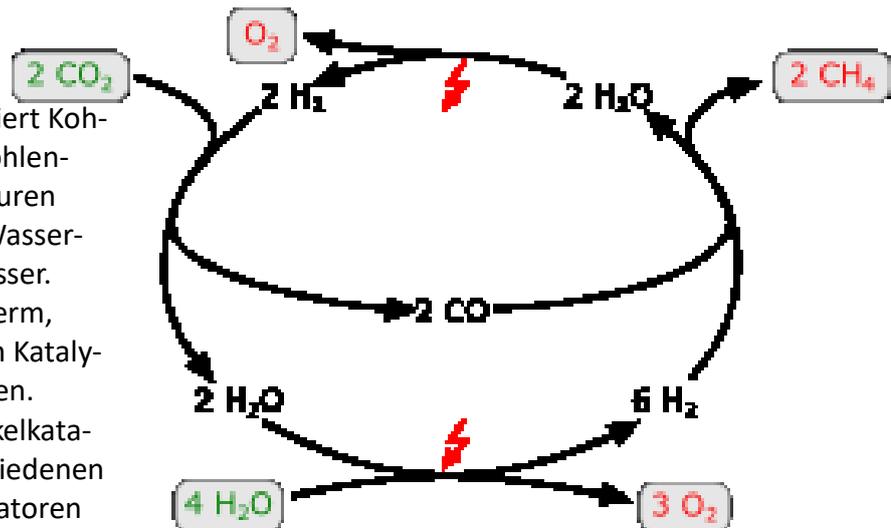


Abb. 13: Verfahren zur Verwendung von Wasserstoff bei der Produktion von Grundstoffen in der chemischen Industrie. ^{23, 24, 25}

Zementindustrie – Vermeidung von Kohlenstoffdioxidemissionen

Mit 21 Mio t Kohlenstoffdioxid pro Jahr ist die Zementindustrie ein großer Emittent dieses Treibhausgases (s. Abb. 10). Für die Reduzierung der Kohlenstoffdioxidemissionen in die Atmosphäre werden die unterirdische Speicherung von Kohlenstoffdioxid (Carbon Capture and Storage; CCS) und auch die Verwendung von Kohlenstoffdioxid als Ausgangsstoff für die Herstellung von Treibstoffen und Grundstoffen der Chemischen Industrie (Power to X; Abb. 13) diskutiert. Für die letztgenannte Verwendung sollten die Anlagen für die Produktion von Zement, für die Bereitstellung der elektrischen Energie (Photovoltaik, Windräder) und die Produktion von Wasserstoff sowie die der Grundstoffe für die chemische Industrie in Industrieparks zur Verfügung stehen, um lange Transportwege zu vermeiden und Nebenprodukte ggf. direkt verarbeiten zu können.

Was ist zu tun?

Wenn Wasserstoff die Rolle des Öls als Treibstoff und in der Chemischen Industrie einnehmen soll, dann ist ein gewaltiger Umbau in der einschlägigen Industrie erforderlich, der mit einem sehr großen Bedarf an Rohstoffen verbunden ist, da die Produktionsanlagen für Wasserstoff, die Industrieanlagen, in denen Wasserstoff genutzt wird und auch die Brennstoffzellen neu gebaut werden müssen. Auf die zweifelhaften Umstände, unter denen diese Rohstoffe teils gewonnen werden, ist immer wieder hingewiesen worden (s. beispielsweise den Text zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen des Öko-Instituts Darmstadt ²⁶).

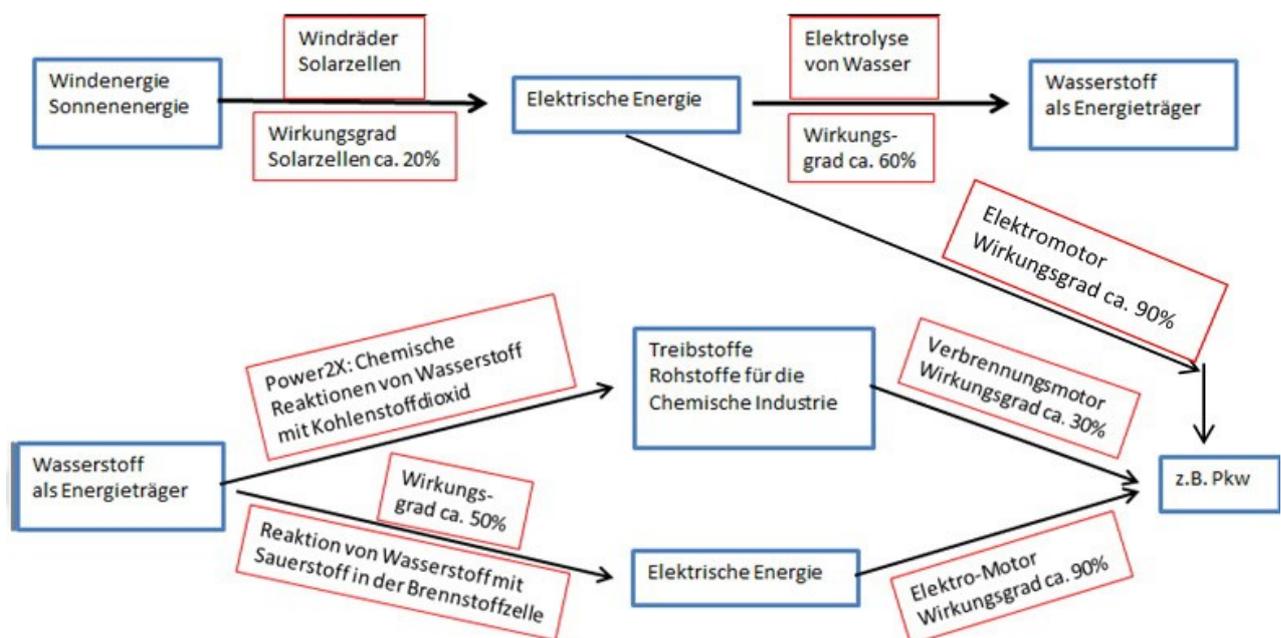


Abb. 14: Gewinnung und Nutzung von Wasserstoff

Um Wasserstoff zu gewinnen und dann für einen Prozess zu nutzen, sind mehrere Schritte notwendig, die zu mehr oder weniger großen Energieverlusten in Bezug auf die eingesetzte Energie führen.

Bei der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie durch Solarzellen beträgt der Wirkungsgrad ²⁷ etwa 20%. Dies bedeutet, 20% der eingestrahelten Sonnenenergie wird in elektrische Energie umgewandelt. Dies ist nur insofern von Bedeutung, als dass ein kleinerer Wirkungsgrad eine größere Solarzellenfläche erfordert. Beim nächsten Schritt, der Elektrolyse von Wasser erreicht man mit einem PEM Elektrolyseur einen Wirkungsgrad von etwa 60%. Wird die im Wasserstoff enthaltene Energie in einer Brennstoffzelle wieder in elektrische Energie umgewandelt, dann geschieht dies mit einem Wirkungsgrad von etwa 50%. Damit stehen etwa 30% der ur-

sprünglich an der Solarzelle zur Verfügung gestellten elektrischen Energie für den Elektromotor zur Verfügung.

Würde man die durch eine Solarzelle oder ein Windrad bereit gestellte elektrische Energie direkt für den Antrieb eines E-Autos zur Verfügung stellen, dann würden ca. 80 bis 90% dieser Energie für den Antrieb des Autos zur Verfügung stehen. Mit diesen Betrachtungen zu den Energieumwandlungen erscheint für einen Pkw, der relativ wenig und dann auch vorwiegend für relativ kurze Strecken genutzt wird, das E-Auto mit einem Akku als Speicher alternativlos. Für LkWs, Busse oder andere Nutzfahrzeuge kann man sicherlich auch über eine Kombination von verschiedenen Energiespeichern mit einem Elektromotor nachdenken, wie von Prof. Günther Schuh, RWTH Aachen, vorgeschlagen wurde²⁸.

Ganz klar ist allerdings, es reicht nicht, beispielsweise eine Antriebsart durch eine andere „klima-neutrale“ Antriebsart auszutauschen. Es ist vielmehr notwendig die Mobilität der Menschen neu zu denken, so dass der Bedarf an Rohstoffen und Energie drastisch reduziert wird.

Der Ersatz von 48 Mio mit fossilen Brennstoffen betriebenen PKW durch 48 Mio elektrisch angetriebenen PKW scheint nicht besonders zielführend zu sein. Die notwendigen Verkehrsflächen – Straßen, Parkplätze, Garagen – würden nicht verringert werden und der morgendliche und abendliche Stau blieben erhalten. Vielversprechender dürfte es sein, den Individualverkehr mit dem Pkw zugunsten eines öffentlichen, auch in der Fläche verfügbaren Nahverkehrsangebotes sehr stark zu reduzieren. Was ist eigentlich so attraktiv daran, am Morgen alleine mit dem Auto – oft im Stau stehend – zur Arbeit zu fahren, das Auto acht Stunden auf dem Firmenparkplatz stehen zu lassen und dann, möglicherweise wieder im Stau stehend, zurück nach Hause zu fahren? Auch in der Region Lübeck sollte es doch möglich sein, einen öffentlichen Nahverkehr zu organisieren, der sich an dem jeweiligen Bedarf orientiert und die Mobilität auch für die Menschen in den umliegenden Gemeinden der Zentren und auf dem Land sicherstellt und damit den Individualverkehr sowie den Besitz eines eigenen Autos weitgehend überflüssig macht. Dies kann sicherlich nicht durch einen gewinnorientierten Betrieb geleistet werden, sondern der öffentliche Nahverkehr muss ein Teil der Daseinsvorsorge in der Stadt und auf dem Land sein. So wie man sich heute nicht mehr vorstellen kann, in einem Restaurant zu rauchen, so sollte es in fünf bis spätestens zehn Jahren selbstverständlich sein, öffentliche Verkehrsmittel gemeinsam mit anderen Menschen zu nutzen und nicht alleine in einem Pkw durch die Stadt zu fahren.

Auch industrielle Prozesse und das Konsumverhalten insbesondere in den Staaten des „entwickelten Nordens“ müssen dahingehend entwickelt werden, dass der ökologische Fußabdruck pro Person reduziert wird. Der Einsatz von klimaneutral gewonnenem Wasserstoff – „grüner“ Wasserstoff hergestellt durch die Elektrolyse von Wasser – für die Ammoniaksynthese, die Stahlherstellung durch Direktreduktion oder in der Zementindustrie ist gut geeignet, um Kohlenstoffdioxidemissionen durch die Industrie deutlich zu reduzieren, und sollte dementsprechend gefördert werden.

Es ist dringend erforderlich, nicht so verschwenderisch mit den stofflichen Ressourcen der Erde umzugehen, wie dies in unserer Wohlstandsgesellschaft geschieht.

- Wozu benötigt man 60 neue Kleidungsstücke pro Jahr, die zumeist unter ausbeuterischen Bedingungen produziert werden?²⁹
- Steigt die Lebensqualität, wenn man sich jedes Jahr ein neues Smartphone kauft, obwohl das alte Modell einwandfrei funktioniert und die eigenen Bedürfnisse vollkommen erfüllt?³⁰

Um den ökologischen Fußabdruck pro Person deutlich zu reduzieren, müssen für den privaten Bereich und vor allem auch für die Wirtschaft Anreize geschaffen werden, dass Güter jeglicher Art - Nahrungsmittel, Farbstoffe, Kleidung, Geräte und Maschinen, Gebäude u.a. – so produziert werden, dass Abfälle möglichst vermieden und Nebenprodukte in anderen Produktionen ver-

wendet werden. Güter wie Kleidungsstücke, Geräte und Maschinen oder Gebäude sollten für eine lange Nutzungsdauer konzipiert werden und bei Bedarf einfach repariert werden können. Nicht mehr benötigte Güter – das geht von leeren Flaschen bis zu nicht mehr benötigten Gebäuden – sollten so gestaltet werden, dass sie Rohstoffe für neu produzierte Güter sein können (Kreislaufwirtschaft).³¹

Schlussbemerkung

„Unsere Erde ist endlich“

So banal diese Aussage erscheinen mag, so schwierig scheint es doch zu sein, unser Handeln in allen Bereich und überall auf der Welt an dieser Aussage auszurichten.

Für die grundlegenden Probleme auf dieser Erde – Klimawandel, Erdüberlastung, Migration – gibt es keine einfachen Lösungen. Weltweit wird an Lösungen für die beschriebenen Probleme gearbeitet – einige Ideen werden in diesem Text skizziert. Wer glaubt Technologieoffenheit im Sinne von „den Menschen ist doch immer etwas eingefallen, um ihre Probleme zu lösen“ sei eine Lösung, hat noch immer nicht verstanden, dass die Erde uns Tag für Tag die Ressourcen zur Verfügung stellt, die die Menschheit für ihr Leben benötigt.

Der Mensch ist Teil des System Erde und kein außerhalb stehender Beobachter und Akteur, der die Prozesse auf der Erde beliebig steuern kann.

**Die Erde benötigt die 8 Milliarden Menschen nicht,
aber die Menschen benötigen die Erde.**

Literatur- und Quellenhinweise

1. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1694/umfrage/entwicklung-der-weltbevoelkerungszahl/> Veröffentlichungsdatum: Juli 2022
2. Dennis Meadows, Die Grenzen des Wachstums, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart 1972, S. 15
3. Ernst Ulrich von Weizsäcker, Anders Wijkman, Wir sind dran – Was wir ändern müssen wenn wir bleiben wollen, Pantheon Verlag, München 2019, S. 96-97
4. C. Niemitz, Die Menschheit retten? Packen wir's an!, Oekom Verlag, München 2019
5. https://de.wikipedia.org/wiki/Mount_Everest
6. <https://www.spektrum.de/news/tief-in-der-erde-lebt-mehr-als-im-meer/1613304>
7. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c04158>
8. C. Niemitz, Das Eis wird dünn – Die planetare Lage und Folgerungen daraus für Jede und Jeden, Urania Nr. 52 (2020/2021), S.21
9. <https://www.fussabdruck.de/oekologischer-fussabdruck/ueber-den-oekologischen-fussabdruck/>
10. https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96kologischer_Fu%C3%9Fabdruck
11. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/265995/umfrage/anzahl-der-elektroautos-in-deutschland/>
12. Dennis Meadows, Die Grenzen des Wachstums, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart 1972, S. 113
13. John O'M. Bockris, Eduard W. Justi, "Wasserstoff, Energie für alle Zeiten, Udo Pfriemer Verlag, München 1980
14. <https://strom-report.com/strom/#strommix-2022>
15. Beyer / Walter, Lehrbuch der Organischen Chemie, 23.Auflage, S. Hirzel Verlag Stuttgart Leipzig 1998, S. 58
16. <https://www.bdew.de/energie/wasserstoff/flexible-herstellung-was-ist-wasserstoff-und-wie-wird-er-erzeugt>

17. <https://de.wikipedia.org/wiki/Dampfreformierung>
18. <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrolyseur>
19. https://de.wikipedia.org/wiki/Stahlerzeugung#Direktreduktion_mit_Wasserstoff
20. <https://doi.org/10.3390/en10040451>
21. <https://www.energiesystem-forschung.de/forschen/projekte/reallabor-der-energie-wende-h2-stahl>
22. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28355/umfrage/stahlproduktion-von-rohstahl-in-deutschland-seit-1980/>
23. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/607/9264_Power_to_X_Technologien.pdf
24. <https://de.wikipedia.org/wiki/Methanisierung>
25. <https://de.wikipedia.org/wiki/Fischer-Tropsch-Synthese>
26. Öko-Institut (2017): Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen. Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende.
27. Die hier und im Folgenden genannten Wirkungsgrade sind mittlere Werte und hängen von der Bauart der Geräte ab. Diese Werte dienen ausschließlich zur Orientierung.
<https://www.photovoltaike.org/wissen/photovoltaik-wirkungsgrad>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrolyseur>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>
28. <https://www.elektroauto-news.net/2022/prof-guenther-schuh-kreislaufwirtschaft-wasserstoff-hybrid>
<https://www.evolution-mobility.com/de/fahrzeuge/>
29. https://greenwire.greenpeace.de/system/files/2019-04/s01951_greenpeace_report_konsumkollaps_fast_fashion.pdf
30. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/elektroaltgeraete#elektronikaltgeraete-in-deutschland>
31. <https://www.agora-energie-wende.de/veroeffentlichungen/mobilisierung-der-kreislaufwirtschaft-fuer-energieintensive-materialien-zusammenfassung/>

Allgemeine Literaturhinweise

- **Sven Geitmann, Eva Augsten**, „Wasserstoff und Brennstoffzellen“, 5. Auflage, Hydrogeit Verlag, 16727 Oberkrämer 2022
- **Harald Lesch, Klaus Kamphausen**, „Wenn nicht jetzt, wann dann? Handeln für eine Welt, in der wir leben wollen“, Penguin Verlag, München 2018
- **Maja Göpel**, „Unsere Welt neu denken“, Ullstein Buchverlage, Berlin 2020
- **Ulrike Herrmann**, „Das Ende des Kapitalismus“, Kiepenheuer & Witsch, Köln 2022

Dr. Wolfgang Czieslik, Jahrgang 1948, studierte Chemie in Kiel und promovierte am dortigen Institut für Physikalische Chemie über den „Rotations-Zeemann-Effekt bei kleinen Molekülen“ (1976), unterrichtete nach dem Zweiten Staatsexamen (1978) Chemie und Physik am Trave-Gymnasium in Lübeck und leitete von 1990 bis 2011 das Gymnasiums am Mühlenberg in Bad Schwartau. Er ist Autor zahlreicher Veröffentlichungen und Vorträge zur Didaktik und Methodik der Chemie. Seit 2015 ist er aktives Mitglied Naturwissenschaftlichen Vereins zu Lübeck (2016 – 2022 Vorsitzender).



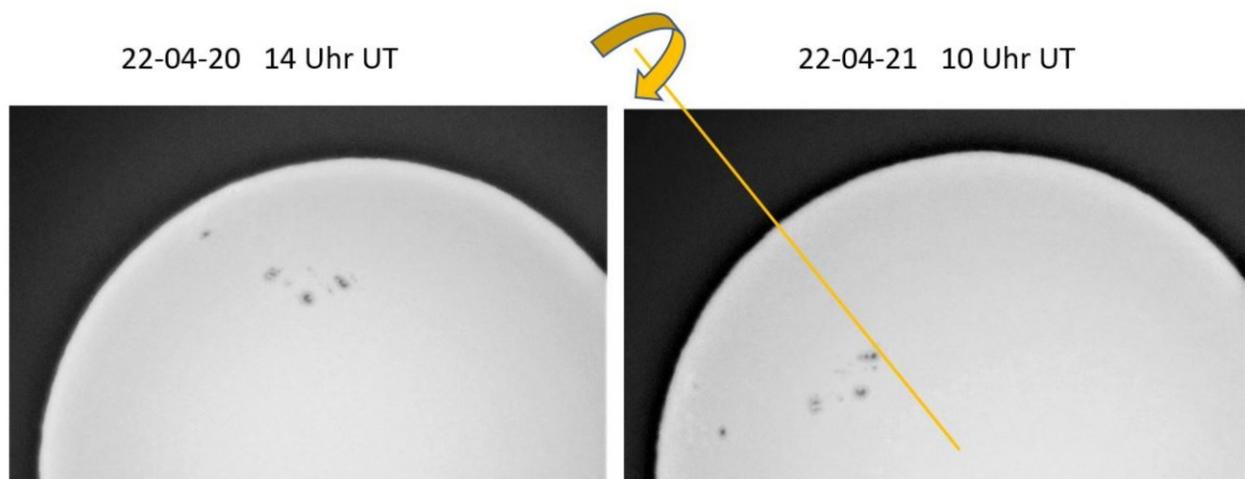
Eigenrotation der Sonne

Carsten T. Niemitz

Es ist allgemein bekannt, dass man für eine Umrundung der Erde am Äquator etwas über 40.000 km zurücklegen muss, denn die Erde hat einen Durchmesser von 12.756 km. Der Durchmesser der Sonne jedoch ist 110-mal so groß wie jener der Erde und beträgt 1,4 Millionen km. Obwohl das Volumen unseres Zentralsterns dadurch knapp 1,3 Millionen-mal so groß ist wie jenes unserer Erde, zählt sie zu den sogenannten Gelben Zwergen unter den Sternen unserer Galaxis, der Milchstraße.

Wenn sich der Morgennebel allmählich auflöst oder manchmal, bei Auf- oder Untergängen, sieht man die Sonne als makellose gleichförmig helle Scheibe. Immer scheint sie uns dieselbe hell erleuchtete Seite zuzukehren. Durch eine Sonnenfilter-Folie betrachtet, erkennt man jedoch oft Flecken auf der Sonnenscheibe. Es handelt sich um Ausbrüche gigantischer magnetische Stürme, die innerhalb der Sonnenoberfläche entstehen. Da das Magnetfeld der Sonne sich alle elf Jahre umpolt, unterliegt die magnetische Aktivität der Sonne einem dementsprechenden Rhythmus. Ein Versuch 2019, Sonnenflecken zu beobachten, schlug fehl, da in jenem Jahr eine solche Umpolung stattfand und sich keine Magnetfelder abbildeten. Da eine gleichsinnige Umpolung aber nur bei jedem zweiten Mal stattfindet, dauert also ein Zyklus der Sonnenaktivität 22 Jahre.

Am 20. April 2022 gegen 14 Uhr Sommerzeit (= Universal Time UT) konnte man durch eine „Sonnen-Sicht-Brille“ (Firma Zeiss, AstroMedia Verlag, Würzburg, zirka 2,- Euro) ein Muster von Sonnenflecken erkennen (linkes Bild). Das Foto entstand, indem die Schutzfolie vor dem Teleobjektiv eines Fotoapparates befestigt wurde. In größeren Flecken befinden sich oft dunklere, zentrale Bereiche, die sogenannte Umbra, die oft um vieles größer als die Erde ist. Ein zweites Foto 20 Stunden später am 21. April 2022 um 10 Uhr zeigt dieselbe Gruppe von Sonnenflecken an einem anderen Ort (rechtes Foto): Man kann bei uns vor der Haustür mit geringem Aufwand leicht sehen, dass sich der große Stern dreht.



Da die Sonnenflecken die Ausbrüche von magnetischem Geschehen unterhalb der Sonnenoberfläche darstellen, vollzieht sich die abgebildete Rotation in der Tiefe. Dort dreht sich die Sonne jedoch langsamer als an der Oberfläche, was mit diesen einfachen Mitteln nicht sichtbar ist.

Erkennbar ist jedoch durch Fotos, dass eine Umdrehung in Polnähe des Gasballs etwa 29 Tage dauert, während sie äquatorial zirka zwei Tage weniger in Anspruch nimmt. Bei Mustern von Sonnenflecken, die durch die Mitte der Sonnen-„Fläche“ ziehen, kann man beobachten, dass sich die Form der Konstellation mit der Drehung verändert. In der Aufsicht, bei Durchgang durch die Mitte des Sonnenbildes, erscheinen die Konstellation größer als am Rand vor ihrem Verschwinden hinter dem Horizont, weil sie dort perspektivisch zusammengeschoben werden. So kann man auch mit Hilfe solcher Fotos hier in Schleswig-Holstein leicht und mit geringem Aufwand sichtbar machen und nachweisen, dass die Sonne keine Scheibe, sondern ein kugelförmiger Stern ist.

Prof. Dr. Carsten Niemitz hat Biologie, Medizin, Mathematik und Kunstgeschichte studiert.

Für seine Doktorarbeit hat er fast drei Jahre in Borneo gelebt, meist im Urwald. Nach der Promotion hat er an der Uni Göttingen als Anatom gelehrt und erhielt im Alter von 31 Jahren den Ruf als Direktor des Instituts für Humanbiologie an der Freien Universität Berlin. Dort hat er bis zu seiner Emeritierung im Jahr 2010 zu den Themen Verhaltensforschung, Anatomie des Menschen, Biodiversität, Nature Conservation Management, Humanökologie und Naturschutz geforscht und gelehrt. Von Oktober 2010 bis Juni 2019 war er Leiter des Instituts für Forensische Humanbiologie in Mölln.

Seit 2014 wohnt Herr Niemitz in Mölln und ist dort im NABU und bei Scientists for Future in Lübeck aktiv.

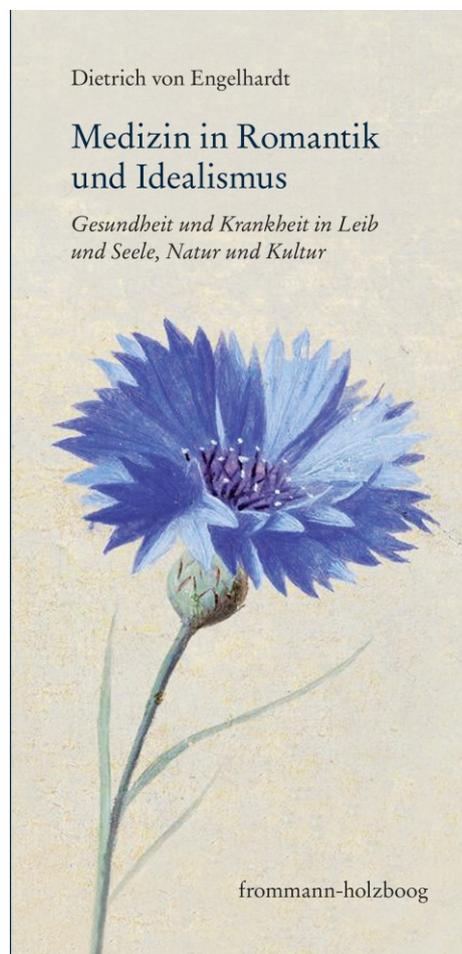


Unser Buchtipp

In seinem neuesten vierbändigen Werk beschäftigt sich Dietrich von Engelhardt, ehemaliger Direktor des Instituts für Medizingeschichte und Wissenschaftsforschung und regelmäßig Vortragender im NWV und Autor in der Urania, in der derzeit umfassendsten Darstellung mit der Medizin in der Romantik.



Mit diesem QR-Code können Sie weitere Informationen abrufen.



Band 1
Darstellung
und Interpretation

In dieser derzeit umfassendsten Darstellung und Interpretation der Medizin der deutschen Romantik zeigt Dietrich von Engelhardt, wie Philosophen, Naturforscher und Mediziner von Kant, Schelling, Hegel, Goethe, Novalis über Carus, Heinroth, Eschenmayer, Kerner, Reil und Schubert bis zu Müller und Purkyně Empirie und Philosophie, Praxis und Theorie, Wissenschaft, Kunst und Leben sowie Geschichte und Zukunft zu verbinden suchen, was sie unter Gesundheit, Krankheit und Therapie, Arzt und Patient, Natur und Kultur verstehen. Dabei werden historische und philosophische Voraussetzungen beachtet, unterschiedliche Orientierungen und Schwerpunkte beschrieben, die zeitgenössische Rezeption im In- und Ausland verfolgt sowie auf ihre Nachwirkung und Anregungen für die Gegenwart eingegangen.

XVI, 601 Seiten
2023, Leinen, Fadenheftung, Lesebändchen
ISBN 978-3-7728-2951-2, € 98,-
bei Gesamtabnahme € 86,-

Natur vor der Haustür

Die folgenden Bilder und Texte stammen von Prof. Dr. Carsten Niemitz, der in Mölln im NABU und bei Scientists for Future in Lübeck aktiv ist.



Die aquatisch lebende Stabwanze *Ranatra linearis* ist unter Wasser von einem Pflanzenhalm kaum zu unterscheiden. Für ihre Tracheenatmung dient ihr ein Rohr am Hinterleib, dessen Ende aus dem Wasser herausragt. Als evolutorische Konvergenz hat sie Vorderbeine und eine Fangtechnik erworben, die jener der Gottesanbeterinnen (Fangschrecken) stark ähnelt (Pinnsee bei Mölln, 18.7.2022).



Die recht seltene Ameisenwespe *Mutilla marginata* entlehnt ihren deutschen Namen vielleicht dem Umstand, dass sie nur so groß ist wie eine Rote Waldameise. Über das Leben dieser bunten Wespe ist wenig bekannt. Vermutlich parasitieren ihre Larven die Brut von Hummeln in deren Erdnestern (Groß Zecher am Schaalsee, 28.7.2022).



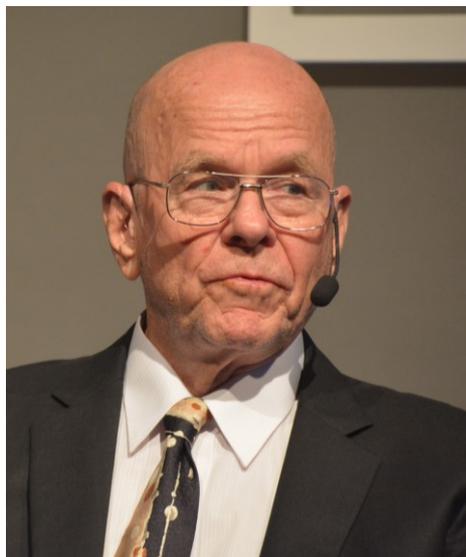
Eine Wegwespe *Priocnemis spec.* ohne näheren deutschen Namen hat eine Erdwolfspinne (*Trochosa terricola*) erbeutet und mit einem Stich gelähmt. Mit großer Mühe zerrt sie die Spinne zu ihrer Bruthöhle, wo jene als Nahrung für die Wespenlarve dienen soll (Mechow bei Ratzeburg, 23.7.2022).



Der Blattlauslöwe ist die Larve der zarten, goldäugigen Florfliege (*Chrysopa carnea*). Hier hat er, entgegen seiner häufigsten, namensgebenden Nahrung, ein anderes Beutetier ergriffen, nämlich eine Berberitzen-Blattwespe (*Arge berberidis*). Obwohl beide Tiere – mit unbekanntem Ausgang – mehrere Stunden miteinander kämpften, wird die Blattwespe nicht überlebt haben, denn der Blattlauslöwe hat ihr durch seine Mandibelzangen ein verdauungsenzymatisches Gift injiziert (Mölln, 29.7.2022).

Nobelpreis Chemie 2022: Click - Chemie

Wolfgang Czieslik



Karl Barry Sharpless (geb. 28. 4.1941) studierte am Dartmouth College mit dem Bachelor-Abschluss 1963 und promovierte 1968 bei Eugene van Tamelen an der Stanford University. 1970 wurde er Assistant Professor und später Professor am Massachusetts Institute of Technology, an dem er bis 1990 blieb, unterbrochen von dem Zeitraum 1977 bis 1980 als Professor in Stanford. 1990 wurde er Professor am Scripps Research Institute.

Im Jahr 2001 erhielt Sharpless den Nobelpreis für Chemie für Arbeiten zur stereoselektiven Oxidationsreaktionen. Im Jahr 2022 folgte ein weiterer Nobelpreis in Chemie, wobei grundlegende Arbeiten zur Click-Chemie ausgezeichnet wurden.¹

Morten P. Meldal (geb. 16. 1. 1954) studierte Chemieingenieurwesen an der Technischen Universität Dänemark, an der er 1983 über die Synthese von Oligosacchariden promovierte. 1996 wurde er Professor an der Technischen Universität Dänemarks und 2004 erhielt er eine Honorarprofessur in der Abteilung Pharmazie der Universität Kopenhagen. 2011 wurde er Professor für Nanochemie am Nano Science Center der Universität Kopenhagen. Meldal entwickelte die in der Click-Chemie bedeutenden kupferkatalysierten Azid-Alkin-Reaktionen. Er benutzte die Reaktion zur Modifikation von Proteinen und zum Aufbau von Polymerarchitekturen.^{2,3}



Carolyn Ruth Bertozzi (geb. 19. 5. 1966) studierte Biologie und Chemie in Harvard und wurde 1993 an die University of California, Berkeley, bei Mark Bednarski über das Thema Synthesis and Biological Activity of Carbon-linked Glycosides promoviert. Seit 1996 ist sie Professorin für Chemie und Molekular- und Zell-Biologie an der der University of California, Berkeley, und seit 2000 ist sie außerdem Professorin für Molekular- und Zellpharmakologie an der University of California, San Francisco. 2015 wurde sie Professorin an der Stanford University. Für die Markierung von Molekülen im lebenden Organismus entwickelte sie eine Azid-Alkin Reaktion, die ohne den bei der Click-Chemie verwendeten Kupfer-I-Katalysator, der toxisch für Zellen und Organismen ist, auskommt.⁴

Der Nobelpreis für Chemie 2021 wurde für die Entwicklung eines neuen Werkzeugs zum Aufbau von Molekülen vergeben. Benjamin List, einer der beiden Preisträger, zeigte, dass für eine chemische Reaktion, die durch Enzyme katalysiert wird, nicht unbedingt das gesamte hochkomplexe Enzym-Molekül notwendig ist, sondern dass eine Aminosäure aus dem aktiven Zentrum des Enzyms ausreichend ist.⁵ Auch im Jahr 2022 ist der Nobelpreis für Chemie für die Entwicklung einer Synthesemethode vergeben worden, durch die die Verknüpfung von zwei Molekülen stark vereinfacht wird: Die Click-Chemie.

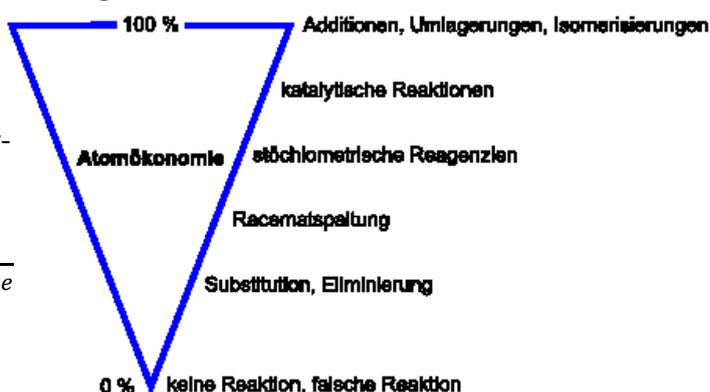
Schon im Jahr 2001 haben sich Barry Sharpless und seine Kollegen M.G. Finn sowie Hartmuth C. Kolb kritisch zu Synthesemethoden, die sich an dem Vorbild der Natur orientieren, geäußert.⁶

Ein Stolperstein für Chemiker, so Barry Sharpless, waren die Bindungen zwischen Kohlenstoffatomen, die für die Chemie des Lebens so wichtig sind. Im Prinzip haben alle Biomoleküle ein Gerüst aus miteinander verbundenen Kohlenstoffatomen. Das Leben hat Methoden entwickelt, um diese Kohlenstoffgerüste zu schaffen, aber bei Chemikern sind diese Methoden berüchtigt und der Aufbau eines Kohlenstoffgerüsts gilt als schwierig. Der Grund dafür ist, dass die Kohlenstoffatome verschiedener Moleküle oft keinen chemischen Antrieb haben, sich miteinander zu verbinden, so dass sie künstlich aktiviert werden müssen. Diese Aktivierung führt oft zu zahlreichen unerwünschten Nebenreaktionen und einem kostspieligen Materialverlust.

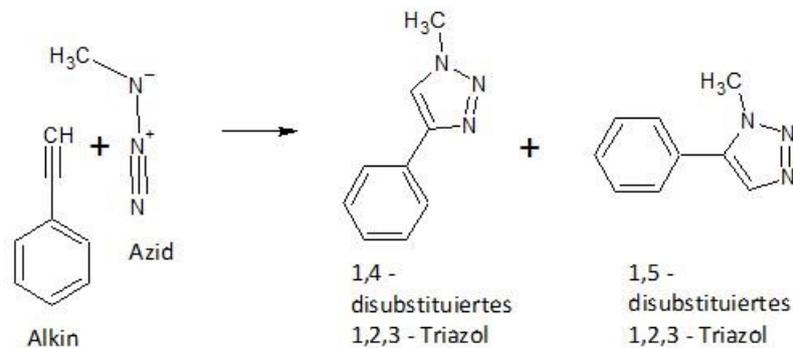
Anstatt zu versuchen, widerspenstige Kohlenstoffatome dazu zu bringen, miteinander zu reagieren, ermutigte Barry Sharpless seine Kollegen, mit kleineren Molekülen zu beginnen, die bereits ein vollständiges Kohlenstoffgerüst aufwiesen. Diese einfachen Moleküle könnten dann mit Brücken aus Stickstoff- oder Sauerstoffatomen verbunden werden, die leichter zu kontrollieren sind. Wenn Chemiker einfache Reaktionen wählen, bei denen es einen starken intrinsischen Antrieb für die Moleküle gibt, sich miteinander zu verbinden, vermeiden sie viele der Nebenreaktionen bei einem minimalen Verlust an Material.⁷

Zur Click-Chemie gehört ein chemischer Prozess, der folgenden Kriterien genügt:^{6,8}

- modular und breite Anwendungsmöglichkeit
- hohe Ausbeuten
- unbedenkliche und nicht störende Nebenprodukte
- stereospezifisch
- einfache Reaktionsbedingungen
- leicht verfügbare und billige Reagenzien
- Lösungsmittel, die eine einfache Produktisolierung ermöglichen (vorzugsweise Wasser)
- einfache Aufarbeitung und Isolierung des Produkts mittels Kristallisation oder Destillation (nicht chromatographische Verfahren)
- hohe thermodynamische Antriebskraft (Bildungsenthalpie > 84 kJ/mol), um eine schnelle Reaktion zu einem einzigen Reaktionsprodukt zu garantieren
- hohe Atomeffizienz: **Atomeffizienz** ist der massenmäßig prozentuale Anteil der in einer chemischen Reaktion von den Edukten in die Produkte überführten Atome.¹⁰
- $AE(\%) = \frac{\text{gesamte Molmasse des Produkts} \cdot 100\%}{\text{Summe der gesamten Molmassen aller Edukte}}$



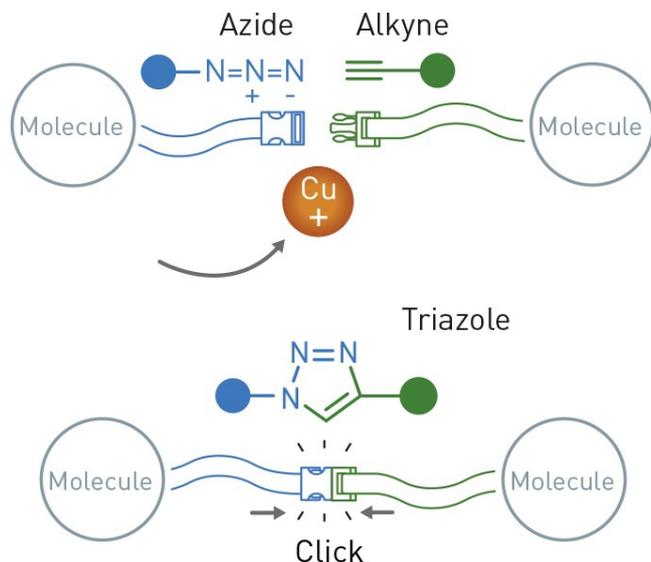
Eine der Reaktionen, die Sharpless schon als Kandidaten für eine Click-Reaktion ausgemacht hat ist eine 1,3-dipolare Cycloaddition, bei der ein Azid in einem einzigen Schritt mit einem Alkin – enthält eine Dreifachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen - einen stabilen Fünfring bildet.¹¹



Diese Azid-Alkin-Cycloaddition muss bei erhöhten Temperaturen durchgeführt werden und führt oft zu Mischungen von zwei Isomeren – Molekülen die zwar die gleiche Summenformel, aber verschiedene Strukturformeln haben – und genügt damit nicht allen Kriterien der Click-Chemie.

Am Anfang dieses Jahrhunderts entwickelte Morten Meldal Methoden zum Auffinden potentieller pharmazeutischer Substanzen. Bei Routinearbeiten entdeckte er, dass die Reaktion zwischen einem Azid und einem Alkin durch Kupfer-Ionen enorm beschleunigt wurde ganz spezifisch das 1,4 – disubstituierte 1,2,3 - Triazol entstand. Unabhängig von Morten Meldal zeigte Barry Sharpless dass die Reaktion im wässrigen Medium zuverlässig funktioniert.

Click-Reaktionen ermöglichen unter anderem die Herstellung neuer Materialien, die für den jeweiligen Zweck geeignet sind. Wenn ein Hersteller einem Kunststoff oder einer Faser ein klickbares Azid hinzufügt, ist es einfach, das Material später zu ändern; es ist möglich, Stoffe einzuklicken, die Elektrizität leiten, Sonnenlicht einfangen, antibakteriell sind, vor ultravioletter Strahlung schützen oder andere gewünschte Eigenschaften haben. Auch Weichmacher können in Kunststoffe eingeklickt werden, so dass sie später nicht mehr auslaufen. In der pharmazeutischen Forschung wird die Klick-Chemie zur Herstellung und Optimierung von Substanzen eingesetzt, die potenziell zu Arzneimitteln werden können.⁷

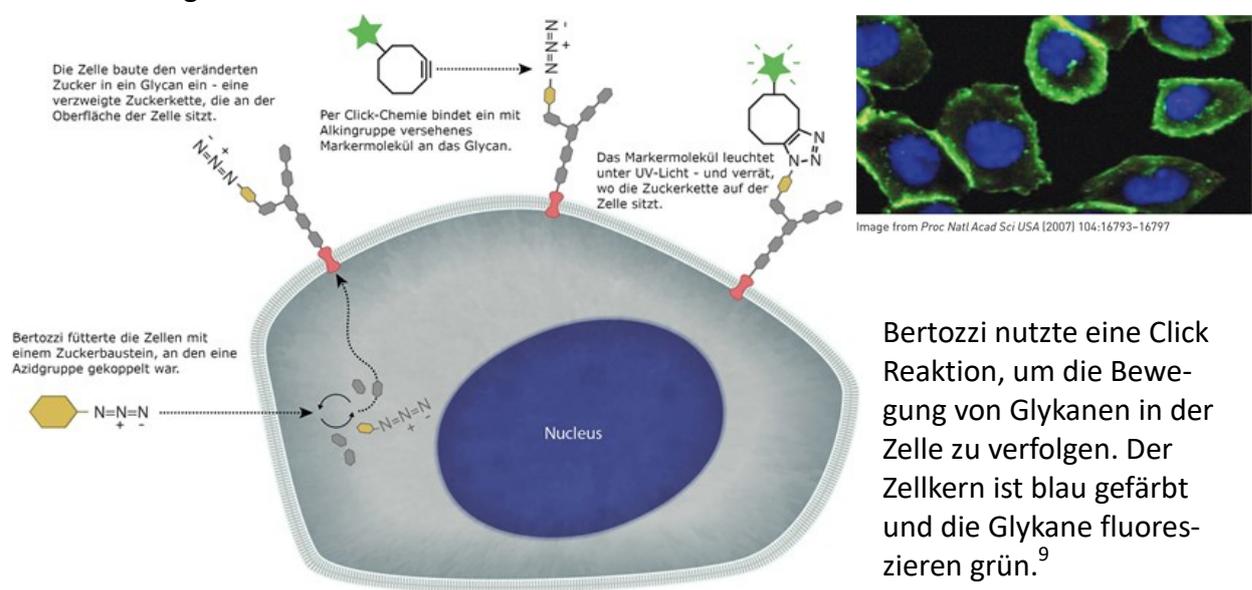


Azide und Alkine reagieren sehr effektiv miteinander wenn Kupfer-Ionen hinzugefügt werden. Diese Reaktion wird weltweit genutzt, um Moleküle sehr einfach miteinander zu verbinden.⁷

Click-Chemie in der Biologie und Biochemie

Wegen der milden Reaktionsbedingungen und der großen Selektivität wurde die Cycloaddition mit Aziden und Alkinen auch für Untersuchungen an Zellen interessant. Allerdings konnten hierfür keine Kupfer-Ionen als Katalysator verwendet werden, da Kupfer ein Zellgift ist. Carolyn Bertozzi, die seit den 1990er Jahren die Funktion von Glykanen – komplexe Kohlenhydrate, die aus verschiedenen Zuckerarten aufgebaut sind – auf der Oberfläche von Zellen untersuchte, fand heraus, dass die 1,3-dipolare Cycloaddition mit Aziden auch ohne Kupfer-Ionen viel schneller abläuft, wenn die Dreifachbindung des Alkins sich in einem Ring aus acht Kohlenstoffatomen befindet.

Um die Glykane an der Zelloberfläche zu markieren, fütterte Bertozzi die Zellen mit Azid-haltigen Zuckerbausteinen, die in die Glykane eingebaut wurden. Anschließend wird ein Markermolekül, an dem sich der Achtring mit der Dreifachbindung befindet, mit der Azidgruppe verbunden. Unter UV-Licht fluoresziert das Markermolekül, so dass man untersuchen kann, wie Biomoleküle in der Zelle interagieren.



Bertozzi nutzte eine Click Reaktion, um die Bewegung von Glykanen in der Zelle zu verfolgen. Der Zellkern ist blau gefärbt und die Glykane fluoreszieren grün.⁹

Quellen- und Literaturhinweise

1. https://de.wikipedia.org/wiki/Barry_Sharpless
2. https://de.wikipedia.org/wiki/Morten_P._Meldal
3. <https://opoyi.com/world/who-is-morten-meldal-767660/>
4. https://de.wikipedia.org/wiki/Carolyn_Bertozzi
5. Wolfgang Czieslik, Nobelpreis Chemie 2021 – Entwicklung der asymmetrischen Organo-Katalyse, Urania Nr. 53 – 2021/2022, S. 23 - 28
6. Hartmuth C. Kolb, M. G. Finn, and K. Barry Sharpless, Click Chemistry: Diverse Chemical Function from a Few Good Reactions, Angew. Chem. Int. Ed. 2001, 40, 2004 - 2021
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/1521-3773%2820010601%2940%3A11%3C2004%3A%3AAID-ANIE2004%3E3.0.CO%3B2-5>
7. The Nobel prize in Chemistry 2022, Popular Science Background
<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2022/popular-information/>
8. <https://de.wikipedia.org/wiki/Click-Chemie>
9. https://www.spektrum.de/news/chemie-nobelpreis-2022-drei-forschende-geehrt-fuer-click-chemie/2063808?utm_medium=newsletter&utm_source=sdw-nl&utm_campaign=sdw-nl-daily&utm_content=heute
10. <https://de.wikipedia.org/wiki/Atom%C3%B6konomie>
11. The Nobel prize in Chemistry 2022, Scientific Background
<https://www.nobelprize.org/uploads/2022/10/advanced-chemistryprize2022-2.pdf>

Mitteilungen aus dem Verein

Nachruf auf Hans-Dieter Reusch

Am 14. Februar 2023 verstarb im 71. Lebensjahr unser langjähriges Mitglied Prof. Dr. Hans-Dieter Reusch. Hans Dieter Reusch war von 2000 bis 2006 Vorsitzender des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Lübeck und ihm wurde als Dank und in Anerkennung für sein herausragendes Engagements in der Kinder- und Jugendarbeit des Vereins das Amt eines Ehrenvorsitzenden verliehen.

Hans-Dieter Reusch war von 1996 - 1999 Prorektor der Fachhochschule Lübeck, er initiierte 2003 den JuniorCampus an der Fachhochschule und leitete diesen bis 2013. Im Jahr 2001 gründete er die Kinder- und Jugendgruppe des NWV Lübeck und leitete diese mit einem herausragenden Engagement bis 2019.

Sein großes Anliegen war es, Kindern und Jugendlichen ab 12 Jahren die Möglichkeit zu eröffnen, handwerkliche Fähigkeiten beim Bau von Objekten und beim Experimentieren in allen naturwissenschaftlichen Bereichen zu trainieren und damit Zusammenhänge in den Naturwissenschaften und der Technik zu erfahren.

Er entwickelte Weiterbildungen für Erziehrinnen und Erzieher sowie Lehrerinnen und Lehrer, um Kinder und Jugendliche, aber auch deren Eltern und Großeltern für Technik, Medizin und Naturwissenschaften zu interessieren.

Mit Hans-Dieter Reusch verlieren wir einen Menschen, dem die Vermittlung von Naturwissenschaften, insbesondere an Kinder und Jugendliche, ein besonderes Anliegen war.

Wir werden ihm immer ein ehrendes Andenken bewahren.

W. Cieslik



Jahreshauptversammlung 2023

Jahresbericht für 2022

Auch im Jahr 2022, insbesondere in der ersten Hälfte, wurden unsere Aktivitäten durch die Corona-Pandemie eingeschränkt. Das Jahr 2022 war vor allem geprägt durch Aktivitäten im Rahmen des 150jährigen Jubiläums des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Lübeck.

Jahreshauptversammlung am 12. Mai 2022

Zwei Tagesordnungspunkte beherrschten diese Jahreshauptversammlung im Großen Saal der Gemeinnützigen:

- **Neuwahl des Vorstandes:** Dr. Jens-Uwe Hagenah wurde für die dreijährige Wahlperiode ab 1. Januar 2023 zu Vorsitzenden gewählt. Dr. Wolfgang Czieslik wurde sein Stellvertreter, Uwe Spiekermann wurde als Kassenwart bestätigt und Michael Möllers sowie Dr. Eckhard Scheufler wurden als Beisitzer gewählt.
- **Vorstellung des Jubiläumsbuches:** In Anwesenheit der stellvertretenden Stadtpräsidentin Silke Mählendorff und von Senator Luger Hinsin in seiner Funktion als stellvertretender Bürgermeister stellte Dr. Jan Zimmermann unser Jubiläumsbuch „NaWi(e) war das? – 150 Jahre Naturwissenschaftlicher Verein zu Lübeck“ vor.

Festveranstaltung am 17. November 2022

Unter dem Motto „**NaWi(e) war das? – NaWi(e) geht das?**“ haben wir das 150jährige Vereinsjubiläum mit einem vielfältigen Programm in der Gemeinnützigen gefeiert. Prof. Dr. Dietrich von Engelhardt beschäftigte sich mit „Naturwissenschaft und Bildung – Dimensionen und Stationen in der Neuzeit“ und in einer Podiumsdiskussion, moderiert von Dr. Jens-Uwe Hagenah, ging es um „Fakten versus Fake News - Vermittlung naturwissenschaftlicher Kenntnisse, Methoden und Denkweisen“. Das Programm wurde durch das Große Moorlied, der szenischen Darstellung des Chemischen Kapitels der Wahlverwandtschaften, gespielt von Mitgliedern der Schauspielschule der Gemeinnützigen, und Musikbeiträgen der Musikschule der Gemeinnützigen abgerundet.

Auf unserer Internetseite (www.nwv-luebeck.de) steht das Buch als pdf-Datei zu Verfügung und die Beiträge der Festveranstaltung kann man sich dort noch einmal anhören. Berichte über unser Jubiläum gibt es in den Lübeckischen Blätter Jahrgang 187 (2022) Heft 9 S. 129 und Heft 20 S. 356 (<https://www.die-gemeinnuetzige.de/luebeckische-blaetter/>) und in den Lübecker Nachrichten vom 13.11.2022 S. 16.

Vortragsveranstaltungen

Im ersten Halbjahr 2022 war der NWV für zwei Dienstagsvorträge verantwortlich:

- Was geschieht eigentlich in der Pathologie? Diese Frage beantwortete Frau Prof. Dr. Veron Sailer in ihrem Vortrag „Mikroskop und molekulare Medizin – Die neue Rolle der Pathologie“ am 15. März 2022 in der Gemeinnützigen.
- Am 12. April 2022 sprach Herr Prof. Dr. Carsten Niemitz in seinem Vortrag „Das Eis wird dünn - Eine Analyse der ökologischen Lage der Menschheit“ über wichtige ökologische Fragen, die für das Überleben der Menschheit auf dieser Erde von großer Bedeutung sind (s. auch Urania Nr. 52 2020/2021 S.21).

Ein vergnüglicher Streifzug durch das Werden der Welt und des Menschen war die Veranstaltung mit den Schauspielern Jörn Kolpe und Peter Grüning, die am 17. Juni 2022 im Domhof das „Wagon-Gespräch zwischen Felix Krull und Prof. Kuckuck“ präsentierten. Frau Dr. Susanne Fütting, Leiterin des Museums für Natur und Umwelt, und Frau Dr. Birte Lipinski, Leiterin des Buddenbrookhauses, kommentierten dieses Gespräch aus der Sicht der Naturwissenschaften und der Literatur.

Familienworkshops

Unter dem Motto „NaWi(e) geht das? – Entdeckungsreisen in die Welt der Chemie und Physik“ konnten Erwachsene zusammen mit Kindern am Internationalen Museumstag (15. Mai 2022), am 18. September 2022 und am 6. November 2022 Chemie- und Physikexperimente mit Materialien, die man im Supermarkt, in der Drogerie oder im Baumarkt kaufen kann, durchführen.

Gesprächskreis

Der Gesprächskreis fand im Berichtsjahr an vier Terminen (20.1., 17.2., 17.3. und 15.9.) als Videokonferenz und einmal (20.10.) als Präsenzveranstaltung statt. Die Teilnehmenden tauschten sich aus über

- das Jubiläumsbuch und das Programm und die Organisation der Festveranstaltung am 17.11.2022
- Die Nobelpreise 2021 für Medizin, Physik und Chemie 2021,
- Neue Covid 19 Medikamente
- Künstliche Intelligenz
- Variation, Selektion, Mutation

Diese Themen finden sich neben anderen in der Urania Nr.53 (202/2022), der Informationsschrift des NWV, die im Sommer 2022 herausgegeben werden konnte.

Vorstandssitzungen

Der Vorstand hat im Jahr 2022 am 10. März 2022 und am 5. Oktober 2022 getagt. Diese Sitzungen konnten jeweils als Präsenzveranstaltung durchgeführt. Themen waren die Vorbereitung der Jahreshauptversammlung am 12.5.2022, die Herausgabe der Urania, der Sachstand für die Festschrift, Die Krull-Lesung am 17.6.2022 und die Vorbereitung der Festveranstaltung am 17.11.2022.

Mitgliederbewegung

Im Berichtszeitraum verminderte sich die Zahl der Mitglieder durch Austritte und Tod um drei und vergrößerte sich durch die Eintritte von vier Personen, so dass der Verein 60 ordentliche Mitglieder hat.

Ausblick

Auch 2023 werden der Gesprächskreis, die Familienworkshops und Vortragsveranstaltungen weiter entwickelt werden und wesentliche Bestandteile der Aktivitäten des Vereins sein.

Zeitnah sollte entschieden werden, was mit der Ausstattung der von Herrn Reusch geleiteten und jetzt nicht mehr existierenden Jugendgruppe geschehen soll.

W. Cieslik

Januar 2023

Haushaltsübersicht 2022 und Plan 2023

Übertrag aus 2021: Giro-Kt.: 10 402,07 €

Einnahmen 2022		2022	 2023
Position	Plan/ €	Ist /€	Plan /€
01. Beiträge Mitglieder	1 500	1 640,22	1 500
02. Beiträge Fördermitglieder	0	0,00	0
03. Spenden Mitglieder	150	95,00	100
04. Zuschüsse			
- Ges. z. Bef. gem. Tätigkeit	350	400,00	400
- Possehl-Stiftung. Fördermittel Buchprojekt	7 000	6 184,68	0
- Hansestadt Lübeck (150 Jahre NWV zu Lübeck)	0	250,00	0
- Keller-Stiftung	1 000	1 000,00	0
05. Einnahmen aus Veranstaltungen			
- Spende JHV	0	22,00	30
- Spende Jubiläumsveranstaltung	0	34,00	0
- Spende Jubiläumsbuch	0	112,00	0
06. sonstige Einnahmen			
- Spende Hugendubel	0	11,00	0
Summe Einnahmen	10 000	9 748,90	2 030

Ausgaben 2021		2021	 2022
10 Geschäftskosten			
10.1 Porti	150	161,80	150
10.2 Büromaterial, Papier, Kopien	50	343,54	300
10.3 Kontoführungskosten, Sollzinsen,...	25	24,00	25
10.4 Sonstige Geschäftskosten	50	51,20	50
11. Beitragsrückerstattung	0	0,00	0
12. Buchprojekt „150 Jahre NWV zu Lübeck“	11 307	11 829,03	0
13. Urania	850	1 049,99	1 000
14. Mitgliedschaften, Zuwendungen	70	50,00	50
15. Veranstaltungen			
- Jubiläumsveranstaltung (Honorar, Reisekosten, Imbiss,...)	50	1 602,31	0
- Vorträge (Honorare, Reisespesen), z. B. Lesung „Felix Krull“, Workshops	1 900	1 606,11	500
16. Werbung	350	140,00	150
Summe Ausgaben	14 802	16 857,98	2 225

Bilanz 2022:	Ist 2021	Ist 2022	Plan 2023
Übertrag aus 2020/2021/2022	6 404,09	10 402,07	3 300
Einnahmen 2021/2022/2023	12 699,00	9 748,90	2 030
Ausgaben 2021/2022/2023	8 701,02	16 857,98	2 225
Guthaben Ende 2021/ 2022/2023	10 402,07	3 292,99	3 105

Geprüft und anerkannt: Lübeck , den 17.02.2023, gez. Klitzing; 28.02.2023, gez. Kämpfert

Protokoll der Jahreshauptversammlung des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Lübeck

Termin: 02. März 2023

Ort: Institut für Medizingeschichte und Wissenschaftliche Forschung (IMGWF), Königstraße 42, Lübeck

Beginn: 18:45 Uhr

Ende der Jahreshauptversammlung: 19:20 Uhr

Anwesende: s. Anwesenheitsliste

1. Begrüßung, Grußworte

Der Vorsitzende Jens-Uwe Hagenah begrüßt die Anwesenden und dankt dem vorhergehenden Vorstand für seine Arbeit.

Ehrung des am 14. Februar 2023 verstorbenen langjährigen Mitglieds Prof. Dr. Hans-Dieter Reusch.

Dank an Uwe Spiekermann für seine langjährige Tätigkeit als Kassenwart des NWV (seit 2009).

Dank an Uwe Spiekermann und Eckhard Scheufler für die Organisation des Caterings am Ende der Veranstaltung.

2. Feststellung der ordnungsgemäßen Einladung

Die ordnungsgemäße Einladung wird festgestellt.

3. Benennung einer Protokollantin / eines Protokollanten

Wolfgang Czieslik wird als Protokollant benannt.

4. Genehmigung der Tagesordnung

Die Tagesordnung wird ohne Änderung genehmigt.

5. Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung vom 12. Mai 2022

Das Protokoll ist allen Mitgliedern mit der Urania Nr. 53 zugegangen. Es liegen keine Anmerkungen oder Änderungswünsche vor. Das Protokoll wird genehmigt.

6. Jahresbericht des Vorsitzenden mit Aussprache

Der Jahresbericht ist allen Mitgliedern mit der Einladung zur Jahreshauptversammlung zugegangen. Der Bericht wird von Wolfgang Czieslik vorgestellt. Schwerpunkte der Arbeit im Jahr 2022 waren die Herausgabe des Buches „NaWi(e) war das? – 150 Jahre Naturwissenschaftlicher Verein zu Lübeck und die Festveranstaltung am 17. November 2022 in der Gemeinnützigen.

Im Zusammenhang mit dem Tod von Hans-Dieter Reusch weist Heino Klitzing auf die besonderen Verdienste von Hans-Dieter Reusch für die Kinder- und Jugendarbeit im NWV hin.

7. Kassenbericht mit Aussprache

Der Kassenbericht liegt schriftlich vor. Uwe Spiekermann erläutert den Bericht.

8. Bericht der Kassenprüfer

Die Kassenprüfung hat am 17.2.2023 stattgefunden. Das Kassenbuch ist sorgfältig geführt, die Belege sind vollständig vorhanden und alle Kontenbewegungen sind nachvollziehbar. Es gibt keine Beanstandungen. Heino Klitzing dankt Uwe Spiekermann für seine Arbeit.

9. Entlastungen

Heino Klitzing beantragt die Entlastung des Kassenwartes Uwe Spiekermann.
Der Kassenwart wird einstimmig entlastet. Auch der Vorstand wird einstimmig entlastet.

10. Wahlen

Wahl einer Kassenwartin / eines Kassenwartes

Vom Vorstand wird Petra Bellm-Spiekermann für die Position der Kassenwartin ab 1.1.2024 vorgeschlagen. Es liegen keine weiteren Kandidaturen vor.

In einer offenen Abstimmung wird Petra Bell-Spiekermann einstimmig zu Kassenwartin gewählt. Sie nimmt die Wahl an.

Wahl von zwei Kassenprüferinnen / Kassenprüfern

Heino Klitzing und Hans-Jürgen Kämpfert (nicht anwesend) kandidieren für die Wahl zum Kassenprüfer. Hans-Jürgen Kämpfert hat gegenüber Wolfgang Czieslik im Vorfeld der Jahreshauptversammlung erklärt, wieder als Kassenprüfer zur Verfügung zu stehen.

Dieter Löwe erklärt sich bereit für den Fall, dass ein Kassenprüfer ausfällt, als Kassenprüfer nachzurücken.

Alle Kandidaten werden in einer offenen Wahl einstimmig gewählt und nehmen die Wahl an.

11. Anträge

Es liegen keine Anträge vor.

12. Verschiedenes

Es liegen keine Wortmeldungen vor

Die Jahreshauptversammlung wird um 19:20 Uhr geschlossen.

Fortsetzung der Veranstaltung:

19:30 Uhr: Öffentlicher Vortrag

"Unsere Erde ist endlich"

Wolfgang Czieslik, Stockelsdorf

In Anschluss an den Vortrag Gespräche bei einem kleinen Imbiss.

Ende der Veranstaltung: 22:00 Uhr



Lübeck, 06. März 2023

(Protokollant)

