

## MDR Aktuell – Kekulé's Gesundheits-Kompass

Donnerstag, 15. Februar 2024

#39

**Susann Böttcher, Moderatorin**

MDR Aktuell – Das Nachrichtenradio

**Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Alexander S. Kekulé, Experte**

Professor für Medizinische Mikrobiologie und Virologie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg sowie Direktor des Instituts für Biologische Sicherheitsforschung in Halle

### Links zur Sendung:

MHH-Kardiologie implantiert neuartigen Herzschrittmacher ohne Elektroden:

<https://www.mhh.de/presse-news/mhh-kardiologie-implantiert-neuartigen-herzschrittmacher-ohne-elektroden>

(Okt. 2023)

Minimalinvasiv gegen Epilepsie:

<https://www.aerzteblatt.de/archiv/228882/EASEE-sup-sup-jetzt-CE-zertifiziert-Minimalinvasiv-gegen-Epilepsie>

(Dtsch Arztebl 2022; 119(50): [35])

Neuralink setzt erstes Gehirnimplantat ein:

<https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/148950/Neuralink-setzt-Gehirnimplantat-erstem-Menschen-ein?rt=ba62e9f535cc34361fdc966cdd9e468c>

(Jan 2024)

Diese Gehirn-Computer sind Neuralink voraus:

<https://www.businessinsider.de/wirtschaft/international-business/diese-4-gehirn-computer-sind-neuralink-und-elon-musk-voraus/>

(Feb 2024)

Computersteuerung und Sprache trotz Locked-in-Syndrom:

<https://www.medicalnewstoday.com/articles/ai-tech-gives-back-voice-to-woman-with-post-stroke-locked-in-syndrome#What-is-locked-in-syndrome>

(Mai 2023)

**Donnerstag, 15. Februar 2024**

**Susann Böttcher**

Computerchips im Kopf werden Telepathie und Zugriff auf alles Wissen der Welt ermöglichen.

Das prognostiziert Elon Musk. Sind seine Versprechen Science-Fiction? Wie funktioniert *Neuralink*? Und was plant diese Firma der Zukunft?

Ich bin Susann Böttcher, Redakteurin und Moderatorin bei MDR aktuell. Alle 14 Tage immer donnerstags sprechen wir mit dem Arzt und Wissenschaftler Professor Alexander Kekulé, wir liefern Schwerpunkte zur aktuellen Gesundheitsfragen und gehen auf Ihre Themenwünsche ein. Zu hören, wie immer werbefrei, in der App der ARD Audiothek und überall dort, wo es sonst noch Podcasts gibt. Hallo, Herr Kekulé!

**Alexander Kekulé**

Hallo, Frau Böttcher!

**Susann Böttcher**

Elektroden im Körper, das ist nichts Neues, das können wir schon mal vorwegschicken. Herzschrittmacher, Hirnschrittmacher bei Epilepsie... Und seit einigen Tagen Thema Hirnimplantate von *Neuralink*. Aber handelt es sich tatsächlich um einen wegweisenden Schritt? Was macht die Konkurrenz in Sachen Brain-Computer-Interfaces? Und welche Anwendungsgebiete könnte diese Entwicklung mit dieser Methode noch finden? Zunächst der Blick aber auf die Ursprünge. Und, Herr Kekulé, damit meine ich nicht Dr. Frankenstein mit seinen Elektroden im Hals, sondern wir schauen hier auf Herzschrittmacher. Klar, das ist ein kleines Gerät im Brustbereich, unter der Haut implantiert. Dort steht es in direktem Kontakt mit dem Herzen. Das Gerät misst kontinuierlich über elektrische Impulse den Herzschlag und unterstützt, wenn es notwendig ist. Und zwar seit 1958, genau am 8. Oktober war es. Da gab es den ersten vollständig innerhalb des Körpers befindlichen Herzschrittmacher, der dort eingesetzt wurde. Jetzt gibt es allerdings... Natürlich gibt es Entwicklungen, muss man sagen, unter anderem von der Medizinischen Hochschule in Hannover. Die bietet als eine der ersten Kliniken in Deutschland die Implantation des neuen innovativen Herzschrittmachers AVEIR VR. Herr Kekulé, was ist daran die Entwicklung?

### Alexander Kekulé

Gut, die werden in Hannover eingebaut. Das ist ein amerikanisches Produkt. Und das ist relativ schwierig, das zu implantieren. Und deshalb gibt es noch bisher wenig Zentren, die das machen. So ein normaler Herzschrittmacher funktioniert ja so, dass man kleine, ganz feine Elektroden hat, Kabel letztlich, die im Herzmuskel stecken. Und wenn das Herz nicht so tut, wie es soll, dann kommen die Impulse von einem Impulsgenerator. Das ist so ein kleines Gerät, das war früher mal so groß wie eine Zigarettenschachtel. Inzwischen ist es eher so groß wie eine Streichholzschachtel oder noch kleiner. Und ist implantiert unter der Haut im Brustbereich kam. Das hat natürlich gewisse Nachteile: Das Kabel kann verrutschen, das Kabel kann Entzündungen machen, kann mal brechen sogar tatsächlich. Es gibt Menschen, die wirklich gestorben sind, weil das Kabel des Herzschrittmachers dann nicht mehr funktioniert hat. Und drum ist das so eine Weiterentwicklung, die zumindest verkauft wird von der Firma, die das herstellt. Und auch beworben wird intensiv. Darum lesen wir zurzeit darüber, dass man solche Geräte auch quasi ganz klein hat. Dass es dann so von der Größe her wie ein bisschen dickeres Q-Tip oder so was. Also wirklich... Oder wie eine kleine Triple-A-Batterie, wie eine ganz kleine Batterie. Und das wird dann über die Gefäße quasi vom Oberschenkel aus in die Herzkammer direkt hineingebracht und hängt dann in der Herzkammer fest. Das ist nur für bestimmte Art von Herzrhythmusstörungen geeignet, aber hat den Vorteil, dass es quasi komplett im Blutkreislauf ist, innen drinnen ist. Und hat deshalb keine Kabel mehr. Man muss nicht mehr irgendwo durch die Herzklappen was durchleiten oder den Herzmuskel da anbohren, sondern das ist einfach im Herz drinnen, wenn man so will. Hat natürlich auch Nachteile. Aber das, womit es beworben wird, ist, dass es einfach ein kleines Gerät ist, was weniger, sag ich mal, invasiv ist und angeblich weniger störanfällig.

### Susann Böttcher

Und wenn es dann aber doch stört, kommt man schlechter ran?

### Alexander Kekulé

Ja, das ist genau das Problem. Also, wenn sie sich so etwas richtig high-tech-mäßiges zulegen, müssen sie halt immer in der Nähe der Klinik sein, die so was dann auch im Notfall warten und wieder ausbauen kann. Also so ein normaler Herzschrittmacher, da ist es so, dass sie relativ einfach an den Impulsgeber herankommen, der ist direkt unter der Haut. Ich möchte jetzt nicht empfehlen, dass auf dem Campingplatz selber zu machen. Aber es ist im Prinzip nicht einmal eine richtige Operation, das rauszunehmen, und kann notfalls überall auf der Welt gemacht werden. Wenn sie im Urlaub sind oder so, dann finden sie eigentlich überall auf der Welt jemanden, der so einen normalen Herzschrittmacher, wenn ich mal so sagen darf, bedienen kann oder auch dann reparieren kann. Wenn sie so ein Gerät haben, was in den Gefäßen, also in der Herzkammer, richtig steckt, dann müssen sie das auf dem gleichen Weg wieder rausholen, wie es reingemacht wurde. Das heißt, es ist ein sehr aufwendiges Herzkatheter-Labor, was sie dafür brauchen. Sonst müssen sie halt einfach beten, dass das wirklich macht, was der Hersteller verspricht, dass die Batterie jahrzehntelang hält und ähnliches. Ich glaube, dass die Entwicklung schon in diese Richtung gehen wird, dass man Geräte hat, auf die man sich voll verlässt und die man dann auch nicht mehr so warten muss, die man quasi per Funkfernsteuerung nur noch ansteuern kann und nicht mehr wirklich rausholen kann. Ich persönlich, wenn ich mir morgen was einbauen lassen müsste in dieser Richtung, würde erst mal die bewährte Technik nehmen und abwarten, was die moderneren Dinge so bringen in Zukunft.

### Susann Böttcher

Wenn der Mediziner zum Beten rät, würde ich auch spätestens dann skeptisch werden.

### Alexander Kekulé

Die Ärzte beten immer zuerst und fühlen ihren eigenen Puls, bevor sie irgendwas Schlimmes machen müssen, irgendwie operieren oder ähnliches, fühlen sie ihren eigenen Puls, um sich zu beruhigen.

### Susann Böttcher

Ist das so?

### Alexander Kekulé

Ja, es gab mal einen ganz berühmten Roman, der so ein bisschen das auf die Schippe genommen hat, der hieß „The House of God“, also „Das Haus Gottes“, und war eine Schilderung eines Assistenzarztes, der in New York im Mount Sinai Hospital, das ist eben berühmtes Krankenhaus, was eben auch jüdisch ist, und deshalb „House of God“. ...der dort seine Assistenzarzt-Zeit beschrieben hat. Und da war immer die erste Regel, fühle deinen eigenen Puls, bevor du etwas Anderes tust.

### Susann Böttcher

Meiner ist ganz entspannt, deshalb können wir gleich weiterschauen vom Herzschrittmacher zum Hirnschrittmacher und zur Epilepsie. Lassen Sie uns erst mal kurz klären: Was passiert bei einem epileptischen Anfall? Und wie kann da die Technik helfen?

### Alexander Kekulé

Das mit dem Hirnschrittmacher ist natürlich eine viel neuere Entwicklung, wo man übrigens auch noch gar nicht so genau versteht, wie sie funktioniert. Bei dem Herzschrittmacher, glaube ich, wissen ja die meisten, was das ist. Und können sich ungefähr vorstellen, dass das Herz einfach so einen kurzen Reset bekommt durch einen Impuls und dann halt hoffentlich wieder normal weiterschlägt? Oder wenn der Eigenrhythmus nicht funktioniert, was weiß ich, sie haben dann 60, 70, 80 Herzschläge die Minute, das generiert dann halt einfach der Impulsgeber statt des Eigenrhythmus. Aber im Gehirn ist es sehr viel komplizierter. Das schlägt ja nicht irgendwie mit irgendeiner Frequenz, sondern das Gehirn hat, wie man irgendwann Anfang der 20er-Jahre entdeckt hat... – Das war eigentlich ein Neurologe aus Jena, Hans Berger heißt der, der ist ganz berühmt bei Neurologen. – Und der hat das EEG erfunden, also, oder ja, die ersten Hirnströme abgeleitet und festgestellt, dass es so elektrische Impulse, wie man die vom Herz schon kannte, eben beim Gehirn auch gibt, nur viel komplizierter. Also, wer so ein EEG schon mal gesehen hat, das sind ganz viele Linien, die zittern da leise vor sich hin. Und da kann man also überhaupt keinen richtigen Rhythmus ablesen. Man kann vielleicht als Laie gerade noch erkennen, ob jemand schläft oder wach ist oder sich gerade aufregt, aber vielmehr nicht.

Und das ist so, dass, wenn man eine Epilepsie hat, also einen epileptischen Anfall, dann kommt diese elektrische Leitung zwischen den einzelnen Hirnarealen irgendwie durcheinander. Genau weiß man nicht, warum das so ist. Es gibt auch ganz unterschiedliche Ursachen von Epilepsien. Aber was letztlich passiert, ist, dass so kreisende Erregungen entstehen. Also das quasi sich elektrische Impulse gegenseitig immer wieder verstärken. Und dann kommt es eben zu diesen bekannten Anfällen unterschiedlicher Art. Das kann von kurzen Aufmerksamkeitsstörungen bis hin zur kompletten Bewusstlosigkeit und diesen sogenannten Grandmal-Anfällen gehen, also zu dem richtigen epileptischen Anfall mit Schaum vor dem Mund und so weiter, wie man das vielleicht auch aus den Medien kennt. Und was da eben dahinter steckt sind diese kreisenden Erregungen. Man sagt auch so eine Art elektrisches Gewitter im Gehirn. Und das kriegen manche Epileptiker eben leider relativ häufig. Und das kann zum Beispiel eine Narbe im Gehirn sein, die so was verursacht. Bei Kindern manchmal angeboren, wo keiner ganz genau weiß warum. Ein weltweit ernstes Problem, also die WHO sagt, dass bis zu einem Prozent der Weltbevölkerung davon betroffen sind, also jeder Hundertste, das ist echt viel. Und bei vielen hilft eben die Medikation nicht richtig, diese Medikamente haben auch Nebenwirkungen. Und was man dann macht, ist, eben diesen Hirnschrittmacher manchmal einbauen. Der funktioniert so, dass man im Gehirn, ich sage mal so ganz pauschal, an verschiedenen Stellen so eine Art Stimulation setzt, so eine Dauerstimulation oder auch Impulse, da gibt es verschiedene Methoden. Und es ist eben gezeigt worden, dass das die Frequenz, die Häufigkeit von epileptischen Anfällen verringern kann. Leider nicht bei jedem. Funktioniert nicht immer. Und keiner weiß genau, warum das so ist. Aber man kann wohl durch solche elektrischen Reize des Gehirns diese Gewitter, wenn ich mal sagen darf, die epileptischen Anfälle seltener machen. Ganz verhindern kann man sie nicht.

### Susann Böttcher

Wenn man nicht ganz genau weiß, wo das herkommt, wo setzt man da genau am Hirn an?

### Alexander Kekulé

Mit Versuch und Irrtum, wie es immer so ist.

Also, ich vergleiche uns Ärzte oft mit irgendeinem Affen, der eine Uhr in der Hand hat und sich fragt, warum die Zeiger sich bewegen. Also, es ist so, dass... Also erstens gibt es ganz-triviale Überlegungen. Zum Beispiel gibt es einen Nerv, der heißt Vagus. Also Vagus und Sympathikus sind zwei Nerven, die bei uns so ganz grob im vegetativen System steuern, wie wach wir sind, wenn ich mal sagen darf. Oder wie aktiv wir sind. Der Sympathikus ist der, der bei Aggression, bei Flucht aktiviert wird. Und der Vagus ist der, der so mit Verdauung zu tun hat und Schlaf. Und wenn der Vagus aktiviert wird, das ist ein Nerv, der auch zum Hirn hin-führt – also in beiden Richtungen, zum Hirn und vom Hirn – wenn der aktiviert wird, auf der Seite, wo er zum Hirn führt, dann wirkt das, sage ich mal, beruhigend. So eine allge-meine Dämpfung kann man damit erzeugen. Und das ist so eine Methode, dass man im Halsbereich diesen Vagusnerv freipräpariert. Da macht man dann außen rum, so einen klei-nen Clip, so eine Elektrode, im Brustbereich ist dann so ein Impulsgeber. Und dann wird dieser Vagusnerv so ungefähr alle 5 Minuten stimu-liert für eine halbe Minute lang. Also eine rela-tiv grobe Methode, kann man sagen. Und das funktioniert aber tatsächlich. Wird insbeson-dere bei kindlichen Epilepsien manchmal ge-macht, weil man da nicht ins Gehirn rein muss, sondern sozusagen nur an den Hals ran. Aber ist natürlich so eine allgemeine Dämpfung. Zum Teil haben die Patienten dann auch tat-sächlich so ein Knopf, weil manche, bevor sie einen epileptischen Anfall kriegen, etwas ha-ben, was man Aura nennt. Also, so vorher, so einen Zustand, dass sie merken: Ups, jetzt kommt es wieder. So ähnlich wie Migränepati-enten, die das ja vorher manchmal merken. Die können auf den Knopf drücken und sozusa-gen diese Vagus-Stimulation aktiv sozusagen spontan einschalten, auch mit einer etwas stärkeren Stromstärke. Das ist eine Methode, oder vielleicht eine der älteren Methoden. Und dann gibt es verschiedene Methoden, ins Ge-hirn reinzugehen, richtig invasiv. Wie wir dann auch sagen. Das heißt, da werden Elektroden zum Beispiel im Hirnstamm festgemacht, im Thalamus-Bereich, und dort aktivieren sie quasi das System, was bei uns, wenn wir schla-fen gehen, auch so eine Dämpfung des Gehirns macht. Und diese allgemeine Dämpfung führt

eben dann dazu, dass hoffentlich diese krei-senden Erregungen seltener werden, also das sozusagen die Grunderregung des Gehirns her-untergefahren wird und dadurch die Wahr-scheinlichkeit für so Rückkopplungs-Phäno-mene, wie sie bei epileptischen Anfällen auf-treten, dann weniger häufig ist oder weniger gegeben ist. Und dann gibt es so die bisschen modernere Methode oder genauso moderne Methode, dass man direkt auf den Fokus geht. Also, man kann mit dem EEG eben feststellen, wo im Gehirn typischerweise diese Gewitter losbrechen. Es gibt dann bei jedem Patienten so eine typische Region, meistens in der Ge-hirnrinde, wo dann meistens der erste Impuls ausgeht, der das Ganze dann später zu einem epileptischen Anfall werden lässt. Dass, wenn man an der Stelle da eine Elektrode außen draufsetzt auf die Hirnrinde... Die hat dann so ganz feine Fasern. Also muss man sich vorstel-len, dass ist so wie eine Zehntel Briefmarke so groß, also vielleicht so fünf mal fünf Millimeter oder so. Und hat unten lauter ganz feine Elekt-rodten, vielleicht hundert Stück oder sowas. Die gehen dann in das Gehirn rein an der Stelle. Die werden da quasi chirurgisch auf die Hirn-oberfläche draufgesetzt. Wenn man an der Stelle dann speziell stimuliert, insbesondere dann stimuliert, wenn so diese Vorgewitter quasi erkennbar sind, dann kann man manch-mal die Anfälle verhindern. Also so ähnlich wie beim Herzschrittmacher, der anspringt, wenn der Herzrhythmus nicht mehr okay ist, sind dann diese Schrittmacher so die, die an dem Focus quasi ansetzen, dass die automatisch so eine Art EEG-Ableitung haben, die Hirnströme messen... Und wenn da was nicht in Ordnung ist, dann schicken sie einen Impuls zu dieser Elektrode hin, in der Hoffnung, dass man damit den Anfall verhindert oder schwächer macht.

#### **Susann Böttcher**

Heißt aber in den Fällen auch, dass der Schädel geöffnet werden muss.

#### **Alexander Kekulé**

Jaja, das ist dann eigentlich das klassische. Also das mit dem Vagus-Schrittmacher, das ist ir-gendwie nicht mehr... Das macht man ja haupt-sächlich bei Kindern. Also, der Klassiker ist heute, dass man feststellt, an welcher Stelle ist der Fokus? Und versucht, an diesem Fokus, an der Stelle, wo sozusagen die Probleme sind,

dann auch was zu implantieren. Dann müssen sie eine Trepanation machen, also den Schädel aufmachen, mit allen Nachteilen, die das natürlich hat. Das ist klar, dass es keine so tolle Operation ist. Man muss auch manchmal diese Sonden auswechseln. Übrigens, warum das funktioniert, weiß keiner genau. Es gibt auch ganz verschiedene Methoden, das zu stimulieren. Manche machen das mit Gleichspannung, manche machen es mit Wechselspannung. Manche machen es mit niedrig-frequenter Spannung, manche mit Hochfrequenz. Warum das geht, weiß man nicht. Aber empirisch hat man eben festgestellt durch Erfahrung, dass man mit diesen eingebauten Hirnschrittmachern einigen Epilepsie-Patienten helfen kann. Und das ist eben vor allem für diejenigen, bei denen die Medikamente nicht mehr wirken, eine Option.

#### **Susann Böttcher**

Bevor wir wirklich gleich zu *Neuralink* kommen, gibt es auch hier Entwicklungen beim Gehirnschrittmacher. Unter anderem eine Firma mit Sitz in Heidelberg, Precisis GmbH heißt sie. Die haben einen Hirnschrittmacher entwickelt, *EASEE* heißt der bezeichnenderweise, bei dem die Elektrode unter die Kopfhaut gelegt wird. Klar ist offensichtlich, der Schädel muss nicht geöffnet werden. Funktioniert das?

#### **Alexander Kekulé**

Also, ganz ehrlich, ich kenne die Studien. Ich kann Ihnen natürlich nicht wirklich sagen, ob es unterm Strich immer und häufig funktioniert. Aber das ist eine interessante Entwicklung, weil man quasi weg von dieser massiv invasiven Technik geht. Also, wie sie schon sagen, das kommt quasi unter die Kopfschwarte auf den Schädel außen drauf. Natürlich auch eine Operation, aber vom Eingriff her längst nicht so massiv, als wenn man an das Gehirn ranmuss. Und da würde man ja eigentlich sagen, wie soll das funktionieren? Das ist ja eher wie so eine sanfte Kopfmassage beim Friseur oder so, im Vergleich zu dem direkten Strom, der ins Gehirn geleitet wird. Aber es ist tatsächlich so, dass dieses System, was also ... Muss man sich vorstellen, dass es so eine Art Kunststoff-Platte ist, die ist dann etwas größer, ich weiß nicht, so vielleicht zehn mal zehn Zentimeter, in der in der Größenordnung. Und die wird eben innen auf den Schädel drauf quasi

operiert, unter die Schwarte, unter die Kopfschwarte gemacht. Und die sendet dort ständig kleine Impulse ab, also so alle 2 Minuten gibt es so eine Wechselstrom-Stimulation mit 100 Hertz. Also, das sind 100 Schwingungen pro Sekunde, doppelt so schnell wie das, was aus der Steckdose kommt ungefähr. Eine relativ schnelle Stimulation. Und obendrauf legt man dann 20 Minuten lang jeden Tag so eine kontinuierliche Gleichstrom-Stimulation. Also Sie merken schon, man probiert halt alles, was irgendwie so schon mal funktioniert hat. Und da ist es tatsächlich so, wenn man das macht, ohne dass es irgendwas mit dem Anfall selber zu tun hat. Also nicht wie ein Schrittmacher, der im Anfall reagiert, sondern den ganzen Tag über eben alle 2 Minuten kriegt das Hirn so eine Art Beruhigungspille elektrisch verabreicht. Und 20 Minuten am Tag dann noch mal ein größeres Paket. Dann ist es tatsächlich so, dass man, sagen jetzt die aktuellen Studien, die Anfallshäufigkeit deutlich reduzieren kann, ungefähr 50 Prozent bei den Patienten in der Studie. Und das ist ungefähr so das, was auch mit diesen invasiven Methoden oder stärker invasiven Methoden erreicht werden kann, wo man richtig ins Gehirn reingeht. Also für mich eigentlich eine ganz interessante Entwicklung, dass man offensichtlich das Gehirn auch so indirekt durch so kleine Impulse beruhigen kann. Und verhindern kann, dass es zu diesen epileptischen Anfällen kommt. Das besonders interessante an der aktuellen Studie ist, dass, wenn man das längere Zeit macht, also wenn die Patienten dann einige Monate lang diese Geräte haben, dann verstärkt sich der Effekt. Also ganz am Anfang wirkt es noch nicht so richtig, aber, wenn man es eine Weile gemacht hat, funktioniert das. Ja, das ist so wie so ein einlullendes Gebet oder so ein Singsang für das Gehirn, wo es dann eben sich scheinbar beruhigt. Also, ich könnte mir fast vorstellen, dass man vielleicht auch mit Musiktherapie so etwas Ähnliches erreichen könnte, natürlich nicht so effektiv. Aber es scheint mir doch eine sehr indirekte Stimulation zu sein. Und wenn so etwas funktioniert, ist es natürlich Hoffnung für viele Patienten, die jetzt nicht so weit sind, dass sie sich jetzt wirklich ins Gehirn so einen Schrittmacher implantieren lassen wollen, mit allen Komplikationen, Infektionen, was es da geben kann.

### Susann Böttcher

Dass man da in Richtung Heilung geht, ist aber ausgeschlossen. Oder halten Sie das für möglich? Über die nächsten Jahre? Jahrzehnte?

### Alexander Kekulé

Ganz ehrlich gesagt, es ist alles symptomatische Therapie. Heilung gibt es manchmal, wenn sie so... Es gibt ja Patienten, die haben zum Beispiel Epilepsien nach einem Unfall, weil die einfach eine Narbe im Gehirn an einer Stelle haben. Und bei dieser Narbe sind dann, wenn sie so wollen, die Kabel falsch verlötet worden. Und die muss man dann operieren diese Narbe. Und dann ist manchmal die Epilepsie wirklich weg für immer. Es gibt auch kindliche Epilepsie, die den Eltern große Sorgen machen ein paar Jahre lang. Und ab irgendeinem Alter durch die weitere Entwicklung, das Wachstum des Gehirns, ist es plötzlich weg und kommt das ganze Leben nie wieder. Das ist so ein bisschen immer Daumendrücken für die Eltern oder auch die Kinder, die mit solchen Problemen leben. Es gibt auch Tumore natürlich, die sowas machen können. Wenn dann der Tumor raus ist, ist häufig die Epilepsie auch weg. Aber wenn sie nicht in dieser Weise kausal therapieren können, sozusagen das Problem rausnehmen können, oder wenn es rauswächst, dann ist mit den ganzen Elektrostimulations-Methoden eigentlich keine Heilung zu erzielen. Sondern das ist eine Methode, um zu verhindern, dass der Fehler, der da ist, zu einer Epilepsie führt, zum epileptischen Anfall führt. Der Fehler selber wird aber dadurch nicht behoben.

### Susann Böttcher

Schauen wir zu *Neuralink*. Ich hab ein bisschen das Gefühl, dass uns Elon Musk in den Ausgaben vom Gesundheits-Kompass verfolgt. Bei der letzten ging es um Ketamin und seine Nutzung, die Fett-weg-Spritze war auch Elon Musk. Jetzt geht es aber um sein Start-up-Unternehmen *Neuralink*. Das hat erstmals einen drahtlosen Gehirn-Computerchip bei einem querschnittsgelähmten Patienten eingesetzt. Der erste Mensch hatte das Implantat vor 2 Wochen Ende Januar erhalten. Das Neurotechnologie-Unternehmen entwickelt seit 2016 Gehirn-Implantate. Mit den Schnittstellen sollen neurologische Erkrankungen wie Alzheimer, Demenz, Rückenmarksverletzungen geheilt

werden. Die Implantate sind etwa so groß wie fünf aufeinandergestapelte Münzen. Wie soll das konkret funktionieren, Herr Kekulé?

### Alexander Kekulé

Man muss sagen, *Neuralink* ist ein Anbieter von vielen, um das mal vorneweg zu schicken. Der halt einen sehr, sehr lauten Chef hat, lauten Besitzer hat, der eben die Erfolge immer sehr, sehr laut kundtut. Was hier tatsächlich wohl neu ist... Wir haben da jetzt keine richtige Publikation zu gesehen, sondern wie das halt so ist, nur Tweets von Elon Musk bei X, bei dieser Plattform. Und der sagt also jetzt, dass also... Dass da was implantiert wurde. Und dieses System hat hauptsächlich den Vorteil, wenn man so sagen darf, dass es eben drahtlos ist, wie Sie es gerade schon gesagt haben. Ich glaube, das funktioniert über Bluetooth, wie das ursprünglich mal zumindest angekündigt wurde. Und dann legt diese Firma *Neuralink* großen Wert darauf, dass man das kosmetisch nicht sieht. Also, dass das quasi so implantiert wird, dass man da nicht diese Kabel am Kopf hat und nicht aussieht wie ein wie Meer-schweinchen im Versuchslabor damit. Auf der anderen Seite muss ich sagen, wissen Sie, wenn sie jetzt wirklich so eine Tetraplegie haben, also vom Hals ab querschnittsgelähmt sind und den ganzen Körper nicht mehr bewegen können, dann ist so ein kleiner Sensor mit dem Kabel dran auf dem Kopf ihr kleinstes Problem. Ob das jetzt kosmetisch einwandfrei ist oder nicht, ich glaube nicht, dass irgendjemand jetzt, weil es kosmetisch irgendwie besser ist, jetzt sagen würde: Danke, Elon Musk, dass du uns diese tolle neue Erfindung hier gebracht hast. Und wenn man es über Funk macht, also über Bluetooth, dann gibt es eben manchmal auch Probleme. Ja, dieses Bluetooth muss ja immer mal neu gekoppelt werden. Und man hat eine gewisse Geschwindigkeit, mit der die Schnittstelle dann funktioniert. Ist nicht so flexibel, wenn sie mal was ändern wollen. Ich glaube, der Grund, warum Musk das machen will, zumindest hat er das so am Anfang immer angekündigt – ich habe so ein bisschen aus den Augen verloren zwischendurch – ist ja gar nicht so sehr jetzt diese Krankheiten heilen, wo die anderen ja auch alle dran sind, sondern er hat ja so diese Vision. Das ist ja auch immer so ein bisschen das typische... Mal geht es um die Reise zum Mars. Mal geht

es um das elektrische Auto, was ja durchaus eine Vision war, die jetzt sich auch durchgesetzt hat weltweit. Und hier ist die Vision einfach die totale Verschmelzung zwischen Mensch und Computer. Dass man sozusagen ohne irgendwelche Zwischenstufen unmittelbar mit dem Computer kommunizieren kann. Bidirektional, also in beide Richtungen. Und all das, was da dann hinten rauskommt, das ist das, was ihn interessiert. Nicht, jetzt ein paar Querschnittgelähmte glücklich zu machen. Das ist natürlich wichtig am Anfang. Das sind auch die Patienten, bei denen man das mal ausprobieren kann, weil die einfach in dem desolaten Zustand sind und solchen Heilversuchen dann natürlich zustimmen. Naja, dieses... Dieses Musk... Dieses Implantat, was die da haben, das ist natürlich alles ganz wichtig. Das heißt jetzt N1-Implantat. Dafür gibt es einen R1-Roboter, der das als OP-Roboter quasi implantieren soll. Was der genau macht, habe ich nicht verstanden. Aber scheinbar ist dieses Implantat... Auf dem Foto, was publiziert wurde, sieht es aus wie ein Tintenfisch, wie so ein Kalamari. Also hat quasi so einen kleinen Kopf mit ganz vielen Füßen unten dran. Man könnte auch sagen irgendwie so ein Mini-Roboter aus einem Horrorfilm. Und dieses Calamari-Dings, das hat eben 64 Fäden unten dran. Und insgesamt sind da 1024 Elektroden drin in den 64 Fäden. Und das muss man natürlich irgendwie platzieren an der Stelle des Gehirns, wo man jetzt die Impulse austauschen will. Und ich kann mir vorstellen, dass das mehr Gefummel ist, als wenn man nur so einen kleinen rechteckigen Chip draufsetzt, wie es die Wettbewerber machen. Und vielleicht hat er dafür den Roboter, das weiß ich nicht. Und dann gibt es natürlich eine User-App. Das ist natürlich das Wichtigste. Gibt eine App, mit der sie dann hinterher das Ganze steuern. Oder auch lernen können, trainieren können, mit diesem Chip zu arbeiten.

**Susann Böttcher**

1024 Elektroden, das spricht auch für Ihre Theorie der Computer-Orientierung?

**Alexander Kekulé**

Ja... 64 und 1024, für Leute, die in der Technik unterwegs sind, sind es zwei Zahlen, die jeder kennt. Das eine ist 2 hoch 10, also 1024 ist 2 hoch 10. 64 ist 2 hoch 6. Das sind also diese Potenzen von zwei. Warum? Weil Computer ja

immer mit Nullen und Einsen arbeiten, binär, wie man eben sozusagen sagt. Und 0 und 1 sind ja zwei verschiedene Möglichkeiten, zwei Zustände, sodass also quasi die Daten, wenn man die speichert, immer in Bits letztlich angegeben werden. Also in der Zahl... Also in vielfachen von zwei. Also, zweimal, also mit vier Bits oder zweimal zwei, können sie eben dann vier verschiedene Zustände steuern und so weiter. Und wenn sie 2 hoch 10 haben, können sie 1024 verschiedene Zustände definieren. Das ist so ein bisschen alte Welt also für die, die sich mit Computern früher mal beschäftigt haben. Das war so... 8 Bit war früher mal der klassische Code für einen Buchstaben, weil man eben... 2 hoch 8 ist 256. Und das hat man früher mal genommen, um die Buchstaben alle zu verewigen. Weil, es gibt ja ungefähr 30 Buchstaben, dann brauchen sie noch ein paar Zahlen und Sonderzeichen und so. Und dann hat man irgendwann den sogenannten ASCII-Code gemacht und gesagt, 256 ist gut. Das war so die Anfangswelt der Computer. Und in dem Bereich ist diese Elektrode jetzt offensichtlich erst mal angesiedelt. Wenn sie so wollen, so ein alter Atari eigentlich, oder C64 oder was sie da haben aus der alten Computerzeit, auf dem Niveau ist das bisher. Liegt natürlich auch daran, dass man nicht davon ausgehen kann, dass das Gehirn – das ist dann nochmal eine andere Diskussion, können wir auch darüber reden – Dass das Gehirn beliebig viele Daten hin- und herschicken kann. Also das ist nicht der normale Input-Output-Weg für unser Gehirn. Und wenn man das sozusagen illegal anzapft auf diese Weise, dann sind 1024 Elektroden schon ganz schön viel. Auch im Vergleich zu dem übrigens, was die Wettbewerber haben. Die meisten haben eher so etwas wie 256 Elektroden. Aber wird man dann sehen? Also nur so zum Vergleich vielleicht für die also, die das noch nicht so kennen. Ein 64-Bit-Prozessor, das ist das, was heutzutage jeder Computer hat, den sie im Laden kaufen können. Ein 64-Bit-Prozessor, der hat eben 2 hoch 64 verschiedene Zustände, die er sozusagen auf einmal abspeichern kann, wo ein Durchgang, ein Daten-Durchgang, ein Prozessierungs-Durchgang drüber läuft. Ich weiß nicht auswendig, was 2 hoch 64 ist, ich kann nur bis 2 hoch 10. Aber ich würde mal sagen, es liegt im hohen mehrstelligen Milliardenbereich. Das heißt, es ist

weit weg von dem, was jetzt hier erst einmal versucht wird mit diesem Computer-Gehirn-Interface oder Gehirn-Computer-Interface heißt es eigentlich.

### **Susann Böttcher**

Mit Gedankenkraft Computer bedienen zu können, das ist nichts Neues. Wir verlinken auch in den *Shownotes* mal ein paar Konkurrenzunternehmen. Wir wollen jetzt aber auch noch auf ein paar andere Anwendungsgebiete schauen. Bei ALS zum Beispiel, das ist diese Nervenkrankheit, oder bei Querschnittslähmung, da wird es teilweise schon eingesetzt. Und ein recht aktuelles Beispiel aus dem vergangenen Jahr, bei dem dann noch künstliche Intelligenz mit genutzt wird, ist beim *Locked-In-Syndrom*. Könnten Sie uns mal ganz kurz beschreiben, was das ist?

### **Alexander Kekulé**

Ja, also *Locked-In-Syndrom*, das ist so auf der Skala der besonders unangenehm Erkrankungen wahrscheinlich unter den Top 5. Das ist so... Wenn sie... Durch eine Durchblutungsstörung in bestimmten Bereichen des Gehirns im Bereich des Gehirn-Stamms kann es dazu kommen, dass die Bewusstseins-Funktionen noch voll erhalten sind, fast ungestört, aber sie keinen Kontakt mehr zum Körper haben. Hauptsächlich in dem Sinn, dass sie die Motorik nicht mehr bedienen können, bei vielen aber zugleich auch, dass die Sensorik ausgefallen ist. Also, sie spüren nichts mehr und sie können sich nicht mehr bewegen. Aber sie sind wie eingesperrt. Drum heißt es *Locked-In*. Sind sie quasi in ihrem Gehirn und wie ohne Körper. Und da gibt es eben so einen Fall, der jetzt gerade letzten Sommer viele Leute von den Socken gehauen hat, muss man wirklich sagen, von einer Patientin, die vor 20 Jahren so einen Schlaganfall hatte mit der Folge eines *Locked-In*. Damals war sie 30 Jahre alt, eine Lehrerin aus Kanada, und hat beim Sport, beim Volleyball, glaube ich dann plötzlich diesen Anfall gehabt, brach zusammen. Und seitdem konnte die nicht mehr kommunizieren, also nur noch die Augen bewegen und den Hals bewegen, sonst gar nichts. Vor allem natürlich nicht mehr sprechen. Und das ist 20 Jahre oder so was her gewesen. Und diesen Sommer haben Fachleute von der Universität in San Francisco, UCSF, die haben es tatsächlich geschafft, durch

so einen Chip, der bei ihr eingebaut wurde, sie wieder dazu zu bringen, dass sie tatsächlich kommunizieren kann, dass sie regelrecht sprechen kann. Und das ist, muss ich sagen, das ist wirklich eine Revolution, ganz was anderes als dieses, Entschuldigung, Blabla von Elon Musk an der Stelle. Sondern da ist wirklich was passiert, was meines Erachtens in die Geschichte eingehen wird, weil man durch die Mischung aus diesem diesen Brain-Computer-Interfaces, also diesen Schnittstellen, diesen Sensoren letztlich, die da eingebaut werden auf der einen Seite und künstlicher Intelligenz auf der anderen Seite. Durch diese Fusion dieser beiden neuen Techniken, die jetzt zur Verfügung stehen, kann man tatsächlich die ganze Kommunikation von Menschen, die dieses Problem haben, künstlich wiederherstellen. Und der erste Schritt war jetzt diese Patientin. Aber da werden sicher weitere Schritte folgen.

### **Susann Böttcher**

Das ist also, kann ich mir vorstellen, deshalb auch so unglaublich, weil ja dazwischen 20 Jahre quasi keine Kommunikation war. Wie fängt man dann wieder an? Und wie läuft das an? Geht wahrscheinlich auch nicht mit jedem Patienten? Oder wie schätzen Sie das ein, diese Schwierigkeit?

### **Alexander Kekulé**

Also, das geht sicher nicht mit jedem, das ist klar. Das war eine Lehrerin. Die war also schon... In jungen Jahren hat es die erwischt. Die war also daher, sage ich mal, jemand, die eigentlich so auf der Höhe ihrer intellektuellen Fähigkeiten war, als das passiert ist. Hatte kurz vorher geheiratet. Und in den letzten 20 Jahren konnte man der nicht helfen. Und das ist natürlich so, dass das dann immer rückwirkend auch aufs Gehirn sich auswirkt. Das ist ja klar. Wenn sie überhaupt nicht gefordert werden, dann sinkt der Intelligenzquotient. Dann ist... Wissen sie auch gar nicht mehr genau, wie das früher mal war, als sie gesprochen haben. So dass man wirklich alles wieder wie ein Baby quasi von null lernen muss. Nur mit dem Unterschied, dass natürlich das Gehirn nicht so aufnahmebereit ist wie in den ersten Lebensjahren. Also hier war es so, die haben folgendes gemacht: Auf das Gehirn drauf haben die quasi eine Art Netz gesetzt, und zwar in den



Bereich, wo die Motorik für die Gesichtsmuskulatur, für den Mund, für den Kehlkopf, für die Zunge... Also für alles, was mit der Sprache, Sprach-Generierung zu tun hat. Wo diese ganzen, sage ich mal, Impulse weitergeleitet werden. Das motorische Sprachzentrum, wenn man so will. Das ist relativ genau bekannt, wo das ist, das weiß man schon relativ lang. Wenn man so will, ist das quasi ganz oben auf dem Schädel, so, wenn sie so eine Linie ziehen würden von Ohr zu Ohr, da dazwischen liegt diese Elektrode. Und die hat in dem Fall nur 253 Kontakte, also weniger als das, was Elon Musk da hat. Aber sie können sich vorstellen, wenn jetzt jemand zum Beispiel versucht zu sprechen, der aber nicht sprechen kann, dann werden dort natürlich Impulse erzeugt, weil ja nur die Verbindung von dort zu den Muskeln, zur Muskulatur nicht funktioniert. Und diese Impulse, die dort erzeugt werden, wenn man das mal gesehen hat, das ist eben wie bei einem EEG. Fast noch schlimmer in dem Fall bei der Direkt-Ableitung. Das ist Kaffeersatzlesen. Also, da versteht niemand was. Das sind irgendwelche Zitterlinien, massenweise in dem Fall, eben 253 Elektroden. 253 Zitterlinien, die irgendwie andeuten, dass die Patientinnen versucht, das Wort Mensch auszusprechen oder so. Wie können sie so was auswerten? Und das konnte man eben die letzten 20 Jahre nicht. Also so eine Ableitung hätte man vielleicht noch irgendwie machen können. Aber diesen Salat quasi auszuwerten, das ist das Hauptproblem. Und was man da jetzt gemacht hat, ist, dass man die künstliche Intelligenz darauf losgelassen hat, diese selbstlernenden Systeme, über die wir im Podcast auch schon mal ausführlich gesprochen haben. Die können ja Mustererkennung. Also klar, die Chinesen benutzen das, um auf großen Plätzen jedes Gesicht zu identifizieren für polizeiliche Maßnahmen. Man kann das aber auch benutzen, um eben in so einem Sammelsurium von Elektrowellen, wo kein Mensch der Welt irgendetwas erkennen könnte mit noch so viel Training, dem Computer zu sagen: Du trainierst es jetzt bitte mal. Da hat man folgendes gemacht: Man hat, Achtung, 1024 Wörter genommen aus dem Standardvokabular – wieder auch nicht ganz zufällig, weil in der Datentechnik  $2 \text{ hoch } 10$  eben relativ leicht zu verarbeiten ist – und hat diese Wörter der Patientin vorgespielt, gezeigt, dass

sie die sprechen soll. Und dann hat die eben versucht, so Standardwörter aus einem Standardvokabular, diese gut tausend Wörter, irgendwie auszusprechen, wo natürlich kein Ton rausgekommen ist bei ihr. Aber der Computer wusste, was sie sagen will, und hat die Hirnströme dazu gesehen, die man abgeleitet hat. Und das hat man immer wieder gemacht. Und diese KI-Programme zeichnen sich dadurch aus, dass sie selbstlernend sind. Deep Learning sagt man dazu. Dieses Selbstlernen hat tatsächlich dazu geführt, dass der Computer plötzlich dieses Gezitter von ihren elektronischen Wellen aus dem Gehirn, der konnte das übersetzen in diese 1024 Wörter. Und hat dann verstanden, was sie sagen will. Also diese erste Stufe ist für mich schon mal spektakulär, ist der Hauptgrund, warum das überhaupt jetzt erst funktioniert hat und nicht schon vor 20 Jahren, als ihr das passiert ist. Und die zweite Stufe, da haben die sich natürlich dann nicht lumpen lassen und haben das natürlich dann besonders, sage ich mal, interessant gemacht. Und die zweite Stufe ist, wie setzen sie das dann um? Klar kann man die Wörter, die der Computer erkannt hat, dann in irgendeiner einfachen digitalen Leuchtstift darstellen. So hätte man das vielleicht vor 40 Jahren gemacht. Aber heutzutage haben die Folgendes gemacht: Die haben einen Avatar produziert, also ein künstliches Gesicht – das kennt man ja, Schwarzenegger ist auch schon mal im Film aufgetreten, obwohl er gar nicht wirklich dabei war. So als jungen Mann hat er sich wieder regenerieren lassen für einen Film. Und so kann man quasi künstlich Menschen, wenn man weiß, wie sie ausgesehen haben, quasi virtuell darstellen. Ist auch einen Teil dieser KI, diese kreative KI, generative KI – Und da hat man von ihr einen Avatar gemacht, so tendenziell nach vorteilhaften älteren Fotos. Und dann gab es, das fand ich das spektakulärste, dann gab es eine Rede von ihr. Die hat nämlich geheiratet, kurz bevor sie den Schlaganfall hatte. Da gab es eine Rede von ihr bei der Hochzeit, wo sie wirklich im Hochzeitskleid dasteht und irgendeine Erklärung abhält. Und diese Rede, die gibt es auf Video. Und da hat man die Stimme von dieser Rede genommen und hat aus dieser Stimme künstlich eine artifizielle Stimme gemacht. Mit der Folge, dass die jetzt nicht nur dem Computer Wörter von diesen 1024 sagen

kann oder sprechen kann über den Computer, sondern es ist auch noch ihr Gesicht – ungefähr, also der Avatar ist verbesserungsbedürftig – aber es ist vor allem ihre Stimme. Und die Stimme klingt genauso wie damals, das ist unglaublich, wie vor 20 Jahren, als sie noch sprechen konnte. Man hat ihre Stimme künstlich wiederhergestellt, mit der sie jetzt aus dem Lautsprecher kommunizieren kann.

### **Susann Böttcher**

Wahnsinn. Also was es zum einen an Lebensqualität wieder zurückbringt, sich äußern zu können. Da fragt man sich, ob die Filmrechte schon vergeben sind.

### **Alexander Kekulé**

Also, das ist sicherlich was, wo man Romane oder Filme drüber machen kann. Da ist ja... *Awakening* war ja so ein Film, wo es mal um ein ähnliches Thema ging. Aber das waren Leute, die dann wirklich tatsächlich aus so einem Zustand wieder aufgewacht sind. Ich glaube, dass das ganz nah an so filmischen Fantasien dran ist. Was jetzt der nächste Schritt ist, ist die Geschwindigkeit. Man muss sich vorstellen: Das ist ja eine wahnsinnige Rechenleistung, so etwas zu übersetzen. Und da kommt es nicht nur auf diese Sensoren an, sondern da kommt es eben darauf an, dass das in Echtzeit quasi in Sprache umgesetzt wird. Und im Moment sind sie bei 78 Wörter pro Minute, das ist ungefähr so die Hälfte dessen, was die normale Sprechgeschwindigkeit ist. Also so normal, wenn wir uns unterhalten, unterhalten wir uns jetzt so mit 150 bis 200 Wörtern pro Minute. Nachrichten werden so mit ungefähr 120 Wörtern pro Minute vorgelesen, damit es jeder versteht. Und das ist eigentlich so, dass die schon jetzt fast so schnell sind, wie man normalerweise sprechen könnte. Das ist nur eine Frage eines kurzen Zeitraums, bis die echte Sprechgeschwindigkeit erreicht haben, sodass diese Menschen dann tatsächlich in der Lage sind, wieder voll zu kommunizieren. Das ist also... Eine ganz seltene Erkrankung, muss man dazusagen, super selten. *Locked-In* gibt es ganz selten. Ja, die Frage ist natürlich, was macht man da mit so einer Erfindung? Wenn man nur so wenige Patienten hat, die man damit glücklich machen kann? Gibt es nicht vielleicht auch andere Menschen, die Interesse daran hätten, ihr Gehirn mal anzuschließen und mit dem

Computer direkt zur zu reden? Das hat ja für so Leute, die das mit der Tastatur nicht so draufhaben, gewisse Vorteile.

### **Susann Böttcher**

Wir kommen gleich noch auf die Anwendungsgebiete. Und weil wir gerade schon beim Film waren, gehen wir noch einmal zurück ins Jahr 1990. Sie hatten auch Arnold Schwarzenegger schon angesprochen.

### **Szene aus Total Recall**

- *Das Grundpaket Mars wird Sie 899 Kredite kosten. Also das ist für zwei volle Wochen Erinnerungen, komplett in jeder Einzelheit. Wenn Sie länger reisen wollen, kostet das mehr. Das ist eine tiefere Implantation.*

- *Was ist in diesem 2-Wochen-Paket?*

- *Nun zuallererst, Doug, lassen Sie mich Ihnen sagen: Wenn Sie Recall wählen, kriegen Sie absolut erstklassige Erinnerungen. Einzelkabinen auf dem Raumschiff, Luxus-Suite im Hilton, plus all die größeren Sehenswürdigkeiten, Mount Pyramid, die Grant's Canals und natürlich, Venusville.*

- *Ich möchte wissen, wie echt das wirkt?*

- *So echt wie jede andere Erinnerung in ihrem Kopf.*

- *Ich bitte Sie, erzählen Sie mir keinen Quatsch.*

- *Nein, ich sage es Ihnen, Doug, Ihr Gehirn wird den Unterschied nicht merken. Das garantieren wir. Oder Sie bekommen Ihr Geld zurück.*

### **Susann Böttcher**

1990, *Total Recall*, Arnold Schwarzenegger spielt einen Bauarbeiter im Jahr 2084, der gern auf den Mars reisen möchte, sich das aber nicht leisten kann und stattdessen versucht, sich die Erinnerung implantieren zu lassen. Herr Kekulé, Urlaub dann von jetzt an nur noch vor dem Computer und das Gefühl, dagewesen zu sein?

### **Alexander Kekulé**

Ja, das ist eine Kurzgeschichte ursprünglich von einem meiner absoluten Lieblingsautoren, Philip K. Dick heißt der Autor. Auf Deutsch wurde das Mal übersetzt, *Erinnerungen en gros*. Der englische Titel ist ein bisschen komplizierter. In der Originalgeschichte sagt er sinngemäß an genau der Stelle, die sie jetzt gespielt haben, sagt der Hauptdarsteller, Douglas Quail heißt er dort... Der will eben unbedingt zum Mars fahren, hat aber kein Geld dafür. Der will sich

stattdessen so eine Erinnerung implantieren lassen. Der sagt: Wieso muss ich so viel zahlen dafür, dass ich ja gar nicht wirklich dort war? Und dann sagt der Verkäufer diesen witzigen Satz. Wörtlich weiß ich es natürlich nicht mehr, aber sinngemäß sagt er: „Wissen Sie, so echte Erinnerungen, diesen Mist, da vergessen Sie die Hälfte. Sie können sich an die tollsten Details irgendwann nicht mehr erinnern. Manche Sachen verdrehen Sie auch, die waren dann ganz anders, als Sie denken. Bei unseren Erinnerungen ist es so, die sind besser als echte Erinnerungen, weil wir alle Details, die wirklich schön sind, für Sie aufbereiten, dass Sie sie wirklich im Kopf behalten. Und Sie werden sie nicht wieder vergessen.“ Und da muss man überlegen so ein Moment lang, das ist ja irgendwann, ich weiß nicht, in den 30er, 40er Jahren geschrieben worden das Buch... Das ist schon ein weiter Blick in die Zukunft gewesen, weil, was wir erinnern, an unsere Sinneseindrücke, wenn sie wirklich im Urlaub waren irgendwo zum Beispiel... Es gibt auch andere Sinneseindrücke. Manche erinnern sich gerne an die Arbeit. Nehmen wir mal an, sie würden sich gerne an den Urlaub erinnern. Das ist ja auch generiert durch künstliche Prozesse. Das ist ja auch nur eine Suggestion, die Sie da haben. Das ist ja so: Ihre Ohren produzieren irgendwelche Nervenreize, ihre Augen produzieren irgendwelche Nervenreize und so weiter. Und die werden dann zusammengepflanzt und irgendwie abgespeichert, mehr oder minder zufällig, je nachdem, welchen hormonellen Zustand sie gerade haben und sonst was alles, wie man gerade sonst wie besetzt ist. Wie gut auch das Gedächtnis ist. Die Überlegung, dass so künstlich, selektiv eingepflanzte Erinnerungen vielleicht viel besser sind, sozusagen hyperreal sind, nennt man auch *Hyper Reality*, ist da sozusagen der Fachausdruck dafür, Hyperrealität. Das ist gar nicht so abwegig, finde ich. Wir leben ja sowieso in einer Illusionswelt, die uns von unseren sechs Sinnen suggeriert wird. Wieso soll man da nicht gleich die richtige Erinnerung einpflanzen, die vielleicht viel besser ist?

#### **Susann Böttcher**

Und mit der man vielleicht Geld machen kann?  
Siehe Elon Musk.

#### **Alexander Kekulé**

Ja, das ist natürlich seine Idee. Ja, da hat jeder so seinen eigenen Wunsch... Der eine wollte unbedingt immer zum Mars fahren. Ich erinnere mich an Jim Carrey, der mal in so einem Film, auf Deutsch hieß der *Vergissmeinnicht*. Der wollte unbedingt Kate Winslet vergessen. Ist deshalb zu einem Gehirnklemmner gegangen. Also, da gibt es ja viele solche Science-Fiction-Ideen und jeder hat so seine eigenen Bedürfnisse. Aber ich glaube, wenn man das jetzt so ganz praktisch mal sieht. Wir sind ja... Eigentlich haben das diese zwei wissenschaftlichen Daten, die dieses Jahr oder die gerade neu letztes Jahr rausgekommen sind, haben das eigentlich gezeigt. Die eine sagt ja, man muss nicht unbedingt ins Gehirn rein, um die Stimulation dort zu machen. Man muss ja auch nicht unbedingt ins Gehirn rein, um das auszulesen. Sondern der nächste Schritt, der kommen wird, das ist ganz sicher, ist, dass wir mit so einer Art EEG, also quasi wie so eine Haube, die man auf den Kopf setzt, statt jetzt irgendwie Elektroden ins Gehirn zu bohren, tatsächlich diese Impulse ableiten kann. Das ist jetzt gelungen mit der Elektrode bei dieser einen Patientinnen, die in Kalifornien behandelt wurde. Aber in Zukunft wird es so sein, dass man das auch von außen kann. Das ist natürlich viel, viel schwieriger. Man muss sich klar machen, diese elektrischen Impulse sind im Bereich von Millionstel Volt, also Mikrovolt-Bereich. Und wenn sie außen auf dem Kopf das ableiten, dann haben sie das Problem... das kann man sich so vorstellen, als wenn sie abhören wollen, was jemand in ihrer Nachbarwohnung sagt. Das Problem ist nur, dass eine dicke Betonwand dazwischen ist und im Nebenraum auch noch einer mit einem Presslufthammer ist und Lärm macht. Und die haben auch noch den Fernseher laut laufen und noch tausend andere Stimmen. Und sie wollen zwei Stimmen da raus filtern. Klar ist es irrsinnig schwierig, durch eine Elektrode, die außen am Kopf ist, wo ganz viele andere Nervenimpulse unterwegs sind, abzuleiten, was im Gehirn passiert. Aber ich sage mal, das ist nur eine Frage der Zeit, bis man das rausfiltern kann. Dann wird man von draußen diese elektronischen Signale genauso auslesen können, wie man das bei dieser einen Patientinnen jetzt durch die Elektroden auf dem Gehirn selbst machen konnte.

Das ist so der eine Schritt, der passieren wird. Und der andere Schritt ist, dass man natürlich das bidirektional hat. Das heißt, man wird natürlich auch dann von außen in der Lage sein, Gehirnströme zu beeinflussen. So wie diese Elektrode, über die wir gesprochen haben, die gar nicht im Gehirn drinnen ist, die aber erstaunlicherweise Epilepsie vermeiden kann. So wird man in der Lage sein, gezielt von außen bestimmte neurologische Impulse, sage ich mal, zu setzen. Wie genau das sein wird, weiß man nicht. Aber es wird letztlich ein bidirektionales Link geben, also ein bidirektionales Brain-Computer-Interface, also so einen Stöpsel sozusagen, den man sich einfach nur auf den Kopf setzen muss, wie es bisher auch in manchen Filmen schon vorkam. Da gab es eine Kathryn Bigelow in *Strange Days* vor längerer Zeit, wo genau das schon thematisiert wurde. Das heißt, die Science-Fiction-Leute, die werden jetzt alle von der Technik überholt. Und es wird so sein, dass man dann so ganz praktische Anwendungen hat. Was weiß ich, wenn Sie sagen Geld verdienen? Also jetzt war ja gerade Valentinstag, da wollen die Blumenverkäufer ja gerne, dass sie Blumen kaufen. Komischerweise, ich war da auch im Blumenladen, nur so nebenbei... Komischerweise, da stehen immer nur Männer rum. Ich habe da mal gefragt, wie viele Frauen schon da waren heute, das können sie an einer Hand abzählen. Aber wie auch immer... Zum Thema Gleichberechtigung war das mal ein kleiner Aufruf. Aber es ist ja so... Stellen Sie sich mal vor, Sie würden aufwachen, morgens am 14. Februar und würden irgendwie den Geruch frischer Rosen in der Nase haben. Oder Sie gehen in der Nähe eines Blumen-geschäfts vorbei, und da wird Ihnen dann über so eine ferngesteuerte Sensortechnik so ein Geruch von frischen Blumen irgendwie rübergespielt. Dann biegen sie doch eher in das Geschäft ein. Und ich glaube, in diese Richtung zum Beispiel könnten neue Werbemethoden funktionieren. Das US-Militär träumt natürlich davon, auch gesunde noch schlauer zu machen oder noch besser zu machen. Wenn sie querschnittsgelähmt sind, können sie nicht anders. Aber wenn sie gesund sind und haben zusätzlich so ein Computerinterface, dann können sie natürlich die Geschwindigkeit, mit der sie kommunizieren, erhöhen. Und sie machen auch

weniger Fehler, also weniger Tippfehler sozusagen im engsten Sinne des Wortes. Also, man muss sich das so vorstellen, also, der Mensch ist ja eigentlich ein autonomes System. Also, wenn man es jetzt so biologisch sieht. Es ist ja so: Wir sind eigentlich darauf getrimmt, völlig autonom zu funktionieren. Es gibt soziale Verhältnisse. Aber im Grunde genommen ist das Wichtigste, was wir haben in unserem Organismus, der Input. Also wir müssen sozusagen verstehen, was draußen passiert. Was heißt das praktisch gesehen? Das heißt, das zum Beispiel hören schneller geht als sprechen. Also, wir können... machen auch manche heutzutage. Wenn sie Videos sich anschauen, können sie das in einer dreifachen Geschwindigkeit oder doppelten Geschwindigkeit locker wiedergeben. Das ist überhaupt kein Problem. Aber sprechen können sie so schnell nicht, weil unsere Sprachmuskeln, das ist einfach sozusagen eine Krücke in gewisser Weise, dass wir versuchen, uns auszudrücken, indem wir sprechen und diese Muskulatur dazu benutzen. Das ist nicht so einfach.

#### **Susann Böttcher**

Und dann will man noch Inhalte reinbringen.

#### **Alexander Kekulé**

Die Inhalte, das auch noch. Aber manche Leute sagen ja, und das geht einem schon so – ich weiß nicht, wie das bei Ihnen ist, wenn Sie etwas aufschreiben müssen – manchmal denkt man schneller, als man schreiben kann. Also selbst wenn sie Zehnfinger-Schreiben können, ist es manchmal nicht so einfach. Und mit Steno kommen sie dann irgendwie, was weiß ich, wenn sie schnell Steno machen, kommen sie auf 250 Silben pro Minute oder so, was echt schnell ist. Das kann heutzutage kein Schwein mehr, weil es Diktiergeräte gibt. Aber das ist echt schwer, so schnell zu schreiben. Aber mit dem Tastsinn können Sie ja Vibrationen wahrnehmen, die eine viel höhere Frequenz haben. Das ist überhaupt kein Thema. Oder morsen. Früher hat man doch gemorset mit so einer Morsetaste. Da waren sie, wenn sie geschrieben haben, sage ich mal 20 Wörter pro Minute, dann waren sie beim morsen echt schnell. Aber gehört, also quasi morsen verstanden, das heißt dann *copy mode* beim Morsen, da sind 50, 60 Wörter pro Minute, 70 Wörter pro Minute für die guten Leute kein

Problem gewesen, die, die so etwas können. Das heißt also, wir sind immer als Menschen auf der Rezeptionsseite besser als auf der Sendeseite der Kommunikation. Was einfach daran liegt, dass wir autonom sind. Und deshalb müssen wir ganz viel mitkriegen. Also sie können ja toll sehen, sie können fotogenau sich Sachen anschauen. Aber wenn man mal überlegt, die Malerei, bevor es die Fotografie gab, also Marc Chagalls Pferde, ungefähr wie ein Pferd sahen die aus, ein bisschen schöner schon. Oder bei Claude Monet die Naturbilder. Vom Foto waren die natürlich weit entfernt. Oder auch die Realisten. Griechische Antike oder so. Diese berühmten Plastiken, die natürlich versucht haben, wie echt zu sein, aber genau echt waren sie natürlich nicht. Das heißt, wir können als Menschen produktiv... Also auf der Senderseite sind wir längst nicht so gut wie auf der Empfängerseite. Wir sehen sofort, wenn am Foto was nicht stimmt. Aber wir können es nie so genau zeichnen oder malen oder so was. Und das ist diese Asymmetrie, die wir haben. Die behindert uns auch in gewisser Weise, weil wir es nicht so ausdrücken können, wie wir wollen. Und auch Sprache ist, wenn Sie so wollen, im Grunde genommen eine Zwangsjacke für unsere Ideen. Und deshalb ist dieser Grundgedanke, der ja nicht von Elon Musk ist, Achtung, sondern uralte, von so Freaks, die sich für Computerkommunikation schon immer interessiert haben. Dieser Grundgedanke, dass man vielleicht da einen Damm brechen könnte, dass man dem menschlichen Geist hier sozusagen Zugriff zu einer Kommunikation, Zutritt zu einer Kommunikation verschafft, der eben jenseits dieser Behinderungen durch unsere Ausdrucksmöglichkeiten ist. Das ist eine interessante Idee. Also ist nicht völlig abwegig, dass man da auch einen irrsinnigen kulturellen Sprung vielleicht machen würde.

#### **Susann Böttcher**

Und wir vielleicht in Zukunft diese Podcast-Aufzeichnung nur noch denken. Und ein Computersystem wandelt es dann in Sprache um.

#### **Alexander Kekulé**

Ja, da ist das Wichtigste die geistige Backspace-Taste, mit der man das, was man gerade gedacht hat, schnell wieder löschen kann, bevor es online geht. Das ist ein gewisser Vorteil dadurch, dass wir sozusagen so behindert sind.

#### **Susann Böttcher**

Kann man sich noch ausbremsen.

#### **Alexander Kekulé**

Da kann man sich noch bremsen. Man hat es gerade gedacht. Man sagt ja, es liegt einem auf der Zunge, aber man muss das ja nicht unbedingt sagen, wenn es nur auf der Zunge gelegen hat. Aber jetzt so praktisch gesehen. Was ganz sicher demnächst kommen wird, ist, dass man so was dann auch auf Smartphones übertragen kann oder auf die Nachfolger der jetzigen Smartphones. Das heißt, sie werden ohne weiteres dann in Echtzeit Fremdsprache sprechen können. Dass sie in ein Smartphone vorne reinsprechen in ihrer Sprache und das kommt in einer anderen Sprache raus. Und wenn sie das natürlich mit so einem Interface machen, wie dass die eine Patientin ja quasi als Prototyp schon implantiert hat, dann denken sie es eben in ihrer Sprache und haben einen Lautsprecher dabei. Und sie können dann in jeder beliebigen Sprache sich äußern auf die Weise, was natürlich irre ist. Oder auch die Stimme von jemandem imitieren, wenn sie irgendwo anrufen wollen. Da bin ich schon wieder bei *Mission Impossible*, wo so etwas öfter vorkommt. Da wollen sie irgendwo anrufen und vortäuschen, dass sie jemand anders wären. Dann imitieren sie einfach seine Stimme über so ein System. Das heißt, da sind enorme Möglichkeiten drin. Positiv wie negativ, muss man sagen. Also wer sich auch irre darauf freut, sind die Gamer. Ja. Also, es ist ja so, diese Computerspiel-Kids, muss ich sagen, es sind ja meistens jüngere Menschen, die machen ja weltweite Wettbewerbe, wo es auch inzwischen um Millionen geht. Wenn man sieht, mit welcher Geschwindigkeit die auf den Tastaturen herumhauen, das ist unglaublich. Die haben das trainiert, wahnsinnig schnell mit dem Computer zu kommunizieren. Jetzt ist natürlich die Motorik der Hände etwas, was eigentlich viel zu langsam ist, viel zu langsam. Und so eine blöde Tastatur ist ja auch nervig. Man könnte sogar einen Schritt weitergehen und sagen: Sprache ist total nervig. Ja, wofür brauchen sie denn eigentlich Sprache, wenn sie direkt mit dem Computer reden können? Sprache hat der Mensch nur deshalb erfunden, weil er keine Möglichkeit hat, anders direkt zu kommunizieren. Also eigentlich ein wahnsinnig blödes Hilfsmittel, was abgeschafft gehört.

Und deshalb müssen... können sie irgendwann mal, so ist die Idee, mit dem Computer direkt kommunizieren. Und können auch synthetische Telepathie machen, also quasi mit Leuten eben durch Denken hin und her springen. Das kommt übrigens in dem Original in der Kurzgeschichte von Philip K. Dick, die ich vorhin erwähnt habe, kommt es tatsächlich auch vor. In dem Film *Total Recall* haben sie das, glaube ich, weggelassen. Aber dort ist es so, dass der auch telepathisch... Die haben dem aus Versehen was eingepflanzt, wo es bidirektionale Telepathie gibt. Und auf die Weise wird er dann immer verfolgt, weil sie mit ihm sprechen können, an jedem Punkt der Welt. Und das ist aber auch im Prinzip etwas, was gar nicht mal so Science-Fiction ist. Wir haben zum Beispiel im EEG schon länger Signale, die sogenannten P300-Signale, die hat man schon vor längerer Zeit mal entdeckt. Wen das interessiert, der kann es ja mal googeln. So einen P300-Signal, das kommt, zeichnet sich dadurch aus, dass es völlig unwillentlich kommt, also nicht absichtlich, wenn sie etwas wiedererkennen. Das heißt also, man zeigt ihnen ein Bild, was sie schon mal gesehen haben. Das ist dieser Wiedererkennungseffekt. Der macht dann im EEG dieses diese P300-Welle. Das war der Anfang vor vielen Jahren. Aber wenn man das weiter auswertet, dann kann man ja zum Beispiel feststellen, mit so einer Art Lügendetektor, was sie kennen und was sie nicht kennen oder ob sie die Wahrheit sagen oder nicht sagen. Und zwar auch unwillentlich. Also man kann ihre Gedanken quasi auf diese Weise schon lesen. Und das ist natürlich für die Leute, die sich für anderer Leute Gedanken interessieren, super. Umgekehrt, wenn sie so eine Art digitales Super-Intelligenzlevel da noch einbauen können, indem sie mit dem Computer reden, da brauchen sie kein Ketamin mehr nehmen oder Kokain oder Ähnliches. Dann sind sie dauernd auf Speed, weil sie eben mit einer viel höheren Geschwindigkeit kommunizieren können, als das mit unseren sechs Sinnen möglich ist. Oder mit unseren Sprachen, Entschuldigung, mit unserer Sprache möglich ist. Übrigens weiß niemand genau, wie schnell der Mensch theoretisch kommunizieren könnte, wenn er nicht die Sprache benutzen müsste. Wir müssen ja entweder schreiben oder sprechen. Wo sozusagen die theoretische Grenze ist, das weiß niemand.

### **Susann Böttcher**

Das war der Blick in die Zukunft. Vielen Dank Professor Kekulé.

### **Alexander Kekulé**

Ja, gerne dafür. Vielleicht kann ich am Schluss noch sagen: Ich habe ja früher mal ein bisschen Philosophie studiert. Da gab es den Ludwig Wittgenstein. Wer Lust hat, sich darüber Gedanken zu machen, sollte mal dessen Werke lesen. Der ist ja berühmt für das Zitat gewesen, dass er gesagt hat: Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenzen meiner Welt. Das ist so ein doofer Spruch, den immer die Lateinlehrer rausgezogen haben, um zu sagen, dass man jetzt Latein lernen soll. Wittgenstein hat es natürlich ganz anders gemeint, der meinte, dass uns die Sprache auch begrenzt, dass die Sprache sozusagen ein Hemmnis ist, was wir haben. Und deshalb glaube ich, dass man auch darüber nachdenken muss, ob das nicht Optionen sind, die uns Türen öffnen, in eine ganz neue Welt. Es kann auch sein, dass das durchaus interessant wird. Leider oder zum Glück werde ich das nicht miterleben. Ich kann auch nicht sagen, ob wir dann näher bei Gott sind oder weiter weg. Das werden dann... die Nachgeborenen werden das dann feststellen.

### **Susann Böttcher**

Auf jeden Fall ist es jetzt erst mal gut, die Sprache zu erweitern, um seine Welt zu erweitern. Oder so würde ich es...

### **Alexander Kekulé**

Das auf jeden Fall. Solange man sie noch lernen muss, ist es noch gut. Da gilt noch der alte Lateinlehrer-Spruch, gilt vorläufig noch. Es wird aber demnächst so sein, dass man nicht nur die Handschrift verlernt, sondern es wird irgendwann auch so sein, dass man die Tastatur nicht mehr braucht. Und das ist natürlich eine Entwicklung, wo dann Elon Musk wahrscheinlich sagen wird: Ich habe es ja schon immer vorhergesagt. Aber bisher muss man sagen, seine Technologie ist nicht viel weiter als das, was die Wettbewerber machen. Und da gibt es andere Dinge, die im Moment viel weiter sind. Und er muss zusehen, dass er da Land gewinnt mit seinem Unternehmen. Und ich glaube, der Aufhänger war interessant, aber es gibt eben andere Dinge, die im Moment spannender sind.

**Susann Böttcher**

Vielen Dank bis hierhin, bis in zwei Wochen. Das ist erst mal unsere Zukunft. Dann die nächste Ausgabe Kekulé's Gesundheitskompass mit Jan Kröger. Bis dahin eine gute Zeit, Herr Kekulé.

**Alexander Kekulé**

Gerne, bis dahin Frau Böttcher, tschüss.

**Susann Böttcher**

Und wenn Sie ein Thema haben, über das sie mehr erfahren möchten oder eine Frage, dann schreiben Sie uns eine E-Mail an [gesundheitskompass@mdraktuell.de](mailto:gesundheitskompass@mdraktuell.de). Wer das eine oder andere Thema noch einmal vertiefen möchte: Alle wichtigen Links zur Sendung und die heutige Folge zum Nachlesen finden Sie unter Audio und Radio auf [mdr.de](http://mdr.de). Und wenn Ihnen dieser Podcast gefällt, dann empfehlen Sie uns gern weiter. An dieser Stelle empfehle ich Ihnen noch das hier, nämlich das Feature *Gefährliche Freundschaften – Im Hungern nicht allein*. Da geht es um das Thema Essstörungen und die Netzkulturen *ProAna* und *ProMia*, die um die Jahrtausendwende entstanden sind, und in Gruppen mit strengen Hierarchien ihre Mitglieder dazu zwingen abzunehmen. Essstörung wie Anorexie und Bulimie werden in diesen Gruppen nicht als Krankheiten gesehen, sondern als selbstgewählter Lebensstil verherrlicht. *Gefährliche Freundschaften – Im Hungern nicht allein*. Zu finden in der ARD Audiothek.

Diese Transkription ist ein Service der MDR Redaktion Barrierefreiheit. Mehr barrierefreie Angebote finden Sie hier:

<https://www.mdr.de/barrierefreiheit/index.html>