

# Das Ende ist nicht nah – und vielleicht nicht unausweichlich

Evolution und ihr mögliches Ende in verschiedenen Größen und Systemen

Rolf Kickuth



Abbildung 1: Das Foto aus der Hippie-Zeit der 1960er und 1970er Jahre verdeutlicht den Kontrast der jungen Menschen mit ihrer Naturverbundenheit, Konsumkritik sowie der Bruch mit den damals gängigen Lebens- und Moralvorstellungen im Sinne einer friedlicheren und humaneren Welt – und eben dem Auftreten der Ewig-Gestrigen. Gerade Religionen versuchen, durch das Schüren irrationaler Ängste Menschen auf ihre Seite zu bringen, anders als die Wissenschaft. Sie ringt um rationale Erkenntnis – oder um Hypothesen über bekannte Grenzen hinaus. Diese Hypothesen müssen sich dann aber einer nachvollziehbaren Überprüfung stellen – oder werden geändert bzw. verworfen (Foto: Rubikon-Archiv).

Die Frage „Wie geht es weiter?“ beschäftigt den Menschen in mehrfacher Hinsicht (Abbildung 1). Er hat viele Rätsel der Evolution gelöst, ihr Wirken erkannt, und kulturelle Entwicklungen auf lange Sicht rückblickend auf mehr Wohlstand und höhere Sicherheit entwickelt. Persönlich betrifft dies sein Wohlergehen, seine Familie, seine Gesundheit – und auch die Frage nach dem Tod. Gesellschaftlich spielen hauptsächlich politische Auseinandersetzungen bis hin zum Krieg eine Rolle, aber auch das globale Klimageschehen. Kosmologisch lässt sich die Frage mit Prinzipien der Physik angehen; aber das Wissen stößt derzeit noch schnell an Grenzen. Hier eine Zusammenfassung.

Der Autor:

Rolf Kickuth (70) ist Chemiker und Verleger der CLB. 1990 entwickelte der Autor mit der „AXON“ eine Zeitung für künstliche Intelligenz, insbesondere künstliche neuronale Netze. In den späteren 1990er Jahren war er auch Chefredakteur des „Informatik-Spektrum“, der Hauszeitschrift der Gesellschaft für Informatik. Seit 1985 war er zunächst beim Verlag Chemie (jetzt Wiley-VCH), später in seinem Verlag „Rubikon“ für die Schweizer Wochenzeitung „Chemische Rundschau“ redaktionell tätig, von 1994-1999 als Leiter der Redaktion Deutschland. Er engagiert sich für Humanismus und Atheismus.

## 1. Chemische Evolution des Universums

Zunächst einmal hat sich ein Universum entwickelt, das Bausteine bereitstellt, die letztendlich Leben ermöglichen. Das ist wahrscheinlich gar kein so seltenes Ereignis. Man nimmt an, dass praktisch jedes Sonnensystem über Planeten verfügt. Die waren mit früheren Mitteln nicht zu erkennen. Die ersten Planeten überhaupt, die außerhalb des Sonnensystems bestätigt wurden, umkreisen den Pulsar Lich. Ein Pulsar ist ein schnell rotierender Neutronenstern (ein Endstadium in der Sternentwicklung eines massereichen Sterns, der hauptsächlich aus Neutronen besteht), der Leuchtturm-ähnlich Radiofrequenzsignale aussendet. Tatsächlich mutmaßte man Ende der 1960er Jahre, die regelmäßigen Signale würden von außerirdischen Intelligenzen ausgesendet (Abbildung 2). Im Jahre

Abbildung 2: Der sowjetische Wissenschaftler Nikolaj Timofejewitsch Petrowitsch dachte wohl an Aliens bei der Messung von Pulsar-Signalen (Foto des Ausschnitts aus der „Bild“-Zeitung vom 14. November 1996: Rubikon-Archiv).



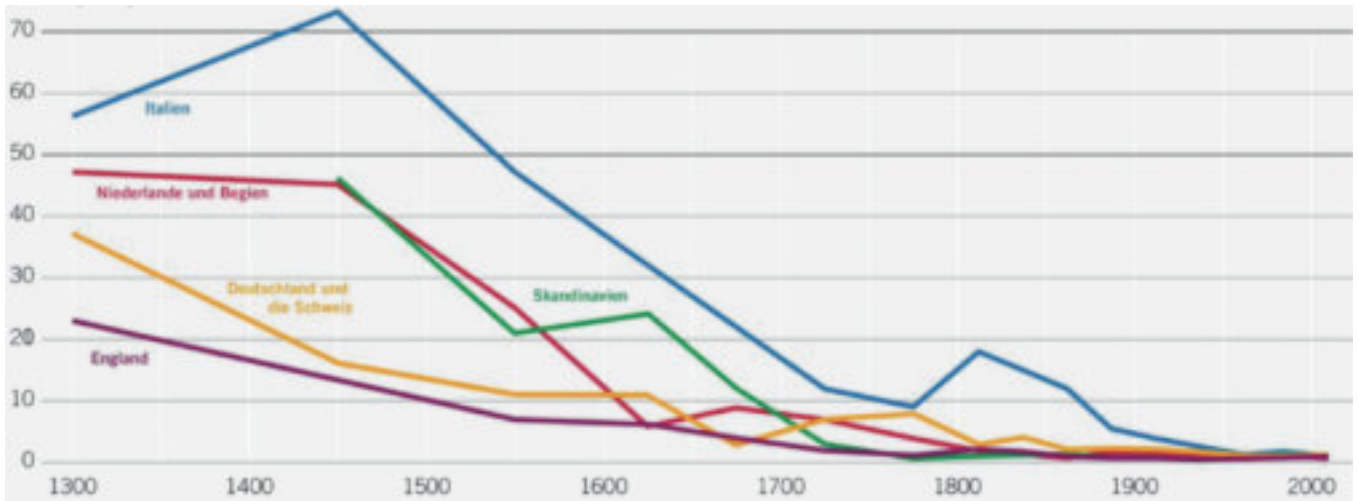


Abbildung 3: Die Abbildung zeigt die Anzahl von Mordopfern pro 100 000 Einwohnern im Jahr. Demnach unterlag man im Mittelalter und der frühen Neuzeit einem viel höheren Risiko, einem Mord zum Opfer zu fallen, als heute (Abb.: Amnesty International; Quelle: [1]).

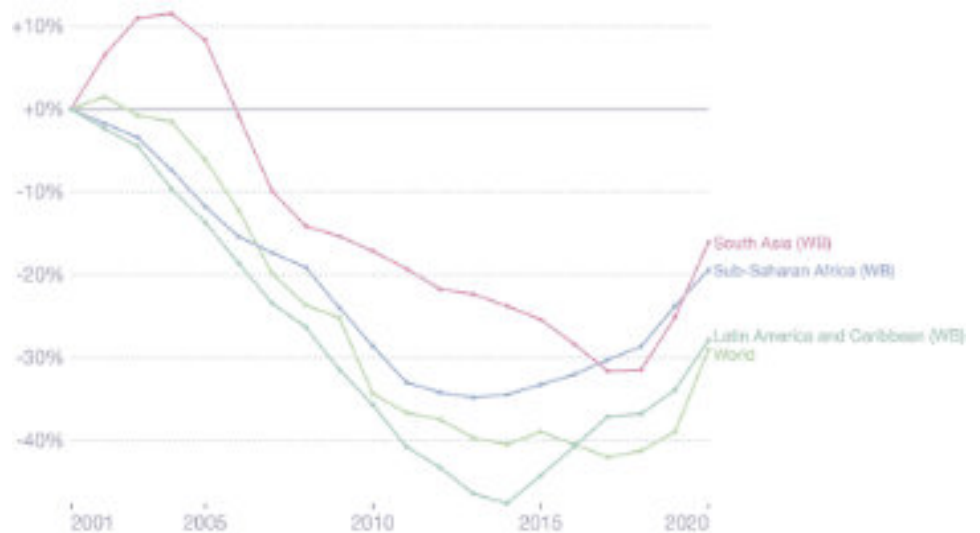
1999 hat man den ersten Planeten mithilfe der Transitmethode gefunden: Falls die Umlaufbahn des Planeten so liegt, dass er aus Sicht der Erde genau vor dem Stern vorbeizieht, erzeugen diese Bedeckungen periodische Absenkungen in dessen Helligkeit. Sie lassen sich durch hochpräzise Photometrie nachweisen. Mittlerweile sind auch direkte Beobachtungen gelungen, und durch spektroskopische Messungen lassen sich Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Atmosphäre machen. Mit Stand vom 8. September 2023 waren 5507 Exoplaneten bekannt.[1]

Das aktuell beste Instrument ist das Ende 2021 gestartete James-Webb-Weltraumteleskop. Mit ihm sind Exoplaneten besser als bisher untersuchbar. Nun kommen zu Fragen der Lebensentstehung die äußerst interessanten neuen Ergebnisse dieses Teleskops hinzu, beschrieben in dieser CLB in dem Artikel „Lebensbausteine aus dem All“ ab Seite 410. Sie lassen auch den Rückschluss zu, dass Lebensbausteine bereits im All entstehen und die weitere Entstehung auf Planeten damit einfacher vonstatten gehen kann.

## 2. Erde erhalten, Demokratie stärken

Inwiefern dies die Chancen für Entwicklung intelligenter Lebens, wie wir es kennen, erhöhen, steht dabei aber auf einem anderen Blatt, ebenso, wie wahrscheinlich dies überhaupt ist. Angesichts eines Universums mit geschätzt einer Billionen Galaxien, von denen jede im Schnitt 100 Milliarden Sterne und wohl noch mehr Planeten hat, dürfte

Abbildung 4: Relative Änderung des Anteils der Personen an der Bevölkerung, deren tägliche Nahrungsaufnahme nicht ausreicht, um die für ein normales, aktives und gesundes Leben erforderliche Energiemenge zu liefern (Abb.: Food and Agriculture Organization of the United Nations (via World Bank) OurWorldInData.org/hunger-and-undernourishment; CC BY).

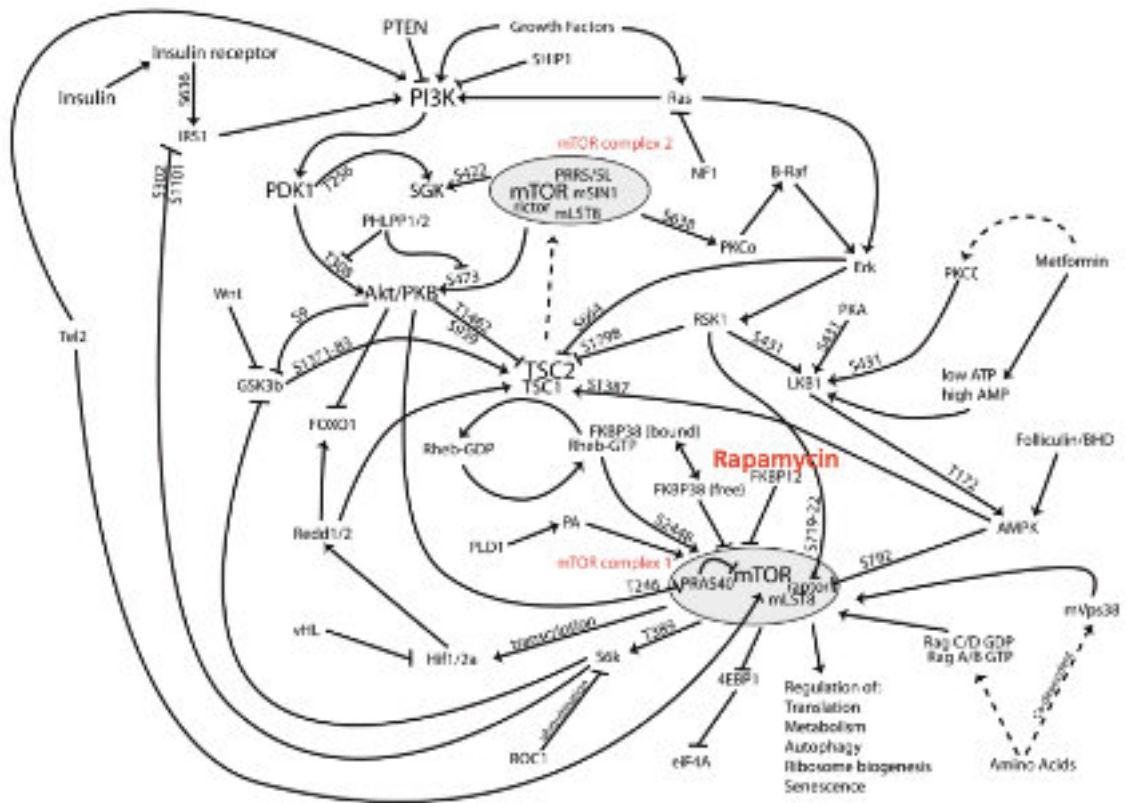


die Wahrscheinlichkeit für intelligentes Leben durchaus nicht klein sein. Gleichzeitig sind aber die Abschnitte zwischen solchen denkbaren Kolonien wohl so riesig, dass ein Kontakt äußerst unwahrscheinlich ist. Dies ist eine Erklärung für das Fermi-Paradoxon: Wenn es andere Zivilisationen im Universum und speziell in unserer Milchstraße gibt – warum haben wir noch nichts von ihnen erfahren?

Nun, auf der Erde gibt es intelligentes Leben. Auch wenn die Evolution selbst keinen Zweck verfolgt, und egal, wie häufig so etwas wie Intelligenz im Weltall aufzufinden sein mag: Wir sollten bemüht sein, dies zu erhalten.

Tatsächlich ist – allem subjektivem Empfinden gerade in Zeiten von Angriffskriegen und Umweltproblemen zum Trotz – die Welt in den vergangenen Jahrhunderten für die Menschen immer besser geworden (Abbildungen 3 und 4). So sind Gewalt-

Abbildung 5: Rapamycin, das bei Mäusen lebensverlängernd wirkt, ist in einen sehr komplexen Steuer- und Regulationsmechanismus einbezogen (Abb.: CC BY 3.0 Charles Betz ww.w.betz.lu/index.php/2009/01/08/mtor-pathway-2009?blog=6).



taten in den letzten Jahrhunderten immer weiter zurückgegangen [2, 3], ebenso wie Unterernährung oder globale ökonomische Ungleichheit [4]. Ein wichtiger negativer Aspekt der letzten Jahre hingegen sollte nicht ungenannt bleiben: Die Zahl der Demokratien weltweit sinkt bzw. die Demokratien werden geschwächt.[5] Es gilt jedoch mit Blick auf die Geschichte, die Demokratien zu stärken. Denn schaut man sich um – die nordischen Staaten, Europa, USA, Australien – so stellt man fest: Den liberalen Demokratien ist es bislang nicht nur am besten gelungen, kulturellen, technischen und medizinischen Fortschritt hervorzubringen, sondern die positiven Entwicklungen daraus dem Einzelnen auch verfügbar zu machen.

Für die Entwicklung intelligenten Lebens gilt also: Es ist vielen Gefahren ausgesetzt, nicht zuletzt durch selbstzerstörerische Prozesse. Diese lassen sich aber aufhalten, wenn man sich ihrer bewusst ist. Wir sind es eigentlich. Es bedarf keiner außerirdischen Zivilisation, um den Planeten zu retten, indem sie die Menschheit vernichtet. Wir haben positive Handlungsaspekten, dies selbst zu tun. Eventuell passiert das erst, wenn wie in dem Science Fiction „Der Tag, an dem die Erde stillstand“ angedacht, diese erst merkt, dass sie am Abgrund steht. „Klaatu Barada Nikto“ sollten wir selbst aussprechen (siehe die Rezension S. 479).

### 3. Lebensende unausweichlich?

Wie in CLB 11/12-2021 mit dem Schwerpunkt „Alterungsprozesse“ ausführlich dargelegt bedeu-

tet Altern einerseits Verzweigung, Evolution, die Entwicklung einer immer größeren Vielfalt, aber auch das Absterben von nicht mehr mit Material oder Energie versorgten Entwicklungszweigen sowie der Ausfall von Systemen durch steigende Unordnung. Biologisch gesehen bedeutet dies: Zellen altern, sammeln zum Beispiel unfunktionale, teils schädliche Stoffwechselprodukte in sich an, oder sie können Zellschäden nicht ausreichend reparieren.

Es gibt einfache Lebewesen, die quasi ewig leben, aber auch höhere Lebewesen mit erstaunlichen maximalen Lebensaltern: Nacktmulle zum Beispiel, aber auch Fledermäuse; manche Arten können unter günstigen Umständen ein Alter von 20 bis 30 Jahren erreichen. Bei den Nacktmullen spielen wohl genetische Prozesse. Gene, die mit Mitochondrien und Oxidationsreduktionsprozessen in Verbindung stehen, weisen bei Nacktmullen im Vergleich zu normal-kurzlebigen Mäusen hohe Expressionsniveaus auf.[6]

#### 3.1 Die Resilienz nimmt ab, denn die biochemischen Vorgänge sind sehr komplex

Über das maximal mögliche Alter eines Menschen streiten noch die Wissenschaftler. Das bisher längste Leben erreichte nachgewiesener Maßen die Französin Jeanne Louise Calment (1875 – 1997), die 122 Jahre alt wurde. Auch wenn die Forschung voranschreitet und das durchschnittliche Lebensalter ansteigt, sehen die Wissenschaftler eine Grenze zwischen 120 bis 150 Jahren.[7] Die Fähigkeit des menschlichen Körpers, sich die

Fähigkeit des Körpers, sich nach Störungen wieder zu regenerieren – seine Resilienz – nimmt nämlich fortlaufend ab.

Dies zu ändern ist auch mit modernen medizinischen Mitteln voraussichtlich extrem schwer. Der Grund dafür ist die Komplexität der biochemischen Vorgänge. Man weiß zum Beispiel, dass Rapamycin die Lebensspanne von Mäusen verlängert. [8] Rapamycin ist ein mTOR-Hemmstoff. mTOR (mechanistic oder mammalian Target of Rapamycin) ist ein in allen Säugetieren vorkommendes Protein, an welches das Immunsuppressivum Rapamycin indirekt bindet. Es handelt sich bei mTOR um ein für Überleben, Wachstum, Proliferation und Motilität von Zellen wichtiges Enzym, das in einen sehr komplexen Steuer- und Regelungsprozess einbezogen ist (Abbildung 5). Die einfache Einnahme von Rapamycin – das wohl gemerkt schon in der Medizin als Immunsuppressivum etwa bei Organtransplantationen eingesetzt wird – bringt dies sicherlich ziemlich durcheinander, so dass die Einnahme ohne medizinische Indikation kein guter Rat ist.

Es ist nicht ausreichend, nur hier und dort Mechanismen zu verbessern. Das Ineinandergreifen aller Prozesse erfordert auch einen entsprechend allumfassenden Reparaturmechanismus.

Auszuschließen ist dies jedoch nicht. Schließlich kann die Entropie eines offenen Systems auch abnehmen, vorausgesetzt, man hat genügend Ressourcen, um Vorgänge nachlassender Ordnung aufzuhalten oder rückgängig zu machen. Dafür steigt dann natürlich die Entropie in der Umgebung...

### 3.2 Das Bewusstsein erhalten

Was den Wunsch des Menschen nach Unsterblichkeit eventuell eher erfüllen kann ist, sein Bewusstsein zu erhalten. Das ist ja etwas, das in der biologischen Evolution bislang nicht selektiert wurde. Ich dachte mir schon mal mit Hinblick auf das Ableben: Hab mir Jahrzehnte den Kopf vollgestopft mit Wissen und Erfahrungen, und nun soll ich einfach abtreten? Dem Verlorengehen dieses Schatzes konnte man bislang nur mit Krücken begegnen, etwa durch das Schreiben einer Autobiografie. „Wer schreibt, der bleibt“ heißt es auch in Journalistenkreisen. Es gibt jetzt auch Menschen, die die Prozesse ihrer Entscheidungsfindung dokumentieren. Sinn davon ist, dass später nach dem Black box-Verfahren (siehe auch Seite 432) ein System geschaffen werden kann, das nach dem Muster des beschriebenen Menschen Entscheidungen trifft, sodass dieser praktisch in seiner Handlungsfähigkeit unsterblich geworden ist. Das eigentliche Bewusstsein stirbt trotzdem.

Den Tod eines mühsam aufgebauten Bewusstseins kann die Evolution doch nicht beabsichtigt haben, dachte ich auch. Alles, wofür ich so viel Zeit aufgewendet habe, soll nun verloren gehen? Halt,

was sage ich da: Die Evolution beabsichtigt nichts. Es passiert einfach. Da ist kein Ziel dahinter.

Das Leben, so gut es auch organisiert ist, ist ein thermodynamisch unwahrscheinlicher Zustand. Und der Tod ist der Sieg des Wahrscheinlichen über das Unwahrscheinliche. Die wahrscheinlichste Erklärung für die Seneszenz ist, dass sie ein zufälliges Nebenprodukt einer nicht damit zusammenhängenden vorteilhaften Eigenschaft ist. Nach Thomas Kirkwoods „disposable soma theory“ [9] („Wegwerfkörpertheorie“) hat die Evolution eine Physiologie begünstigt, die ein Maximum an Fruchtbarkeit und Fortpflanzungserfolg in der frühen Reifezeit ermöglicht. Der Vorteil liegt auf der Hand: Aufgrund des ständigen Risikos, durch Naturkatastrophen, Raubtiere usw. getötet zu werden, ist es wahrscheinlicher, dass Individuen, die früh Nachwuchs bekommen, ihre Gene weitergeben als solche, die sich später fortpflanzen – oder sich gar nicht fortpflanzen, weil sie bereits mitsamt ihren Genen von einem Löwen gefressen wurden.

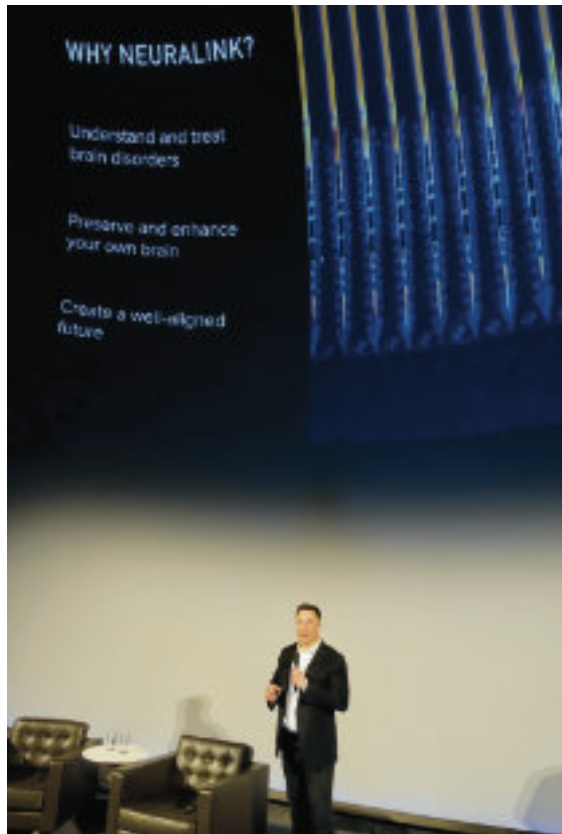
Aber die Biochemie, die den Fortpflanzungserfolg in der Jugend maximiert, dürfte, so das Argument, nicht gleichzeitig ideal für einen zweiten Zweck sein, nämlich für die perfekte Erhaltung eines stabilen, potenziell unsterblichen Organismus. Und so ist es auch: Unsere Wartungs- und Reparatursysteme sind gut, aber nicht gut genug, um die Alterung, z. B. durch die Anhäufung von DNA-Schäden, zu verhindern.

Bislang war ewiges Leben der Evolution nicht dienlich, auch weil eine höhere Diversifizierung erfolgte, durch die vielen Arten nach Mutation und Umwelteinflüssen. Das Sterben des Menschen ist jetzt eine neue Qualität. Es ist ja nicht deswegen ein so bedauerliches Ereignis, weil eine Zusammenballung biologischer Zellen aufhört, sich zu reparieren und zusammenzuleben, sondern weil mit jedem Menschen eine – seine persönliche – Kultur stirbt, eine komplette Entität, das, was er gelernt hat. Und das liegt eben daran, dass diese neue Erregenschaft eingesperrt ist in einem knöchernen Kasten, aus dem es kein Entrinnen gibt, wenn erst mal die Stoffwechselforgänge gestoppt worden sind. Aber: Der Tod ist kein Naturgesetz.

Die Evolution hat jetzt eine andere Stufe erreicht. Sie hat dem Menschen durch genetische Entwicklung und Umwelteinflüsse ermöglicht, sprechen zu lernen. Er hat sich auch dadurch unglaublich vermehrt und eine Evolution der Kultur ins Rollen gebracht, die eben nicht mehr die langsamen Reaktionen der molekularen Welt benötigt, um sich zu entfalten.

Es gibt neue Möglichkeiten des evolutionären Fortschritts. Angefangen hat dies wie gerade schon angesprochen mit der Schrift, die es ermöglicht, lebenslang erworbene Erfahrungen für viele andere Individuen in anderen Orten und in künftigen Zeiten verfügbar zu machen. Darüber hinaus gin-

Abbildung 6: Elon Musk bei der Vorstellung von Neuralink am 16. Juli 2019 (Foto: Wikipedia / Steve Jurvetson CC BY 2.0).



gen noch Bücher und Zeitschriften, Radio und Fernsehen und schließlich die vernetzte Welt des Internets.

### 3.3 Gehirnschnittstellen sind denkbar

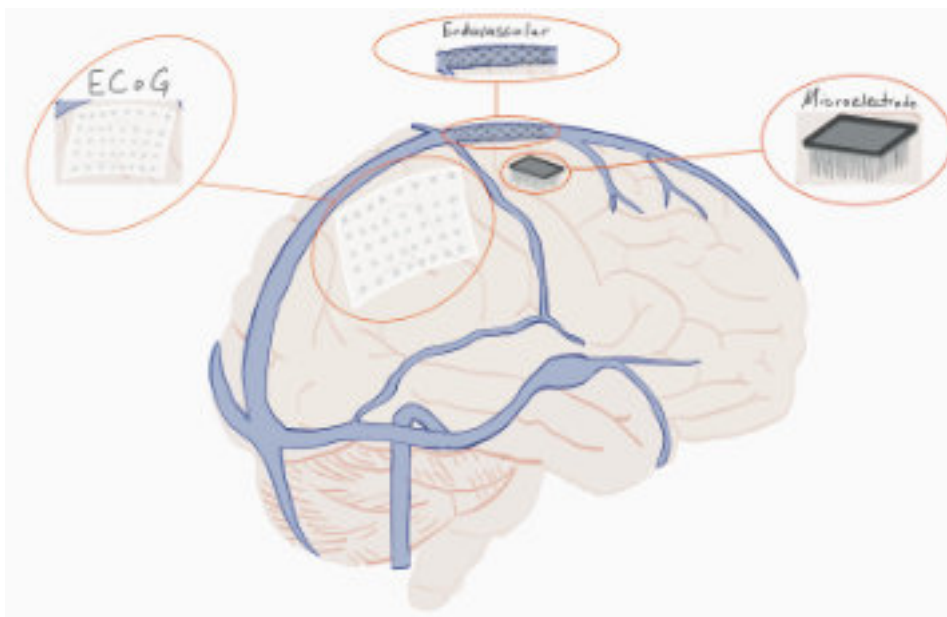
Nun deuten sich aber völlig neue, bislang nur in der Science Fiction beschriebene Wege an: Zugän-

ge in den knöchernen Kasten zu schaffen, der das Gehirn umschließt. Populär geworden ist diese Idee durch den Visionär und Geschäftsmann Elon Musk (Abbildung 6). Neben seinen wichtigsten Firmen Tesla und SpaceX betreibt er ja unter anderem auch seit 2016 das Unternehmen Neuralink, das Möglichkeiten zur Vernetzung des menschlichen Gehirns mit Maschinen untersucht. Ziel von Neuralink ist die Entwicklung eines Gerätes zur Kommunikation zwischen dem menschlichen Gehirn und Computern, ein Brain-Computer-Interface (BCI, Abbildung 7).

Gelingt einmal solch eine Verbindung mit dem Gehirn, steht dem potenziell ewigen Leben nichts im Wege – wenn auch anders, als es sich die Jungbrunnen-Träumer vorstellen.

Ein Computer, der in der Lage wäre, Gedanken eines Gehirns fortzuführen, müsste ähnlich komplex gestaltet sein. Es gibt mit neuromorphen Systemen Ansätze für solche Technologien. Sie gehen noch über das hinaus, was man bislang mit „künstlicher Intelligenz“ bezeichnet, obwohl ChatGBT hier schon gezeigt hat, wohin die Reise gehen kann. Neuere Modelle – auch schon Erweiterungen der großen Sprachmodelle wie ChatGPT – verfügen wie das Gehirn über viele interne Rückkopplungen. Diese werden bei neuromorphen Systemen massiv zunehmen und zu extrem hoher Komplexität führen – bei gleichzeitig erheblich niedrigerem Energieverbrauch, aber höherer Geschwindigkeit. Solche selbstlernenden Systeme bieten dann auch keine Chancen mehr, ihre Entscheidungen rückzuverfolgen. Forderungen nach offengelegten Algorithmen liefern ins Leere.

Abbildung 7: Die Abbildung zeigt, wo anatomisch gesehen die verschiedenen BCIs üblicherweise implantiert werden. EKG-Arrays werden häufig über dem Hirngewebe implantiert. Endovaskuläre BCIs (hier eine Darstellung eines Stent-Elektroden-Arrays) liegen innerhalb der Blutgefäße. Intrakortikale Mikroelektroden schließlich durchdringen das Gewebe der Neuronen (Abb.: Wikipedia / Amcclanahan CC BY-SA 4.0).



Dennoch bietet genau so eine Struktur die Chance auf relativ ewiges Leben – das zudem noch viele Bewusstseinsinhalte integrieren könnte. Anders als bei konventionellen Computern mit ihrer Von-Neumann-Architektur handelt es sich bei Gehirnen um hoch dezentrale, analoge, unsynchronisierte komplexe Netzwerke ohne streng definierte Ein- und Ausgänge. Am ehesten ließen sich wohl noch die Sehnerven dafür ansprechen. Ein Zugang zu dem Langzeitgedächtnis böte sich wahrscheinlich über die Strukturen des Hippocampus an, der für die Überführung von Gedächtnisinhalten aus dem Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis notwendig ist. Das aktuelle Erleben einer Person abzugreifen wäre viel schwieriger; vielleicht ginge es durch eine komplexe Vernetzung eines BCI mit dem

präfrontalen Cortex. Sterben wird dann nicht mehr eine komplette Entität, ein vollständiges Individuum, sondern nur so etwas wie ein Gedanke. Das ist den Menschen ja durchaus vertraut und nicht erschreckend, sondern trägt zu seiner Entwicklung bei. Eine 60jährige Person ist im Denken bei weitem nicht mehr dieselbe wie diejenige, die sie als 20jährige war. Die 20jährige Persönlichkeit ist gestorben, ohne dass dies bedauerlich war. Dieses Konzept beinhaltet, dass wünschenswerter und notwendiger Wandel geschieht, ohne dass ein Verlust eines kompletten Wesens zu beklagen ist. Er empfängt sensorische Signale und steht in korrelativem Zusammenhang mit der Integration von Gedächtnisinhalten und emotionalen Bewertungen, wird als notwendig für die Handlungssteuerung und der Regulation emotionaler Prozesse angesehen. Völlig abgesehen von ethischen Problemen: Auch rein technisch ist dies noch Science fiction.

Es kann höchstens sein, dass sich ein möglicherweise global ausbreitendes „Gehirn“ irgendwann einsam fühlt, weil es kein von ihm getrenntes Gegenstück findet (Abbildung 8). Oder ein Meteorit zerstört die Erde mit dem einzigen großen Denkorgan darauf.

Wohl deshalb drängt es Elon Musk auch in den Weltraum. Wie bislang unterliegt auch das Universum einer Evolution, ebenso wie die Sterne und Planeten in ihm.

#### 4. Das Ende der Sonne

Das Leben in unserem Sonnensystem wird daher allein durch den Lebenszyklus unserer Sonne sein Ende finden. Unsere Sonne ist derzeit etwa viereinhalb Milliarden Jahre alt.

Das Sonnensystem wird nach Kenntnis der Astrophysiker ungefähr so bleiben, wie es heute bekannt ist, bis der Wasserstoff im Kern der Sonne vollständig in Helium umgewandelt ist, was in etwa fünf Milliarden Jahren der Fall sein wird. Dies markiert das Ende des Hauptreihenlebens der Sonne. In der Astronomie ist die Hauptreihe (Abbildung 9) ein kontinuierliches und markantes Band von Sternen, das auf Diagrammen der Sternfar-

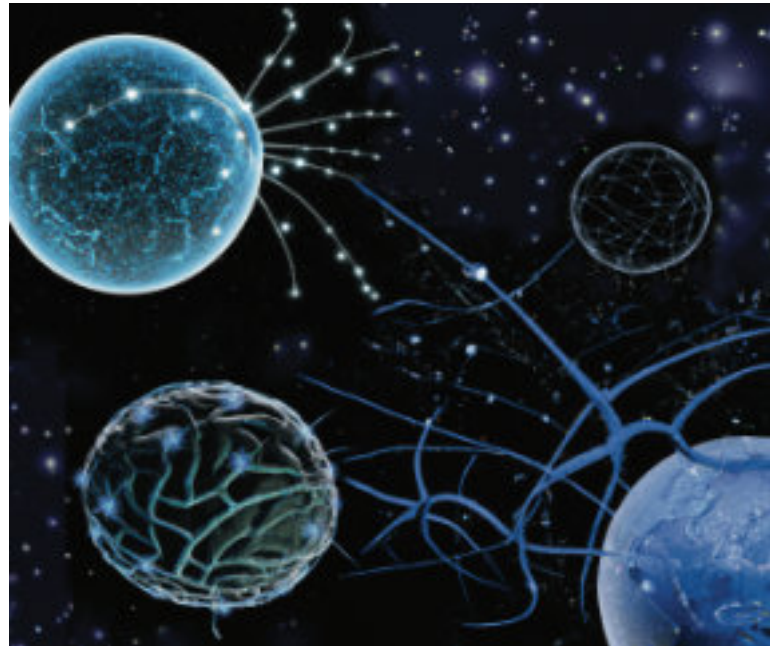


Abbildung 8: Mit dem Menschen beginnt sich der schnelle Teil der Evolution loszulösen von vorwiegend molekularer Informationsweitergabe durch DNA. Kommuniziert wird akustisch, optisch, elektronisch, mit riesigen Informationsspeichern und extrem schneller Vervielfältigung. Es ist ungewiss, ob das Gehirn durch noch komplexere Strukturen mit möglicherweise erweitertem Bewusstsein abgelöst wird, aber mittlerweile für viele Menschen vorstellbar. Vielleicht suchen sich künftige globale Informationsstrukturen dann Partner im Weltall, wie es diese künstlerische Darstellung symbolisiert (Abb.: RK).

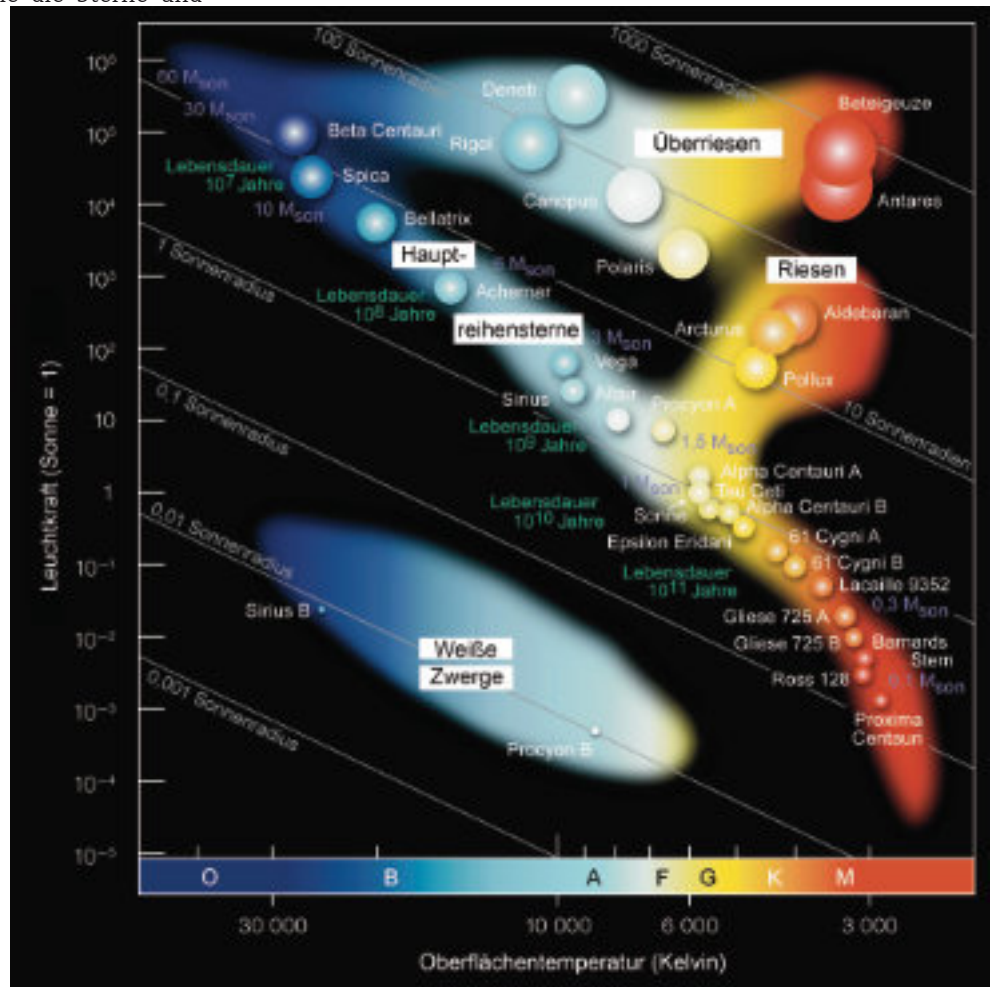


Abbildung 9: Eine Darstellung des Hertzsprung-Russell-Diagramms (Abb.: Wikipedia / ESO CC BY-SA 4.0).

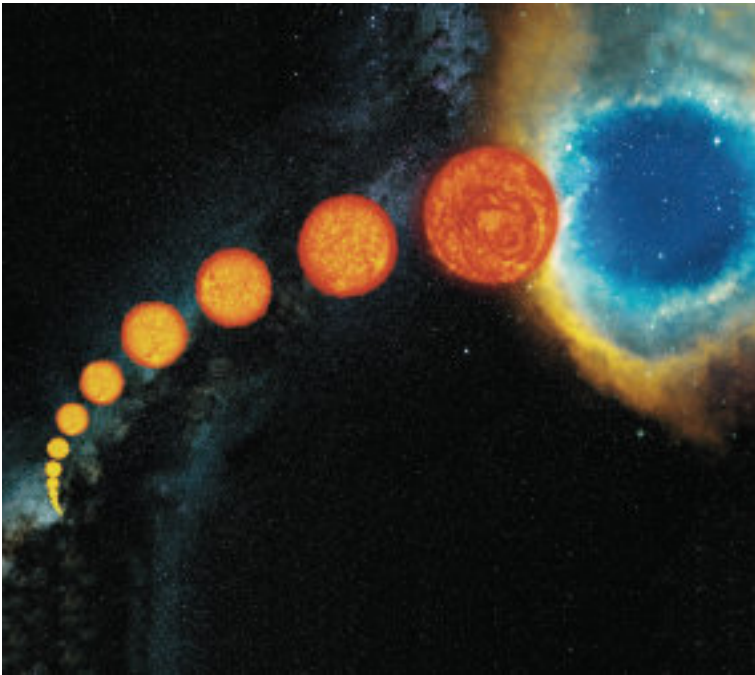


Abbildung 10: Die Sonne selbst hat einen Lebenszyklus, der bestimmt wird durch den Ablauf der energieerzeugenden Kernreaktionen in ihr, durch den Verbrauch und die Umwandlung ihres nuklearen Materials. Das Bild ist eine künstlerische Darstellung des Lebenszyklus eines sonnenähnlichen Sterns, gestartet beim Stand unserer Sonne, die 4,5 Mrd. Jahre alt ist. „Schon“ in rund 2 Mrd. Jahren erhitzt sie die Erde auf 100 °C, und wenn sie rund 12 Mrd. Jahre alt ist, wird sie als Roter Riese Merkur und Venus einverleiben, die Erdkruste zu Lava verbrennen. Sie endet dann als planetarischer Nebel mit einem Reststern, einem „Weißen Zwerg“, der schließlich auch erlischt (Abb.: ESO CC BY 4.0).

be im Verhältnis zur Helligkeit erscheint. Diese Farb-Helligkeits-Diagramme sind nach ihren Entwicklern Ejnar Hertzsprung (1873-1967, dänischer Chemiker und Astronom) und Henry Norris Russell (1877-1957, amerikanischer Astronom) als Hertzsprung-Russell-Diagramme bekannt (Abbildung 9). Sterne in diesem Band werden als Hauptreihensterne oder Zwergsterne bezeichnet. Dies sind die zahlreichsten Sterne im Universum; zu ihnen gehört auch die Sonne

Zu diesem Zeitpunkt wird sich der Kern der Sonne zusammenziehen, wobei die Wasserstofffusion entlang einer das träge Helium umgebenden Hülle stattfindet, und die Energieabgabe wird größer sein als derzeit. Die äußeren Schichten der Sonne werden sich auf etwa das 260-fache ihres derzeitigen Durchmessers ausdehnen; die Sonne wird zu einem „Roten Riesen“.[10]

Es wird erwartet, dass die expandierende Sonne sowohl Merkur als auch Venus verdampft und die Erde unbewohnbar macht (und sie möglicherweise auch zerstört). Irgendwann wird der Kern heiß genug für die Heliumfusion sein; die Sonne verbrennt das Helium für einen Bruchteil der Zeit, die sie für die Verbrennung von Wasserstoff im Kern benötigt. Die Sonne ist nicht massereich genug, um mit der Fusion schwererer Elemente zu beginnen, und die Kernreaktionen im Kern werden nachlassen. Die äußeren Schichten werden in den Weltraum ge-

schleudert und hinterlassen einen dichten Weißen Zwerg. Die ausgestoßenen äußeren Schichten bilden einen planetarischen Nebel (Abbildung 10).

Vielleicht gelingt es den Menschen ja zuvor – oder der ihnen nachfolgenden Intelligenzstufe, sich in das Planetensystem eines anderen Sterns zu retten, oder selbst ein Raumschiff als dauerhafte Bleibe zu bauen. Auch das ist jedoch keine Lösung für die Ewigkeit. Die dauert nämlich sehr lange :) und zwischenzeitlich wird das Universum selbst ein Ende finden.

## 5. Szenarien für das Universum: Erstarren, zerreißen oder kollabieren

Welches das sein wird, wie es aussieht, darüber wird noch gestritten in der Wissenschaftsgemeinschaft. Die drei wichtigsten Szenarien heißen „Big Freeze“, „Big Rip“ oder „Big Crunch“.

Hypothesen über die ferne Zukunft der Evolution, unseres Universums, ergeben sich aus dem Standardmodell der Kosmologie. Man stützt sich auch auf „Dunkle Materie“ – Sterne umrunden Galaxienzentren schneller als es die Gravitation erlaubt – und „Dunkle Energie“. Letztere führt zu einer beschleunigten Expansion des Weltalls, die 6 Milliarden Jahre nach dem Urknall zu messen ist. Beides sind theoretische, nicht näher aufgeklärte Konstrukte, aber man kann damit Mathematik betreiben, Modelle berechnen. Je nach Modellannahmen wird das Universum entweder wieder unter der Schwerkraft kollabieren (Big Crunch), zur Zunahme der Dunklen Energie zerreißen (Big Rip) oder ewig expandieren. Dabei nähert sich die Temperatur dem absoluten Nullpunkt (Big Freeze).

### 5.1 Kältetod: Big Freeze

Der Kältetod des Universums, auch Wärmetod, Big Freeze oder Big Chill genannt, ist ein Szenario, bei dem eine fortgesetzte Expansion zu einem Universum führt, das sich asymptotisch der absoluten Nulltemperatur nähert. In diesem Szenario erreicht das Universum schließlich einen Zustand maximaler Entropie, in dem alles gleichmäßig verteilt ist und es keine Energiegradienten gibt, die zur Aufrechterhaltung der Informationsverarbeitung, zu der auch Lebensprozesse gehören, erforderlich sind. Wenn bestehenden Sternen der Treibstoff ausgeht und sie nicht mehr leuchten, wird das Universum langsam und unaufhaltsam dunkler. Letztendlich werden Schwarze Löcher das Universum dominieren, die ihrerseits mit der Zeit verschwinden, da sie Hawking-Strahlung aussenden. Das Ganze dauert jedoch wohl 100 Billionen ( $10^{14}$ ) Jahre. Aktuelle Beobachtungen weisen darauf hin, dass die Expansion des Universums unendlich fort-dauern wird. Dieses Szenario wird daher derzeit als das wahrscheinlichste Schicksal des Alls betrachtet. [11]

## 5.2 Zerreißen: Big Rip

Beim Big Rip nimmt die Expansionsrate des Universums immer schneller zu und divergiert schließlich in einem singulären Ereignis. Das Universum würde von den größten zu den kleinsten Strukturen zerreißen: Zuerst träfe es Galaxienhaufen, dann Galaxien, dann Planetensysteme, dann Planeten, Atome und letztlich Elementarteilchen. Verursacht werden soll die steigende Expansionsrate durch eine Zunahme der Dichte der Phantomenergie, einer Form der Dunklen Energie.

Der Hintergrund des Big Rip: Im Jahr 1912 entdeckte der amerikanische Astronom Vesto M. Slipher (1875-1969), dass das Licht entfernter Galaxien rotverschoben war. Spätere Theorien erkannten dies als einen Effekt der Ausdehnung des Universums. In Übereinstimmung mit der Urknall-Theorie hat sich die Expansion des Universums nach der anfänglichen Inflation in den ersten Milliarden Jahren seiner Existenz verlangsamt. Seitdem nimmt die relative Ausdehnungsgeschwindigkeit zu. Die Erklärung dieser beobachteten beschleunigten Expansion ist Gegenstand aktueller Forschung und hat zum Konzept der Dunklen Energie geführt. Der Begriff der Dunklen Energie wurde als eine Verallgemeinerung der kosmologischen Konstanten eingeführt, um die beobachtete beschleunigte Expansion des Universums zu erklären. Die kosmologische Konstante wiederum wurde von Albert Einstein in seinen Gleichungen Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie eingeführt. Die Konstante beschreibt die Gravitationskraft als geometrische Krümmung der Raumzeit. Nach dem Modell von Robert Caldwell (Dartmouth College, New Hampshire), Marc Kamionkowski und Nevin N. Weinberg aus dem Jahre 2003 würde eine kontinuierliche Expansion des Universums in sich selbst unter Umständen nicht ewig dauern, sondern könnte instabil werden und zu einem Big Rip entarten.[11]

## 5.3 Zusammenstürzen: Big Crunch

Die Big Crunch-Hypothese sieht eine symmetrische Sicht auf das endgültige Schicksal des Universums. Genau wie der Urknall als kosmologische Expansion begann, geht diese Theorie davon aus, dass die durchschnittliche Dichte des Universums ausreichen wird, um seine Expansion zu stoppen und das Universum zu schrumpfen beginnt. Das Ergebnis ist unbekannt. Eine einfache Schätzung ergibt, dass die gesamte Materie und Raumzeit im Universum in eine dimensionslose Singularität zusammenfällt, zurück zu dem Zustand, in dem das Universum mit dem Urknall begann.

Auf diesen Skalen müssen jedoch unbekannte Quanteneffekte berücksichtigt werden. Neuere Erkenntnisse deuten darauf hin, dass dieses Szenario unwahrscheinlich ist, es wurde jedoch nicht ausgeschlossen, da Messungen relativ gesehen nur

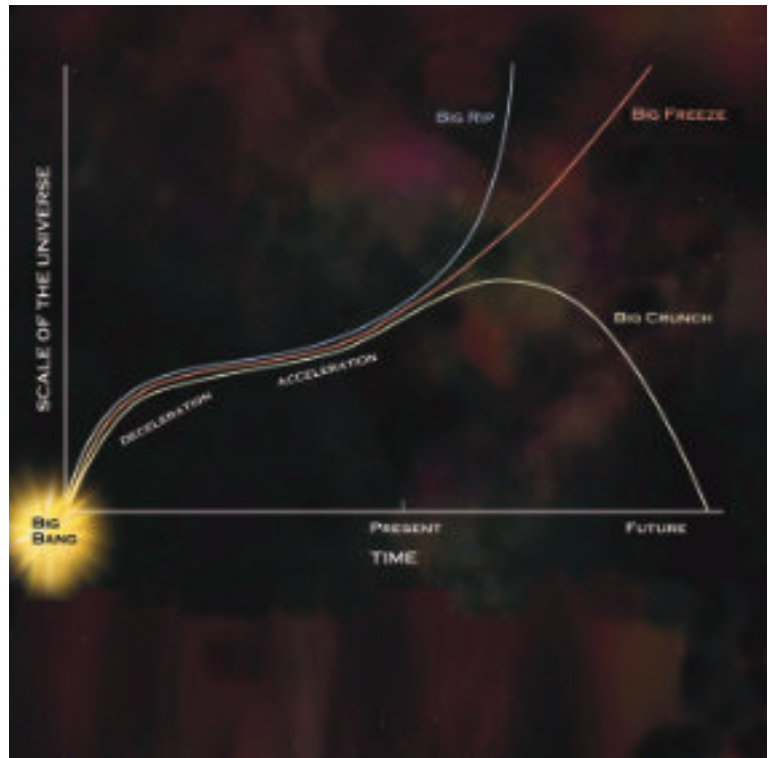


Abbildung 11: Die Abbildung visualisiert die Ausdehnungscharakteristiken der kosmologischen Modelle Big Rip, Big Freeze und Big Crunch im Laufe der Zeit (Abb.: NASA).

über einen kurzen Zeitraum verfügbar waren und sich in Zukunft umkehren könnten.[12]

## 5.4 Weitere „Bigs“: Big Bounce, Big Trip...

Die Big Crunch-Hypothese lässt sich noch weiterführen zur Big Bounce-Hypothese. Das Konzept des Big Bounce sieht den Urknall als Beginn einer Expansionsphase, die auf eine Kontraktionsphase folgte. Aus dieser Sicht könnte man von einem Big Crunch gefolgt von einem Big Bang oder einfacher von einem Big Bounce sprechen. Man hätte dann ein oszillierendes Universum vorliegen. Solche Theorien und Hypothesen kommen auf, weil es bei anderen hier und da Widerspruch zu anderen, allgemein akzeptierten Theorien gibt, insbesondere zur Quantenmechanik und ihrem Unschärfeprinzip, aber auch zu Fragen der Entropie und Impulserhaltung. Nicht ausgeschlossen ist ja, dass es neben unserem Universum viele, eventuell unendlich viele andere Universen gibt, wir also in einem Multiversum leben (Abbildung 12). Theorien deuten darauf hin, und dies würde auch die Problematik des anthropischen Prinzips beseitigen: Wieso ist alles – etwa Naturkonstanten wie die Lichtgeschwindigkeit oder die Masse des Elektrons – so abgestimmt, dass es ein Universum gibt, das Menschen hervorbringt? Bei einem Multiversum ist die Antwort – ähnlich wie bei verschiedenen Planeten um ein Sonnensystem: Es ist nicht so abgestimmt, sondern es passt zufällig. Vielleicht passt es in anderen Universen in anderer Weise – oder eben auch nicht



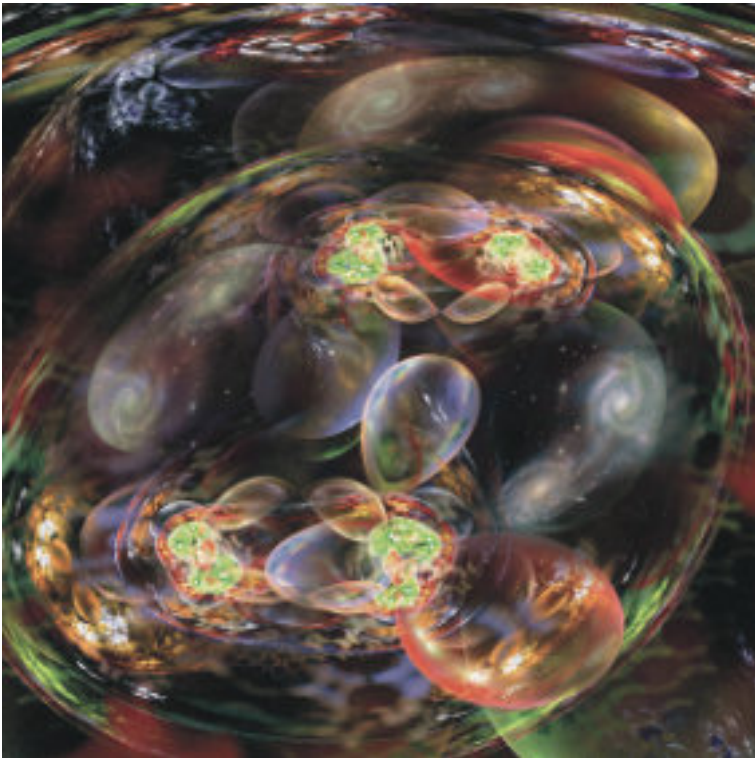


Abbildung 12: Es gibt kosmologische Theorien, die aufzeigen, dass unser Universum nur eins von möglicherweise unendlich vielen existierenden Universen ist. Die Gesamtheit dieser Universen nennt man Multiversum. Eine solche Theorie erklärt von selbst das anthropische Prinzip (Abb.: RK / NSF (Galaxien)).

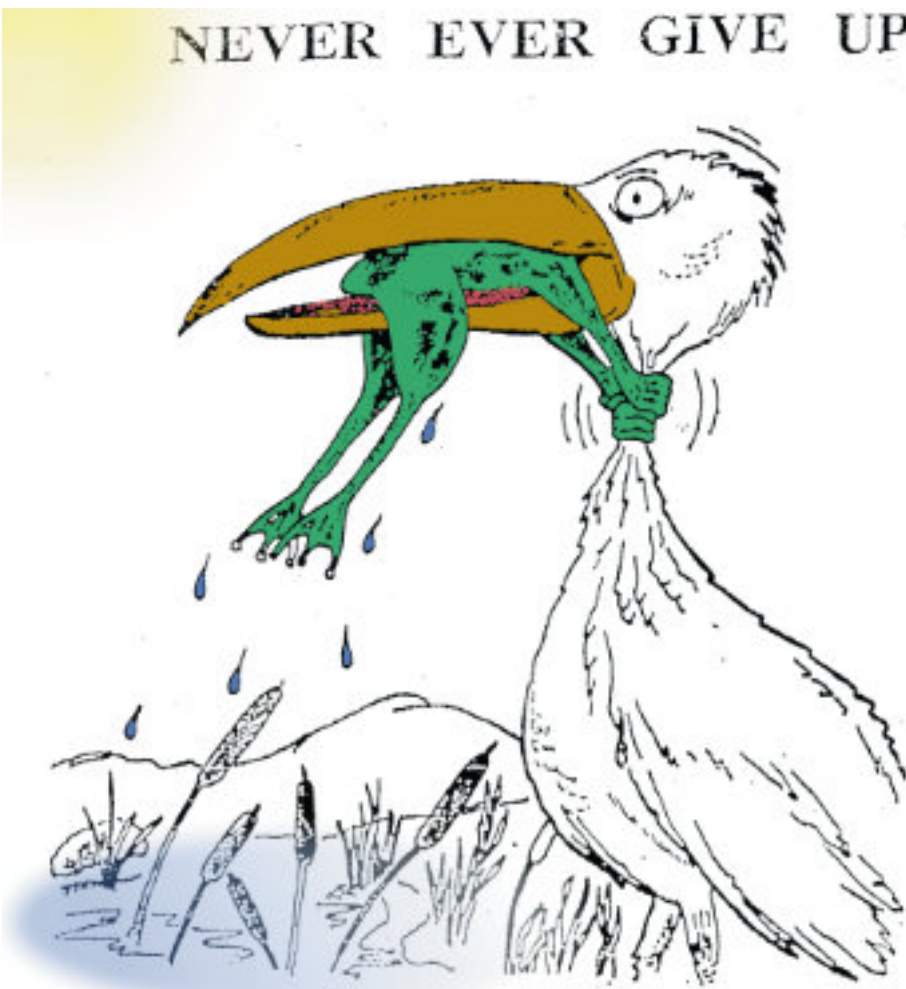
(siehe auch den Artikel in CLB 3/4-2016: Auslaufmodell anthropisches Prinzip; S. 104-110).

### 5.5 Ein zeitliches Multiversum?

Mehr Licht ins Dunkel der Evolution des Universums können zumindest teilweise neue Messungen und Instrumente bringen – und weitere Anstrengungen, Theorien ohne innere Widersprüche zu entwickeln. Wie verrückt das werden kann zeigt eine genauere Betrachtung des Big Rip. Seine treibende Kraft für die extrem schnell werdende Expansion, ist etwas, das man Phantomenergie nennt, die mit aktuellen kosmologischen Messwerten durchaus vereinbar ist. Sie ist eine besondere Form der Dunklen Energie. Auch die Phantomenergie kann zu einem oszillierenden Universum führen [11], allerdings in der Form, dass sich von Universum zu Universum die physikalischen Gesetze und kosmologischen Konstanten ändern – ein Multiversum in der Zeit.

Noch verrückter: Phantomenergie kann Zeitschleifen und Wurmlöcher ermöglichen, Tunnel durch die Raumzeit, die beliebig weit entfernte Regionen miteinander verbinden können. Das schreibt der mit Kosmologie bestens vertraute Wissenschaftsjournalist Rüdiger Vaas in „Bild der Wissenschaft“.[13] Er zitiert Wissenschaftler

(Artyom V. Yurov et al.), die ein Modell für einen Prozess entwickelt, der schneller abläuft als der Big Rip: Einen Big Trip. Demnach kann die Phantomenergie winzige Wurmlöcher massiv aufblähen, sodass sie letztlich sogar unser Universum schlucken könnten, hinein in ein anderes. Falls es das nicht gibt, heißt es vielleicht: Zurück zum Urknall. Vaas meint: „Der Stachel der Sterblichkeit bohrt in jedem sich selbst bewussten Wesen. Vielleicht wäre eine Hyperintelligenz am Schluss der kosmischen Evolution in der Lage, seinen letzten Gedanken durchs Wurmloch zu senden, um in der nächsten Runde vielleicht sogar für eine neue Art von Leben und Intelligenz zu sorgen. Wenn es keine geeigneten anderen Universen für künftige Hyperintelligenzen gibt, bliebe ihnen wohl nur eine Chance: Die Flucht in eine andere Zeit, und zwar – weil die Zukunft nichts zu bieten hat – in die Vergangenheit.“ Also: Zukunft in einem – vielleicht änderbaren – Gestern. Ich drücke



es etwas anders aus: Das Multiversum ist eine Simulation seiner selbst auf der Suche nach Bedeutung. Zwar kommt die Wissenschaft wohl auf lang absehbare Zeit hier nicht weiter, aber es gilt: **Never ever give up :) ▶▶**

#### Literatur / Quellen

- [1] <http://www.exoplanet.eu>
- [2] Manuel P. Eisner: Long-Term Historical Trends in Violent Crime; *Crime and Justice* 30:83-142, Januar 2003; doi:10.1086/652229
- [3] Steven Pinker: *Gewalt. Eine neue Geschichte der Menschheit*; Fischer-Verlag 2011
- [4] Max Roser (2017) - "The history of global economic inequality". Published online at [OurWorldInData.org](https://ourworldindata.org). Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/the-history-of-global-economic-inequality>'
- [5] A. Lührmann et al.: A third wave of autocratization is here: what is new about it?; *Democratization*, 26:7, 1095-1113 (2019), doi: 10.1080/13510347.2019.1582029
- [6] Yu C. et al.: RNA sequencing reveals differential expression of mitochondrial and oxidation reduction genes in the long-lived naked mole-rat when compared to mice; *PLOS ONE*. 6 (11): e26729 (2011)
- [7] T.V. Pyrkov et al.: Longitudinal analysis of blood markers reveals progressive loss of resilience and predicts human lifespan limit; *Nature Communications* volume 12, Article number: 2765, 25.5.2021
- [8] E.L. Baar et al.: Sex- and tissue-specific changes in mTOR signaling with age in C57BL/6J mice; *Aging Cell*. 15 (1): 155–66 (Feb. 2016); doi:10.1111/ace1.12425
- [9] Kirkwood, T.: Evolution of ageing. 1977. *Nature* 170 (5635) 201
- [10] K.-P. Schröder et al.: Distant future of the Sun and Earth revisited; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 386 (1): 155–163 (May 2008)
- [11] R. R. Caldwell, M. Kamionkowski, N. N. Weinberg: Phantom Energy and Cosmic Doomsday; *Phys. Rev. Lett.*, 91, 2003, 071301
- [12] Y. Wang, J. M. Kratochvil, A. Linde, M. Shmakova: Current observational constraints on cosmic doomsday; *Journal of Cosmology and Astro-Particle Physics*, 2004 (12): 006
- [13] R. Vaas: Am Rand der Raumzeit / Urprall statt Urknall / Im Ring der Zeit; *Bild der Wissenschaft* 2/2023, S. 12-31