



UNIVERSITÄT LEIPZIG
FAKULTÄT FÜR MATHEMATIK UND INFORMATIK

Hausarbeit

2029 wird alles anders

Vorgelegt von

Philipp Freick

Leipzig, April 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Zur Person Raymond Kurzweil	1
2	Mooreches Gesetz	3
3	Das Gesetz des sich beschleunigenden Nutzens	5
4	Die Sechs Epochen	10
4.1	Epoche eins: Physik und Chemie	11
4.2	Epoche zwei: Biologie und DNS	11
4.3	Epoche drei: Gehirne	11
4.4	Epoche vier: Technik	12
4.5	Epoche fünf: Verschmelzung menschlicher Technik und Intelligenz . . .	12
4.5.1	Die technologische Singularität	13
4.6	Epoche sechs: Das Universum erwacht	14
5	Zukunftsprognosen von Ray Kurzweil	16
5.1	2020er	16
5.2	2030er	17
5.3	2040er	18
6	Persönliche Bewertung	19
	Literaturverzeichnis	21

1 Zur Person Raymond Kurzweil

Raymond „Ray“ Kurzweil (12. Februar 1948 in Queens, New York City) ist ein US-amerikanischer Erfinder, Autor und Futurologe. Kurzweil gilt als einer der bekanntesten Vordenker des Transhumanismus und hat bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt sieben Bücher verfasst, von denen fünf Bestseller in den USA waren. Kurzweil wurde 2012 von Larry Page (Mitgründer von Google) persönlich angeheuert, um als Leiter der technischen Entwicklung bei Google an Projekten im Bereich des Maschinellen Lernens und der Sprachverarbeitung zu arbeiten. Er ist Träger zahlreicher Titel und Auszeichnungen. So hat er bis heute unter anderem 20 Ehrendokortitel renommierter Institute und Universitäten erhalten, wurde 1999 mit der National Media of Technology geehrt (der höchsten Auszeichnung in den Vereinigten Staaten für Leistungen auf dem Technologiesektor) und wurde 2002 in die National Inventors Hall of Fame aufgenommen.



Abb. 1.1: Portrait von Raymond Kurzweil aus dem Jahre 2015. (Quelle: [Alshr])

Bill Gates bezeichnete ihn einst als „führenden Experten im Bereich der künstlichen Intelligenz“ (Quelle: [Diahr]). Er ist zudem ein technologischer Avantgardist im Bereich der optischen Texterkennung, Sprachsynthese, Spracherkennung, sowie Erfinder des ersten CCD-Flachbettscanners. Darüber hinaus ist er Vorsitzender und Mitgründer der Singularity University. Kurzweil gilt als Advokat der Futuristen- und Transhumanistenbewegung und gibt jährlich eine Vielzahl öffentlicher Reden zu seinen optimistischen Zukunftsprognosen. Zumeist spricht er über aktuelle und zukünftige Trends der Nanotechnologie, Robotik und Biotechnologie. Seinem geschärften Blick für technologische Entwicklungen hat ihm einen Posten in der Army Science Advisory Group (ASAG)

verschafft. Dort berät er, als einer von fünf Mitgliedern, die US-Army bei der Auswahl und Priorisierung von Forschungsprojekten.

Auch wenngleich seine Eltern jüdisch waren, wurde er unitarisch erzogen. Kurzweil sieht sich selbst als Patternist¹ und Agnostiker. In seinem 2006 veröffentlichten Buch „The Singularity Is Near“ (zu deutsch: Menschheit 2.0, die Singularität naht) beschreibt Kurzweil seine persönliche Philosophie im Umgang mit Problemen darin, dass es für jegliche Problemstellung unserer Zeit, egal ob diese wissenschaftlich, sozial, kulturell oder anderweitig definiert sei, es immer eine Idee gibt, die zur Lösung des Problems führen kann. Die familiäre Prägung seiner Weltsicht formulierte er dazu mit folgenden Worten:

„Letztendlich war das die Religion in der ich aufwuchs: Verehrung der menschlichen Kreativität und der Macht der Ideen.“ (Quelle: [Kur14], Seite 2)

¹Eine anschauliche Definition des Begriffs „Patternist“ liefert Kurzweil selbst: “I describe myself as a patternist, and believe that if you put matter and energy in just the right pattern you create something that transcends it. Technology is a good example of that: you put together lenses and mechanical parts and some computers and some software in just the right combination and you create a reading machine for the blind. It’s something that transcends the semblance of parts you’ve put together. That is the nature of technology, and it’s the nature of the human brain. Biological molecules put in a certain combination create the transcending properties of human intelligence; you put notes and sounds together in just the right combination, and you create a Beethoven symphony or a Beatles song. So patterns have a power that transcends the parts of that pattern.” (Quelle: [Silhr])

2 Mooresches Gesetz

Beginnend sollen Kern-Charakteristiken des Mooreschen Gesetzes (englisch: Moores Law) erläutert werden. Dies ist notwendig, da ein Großteil von Kurzweils Vorhersagen auf die Extrapolation dieses Trends beruht und er auch weiterreichende Thesen auf dessen Basis formuliert hat. Mit dem Mooreschen Gesetz wird die empirische Beobachtung beschrieben¹, dass sich die Komplexität integrierter Schaltkreise mit minimalen Komponentenkosten regelmäßig verdoppelt. Der für die Verdoppelung Benötigte Zeitraum variiert je nach Quelle, zumeist werden aber 12 bis 24 Monate veranschlagt².

Kurzweil geht von einer Halbierung der Strukturbreiten (in allen drei Dimensionen) aller 5,4 Jahre aus (siehe Abbildung: 2.1a). Da Computerchips jedoch zweidimensional aufgebaut sind, verdoppelt sich somit die Anzahl von Komponenten pro Flächeneinheit aller 2,7 Jahre. Durch die Verkleinerung der Strukturbreiten müssen Elektronen zudem kürzere Wege zurücklegen, was die die Rechenleistung der Chips ebenfalls steigert.

Nach Kurzweils Verständnis handelt es sich bei dem Mooreschen Gesetz nicht um das erste Paradigma der Computertechnik, sondern um das fünfte. Dies soll in Abbildung 2.1b veranschaulicht werden. Abgebildet wird das Verhältnis von Instruktionen pro Sekunde pro eintausend Dollar (inflationbereinigt) von 49 Großrechnersystemen des 20. Jahrhunderts. Sobald eine Rechentechnologie ausgereizt ist und somit an seine physikalischen Grenzen stößt, wird diese von einer nachfolgenden Technologie beerbt. Kurzweil akzeptiert die Prognose, dass das Mooresche Gesetz ein Ende finden wird³. Seiner eigenen Schätzung zufolge wird dies ungefähr im Jahre 2020 geschehen. Allerdings geht er davon aus, dass die integrierten Schaltkreise dann vom sechsten Paradigma, den dreidimensionalen Molekularschaltungen, abgelöst werden. Diese befinden sich schon heute in der frühen Entwicklung.

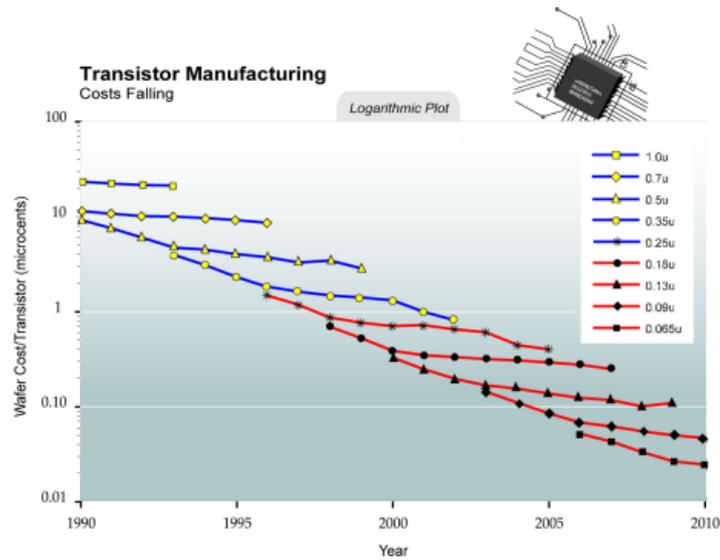
Laut Kurzweil ist eine der herausragenden Eigenschaften des Mooreschen Gesetzes, dass zukünftige technologische Entwicklungen sehr präzise vorhersagbar sind. Kurzweil konnte dabei überzeugend darlegen, dass die Trends nicht nur für die Geschwindigkeit

¹Es handelt sich somit nicht um ein wissenschaftliches Naturgesetz.

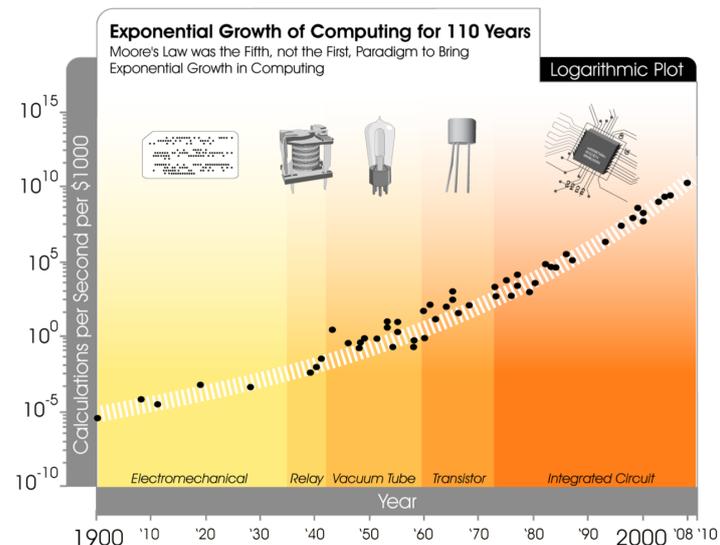
²Die unterschiedlichen Zeiträume kommen durch unterschiedliche Interpretationen des Gesetzes zustande.

³Das Ende des Mooreschen Gesetzes wurde schon mehrfach verschoben. Nach einer Roadmap aus dem Jahre 2009, geht Intel von einem Weiterbestehen bis mindestens zum Jahr 2022 aus (Quelle: [Inthr]).

von Computertechnik gilt, sondern auch für deren Verbreitung und Vernetzung sowie für die Größe des weltweit akkumulierten Wissens.



- (a) Der Trend sich immer weiter verkleinernder Strukturbreiten in der Transistorfertigung. Aktuelle Prozessoren werden in 10 Nanometer gefertigt. (Quelle: [Kurhr], Seite: 28)



- (b) Es hat 90 Jahre benötigt um den ersten MIPS (Millionen Instruktionen pro Sekunde) Computer für 1000\$ zu fertigen. Heute kommt mit jedem weiteren Tag ein MIPS hinzu. Das Mooresche Gesetz stellt zudem nicht das erste Paradigma des exponentiellen Wachstums der Rechnertechnik dar, sondern das fünfte. Jede ausgereizte Technologie wird von einer nachfolgenden Technologie abgelöst, die das Wachstum weiter aufrecht erhalten kann. (Quelle: [Kurhr], Seite: 18)

Abb. 2.1: Das exponentielle Wachstum der Rechnertechnik.

3 Das Gesetz des sich beschleunigenden Nutzens

Das von Kurzweil formulierte Gesetz des sich beschleunigenden Nutzens (englisch: Law of Accelerating Returns) beschreibt die scheinbar zunehmende Geschwindigkeit der biologischen und technologischen Evolution. Das Mooresche Gesetz stellt dabei eine (von vielen) Manifestationen des Gesetzes dar. Für Kurzweil stellen folgende Punkte die wesentlichen Charakteristiken des Gesetzes vom steigenden Ertragszuwachs dar:

- Evolution bezieht ihre Vielfalt aus dem Chaos, das sie umgibt. Der evolutionäre Prozess ist somit kein geschlossenes System.
- Der Entwicklungsprozess vermehrt exponentiell sein eigenes Ausgangspotential.
- Die Evolution beruht auf einem Rückkopplungseffekt in dem die neuen Methoden einer Entwicklungsstufe zum Erreichen der nächsten Stufe dienen.
- Mit der vorangegangenen Beobachtung korreliert auch im exponentiellen Ausmaß der Evolutionsertrag (Geschwindigkeit, Effizienz, Kostenwirksamkeit und das allgemeine Potential des Prozesses).
- Ein weiterer positiver Rückkopplungseffekt besteht darin, dass in einen Evolutionsprozess umso mehr Ressourcen gesteckt werden, je effektiver er wird. Daraus resultiert eine zweite Ebene des exponentiellen Wachstums: Die Wachstumsrate selbst (der Exponent) wächst exponentiell.
- Sowohl die biologische, als auch die technologische Evolution sind Beispiele für solch einen Evolutionären Prozess.
- Ein Paradigma unterläuft so lange ein exponentielles Wachstum, bis dessen Potential ausgeschöpft ist. Wenn dies stattfindet, tritt ein Paradigmenwechsel ein, welcher das exponentielle Wachstum fortsetzt.

Eine historische Analyse der technologischen Entwicklung führt Kurzweil zu folgendem Bild der Geschichte:

In der Menschheitsgeschichte vergingen tausende von Jahre zwischen den ersten technologischen Entwicklungen (Steinwerkzeuge, Feuer, das Rad). Menschen, die zu dieser Zeit

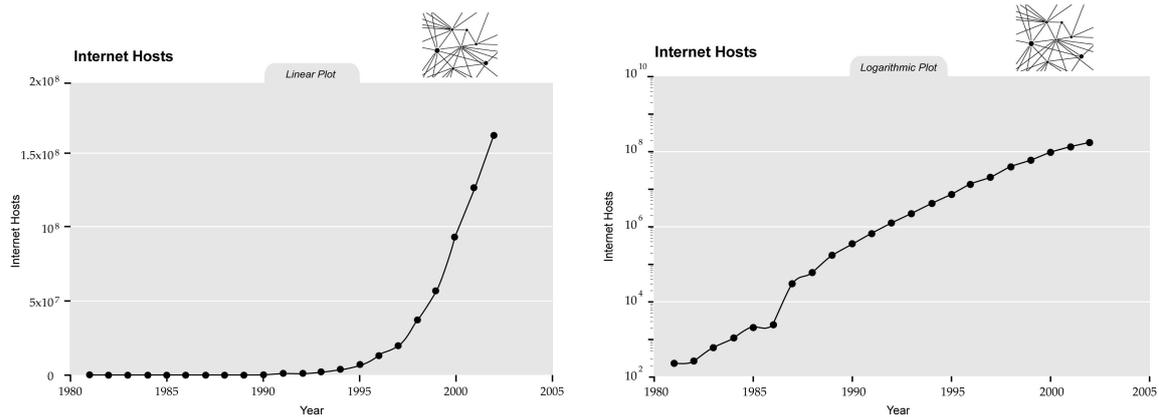
lebten, konnten selbst in einem Zeitraum von eintausend Jahren keinen technologischen Wandel wahrnehmen. Vor eintausend Jahren war der Wandlungsprozess dahingegen schon wesentlich schneller. Das Auftreten neuer Paradigmen benötigte nur noch ein oder zwei Jahrhunderte. Im 20. Jahrhundert sahen wir dann in der Summe mehr technologische Veränderungen als in den neun vorausgegangenen Jahrhunderten. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt benötigt es nur noch wenige Jahre für einen Paradigmenwechsel. Betrachten wir also die Abstände zwischen den einzelnen Schritten, können wir erkennen, dass der Prozess eine zunehmende Beschleunigung erfährt. Zeichnen wir die Schlüsselereignisse in ein Diagramm mit logarithmischer Darstellung, so ergibt dies eine Gerade. Der Verlauf ist demzufolge exponentiell (siehe Abbildung: 3.2). Der Plot enthält nicht nur wichtige Meilensteine der menschlichen Entwicklung im Bereich der Technologie (z. B.: Entwicklung der Agrarkultur, Industrielle Revolution, Entwicklung des Personal Computers), sondern darüber hinaus auch relevante Punkte der biologischen Evolution.

Hierbei zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Die Evolution des Lebens benötigte Milliarden von Jahren um die ersten primitiven Lebensformen hervorzubringen. Der Prozess beschleunigt zusehends, und während der Kambrischen Explosion erforderten essentielle Paradigmenwechsel nur noch Millionen von Jahre. Wo die Entwicklung des Humanoiden noch über eine Periode von Millionen von Jahren erstreckte, benötigte dann die des Homo Sapiens nur noch hunderttausende von Jahren.

Bemerkenswert erscheint hierbei, dass beide Evolutionen scheinbar direkt ineinander übergehen, ohne dass es zu einem Abriss der Geschwindigkeit kommt. Kurzweil erkennt hierin, dass das exponentielle Tempo zu schnell für eine DNA gelenkte (auf Proteinsynthese basierende) Evolution wurde. Der evolutionäre Druck führte für ihn somit zwangsläufig in die Entwicklung von Technologien und somit zu einem neuen Paradigma.

Kurzweil erläutert, dass die Entwicklung der Evolution nicht intuitiv ist. Dies ist für ihn auch der Grund, warum er bei der Betrachtung der selben Entwicklungen für einen identischen Zeitraum zu anderen Schlüssen als seine Kollegen kommt. So schreibt er:

„Die meisten Langzeitprognosen für das, was in den kommenden Zeit technisch möglich sein wird, unterschätzen die bevorstehenden Entwicklungen drastisch, weil sie auf einer Geschichtsanschauung beruhen, die ich als „intuitiv-linear“ bezeichne, im Gegensatz zu einer „Historisch-exponentiellen“ Betrachtungsweise.“ (Quelle: [Kur14], Seite: 11)



(a) Anzahl an Webhosts in linearer Darstellung. (b) Anzahl an Webhosts in logarithmischer Darstellung. (Quelle: [Kur14], Seite 77)

Abb. 3.1: Die Verbreitung des Internets, gemessen an der Anzahl von Webhosts.

Er führt weiter aus, dass exponentielles Wachstum trügerisch ist. Anders als linear verlaufende Prozesse kennt exponentielles Wachstum einen „Knick in der Kurve“. Bis zu diesem Punkt entwickelt sich der Prozess langsam und unscheinbar, doch danach nimmt er explosionsartig an Fahrt auf. Dies zu verinnerlichen ist selbst für diejenigen von uns schwierig, die lang genug leben, um selbst ein zunehmendes Tempo der Entwicklung zu erfahren. Denn unsere Intuition lässt dennoch den Anschein entstehen, dass die Dinge sich nur in dem zuvor erlebten Geschwindigkeit ändern¹. Dies erscheint logisch, da aus einer mathematischen Perspektive eine Exponentialkurve bei der Betrachtung eines kleineren Ausschnitts wie eine Gerade aussieht. Für vergangene Generationen war dies eine annehmbare Betrachtungsweise, denn:

„In der Vorstellung unserer Vorfahren glich die Zukunft ungefähr der Gegenwart und diese ungefähr der Vergangenheit. Exponentialtrends gab es zwar auch schon vor tausend Jahren, aber in einem dermaßen langsamen, flachen Stadium, dass eigentlich gar nichts zu passieren schien - was die Annahme einer veränderungslosen Zukunft bestätigte.“ (Quelle: [Kur14], Seite: 11)

Doch für Kurzweil befinden wir uns kurz vor dem genannten „Knick in der Kurve“, sodass seine Prognose für das 21. Jahrhundert wenig überraschend große Fortschritte prophezeit:

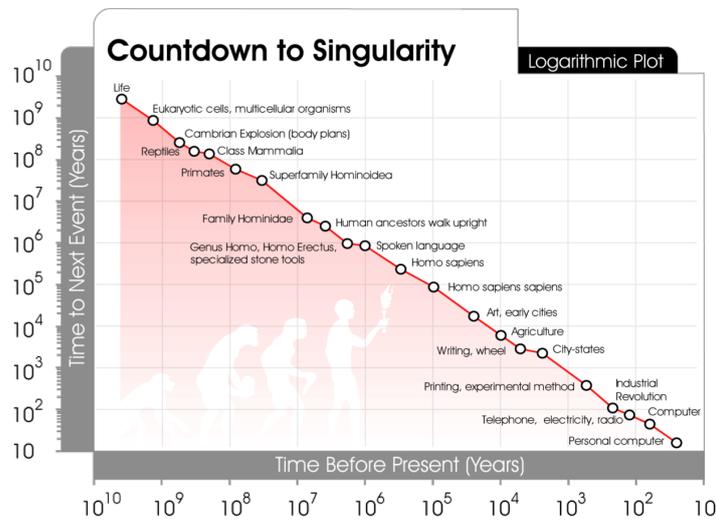
„Gemessen an der heutigen Fortschrittsrate bringt uns das 21. Jahrhundert nicht hundert Jahre Weiterentwicklung, sondern ungefähr zwanzigtausend - etwa tausend Mal mehr, als im 20. Jahrhundert erreicht wurde.“ (Quelle: [Kur14], Seite: 12)

¹Kurzweil erläutert in vielen seiner Vorträgen, dass das menschliche Gehirn darauf konzipiert ist, „intuitiv linear“ zu denken. So war es für unsere Entwicklung (so zum Beispiel auf der Jagd) nie notwendig, sich exponentiell entwickelnde Systeme vorstellen zu können.

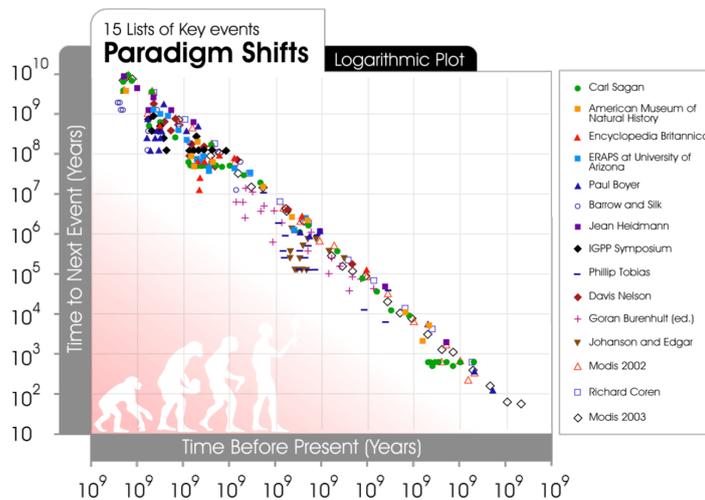
Eines von vielen Beispielen die Kurzweil anführt, ist das Wachstum des Internets. Betrachtet man den linearen Plot in Abbildung 3.1a kommt man zu dem Schluss, dass die Entwicklung plötzlich und unerwartet geschah. Betrachtet man dahingegen den gleichen Graphen mit einer logarithmischen Skalierung (siehe Abbildung: 3.1b) erscheint alles einem sehr vorhersehbarem Schema zu folgen. Das exponentielle Wachstum erfolgt nicht aus dem Nichts. Es benötigt nur eine andere Darstellung um es für uns intuitiv verständlicher zu gestalten.

Ein möglicher Einwand gegen die von Kurzweil gestellte These ist die Feststellung, dass die Zukunft schwer vorhersehbar ist, was sich auch sehr gut empirisch belegen lässt, da es eine Vielzahl es unzutreffender Zukunftsprognosen gibt. Dies beantwortet Kurzweil mit folgendem Vergleich:

„Die Bewegung eines einzelnen Moleküls eines Gases ist praktisch unmöglich vorherzusagen, während das Verhalten des Gases insgesamt (bestehend aus einer großen Anzahl von chaotischen interagierender Moleküle) anhand der Gesetze der Thermodynamik zuverlässig berechnet werden kann. Analog dazu ist es unmöglich, die Ergebnisse eines einzelnen Projekts oder Unternehmens vorherzusehen, während das zukünftige Potential der Informationstechnik insgesamt (bestehend aus einer Vielzahl chaotischer Aktivitäten) durch das Gesetz vom steigenden Ertragszuwachs zuverlässig vorhergesagt werden kann.“ (Quelle: [Kur14], Seite: 447)



(a) Von Kurzweil ausgewählte Schlüsselereignisse der biologischen und technischen Vergangenheit. Die biologische Entwicklung geht dabei nahtlos in die technologische über. Anhand immer kürzer werdender Zeiträume zwischen zwei Ereignissen ist eine kontinuierliche Beschleunigung zu vernehmen. (Quelle: [Kurhr], Seite: 8)



(b) Die kombinierte Ansicht aus 15 verschiedenen Quellen. Die Daten wirken etwas verrauscht, da verschiedene Analysten für die selben Ereignisse verschiedene Zeitpunkte veranschlagen und verschiedene Listen ähnliche oder sich überschneidende Ereignisse enthalten. Dennoch zeichnet sich anhand der Schlüsselereignisse eine deutlichen Trend zu gleichmäßigen Beschleunigung ab. (Quelle: [Kurhr], Seite: 10)

Abb. 3.2: Eine geschichtliche Einordnung von Schlüsselereignissen. Die Diagramme verwenden allesamt einen logarithmischen Maßstab.

4 Die Sechs Epochen

Eines der prägnantesten Konzepte Kurzweils ist wohl die Gliederung der Evolution in sechs verschiedene Epochen (siehe Abbildung: 4.1). Kurzweil beschreibt die Evolution auch als die Entwicklung von Mustern, die von Stadium zu Stadium eine immer höhere Ordnung erreichen. Dabei funktioniert die Evolutionäre Entwicklung mittelbar, d.h.: jede Epoche benutzt die Methoden zur Informationsverarbeitung, die aus vorangegangenen Epochen hervorgingen, um die nächste Stufe zu erreichen. Der Verlauf zwischen den Epochen vollzieht sich dabei in einer Art Wellenbewegung. Jede Epoche beginnt dabei mit einem langsamen Wachstum, welches sich graduell beschleunigt und in einer Phase des explosiven Wachstums mündet. Danach, wenn die Epoche zunehmend ausgereift ist, kommt es zu einer Phase der Stagnation und die Geschwindigkeit schwächt sich zunehmend ab. Doch bereits in dieser Entschleunigungsphase baut sich ein gewisser Druck in Richtung eines Paradigmenwechsels auf. Nähert sich somit eine Epoche seiner Asymptote, sind Erscheinungsformen der nächsten Epoche schon schon in wenigen Nischenbereichen zu vernehmen. Diese löst letztendlich die vorangegangene Epoche ab und setzt die Weiterentwicklung, hin zu einem System immer höherer Ordnung, fort.

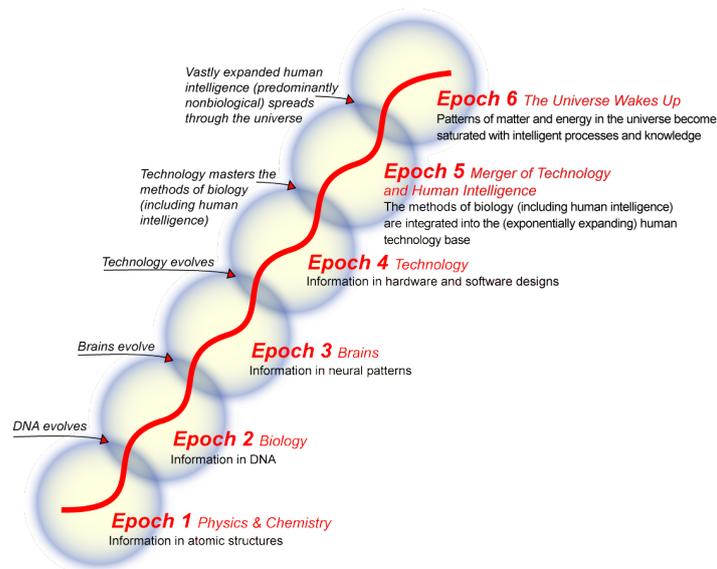


Abb. 4.1: Die von Kurzweil skizzierten sechs Epochen der Evolution: Die Evolution erfolgt mittelbar, d.h.: jede Epoche benutzt die Methoden zur Informationsverarbeitung, die aus dem vorangegangenen Stadium hervorgingen, um das nächste Stadium zu erreichen. (Quelle: [Kurhr], Seite: 12)

4.1 Epoche eins: Physik und Chemie

In der ersten Epoche sind Informationen lediglich in Muster von Materie und Energie kodiert. Jüngste Theorien der Quantengravitation weisen darauf hin, dass Raum und Zeit aus diskreten Quanten bestehen, aus Informationsbruchstücken. Wir wissen, dass atomare Strukturen aus diskreten Informationen bestehen bzw. diese tragen.

In dem noch jungen Universum (nur wenige hunderttausend Jahre nach dem Urknall) entstanden die ersten Atome, indem Protonen und Neutronen Elektronen in ihren Orbits einfingen. Ein paar Millionen Jahre weiter begannen die Atome, aufgrund ihrer elektrischen Eigenschaften, „klebrig“ zu werden. Dies war die Geburtsstunde der Chemie. Es bildeten sich zunehmend komplexere molekulare Strukturen heraus. Hierbei erwies sich das Kohlenstoffatom als das vielseitigste Element, da es Verbindungen in vier Richtungen knüpft. Bemerkenswert hierbei ist, dass die physikalischen Gesetzgebung unseres Universums genau die richtigen Voraussetzungen zu erfüllen scheint, um komplexes Leben zu ermöglichen¹.

4.2 Epoche zwei: Biologie und DNS

Vor circa vier Milliarden Jahren bildeten sich immer komplexere Kohlenstoffverbindungen heraus. Die daraus entstandenen Muster ergaben dabei eine höhere Ordnung, als die bloße Aneinanderreihung von Molekülen. Die molekularen Strukturen organisierten sich zunehmens in kleinen Vereinigungen um bestimmte Funktionen erfüllen zu können (wie etwa der Bildung eines simplen Replikationsmechanismus). Die zunehmende Komplexität erforderte schließlich eine Möglichkeit, immer komplexer werdende „Baupläne“ in einem Speichermedium zu persistieren; der DNS. Dieses sehr präzise (aber nicht perfekte) Medium lies komplexe Experimente zu und löste somit eine Welle zunehmender Verbesserungen und Komplexität aus. Die gezielte Vervielfältigung vom Einzeller zum Vielzeller, bis hin zum Säugetier führte zur Entwicklung unterschiedlichster Mechanismen, um in der ständigen Konkurrenz um knappe Ressourcen bestehen zu können.

4.3 Epoche drei: Gehirn

Diese Phase der Evolution brachte Organismen hervor, die erstmalig begannen, durch ihre Sinnesorgane Informationen aufzunehmen und mittels ihrer Nervensysteme zu

¹Die Ursache hierfür versucht Kurweil nicht direkt zu beantworten, verweist in diesem Zusammenhang aber auf das sogenannte anthropische Prinzip in Kombination mit der Viele-Welten-Interpretation (Multiversum-Theorie) der Quantenmechanik.

verarbeiten. Die weiterführende Entwicklung mündete schließlich in dem Aufkommen erster Gehirne, welches unserer Spezies die herausragende Möglichkeit verschaffte, abstrakte Modelle der Erfahrungswelt zu konzipieren und rational darüber nachzudenken. Die Kombination der Fähigkeiten, abstraktes bzw. rationales Denkvermögen und die Ausstattung unserer Hände mit einem Pipettengriff zur Fertigung feiner Werkzeuge, führten unsere Spezies in die vierte Epoche.

4.4 Epoche vier: Technik

Auch wenn wir nicht die einzige Werkzeug nutzende Spezies sind, so zeichnet sich der Homo Sapiens dennoch durch seine Fähigkeiten im Umgang mit Technologien aus. So erschafft unsere Spezies nicht nur immer neue Innovationen, sondern trägt gleichzeitig Sorge für deren Erhalt und Weiterentwicklung. Verschiedene Spezies und Subspezies von Humanoiden nutzten Technologien, doch nur die einfallsreichsten und aggressivsten Subspezies von ihnen überlebten. Dieses Verhalten, in dem die technologisch fortgeschrittenere Gruppe dominiert, etablierte sich und kann in der gesamten Menschheitsgeschichte wieder gefunden werden. Die durch Menschen gemachte Technik entwickelte sich dabei in immer schnelleren Schritten von einfachsten Werkzeugen, über aufwendige Automaten, bis hin zu ausgefeilten Rechen- und Kommunikationsgeräten.

4.5 Epoche fünf: Verschmelzung menschlicher Technik und Intelligenz

Nach Kurzweil befindet sich die menschliche Spezies in eben dieser Epoche. Alleinstellungsmerkmal ist hierbei die allumfassende Fusion des Menschen mit den Maschinen. Kurzweil weist darauf hin, dass die nicht-biologische Intelligenz weiter exponentiell anwächst, wohingegen die biologische Intelligenz (mehr oder minder) als gegeben zu betrachten ist, da sie sich nicht im selben Maß weiterentwickeln kann².

Setzt sich der aktuelle Trend ungehindert fort, wird ab 2045 ein Großteil unseres Denkens nicht biologisch erfolgen. Auf dem Weg dort hin wird die zunehmende Miniaturisierung und Leistungssteigerung der Computertechnik für eine anhaltende, graduelle Integration von Technologie in unsere menschlichen Körper sorgen. Dank Kybernetik und Mind-Uploading wird es zudem immer schwieriger, klare Unterschiede zwischen Mensch und Maschine ausmachen zu können. Die Augmentierung des menschlichen

²Es benötigt 100.000 Jahre, damit das Gehirnvolumen höherer Säugetiere um eineinhalb Kubikzentimeter an Masse hinzugewinnt. Auch wenn sich Intelligenz nicht in Gehirnvolumen oder Rechenleistung bemessen lässt, so stellt dies jedoch eine wichtige Voraussetzung dar.

Körpers stellt dabei ein wichtiges Mittel dar, um unsere angestammten menschlichen Grenzen überwinden zu können und uns später in einen nicht biologischen Zustand zu transferieren. Jegliche biologischen Bestandteile des Menschen werden zur Leistungs- und Effizienzsteigerung durch artifizielle Bestandteile ersetzt werden.

Auch wenn viele Menschen dies als beunruhigend ansehen und gegebenenfalls zu opponieren beginnen, so glaubt Kurzweil, erscheinen uns die Vorteile als zu verheißungsvoll, als dass wir auf diese verzichten wollen. Widerstand wird es für ihn zumeist nur bei abstrakten Diskussionen geben. Kommt es jedoch zu praktischen Anwendungen, wie zum Beispiel zum reparieren geschädigter Nervenendungen, wird dies keine philosophischen Fragen nach sich ziehen. Jedenfalls akzeptiert es Kurzweil nicht, dass es gerade die Beschränkungen sein sollen, die den Menschen ausmachen. Für ihn ist es vielmehr menschlich, eben diese Beschränkungen zu sprengen, sich immer weiter zu entwickeln und die Reichweite des eigenen Handelns zu vergrößern.

Im Jahr 2045 erfährt das exponentielle Wachstum der Intelligenz dann einen „Knick in der Kurve“, ab dem der scheinbar langsame und stetige Zuwachs plötzlich explosionsartig ansteigt. Dieses Ereignis wird die Menschheit grundlegend verändern und mündet letztendlich und unwillkürlich in der technologischen Singularität.

4.5.1 Die technologische Singularität

Als technologische Singularität wird ein zukünftiger Zeitabschnitt bezeichnet, ab dem die Künstliche Intelligenz die Menschliche Spezies als intelligenteste und leistungsfähigste Lebensform auf unserem Planeten ablöst. Dabei wird die weitere technologische Entwicklung von Maschinen übernommen, die so schnell denken, agieren und kommunizieren können, dass ein normaler Mensch nicht mehr in der Lage ist nachzuvollziehen, was vor sich geht. Dabei gehen die Maschinen in eine unkontrollierbare Phase von Selbstverbesserungs-Zyklen über, in der jede neue KI-Generation zunehmend leistungsfähiger ist als die vorherige. Die damit verbundenen Veränderungen sind dabei so tiefgreifend und einmalig, dass die Metapher der Physik entlehnt ist. Denn wie bei einem Schwarzen Loch, bei dem man nicht hinter dem Ereignishorizont blicken kann, ist es nicht möglich ein akkurates Verständnis für die Auswirkungen der Singularität zu entwickeln. Kurzweil weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die Entwicklung bis zu diesem Punkt, aus dem inneren unserer Gesellschaft kommt. Zudem gibt Kurzweil an, dass es zwar schwierig, aber nicht unmöglich sei, hinter den Ereignishorizont zu blicken. So glaubt er über das Leben nach der Singularität folgende Aussage machen zu können:

„Die wichtigste Aussage [über die Singularität] ist die, dass die neue Intelligenz für eine weiterhin menschliche Mensch-Maschinen-Zivilisation steht. In anderen Worten:

Die Maschinen werden menschlich sein, auch wenn sie nicht biologisch sind.“ (Quelle: [Kur14], S. 31)

4.6 Epoche sechs: Das Universum erwacht

Nach Kurzweils Vorstellung wird in den Nachwehen der Singularität die Menschheit anfangen, sich im Universum auszubreiten. Die Intelligenz beginnt nun damit, Materie und Energie zu durchdringen und umzugestalten. Leblose und „dumme“ Materie wird zu einer Form höchster, erhabener Intelligenz umfunktioniert. Letztendlich soll die gesamte Materie des Universums erwachen und sich zu einem gigantischen Supercomputer formieren. Dies beschreibt Kurzweil als das ultimative Schicksal der Singularität und des Universums. Mit deren Vollendung sieht Kurzweil den Menschen dann als Gottgleiches Wesen:

„Wenn wir die gesamte Materie und Energie des Weltalls mit unserer Intelligenz gesättigt haben, wird das Universum erwachen, bewußt werden – und über phantastische Intelligenz verfügen. Das kommt, denke ich, Gott schon ziemlich nahe.“ (Quelle: [Kur14], S. 385)

Kurzweil glaubt, dass wir mit nahezu Lichtgeschwindigkeit das Universum beleben werden, da dies (momentan) als die absolute Obergrenze für die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Informationen gilt. Sollte es jedoch nur das kleinste Schlupfloch geben (z. B. durch Wurm Löcher oder der Veränderbarkeit der Lichtgeschwindigkeit), wird sich die Zivilisation dieser bemächtigen und das Weltall noch schneller erobern. Dies ist ganz davon abhängig, wie nachgiebig sich das Universum in diesem Punkt zeigt.

Nach gängigen Vorstellung werden menschliche Siedler in andere Sonnensysteme entsandt, um sich dort biologisch zu reproduzieren und auf die gleiche Weise weiter zu verbreiten. Diese Bild beruht auf den bisher gemachten Kolonialisierungs- und Migrationserfahrungen der menschlichen Geschichte. Doch das Universum auf diese Art zu erschließen, macht für Kurzweil keinen Sinn. Vielmehr sei es nötig, Robotersonden zu entsenden. Diese bieten nach seiner Auffassung den Vorteil, dass sie sehr klein sind und somit in billionenfacher Ausführung produziert und in Schwärmen ausgesendet werden können. Da sie zudem extrem leicht sind, könnten sie, im Gegensatz zu menschlichen Körper und der dazugehörigen sperrigen Ausrüstung, mit nahezu Lichtgeschwindigkeit reisen³.

An diesem Punkt muss man sich fragen, warum das „erwachen“ des Universums nicht

³Ein ähnliches Konzept wurde vor kurzem vorgestellt. Dabei sollen kleinste Raumschiffe mit einem Laser auf ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit gebracht werden und so bis zum nächsten Stern, Alpha Centauri, zu fliegen (Quelle: [WPhr]).

schon längst eingetreten ist. Denn wie das Fermi-Paradoxon schon fragt: Wenn wir davon ausgehen, dass die Menschheit nicht die einzige intelligente Zivilisation im All ist, warum haben wir dann noch nichts von diesen anderen Zivilisationen erfahren bzw. warum haben wir die Umstrukturierung des Universums nicht schon längst erlebt? Kurzweil führt eine Vielzahl an Überlegungen und Argumente für verschiedene Thesen an. Er entscheidet sich dann für eine, wie er auch selbst zugibt, sehr unwahrscheinliche Lösung des Problems:

„Ich bin zum Schluss gekommen, dass es diese Zivilisationen wahrscheinlich (wenn auch nicht mit Sicherheit) überhaupt nicht gibt. Wir sind, anders gesagt, in Führung! Ganz recht: unsere bescheidene Zivilisation mit ihren Autos, Imbissbuden und ständigen Kriegen (und Computern!) ist der universale Spitzenreiter in Sachen Komplexität und Ordnung.“ (Quelle: [Kur14], S. 365)

5 Zukunftsprognosen von Ray Kurzweil

Ray Kurzweil ist maßgeblich für seine kühnen Zukunftsvisionen bekannt. Über die Präzision seiner Aussagen schrieb Kurzweil 2010 das 148 seitige Paper *How My Predictions Are Faring*. In diesem behauptet er, dass er 147 Voraussagen getätigt hat, die bis zum Jahr 2009 eintreten sollen. Von diesen Voraussagen seien dabei 86% „essentiell korrekt“ gewesen. Weitere 12% seien teilweise korrekt und die verbliebenen 2% klassifiziert er als falsch. Die von Kurzweil getätigten Prognosen reichen über ein weites Spektrum, betreffen aber zumeist Gebiete der Genetik, Nanotechnik und der Robotik. Für viele seiner Aussagen nimmt er als Grundlage eine exponentielle (Weiter)Entwicklung in diesen Gebieten an und extrapoliert diese Trends. Ein Auszug seiner wichtigsten Erwartungen für die nächsten drei Jahrzehnte soll hier abgebildet werden. Wenn nicht anders angegeben, ist die Quelle der hier vorgestellten Prognosen aus dem 2005 veröffentlichten Buch [Kur14] entnommen.

5.1 2020er

- 3D-Druckverfahren sind so weit fortgeschritten, dass eine Vielzahl alltäglicher Produkte (z.B.: Essen, Kleidung, Instrumente usw.) für ein Bruchteil ihrer traditionellen Produktionskosten druckbar sind. (Quelle: [Prehr])
- Virtual-Reality wird visuell wie auditiv kaum noch von der Realität zu unterscheiden sein.
- Es existieren Militärischen UAVs und Landfahrzeuge die zu 100% autonom agieren.
- Gegen Ende des Jahrzehnts wird eine Maschine erstmals den Turing Test bestehen¹.

¹Kurzweil akzeptiert den Turing Test. Nach seiner persönlichen Auffassung muss ein System eine gewisse Komplexität aufweisen, damit ein Bewusstsein entsteht. Laut Kurzweil gibt es aktuell keinen falsifizierbaren Test für die Existenz eines Bewusstseins einer Maschine, sondern lediglich philosophische Annahmen darüber. Ähnliche Diskussionen werden heute auch über Tiere geführt. Aus diesem Grund muss etwas (nur) den Anschein erwecken als ob es bewusst sei, um für Kurzweil als bewusst zu gelten (Quelle: [Gelhr]).

- Nano-Roboter werden für die medizinische Verwendung eingesetzt. Mit ihrer Hilfe werden erste detaillierte Gehirnschans an lebendigen Patienten durchgeführt. Diese ermöglichen im weiteren das Durchführen akkurater Gehirnsimulationen, wodurch wir wiederum die Arbeitsweise des Gehirns verstehen werden.
- In dieser und der darauf folgenden Dekade erscheinen die ersten Variationen des „Human Body 2.0“. Dies bedeutet umfangreiche Möglichkeiten zur Augmentierung des menschlichen Körpers, durch das Verbessern oder Ersetzen von Organen. So wird es unter anderem möglich sein, durch die Manipulation des Fett-Insulin-Rezeptorgens auch bei übermäßigem Verzehr von Nahrung schlank und gesund zu bleiben. Genauso soll es möglich sein, rote Blutkörperchen durch künstliche Blutkörperchen (Respirozyten) zu ersetzen, welche hunderte male leistungsfähiger sein sollen und somit Spitzenleistungen zulassen. Weiße Blutkörperchen sollen durch nanotechnische Mikrobivoren ersetzt werden, um per Softwareupdate ein vielfaches effektiver gegen Pathogene kämpfen zu können, ungehindert von Wirkstoffresistenzen.

5.2 2030er

- Zum Ende des Jahrzehnts, wird das Mind-Uploading perfektioniert. Menschen können somit, solange ihr „Mind File“ gepflegt wird, digital und auf unbegrenzten Zeitraum im Web weiter leben.
- Die fortgeschrittene Nanotechnik ermöglicht die Fertigung von Nanorobotern. Diese können (zum Beispiel durch orale Aufnahme) in unsere Gehirne gelangen und interagieren dort direkt mit den Gehirnzellen und ermöglichen so eine totale Kontrolle eingehender und ausgehender Signale. Ein mögliches Anwendungsgebiet dieser Technologie ist die Blockade afferenter Nervenwege, um sich komplett von der Realität zu entkoppeln und in eine vollimmersions Virtual Reality Anwendung zu bewegen, ohne Hilfe externer Mittel. Im Körper befindliche Nanoroboter könnten zudem zur aktiven emotionalen Steuerung genutzt werden oder zur Änderung neuronaler Verbindungen, um grundlegende Veränderungen an der Intelligenz, Persönlichkeit oder den Erinnerungen einer Person vorzunehmen. Darüber hinaus erlauben Nanoroboter eine Erweiterung der sensorischen und kognitiven Fähigkeiten, erlauben eine telepathische Kommunikation mit anderen Personen und bieten ein direktes Interface zur Kommunikation mit Computersystemen.
- Der gesamte Energiebedarf der Welt wird vollständig durch regenerativen Energien (Kurzweil nennt explizit die Solarenergie) gedeckt sein. (Quelle: [Rajhr])

- Es wird zudem möglich sein, den gesamten Wahrnehmungsfluss sowie die neuronale Darstellung der eigenen emotionalen Reaktionen aufzunehmen und ins Netz zu stellen. Dies ermöglicht es, sich in die sensorisch-emotionalen Erfahrungsflüsse einer Person einzuklinken, ähnlich wie in dem Film Being John Malkovich.
- Die moderne Nanotechnologie beginnt mit der Implementierung des „Human Body 3.0“. Dieses Konzept entspricht einer radikalen Neustrukturierung und einem lossagen vom menschlichen Körper, wie wir ihn heute kennen. Version 3.0 umfasst nicht mehr nur die Überarbeitung einzelner Teilsysteme sondern eine vollständige Neugestaltung. Der Übergang von 2.0 zu 3.0 erfolgt dabei wie zuvor (von 1.0 auf 2.0) graduell. Der Wechsel zwischen verschiedenen Körpern sowie die physische Manifestation kann ab diesem Punkt frei nach Wunsch geändert werden. Implementiert werden diese hoch flexiblen Körper durch sogenannte Foglets (zu deutsch etwa: „Nebelteilchen“). Nach Kurzweils Vorstellung können sich diese Nanoroboter ineinander verhaken und ihre Anordnung schnell ändern.
- Es wird sehr realistische Avatare verstorbener Persönlichkeiten geben. Diese werden durch eine künstliche Intelligenz gesteuert. DNA Proben, Video- und Bildaufnahmen sowie die Erinnerungen von Hinterbliebenen (welche durch Nanobots aus den Gehirnen extrahiert werden) stellen die Grundlage für eine authentische Replikation dar.

5.3 2040er

- Ein 1000\$ Computer ist ein Milliarde mal intelligenter sein, als alle menschlichen Gehirne zusammen.
- Menschen verbringen einen Großteil ihrer Zeit in Virtual Reality Umgebungen.
- Essen wird von Nanomaschinen zusammengesetzt. Das produzierte Essen wird besser bekömmlich sein, wenngleich es äußerlich nicht von natürlichem Essen zu unterscheiden ist. Die Essensproduktion ist ab diesem Punkt vollständig automatisiert und von jeglichen klimatischen Bedingungen entkoppelt. (Quelle: [Kur99])
- Im Jahr 2045 tritt die technologische Singularität ein.

6 Persönliche Bewertung

Im Rahmen dieser Seminararbeit und des dazugehörigen Vortrags habe ich mich mit einer Vielzahl an Interviews, Artikel und Bücher von Herrn Kurzweil auseinandergesetzt. Nach meiner persönlichen Einschätzung ist es unstrittig, dass Kurzweil ein interessanter, intelligenter und eloquenter Mensch ist, der es zu verstehen weiß, anderen Menschen mit mitreißender Begeisterung seine Weltsicht zu erklären. Die von mir quer gelesenen Bücher „Menschheit 2.0, die Singularität naht“ und „Homo S@piens“ sind klar populärwissenschaftlich geschrieben und somit auch für Fachfremde gut zu verstehen. Der Schreibstil ist lässig, dabei aber immer angemessen.

Die Literatur empfand ich als sehr inspirierend, da zu Kurzweils Ausführungen eine Vielzahl wirklich interessanter Prognosen, Einblicke in den aktuellen Stand der Wissenschaften und philosophischer Fragestellungen vermengt waren. Die von ihm aufgezeigte These einer sich beschleunigenden Evolution, welche zwangsweise in einer technologischen Singularität mündet, sehe ich als schlüssig an, wenngleich Kurzweil viele seiner wirklich präzisen Beobachtungen und den daraus resultierenden Schlüssen mit einer Menge großwahn sinniger Science-Fiction Träumen vermischt. Auch wenn man versucht ist, seine Fantasien nicht ganz ernst zu nehmen, sollte man Kurzweils Gedanken nicht als bloße Spinnerei abtun. Denn Kurzweil ist nicht nur in beratender Funktion für das US-Militär tätig, sondern hat auch eine führende Position bei Google inne.

Das von Kurzweil konstruierte Weltbild erscheint allumfassend und reicht von der Entstehung des Universums bis in die ferne Zukunft, bei der gleichzeitigen Beantwortung tiefgreifender philosophischer Fragen (Woher kommen wir? Wohin gehen wir? Was bin ich? Was ist ein Bewusstsein? Ab wann ist eine Maschine wirklich intelligent?). Die technologische Singularität kommt dabei im Gewand einer technisierten Neuauflage der Eschatologischen Lehre¹ Das Überschreiten der menschlichen Barrieren, hin zu einem posthumanen Wesen gleicht einer technischen Variation, des von Nietzsche bekannten Übermenschen, der im Wunsch der Gottwerdung des Menschen gipfelt². Alles scheint aus

¹Ist ein theologischer Begriff, der die Hoffnungen auf Vollendung des Einzelnen und der gesamten Schöpfung beschreibt.

²Da Kurzweil in diesem Zusammenhang von einer Umstrukturierung bzw. dem „Erwachen des Universums“ spricht, würde das Wort Pantheismus sicherlich eine neue Bedeutung erfahren.

seiner Sicht schlüssig ineinander zu greifen. Hinter all dem steht eine Weltanschauung, die vermittelt, dass alles möglich ist. Das ganze wirkt dabei zuweilen quasi religiös und Kurzweil scheint sich als Prophet dieser neuen Welt anzusehen. Eine etwas differenzierte Sichtweise und das Eingeständnis der eigenen Fehlbarkeit würden hier sicherlich gut tun. Er ist von seinen Thesen so sehr überzeugt, dass er seinen Stoffwechsel radikal transformiert und optimiert hat³.

Laut Jaron Lanier hat sich die Transhumanistische Bewegung zusehend zur herrschenden "Religion" im Silicon Valley entwickelt (Quelle: [Lonhr]). Etablierte Technik-Freaks glauben angeblich alle daran. Nicht umsonst gibt es seit 2008 in Mountain View, gleich neben dem Google-Hauptsitz, eine Singularity-Universität, die Kurzweils Ideen verbreitet und ausbaut. Darüber hinaus konnten auch sehr solvente Partner und „Gläubige“ für Kurzweils Visionen aquiriert werden. So gründete zum Beispiel der russische Milliardär Dmitry Itskov die Initiative 2045, welche es den Menschen mögliche machen soll, durch Mind-Uploading unsterblich zu werden (Quelle: [Redhr]). Und auch Elon Musk, der Mitbegründer von PayPal, Tesla und SpaceX scheint dem Weltbild Kurzweils zugetan zu sein (Quelle: [Elohr]).

Auch wenn Kurzweil eingiebig vor den aufkommenden Gefahren der neuen Technologien warnt, zeichnet er im gesamten ein sehr positives Bild der Zukunft. Viel mehr noch. Er suggeriert ein Bild der Zukunft, in dem all unsere Vorstellungen noch bei Weitem übertroffen werden. Für mich stellt dies einmal einen erfreulichen Gegensatz zu den typischen dystopischen Ansichten gegenwärtiger Literatur und Filme dar (z. B.: Mad Max, Matrix, Blade Runner, 1984, Terminator, usw. ...). Wenngleich ich seinen ungebremsen Optimismus nicht ganz teilen kann und ich sowohl einige Verzögerungen in seinen Vorhersagen erwarte, als auch die in Epoche Sechs erläuterten Vorgänge zum guten Teil als Fantasterei erachte. Sollte jedoch nur ein Bruchteil der von Kurzweil Prognostizierten Szenarien eintreten, dann ist klar: Die Zukunft wird atemberaubend. Auch wenn man in keiner Weise vom Eintreten der Singularität überzeugt wurde, ist es meiner Meinung nach dennoch Wert über die verschiedenen Ideen von ihm einmal nachgedacht zu haben.

³So konsumiert er täglich über 100 Tabletten und lässt sich pro Woche sechsmal intravenös behandeln (Quellen: [NWhr] und [IIIhr]). Das alles nimmt er auf sich, um noch bis zum Jahre 2045 (Kurzweil ist dann 97 Jahre alt) zu leben. Er geht davon aus, dass die Technik ab hier so weit fortgeschritten ist, dass er sich zu einem 30-Jährigen verjüngen kann.

Literaturverzeichnis

- [Alshr] ALSPACH, Kyle: *Ray Kurzweil on the Limits of Human Intelligence.* <http://bostinno.streetwise.co/2015/10/15/ray-kurzweil-on-artificial-intelligence-vs-the-human-brain/>.
Version: 23. April 2016 - 12:04 Uhr
- [Diahr] DIAMANDIS, Peter: *Ray Kurzweil's Mind-Boggling Predictions for the Next 25 Years.* <http://singularityhub.com/2015/01/26/ray-kurzweils-mind-boggling-predictions-for-the-next-25-years>.
Version: 2. April 2016 - 11:45 Uhr
- [Elohr] *Elon Musk Predictions and Cybernetic Immortality.* <https://www.youtube.com/watch?v=52D-HjQFBZw>. Version: 10. April 2016 - 14:35 Uhr
- [Gelhr] GELPKE, Basil: *Maschinen und Bewusstsein.* <http://www.dctp.tv/filme/maschinen-und-bewusstsein>. Version: 16. April 2016 - 11:40 Uhr
- [IIIhr] III, James Earl A.: *Which 150 supplements does Ray Kurzweil take daily?* <https://www.quora.com/Which-150-supplements-does-Ray-Kurzweil-take-daily>. Version: 3. April 2016 - 15:45 Uhr
- [Inthr] *Intel shows roadmap of up to 4nm in 2022.* <http://us.hardware.info/news/16468/intel-shows-roadmap-of-up-to-4nm-in-2022>. Version: 23. April 2016 - 17:58 Uhr
- [Kurhr] KURZWEIL, Ray: *The Web Within Us: When Minds and Machines Become One.* <http://de.slideshare.net/serge111/singularity-presentation-ray-kurzweil-at-google>. Version: 9. April 2016 - 1:58 Uhr
- [Kur99] KURZWEIL, Ray: *Homo S@piens*. 2. Auflage. 1999
- [Kur14] KURZWEIL, Ray: *Menschheit 2.0, Die Singularität naht*. 2. Auflage. Lola Books, 2014
- [Lonhr] LONCAR, Samuel: *The Vibrant Religious Life of Silicon Valley, and Why It's Killing the Economy.* <http://goo.gl/XWqgse>. Version: 10. April 2016 - 21:00 Uhr

- [NWhr] NGUYEN, Christine ; WEI, Will: *Google genius takes 100 pills a day*. <https://www.youtube.com/watch?v=a4xv2CU7jc0>. Version: 3. April 2016 - 15:35 Uhr
- [Prehr] *Predictions for 2020s With Ray Kurzweil*. <https://www.youtube.com/watch?v=YVfHCSJ9GSE>. Version: 10. April 2016 - 14:58 Uhr
- [Rajhr] RAJ, Ajai: *Kurzweil: Solar Energy Will Be Unlimited And Free In 20 Years*. www.businessinsider.com/kurzweil-says-free-solar-energy-20-years-2014-9. Version: 16. April 2016 - 13:18 Uhr
- [Redhr] REDAKTION, Presstext: *Milliardär plant Unsterblichkeit ab 2045*. <http://www.presstext.com/news/20120824001>. Version: 4. März 2016 - 9:55 Uhr
- [Silhr] SILVA, Jason: *Connecting All The Dots*. <http://hplussmagazine.com/2010/12/10/connecting-all-dots/>. Version: 23. April 2016 - 12:16 Uhr
- [WPhr] WUNDERLICH-PFEIFFER, Frank: *Mit Laserantrieb zum nächsten Stern*. <http://www.golem.de/news/starshot-mit-laserantrieb-zum-naechsten-stern-1604-120318.html>. Version: 17. April 2016 - 14:36 Uhr

Abbildungsverzeichnis

1.1	Portrait von Raymond Kurzweil aus dem Jahre 2015. (Quelle: [Alshr]) .	1
2.1	Das exponentielle Wachstum der Rechnertechnik.	4
3.1	Die Verbreitung des Internets, gemessen an der Anzahl von Webhosts. .	7
3.2	Eine geschichtliche Einordnung von Schlüsselereignissen. Die Diagramme verwenden allesamt einen logarithmischen Maßstab.	9
4.1	Die von Kurzweil skizzierten sechs Epochen der Evolution: Die Evolution erfolgt mittelbar, d.h.: jede Epoche benutzt die Methoden zur Informationsverarbeitung, die aus dem vorangegangenen Stadium hervorgingen, um das nächste Stadium zu erreichen. (Quelle: [Kurhr], Seite: 12)	10