

Im Novozän: DeepMinds Epoche

BETTINA SCHLÜTER

I. AlphaGo und AlphaZero

Wir schreiben den 10. März 2016. Im Turnier des mehrfachen Go-Weltmeisters Lee Sedol gegen die Künstliche Intelligenz DeepMind und ihr Programm AlphaGo wird die zweite Partie ausgetragen. Nach dem 37. Zug stockt das Spiel: AlphaGo verlässt das umkämpfte Gebiet und leitet ein ungewöhnliches Raummanöver ein; Lee Sedol zögert lange mit einer Antwort. Die anwesenden Expertinnen und Experten, die das per Livestream international übertragene Turnier kommentieren, reagieren ebenso überrascht wie ratlos: »I wasn't expecting that. I don't really know if it's a good or bad move at this point.«¹ Auch wenn sich die Konsequenzen dieses Zuges für den weiteren Spielverlauf noch nicht abschätzen lassen, stellt sich unmittelbar der Eindruck ein, einem besonderen Ereignis beizuwohnen: »I think we are seeing an original move here. That is the kind of move that you play Go for.«² Dieser »original move« erlangt im weiteren Verlauf des Spiels eine wichtige Referenzfunktion. Er prägt im Horizont der neu eröffneten taktischen Möglichkeiten den Blick auf die nachfolgenden Phasen der Partie und dominiert den interpretativen Zugriff auf das Spielgeschehen.

Im Rahmen der damit initiierten, fortlaufend sich aktualisierenden Bezugnahmen gewinnen auch die zeitlichen Implikationen des vorausgehenden Geschehens schärfere Konturen: Zwischen AlphaGos 37. Zug und Lee Sedols verzögerter Reaktion, so ließe sich retrospektiv formulieren, öffnet sich ein Zeitintervall, das den Spielfluss arretiert. Aus der prozessualen Dynamik des Spielgeschehens tritt auf diese Weise eine Konstellation hervor, der ein struktureller Wert anhaftet – ein Wert, der sich sukzessiv ausgestaltet und weiter anreichert. In der rückblickenden Gesamtschau avanciert diese tableauhafte Konstellation schließlich zum zentralen Bezugspunkt einer Interpretation, die hierin nicht nur den entscheidenden Wendepunkt des Spielgeschehens erblickt, sondern in ihrer Deutungsreichweite weit über die einzelne Partie und das Turnier selbst hinausgreift: AlphaGos 37. Zug ist, so der Konsens der Expertinnen und Experten, von genereller Bedeutung für die Einschätzung dessen, was Künstliche Intelligenz zu leisten vermag. Er ist Indikator von etwas Neuem, das sich unter den Augen der Öffentlichkeit in seinen Möglichkeiten zu entfalten beginnt.

In all diesen Zuschreibungen und Interpretationen scheinen unverkennbar gleich mehrere Bedeutungsdimensionen des Epochenbegriffs auf, die sich aus unterschiedlichen Wissensbereichen philosophischer, astronomischer oder chronologisch-histo-

1 *AlphaGo*, Regie: Greg Kohs, Produktion: Moxie Pictures, USA 2017, <https://www.alphago-movie.com/screenings>, 00:50:49 (aufgerufen am 19.09.2024).

2 Ebd., 00:50:26.

rischer Provenienz speisen: die Verzögerung eines Ablaufs und damit assoziierter Entscheidungsvorgänge, das Hervortreten einer Konstellation mit Zeit- und Referenzfunktion, der Ereignischarakter und die sukzessive Entfaltung struktureller Potentiale über längere Zeiträume hinweg. Hinzu tritt noch eine weitere Begriffsvariante, die sich einer informatischen Perspektive verdankt und das Geschehen von seinen operativen Grundlagen und Verkettungen her in den Blick nimmt. Für menschliche Spieler wie Lee Sedol, so ließe sich der Ablauf des Spielgeschehens aus diesem Blickwinkel beschreiben, setzt sich eine Partie aus einer Serie von Spielzügen zusammen: aus hochspezialisierten Denkprozessen, die sich in Entscheidungen finalisieren. Aufseiten der Künstlichen Intelligenz entspricht dem der programmiertechnische Begriff der »Epoche«. Dieser Begriff bezeichnet den vollständigen Durchlauf durch einen Algorithmus bzw. durch die vielfach gestaffelten Ebenen eines künstlichen neuronalen Netzes, in dem Informationen unterschiedlicher Qualität gewichtet, aggregiert und zu einem Ergebnis synthetisiert werden.³ Der programmiertechnische Ansatz, der sich mit dieser Dimension des Epochenbegriffs verbindet, verdeutlicht die gravierenden Änderungen, die Künstliche Intelligenz seit dem Schachduell zwischen Garri Kasparow und Deep Blue 20 Jahre zuvor prägen.⁴ Während Deep Blue, basierend auf einem sogenannten Brute-Force-Ansatz, das Spektrum der zuvor intern gewichteten Möglichkeiten mit der Berechnung von über 100 Millionen Spielzügen pro Sekunde vollständig durchlaufen konnte, eröffnet das Spiel Go einen um mehrere Zehnerpotenzen erweiterten kombinatorischen Spielraum, der jegliche Rechenkapazität sprengt. Die Programmierung ist daher mit Herausforderungen ganz anderer Art konfrontiert: Sie muss Probleme einer Vorauswahl lösen, die die Zahl der überhaupt in Betracht zu ziehenden Kombinationen auf einen verschwindend geringen Bruchteil zusammenzieht, und sie sieht sich mit einer ungleich anspruchsvolleren Zeitkalkulation konfrontiert, die auf übergreifende, langfristig angelegte Prozesse der Synthetisierung von Einzelinformationen angewiesen ist: Zug 37, so die Analysen, zählt sich erst 50 Spielzüge später erkennbar aus.

Die Verfahren, die hier zur Anwendung gelangen und in denen sich ein grundlegender Strategiewechsel der Programmierung abzeichnet, setzen verstärkt auf die Modellierung von Prozessen, die menschlicher Wahrnehmung und Gedächtnisbildung zugrunde liegen und deren Operationsweisen ähneln. Sie beziehen daher systematisch Mechanismen der Mustererkennung in ihr Kalkül ein, aus deren Zusammenspiel sich nach und nach ein strukturiertes Feld hochgradig vorselektierter Entscheidungsoptionen herauschält. In seinem Basisaufbau imitiert ein solches Programm die Funktionsweise von Rezeptoren und Nervenzellen, die vielfach gestaffelt und über Knotenpunkte miteinander verbunden einen bidirektionalen Informations-

3 Vgl. »Epoch: Definition, Funktionsweise und Verwendung«, 23.04.2023, <https://datascientest.com/de/epoch-definition-funktionsweise-und-verwendung> (aufgerufen am 13.08.2025).

4 Vgl. zum Turnier zwischen Garri Kasparow und Deep Blue Feng-hsiung Hsu: *Behind Deep Blue: Building the Computer That Defeated the World Chess Champion*, Princeton 2002; Garry Kasparov: *Deep Thinking: Where Artificial Intelligence Ends and Human Creativity Begins*, London 2018.

fluss organisieren. Höhere Stufen der Aggregation entwickeln mit der Zeit rudimentäre Vorhersagemodelle über die Beschaffenheit von Objekten und gleichen diese immer wieder mit den Einzelinformationen ab, die sie aus den unteren Schichten erreichen, verändern aber mit der Zeit deren Gewichtung. In millionenfachen Iterationen entsteht auf diese Weise eine immer weiter angereicherte Struktur, die zunehmend trennscharf agiert – und dies trotz aller Herausforderungen, die mit der hohen Variabilität der Objekte und der fehleranfälligen Zuordnung im Raster eines semantischen Netzes einhergehen. Die Ursprünge dieses Programmieransatzes, des Deep Learning, reichen in die 1970er Jahre zurück. 1979 entwickelt Kunihiko Fukushima auf Basis diverser Vorarbeiten erstmals eine Softwarearchitektur, die sich an dem Vorbild physiologischer und neuronaler Funktionen zu orientieren sucht: Er modelliert die Arbeit visueller Rezeptoren und der sich zwischen ihnen sukzessiv verstärkenden Verbindungen und gibt dem Programm den Namen »Neocognitron«.⁵ Dies ist ein erster, früher Versuch, eine »starke KI« zu entwickeln, die synthetische Kompetenzen ausbilden soll. Sensorbasierte Verfahren der Mustererkennung, Abstraktion und Kontextsensitivität sowie vor allem eine lernbasierte Aneignung und Weiterentwicklung von Verhaltensroutinen sind konstitutive Elemente, die der Programmierung einer solchen »starken KI« als Ziele gesetzt werden. Marvin Minsky liefert wenige Jahre später eine ganz aus diesen Impulsen der KI-Forschung abgeleitete korrespondierende Theorie des Gehirns als »Society of Mind«, als einer »Geistesgesellschaft«,⁶ die Intelligenz als emergentes Produkt nichtintelligenter Teilprozesse zu verstehen sucht: »Wenn es uns nicht gelingt«, so Marvin Minsky in Betonung der Notwendigkeit, sich auf die theoretische Problematik einzulassen, »Geist mit Hilfe von Dingen zu erklären, die selbst weder zu Gedanken noch zu Gefühlen fähig sind, sind wir nur im Kreis gegangen.«⁷ Die Forschung schreitet auf diesem Gebiet in den nachfolgenden Jahrzehnten jedoch nur langsam voran, und ihre Ansätze gelangen in aller Regel nicht über den Status von Prototypen oder theoretischen Entwürfen hinaus. Erst ab den 2010er Jahren sind deutliche Fortschritte zu verzeichnen, denn ab dieser Zeit wird es möglich, die Algorithmen an den großen Datenbeständen zu trainieren, die die Menschen milliardenfach in den sozialen Medien hinterlassen. Damit steht einer Künstlichen Intelligenz erstmals eine Umwelt zur Verfügung, in der sie sich ihren Verarbeitungskapazitäten entsprechend fortentwickeln kann. Die Architektur neuronaler Netze schöpft diese neuen quantitativen Dimensionen aus: Sie basiert auf einer binären Verzweigungsstruktur, deren Informationstiefe exponentiell skalierbar ist, und sie profitiert zugleich von der hohen Geschwindigkeit moderner Prozessoren. Die Zahl der Iterationen, mit denen das Netz in immer wiederkehrenden Schleifen durch-

5 Kunihiko Fukushima: »Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position«, in: *Biological Cybernetics* 36.4 (1980), S. 193–202.

6 Marvin Minsky: *The Society of Mind*, New York 1986, zit. nach der deutschen Übersetzung: Marvin Minsky: *Mentopolis*, Stuttgart 1990. Zu den Metaphern »Geistesgesellschaft« und »Mentopolis« vgl. ebd., S. 17.

7 Ebd., S. 18.

laufen werden kann, wird auf diese Weise signifikant gesteigert. Vor dem Hintergrund dieser Leistungssteigerung und im Zugriff auf das immens gewachsene Repertoire digital verfügbarer Variantenbildungen verbessern sich die Qualität und die Trennschärfe der Mustererkennung deutlich. Es werden Präzisions- und Effizienzgrade erzielt, die schließlich auch gänzlich neue Anwendungsoptionen in den Blick treten lassen.

In der Verarbeitung von Millionen von Datensätzen online gespielter Go-Partien gewinnt auch DeepMinds AlphaGo eine Vorstellung von der wiederkehrenden Anordnung der Steine in Raum und Zeit und damit eine Grundeinschätzung erfolgversprechender Spieltaktiken, die es anschließend im Spiel gegen sich selbst eigenständig weiter trainiert. Diese Form der Wahrscheinlichkeitskalkulation auf der Basis von Mustererkennung bildet eine wesentliche Voraussetzung für den Vorstoß der Künstlichen Intelligenz in eine Domäne, die bislang menschlicher Intelligenz vorbehalten schien. Sie erklärt erste Erfolge, die Go-Programme ab dieser Zeit gegenüber ihren menschlichen Mitspielern verzeichnen, und bildet die Grundlage des überragenden Turniererfolgs von 2016. Worüber dieser Ansatz jedoch nach einhelliger Expertenmeinung keinen Aufschluss zu geben vermag, ist das Spielverhalten, das AlphaGo mit dem 37. Zug in der Partie gegen Lee Sedol an den Tag legt. Denn hier entscheidet sich das Programm klar gegen das Ergebnis der implementierten Wahrscheinlichkeitsberechnung. Die von der Künstlichen Intelligenz verarbeiteten Datensätze menschlich generierter Zugkombinationen sehen diese Variante als akzeptable Entscheidungsoption de facto nicht vor:

The professional commentators almost unanimously said that not a single human player would have chosen move 37. And AlphaGo agreed with that assessment. AlphaGo said there was a 1-in-10.000 probability that move 37 would have been played by a human player. So it knew this was an extremely unlikely move. It went beyond its human guide and it came up with something new, and creative, and different.⁸

Im Zuge der detaillierten analytischen Auswertung von AlphaGos Spielleistung beziehen die Entwickler aus dieser anfänglichen Irritation jedoch einen neuen Impuls: Denn offenkundig hat die zweite, zuvor als akzidentiell erachtete Phase des Trainings – die Selbstoptimierung des künstlichen neuronalen Netzes – nicht nur einen entscheidenden Anteil an dem Turniererfolg insgesamt, sondern birgt bislang ungenutzte Möglichkeiten. Der Operationsmodus eines *reinforcement learning* bildet in den folgenden Jahren daher den Ausgangspunkt für einen konzeptuellen Neuanfang. Auf das Training mit Datenbeständen und Routinen menschlichen Ursprungs wird nun vollständig verzichtet. Demis Hassabis, Mitbegründer und Forschungsleiter von DeepMind Technologies, bringt den entscheidenden Gedanken auf den Punkt: »Big

8 *AlphaGo* (Anm. 1), 00:50:48–00:51:18.

Data is the problem, not the solution.«⁹ Die Entwickler konzentrieren sich in den folgenden Monaten darauf, eine Art Metacode zu entwerfen, der lediglich modelliert, wie ein Programm lernt. Damit werden nicht allein die Fallstricke umgangen, die in der Vorauswahl der Trainingsdaten liegen und mitunter ungewollt die Ergebnisse korrumpieren; die Entwickler erhoffen sich von diesem Schritt vor allem eine signifikante Steigerung der Leistungsfähigkeit von DeepMind: Denn die Muster und Routinen menschlichen Ursprungs hindern die Künstliche Intelligenz offenkundig an der vollen Entfaltung ihrer eigenen Potentiale. Der Verzicht auf die Auswertung von Datenbeständen ist jedoch ein harter Eingriff. Die Künstliche Intelligenz büßt auf einen Schlag all die Fähigkeiten ein, die sie zuvor bereits besessen hatte. »Learn from first principles«¹⁰ heißt, das Training buchstäblich neu bei null (und eins) beginnen zu lassen.

Als Trainingsparcours für diese neue Variante Künstlicher Intelligenz dienen zunächst Arcade-Spiele der 1970er Jahre. Das KI-Programm verfügt in der initialen Phase über keinerlei Vorkenntnisse – weder über die Spielregeln noch über erfolgversprechende Strategien, sondern entwickelt diese *bottom-up* aus puren Zufallsaktionen.¹¹ Erweisen sich diese als effizienter als ihre Vorgänger, werden sie unmittelbar in den Lernprozess inkorporiert. Ziel ist nicht länger die Programmierung eines Expertensystems (wie dies Deep Blue und zu Teilen noch AlphaGo darstellt), sondern eines Lernsystems, das prozessual ein Modell seiner Umwelt entwickelt, in der es agiert. Modell und Aktion elaborieren sich Schritt für Schritt wechselseitig. Dieser erfolgreich an Arcade-Spielen getestete Ansatz einer *general intelligence* ersetzt schließlich die KI-Routinen von AlphaGo. AlphaZero – so der sprechende Name dieses neuen, nicht mehr an menschlichen Verhaltensroutinen geschulten Programms – schlägt nach einem 5 Millionen Spiele umfassenden *reinforcement learning* ihren Vorgänger AlphaGo mit hundert zu null Partien. Lee Sedol zieht sich 2019 vom Go-Sport vollständig zurück: »Even if I become the number one, there is an entity that cannot be defeated.«¹²

David Silver, ein führender Forschungsleiter von DeepMind Technologies, begreift all dies jedoch lediglich als eine Vorgeschichte, gleichsam als eine Einschwingphase in das, was nun folgen soll. »Wenn man einen Algorithmus entwickeln kann, der von null auf lernt«, so äußert er sich im Jahr 2016, »hat man wirklich ein Instrument, das vom Spiel Go in jeden anderen Bereich übertragen werden kann. Man löst sich von

9 Demis Hassabis: »Creativity and AI – The Rothschild Foundation Lecture«, Vortrag an der Royal Academy of Arts, London, 17.09.2018, *Youtube*, <https://www.youtube.com/watch?v=d-bvsjWmqIc> (aufgerufen am 19.09.2024).

10 Ebd., 00:09:17–00:09:27.

11 Vgl. als ein Beispiel »Google DeepMind's Deep Q-learning playing Atari Breakout!«, Two Minute Papers, *Youtube*, 07.03.2015, <https://www.youtube.com/watch?v=VieYniJoRnk> (aufgerufen am 19.09.2024).

12 Yoo Cheong-mo: »Go master Lee says he quits unable to win over AI Go players«, *Yonhap News Agency*, 27.11.2019, <https://en.yna.co.kr/view/AEN20191127004800315> (aufgerufen am 19.09.2024).

den spezifischen Merkmalen der Domäne, in der man sich gegenwärtig befindet, und erhält einen Algorithmus, der universell einsetzbar ist.«¹³ Das Ziel ist, Intelligenz zu verstehen, d. h. Prozesse künstlich zu modellieren, die unstrukturierte Information in nützliches Wissen umwandeln.¹⁴ Dies schließt das Feld impliziten und daher auf analytischem Wege oftmals nur schwer zugänglichen Wissens mit ein. Und es umfasst all jene Bereiche, die allein aufgrund ihrer exorbitant hohen Informationstiefe bislang einem strukturierenden Zugriff verschlossen blieben. DeepMind wird nun für eine wachsende Zahl von Anwendungen eingesetzt, die sich dieser Herausforderungen annehmen und dabei zugleich Chancen eröffnen, die Leistungsfähigkeit Künstlicher Intelligenz selbst weiterzuentwickeln. Die während der Trainings- und Erprobungsphase artifizell gesetzten Grenzen des ›Spiels‹ werden somit dezidiert verlassen. »Für uns geht es [...] darum«, so Silver zu den gesteckten Zielen, »zu entdecken, was es bedeutet, Wissenschaft zu betreiben, und was es bedeutet, wenn ein Programm in der Lage ist, eigenständig zu lernen, was Wissen bedeutet.«¹⁵ Diese Explorationen führen DeepMind in den folgenden Jahren in so unterschiedliche Gebiete wie Sprache, Medizin, Chemie, Kunst und Architektur, Energieversorgung oder Astrophysik. Mit AlphaFold¹⁶ gelingt es im Jahr 2020, dreidimensionale Proteinstrukturen aus Aminosäureketten und den 2-bit-Informationssequenzen des genetischen Codes mit höchster Genauigkeit zu extrapolieren – ein seit vielen Jahrzehnten virulentes mathematisches Problem, dessen Lösung der Medizin künftig gänzlich neue Optionen eröffnet. Heruntergebrochen auf eine atomare und molekulare Ebene modelliert AlphaFold den Übergang von chemischen zu biologischen Prozessen – die Grenze, an der Leben entsteht.¹⁷

13 Zit. nach Marcus du Sautoy: *Der Creativity-Code. Wie künstliche Intelligenz schreibt, malt und denkt*, München 2021, S. 104.

14 Vgl. Vinay Rao: »From data to knowledge«, *IBM Developer*, 05.03.2018, <https://developer.ibm.com/articles/ba-data-becomes-knowledge-1/> (aufgerufen am 19.09.2024).

15 Zit. nach du Sautoy: *Der Creativity-Code* (Anm. 13), S. 104.

16 John Jumper u. a.: »Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold«, in: *Nature* 596 (2021), S. 583–589, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>. 2023 werden Demis Hassabis und John Jumper für die Entwicklung von AlphaFold mit dem Albert Lasker Basic Medical Research Award ausgezeichnet.

17 Vgl. The AlphaFold Team: »AlphaFold: a solution to a 50-year-old grand challenge in biology«, *Google DeepMind Blog*, 30.11.2020, <https://deepmind.com/blog/article/alphafold-a-solution-to-a-50-year-old-grand-challenge-in-biology> (aufgerufen am 19.09.2024): »Proteins are essential to life, supporting practically all its functions. They are large complex molecules, made up of chains of amino acids, and what a protein does largely depends on its unique 3D structure. Figuring out what shapes proteins fold into is known as the ›protein folding problem‹, and has stood as a grand challenge in biology for the past 50 years. In a major scientific advance, the latest version of our AI system AlphaFold has been recognised as a solution to this grand challenge by the organisers of the biennial Critical Assessment of protein Structure Prediction (CASP). This breakthrough demonstrates the impact AI can have on scientific discovery and its potential to dramatically accelerate progress in some of the most fundamental fields that explain and shape our world.«

II. »The law of accelerating returns«

Die Transformation von Entropie in Struktur und die damit ab einem gewissen Punkt auftretenden Notwendigkeiten, Strukturgewinn als Information zu speichern, weiterzugeben und anzureichern, also eine Art von Gedächtnis zu entwickeln, verbinden nicht nur physikalische, chemische, biologische, soziokulturelle und technische Phänomene miteinander, sondern diesem Mechanismus scheint ein Entwicklungsimpuls inhärent, der sich im Durchqueren der verschiedenen Phänomenbereiche als generalisierbares Modell einer Zeit- bzw. Epochengliederung anbietet. Diese Möglichkeit, disziplinenübergreifend allgemeine Bedingungen struktureller Entwicklung in den Blick zu nehmen und deren einzelne Phasen auf erdgeschichtliche Zusammenhänge zu übertragen, ist in jüngerer Zeit von verschiedener Seite aufgegriffen worden. Größere Bekanntheit haben die Schriften des Computerwissenschaftlers und Publizisten Ray Kurzweil erlangt, der diesen Gedanken in seinem 2005 erschienenen Buch *The Singularity Is Near* darlegt.¹⁸

Kurzweils Aufriss setzt mit der Entstehung der Erde ein. Die erste Epoche, so seine Erläuterung, ist gänzlich bestimmt durch physikalische und chemische Prozesse, die sich über lange Zeiträume hinweg zu spezifischen Formationen und Verbindungen verdichten. In der zweiten, biologisch dominierten Epoche überdauern diese Verbindungen als Informationen in genetischen Codes und bilden die Grundlage für alle darauf aufbauenden evolutionären Entwicklungsstufen. »Indeed«, so Kurzweil zu diesem Übergang von der ersten zur zweiten Epoche, den AlphaFold ein gutes Jahrzehnt später modellieren wird, »all of biology operates through linear sequences of 2-bit DNA base pairs, which in turn control the sequencing of only twenty amino acids in proteins. Molecules form discrete arrangements of atoms.«¹⁹ Aus dieser zunächst überschaubaren Kombinatorik erwächst eine immense Vielzahl verschiedener Lebensformen. Die DNA adaptiert neue Varianten und bringt dank ihrer stabilisierenden Effekte ein sich immer weiter ausweitendes, in der Tendenz auf Kohärenz hin organisiertes Zusammenspiel zellulärer und molekularer Grundstrukturen hervor: »Evolution is a process of creating patterns of increasing order.«²⁰ Damit tritt ein sich selbst verstärkender Mechanismus in Kraft, der nicht allein diese Prozesse selbst kennzeichnet, sondern auch Funktionen der Strukturentwicklung optimiert und schließlich für die Aufnahme, Verarbeitung, Weiterleitung und Speicherung von Informationen eigene Organe ausbildet: »For example, in the third epoch, DNA-guided evolution produced organisms that could detect information with their own sensory organs and process and store that information in their own brains and nervous systems.«²¹ Signatur der dritten Epoche ist die Implementierung fortgeschrittener Möglichkeiten der Mustererkennung, die es Lebensformen auf zunehmend effizien-

18 Ray Kurzweil: *The Singularity Is Near. When Humans Transcend Biology*, New York 2005, hier S. 28-40.

19 Ebd., S. 88.

20 Ebd., S. 29.

21 Ebd., S. 30.

tere Weise erlaubt, Modelle ihrer Umwelt zu entwickeln und damit ihren eigenen Wahrnehmungs- und Aktionsradius auszuweiten. Die damit angelegte Option, auch die Prinzipien dieser Modelle zu ergründen und Grundlagen einer artifiziellen Verfertigung zu legen, ist dann nicht allein Voraussetzung für die weitere Entwicklung des Menschen, sondern auch Bedingung für einen technischen Fortschritt, dessen Bogen sich von der Erfindung einfachster Werkzeuge bis zur Programmierung hochautomatisierter Verfahren spannt. In einem weiteren, entscheidenden Schritt werden in der vierten Epoche auf diese Weise schließlich auch die evolutionären Errungenschaften der früheren Epochen in die technologische Phänomenwelt selbst implementiert: »Technology was itself capable of sensing, storing, and evaluating elaborate patterns of information.«²² Dies führt, so Kurzweils Ausblick in die fünfte Epoche, zu einer komplementären Verbindung und letztlich auch Verschmelzung zwischen menschlich und technologisch generiertem Wissen:

It will result from the merger of the vast knowledge embedded in our own brains with the vastly greater capacity, speed, and knowledge-sharing ability of our technology. The fifth epoch will enable our human-machine civilization to transcend the human brain's limitations of a mere hundred trillion extremely slow connections.²³

Die Epochengliederung,²⁴ die Kurzweil hiermit seinen Leserinnen und Lesern anbietet, subsumiert nicht allein die erdgeschichtlichen und historischen Zeitalter unter dem Paradigma der Information, deren Systemort, Speicherform und Umweltverantwortung sich über die Zeiten hinweg ändert, sondern markiert mit dem Übergang von der vierten zur fünften Epoche einen besonderen Moment in der Entwicklung. Es kommt in einem gleichsam involutiven, auf sich selbst zurückgewendeten Prozess zu einer Engführung: Denn der evolutionäre Modus fortschreitender Strukturabstraktion, dem sich auch die Entstehung von Technologien verdankt, lernt ebendieses operative Vorgehen künstlich zu modellieren und zu synthetisieren – und zwar in Anwendungsbereichen, die auch alle vorausgehenden (physikalischen und chemisch-biologischen) Gebiete mit umfassen. Kurzweils Perspektive löst diese Phase eines *reinforcement learning* Künstlicher Intelligenz, die Phase von AlphaZero und AlphaFold, aus der Kontinuität vorangehender Entwicklungen digitaler Technologien. Sie ersetzt historisch etablierte Abgrenzungen wie die zwischen Industrie- und Informationszeitalter durch das übergreifende Paradigma einer Technikgeschichte und prognostiziert ausgehend von den jüngsten Fortschritten der KI-Forschung eine neue Phase in der Koevolution von Technik und Mensch: »Technology masters the methods of biology (including human intelligence).«²⁵ Damit ist ein Entwicklungs-

22 Ebd.

23 Ebd., S. 34.

24 Kurzweil lässt den fünf hier skizzierten Epochen noch eine sechste folgen: die Durchdringung der Materie mit Intelligenz; vgl. ebd., S. 35.

25 Ebd., S. 30.

stand erreicht, dessen Folgen nicht mehr abschätzbar sind und für dessen inhärente Dynamik es keine historische Präzedenz gibt: »When the first transhuman intelligence is created and launches itself into recursive self-improvement, a fundamental discontinuity is likely to occur, the likes of which I can't even begin to predict.«²⁶ Kurzweil nennt dieses disruptive Ereignis in Anlehnung an Anomalien und Extremereignisse aus der Astrophysik eine »Singularität«.²⁷

Unter leicht verschobenen Vorzeichen verleiht James Lovelock – seiner Ausbildung nach Mediziner, Chemiker und Biophysiker – einer solch technisch fortgeschrittenen Epoche den Namen »Novozän«.²⁸ Das Neue manifestiert sich auch für ihn in der zunehmenden Autonomisierung einer generalisierten Künstlichen Intelligenz, die lernt, sich in unterschiedlichsten Kontexten zu bewähren. Die daraus resultierende Opazität ihrer strukturellen Verfasstheit für den Menschen, der sie programmiert, und die Geschwindigkeit der prognostizierten Veränderungen, die zukünftige Entwicklungen unbestimmbar machen, konvergiert mit Kurzweils Begriff der »Singularität«. Ausgangspunkt für Lovelocks Ansatz ist jedoch nicht die Kategorie der Information, sondern ein Moment, das allem, was je zur Existenz gelangt, aufruht: Energie. Unter Rückgriff auf diese traditionsreiche und seit dem 19. Jahrhundert naturwissenschaftlich präzisierte Kategorie entfalten sich die erdgeschichtlichen Zusammenhänge in Lovelocks Ausführungen entlang der Transformation und Nutzung von Sonnenenergie: zunächst als Photosynthese, die mit der Umformung von Licht in chemische Energie die Entstehung von Leben ermöglicht, sodann als Freisetzung gespeicherter Sonnenenergie aus karbonisierten Pflanzenresten, die den Beginn des Anthropozäns markiert, und schließlich als Wandlung von Solarenergie in Information, die den sich abzeichnenden Konturen eines neuen Zeitalters, eben des Novozäns, zugrunde liegt.

Gemeinsam ist Kurzweils und Lovelocks Überlegungen, dass sie beide auf einer Ebene der Abstraktion ansetzen, die physikalische und chemisch-biologische Prozesse sowie daraus hervorgehende technologische Entwicklungen überspannt. Auf diese Weise gelangen Zeitzusammenhänge in den Blick, die nicht allein etablierte Epochenbegriffe, sondern auch geologische Zeitskalen großformatig überschreiten. Ausgehend von natur- und lebenswissenschaftlichen Kategorien erscheinen historische Epochen, aber auch ganze Erdzeitalter lediglich als Varianten jeweils dominanter Konstellationen. Entscheidender noch als dieser Zuschnitt im weit aufgezogenen Fokus einer erdgeschichtlichen Gesamtbetrachtung ist jedoch die Tatsache, dass mit der Übernahme naturwissenschaftlicher Perspektiven die Zeitarchitektur des Epochenbegriffs selbst modifiziert wird. Die Vorbilder hierfür sind vielfältig, und auch Love-

26 Ebd., S. 25. Kurzweil zitiert an dieser Stelle Michael Anissimov.

27 Ebd., S. 37: »From my perspective, the Singularity has many faces. It represents the nearly vertical phase of exponential growth that occurs when the rate is so extreme that technology appears to be expanding at infinite speed. Of course, from a mathematical perspective, there is no discontinuity, no rupture, and the growth rates remain finite, although extraordinarily large. But from our currently limited framework, this imminent event appears to be an acute and abrupt break in the continuity of progress.«

28 James Lovelock: *Novozän. Das kommende Zeitalter der Hyperintelligenz*, München 2020.

locks eigener wissenschaftlicher Werdegang ist in diesem Zusammenhang durchaus aussagekräftig. Gemeinsam mit der Biologin Lynn Margulis entwickelt er in den 1970er Jahren Begriff und Konzept von ›Gaia‹. Ausgangspunkt hierfür ist Lovelocks Beobachtung, dass durch chemische Reaktionen der ersten bakteriellen Lebensformen ein Überschuss an Sauerstoff produziert wird und damit Voraussetzungen für die nachfolgende evolutionäre Entwicklung gelegt werden: Das Leben schafft sich aus eigener Kraft eine für seine eigene Entwicklung günstige Umwelt.²⁹ Die Erde gewinnt auf diese Weise Gestalt als ein systemischer Gesamtzusammenhang: als ein einziger großer Organismus, der auf den vielfältigen Wechselwirkungen der in ihm beheimateten biologischen Lebensformen und chemisch-physikalischen Prozesse beruht. Damit spiegelt die Erde auf einem anderen Skalierungsniveau das Existenz- und Entwicklungsprinzip der Lebensformen selbst. Denn auch in diesen leben (wie in der von Margulis erforschten eukaryotischen Zelle als Urform einer endosymbiotischen Verbindung und Ausgangspunkt der Evolution³⁰) andere Organismen weiter und übernehmen hierbei unverzichtbare Funktionen für das Fortbestehen des Gesamtorganismus. Ein menschlicher Eingriff in das Ergebnis dieser Koevolution von Leben und Umwelt, in die Biosphäre, hat daher, wie Lovelock bei seiner Entdeckung der Wirkung des Treibhausgases FCKW feststellt, unweigerlich Auswirkungen von planetarer Reichweite. Knapp zwei Jahrzehnte später wird für die Beschreibung von Interdependenzen dieser Art der Begriff Anthropozän eingeführt, und Lovelock avanciert zu einer seiner frühen Bezugsfiguren.

Die knappen Anmerkungen zu Lovelocks wissenschaftlichem Hintergrund mögen verdeutlichen, dass die Zeitarchitektur, die mit den Begriffen Anthropozän und Novozän einhergeht, anderen als den hergebrachten historiographischen Gliederungslogiken folgt: Sie orientiert sich an selbstregulierenden Systemen, die Modellen der Physik, Chemie und Biologie entlehnt sind; sie kennt Kippunkte, an denen Zustände abrupt umschlagen; sie folgt in ihrer Einteilungssystematik diesen Umschlagpunkten, löst sich damit aus der Dominanz linearer Zeitvorstellungen und bezieht Faktoren exponentieller Entwicklung mit ein; sie beobachtet Verlaufsformen, in denen lange Phasen geringer Variabilität mit einer dichten Folge tiefgreifender Transformationen alternieren; sie arbeitet mit Modellen einer Extrapolation, deren prognostische Kraft angesichts solcher Umschlagpunkte ein hohes Maß an Unsicherheit birgt: Eine »Singularität« bildet auch historisch einen Ereignishorizont, aus dem sich allenfalls auf indirektem Wege Informationen über zukünftige Entwicklungen ableiten lassen. Dies alles verleiht Epochennarrativen Aufschwung, die Mittelalterhistorikerinnen und -historikern durchaus vertraut erscheinen mögen: Denn mit hoher Registrierungsbereitschaft wird die Gegenwart nach Anzeichen solcher Umschlagpunkte abgetastet – eine Suche in der Latenz, die Einzelereignisse wie Zug 37 von AlphaGo

29 Vgl. Lynn Margulis/Dorion Sagan: *What Is Life?*, London 1995, S. 20.

30 Vgl. ebd., S. 90-97; S. 96: »Organisms form many kinds of symbioses, but the most awe-inspiring is the exceedingly close association known as endosymbiosis. This is a relationship in which one being – microbe or larger – lives not just near (nor even permanently on) another, but inside it. In endosymbiosis, organic beings merge.«

dann nahezu zwangsläufig mit einer überbordenden Interpretation belasten muss. Auch Lovelock rekurriert in seinen Darlegungen auf diesen Spielzug und sieht in ihm einen Vorboten des *Novozäns*.³¹ Und auch er verweist dabei wie andere Wissenschaftler auf die kurze Zeitspanne von nur wenigen Monaten, in der DeepMind mit AlphaZero das Spiel von Grund auf neu lernt und die vielhundertjährigen Traditionen der Strategieentwicklung in der Ausbildung eigener, immer effizienterer Spielweisen uneinholbar hinter sich lässt. Ausgehend von solch einer Perspektive wird Gegenwart fast ausschließlich im Modus ihrer imaginierten Historisierung greifbar: Sie erscheint als Akkumulation von einzelnen Ereignissen, die als potentielle Kippunkte ihre Bedeutung aus einer projizierten Zukunft jenseits der erwarteten Epochenzäsur beziehen. Die Ereignisse treten somit in ein Verhältnis der funktionalen Äquivalenz zueinander, das andere Optionen einer Struktur- oder Gesellschaftsanalyse tendenziell absorbiert.

Eine solche Modifikation der Zeitarhitektur, die sich von natur- oder systemwissenschaftlichen Zusammenhängen inspirieren lässt, ist auch den Sozial- und Geschichtswissenschaften nicht fremd. Niklas Luhmann etwa hebt als Kennzeichen soziokultureller Evolution den Aspekt der »Klumpenbildung«³² hervor: »Zentralisierte Interdependenzen«³³ bilden die Bedingung der Möglichkeit für Epochenumbrüche, die innerhalb kurzer Zeit das Gesamtsystem grundlegend verändern und daher als einschneidende Zäsuren wahrgenommen werden. Als »Faktum« eines »morphogenetischen Strukturwandels«³⁴ müssen Epochenwechsel im historiographischen Arrangement daher nicht auch nur annähernd einer linearen Gleichverteilung auf der Zeitachse folgen, sondern die Dichte, in der sie aufeinander folgen, ist eine Funktion des Interdependenzgrades der jeweils herrschenden Strukturen. Wenn also Lovelock in seinem Buch *Novozän. Das kommende Zeitalter der Hyperintelligenz* diagnostiziert, dass »die Welt der Zukunft, die ich nun vor mir sehe, eine Welt [ist], in der der Lebenscode nicht länger nur in RNS (Ribonukleinsäure) und DNS, sondern auch in anderen Codes geschrieben wird«,³⁵ so ließe sich im Sinne eines solchen soziologischen Ansatzes somit durchaus argumentieren, dass es sich hierbei um eine (mit Luhmann gesprochen) »evolutionäre Errungenschaft«³⁶ großer Reichweite handelt, zu der AlphaFold bereits erfolgreich erste Grundlagen gelegt hat. Lovelock verweist angesichts der prognostizierten Veränderungen auf eine prozessuale Dimension, in der »die natürliche Selektion, wie Darwin sie beschrieb, durch eine viel schnellere intentionale Selektion abgelöst«³⁷ wird und daher eigendynamische Verstärkungseffekte in Kraft

31 Vgl. Lovelock: *Novozän* (Anm. 28), S. 99–108.

32 Niklas Luhmann: »Das Problem der Epochenbildung und die Evolutionstheorie«, in: Hans Ulrich Gumbrecht/Ursula Link-Heer (Hg.): *Epochenschwellen und Epochenstrukturen im Diskurs der Literatur- und Sprachgeschichte*, Frankfurt a. M. 1985, S. 11–33, hier S. 16 f.

33 Ebd., S. 17.

34 Ebd., S. 26.

35 Lovelock: *Novozän* (Anm. 28), S. 110.

36 Luhmann: »Epochenbildung« (Anm. 32), S. 17 ff.

37 Lovelock: *Novozän* (Anm. 28), S. 106.

treten. Dieses Phänomen fasst Kurzweil unter ein allgemeines ›Gesetz‹: »The Law of Accelerating Returns«.³⁸ Die sich verkürzenden Abstände zwischen historischen Epochen und die Wahrnehmung einschneidender Zäsuren in der Gegenwart sind aus seiner Perspektive nicht primär als Ergebnisse einer Beobachtung zu verstehen, die immer dazu tendiert, Nahverhältnisse feiner aufzulösen, sondern stellen sich als Systemeffekte dar. Die Verdichtung von Epochenumbrüchen ist, so ließe sich von dieser theoretischen Ausgangslage her formulieren, einer soziokulturellen Evolution inhärent, in der Systeme sich in ihren mannigfachen Interdependenzen und Rückkopplungen zunehmend kurzschließen und damit in Gänze irritierbar werden.

III. Stilepochen und Mustererkennung

Die verschiedenen Zeit- und Epochenmodelle, die sich aus einem prozessualen Verständnis von Geschichte auf der einen bzw. einem naturwissenschaftlich-mathematisch inspirierten Denken auf der anderen Seite ableiten, werden nicht notwendigerweise in einen gemeinsamen Diskussionsrahmen eingebunden und direkt miteinander konfrontiert. Wechselseitige Bezugnahmen scheitern oftmals schon an den verschiedenen disziplinären Zuständigkeiten. Gleichwohl bleibt ihre Kopräsenz für die Gegenwart und deren Geschichtsverständnis nicht ohne Folgen, da ein weiter Fokus, der gleich ganze Epochen und Erdzeitalter umschließt, die Vielfalt historischer Entwicklungen einebnet. Damit richtet sich die gesamte Vergangenheit auf einen Moment in der Gegenwart aus, von dem aus Relevanzen und Gewichtungen neu verteilt werden. Dies verändert die Wahrnehmung aktueller und vorausliegender Entwicklungen grundlegend und vermittelt sich in dieser Form auch zunehmend einer breiteren Öffentlichkeit. Zu dieser schleichenden Auflösung tradierter Modi der historischen Selbstverortung trägt sicherlich bei, dass Begriffe wie Anthropozän oder Singularität über inhärente dramaturgische Qualitäten verfügen und eine eigene erzählerische Strahlkraft entwickeln. Sie legen den Transfer von Theoriefiguren in popkulturelle Phänomene nahe und verleihen den dahinterstehenden wissenschaftlichen Ansätzen einen höheren Grad an Bekanntheit. Es verwundert daher nicht, dass sich auch Autoren wie Kurzweil oder Lovelock selbst dazu veranlasst sehen, ihre eigene theoretische Konzeption (und möglicherweise sogar wissenschaftliche Seriosität) zu unterlaufen, um dem Nichtimaginierbaren jenseits der Singularität doch noch eine Gestalt zu verleihen.³⁹

Jenseits solcher Effekte, die aus der weitgehend unverbindlichen Kopräsenz unterschiedlicher Zeitmodelle hervorgehen, werden in anderen Kontexten durchaus enge Wechselwirkungen erkennbar. Sie entfalten sich an Schnittstellen, die quer zu verschiedenen Wissensgebieten verlaufen, und aktivieren dort, wo natur- und geschichtswissenschaftliche Ansätze unmittelbar miteinander interferieren, verschie-

³⁸ Kurzweil: *Singularity* (Anm. 18), S. 22, 44-106.

³⁹ Vgl. den dritten Teil von Lovelocks *Novozän* (Anm. 28).

dene Dimensionen des Epochenbegriffs. Ein Bereich, der sich in diesem Spannungsfeld bewegt und dabei neue Formen eines funktionalen Zusammenspiels erkennbar werden lässt, ist die digitale Kunst.

Erste experimentelle Verfahren einer computergestützten Analyse und Produktion von Kunst reichen in die 1950er Jahre zurück. Nach einer anfänglichen Konzentration auf Schriftsprache werden in den nachfolgenden Jahrzehnten vermehrt Anstrengungen unternommen, auch auditive und visuelle Strukturen algorithmisch zu erfassen und neu zu generieren. In jüngerer Zeit profitieren diese Arbeiten von den erwähnten Zugriffsmöglichkeiten auf die umfangreichen Datenbestände sozialer Medien und digitalisierter Bild- und Klangarchive. Ein breites Korpus von Digitalisaten liegt auch dem 2018 entstandenen Porträt *Edmond de Belamy*⁴⁰ zugrunde. Es basiert, wie die gesamte ›Gemäldesammlung‹ der fiktiven ›Famille De Belamy‹, auf der algorithmischen Auswertung von 15.000 Porträtmalereien aus dem 14. Jahrhundert bis zur Gegenwart⁴¹ nach 2.000 Klassifikationsmerkmalen und einer darauffolgenden mehrmonatigen Trainingsphase zweier sich wechselseitig elaborierender neuronaler Netzwerke, sogenannter *Generative Adversarial Networks*.⁴² Die Urheberschaft wird vom Pariser Künstlerkollektiv Obvious, das den Algorithmus programmiert hat, an die ausführende KI delegiert: Ein Fragment des Codes steht in fingierter Handschrift als Signatur unter dem Gemälde. Das Porträt wurde 2018 im Auktionshaus Christie's für über 400.000 US-Dollar versteigert und erlangte dadurch größere mediale Aufmerksamkeit.

Einen anderen Ansatz verfolgt das Projekt *The Next Rembrandt*,⁴³ das 2016 aus einer Kooperation zwischen der Universität Delft, dem Rembrandthaus Amsterdam, dem Mauritshuis Den Haag und Microsoft hervorgeht. *The Next Rembrandt* ist das Ergebnis einer detaillierten Parametrisierung der über 300 verfügbaren Ölgemälde des Malers. Mehr als 100.000 Bildfragmente einschließlich vielfältiger Informationen über dreidimensionale Oberflächenstrukturen werden in ihren Eigenschaftskombinationen und räumlichen Verteilungswahrscheinlichkeiten erfasst. Der kompositorische Bildaufbau wird damit bis auf die Mikroebene einzelner Farbwerte und ihrer jeweiligen lokalen Arrangements heruntergebrochen. Die Resynthesierung der so erfassten Einzelheiten zu einem neuen Gemälde in Form eines 3D-Drucks verdankt sich dann einem sich selbst stabilisierenden Prozess, in dem die Wahrscheinlichkeitsparameter der Anordnung der einzelnen Farbwerte auf der Leinwand und übergreifende Strukturmerkmale eng ineinandergreifen.

40 Obvious (Kollektiv): *Edmond de Belamy*, <https://obvious-art.com/portfolio/edmond-de-belamy/> (aufgerufen am 19.09.2024).

41 Die Datenbasis speist sich aus den Beständen der Plattform *Wikiart*. *Enzyklopädie der bildenden Künste*, <https://www.wikiart.org/de> (aufgerufen am 19.09.2024).

42 Ian J. Goodfellow u. a.: »Generative Adversarial Nets«, in: *Advances in Neural Information Processing Systems* 27 (2014), <https://arxiv.org/pdf/1406.2661> (aufgerufen am 14.08.2025); ders./Yoshua Bengio/Aaron Courville: *Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning)*, Cambridge, Mass. 2016.

43 Einen guten Einblick vermittelt der Youtubekanal »The Next Rembrandt«, *Youtube*, <https://www.youtube.com/@thenextrembrandt2907/> (aufgerufen am 19.09.2024).

Beide Varianten der digitalen Bildproduktion basieren auf der Refunktionalisierung der Kategorie, die in kunst-, musik- und literaturgeschichtlichen Kontexten die Systematik der Epochengliederung maßgeblich mitbestimmt hat: der des Stils. Stil bedeutet im Kontext der Programmierung Künstlicher Intelligenz zunächst einmal Reduktion von Entropie: eng miteinander verwobene Muster, die auf der Grundlage programmiertechnischer Verfahren aus einem Datenbestand extrahiert werden und, kondensiert in Algorithmen, variabel auf andere Zusammenhänge übertragbar sind. Stil wird im Moment seiner Parametrisierung zu einer (Software-)Applikation.⁴⁴ Während das Künstlerkollektiv Obvious Kunstwerke ganz unterschiedlicher Stilepochen heranzieht und mit den Übergängen und Variationsspielräumen zwischen verschiedenen Stilen experimentiert, folgen andere Projekte wie *The Next Rembrandt* klar abgrenzbaren Stileigenschaften einzelner Epochen oder Künstlerinnen und Künstler. Die digitalen Artefakte verfügen auf diese Weise über einen hohen Wiedererkennungswert, der die Leistungsfähigkeit der Algorithmen auch für ein breiteres Publikum sinnfällig zu demonstrieren vermag. Die Orientierung an solch bekannten Vorbildern und vertrauten Strukturen trägt, nicht anders als einige Jahre später ChatGPT, zur Popularisierung der KI-Anwendungen bei.

Stil in seiner historisch gewachsenen Funktion der Selbstorganisation von Kunst mit Epochenindex wechselt somit in die Funktion einer Selbstorganisation Künstlicher Intelligenz, die es dem Menschen erlaubt, Fortschritte der Programmierung und der damit verbundenen Syntheseleistungen unmittelbar wahrzunehmen und zu beurteilen. Diese evaluative Dimension, die hier intuitiv, buchstäblich auf den ersten Blick greift, erweist sich in informatischen Zusammenhängen als unverzichtbarer Bestandteil eines lernenden Systems. Sie ist essentiell für die oben erwähnte Programmiertechnik der *Generative Adversarial Networks*, in der zwei künstliche neuronale Netze als ›Generator‹ und ›Diskriminator‹ im Spannungsfeld von ›Original‹ und ›Fälschung‹ gegeneinander antreten. Der ›Diskriminator‹ evaluiert auf der Grundlage seiner antrainierten Fähigkeiten der Mustererkennung die Ergebnisse und Leistungen des ›Generators‹, der wiederum das Feedback nutzt, um seine einzelnen Operationen mit zunehmender Präzision zu justieren. Schritt für Schritt werden die synthetischen Fähigkeiten bis zu dem Punkt optimiert, an dem der ›Diskriminator‹ das Ergebnis als gültige Ausformung eines Stils (im Sinne eines eng verwobenen Repertoires von Mustern) akzeptiert. Wie sich diese künstlich erzeugte ›ästhetische Urteilskraft‹, die auch der Genese des Porträts *Edmond de Belamy* zugrunde liegt, ausbildet, und welche Formen der Parametrisierung hierbei genutzt werden, bleibt für die Programmiererinnen und Programmierer angesichts der autonomen Abläufe und der millionenfach durchgespielten Iterationen innerhalb der Trainingsphasen opak – ebenso opak wie der Großteil des Wissens, das ästhetischer Wahrnehmung zugrunde liegt. Und auch die

44 Vgl. als eine der ersten ›Apps‹ dieses Typs Prisma von Prisma Labs, <https://prisma-ai.com/> (aufgerufen am 19.09.2024). Im Kontext von Dichtung und Literatur eröffnen Sprachmodelle und Programme der jüngeren Generation wie ChatGPT 4.0 oder Bard einen ersten Ausblick auf die Möglichkeiten literarischer Stilkopien.

theoretischen Regelwerke, die Kunst-, Musik- oder Stillehren, erfassen allenfalls rudimentär Produktionsverfahren von Kunst. Analytische und synthetische Kompetenzen bilden keinen in sich geschlossenen Zirkel – und dies nicht deshalb, weil nach Paradigmen des 18. und 19. Jahrhunderts eine inspirierende Kraft fehlte, sondern weil eine Kluft zwischen explizitem und implizitem Wissen besteht, die auch durch detailliertere Beobachtungen nicht überbrückt werden kann. 2.000 Klassifikationsmerkmale, die eine KI per Mustererkennung aus 14.000 Gemälden extrahiert, 100.000 Fragmente, deren Farbverteilung nach Wahrscheinlichkeitsparametern in ihrer räumlichen Distribution aufgeschlüsselt werden, sind keiner kunstwissenschaftlichen Analyse zugänglich. Und dies gilt allemal dort, wo eine Interpolation von Stilen, wie sie an allen Epochenenteilungen vorbei in dem Porträt *Edmond de Belamy* zum Einsatz gelangt, noch höhere Variabilitäten erzeugt.

Auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz dagegen kann die Differenz zwischen implizitem und explizitem Wissen überbrückt werden. Jenseits aller limitierten menschlichen Einblicke in die konkreten prozessualen Abläufe zielt die Architektur des Deep Learning neuronaler Netze auf einen rekursiven Zusammenschluss analytischer und synthetischer Kompetenzen, deren Operationen für die Künstliche Intelligenz selbst idealerweise vollständig ineinander übersetzbar sind. Welche Datenbasis diesem Zusammenspiel zwischen einem ›Generator‹ und einem ›Diskriminator‹ zugrunde liegt, spielt hierbei keine Rolle: Neuronalen Netzen gerinnt alles, was in sie eingespielt wird, zu Mustern und Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Sie ebnen auf diese Weise auch systematisch stilistische und historische Differenzen, Unterschiede zwischen Personal- und Epochenstilen oder Zäsuren zwischen Stilepochen ein – oder präziser formuliert: Sie verwerten diese Differenzen wie alle anderen Unterschiede auch allein als Funktionen einer Diskriminierung von Strukturmerkmalen. Potentiell produzieren sie im Zugriff auf die Datenbestände ahistorische Tableaus, in die erst der Mensch durch die Vorselektion der Bestände Epochen- oder Stilunterschiede inkorporiert – und damit als ›oberster Diskriminator‹ die Fortschritte der Künstlichen Intelligenz auf einfache Weise zu kontrollieren und sinnfällig herauszustellen vermag.

Kategorien der Kunst erlangen jedoch nicht allein im Kontext einer algorithmisch fundierten Mustererkennung und daraus sich aggregierender Stileigenschaften Relevanz, sondern gerade in dem Moment, in dem eine Abweichung von diesen Mustern registriert wird. Der »original move« von AlphaGo, der bislang ungenutzte taktische Potentiale zu erkennen gibt, aktiviert hierbei im Beobachter nahezu reflexhaft das Sprachregister des Ästhetischen:

I thought AlphaGo was based on probability calculation and it was merely a machine. But when I saw this move, I changed my mind. Surely AlphaGo is creative. This move was really creative and beautiful. [...] This move made me think about Go in a new way. What does creativity mean in Go? It was a really meaningful move.⁴⁵

45 *AlphaGo* (Anm. 1), 00:52:14, 00:53:35.

In Abgrenzung zur Wahrscheinlichkeitsrechnung und als Gegenpol zu den synthetischen Kompetenzen der Musterreproduktion wird Kreativität als eigener Faktor in das Spielverhalten eingeführt. So wie diese Kategorie in traditionalistischen Konzepten als treibende Kraft der Kunst- oder Literaturgeschichte, ihrer Stil- und Epochenwechsel verstanden wird, so wird sie auch hier zum Indikator einer prognostizierten Zäsur in der Entwicklung: zum Zeichen einer Autonomisierung, in deren Verlauf (nach Kurzweils und Lovelocks Modellen) Technologien die Ergebnisse und Funktionsweisen der biologischen Evolution bis hin zur Entwicklung menschlicher Intelligenz adaptieren. Der Impuls, DeepMinds Epoche – im programmiertechnisch geprägten Wortsinn als Durchlauf durch ein neuronales Netz, der auch Zug 37 hervorbringt – als Vorbote eines neuen Zeitalters zu deuten, vermittelt sich über diese Kategorie der Kreativität. Damit wird die Last der Suche nach Kippunkten einem historisch und semantisch weit aufgefächerten Begriff aufgebürdet, dessen Unschärfe und Bedeutungsdiffusion der ihm zugewiesenen diagnostischen Funktion unmittelbar entgegenstehen müsste. Und dies allein schon deswegen, weil eine Abweichung von musterbasierten Routinen, wie sie AlphaGos »original move« unterstellt wird, gar nicht sicher erkannt werden kann. Denn die Algorithmen arbeiten nicht mit Struktur- oder Objektidentitäten, sondern operieren auf der Grundlage von Ähnlichkeitsbeziehungen. Es gibt keine fest umrissenen Formen, sondern Beziehungsgeflechte, die in Raum und Zeit interpoliert werden. Vor allem in stark formalisierten Zusammenhängen, wie sie auch das Spiel Go kennzeichnen, arbeitet die Künstliche Intelligenz daher deutlich effizienter als die menschliche Wahrnehmung. Ein »original move« kann deshalb auch schlichtweg Produkt einer defizitären menschlichen Beobachtung sein, der sich längst nicht alle Muster, die einem Datenbestand oder den taktischen Potentialen eines Regelsystems inhärent sind, erschließen. Diese diagnostische Aporie setzt sich dann unweigerlich in den Versuchen fort, Kreativität in informatischen Zusammenhängen zu definieren. Wie schon zuvor Minsky⁴⁶ versucht der Mathematiker Marcus du Sautoy die Verhältnisse in seinem Buch *Der Creativity-Code* halbwegs zu ordnen.⁴⁷ Kreativität, verstanden als Fähigkeit, Wissen auf neue Weise zu arrangieren und zu synthetisieren, umfasst, so seine Argumentation, drei verschiedene Operationsvarianten: Einen ersten Typus bildet die Exploration, die es erlaubt, aus vorhandenen Mustern über Ähnlichkeitsbeziehungen neue Muster zu generieren. Dieses Verfahren beherrschen die auf der Architektur neuronaler Netze basierenden Programme bereits sehr gut. Einen zweiten Typus stellt die Kombination dar, in der die KI mit der zunehmenden Autonomisierung von Lernprozessen (scheinbar) die Grenzen dessen überschreitet, was die Datenbasis an Informationen zur Verfügung stellt. Ihre Aktionen werden zunehmend unvorhersehbar und verlassen den Erwartungshorizont der Programmierer. AlphaGos Zug 37 und alle nachfolgend entwickelten Programme eines *reinforcement learning* sind Beispiele für erste Erfolge auf diesem Gebiet. Den dritten Typus kennzeichnet du Sautoy als transformative Kreativität, die

46 Vgl. Minsky: *Mentopolis* (Anm. 6), S. 80f.

47 Vgl. du Sautoy: *Der Creativity-Code* (Anm. 13), S. 17-25.

den generellen Aktionsrahmen, in dem sich die KI bewegt, außer Kraft setzt. Ein solches Programm wäre in der Lage, eigenständig »Phasenübergänge einzuleiten«⁴⁸ und Ebenenwechsel zu vollziehen, also beispielshalber nicht allein mit einem »original move«, sondern mit der Erfindung eines Spiels wie Go selbst zu überraschen. Dazu braucht es nach du Sautoy umfassendes Konzeptwissen, fortgeschrittene Fähigkeiten der Abstraktion, flexible Analogiebildung, Gedächtnis und Imagination. All dies sei vom heutigen Stand der Entwicklung aus nicht absehbar.

Jenseits von solch ernüchternden Diagnosen haben die Unschärfen, die der Kategorie der Kreativität anhaften und unweigerlich die prognostischen Impulse unterlaufen, eigene Funktionen – spielen sie doch der oben erwähnten Erwartungsbereitschaft zu, die in den opaken Prozessen eines Deep Learning immer neue Nahrung für ihre Suchbewegungen findet. Epochale Zäsuren, die unversehens aus den KI-Routinen einer *general intelligence* emergieren, mögen daher als Zukunftsprojektionen zuallererst Indikatoren eines veränderten Zeitverständnisses sein, das Umbrüche systematisch in seinen Erwartungshorizont integriert. Sichtbar wird an diesen Zusammenhängen jedoch auch, dass die algorithmische Modellierung von Prozessen, gleich ob es sich um Kunst oder um die molekulare Ebene der Entfaltung von Proteinstrukturen handelt, neue Vergleichbarkeiten zwischen Wissensgebieten erzeugt und hierbei die Zeitdimension als konzeptionelle Herausforderung schärfer hervortreten lässt. Als programmiertechnische Probleme schlagen Fragen der zeitübergreifenden Stabilisierung von Prozessen oder der Modellierung nichtlinearer Verläufe nach Kipppunkten unmittelbar auf die Effektivität der KI durch; als historiographische Impulse können sie dazu einladen, Gliederungsmodelle der Kunst- oder Literaturgeschichte oder der Geschichtsschreibung im Horizont anderer Zeitarchitekturen zu diskutieren.

48 Ebd., S. 21.