

Min Luo

Am Rande der Ordnung

Wie Komplexität, Märkte und KI
unsere Welt formen



Min Luo

AM RANDE DER ORDNUNG

AM RANDE DER ORDNUNG

Wie Komplexität, Märkte und KI unsere Welt formen

Min Luo

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über dnb.dnb.de abrufbar.

Die automatisierte Analyse des Werkes, um daraus Informationen insbesondere über Muster, Trends und Korrelationen gemäß §44b UrhG („Text und Data Mining“) zu gewinnen, ist untersagt.

© 2026 Min Luo

Alle Rechte vorbehalten.

Herstellung und Verlag:

BoD · [Books on Demand GmbH](#), Überseering 33, 22297 Hamburg

Das vorliegende Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht der Übersetzung, des Vortrags, der Reproduktion und der Vervielfältigung. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Urhebers in irgendeiner Form vervielfältigt, gespeichert oder verbreitet werden.

ISBN: 978-3-6963-3544-1

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 1

Kapitel 1 Regel 9

Gomoku – das Spiel Fünf in einer Reihe.....	10
Der Determinismus.....	12
Das Zermelo-Theorem und die Gewinnposition	19
Das Zusammenspiel von Symmetrie und Asymmetrie.....	22
Was sind Regeln wirklich?	27

Kapitel 2 Joseki 31

San-san, der Sternpunkt und das Zentrum.....	32
Joseki, Festsetzung der optimalen Handlungsbahn	34
Von Joseki zur Intuition – Die Ganzheitswahrnehmung	39
Mensch im Spiel gegen KI – Wer gewinnt.....	44

Kapitel 3 Prognose 49

Die Geschichte von den drei Mönchen	50
Das „Drei-Körper-Problem“	52
Das Poincaré-Bendixson-Theorem und seine Bedeutung	56
Ein weiterer Blick in den Finanzmarkt.....	62
Maschinelle Algorithmen als Werkzeuge zur Marktprognose.....	67

Kapitel 4 Markierung 77

Wer einmal Enten an einem Teich gefüttert hat.....	78
Markierung als Indikator für bevorstehende Pfadänderungen.....	81
Phasenwechsel in Kursbewegungen.....	84
Lohr am Main – „eine Schneewittchen Stadt“	95
Die 45-Grad-Linie nach Gann	102

Kapitel 5 Symmetrie 107

Präsenz der Symmetrie – der chinesische Garten.....	108
Symmetrie ist eine Ordnungsstruktur.....	111
Die Doppelgänger: Symmetrie und Stabilität.....	116
Symmetriebrechung: vom Multi- zum Monogleichgewicht.....	120
Die Goldene Komplexität.....	126
Symmetrie an Finanzmärkten.....	131

Kapitel 6 Ersatzregel 149

Das Entscheidungsdilemma der Diebe.....	150
„Ersatzregeln“ reduzieren Unsicherheiten bei der Entscheidung.....	156
Das „No-Regret-Prinzip“ in den Aktienmärkten.....	161
„Mein Schicksal liegt in meiner Hand.“	165
Marktbewegung unter der Perspektive „Regeln leiten das Spiel“.....	169

Kapitel 7 Versuchsirrtum..... 173

Ist unsere Welt tatsächlich von Gesetzmäßigkeiten gefesselt?	174
Wie der Finanzmarkt durch Versuch und Irrtum lernt.....	179
Stabilität als Ausdruck struktureller Pfadabhängigkeit.....	184

Kapitel 8 Verteilung..... 189

Jungfrau, ihre Silhouette wirkt königlich	190
Ordnung und Widerstreit: Die Logik der Ressourcenverteilung	197
Finanzmärkte und die Gesetze der Potenzverteilung	199
Das „Zipfsche Gesetz“	206
Warum nur 20 % gewinnen?	210

Kapitel 9 Emergenz..... 215

Erkennen durch Formen und Bilder – Das Prinzip des „Xiang“	216
Emergenz und ihre Unkomprimierbarkeit	223
Das Fischschwarm-Modell.....	226
Ein einfaches Spiel zur Simulation der biologischen Evolution	231
Die Siedlungsformen auf der Nordchinesischen Ebene	237
Aggregationseffekte in den Kursbewegungen.....	242

Kapitel 10 Fraktal..... 247

Benoît B. Mandelbrot und seine Fraktaltheorie.....	248
Fraktale Selbstähnlichkeit, von Zufall zu Gesetzmäßigkeit	254
Der Entstehungsmechanismus fraktaler Strukturen	259
Im Spiegel der Natur: Reduktionismus und Holismus	267
Kursprognose mithilfe Fraktalstruktur	277

Kapitel 11 Modell..... 281

Der Pioniergeist von Louis Bachelier.....	282
Modellierung der Kursbewegungen durch Normalverteilung	287
Finanzökonometrie und die SDE.....	293

Das Prinzip „Modell zuerst, Erklärung später“	295
Natur kennt nur Zufall, doch sie hat einen Sinn	300

Kapitel 12 Umbruch 305

Gutenberg, Bi Sheng und die Jikji Schrift aus Korea	306
Die Effizienzmarkthypothese – ein nutzloser Gedanke?	311
Technische Analyse wirkt: Der Markt ist kontinuierlich	316
Ist der Markt prognostizierbar?	320
Ein stiller Herbsttag	325

Kapitel 13 Identität 329

Die A- und H-Aktien	330
Das Prinzip der Identität	336
Das Risiko der Risikolosigkeit: LTCM und seine Strategien	339
Shiller's „Irrationale Überschwänglichkeit“	343

Kapitel 14 Vermessung 349

Jedes neue Werkzeug öffnet neues Denken, nicht umgekehrt	350
Algorithmen als moderne Form der Mathematik	355
Wenn die Welt messbar wird – Über die Rolle der Ökonometrie.....	357
Aktive Beobachtung: Zwischen Erkennen und Eingreifen	366
Zeitreihenanalyse zur Prüfung und Prognose	370

Kapitel 15 Verbindung..... 377

Im Schweigen der Höhen – Ein Gedicht in Rilkes Spur	378
Zwischen Gedicht und Bild – Inszenierung durch KI	382

Die Logik der Faltung – Wie Systeme Neues hervorbringen	388
Das Fundament der KI: Eigenwerte	395
Was die gegenwärtige KI noch nicht kann	399

Kapitel 16 Kausalität 405

„Einzig statistisches Wissen genügt!“	406
Kausalität statt Korrelation.....	412
Grenzen der Kausalität im Erkenntnisprozess.....	417
„I, Robot“ – Übernahme moralischer Urteilsbildung durch KI.....	422
Wenn Kausalität zu einem Ereignis wird.....	424

Kapitel 17 Innovation 431

Wenn Maschinen über „Innovation“ nachdenken	432
Was bleibt vom Menschen, wenn Denken programmierbar wird?.....	444
Was ist Bewusstsein?.....	449
Die „erste Ursache“ jenseits der Ordnung	456
Sie ist nicht zu erfinden, sondern zu erinnern	462

Literaturverzeichnis..... 467

Vorwort

Es war ein Frühlingsnachmittag. Der Himmel war klar blau, und in der Luft lag ein kaum wahrnehmbarer, süßlicher Duft von Süßholz. Wie so oft ging ich spazieren. Die Straße war von frischem Grün erfüllt: Die jungen Blätter der Platanen trugen noch einen feinen, hellgrünen Flaum, und wenn der Wind aufkam, bewegte sich das Laub der ganzen Allee in einem sanften, feuchten Glanz und rauschte leise im Sonnenlicht.

Als ich die Ecke erreichte, fiel mein Blick auf eine Baustelle. Fahrzeuge und Fußgänger strömten unablässig vorbei, doch alles wirkte geordnet und kontrollierbar. Ich trat näher und bemerkte ein Verkehrsschild, das ruhig am Straßenrand stand. Darauf war zu lesen: „Bitte links vorbeifahren.“

Diese gewöhnliche Szene ließ plötzlich einen Gedanken in meinem Kopf aufblitzen: Was wäre, wenn in diesem Moment ausschließlich autonom fahrende Fahrzeuge auf der Straße unterwegs wären – und das Schild stattdessen „Bitte rechts vorbeifahren“ anzeigen würde?¹

Ich blickte auf den schmalen, schwer passierbaren Nebengangweg rechts der Baustelle. Die Antwort schien offensichtlich: Vielleicht wäre ein autonomes Fahrzeug in diesem Fall nicht in der Lage, den Fehler aus dem Schild korrekt zu erkennen und entsprechend zu reagieren. Der

¹ Bitte siehe auch Kapitel 16 „Kausalität“

Algorithmus könnte hier in Schwierigkeiten geraten: Kleine Unstimmigkeiten – eine unklare Routenanweisung, ein unerwartet auftauchender Fußgänger, ein missverständlicher Hinweis, – könnten genügen, um den Entscheidungsprozess eines KI-Systems zu stören.

Hätte ich selbst am Steuer gesessen, würde ich die Vorschrift aus dem Schild dem konkreten Kontext entsprechend auszulegen oder gegebenenfalls von ihr abzuweichen. Eine Maschine hingegen erfasst die eigentliche Intention einer Regel jenseits ihres algorithmischen Rahmens nicht. Sie folgt dem programmierten Regelwerk strikt, präzise, konsequent und scheinbar fehlerlos. Gerade darin aber liegt auch ihre Grenze: Veränderungen der Regeln selbst oder Verschiebungen ihres Sinns vermag sie nicht ohne Weiteres zu erfassen.

Dieser scheinbar unbedeutende Moment verweist auf eine grundlegende Frage: Warum vertraue ich in einer solchen Situation noch immer eher meinem eigenen Urteil als der Empfehlung eines algorithmischen Systems? Besitzt der Mensch tatsächlich eine Form von Erkenntnis- oder Urteilskraft, die für Maschinen schwer zugänglich bleibt? Oder wird es eines Tages gelingen, diese Fähigkeit selbst in eine Art „Meta-Algorithmus“ zu überführen – ein System also, das nicht nur verschiedene Algorithmen koordiniert, sondern auch deren Entscheidungsprozesse reflexiv steuern kann?

Sollte ein solcher „Meta-Algorithmus“ tatsächlich realisierbar sein, könnte dies im Zeitalter der zunehmenden Verflechtung von menschlicher und künstlicher Intelligenz das Herannahen dessen markieren, was häufig als *Artificial General Intelligence* (AGI) bezeichnet wird. In diesem Fall stellt sich eine weitere Frage: Wird die Vorstellung von der kognitiven Überlegenheit des Menschen dann überhaupt noch Bestand haben?

Beunruhigend ist dabei vielmehr die Tatsache, dass das Zeitalter der AGI womöglich bereits näher rückt, noch bevor wir die Tragweite dieser

Frage wirklich verstanden oder uns ernsthaft auf ihre Konsequenzen vorbereitet haben.

Unsere Welt ist weder vollständig geordnet noch vollkommen chaotisch. Sie gleicht eher einem Netzwerk miteinander verbundener, sich fortwährend wandelnder Systeme. Viele Erscheinungen wirken auf den ersten Blick zufällig oder unübersichtlich, doch im tieferen Sinne lassen sich häufig Muster, Rückkopplungen und gegenseitige Abhängigkeiten erkennen. Diese strukturellen Zusammenhänge bilden das, was wir gewöhnlich als Ordnung bezeichnen.

Aus physikalischer Sicht lässt sich Ordnung als ein Prozess der Entropiereduktion durch Informationszufuhr verstehen. Wenn ein System kontinuierlich Energie und Information aufnimmt, können sich innerhalb eines ansonsten zur Unordnung tendierenden Zustands lokal stabile Strukturen herausbilden. Viele komplexe Strukturen, von der Entstehung von Galaxien über das Auftreten des Lebens bis hin zu Ökosystemen und menschlichen Gesellschaften, verdanken ihre Existenz genau solchen Strömen von Information und den daraus resultierenden Rückkopplungsmechanismen.

Gerade deshalb erweist es sich beim Umgang mit komplexen Systemen oft als wenig hilfreich, immer kompliziertere Lösungen dafür zu entwerfen. Wichtiger ist möglicherweise eine Form des Verstehens, die Komplexität zu vereinfachen vermag – ein Rahmen, der sowohl menschlicher als auch künstlicher Intelligenz zugänglich ist und es beiden erlaubt, eine gemeinsame Grundlage der Interpretation zu entwickeln.

Das ist allerdings nicht leicht zu realisieren. Für die gemeinsame Basis ist vor allem neue Anpassung menschlicher konventioneller Betrachtungsweise notwendig. Um es zu verstehen, hilft uns eine kleine Parabel aus der Quantenphysik.

Ein Hirte sagt zu einem Kind: „Ganz gleich, wie weit die Schafe laufen – am Ende kehren sie immer auf diese Weide zurück.“ Das Kind fragt

anschließend: „Auf diese Weide? Was wäre, wenn das Gras eines Tages woanders wächst?“

Die scheinbar naive Frage des Kindes offenbart ein erkenntnistheoretisches Paradox. Die „Weide“ ist nicht notwendigerweise der Bestimmungsort der Schafe; sie ist vielmehr ein Bezugspunkt, den der Hirte festlegt, um das Verhalten der Herde zu verstehen und zu ordnen.

In der Quantenphysik zeigt sich ein ähnlicher Zusammenhang. Elementarteilchen besitzen keine eindeutig festgelegte Position im klassischen Sinne. Welche konkrete Ausprägung beobachtbar wird, hängt wesentlich von der Art der Messung ab. Erst im Messprozess geht die Vielzahl möglicher Zustände in ein bestimmtes Ergebnis über, was als Kollaps der Wellenfunktion bezeichnet wird. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sich das Teilchen plötzlich „verändert“; vielmehr wird durch die Messung innerhalb eines definierten experimentellen Rahmens ein bestimmter Zustand realisiert und beobachtbar.

Die Parabel von den Schafen und der Weide folgt derselben Logik. Aus der Perspektive der Schafe gibt es keine absolute „Weide“. Was wir als Weide bezeichnen, ist vielmehr eine vom Menschen gesetzte Grenze, die dazu dient, das Verhalten der Herde zu beobachten, zu ordnen und zu steuern. Erst durch solche Grenzziehungen werden Beschreibung und Ordnung überhaupt möglich. Sie ermöglichen es uns, in die Welt einzugreifen und bestimmte Ausschnitte der Wirklichkeit sichtbar zu machen, während uns der Zustand vor dieser Einteilung weitgehend entzogen bleibt.

Mit anderen Worten: Die Ordnung, die wir wahrnehmen, ist möglicherweise nicht das ursprüngliche Wesen der Welt selbst, sondern in erheblichem Maße auch ein Ergebnis unserer Weise, die Welt zu betrachten.

In diesem Sinne ist auch Kausalität, – als Ausdruck von Ordnung, – nicht ausschließlich eine inhärente Eigenschaft der Dinge. Sie hängt ebenso davon ab, wie wir beobachten und welche Fragen wir stellen. Es

ist daher verständlich, dass die eigentliche Schwierigkeit häufig nicht in der Antwort, sondern bereits in der Formulierung der Frage liegt. Denn ein konkretes Bild der Wirklichkeit entsteht erst dadurch, dass wir in der Komplexität der Welt durch Beobachtung und Fragestellung bestimmte Strukturen hervorheben.

Es wird dann folgerichtig, dass Menschen und Maschinen bestimmte Kausalzusammenhänge nicht in gleicher Weise erfassen. Was für ein algorithmisches System als relevante Struktur erkennbar wird, muss dem menschlichen Verstehen nicht ohne Weiteres zugänglich sein; umgekehrt entzieht sich der Sinngehalt menschlicher Erfahrung häufig einer rein maschinellen Erfassung. Die Differenz liegt dann nicht nur in der Leistungsfähigkeit, sondern bereits in der jeweiligen Weise, Ordnung zu bilden und Wirklichkeit zu interpretieren.

Unsere Welt erscheint in vielerlei Hinsicht geordnet: in den Rhythmen der Natur, in den Bahnen der Himmelskörper, in den Bewegungen der Märkte und in den Entwicklungen des Denkens. Je genauer wir diese Ordnungen jedoch betrachten, desto deutlicher zeigt sich, dass sie keineswegs starr oder dauerhaft gesichert sind. Sie entstehen, stabilisieren sich und verändern sich im Spannungsfeld von Zufall, Rückkopplung und Störung. Ordnung und Unordnung bezeichnen daher keine strikt voneinander getrennten Sphären; vielmehr markieren sie eine bewegliche Grenze.

Gerade diese Grenze steht im Mittelpunkt dieses Buches. Einen entscheidenden Zugang zu ihr eröffnet die Komplexitätswissenschaft. Sie zeigt, dass einfache Regeln keineswegs zwangsläufig zu einfachen Ergebnissen führen. In nichtlinearen Wechselwirkungen können Systeme Symmetriebrüche erfahren, neue Strukturen ausbilden und auf diese Weise emergente Ordnungen hervorbringen. Solche Ordnungen können sich wiederum fraktal über verschiedene Skalen hinweg wiederholen und dadurch überraschende Ähnlichkeiten zwischen Mikro- und Makroebene sichtbar machen.

Die Finanzmärkte bieten ein besonders anschauliches Feld für die Beobachtung solcher Prozesse. Unzählige Akteure treffen Entscheidungen unter Bedingungen begrenzter Information und wechselnder Erwartungen; ihre Interaktionen werden verstärkt, überlagert und neu verteilt und verdichten sich zu Preisbewegungen, Trendstrukturen und Potenzgesetzverteilungen.

In solchen Systemen gewinnen Algorithmen und künstliche Intelligenz zunehmend an Bedeutung. Aufgrund ihrer Rechenleistung und ihrer Fähigkeit zur Analyse großer Datenmengen können sie Muster in hochdimensionalen Informationsräumen erkennen und dynamische Prozesse modellieren. Auf diese Weise erweitern sie die Reichweite menschlicher Beobachtung komplexer Systeme in erheblichem Maß.

Doch auch hier gilt: Algorithmen markieren nicht das Ende der Komplexität. Sie sind außerordentlich leistungsfähig, wenn es darum geht, Korrelationen zu erfassen; weit weniger selbstverständlich ist jedoch ihr Zugang zu Kausalität. Sie können optimieren, ohne notwendigerweise erklären zu können, warum eine bestimmte Entscheidung zustande kommt. Da maschinelles Lernen auf Daten, Modellen und Zielfunktionen beruht, bleiben seine Ergebnisse stets an die Strukturen dieser Modelle gebunden. Verändert sich die Umgebung, oder bleiben entscheidende Variablen unbeobachtet, kann selbst der präziseste Algorithmus fehlgehen.

Dieses Buch versteht sich daher weder als Handbuch noch als geschlossenes theoretisches System. Es ist vielmehr eine Einladung zu einer gedanklichen Reise. An den Schnittstellen von Komplexitätswissenschaft, Marktdynamik, algorithmischen Modellen und philosophischer Reflexion versucht es, grundlegende Fragen neu zu stellen:

Woher entsteht Ordnung? Wie bilden sich Regeln? Und wie prägt die Weise, in der wir die Welt verstehen, letztlich die Welt, die wir wahrnehmen?

Vielleicht wird diese Reise nicht in eine endgültige Antwort münden. Möglicherweise aber lässt sie erkennen, dass die Grenze der Ordnung kein Endpunkt ist, sondern ein offener Raum – ein Raum, in dem neue Strukturen, neue Fragen und neue Formen des Verstehens entstehen.

Kapitel 1

Regel

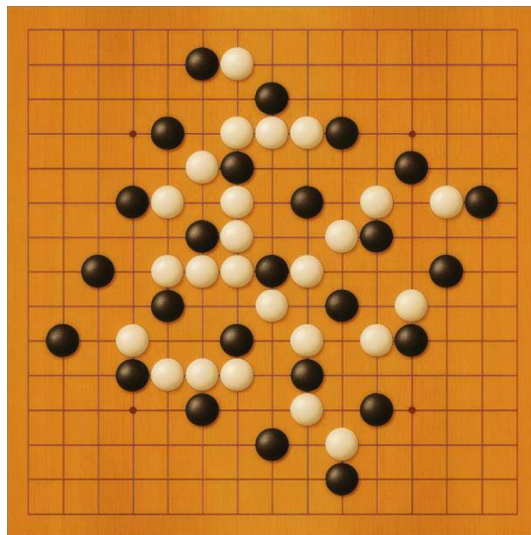
„Freiheit ist die Einsicht in die Notwendigkeit.“

– Georg Wilhelm Friedrich Hegel

Gomoku – das Spiel Fünf in einer Reihe

Bevor Maschinen als Spielpartner des Menschen auftraten, waren Brettspiele über Jahrhunderte hinweg ein exklusives Feld menschlicher Intelligenz. Unter ihnen nimmt das Spiel Fünf in einer Reihe – auch bekannt unter den Bezeichnungen „Gomoku“, „Gobang“, „Renju“ oder „Five in a Row“ – eine besondere Stellung ein.

Seinen Ursprung hat es in China; es blickt auf eine lange Geschichte zurück und gilt als eines der ältesten strategischen Wettkampfspele der Welt. Seine Regeln sind von bestechender Schlichtheit: Wer es vermag, fünf Steine derselben Farbe in eine Linie zu führen – horizontal, vertikal oder diagonal –, erringt den Sieg.



Das „Gomoku“ Spiel

In der oben abgebildeten Partie erkennen wir bei genauer Betrachtung eine ungewöhnliche Strategie der schwarzen Steine: Sie verlaufen

konsequent in diagonalen Richtung und bilden ein regelmäßiges Raster aus gleichmäßigen Quadraten. Innerhalb dieses Rahmens vermag Weiß – unabhängig von der konkreten Anordnung – keine Fünferreihe zu bilden.

Diese Spielweise wird als „Pferdesprung-Strategie“ (马步棋, mǎ bù qí) bezeichnet. Entscheidet sich ein Spieler (Schwarz) für diese Taktik – und wurde zuvor einvernehmlich festgelegt, auf sogenannte „verdeckte Vierer“ oder „verdeckte Fünfer“ zu verzichten, also auf Sprünge, die Zwischenschritte überspringen – dann kann Schwarz mit dieser Methode jede offensive Bewegung des Gegners elegant blockieren. Weiß bleibt gefangen – in einem fein gespannten Korsett aus Struktur und Zwang, in dem kaum noch Spielraum zum Atmen bleibt.

So wird das Ergebnis schon sichtbar, bevor das Spiel überhaupt begonnen hat. Die Überlegenheit der Pferdesprung-Strategie lässt unter diesen Bedingungen keinen Sieg für Weiß mehr zu – gleichgültig, wie geschickt oder einfallsreich die Züge auch gesetzt sein mögen.

Gerade Szenarien wie dieses führen über das Spiel hinaus: Was geschieht, wenn wir uns ein System vorstellen, das unwandelbaren Regeln gehorcht? Wird sein Verlauf – selbst bei noch so viel innerer Komplexität – nicht längst durch diese Regeln selbst vorgezeichnet?

Oder anders gefragt: Kann der Endzustand eines Systems allein aus seinen Anfangsbedingungen und der Ordnung seines Regelwerks entstehen – ganz gleich, wie lebendig, wie vielgestaltig, wie unberechenbar die Bewegungen im Inneren erscheinen?

Das Spiel Gomoku mit der Pferdesprung-Strategie liefert hierfür ein eindruckliches Beispiel. Wer dieses Muster konsequent verfolgt, kann eine Niederlage von Anfang an ausschließen – der Spielausgang ist nicht offen, sondern vorbestimmt.

Ein weiteres Spiel „Wer zuerst 40 erreicht“ illustriert diese Überlegung auf ähnliche Weise. Die Regeln sind einfach: Zwei Spieler, A und B, zählen abwechselnd. A beginnt etwa mit „1, 2, 3“, B fährt mit „4, 5, 6,

7“ fort. Pro Runde dürfen mindestens eine, höchstens sieben aufeinanderfolgende Zahlen genannt werden. Gewonnen hat, wer als Erster die Zahl 40 erreicht.

Was auf den ersten Blick wie ein harmloses Zahlenspiel wirkt, offenbart bei genauerem Hinsehen ein verborgenes Ordnungsmuster – eine innere Struktur, die den Ausgang der Partie bereits zu Beginn festlegt, sofern sie erkannt und konsequent genutzt wird.

Denn um 40 erreichen zu können, muss man zuvor bei 32 stehen. Der Gegenspieler kann – gemäß der maximalen Zählspanne – höchstens bis zur 39 kommen. Rückwärts betrachtet ergibt sich eine Reihe von Schlüsselzahlen, die das Spiel strukturieren: 32, 24, 16 und 8. Wer sich frühzeitig eine dieser Positionen sichert – insbesondere die 8 – verschafft sich eine dominierende Ausgangslage.

Der strategische Kniff besteht darin, dem Gegner den ersten Zug zu überlassen. Damit beginnt man selbst bei der Zahl 8 – und kann von dort aus, unter konsequenter Anwendung der Regeln, alle weiteren Kontrollpunkte erreichen und das Spiel gezielt auf die 40 hinführen.

Was zwischen diesen Fixpunkten geschieht – ob jemand zwei, fünf oder sieben Zahlen zählt – ist letztlich nachrangig. Die scheinbare Entscheidungsfreiheit verdeckt nur eine grundlegende Wahrheit: Der Ausgang des Spiels ist strukturell determiniert.

Man spricht in solchen Fällen von einem deterministischen System – einem System, dessen Endzustand aus seinen Ausgangsbedingungen logisch hervorgeht, selbst wenn der Weg dorthin von äußerer Komplexität erfüllt scheint.

Der Determinismus

An diesem Punkt berühren wir eine der ältesten und zugleich tiefsten Fragen von Philosophie und Naturwissenschaft: den Determinismus.

Er besagt im Kern, dass der Verlauf eines Systems vollständig durch seine Anfangsbedingungen und die auf es wirkenden Kräfte bestimmt ist. Sind sowohl der Ausgangszustand als auch die leitenden Gesetze bekannt – und bleiben sie über die Zeit hinweg unverändert –, so lässt sich sein künftiger Zustand prinzipiell voraussagen.

Determinismus ist die Überzeugung, dass die Welt gesetzmäßig und zweckmäßig gebaut ist, dass jedes Geschehen den Fäden der Kausalität folgt. Ein Zustand entfaltet sich aus dem vorhergehenden, wie ein Schritt aus dem Abdruck des letzten.

Doch schwer fassbar wird dieses Prinzip dort, wo moderne Wissenschaft scheinbare Unbestimmtheit aufzeigt – in der Quantenmechanik, der Chaostheorie oder der Erforschung des menschlichen Bewusstseins. Diese Phänomene deuten jedoch weniger auf das Ende des Determinismus hin, als auf ein noch unzureichend differenziertes Verständnis seines Wesens.

Denn der Determination bedeutet nicht, dass Zukunft starre Festlegung ist.

Gomoku und das Spiel „Wer zuerst 40 erreicht“ verbindet eine grundlegende Eigenschaft: Jedes Spiel gleicht einem geschlossenen System – kein exogener Einfluss kann willkürlich eingreifen, und kein zusätzlicher Entscheidungsspielraum taucht unvermittelt im Verlauf auf. Was wir als Wahl begreifen, beschränkt sich auf jene Züge, die innerhalb der gegebenen Regeln und der vorliegenden Konstellation erlaubt sind.

Zwar kann der Systemverlauf in solcher Struktur äußerst komplex sein, doch diese Komplexität überfordert lediglich die Grenzen unseres Rechenvermögens und unserer Erkenntnis; sie bedeutet nicht, dass das System prinzipiell mehrere Ausgänge zuließe. Mit anderen Worten: Je geschlossener, je klarer geregelt ein Spiel ist, desto schärfer tritt das deterministische Grundmuster hervor.

In der klassischen Mechanik folgt ein System nach Newtons Gesetzen oder den Hamilton'schen Gleichungen¹ aus einem gegebenen Anfangszustand notwendig einer einzigen Bahn – Ursache und Wirkung lassen sich entlang der Zeitachse ableiten, als wühle die Welt in jedem Augenblick „mit Bestimmtheit“, was als Nächstes geschehen soll. Auf mikroskopischer Ebene hingegen offenbart sich diese Notwendigkeit in statistischen Wahrscheinlichkeiten. So lässt sich etwa das Verhalten von Elektronen im Doppelspalt² zwar nicht klassisch-kausal erklären, wohl aber durch die Wahrscheinlichkeitswellenfunktion der Quantenmechanik

¹ Die Hamiltonschen Gleichungen (auch kanonische Gleichungen) wurden vom irischen Mathematiker und Physiker William Rowan Hamilton (1805–1865) formuliert. Sie stellen eine elegante und mächtige Neuformulierung der klassischen Mechanik dar, die nicht auf Kräfte, sondern auf Energie und Symmetrien basiert.

In physikalischer Hinsicht beschreiben diese Gleichungen die zeitliche Entwicklung eines Systems durch das Zusammenspiel von verallgemeinerten Orts- und Impulskoordinaten. Ihr großer Vorzug liegt darin, dass sie die grundlegende geometrische Struktur der Mechanik offenlegen und so den Weg zur modernen Physik – insbesondere zur Quantenmechanik und zur Chaostheorie – ebneten.

Ihre philosophische Bedeutung für den Determinismusedanken Ihres Textes ist zentral: Die Gleichungen verkörpern das Ideal einer lückenlosen, regelgeleiteten Vorhersagbarkeit. Bei exakt bekannter Hamilton-Funktion und Anfangsbedingung ist der gesamte zukünftige (und vergangene) Zustand des Systems prinzipiell eindeutig berechenbar. Sie zeigen, dass selbst extrem komplexe und praktisch unvorhersagbare Bewegungen (wie in chaotischen Systemen) dennoch strikten deterministischen Gesetzen folgen.

² Das Doppelspaltexperiment ist ein Schlüsselexperiment der Quantenphysik. Es zeigt, dass Elementarteilchen (wie Elektronen) sich je nach Versuchsaufbau entweder wie klassische Teilchen oder wie Wellen verhalten. Der entscheidende Punkt ist, dass jede Messung, die den Weg des Teilchens durch einen der Spalte bestimmt, das eigentliche Ergebnis zerstört: Das charakteristische Wellen-Interferenzmuster verschwindet und ein einfaches Teilchenmuster erscheint. Dies demonstriert fundamental, dass in der Quantenwelt der Akt der Beobachtung nicht neutral ist, sondern den Zustand des Systems unwiderruflich verändert und aus einem Überlagerungszustand einen konkreten Messwert auswählt.

beschreiben. Die Bewegungspfade der Brown'schen Teilchen mögen ungeordnet erscheinen, dennoch gehorchen sie insgesamt der Normalverteilung und unterliegen den Prinzipien der statistischen Mechanik.

Dass der Determinismus schwer zu akzeptieren fällt, liegt nicht allein an unserem angeborenen Stolz auf einen „freien Willen“, sondern womöglich auch an einem noch unvollständigen Verständnis desselben.

„Bestimmtheit“ ist nicht gleichzusetzen mit Einfachheit oder unmittelbarer Durchschaubarkeit des künftigen Zustands. Ein System kann strikten Regeln folgen und dennoch höchste Komplexität und praktische Unvorhersagbarkeit an den Tag legen. Viele nichtlineare Systeme – insbesondere chaotische – mögen Ergebnisvielfalt und einen Anschein von „Zufall“ bieten, doch ihre Entwicklung ist keineswegs grundlos: Im Gegenteil, sie reagieren auf minimale Abweichungen der Anfangsbedingungen mit unerbittlicher Sensibilität – winzige Unterschiede werden durch Iteration rapide verstärkt, sodass langfristige Prognosen technisch unmöglich werden. Die beobachtete „Unvorhersagbarkeit“ entspringt somit eher dem Kollaps von Berechenbarkeit und Messgenauigkeit, nicht einer Auflösung der Kausalstruktur selbst.

In der Mikrowelt bedeutet „Unbestimmtheit“ nicht „Regellosigkeit“. Quantenphänomene gehorchen bestimmten Wahrscheinlichkeitsgesetzen: Aus identischen Anfangszuständen und unter identischen Bedingungen folgt stets dieselbe Wahrscheinlichkeitsverteilung für die möglichen Messergebnisse. Ein einzelnes Resultat bleibt jedoch grundsätzlich nicht vorhersagbar. Diese „Zufälligkeit“ ist somit keine willkürliche, sondern eine statistisch exakt determinierte.

Auf der quantenmechanischen Ebene erfährt das klassische Kausalprinzip eine Erweiterung. Während es keine eindeutige Vorhersage für den Einzelfall mehr trifft, bestimmt es exakt die Wahrscheinlichkeiten aller möglichen Ergebnisse. Die Entwicklung des Systems – beschrieben durch die Schrödinger-Gleichung – ist für den quantenmechanischen

Zustand (die Wellenfunktion) weiterhin streng deterministisch. Die Determiniertheit verschiebt sich somit von der Ebene einzelner Ereignisse auf die Ebene der sie regelnden Wahrscheinlichkeitsamplituden, zwar in anderer neuer Form, jedoch bleibt sie.

Beim Übergang zum makroskopischen Bereich erklärt sich das klassische Verhalten durch das Prinzip der konstruktiven Interferenz. Im Pfadintegralformalismus nach Feynman trägt jeder denkbare Pfad eines Teilchens mit einer bestimmten Phase zum Gesamtergebnis bei. Für makroskopische Objekte interferieren die unzähligen quantenmechanischen Möglichkeiten aller ihrer Bestandteile derart, dass sich alle Pfade bis auf den klassischen, wirkungsminimalen (bzw. stationären) Weg nahezu vollständig auslöschen. Die klassische Trajektorie erscheint daher nicht als fundamentale Wahrheit, sondern als das unter alltäglichen Bedingungen dominierende Approximationsergebnis einer tieferliegenden quantenmechanischen Realität.

Das Feynman'sche Pfadintegral¹ sucht den Ursprung dieser „divergierenden Formen der Determiniertheit“ zu erklären. Es fasst die

¹ Das Feynman'sche Pfadintegral (auch: Pfadintegralformulierung) ist eine von Richard Feynman (1918–1988) entwickelte Neuformulierung der Quantenmechanik. Feynman, ein amerikanischer theoretischer Physiker und Nobelpreisträger von 1965, war ebenso berühmt für seinen brillanten, intuitiven Geist wie für seine unkonventionelle und charismatische Persönlichkeit. Seine legendären Feynman-Vorlesungen über Physik prägen bis heute generationenübergreifend das Verständnis des Fachs.

Sein Ansatz postuliert: Um die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, mit der ein Quantenteilchen von einem Anfangspunkt A zu einem Endpunkt B gelangt, muss man über alle denkbaren Wege summieren (integrieren). Jeder Pfad trägt mit einer Phase bei, die mit der klassischen Wirkung verknüpft ist. Durch Interferenz heben sich die meisten Pfade auf; übrig bleibt in makroskopischen Situationen der klassische Weg, während in Quantenexperimenten die Interferenz mehrerer Pfade das beobachtete Wahrscheinlichkeitsmuster erzeugt.

Bewegung eines Teilchens von A nach B nicht länger als eine entlang der Zeit schrittweise sich entfaltende, singuläre Kausalbahn auf: Wenn Zeit und Raum auf nahezu „Nichts“ komprimiert werden, werden alle denkbaren Pfade von A nach B in ein und derselben Darstellung zusammengeführt, „gleichzeitig“ in Betracht gezogen und überlagert. Jeder Pfad trägt eine mit einer Phase versehene Amplitude bei, wobei die Phase durch die Wirkung des jeweiligen Pfades bestimmt wird: Ob ein Pfad im Endergebnis hervortritt, hängt nicht davon ab, ob er „kürzester“ oder „optimaler“ Weg ist, sondern davon, ob seine Phase kohärent mit anderen interferieren und so im Gesamtbild erhalten bleiben kann.

Damit wird „was geschieht“ nicht länger von einer einzigen Bahn einseitig entschieden. Zahllose scheinbar abwegige Pfade sind nicht verboten; sie werden lediglich durch den Interferenzmechanismus stillschweigend getilgt: Pfade mit rasch wechselnden, ungeordneten Phasen löschen sich in der Überlagerung aus (destruktive Interferenz), gleich einem lärmenden Chor, der vom gegenschwingenden Echo verschluckt wird; jene Pfade hingegen, die im Sinne der Wirkung „stabilere“ Nachbarschaften bilden, weisen langsamere Phasenänderungen auf, interferieren leichter konstruktiv, wodurch ihr Beitrag verstärkt und ihre Kontur herauspräpariert wird.

Dass Licht beim Übergang zwischen Medien den Weg der kürzesten Zeit zu „wählen“ scheint (Fermat-Prinzip), lässt sich fundamentaler erklären: Im Rahmen des Pfadintegralformalismus heben sich aufgrund destruktiver Interferenz alle quantenmechanisch möglichen Pfade bis auf jenen gegenseitig auf, der dem Prinzip der stationären Wirkung entspricht.

Damit bietet das Pfadintegral ein tiefgreifendes philosophisches Bild: Die klassische Welt erscheint nicht als fundamental, sondern als ein hervortretendes Ergebnis (Emergenz), das sich aus der Überlagerung aller quantenmechanischen Möglichkeiten filtert – eine Idee, die Feynmans Genie für anschauliche, radikale Neukonzeptionen verkörpert.

Was makroskopisch als einfaches Brechungsgesetz erscheint, ist somit das Ergebnis eines Interferenz- und Ausleseprozesses.



Ein KI-Bild:

„Der Ausweg ist längst besiegelt – warum sich also hin und her quälen?“

So dürfen wir vielleicht sogar behaupten: Selbst wenn man die klassische Zeitskala gewissermaßen „entleert“, muss das Gerüst des Determinismus, also in anderer Formulierung: der damit verbundenen Kausalität nicht zusammenstürzen – es könnte in ursprünglicherer Gestalt fortbestehen, nämlich als die Selektivität der Interferenz: welche Pfade sich verstärken, welche sich auslöschen; welche Geschichten sich bekräftigen, welche sich gegeneinander tilgen.

Das Zermelo-Theorem und die Gewinnposition

Ernst Zermelo (1871–1953) war ein deutscher Mathematiker. Laut Wikipedia begann er bereits im Alter von 18 Jahren ein dreifaches Studium der Mathematik, Physik und Philosophie, mit 23 Jahren promovierte er. An der Berliner Universität forschte er unter der Leitung von dem berühmten Physiker Max Planck und wurde mit 40 Jahren als ordentlicher Professor an die Universität Zürich berufen.

Das „Zermelo-Theorem“¹ besagt etwa: „In jedem endlichen, deterministischen Zwei-Personen-Spiel mit perfekter Information (bei dem es also keine Zufallselemente oder verborgenen Informationen gibt), existiert eine optimale Strategie, die es einem der beiden Spieler ermöglicht, entweder den eigenen Sieg zu erzwingen oder zumindest ein Unentschieden sicherzustellen – unabhängig davon, wie der Gegner spielt.“

Die eigentliche Bedeutung des Zermelo-Theorems liegt in der theoretischen Gewissheit, dass in jedem determinierten System ein optimaler Lösungsweg existiert – selbst wenn er in der Komplexität des Geschehens verborgen bleibt.

Beindet sich ein Spieler zu Beginn in einer „Gewinnposition“, so kann er diesen Vorteil – bei vollkommen rationalem Vorgehen – bis zum Ende behaupten, gleichgültig, wie vielfältig oder verschlungen die möglichen Spielverläufe erscheinen mögen. Das Endresultat ist damit bereits im Anfang angelegt – Diese Erkenntnis hat maßgeblich die Entwicklung algorithmischer Spielstrategien und moderner KI vorangetrieben.

¹ Vgl. die deutschsprachige Originalarbeit von Zermelo: *Über eine Anwendung der Mengenlehre auf die Theorie des Schachspiels* (1913). Die Arbeit ist einschbar unter https://web.archive.org/web/20131217224959/http://www.socio.ethz.ch/publications/spieltheorie/klassiker/Zermelo_Uber_eine_Anwendung_der_Mengenlehre_auf_die_Theorie_des_Schachspiels.pdf.

1992 bewies Louis Victor Allis von der Universität Maastricht (Niederlande) in seiner Doktorarbeit *Searching for Solutions in Games and Artificial Intelligence* („Auf der Suche nach Lösungen in Spielen und Künstlicher Intelligenz“) erstmals streng und mithilfe computergestützter Berechnungen, dass das Ergebnis des Brettspiels Gomoku kein Zufallsprodukt ist. Seine Untersuchungen ergaben, dass bei Anwendung der Standardregeln stets der Spieler mit dem ersten Zug gewinnt – vergleichbar mit einer bereits bestehenden Gewinnposition –, vorausgesetzt, beide Spieler agieren perfekt und fehlerfrei.¹

2001 bestätigten die Forscher Janos Wagner und Istvan Virag von der Eötvös-Loránd-Universität in Ungarn erneut, dass die zuerst ziehende Partei (Schwarz) auch dann gewinnt, wenn bestimmte Einschränkungen („verbotene Züge“) bestehen. In ihrer Studie *Note Solving Renju*² („Bemerkungen zur Lösung von Renju“) kamen sie zum Ergebnis, dass Schwarz trotz optimaler Verteidigungsstrategie von Weiß spätestens innerhalb von 47 Zügen unausweichlich gewinnt. Zudem stellten sie fest, dass sich die Gewinnchancen für Schwarz weiter erhöhen, wenn das Spielbrett von 15×15 auf 19×19 Felder erweitert wird.

Schon in der Antike wusste man, dass der Ausgang einer Gomoku-Partie häufig bereits in der Eröffnung entschieden wird. In historischen wie auch modernen Aufzeichnungen begegnet man daher einer Vielzahl klassischer Anfangsstellungen, darunter „Puyue“ (浦月), „Huayue“ (花月), „Meteor“ (流星), „Qiyue“ (丘月), „Wandering Star“ (游星) und

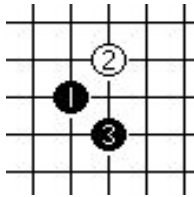
¹ Interessierte Leser können die Arbeit unter folgendem Link abrufen:

<https://project.dke.maastrichtuniversity.nl/games/files/phd/SearchingForSolutions.pdf>.

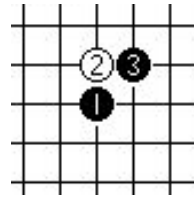
Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung hatten neuronale Netzwerke noch keinen bedeutenden Durchbruch erzielt, und Deep-Learning-Algorithmen existierten noch nicht. Ebenso fehlte Computern damals die Fähigkeit, menschlichen Alltagsverstand nachzuahmen. Inzwischen konnten diese Einschränkungen jedoch größtenteils überwunden werden.

² Vgl. http://www.sze.hu/~gtakacs/download/wagnervirag_2001.pdf

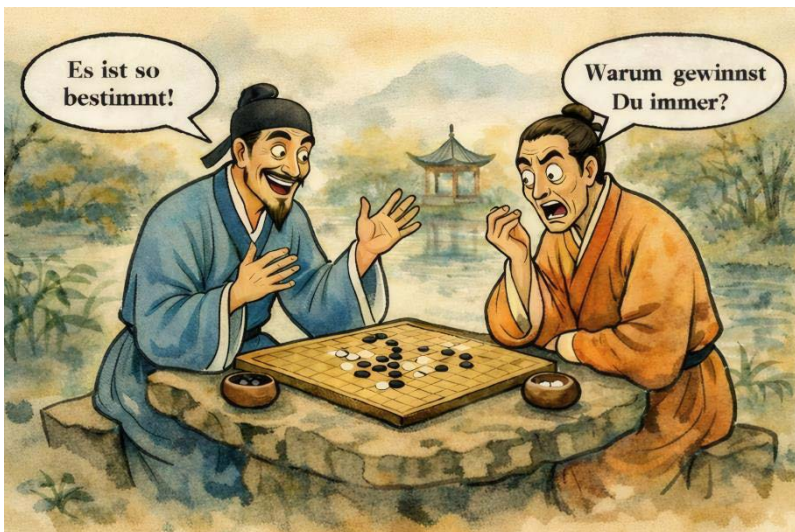
„Comet“ (慧星). Besonders die Eröffnungen „Puyue“ und „Huayue“ (siehe Abbildung unten) gelten heute als nahezu sichere Gewinnstrategien für Schwarz.



Puyue (浦月局)



Hanyue (花月局)



Ein KI-Bild: Das Go-Spiel

Auch das Spiel Go folgt im Grundsatz derselben Logik. Trotz seiner weit höheren Komplexität im Vergleich zu Gomoku gilt der Erstzugs-Vorteil auch hier als allgemein anerkannt. Der japanische Go-Meister

Honinbō Shūsaku¹ etwa blieb in der Edo-Zeit über Jahre hinweg ungeschlagen – stets als Schwarzspieler, also mit dem ersten Zug. Sein Erfolg deutet auf einen subtilen, aber strukturell verankerten Vorteil der schwarzen Steine hin.

Um diesen Vorteil auszugleichen, wurde später das sogenannte Komi-System eingeführt: Der nachziehende, mit Weiß spielende Gegner erhält einen Punktebonus als Kompensation.

1926 legte man in Japan erstmals fest, dass Schwarz dem Gegner einen halben Punkt zu gewähren habe; 1949 wurde der Wert auf 4,5 Punkte, 1955 auf 5,5 Punkte erhöht. In der heutigen Turnierpraxis – vor allem in China und Südkorea – beträgt der Komi-Wert in der Regel 7,5 Punkte. Und doch scheint Schwarz weiterhin einen leichten, kaum zu tilgenden strategischen Vorsprung zu besitzen. Bis heute bleibt die tatsächliche Tragweite dieses „Erstzugs-Vorteils“ ungeklärt – ein feines Gleichgewicht zwischen Logik und Unendlichkeit, und zugleich eines der faszinierendsten offenen Probleme der modernen Spieltheorie.

Das Zusammenspiel von Symmetrie und Asymmetrie

Es drängt sich die Frage auf: Weshalb gelingt es der zuerst ziehenden Partei im Go oder Gomoku bereits im Eröffnungszug eine sogenannte

¹ Honinbō Shūsaku (1829–1862), mit bürgerlichem Namen Kuwabara Torajirō, gilt als einer der bedeutendsten Go-Spieler der japanischen Geschichte. Er trat im Alter von elf Jahren der Honinbō-Schule bei, einer der führenden Go-Institutionen im damaligen Japan. Bereits in jungen Jahren zeigte er außergewöhnliches Talent und erlangte schnell den Ruf eines unbesiegbaren Schwarzspielers. Seine berühmte Serie von 19 Siegen in Folge gegen die besten Spieler seiner Zeit bei den sogenannten „Oshirogo“ (offiziellen Partien im Shōgunat) begründete seinen legendären Ruf. Shūsaku starb im Alter von nur 33 Jahren an Cholera, doch sein Stil und seine Spielphilosophie gelten bis heute als vorbildlich und werden noch immer studiert.

Gewinnposition einzunehmen, die den gesamten Spielverlauf prägt? Und worin liegt das Wesen dieser vorteilhaften Ausgangslage?

Die Antwort ist ebenso einfach wie grundlegend: Es ist die *Asymmetrie*, die den Unterschied macht. Zwar erscheint das Spielfeld vollkommen symmetrisch, und die Regeln gelten formal für beide Seiten in gleicher Weise – doch allein die Tatsache, dass immerhin ein Spieler den ersten Zug macht, reicht aus, um die Symmetrie nachhaltig zu verändern. Der Erstziehende übernimmt einen Vorteil, der im Extremfall zum alleinentscheidenden Faktor werden kann. Es zeigt sich hier ein fundamentaler Grundsatz: Symmetrie schafft Stabilität – Asymmetrie erzeugt Dynamik.

Ein treffendes Analogon findet sich im Boxsport: Ohne Gewichtsklassen wäre ein fairer Wettkampf unmöglich – ein Schwergewichtler könnte einen Leichtgewichtler mühelos dominieren. Die Einteilung nach Gewicht stellt sicher, dass beide Kontrahenten unter vergleichbaren Bedingungen antreten.

Überträgt man dieses Prinzip auf das Gomoku-Spiel, so zeigt sich: Würde man die Siegbedingung auf „vier Steine in einer Reihe“ herabsetzen, wäre das Spiel massiv zu Gunsten des Angreifers verzerrt; erhöhte man sie auf „sechs Steine“, hätte die Verteidigung den strukturellen Vorteil. Erst die klassische Regel „fünf in einer Reihe“ schafft eine fragile, aber funktionale Balance – ein fein abgestimmtes Gleichgewicht von Angriff und Verteidigung. Diese Regelgestaltung ist Ausdruck einer überlegten Regelvernunft, die sich durch Symmetrie auszeichnet.

„Regelvernunft“ offenbart sich – besonders in sozialen und spieltheoretischen Kontexten – als Symmetrie der Spielregeln: Alle Beteiligten sind denselben Gesetzen und Bedingungen unterworfen. Diese Gleichheit ist mehr als ein Ideal der Fairness – sie bildet das strukturelle Fundament, auf dem die Stabilität komplexer Systeme ruht.

Die Natur bietet eine Vielzahl eindrucksvoller Beispiele für diese stabilisierende Wirkung von Symmetrie: von der sechseckigen Struktur der

Schneeflocke, über die logarithmische Spirale einer Muschel bis hin zur genetischen Doppelhelix.

Doch Symmetrie prägt nicht nur die Formen der Natur, sondern auch gesellschaftliche Ordnungen und rechtliche Systeme. Sie schafft Ordnung, Vorhersagbarkeit und Wiedererkennbarkeit – Eigenschaften, die der menschlichen Wahrnehmung entgegenkommen. Es ist daher kaum verwunderlich, dass der Mensch eine instinktive Neigung zur Symmetrie entwickelt hat – als Ausdruck von Ästhetik, aber auch als Zeichen für Sicherheit und Berechenbarkeit.



Ein KI-Bild: Regelvernunft ist mehr als Fairness

Gleichwohl ist zu betonen: „Regelvernunft“ bedeutet nicht automatisch „Regelgerechtigkeit“. In vielen Systemen, die auf den ersten Blick als ungerecht erscheinen – etwa solchen, die einer Potenzverteilung oder einem „Matthäus-Prinzip“ folgen –, lässt sich dennoch eine tiefere Form dynamischer Ausgewogenheit erkennen. Auch formal asymmetrische Strukturen können durch funktionale Äquivalenz der Tauschbeziehungen

– etwa zwischen Ressourcen, Präferenzen oder Handlungsoptionen – eine stabile Ordnung erzeugen.

Ein Beispiel hierfür liefert die freie Marktwirtschaft: Ihre Ressourcenverteilung folgt häufig dem Matthäus-Effekt („Wer hat, dem wird mehr gegeben“), der auf den ersten Blick eine wachsende Ungleichheit impliziert. In Maßen kann diese Konzentration von Ressourcen die Effizienz steigern – etwa durch Skaleneffekte oder Innovationsanreize. Wird die Konzentration jedoch zu groß, führt sie zu Monopolisierung, sozialen Spannungen und letztlich zur Erosion des Systems. Das Ziel einer tragfähigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung besteht daher nicht in der vollständigen Nivellierung aller Unterschiede, sondern in der Aufrechterhaltung eines dynamischen Gleichgewichts zwischen Effizienz und Verteilungsgerechtigkeit – ein Gleichgewicht, das Stabilität ermöglicht, ohne Erstarrung zu erzeugen.

Analog zu einem Brettspiel, das nur dann fortbesteht, wenn die Spieler ebenbürtig sind, tendieren auch natürliche und gesellschaftliche Systeme zur Selbstdestabilisierung, sobald Symmetrie und Ausgleich verloren gehen.

In diesem Zusammenhang wird häufig der berühmte Satz zitiert: „Was existiert, ist vernünftig.“ Er wird gemeinhin dem deutschen Philosophen Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770–1831) zugeschrieben, jedoch nicht selten missverstanden – etwa als pauschale Legitimation des Bestehenden.

Doch Hegel's Gedanke ist weitaus differenzierter: Die Existenz eines Systems verweist nicht auf seine bloße Faktizität, sondern auf einen vernünftigen Entfaltungsprozess, in dem Widersprüche nicht verdrängt, sondern dialektisch aufgehoben und in eine höhere Ordnung überführt werden.

Mit anderen Worten: Die Stabilität der Welt beruht auf der strukturellen Vernünftigkeit ihrer Systeme – sei es im physikalischen, biologischen

oder gesellschaftlichen Bereich. Und eben diese Vernünftigkeit zeigt sich immer wieder in der Symmetrie der zugrundeliegenden Regeln: als Ausdruck von Gleichgewicht, Ausgleich und nachhaltiger Ordnung.

Gerade in der Physik ist Symmetrie ein zentraler Begriff. Sie bezeichnet die Eigenschaft eines Systems, die unter bestimmten Transformationen unverändert bleibt. Im konkreten Sinn bedeutet das: Wenn man ein System z. B. im Raum verschiebt, in der Zeit weiterlaufen lässt oder es spiegelt – und seine grundlegenden Naturgesetze oder Eigenschaften dabei gleich bleiben, dann spricht man von einer Symmetrie des Systems.

Kurz gesagt, Symmetrie bleibt erhalten, wenn sich die Beobachtungsperspektive oder der Bezugsrahmen ändert.

Im Spiel Go bezeichnet der Begriff „Spiegel-Go“ (模仿棋, auch „Imitations-Go“) eine besondere Eröffnungsstrategie, die auf dem Prinzip der Symmetrie beruht. Dabei imitiert eine Seite – zumeist Weiß – Zug um Zug die Positionen der gegnerischen Steine, meist der schwarzen, und spiegelt deren Platzierungen relativ zur Mitte des Brettes. Das Zentrum, der sogenannte Sternpunkt, dient dabei als Achse der Spiegelung. Setzt Schwarz etwa auf den Sternpunkt in der rechten oberen Ecke, antwortet Weiß mit einem Zug auf dem entsprechenden Punkt der linken unteren Ecke. Wird diese Strategie konsequent verfolgt, entsteht ein nahezu perfekt symmetrisches Brettbild.

Doch gerade in dieser Symmetrie offenbart sich ein fundamentaler Aspekt: Die strukturelle Asymmetrie des Spiels wird durch die Anwendung symmetrischer Strategien *nicht* aufgehoben – sie tritt vielmehr noch deutlicher zutage. So kann selbst eine augenscheinlich faire Imitationsstrategie an den inhärenten Ungleichgewichten des Spiels scheitern, etwa am Vorteil des ersten Zuges (执黑先行, Schwarz) oder der Kompensationsregel (贴目, Komi) zugunsten von Weiß.

Daraus lässt sich die Einsicht ableiten: Die Asymmetrie in den Anfangsbedingungen und in der Regelgestaltung eines Systems beeinflusst maßgeblich dessen Entwicklung und Ergebnis.

Was sind Regeln wirklich?

Go ist ein hochstrukturiertes, komplexes System strategischer Entscheidungsfindung. Die begrenzte Größe des Brettes markiert die räumlichen Grenzen des Systems; das abwechselnde Setzen einzelner Steine spiegelt eine sequentielle Symmetrie; die „Ko“ (劫争) -Regel verhindert endlose Wiederholungen; und die Festlegung der „Komi“ (贴目) -Regel stellt einen bewussten Ausgleich für die unvermeidliche Anfangsasymmetrie dar. Diese Regeln sind keine willkürlichen Entscheidungen der Spieler, sondern bilden das konstitutive Gerüst des gesamten Spiels. Go existiert nicht durch das Handeln der Spieler, sondern durch die Zusammensetzung seiner Regeln – Die Regeln bilden das Go-System.

Diese Struktur legt einen weitreichenden Gedanken nahe: Ein System ist im Kern eine Komposition von Regeln. Doch was sind Regeln wirklich? Im Alltagsverständnis gelten sie als Übereinkunft zur Verhaltenslenkung.

Aus Sicht der Informationstheorie und der modernen Physik jedoch sind Regeln wirkungsvolle Informationsstrukturen. Jede Regel trägt in sich eine normative Instruktion – ein „So soll es sein“. Sie beschränkt nicht nur, sie lenkt und strukturiert. In dieser Perspektive erscheinen Regeln nicht als bloße Beschränkungen, sondern als schöpferische Instanzen: Aus der Vielzahl möglicher Zustände selektieren sie jene, die einer geordneten Entwicklung zuträglich sind.

Information wiederum ist nicht nur ein Medium der Kommunikation – sie ist materiell und besitzt physikalische Realität. Das Landauer-

Prinzip¹ besagt: *Das Löschen eines einzelnen Bits Information geht zwangsläufig mit Energieverbrauch und einer Zunahme an Entropie einher.* Informationsverarbeitung ist also niemals kostenfrei, sie ist thermodynamisch relevant. Daraus ergibt sich eine tiefgreifende Einsicht: die Organisation der Information bestimmt, wie Energie eingesetzt wird, wie Ordnung entsteht – nicht umgekehrt.

Das Spiel Go veranschaulicht diesen Zusammenhang auf eindrucksvolle Weise. Zu Beginn ist das Brett leer – obwohl es nichts bedeutet, ist sein Zustand der ungenutzten Möglichkeiten entsprechend der maximaler Entropie und voller Ungewissheit. Mit jedem gesetzten Stein reduziert sich diese Unsicherheit: Jede Spielhandlung ist eine bewusste Formgebung von Information – ein Eingriff in die Möglichkeit des Systems selbst. Schritt für Schritt entsteht Struktur – das Spiel bewegt sich von Unordnung zu Ordnung, von reiner Möglichkeit zu gestalteter Form.

Damit zeigt sich ein grundlegendes Prinzip: Regeln sind die Gestalt, in der Information an die Grenzen eines Systems tritt. Information ist die ursprüngliche Kraft, aus der Ordnung erwächst, und das System selbst ist das schöpferische Zusammenwirken von Regel und Information.

¹ Das Landauer-Prinzip wurde 1961 von dem Physiker Rolf Landauer (1927–1999) formuliert. Landauer emigrierte in den 1930er Jahren aus Deutschland in die USA und wirkte später als führender Wissenschaftler bei IBM, wo er grundlegende Beiträge zur Theorie der Informationsverarbeitung und zur Physik von Rechenprozessen leistete. Das nach ihm benannte Prinzip besagt, dass die Löschung eines Bits Information in einem physikalischen System mit einem unvermeidbaren Energieverlust verbunden ist – mindestens in Höhe von $kT \ln 2$, wobei k die Boltzmann-Konstante und T die absolute Temperatur ist. Damit wird deutlich: Information ist nicht immateriell, sondern an physikalische Prozesse gebunden. Das Landauer-Prinzip markiert einen fundamentalen Schnittpunkt zwischen Thermodynamik, Informatik und Physik – und stellt klar, dass Informationsverarbeitung energetisch nie kostenlos ist. Es gilt heute als Eckpfeiler der modernen Informationstheorie und spielt eine zentrale Rolle beim Verständnis physikalischer Grenzen von Berechnung, insbesondere im Kontext von reversibler Informatik und Quantencomputing.

Go, als komplexer strategischer Raum, bietet uns ein klares, sinnfälliges Modell für diese Dynamik. Es zeigt: Nicht äußere Zufälle, sondern die innere Ordnung der Regeln und der Informationsstrukturen lenken den Verlauf eines Systems.

Kapitel 2

Joseki

*„Josekis sind nicht dazu da, auswendig gelernt zu werden,
sondern geschaffen zu werden.“*

– Toshirō Kageyama, „Lessons in the Fundamentals of Go“¹

¹ Toshirō Kageyama (jap. 影山利郎; 1926 - 1990) war ein professioneller Go-Spieler. Er gewann 1948 das größte japanische Amateurturnier („All-Japan Amateur Honinbo“) und wurde 1949 Profi. Bekannt wurde er im Westen vor allem durch sein Buch *Lessons in the Fundamentals of Go*, in dem er fundamentale Prinzipien des Spiels – etwa über „Joseki“ – vermittelt.

San-san, der Sternpunkt und das Zentrum

Im Go gibt es eine bekannte Grundregel: „Goldene Ecken, silberne Seiten – und in der Mitte nur karges Gras.“ Gemeint ist damit die klassische Raumstrategie: In der Eröffnungsphase streben beide Spieler zunächst die sichere Kontrolle der Ecken an, dann die Seiten, und erst zuletzt – wenn überhaupt – das offene Zentrum. Denn wer in der Mitte beginnt, ist von allen Seiten angreifbar und hat kaum Halt. Erfahrene Spieler stützen sich daher auf die Stärke der Ecken und Seiten, um sich gesichertes Territorium zu schaffen.

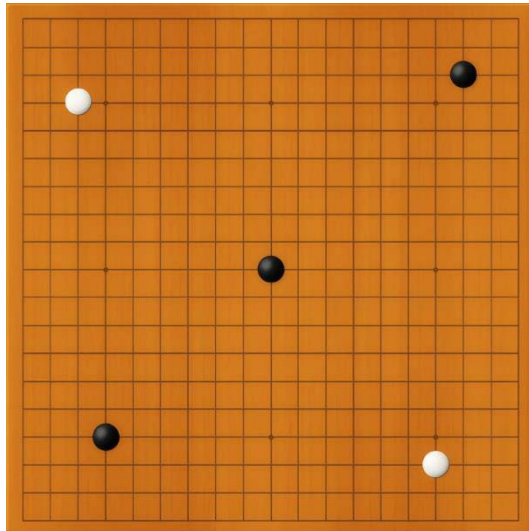
Doch im Lauf der Go-Geschichte fanden sich immer wieder Stimmen, die diese überlieferte Praxis bewusst in Frage stellten. Eine der bekanntesten Partien der neueren Go-Geschichte fand zwischen dem legendären Wu Qingyuan (吴清源),¹ dem „Heiligen des Go“, und dem berühmten Meijin Shūsai² (本因坊秀哉) statt.

¹ Wu Qingyuan (吴清源, 1909–2014), international besser bekannt unter seinem japanischen Namen Go Seigen, gilt als einer der bedeutendsten Go-Spieler des 20. Jahrhunderts – vielfach sogar als der größte Spieler aller Zeiten. Geboren in Fuzhou, China, wanderte er in jungen Jahren nach Japan aus, wo er zur prägenden Figur der modernen Go-Geschichte wurde. In den 1930er bis 1950er Jahren dominierte er das professionelle Go und revolutionierte mit seinem visionären, dynamischen Stil die Strategie des Spiels. Besonders einflussreich waren seine unorthodoxen Eröffnungsvarianten (Shinfuseki), mit denen er traditionelle Muster aufbrach und neue strategische Horizonte eröffnete. Go Seigens Spielauffassung verband außergewöhnliche Intuition mit mathematischer Klarheit – sein Wirken wirkt bis heute in Theorie und Praxis des Go nach.

² Hon'inbō Shūsai (本因坊秀哉, 1874–1940) war der letzte offizielle Träger des Titels Meijin im traditionellen japanischen Go-System und zugleich der letzte Oberhaupt der berühmten Hon'inbō-Schule. Er verkörpert die Übergangszeit vom feudalen, meisterzentrierten Go hin zum modernen Turnierwesen. Als Spieler war er berühmt für sein tiefes strategisches Verständnis und sein ruhiges, kontrolliertes Spiel. Seine bekannteste Partie ist das Duell von 1933 gegen Wu Qingyuan (Go Seigen), das in die Go-Geschichte einging – nicht nur wegen der Qualität des Spiels, sondern auch aufgrund seiner symbolischen

In dieser Partie wählte Wu ein höchst unkonventionelles Eröffnungsschema: San-san (3-3), der Sternpunkt (星, Hoshi) und das Zentrum (天元, Tengen).

Der San-san-Punkt liegt tief in der Ecke des Brettes. Er gilt als sicherer Zufluchtsort – fest, beständig, schwer zu erobern –, doch seine Verbindung zu äußeren Strukturen bleibt begrenzt. Der Sternpunkt dagegen rückt weiter ins Feld hinaus: Er eröffnet weite Perspektiven, ist aber verletzlich, wenn er nicht rechtzeitig in ein größeres Gefüge eingebunden wird. Am kühnsten schließlich ist der Tengen, das Zentrum des Brettes. Er sucht Einfluss in einem Raum, der von Natur aus am ungeschütztsten ist – offen, angreifbar, schwer zu behaupten –, und verkörpert damit den Versuch, Ordnung im Herzen der Ungewissheit zu schaffen.



Die GO-Eröffnung: San-san, der Sternpunkt und das Zentrum

Bedeutung als Konfrontation von Tradition und Aufbruch. Shūsai gewann die Partie nach einem langen, komplexen Verlauf, doch es war zugleich ein letzter Sieg der alten Schule in einer sich rasch wandelnden Go-Welt.

Diese ungewöhnliche Eröffnung wich deutlich von den traditionellen Mustern wie dem Kommoku (小目, kleiner Stern, 4-3) ab.

Wu Qingyuan wandte dieses unkonventionelle Eröffnungsschema an – und unterlag. Im Rückblick äußerte er sich bemerkenswert offen: „Tengen ist keine ideale Ausgangsposition – ihre Beherrschung ist äußerst anspruchsvoll.“

Die klassische Go-Eröffnungsweise hat ihre Berechtigung. Verfügt ein Spieler über das notwendige Können und strategische Gespür, so vermag er mit bewährten Mustern wie dem Kommoku (4-3-Punkt) eine stabile strukturelle Überlegenheit aufzubauen – und diesen Vorsprung im weiteren Verlauf des Spiels gezielt in einen Sieg zu überführen.

Joseki, Festsetzung der optimalen Handlungsbahn

Sobald im Go-Spiel die Eröffnungsaufstellung festgelegt ist, lässt sich das Kräfteverhältnis der beiden Seiten nur schwer verändern. Daher orientieren sich die Spieler meist an den sogenannten „Joseki“ (定式, oder Dingshi) – jenen standardisierten Zugfolgen, die auf der kollektiven Erfahrung unzähliger Partien beruhen und von beiden Seiten als optimal anerkannt sind.¹ Sie dienen nicht allein der Routine, sondern vor allem der Erhöhung der Gewinnwahrscheinlichkeit.

¹Der Begriff „Joseki“ (chinesisch 定式, Dingshi, auch bekannt im Japanischen als じょうせき) lässt sich nach der Definition der Wikipedia als eine „festgelegte Abfolge von Zügen im Go-Spiel“ beschreiben, die sich im Laufe der Zeit durch die Erfahrung zahlreicher Spieler herausgebildet hat und von beiden Seiten unter bestimmten Spielsituationen üblicherweise befolgt wird.

Im Englischen gibt es keinen exakten Begriff, der dieser Bedeutung entspricht. Mitunter wird „Joseki“ mit algorithm (Algorithmus) übersetzt – doch ist diese Gleichsetzung unzutreffend. Ein Algorithmus beschreibt eine formal-logische Rechenvorschrift, während

Ein Spieler, der seine Züge auf bewährte „Joseki“ stützt, verteidigt oder greift meist weit wirksamer an, als wenn er spontan improvisiert. Zwar können ungewöhnliche Eröffnungen gelegentlich Überraschungserfolge bringen, doch gelingt es ihnen selten, sich als dauerhafte Strategie durchzusetzen. Die „Joseki“ hingegen bündeln das praktische Wissen und die taktische Einsicht zahlloser Spieler und bilden so die verlässlichste Grundlage, um komplexe Spielsituationen zu meistern.

Für den professionellen Go-Spieler gilt die Beherrschung der „Joseki“ als grundlegende Fertigkeit: Das Auswendiglernen und tiefere Verständnis dieser Zugfolgen steigert nicht nur die Spielstärke, sondern ermöglicht auch schnelle Anpassungsfähigkeit im Wettkampf und schützt davor, in eine defensive Lage zu geraten.

Ebenso wie das Go-Spiel verfügt auch das westliche Schach über ein systematisches Repertoire sogenannter „Eröffnungsbücher“ (Opening Books), in denen die strategisch günstigsten Anfangszüge gesammelt sind. Diese systematische Erfassung spiegelt eine Einsicht wider, dass im komplexen Gefüge eines Spiels der erste Impuls oft über den Verlauf – und nicht selten über den Ausgang – der Partie entscheidet..

Bereits in der Mitte des 20. Jahrhunderts schätzte der Begründer der Informationstheorie, der amerikanische Mathematiker Claude Elwood

„Joseki“ eine erprobte, erfahrungsbasierte Handlungsform darstellt, die sich aus kollektiver Praxis heraus gebildet hat.

Ein bekanntes Beispiel von „Joseki“ ist der Zauberwürfel (Rubik’s Cube). Ein klassischer $3 \times 3 \times 3$ -Würfel besitzt sechs Flächen mit jeweils neun Feldern, was zu insgesamt etwa 43×10^{18} möglichen Farbkonfigurationen führt. Um den gesamten Würfel auf allen sechs Ebenen jeweils gleicher Farbe zu kriegen, bedarf es bestimmter Algorithmusreihen oder „Formeln“, die in der Spielergemeinschaft tradiert werden – insgesamt sind 22 solcher Lösungsfolgen für den dreistufigen Würfel erforderlich.

Insgesamt bezeichnet „Joseki“ somit nicht bloß eine feste Regel, sondern ein verdichtetes Wissen um erprobte Wege des Handelns, das zwischen Regelhaftigkeit und Kreativität vermittelt – ein Prinzip, das weit über das Go-Spiel hinausreicht.

Shannon (1916–2001), die Komplexität des Schachs ab. Er gelangte zu einer atemberaubenden Zahl – rund 10^{120} mögliche Spielverläufe –, die seither als die berühmte „Shannon-Zahl“ bekannt ist.¹ Trotz dieser unvorstellbaren Vielfalt formulierte Shannon eine bemerkenswert Einsicht:

Stünden sich zwei vollkommene Schachgenies gegenüber, so könnte ihr „Dialog“ am Spielbrett nur drei mögliche Verläufe kennen:

- Spieler A sagt: „Ich gebe auf.“
- Spieler B sagt: „Ich gebe auf.“
- Spieler A sagt: „Remis.“ – und Spieler B antwortet: „Einverstanden.“



Ein KI-Bild

¹ Claude Elwood Shannon (30. April 1916 – 24. Februar 2001) war ein US-amerikanischer Mathematiker und gilt als der Begründer der Informationstheorie. Er übertrug den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik auf den Bereich der Informationswissenschaften und führte dabei den fundamentalen Begriff der Informationsentropie ein, der seither als Maß für die Unbestimmtheit oder den Informationsgehalt eines Systems gilt.

Wenn alle Ausgänge eines Spiels vollständig beherrscht und vorausberechnet werden könnten, dann wäre Sieg oder Niederlage bereits im Moment der Eröffnung entschieden. Der weitere Verlauf der Partie wäre nichts anderes als eine logische Ableitung innerhalb der gegebenen Regeln.

Was man traditionell als „Joseki“ (定式) bezeichnet, lässt sich im Grunde als jene optimale Handlungsbahn begreifen, die aus einem komplexen System herausdestilliert wurde – diejenige, die bei minimalem Aufwand den bestmöglichen Effekt erzielt.

Das Entstehen solcher „Joseki“ ersetzte frühere, primitive Suchmethoden, vor allem die sogenannte „Brute-Force-Suche“ – also das vollständige Durchprobieren sämtlicher Möglichkeiten.¹ Diese Methode ist gedanklich einfach und direkt: Man listet alle Optionen auf und testet sie nacheinander. Ihr Vorteil liegt in ihrer Vollständigkeit – sie übersieht keine mögliche Lösung und verpasst somit auch nicht das globale Optimum.

In der praktischen Anwendung ist ein solches Vorgehen weder notwendig noch effizient, denn viele scheinbar komplexe Strategien wiederholen sich in der gleichen Struktur und lassen sich ausschließen, sodass nur ein vergleichsweise kleiner Teil wirklich relevanter Optionen übrig bleibt.

¹ Der Baumsuchalgorithmus ist eine Form der Brute-Force-Methode (vollständigen Enumeration). Bei einer solchen Baumsuche durchläuft der Algorithmus systematisch alle möglichen Lösungsräume, bis entweder die optimale Lösung gefunden oder sämtliche Optionen erschöpft sind.

Da die Anzahl der möglichen Zustände mit jeder Entscheidung exponentiell wächst, ist die Zeitkomplexität dieser Methode in der Regel exponentiell. Dennoch kann sie in bestimmten Anwendungsfällen – insbesondere in Spiel- und Entscheidungsproblemen – äußerst wirksam sein.