

Plan und Zufall

Über die Notwendigkeit des Erkundens und die gegenseitige Bedingtheit von Exploration und Determination

Ein erkenntnistheoretischer und wissenschaftsphilosophischer Essay

Auf der Grundlage der Wiki-Artikel *Explorative Systeme* und *Plan und Zufall*
(technikundkultur.de) | April 2026

*Macht nur Pläne! Sie werden vereitelt.
Was ihr auch sagt, es kommt nicht zustande ...
— Jesaja 8,10*

I. Das Paradox des Plans

Der Plan gilt in der modernen Industriegesellschaft als Inbegriff rationaler Vernunft. Kein Ingenieurbau ohne Statik, kein Unternehmen ohne Strategie, kein wissenschaftliches Experiment ohne Versuchsdesign. Das Planen – die antizipative Modellierung der Zukunft im Geist, bevor die Hand sich bewegt – erscheint als das ureigenste Merkmal menschlicher Kognition. Und doch steckt in ihm ein tief verwurzeltes Paradox, das weder die Technik- noch die Erkenntnisphilosophie bisher vollständig aufgelöst hat: Ein Plan setzt voraus, was er erst erzeugen soll – nämlich Wissen über eine Zukunft, die noch nicht existiert.

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts hat die Naturwissenschaft an den Fundamenten des deterministischen Weltbildes gerüttelt. Maxwells abstrakte Felder, Plancks Quantentheorie, Heisenbergs Unschärferelation und schließlich Gödels Unvollständigkeitssatz haben eines nach dem anderen gezeigt: Die Wirklichkeit entzieht sich der lückenlosen Berechenbarkeit. Es gibt Bereiche, die nicht durch mangelndes Wissen, sondern aus prinzipiellen Gründen dem Determinismus unzugänglich bleiben. Diese epistemischen Grenzen sind nicht vorläufige Defizite, die eine klügere Theorie eines Tages schließen wird – sie sind strukturelle Merkmale der Realität selbst.

Dieser Essay untersucht, was aus diesen Grenzen für unser Verhältnis zum Planen folgt. Er argumentiert, dass der Zufall keine defiziente Form des Wissens darstellt, sondern eine epistemisch notwendige Kategorie – und dass zufälliges Erkunden (Exploration) und deterministisches Planen keine Gegensätze, sondern wechselseitig aufeinander angewiesene Prinzipien des Erkennens und Handelns sind.

II. Die Grenzen des deterministischen Planens

Komplexität als epistemische Schranke

Der klassische Determinismus – in seiner reinsten Form bei Laplace formuliert – behauptet, dass ein allwissender Geist aus dem Zustand aller Teilchen im Universum zu einem Zeitpunkt die gesamte zukünftige Geschichte berechnen könnte. Dieses Bild ist in zweifacher Hinsicht gescheitert: physikalisch und epistemisch.

Physikalisch zeigt Heisenbergs Unschärferelation, dass der genaue gleichzeitige Zustand eines Quantenobjekts hinsichtlich Ort und Impuls prinzipiell unbestimmbar ist. Ob etwas da ist oder nicht, wird – auf der Ebene des Allerkleinsten – eine Frage der Wahrscheinlichkeit, nicht des Wissens. Damit verliert schon das physikalische Fundament des Laplace'schen Dämons seinen festen Boden.

Epistemisch verweist das Billardkugel-Argument auf eine praktische Unberechenbarkeit: Wer die Bahn einer angestoßenen Kugel über tausend Banden berechnen wollte, müsste die Gravitationswirkung jedes Elektrons im Raum einbeziehen – doch genau dort steht die Quantenphysik als unüberwindliche Schranke. Auf gesellschaftliche Abläufe übertragen, hat man es mit Millionen solcher Billardkugelprobleme zu tun. Eine exakte Beschreibung ist strukturell ausgeschlossen.

Hinzu kommt, was Stephen Wolfram unter dem Begriff der *computational irreducibility* beschreibt: Bestimmte Systeme, obwohl streng deterministisch, lassen sich algorithmisch nicht abkürzen. Es gibt keinen schnelleren Weg, ihren Zustand zu ermitteln, als das System Schritt für Schritt zu verfolgen. Kein Modell kann das System „überholen“. Wer selbst Teil eines solchen Systems ist, kann Freiheit und Determiniertheit nicht unterscheiden – eine These, die den freien Willen nicht widerlegt, sondern ihn in einem neuen, faszinierenden Licht erscheinen lässt.

Gödels Lücke und die Grenzen formaler Systeme

Kurt Gödel hat 1931 bewiesen, dass jedes hinreichend mächtige formale System Aussagen enthält, die innerhalb des Systems selbst nicht beweisbar sind. Damit ist die Vorstellung einer in sich geschlossenen, lückenlosen Logik endgültig widerlegt. Auch die Mathematik, jene vermeintlich sicherste aller Erkenntnisformen, ist kein vollständiges Gebäude ohne Fundamentrisse. Der Planentwurf, der sich auf mathematische Vollständigkeit beruft, steht auf einem Boden, dessen Festigkeit von innen nicht garantiert werden kann.

Diese Einsichten sind keine akademischen Kuriositäten. Sie betreffen fundamental die Frage der Planbarkeit komplexer Zukunft – von gesellschaftlichen Entwicklungen bis hin zu ökologischen Systemen. Wer die Zukunft planen will, muss sie kennen; wer sie kennen will, muss vollständige Information über ein prinzipiell nicht vollständig erfassbares System haben. Der Plan beißt sich in den eigenen Schwanz.

III. Das explorative Prinzip: Zufall als Methode

Exploration in der Natur

Die Natur kennt das Problem des allwissenden Planers nicht – und löst es dennoch. Ihr Instrument ist das explorative System: Biologische Strukturen bilden sich, ohne dass eine externe Instruktion notwendig wäre. Eine Nervenzelle pflanzt ihr Axon durch den Körper fort, bis sie auf den Muskel stößt, der den passenden Signalstoff aussendet. Eine Ameise bewegt sich auf einem Zickzack-Weg, bis sie Futter findet. Die Sonnenblume nutzt das sogenannte Circumnutation – ein leicht verrauschtes Kreisbewegungsmuster –, um Lichtquellen zu orten und Beschattung zu umgehen.

Diese Systeme sind nicht planlos im Sinne von beliebig. Ihnen liegt stets ein stabiler, deterministischer Prozess zugrunde – die biochemische Grundausstattung, die physikalischen Gesetze, die Grammatik des genetischen Codes. Über diesen deterministischen Rahmen legt sich ein zweites Prinzip: ein suchendes, zufälliges Abtasten der Umgebung. Erst diese Kombination macht das System explorativ. Der Zufall ist hier kein Fehler im System, sondern seine eigentliche Stärke.

Auf molekularer Ebene wird dies besonders eindrücklich: Die Selbstorganisation von Proteinen kann ohne die zufälligen Bewegungen der umgebenden Wassermoleküle nicht verstanden werden. Diese thermischen Fluktuationen erlauben es den Proteinen, ihre Umgebung zu „ertasten“ und ohne Kenntnis dieser Umgebung deren Regeln zu erfassen. Der Zufall ist hier die Bedingung der Möglichkeit von Lernen – ein erster, winziger Schritt in Richtung Bewusstsein.

Evolution als epistemisches Paradigma

Charles Darwin hat mit dem Prinzip der Evolution ein Modell vorgelegt, das die unendliche Fülle des Lebendigen ohne Planer erklärbar macht. Die Natur denkt kein System in allen Details voraus, um es dann zu realisieren. Stattdessen variiert sie ein System in minimalen, zufälligen Schritten im Rahmen der naturgesetzlichen Gegebenheiten und setzt es der Wirklichkeit aus. Besteht es – existiert es trotz der Veränderung weiter –, wird der Vorgang fortgesetzt. Abweichungen sind in diesem Paradigma nicht zwangsläufig Fehler, sondern Chancen auf eine neue, nützliche Eigenschaft. *It's not a bug – it's a feature.*

Das Darwinische Modell ist nicht nur biologisch bedeutsam. Es ist ein erkenntnistheoretisches Paradigma: Es zeigt, dass höchste Komplexität und adaptive Präzision ohne zentralen Entwurf entstehen können – durch die systematische Nutzung des Zufalls unter stabilen Regeln. Karl Popper hat Ähnliches für die Wissenschaft selbst formuliert: Erkenntnis wächst nicht durch Verifikation vorhandener Pläne, sondern durch mutige Hypothesen, die der Falsifikation ausgesetzt werden – ein explorativer Prozess par excellence.

IV. Das Spiel als erkenntnistheoretische Kategorie

Die menschliche Entwicklung illustriert das explorative Prinzip in seiner reinsten Form. Die Kindheit ist in biologischer Hinsicht eine Phase intensiver Exploration: Im Spiel erkundet das Kind seine Umwelt so, wie sie ist – nicht wie sie einem Plan zufolge sein sollte. Die Kognitionswissenschaftlerin Alison Gopnik argumentiert überzeugend, dass diese explorative Phase keine bloße Vorstufe zum Erwachsenendenken darstellt, sondern dessen unverzichtbare Bedingung. Das spielende Kind ist in gewissem Sinne der bessere Wissenschaftler: Es testet Hypothesen intuitiv, ohne an einem vorab

fixierten Ergebnis zu hängen.

Statt den Menschen voranzuplanen – was angesichts einer sich ständig verändernden Umgebung gar nicht möglich wäre –, stattet die Natur ihn mit der Fähigkeit aus, diese Umgebung zu erkunden und sich auf sie einzustellen. Der Mensch ist, erkenntnistheoretisch gesprochen, ein exploratives System höchster Komplexität. Er ist nicht das Produkt eines Plans, sondern das Ergebnis eines Prozesses.

Diese Einsicht hat weitreichende Konsequenzen für Bildung, Organisation und Wissenschaftspraxis. Ein Bildungssystem, das ausschließlich auf die Vermittlung vorhandenen Wissens setzt und Exploration unterdrückt, beraubt sich genau jener Kapazität, die Wissen in der Begegnung mit einer unbekanntem Zukunft erst erzeugbar macht. Das Spiel ist kein Luxus – es ist eine epistemische Notwendigkeit.

V. Die gegenseitige Bedingtheit: Warum keines ohne das andere auskommt

Exploration ohne Determination ist beliebig

Ein System, das nur zufällig operiert, ohne deterministische Rahmenbedingungen, ist kein exploratives System – es ist Rauschen. Der Zufall allein erzeugt keine Information, keine Struktur, kein Wissen. Die zufälligen Schritte des Axons funktionieren nur, weil das Neuron über hochgradig deterministische biochemische Protokolle verfügt, die es befähigen, auf das richtige Signal zu reagieren. Die Ameise sucht zufällig – aber sie erkennt Futter deterministisch. Die Evolution variiert zufällig – aber die Selektion ist streng.

Dieses Prinzip findet sich auch in der modernen Künstlichen Intelligenz wieder. Diffusionsmodelle – jene Klasse von KI-Systemen, die beeindruckende Bilder und Videos erzeugen – funktionieren, indem sie Trainingsdaten mit quasizufälligem Rauschen überlagern und das System darauf trainieren, dieses Rauschen herauszufiltern. Der Zufall ist hier konstitutiv für die Lernfähigkeit des Systems – aber er operiert innerhalb streng deterministischer mathematischer Methoden. Kein Rauschen, kein Lernen. Kein Determinismus, kein Ergebnis.

Determination ohne Exploration ist fragil

Umgekehrt ist ein System, das ausschließlich nach Plan operiert, in seiner Robustheit fundamental begrenzt. Ein Unternehmen, in dem alle Abläufe streng geregelt sind, mag in einer stabilen Umgebung effizient funktionieren – es ist aber hochgradig anfällig gegenüber unvorhergesehenen Ereignissen. Die Krise von 2008/2009 hat gezeigt, dass auch systemrelevante Giganten nicht gegen Ereignisse gefeit sind, die

außerhalb ihres Planungshorizonts lagen.

Nassim Nicholas Taleb hat dieses Phänomen unter dem Begriff des „Schwarzen Schwans“ popularisiert: hochgradig unwahrscheinliche Ereignisse mit massiven Konsequenzen, die von rein deterministischen Modellen systematisch ignoriert werden. Ein Plan ist nur erfolgreich, wenn das Glück vor eben diesen unvorhergesehenen Ereignissen schützt. Ein exploratives System hingegen kann auf sie reagieren – nicht weil es sie vorausgesehen hätte, sondern weil es mit Freiheitsgraden ausgestattet ist, die Anpassung ermöglichen.

Emergenz als Synthese

Das entscheidende Scharnier zwischen beiden Prinzipien ist der Begriff der Emergenz. Emergente Eigenschaften sind solche, die aus dem Zusammenspiel vieler Teile entstehen und auf der Ebene der Teile selbst nicht vorhersagbar sind. Sie setzen voraus, dass die Teile deterministischen Regeln folgen – und dass ihre Wechselwirkungen ausreichend Freiheitsgrade besitzen, um Neues hervorzubringen.

Wolframs Konzept der *computational irreducibility* zeigt, dass selbst vollständig deterministische Systeme emergente Eigenschaften aufweisen können, die sich jeder Vorhersage entziehen – nicht wegen fehlenden Wissens, sondern wegen der Struktur der Berechnung selbst. Das emergente System ist weder rein deterministisch beherrschbar noch rein zufällig – es ist beides zugleich. Die Unterscheidung kollabiert in der Praxis komplexer Systeme.

Für die Wissenschaftsphilosophie ergibt sich daraus eine zentrale Konsequenz: Erkenntnis über komplexe Systeme ist nicht durch reine Deduktion aus Prinzipien möglich – sie erfordert das explorative Moment. Theorie und Experiment, Plan und Zufall, Hypothese und überraschender Befund sind keine Schwächen des wissenschaftlichen Prozesses – sie sind seine Stärke.

VI. Schluss: Vom Mut zur Unvollständigkeit

Die hier entwickelte Argumentation läuft auf eine epistemische Grundhaltung hinaus, die sich von der technokratischen Planungseuphorie ebenso distanziert wie vom resignierten Beliebigkeitsrelativismus. Sie lautet: Plane – aber plane die richtigen Freiheitsgrade ein. Erkunde – aber erkunde innerhalb eines stabilen Rahmens. Betrachte Abweichungen nicht als Fehler, sondern als Daten.

Die Natur hat diese Doppelstrategie über Milliarden Jahre optimiert. Leben ist, auf seiner grundlegendsten molekularen Ebene, die Kombination des zufälligen Suchens mit den harten, deterministischen Regeln der Physik. Intelligenz – ob biologisch oder künstlich – entsteht nicht trotz des Zufalls, sondern mithilfe des Zufalls. Der Zufall ist

kein Gegner des Verstehens. Er ist sein Komplize.

Wer diese Einsicht ernst nimmt, wird die Hybris des allmächtigen Planers aufgeben müssen – und an seine Stelle eine bescheidenere, robustere Haltung setzen: die Bereitschaft, nicht alles wissen zu können, und gerade deshalb explorativ zu bleiben. Das ist keine Schwäche des Denkens. Es ist seine reifste Form.

*Ja, mach nur einen Plan / sei nur ein großes Licht! / Und mach dann
noch ■nen zweiten Plan / gehn tun sie beide nicht.
— Bertolt Brecht, Lied von der Unzulänglichkeit menschlichen Strebens*

Quellengrundlage

Dieser Essay basiert auf den Wiki-Einträgen *Explorative Systeme* und *Plan und Zufall* von technikundkultur.de sowie auf den darin zitierten wissenschaftlichen und philosophischen Quellen (Darwin, Heisenberg, Gödel, Wolfram, Taleb, Gopnik, Nguyen et al. 2024).

Weiterführend: Alison Gopnik – Vortrag über Spiel, Lernen und KI (YouTube); Stuart Kauffman – Warum sich das Leben jeder Berechenbarkeit entzieht (YouTube); Chantal Nguyen et al., *Noisy Circumnutations Facilitate Self-Organized Shade Avoidance in Sunflowers*, Physical Review X 14 (2024).