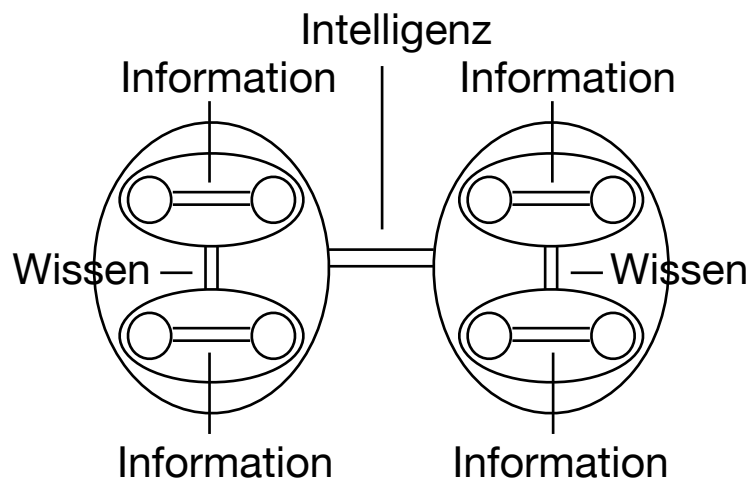


Information, Wissen und Intelligenz



Essay



Friedrich Sösemann
Tübingen 2025

Gewidmet meinen
grossen Vorbildern:

**Georg Klaus,
Karl Steinbuch,
Niklaus Wirth,
Stephen Wolfram.**

.

Inhalt	Seite
Prolog	4
Ziel	4
Autor	7
Inhalte	9
Welt	10
Meta-Ontologie	10
Ontologie	12
Wirkung	14
Information	15
Vielfalt	16
Informations-Maß	17
Komplexität	21
Wissen	22
Subjekt	22
Lernen	24
Wahrheit	24
Wissens-Maß	26
Beschreiben	27
Intelligenz	30
Denken	30
Intelligenz-Maß	32
Abstrahieren	33
Berechnen	35
Epilog	37
Anhang	40
Entropie	40
Sprache	42
Zelluläre Automaten	43
Anmerkungen	45
Glossar	57
Quellen	67
Sachwörter	69

Prolog

Autor:

Willkommen, lieber Leser! Offenbar sind wir beide an Information, Wissen und Intelligenz interessiert. Ich beschäftige mich schon über 50 Jahre mit diesen Themen und habe schon viele Artikel darüber geschrieben. Dieses ist ein eher längerer Text, ein Essay. Es soll auch für interessierte Laien oder Spezialisten anderer Gebiete verständlich sein. Darum verwende ich hier die Form eines Dialoges.

Aber nicht zwischen Autor und Leser, dazu kenne ich diesen zu wenig, sondern mit einem Kritiker, dem *Advocatus Diaboli** oder Peer-Reviewer*. Seine Fragen und Einwürfe sind mir geläufiger, denn er wohnt teilweise in meinem eigenen Kopf.

Begriffe, von denen ich annehme dass sie dem einen oder anderen Leser nicht geläufig sind, erläutere ich im Glossar und versehe sie beim ersten Auftreten mit einem Stern *.

Um den Gedankenfluss nicht zu unterbrechen, habe ich die Abschnitte Entropie, Sprache und Zelluläre Automaten in den Anhang verbannt. Sie ergänzen den roten Faden des Hauptteils.

Auch in den Anmerkungen werden Gedanken weiter erläutert, verfeinert oder durch Beispiele ergänzt. Ihre Nummer in Schrägstrichen /n/ verweist auf den jeweiligen Beitrag dort.

Wenn ich Bezug auf Bücher oder Artikel anderer Autoren nehme, versehe ich das mit dem Hinweis (Autor Erscheinungsjahr) und den näheren Angaben im Abschnitt Quellen.

Inhaltsverzeichnis und Sachwörter sind mit Seitenangaben versehen und sollen den Zugang zu Begriffen und Gedanken erleichtern. In der Online- und PDF-Variante sind die Bezüge zyklisch verlinkt und können durch Anklicken hin und zurück erreicht werden. Bekannte Personen sind mit ihren Wikipedia-Einträgen verlinkt.

Die folgenden Abschnitte, Ziel, Autor und Inhalte, wollen das Wozu, Wer und Wie des Textes klären. Damit kann der Leser besser entscheiden, ob er die Lektüre abbricht oder in ihr fort fährt.

Er wird am Ende wohl nicht reicher oder gesünder, vielleicht aber ein wenig intelligenter, im hier definierten Sinn, sein. Das aber wohl nur, wenn er sich die Fragen, die hier zu beantworten versucht wird, selbst schon gestellt hat.

Ziel

Kritiker:

Wir leben im Informations-Zeitalter in einer Wissens-Gesellschaft unter wachsendem Einfluss Künstlicher Intelligenz. Das Thema ist daher sicher relevant und es existiert eine überwältigende Flut von Veröffentlichungen zu diesen Themen. Wozu also ein weiteres Werk?

Autor:

Zu Information, Wissen und Intelligenz wird zunehmend intensiv geforscht und publiziert. Ich verfolge seit über 50 Jahren die Literatur. Die Erfolge dieser Gebiete sind spektakulär, ja epochal.

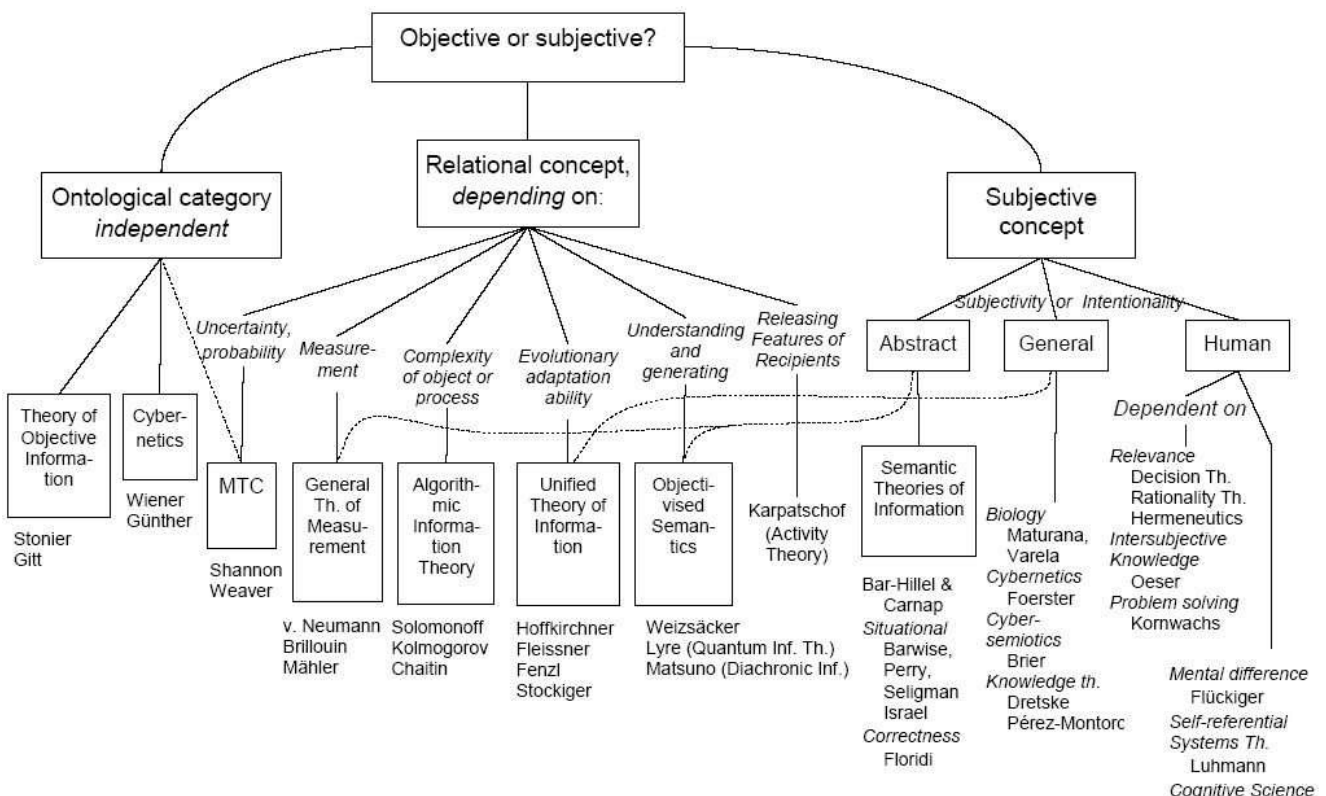
Um so ernüchternder sticht das Fehlen einer einheitlichen und umfassenden Definition des allem zu Grunde liegenden Begriffes der Information ins Auge. Eine Verbesserung ist

nicht in Sicht und Ansätze zu einer Vereinheitlichung scheinen erfolglos. Das Bit als Maßeinheit der Information ist unumstritten, der Begriff hingegen schon:

Für den Vater der Kybernetik* Norbert Wiener (1894-1964) war Information zunächst eine Grundgröße neben Energie und Materie (Wiener 1963), für die Physiker Carl Friedrich von Weizsäcker (1912-2007), als Ur-Alternative* (Weizsäcker 1985), und John Archibald Wheeler (1911-2008), mit seinem "It from Bit" (Wheeler 1990), gar der Grundbaustein des Universums. Für die Philosophen Mario Bunge (1919-2020) und Martin Mahner (1958-..) ist Information hingegen nur eine Eigenschaft der Materie (Bunge 2004), für den Physiker Leon Brillouin (1889-1969) negative physikalische Entropie (Brillouin 1956) und für den Kybernetiker Gregory Bateson (1904-1980) gar nur eine Unterscheidung, die einen Unterschied macht (Bateson 1972). Ich selbst halte Information für objektiv* (Sösemann 1975), doch der Philosoph Peter Janich (1942-2016) hält sie für subjektiv*, ein nur an menschliches Bewußtsein geknüpftes Phänomen (Janich 2006).

Selbst so grundlegende Quellen, wie Claude Shannon's (Mathematiker, 1916-2001) Statistische (Shannon 1949), Leon Brillouin's Thermodynamische, Gregory Chaitin's (Mathematiker, 1947-..) Algorithmische (Chaitin 1987), Luciano Floridi's (Philosoph, 1964-..) Semantische (Floridi 2005) oder Michael Nielsen's (Physiker, 1974-..) Quanten Informationstheorie (Nielsen 2000), beschreiben das Wesen der Information verschieden.

Einen Überblick über die Vielzahl vorhandener Sichten zeigt Jose Nafria's Taxonomie von Informationstheorien (Nafria 2010):



Kritiker:

Information ist eben ein so umfassender Begriff, dass sich je nach Sichtweise andere Interpretationen ergeben. Ist das so schlimm?

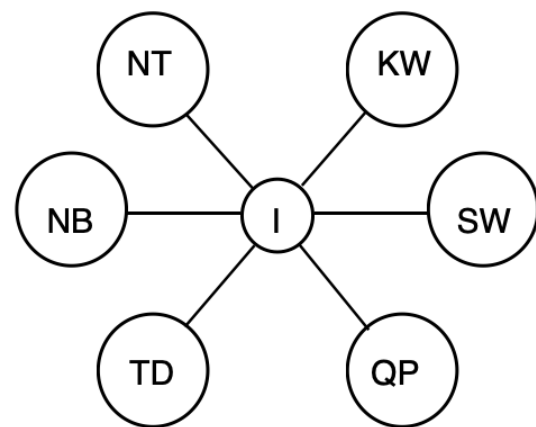
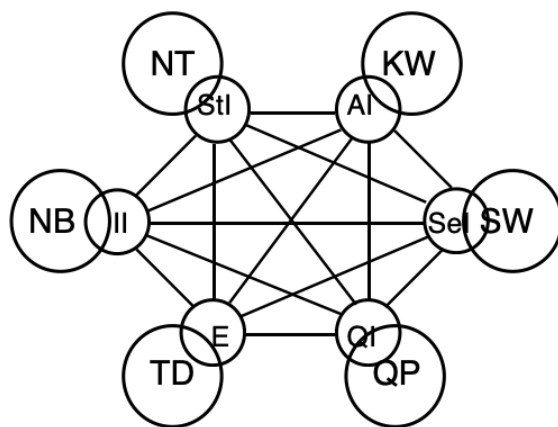
Autor:

Nein, wenn es nur unterschiedliche Interpretationen einer einheitlichen Sache wären. Es scheinen aber doch viele unterschiedliche Sachen zu sein.

Wenn, in einer Analogie, Information durch Länge ersetzt wird, nehmen sich die folgenden Sätze doch recht skurril aus: Längen gibt es nicht, nur die Länge materieller Objekte. Die Länge hängt vom Betrachter ab. Ist die Länge analog oder diskret, Qualität oder Quantität? Sind nicht die Länge von Lebewesen und Maschinen ihrem Wesen nach verschieden? Länge, Fläche und Volumen sind nicht vergleichbar.

Mein Ziel ist die Definition eines präzisen, allgemeinen und einheitlichen Begriffes und Maßes der Information, welche Physik, Biologie oder Linguistik gleich verwenden. Analog zu Fläche und Volumen als Längenprodukt seien Wissen und Intelligenz Ebenen der Information.

Den praktische Nutzen eines einheitlichen Begriffes und Maßes der Information gibt der Wechsel von der Netz- zur Stern-Struktur. Die folgenden Diagramme verdeutlichen, wie so die Kommunikation zwischen Spezialwissenschaften vereinfacht und der Aufwand verringert wird. Das Netz mit $N \cdot (N-1)/2$ wird zum Stern mit nur N Verbindungen:



mit

NB = Neurobiologie,
 NT = Nachrichtentechnik,
 KW = Komplexitätswissenschaft,
 SW = Sprachwissenschaft,
 TD = Thermodynamik,
 QP = Quantenphysik*,

I = Information,
 II = Integrierte Information,
 StI = Statistische Information,
 AI = Algorithmische Information,
 Sel = Semantische Information,
 E = Entropie,
 QI = Quanten Information:

Kritiker:

Was ist nun mit Information gemeint, der Begriff oder das Maß?

Autor:

Beides, aber der Wesenskern eines Begriffes ist sein Maß*. Die Werte der Eigenschaften von Objekten werden gemessen. Dazu wird ein vereinbarter Standardwert mit dem Messwert verglichen. Das Verhältnis beider, das Maß, kann dann beschrieben, kommuniziert oder in Berechnungen verwendet werden.

Die Standardwerte sind definiert, also weder wahr noch falsch, sondern dem Ziel mehr oder weniger angemessen. Ob in Elle, Zoll oder Meter gemessen, ob die statistische, algorithmische Information oder ein anderes Komplexitätsmaß verwendet wird, ist Sache der Vereinbarung und Effizienz*.

Messen ermöglichen die Objektivität von Vergleich, Beschreibung und Berechnung. Das erfordert aber, dass auch das vereinbarte Maß verwendet wird und über Raum und Zeit konstant bleibt.

Was bis hier zur Information bemerkt wurde, gilt analog für das daraus abgeleitete Wissen und die Intelligenz.

Kritiker:

Und wie soll das alles einem Laien verständlich gemacht werden?

Autor:

Die angestrebte Verständlichkeit muss nicht durch unzulässiges Vereinfachen oder Unschärfen erreicht werden, sondern lediglich mit der Begriffs- und Gedanken-Welt der potentiellen Leser arbeiten.

Präzision wird hier auf der Basis einer definierten Weltsicht, mit der Annahme wechselwirkender Werte, sowie der Definition und Ableitung aller hierarchisch darauf aufbauenden Begriffe und Formeln, erreicht.

Dabei sollen Bilder, Verweise zu zusätzlichen Erläuterungen und die verwendete Literatur die Verständlichkeit erhöhen und eine Vertiefung ermöglichen.

Kritiker:

Bücher sollten intelligente Beschreibungen, sowie interessant, überraschend und verständlich sein. Ob das die vorliegenden Zeilen sind, kann wohl nur der Leser am Ende beurteilen.

Das Ziel, Information, Wissen und Intelligenz zu vereinen, ist doch recht ambitioniert. Was bewegt und berechtigt den Autor, sich dieser Aufgabe zu stellen?

Autor:

Um das zu beantworten, muss ich persönlicher zu werden, als es in Sachtexten üblich ist.

Autor

Ein Grund des Wagnisses ist das lebenslange Interesse an und Beschäftigen mit diesen Themen.

Schon als Schüler bastelte ich Radios. Aus politischen Gründen war mir der direkte Weg zum Studium verwehrt. So nahm ich den Umweg über die Mittelschule, den Beruf eines Rundfunkmechanikers und ein Ingenieurstudium in Elektronik, ehe ich Informationsverarbeitung universitär studieren konnte und dazu promovieren durfte.

Die Praxisnähe meiner Ausbildung erleichterte mir das Verstehen und gab mir Zeit, mich nebenher mit philosophischen, physikalischen und kybernetischen Fragen, die das Studium aussparte, zu beschäftigen.

Mit interessierten befreundeten Studenten betrieben wir einen Freundeskreis Kybernetik. Das war schon deshalb prickelnd, weil damals in der DDR kybernetisches Gedankengut nicht gern gesehen wurde. So wurde ich beispielsweise wegen des Verwenden's von Blockschaltbildern in Marxismus-Leninismus als eingebildeter Techniker beschimpft.

Da war es hilfreich, dass Georg Klaus (1912-1974), als marxistischer Philosoph und Altkommunist, die Kybernetik in der DDR salonfähig machte. Seine Werke haben mich geprägt und er wurde einer meiner, in der Widmung genannten Vorbilder.

Noch mehr begeisterte mich der Nachrichtentechniker Karl Steinbuch (1917-2005), mein zweites Vorbild. Sein Buch "Automat und Mensch" bekam ich nur über den Instituts-Direktor aus dem Giftschrank. Mein eigenes Exemplar habe ich mir später im Ausland besorgt. Seine Lernmatrizen haben wohl mit bewirkt, dass ich mich in Diplomarbeit und Dissertation mit maschineller Zeichenerkennung befasste.

Dabei belehrten wir schon mehr als zwei Neuronen-Schichten, benutzten also das Verfahren der Backpropagation* schon 1975, obwohl es erst in den achtziger Jahren offiziell bekannt wurde (Sösemann 1978).

Mein Veröffentlichungskonto besserte ich damals mit einem Artikel zum Zusammenhang zwischen physikalischer Entropie und Shannon's Informationsentropie (Sösemann 1975) auf.

Nach dem Wechsel in eine andere Forschungsgruppe gelang mir die Fehlerfrüherkennung aus Rauschspektren durch Analyse belehrter Neuroner Netze* (Sösemann 1979). Data-Mining* durch Neuronale Netze war damals noch unbekannt.

Den zweiten KI-Winter*, ab den 1980er Jahren, der erst vor einigen Jahren durch die Erfolge des Deep Learning* beendet wurde, überstand ich mit dem Bestreben, das Programmieren zu automatisieren; zunächst im Datenverarbeitungszentrum Karl-Marx-Stadt und ab 1985, nach unserer Übersiedlung in die BRD, bei Softlab in München. Die Ansätze dazu waren zentrale Entwicklungs-Datenbanken und formale Beschreibungssprachen (Sösemann 1989).

Beeinflusst hat mich zu der Zeit die Klarheit und Systematik des Informatikers Niklaus Wirth (1934-2024), seine Programmiersprache "Pascal" und datenorientierte Entwurfsmethode. Er wurde zu meinem dritten grossen Vorbild.

Während meiner Professur für "Programmiersprachen und Softwaretechnik" an der Universität der Bundeswehr München habe ich mit den Fächern "Programmieren in der Künstlichen Intelligenz" und "Einführen in das Programmieren mit 'Leibniz'" alte Interessen wiederbelebt und neue, wie, was ist das Minimum einer turing-vollständigen* Sprache, erschlossen.

Nach meiner Pensionierung beschäftige ich mich, auch als Gehirngymnastik, weiter mit mich interessierenden Problemen. Daraus entstanden Texte zu relationaler Information (Sösemann 2018), einer Allgemeinen Informationstheorie (Sösemann 2019), die Definition von Information, Wissen und Intelligenz als Relationenhierarchie (Sösemann 2023,1), Gedanken zur Entropie (Sösemann 2023,2) und zum Beschreiben und Berechnen (Sösemann 2024).

Dazu benutzte ich auch Zelluläre Automaten (siehe den Abschnitt dazu). Anregung gab mir der Informatiker Stephen Wolfram (1959-..), mein gegenwärtiges grosses Vorbild. Sein Werk "A New Kind of Science" (Wolfram 2002) umrahmen bahnbrechende Beiträge zu den unterschiedlichsten Wissenschaften. Für mich ist er der "Einstein der Informatik".

Mit inzwischen über 80 Jahren erwarte ich das Schwinden von Wissen, Intelligenz und Interesse. Der hier vorgelegte Essay fasst viele meiner Gedanken zusammen. Mag er nur ein Tropfen im Meer der Informatik sein, möchte er doch als Geschriebenes den Schreiber überdauern.

Inhalte

Kritiker:

Nun wir wollen sehen, ob das reicht. Wie wird das Ganze nun ganz konkret ablaufen?

Autor:

Information, Wissen und Intelligenz existieren in der Welt* und sind von ihr abhängig. Also muss zunächst geklärt werden, wie die Welt beschaffen ist, eine Ontologie* oder präzise Welt-Beschreibung voran gestellt werden. Eine Meta-Ontologie erläutert zunächst, wie Weltansichten beschaffen sein sollten.

Die Grundannahme für alles weitere sei hier eine digitale und determinierte Welt aus Werten die, in Raum und Zeit, aufeinander einwirken.

Daraus werden dann höhere Begriffe, wie Eigenschaft, Zustand, Möglichkeit oder Objekt abgeleitet .

Die Wirkung zwischen den Werten wird in Kausalität, Korrelation, Bewegung oder Gesetz verfeinert und als unabhängig, zufällig oder determiniert gekennzeichnet.

Im Kapitel "Information" wird zunächst die Vielfalt mit der Anzahl möglicher Zustände definiert. Information ist dann eingeschränkte Vielfalt. Für beide wird ihr Maß definiert. Danach wird versucht, Komplexität zu beschreiben und zu messen.

Im Kapitel "Wissen" werden zunächst Subjekte als wahrnehmende und handelnde Objekte, die Informationen lernen und speichern können, beschrieben.

Wissen wird dann als die Abhängigkeit der Informationen in Objekt und Subjekt definiert und bemessen. Dabei erfüllt nur wahres Wissen den Zweck angemessener Handlungen.

Beschreibungen sind Objekte, die andere Objekte abbilden, so das Wissen speichern und seinen Austausch ermöglichen.

Intelligenz beschreibt die gegenseitige Abhängigkeit von Wissen. Das Denken verarbeitet Wissen in Subjekten, das Berechnen verändert Beschreibungen.

Im Epilog werden die wesentlichen Aussagen noch einmal zusammengefasst, eingeordnet und bewertet.

Der Anhang enthält vertiefende Abschnitte zu Information und Entropie, Wissen und Sprache, sowie Intelligenz und Zelluläre Automaten.

Die Anmerkungen sind aus dem Haupttext verlagert, um das Lesen dort flüssiger zu gestalten. Sie erläutern, verfeinern oder demonstrieren verwendete Begriffe.

Glossar und Sachwörter erleichtern das Lesen und Arbeiten mit dem Text.

Kritiker:

Das hört sich nach einer Hierarchie von einander abgeleiteten Begriffen an. Ist dem so?

Autor:

Zumindest, dem Versuch, denn leider ist das nicht so einfach.

Beim Ableiten höherer Begriffe aus den Bestandteilen und Beziehungen der Welt sind Fakten und Definitionen zu unterscheiden: Faktenbeschreibungen ordnen Begriffen Merkmale zu, die so auch in der Welt existieren, verkörpern damit Wissen und sind wahr oder falsch. Definitionen, hingegen, ordnen Begriffen Strukturen untergeordneter Begriffe

zu, verkörpern damit Informationen, sind weder wahr noch falsch, sondern dem Ziel mehr oder weniger angemessen. Fakten werden entdeckt, Definitionen erfunden.

Begriffshierarchien benötigen eine Basis, Ableitungen die Axiome, Systemen ihre Elemente. Doch auch diese Unterscheidungen sind subjektiv, nicht wahr oder falsch, sondern mehr oder weniger angemessen. So werden hier eben wechselwirkende Werte als Basis gewählt.

In den linearen Texten werden bisweilen Begriffe, die später erst definiert werden, schon verwendet. Viele der komplexen Strukturen der Welt können nicht streng hierarchisch, sondern nur rekursiv beschrieben werden. Carl Friedrich von Weizsäcker spricht in seinem "Aufbau der Physik" (Weizsäcker 1985) von einem "Kreisgang". Darum wird auch hier für die Weltbeschreibung zunächst eine "Gottessicht", ausserhalb der Welt, eingenommen. Später, wenn Subjekte und Beschreibungen definiert sind, werden diese zu Bestandteilen der Welt und der Kreis schliesst sich.

Welt

Meta-Ontologie

Kritiker:

Eine Ontologie oder Weltbeschreibung ist ja nicht so einfach. Der Annahme einer Welt aus Substanzen mit Eigenschaften in Raum und Zeit, stehen ja die folgenden Probleme im Weg:

- Der Begriff der Substanz* ist zu materiell. Es sollen auch abstrakte oder subjektive Entitäten* umfasst werden. Zudem suggeriert er zu stark die Sicht bewegter Teilchen* und zu wenig die Sicht verteilter Wellen*.
- Zum Wesen von Eigenschaften* gibt es unterschiedliche Auffassungen. Sind es Tropen*, also Eigenschaftsindividuen, oder Universalien*, also vielen Dingen gemeinsam; gibt es neben relationalen*, also nur zwischen Werten existierende, auch intrinsische*, also zum Wert gehörende, Eigenschaften? Letzteres bestreitet beispielsweise der Strukturalismus*.
- Beim Raum* wird die absolute Auffassung von Isaak Newton (1642-1726), wonach der Raum lediglich Behälter für die Materie ist, von der relationalen Sicht von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) unterschieden, nach der die Inhalte den Raum und ihre Veränderung die Zeit erst aufspannen.
- Ist die Welt stetig oder diskret, determiniert oder zufällig? Macht die Natur Sprünge und würfelt Gott doch? Quanten-Physik* und Digitale Physik* zerstören gewohnte Sichtweisen.

Autor:

Information, Wissen und Intelligenz basieren auf dem Unterscheiden und Zählen von Werten, sowie der Wirkung zwischen ihnen. Damit können alle aufgelisteten Probleme in der geplanten Ontologie vermieden werden:

- Für die Wirkung, das Unterscheiden und Zählen von Werten ist es unerheblich, ob diese an eine Substanz, einen Ort oder eine Position gebunden sind.
- Eigenschaften sind Mengen von Werten. Sie können Undurchdringlichkeit bei Teilchen, aber auch Feldstärke bei Wellen verkörpern. Werte, die andere nicht beeinflussen existieren nicht, also sind Werte relational. Werte sind Orten und Zeiten zugeordnet, sind somit Tropen und keine Universalien.
- Gemessen werden können nur Abstände und Dauern; Raum und Zeit existieren nur relativ. Der absolute Raum und die absolute Zeit sind jedoch bei der Bewegung denk-ökonomische, ideelle Konstrukte der Zuordnung von Zuständen zu Raum und Zeit.
- Die Annahme einer diskreten Welt ist anschaulicher und vermeidet Probleme mit der Unendlichkeit. Für eine kontinuierliche Sicht werden aber Werte durch Dichten und Summen durch Integrale ersetzt.
- Zufall, Wahrscheinlichkeit und Statistik sind für die Information wesentlich. Dennoch ermöglicht der subjektive Zufall aus Unwissenheit einen objektiven Determinismus*.

Kritiker:

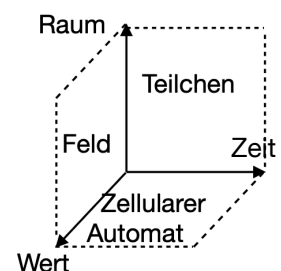
Ontologie /1/ ist Weltbeschreibung, die Voraussetzung darauf aufbauender Definitionen und Fakten. Alle Wissensgebiete sollten auf einer gemeinsamen Ontologie aufbauen, um das gegenseitige Verstehen zu vereinfachen, sowie um Redundanz* und logische Widersprüche zu vermeiden. Die Ontologie sollte dabei aktuell, neutral, allgemein, minimal, verständlich, präzise und wahr sein:

- Aktuell heisst, auf dem gegenwärtigen "Stand der Wissenschaft" zu sein.
- Neutral heisst, keine der sich oft widersprechenden Philosophien vorauszusetzen.
- Allgemein heisst, die Basis möglichst vieler Wissensgebiete zu sein.
- Minimal heisst, mit möglichst wenig Begriffen auszukommen, die dann in allen darauf aufbauenden Bereichen verwendet werden, also Ockhams Rasiermesser* anwenden. Redundanz sollte dabei nur der besseren Verständlichkeit dienen.
- Verständlich heisst, nur solche Begriffe unerklärt zu verwenden, die den Lesern geläufig sind, sowie möglichst einfach zu sein. Dabei muss jedoch der Spruch Albert Einstein's "Man muß die Dinge so einfach wie möglich machen. Aber nicht einfacher." berücksichtigt werden.
- Präzise zu sein heisst, weder unterbestimmt, also viele Welten, noch überbestimmt oder widersprüchlich, also keine Welt beschreiben, zu sein, sowie, wenn erforderlich, die Mathematik und Formeln zu verwenden
- Wahr zu sein heisst, dass die Aussagen über die Welt den Tatsachen entsprechen und verwendete Bedeutungen auch existieren.

Autor:

Die geplante Ontologie erfüllt alle diese Forderungen, sie ist:

- Aktuell: Die vorgeschlagene Ontologie ist mit Karl Popper's (1902-1994) Drei-Welten-Lehre*, David Deutsch's (1953-..) Konstruktor-Theorie (Deutsch 2012), Gerard't Hooft's (1946-..) Quanten als Zellulare Automaten (Hooft 2014), Interpretationen der Welt als Zellularer Automat (Ostama 1999), (Wolfram 2002), mit der Lokalität* der klassischen und der Verschränkung* der Quanten-Physik sowie der Philosophie des Strukturalismus* vereinbar.
- Neutral: Jeder Autor hat seine Weltsicht, seine implizite Philosophie. Um objektiv zu sein, sollte er davon beeinflusste Aussagen meiden oder wenigstens als solche kennzeichnen. Je nach Philosophie sind die Aussagen der Ontologie Definitionen oder Seins-Behauptungen, was durch die Wörter "sei" oder "ist", "seien" oder "sind" unterschieden werden sollte.
Der Autor empfindet sich als Naturalist*. Für ihn sind die Aussagen zu Welt, Raum, Zeit, Wert, Eigenschaft und Abhängigkeit wahr, hingegen zu Raumbereich, Zeitabschnitt und Zustand sinnvoll.
- Allgemein: Wenn vom Tripel Raum-Zeit-Wert je eines konstant und zwei variabel sind, ergeben sich die drei bevorzugten Interpretationen als Felder, Teilchen oder Zellulare Automaten: bei Feldern ändert sich der Wert im Raum bei gegebener Zeit; bei Teilchen bewegt sich ein konstanter Wert in Raum und Zeit; bei Zellularen Automaten als konstante Raumelemente verändern sich Werte in der Zeit. Alle drei Sichtweisen werden erfasst.
- Minimal: Die definierten Begriffe bauen hierarchisch aufeinander auf und vermeiden Synonyme und Redundanz /2/.
- Verständlich: Undefinierte Begriffe werden im Glossar erläutert. Die Ontologie ist so einfach, wie möglich, umfasst aber alle später benötigten Begriffe.
- Präzise: Die Beschreibung mit mathematischen Begriffen, wie Menge*, Tupel* und Relation* /3/, sowie die Verwendung von Formeln fördern die Präzision des Textes.
- Wahr: Nur Aussagen zu Fakten sind wahr oder falsch. Hingegen sind Definitionen mehr oder weniger sinnvoll, präzisieren die Bedeutung bereits vorhandener Begriffen und sollten diesen nicht widersprechen. Modelle, Theorien und Beschreibungen, sind Netze von Aussagen und Definitionen, daher nur graduell wahr oder falsch, sinnvoll oder sinnlos. Die Wahrheit der Existenz von Werten in Raum und Zeit sowie ihre gegenseitige Wirkung ist so evident*, dass sie hier vorausgesetzt wurde.



Ontologie

Kritiker:

Da bin ich mal gespannt, ob ich dem zustimmen kann.

Autor:

Die **Welt** besteht aus Werten* in Raum* und Zeit*. Die Werte wirken aufeinander ein /4/.

Der **Raum** ist das Nebeneinander unterschiedlicher Werte, den Orten; die **Zeit** das Nacheinander veränderter Werte, den Zeitpunkten.

Raum und Zeit sind voneinander unabhängig, jedem Ort sind alle Zeitpunkte, jeder Zeit alle Orte zugeordnet.

Der Raum tritt in drei Dimensionen auf, ist homogen*, also überall gleich beschaffen, isotrop*, seine Eigenschaften sind unabhängig von der Richtung und geordnet sein; die Zeit ist homogen, geordnet und gerichtet.

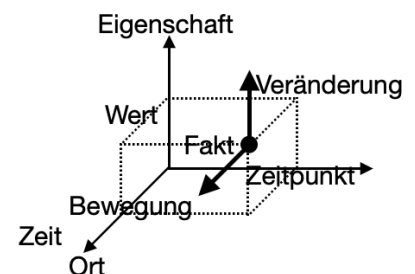
Damit die Anzahl von Orten auch grösser als die unterschiedlicher Werte sein kann, muss der Raum geordnet sein. Nur so kann der gleiche Wert mehrfach, an verschiedenen Orten, auftreten, werden Transitivität, Häufigkeit und Statistik sinnvoll.

Veränderungen ordnen die Zeit. Sie ist zusätzlich von der Vergangenheit über den gegenwärtigen Zeitpunkt in die Zukunft gerichtet.

Raubereiche seien mehrere benachbarte Orte, **Zeitabschnitte** mehrere aufeinander folgende Zeitpunkte.

Die **Werte** können sich räumlich unterscheiden und zeitlich verändern. Sie sind von Raum und Zeit unabhängig, jeder Wert kann an jedem Ort zu jeder Zeit auftreten.

Werte können sich gegenseitig an einem Ort zu einer Zeit ausschliessen, wie rot und grün, gut und schlecht oder billig und teuer. An verschiedenen Orten zu einer Zeit, wie der Apfel von der Sonne unten grün und oben rot ist, oder an einem Ort zu verschiedenen Zeiten, wie der Apfel, der im Sommer grün und im Herbst rot ist.



Die Mengen sich gegenseitig ausschliessender Werte werden zu **Eigenschaften** zusammengefasst, wie Farbe mit rot oder grün und Preis mit billig oder teuer.

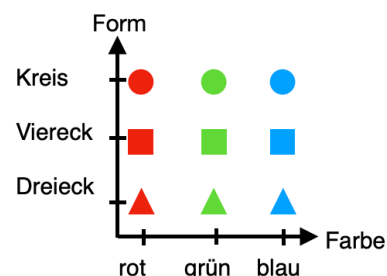
Sich nicht gegenseitig ausschliessende Werte können gemeinsam an einem Ort zu einer Zeit auftreten, wie schlecht und billig oder gut und teuer. Dazu müssen sie aus verschiedenen Eigenschaften stammen. Die Menge sich nicht ausschliessender Werte eines Ortes bilden hier seinen **Zustand**.

Der Zustand mehrerer Orte, eines Raumbereiches, ist durch diese geordnet und wird als Tupel dargestellt /5/. Damit können, im Gegensatz zur Menge, auch gleiche Werte an verschiedenen Orten auftreten. Der Zustand sei nun die Anordnung aller Zustände eines Raumbereiches zu einem Zeitpunkt.

Der Zustand eines Raumbereiches in einem Zeitabschnitt heisse **Fakt**, eine Zustandsänderung **Ereignis**, eine Folge von Zuständen Ablauf.

Objekte seien Raumbereiche, die sich von ihrer Umgebung unterscheiden und deren Zustand relativ konstant bleibt. Prozesse seien Zeitabschnitte sich verändernder Zustände in gegebenen Raumbereichen.

Eigenschaften bilden die Dimensionen des **Zustandsraumes** und jeder Punkt stellt einen möglichen Zustand dar. Nur ein Zustand darin kann für einen Ort tatsächlich auftreten; für Raumbereiche können es hingegen viele sein.



Die **Möglichkeit*** eines bestimmten Wertes an einem Ort zu einer Zeit setzt die Wirklichkeit dieses Wertes an anderem Ort oder zu anderer Zeit voraus und kann durch Bewegung oder Veränderung zur Tatsächlichkeit werden.

Die Werte wirken aufeinander ein. Die gegenseitige **Wirkung** der Werte im Raum begrenzt die Möglichkeiten der Zustände und führt zu deren Veränderungen in der Zeit. So wird zum Beispiel gut und billig verhindert, schlecht und teuer offenbar nicht.

Kritiker:

Das ist ja wohl noch nicht alles zur Wirkung.

Autor:

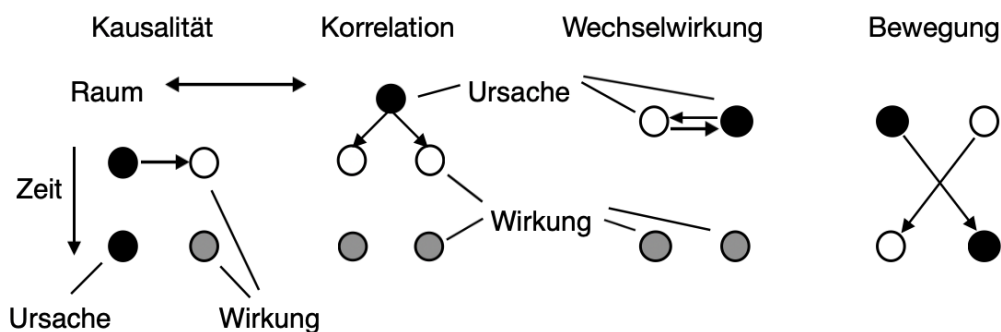
Nein, dazu gibt es so viel zu sagen, dass ein eigener Abschnitt geboten ist.

Wirkung

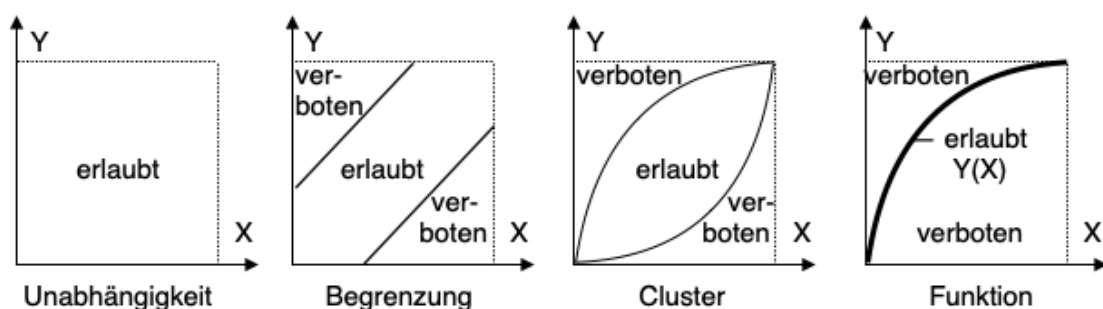
Keine Wirkung ohne Ursache; spontane Änderung einzelner Werte sei ausgeschlossen. Aber was verursacht dann die Veränderung von Werten?

Werte wirken im Raum aufeinander ein. Wirkungen verändern, als Kausalität* oder Wechselwirkung*, aber auch durch gezielte Auswahl, benachbarte Werte und, als Kraft, die Bewegung, das Verändern der Raum-Zuordnung von Werten. Korrelation*, Begrenzung, Cluster*, Funktion, Gesetz, Regel, Struktur oder Ordnung sind hingegen Ergebnisse von Wirkungen /6/.

Die Kausalität ist gerichtet, unterscheidet Ursache von Wirkung /7/. Die Korrelation ist ungerichtet und wird durch vergangene oder Kausalität von dritter Seite verursacht. Die Wechselwirkung ist gegenseitige Kausalität. Bewegung verändert die Werte-Orts-Zuordnung /8/.



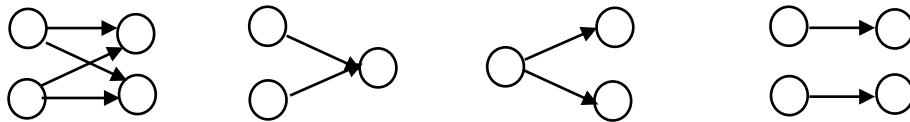
Die folgenden Zustands-Räume zeigen, wie von Unabhängigkeit, über Begrenzung und Cluster bis Funktion, der Anteil erlaubter/verbotener Zuordnungen ab-/zunimmt:



Weitere, eher räumliche Formen der Abhängigkeit und begrenzten Möglichkeiten sind Sortierung, Ordnung, Klassifikation und Struktur.

Die natürlichen Wirkungen zwischen den Werten, die Naturgesetze und Abhängigkeiten bleiben über Raum und Zeit konstant, gelten immer und überall. Künstliche Regeln, Gesetze und Begrenzungen sind dagegen in ihrer räumlichen und zeitlichen Reichweite selbst begrenzt.

Die Art des gegenseitigen Einflusses kann grafisch als Zuordnungs-Graph dargestellt werden:



Zuordnung:	vollständig	eindeutig	mehrdeutig	eindeutig
Einfluss:	unabhängig	unscharf	zufällig	determiniert

Direkte Zuordnung besteht zwischen Werten an einem oder an benachbarten Orten. Durch die Transitivität der Zuordnung sind aber indirekt alle Werte einander zugeordnet.

Die gegenseitige Abhängigkeit wird mathematisch durch Relationen oder praktisch durch Tabellen dargestellt: Die Tupel der Relation treten dort als Spalten, die Mengen als Zeilen ihrer Elemente auf. Wenn Tabellen nicht alle kombinatorisch möglichen Zeilen enthalten, beschreiben sie Untermengen und damit die Abhängigkeiten. Siehe die Tabelle der Negation rechts:

X	Y
0	1
1	0

$Y(X) = \neg X$

Kritiker:

Was sind den nun Werte und Wirkungen konkret?

Autor:

Elemente sind Teile vom Ganzen bei denen die Untergliederung bewußt beendet wird, sind also subjektiv. Die Werte und ihre Wirkungen aufeinander sind die gezählten Elemente der Information. Die Grösse ihrer Objekte, die betrachteten Eigenschaften und Feinheit der unterschiedenen Werte wird, je nach Ziel, frei gewählt.

Das kann, um beim Kleinsten zu beginnen, die Farbe von Quarks* mit den vier fundamentalen Wechselwirkungen, die Masse oder Ladung von Teilchen mit ihrer Kraft der Anziehung oder Abstossung, die Häufigkeit von aufeinander folgender Buchstaben in Texten in Abhängigkeit der verwendeten Sprache, das in eine Reihe stellen von Wartenden durch Gruppenzwang oder die Stärke der Bewaffnung benachbarter Staaten durch gegenseitige Bedrohung sein.

Information

Kritiker:

Was haben nun Wert und Wirkung oder Zustand und Zuordnung mit Information zu tun?

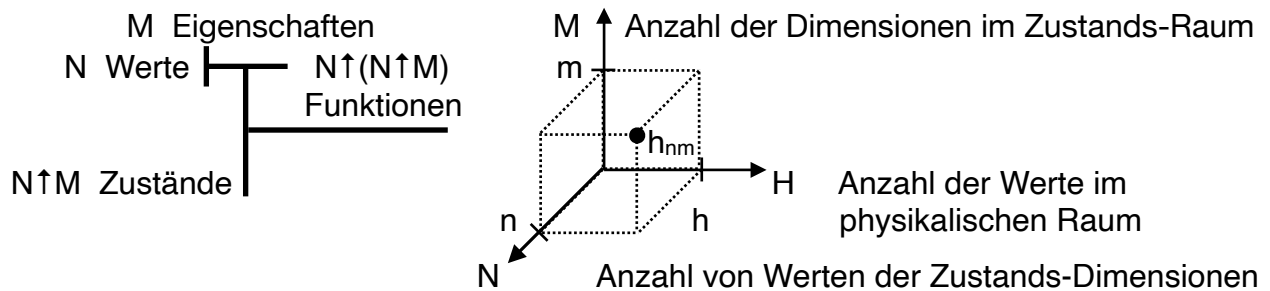
Autor:

Geduld! Davor muss noch die Vielfalt definiert werden, denn Information verringert diese.

Vielfalt

Zählen und Messen versprechen Objektivität und Präzision. Die Anzahl unterschiedlicher Teile einer Gesamtheit vereint als Zahl mathematische Strenge mit der gewünschten Allgemeinheit.

Die Anzahlen von Werten, Eigenschaften, Zuständen, Funktionen und Häufigkeiten bauen wie folgt aufeinander auf:



Dennoch existieren Anzahlen nicht objektiv, denn Zählen erfordert Unterscheidung, und diese wird getroffen, ist subjektiv.

Die **Vielfalt** werde durch die Anzahl N voneinander unterschiedener, möglicher Zustände eines Raumbereiches oder Zeitabschnittes bestimmt. Mögliche Zustände existieren aber nicht, nur der tatsächliche gegenwärtige Zustand. Mögliche Zustände müssen bei bekannten Eigenschaften errechnet oder durch Beobachtung/Messung über grosse Raumbereiche und/oder lange Zeitabschnitte ermittelt werden.

Die Werte einer Eigenschaft bilden eine Menge, ihre Anzahl ist die Mächtigkeit der Menge. Die Anzahl möglicher Zustände ist das Produkt der Anzahl aller Eigenschaften /9/.

Das **Maß** der Vielfalt H sollte additiv sein, so dass z.B. zwei gleiche Entitäten auch die doppelte Vielfalt besitzen. Diese Anforderung erfüllt der Logarithmus* der Anzahl N . Ein einziger Zustand ergibt Null, Produkte werden addiert und die Basis Zwei ergibt die Maßeinheit Bit:

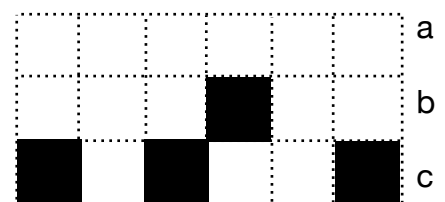
$$H = \text{ld } N.$$

Ist nun die Anzahl von Orten N_O eines Raum-Bereiches oder von Zeitpunkten eines Zeit-Abschnittes grösser als die Anzahl unterschiedlicher Zustände N darin, so müssen einige Zustände mehrfach, mit N_n , auftreten. Ihre relative **Häufigkeit** p_n , auch **Wahrscheinlichkeit*** genannt /10/, ergibt sich dann zu:

$$p_n = N_n / N_O, \quad \text{mit} \quad \sum_{n=1}^N p_n = 1.$$

Nun ist aber das gleich häufige Auftreten zweier Zustände vielfältiger, als vorwiegendes Erscheinen des einen und selteneres des anderen. Im Bild rechts besitzt die Variante a keine, b wenig und c mehr Vielfalt:

Um das widerzuspiegeln, wird die Häufigkeit der Zustände berücksichtigt. Das Maß der Vielfalt ist der Mittelwert über alle N Teilmaße:



$$H = \sum_n^N p_n \text{Id } 1/p_n.$$

Kritiker:

Das ist aber doch Claude Shannon's Informationsgehalt, den er Entropie genannt hat (Shannon 1949). Wozu ein neuer Name?

Autor:

Stimmt! Aber der Zusammenhang zwischen Informations- und physikalischer Entropie ist umstritten, die Gefahr der Verwechslung gross. Ich widme diesem Problem im Anhang den ganzen Abschnitt Entropie.

Der Begriff Unbestimmtheit, mit Information als Verringerung derselben, ist zu subjektiv. Nur Subjekte oder Beschreibungen können unbestimmt sein, der Zustand von Objekten liegt dagegen immer fest. Der Begriff Vielfalt erscheint mir daher objektiv und angemessener.

Kritiker:

OK, das Hauptproblem ist wohl nicht der Name. Problematischer ist die Anzahl möglicher Zustände N , von deren Wahrscheinlichkeitsverteilung ganz zu schweigen.

Autor:

Auch das ist richtig. Dennoch gibt es viele Eigenschaften, bei denen die Anzahl überhaupt möglicher Werte bekannt ist. So ist die Zahl der Buchstaben eines Alphabets begrenzt, ja sogar die relative Häufigkeit ihrer Verwendung in Texten liegt vor.

Jedoch besteht eine andere Schwierigkeit: Das Maß für Vielfalt ist nur bei naturgegebenen diskreten Werten bestimmt, denn subjektiv definierte Unterscheidungen oder Fehlerbereiche verändern Anzahl und Maß. Bei kontinuierlichen Eigenschaften werden diese sogar Unendlich. Wie gut, dass bei der Information dieses Problem verschwindet.

Informations-Maß

Die Wirkung zwischen den Werten verändert bestimmte Werte-Kombinationen in andere, verbotene in erlaubte. Zwischen den erlaubten Werte-Kombinationen besteht nun keine Wirkung mehr, sie sind stabil und damit häufiger. Die Werte sind voneinander abhängig, nicht alle Zustände treten auf, die Vielfalt wird beschränkt, Ordnung und Strukturen erscheinen.

Abhängigkeiten als Gesetze und Regeln schränken eigentlich vorhandene Möglichkeiten ein, wie das Rechtsfahrgebot, welches die Alternativen beliebig oder links zu fahren ausschliesst, die fortgesetzte Auswahl eines Buchstabens aus dem Alphabet beim Schreiben oder einzelner Aktionen beim Handeln.

Allem gemeinsam ist das Verringern der Anzahl von Zuständen von $N_{\max}$ auf N , also das Beschränken der Vielfalt von $H_{\max}$ auf H . Die Differenz beider sei nun das Maß der Information I :

$$I = \Delta H = H_{\max} - H = \text{Id } (N_{\max} / N).$$

Beispielsweise schränkt das Rechtsfahrgebot drei Alternativen auf eine ein und ergibt $I = \text{Id } 3/1 = 1,58$ Bit.

Durch die Verhältnissbildung der Anzahlen wird die Granularität* g heraus gekürzt:

$$N_{\max} / N = g * N_{\max 0} / g * N_0 = N_{\max 0} / N_0 .$$

Das Maß vermeidet so die Subjektivität der Vielfalt durch willkürliche Grenzziehung und ermöglicht damit auch kontinuierliche Werte. Dazu werden lediglich die Summen durch Integrale und die Wahrscheinlichkeiten p_n durch ihre Dichten $P(x)$ ersetzt:

$$H = \sum_n^N p_n \lg 1/p_n \quad \rightarrow \quad H = \int_x^X P(x) \lg 1/P(x) dx.$$

Bei der Auswahl nur eines aus N Zuständen wird

$$I = \lg N / 1 = \lg N$$

und bei zwei voneinander abhängigen Eigenschaften X und Y mit N_X und N_Y ergibt sich:

$$I_{XY} = \lg (N_X * N_Y / N_{XY}).$$

Bei Unabhängigkeit der Eigenschaften X und Y mit $N_{XY} = N_X * N_Y$ ist die Information Null:

$$I_{XY} = \lg (N_X * N_Y / N_X * N_Y) = \lg 1 = 0.$$

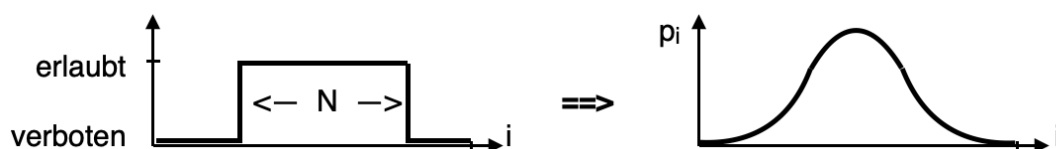
Sind X und Y voll voneinander abhängig, ist $N_{XY} = N_X = N_Y = N$ und

$$I_{XY} = \lg (N * N / N) = \lg N.$$

Alle anderen Fälle liegen mit $N_{XY} < N_X * N_Y$ dazwischen /11/ und es gilt:

$$0 < I_{XY} < H_X + H_Y.$$

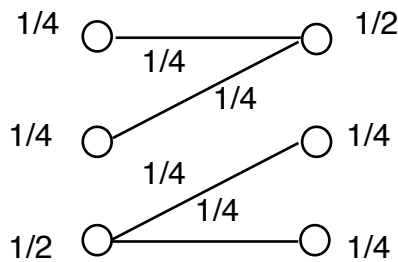
Da aber auf jeden Wert im Raum viele andere Werte einwirken, gilt statt des strengen erlaubt oder verboten ein hier und jetzt verboten, und dann und dort erlaubt, ergeben sich verschiedene Häufigkeiten der Werte. Statt lediglich der Anzahl sollte dann präziser deren Häufigkeit berücksichtigt werden:



Die relative Häufigkeit des tatsächlichen gemeinsamen Auftretens p_{xy} wird nun zu der bei Unabhängigkeit $p_x * p_y$ ins Verhältnis gesetzt. Das Maß der Abhängigkeit zweier ungleich verteilter Eigenschaften X und Y aufeinander sei dann der Mittelwert über alle Kombinationen:

$$I_{XY} = \sum_x \sum_y \frac{N_x N_y}{p_{xy}} * \lg (p_{xy} / (p_x * p_y)).$$

Wie die folgenden zwei Beispiele zeigen, unterscheiden sich die Ergebnisse bei Anzahl N und Häufigkeit p deutlich:

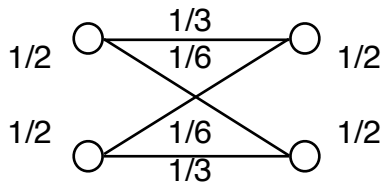


$$I_{XY}(N) = \text{Id } 3 \cdot 3 / 4 = \text{Id } 9/4 = 1,17 \text{ Bit}$$

$$\neq$$

$$I_{XY}(p) = 4 / 4 \text{ Id } 8 / 4 = \text{Id } 2 = 1 \text{ Bit.}$$

Selbst bei vollständiger Zuordnung, also bei Anzahlen die Unabhängigkeit, aber ungleicher Häufigkeit, tritt Abhängigkeit auf:



$$I_{XY}(N) = \text{Id } 2 \cdot 2 / 4 = \text{Id } 1 = 0 \text{ Bit}$$

$$\neq$$

$$I_{XY}(p) = 2/3 \text{ Id } 2 \cdot 2/3 + 2/6 \text{ Id } 2 \cdot 2/6 = 0,082 \text{ Bit.}$$

Jede Abweichung von der Gleichverteilung ist Information. Bei Gleichverteilung, $p_x = 1/N_x$, $p_y = 1/N_y$ und $p_{xy} = 1/N_{xy}$, geht die Formel wieder in die alte Form $I_{XY} = \text{Id } N_x \cdot N_y / N_{xy}$ über.

Bei kontinuierlichen Eigenschaften werden, analog zu oben, die diskreten Häufigkeiten durch Dichten und das Summieren durch Integrieren ersetzt:

$$I_{XY} = \int \int_{X \ Y} P(x,y) * \text{Id} (P(x,y) / P(x) P(y)) dx dy.$$

Kritiker:

Nun besitzen Zustände ja nicht nur eine oder zwei, sondern beliebig viele Elemente welche die verschiedene Eigenschaften und/oder Orte verkörpern. Wie verändert das die Information?

Autor:

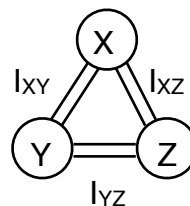
Der Grundgedanke bleibt derselbe, aber bei mehreren Orten ist die Anzahl der Dimensionen des Raumes der Orte wichtig.

Ab drei Orten muss die sequentielle Folge, mit einer Raumdimension, vom parallelen Netz, mit wenigstens zwei Dimensionen, unterschieden werden:

$$I_X + I_Y \neq I_{XZ} \neq I_{XYZ}$$



$\neq$



Die Zuordnung ist transitiv*, die Abhängigkeit aber nicht. So kommt es, wie im Beispiel, mit verschiedenen erlaubten Zuständen, zu überraschend unterschiedlichen Ergebnissen:

X	Y	Z		X	Y	Z	
0	0	0	$I_{XY} = \lg 4/3 = 0,415$	0	0	0	$I_{XY} = \lg 4/4 = 0$
1	0	0	$I_{YZ} = \lg 4/3 = 0,415$	0	1	0	$I_{YZ} = \lg 4/4 = 0$
0	0	1	$I_{XZ} = \lg 4/4 = 0$	1	0	1	$I_{XZ} = \lg 4/2 = 1$
1	1	1	$I_{XYZ} = \lg 8/4 = 1$	1	1	1	$I_{XYZ} = \lg 8/4 = 1$

Die Teilinformationen addieren sich in beliebiger Reihenfolge (siehe dazu die unterschiedliche Klammerung):

$$\begin{aligned}
 I_{XYZ} &= I_{XY} + I_{(XY)Z} = I_{YZ} + I_{X(YZ)} \\
 &= \lg N_X \cdot N_Y / N_{XY} \cdot N_{XY} \cdot N_Z / N_{XYZ} = \lg N_Y \cdot N_Z / N_{YZ} \cdot N_X \cdot N_{YZ} / N_{XYZ} \\
 &= \lg N_X \cdot N_Y \cdot N_Z / N_{XYZ}.
 \end{aligned}$$

Bei M Eigenschaften oder Orten, mit jeweils N_m Werten, gilt nun analog zu I_{XY}

$$I_M = \lg (N_1 \cdot N_2 \cdot \dots \cdot N_M / N_{12..M})$$

oder mit Wahrscheinlichkeiten

$$I_M = \sum_{n_1} \sum_{n_2} \dots \sum_{n_M} p_{n_1 n_2 \dots n_M} \cdot \lg (p_{n_1 n_2 \dots n_M} / p_{n_1} \cdot p_{n_2} \cdot \dots \cdot p_{n_M}).$$

Die Anzahl berücksichtigter Eigenschaften M ist subjektiv. Aber, wie schon bei der Anzahl von Werten, der Granularität oben, kürzt die Verhältnisbildung des Informations-Maßes diesen Einfluss aus.

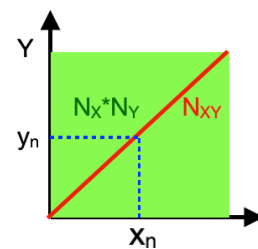
Die interne Vielfalt eines Objektes kann auch als potentielle oder maximale Information bezeichnet werden:

$$I_{\text{potentiell}} = H_{\text{intern}} = I_{\text{intern}} + H_{\text{extern}},$$

$$\lg (N_1 \cdot N_2 \cdot \dots \cdot N_M) = \lg (N_1 \cdot N_2 \cdot \dots \cdot N_M / N_{12..M}) + \lg N_{12..M}.$$

Die externe Vielfalt kann dann wieder, zum Beispiel durch Auswahl eines Zustandes auf die externe Information begrenzt werden:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{max}} &= \lg N_X \cdot N_Y & X \otimes Y \\
 I_{\text{int}} &= \lg N_X \cdot N_Y / N_{XY} & Y(X) \\
 I_{\text{ext}} &= \lg N_{XY} & y_n(X_n)
 \end{aligned}$$



Die Information selbst und ihr Maß I sind zu unterscheiden: Der Einfluss, die Abhängigkeit und Begrenzung von Vielfalt, also die Information selbst, ist bestimmt und detailliert, ihr Maß ist lediglich der Betrag der dadurch verursachten Differenz an Vielfalt.

Damit ist Information nicht etwas existierendes Drittes neben Materie und Energie, wie bei Norbert Wiener, sondern die Veränderung von Materie oder Energie. Die Unterscheidung, die einen Unterschied macht, laut Gregory Bateson, ist die Unterscheidung im Raum oder die Veränderung eines Zustandes hier, die eine Zustandsänderung dort bewirkt. Information wird nicht entdeckt, sondern definiert. Daraus resultiert auch die Uneinigkeit ihrer Bestimmung.

Die erfundene Definition der Information spiegelt die entdeckten Eigenschaften und Zusammenhänge gegenseitigen aufeinander Wirkens wider. Damit können die Regeln, denen Informationen gehorchen, deduktiv aus der Definition abgeleitet werden. Sie sind

keine Erfahrungsgesetze sondern sind a priori*. Daher sind Informationstheorie und Informatik Strukturwissenschaften, wie Logik oder Mathematik, und keine empirischen Wissenschaften, wie Physik oder Biologie.

Kritiker:

Wie wird nun aber zwischen struktureller, semantischer oder syntaktischer Information unterschieden?

Autor:

Gar nicht! Alle drei beschränken Möglichkeiten:

So beträgt die Information des Ordnen's von N verschiedenen Elementen durch Begrenzen aller möglichen Reihenfolgen $N!$ (N-Fakultät*) auf eine: $I = \log_2 N!$.

Das Gebot, auf Straßen rechts zu fahren hat die semantische Information von $I = \log_2 3$, weil aus den drei möglichen Bedeutungen, links, rechts oder beliebig, eine ausgewählt wird.

Die syntaktische Information der Wortes "rechts" beträgt hingegen $I = \log_2 54$, wenn von unabhängigen, gleich wahrscheinlichen Buchstaben aus 54 möglichen ausgegangen wird.

Es gibt keine physikalische, biologische, syntaktische oder semantische Information, sondern nur ein Maß der Abhängigkeit von Zuständen in Physik, Biologie oder Semiotik. Information als Maß fließt nicht, ist nicht gerichtet, sondern bemisst die Abhängigkeit von Werten. Wirkung und Kausalität sind gerichtet, Wechselwirkung und Korrelation nicht. Je nach Art der Abhängigkeit wird die Information dann gerichtet oder ungerichtet sein.

Komplexität

Kritiker:

Bei der Komplexität ist die Zahl unterschiedlicher Maße ja noch größer als bei der Information.

Die Algorithmische Komplexität* von Andrey Kolmogorov und Gregory Chaitin (Chaitin 1987) ist ein indirektes Komplexität-Maß. Sie bemisst die Information des Beschriebenen durch die Länge ihrer kürzesten Beschreibung.

Autor:

Ich werde im Abschnitt Beschreibung näher auf dieses Maß eingehen.

Kritiker:

Auch das Prinzip der freien Energie von Karl Friston (Friston 2022) bemisst Komplexität. Er wendet das bereits existierende Minimumsprinzip der freien Energie auf die Schnittstelle zwischen Organismen und ihre Umwelt an.

Autor:

Weil die Gesamtenergie E konstant bleibt und die gebundene E_{geb} , gemäß dem 2.Hauptsatz der Wärmelehre (siehe dazu im Abschnitt Entropie) einem Maximum zustrebt, muss freie Energie E_{frei} einem Minimum zustreben:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Energie} & = & \text{Wärme} & + & \text{Arbeit} \\ \text{konstant} & & \text{maximal} & & \text{minimal} \\ E & = & E_{\text{geb}} & \uparrow + & E_{\text{frei}} \downarrow \end{array}$$

Angemessener, als über Energie, scheint jedoch die Erklärung über freie und gebundene Vielfalt, die Information:

$$\begin{aligned}\text{Vielfalt} &= \text{gebundene Vielfalt} + \text{freie Vielfalt} \\ \text{Id } N_X * N_Y &= \text{Id } N_X * N_Y / N_{XY} + \text{Id } N_{XY}.\end{aligned}$$

Kritiker:

In Giulio Tononi's Integrierter Informationstheorie (Tononi 2012) ist der Informationsaustausch innerhalb von Systemen wesentlich. Systeme seien integriert, wenn sie nicht weiter zerlegt werden können. Sein Maß der Integriertheit Φ ist ein Komplexitätsmaß.

Autor:

Er geht ja weiter und postuliert Bewusstsein* als integrierte Information und Φ als Maß von Bewusstheit. Dem Empfinden entspricht dann Struktur der informationellen Beziehungen. Als Psychater und Neurowissenschaftler testet er seine Hypothese an den Strukturen und Funktionen des Gehirns, sieht Bewusstsein graduell und substanzunabhängig, erlaubt empfindungsfähige Maschinen und vertritt den Panpsychismus*.

Von seinen Anhängern als Kopernikus des 21. Jahrhunderts gefeiert, gibt es andererseits Bedenken, wie: Integriertheit ist für Bewusstsein wohl notwendig, aber nicht hinreichend; die Theorie werde gegen Falsifikation* immunisiert, sei unwissenschaftlich (Moon 2018).

Seinem Φ entspricht meine interne Information.

Kritiker:

Ja was ist denn nun Komplexität?

Autor:

Komplexität ist die Information von Objekten. Dabei hängt es jedoch vom subjektiven Zweck ab, ob die interne oder externe Vielfalt oder Information interessiert /12/, weshalb hier auch keines dieser Maße priorisiert wird. Damit werden auch die Probleme der konkurrierenden Komplexitäts-Maße vermieden.

Wissen

Kritiker:

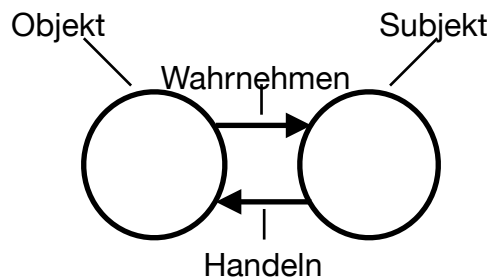
Was unterscheidet denn semantische Information von Wissen?

Autor:

Wissen ist die Abhängigkeit zwischen Objekten und lernenden Subjekten, ist wahr oder falsch. Beschreibungen vermitteln zwischen Objekten und Subjekten. Doch nun im Einzelnen:

Subjekt

Subjekte sind Objekte, welche sich auf andere Objekte beziehen und Zustände speichern können. Die Wirkungen zwischen Objekten und Subjekten wird als Wahrnehmung und Handlung bezeichnet:



Wahrnehmen und Handeln sind die Wirkungen zwischen Objekten und Subjekten, analog der zwischen Werten; auch sie verschwinden, wenn unerwünschte Zustandskombinationen dadurch beseitigt sind.

Nun endlich kann die Gottessicht durch die Sicht von Subjekten, als handelnden Beobachtern und Teile der Welt, ersetzt werden.

Die Information der im Beispiel wahrgenommener Apfel-Objekte entsteht durch die Abhängigkeit der Apfel-Eigenschaften, welche die Kombinationen grün und süß, rot und sauer verbieten /13/ (Bild rechts):

Kritiker:

Worin unterscheiden sich die Werte von Objekt und Subjekt?

Autor:

In Objekten verändert sich der Wert x_n am gleichen Ort oder er bewegt sich, also der gleiche Wert an verschiedenen Orten.

In Subjekten tritt die Wirkung zwischen externen und internen Werten r_n als Wahrnehmung auf. Das Lernen ist die Veränderung des Wertes, das Speichern der Wechsel der Orte (siehe Bild).

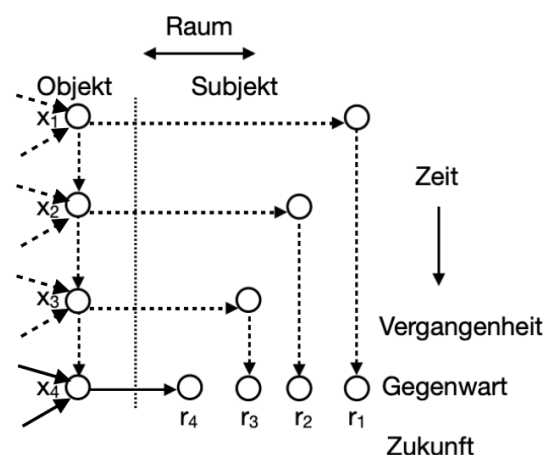
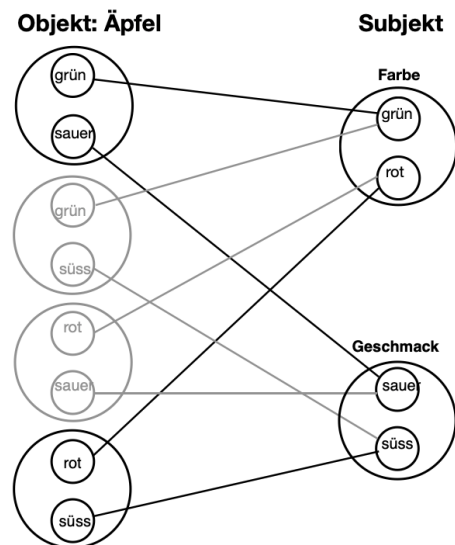
Beispiel interner Werte ist die Stärke der Erregung von Nervenzellen. Interne Wirkung ist deren synaptische Erregung oder Hemmung.

Kritiker:

Warum Subjekte und nicht Menschen wenn es um Wissen geht?

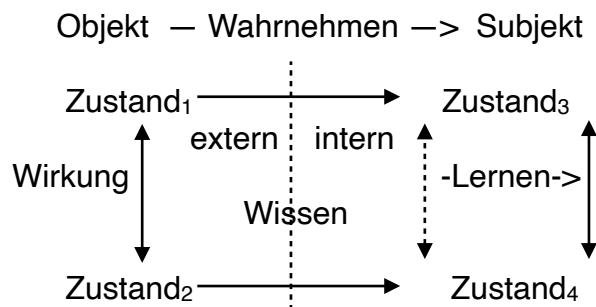
Autor:

Weil der Begriff Subjekt Gegensatz zu Objekt ist und besser an die Subjektivität erinnert. Außerdem können auch Maschinen Subjekte sein, können Informationen entgegen nehmen, abgeben und speichern, wie die Wissens-Banken.



Lernen

Lernen speichert die transitiven Zuordnungen, indem es indirekte ($\leftarrow\cdots\rightarrow$) durch direkte Zuordnungen ($\longleftrightarrow$), also Korrelation durch Kausalität ersetzt:



Das Lernen als Ergänzung indirekter um direkte Zuordnung schliesst einen Kreis und ermöglicht dadurch später fehlende Zuordnungen des Kreises zu ergänzen, zu Denken.

Das Speichern vergangener Zustände unterscheidet Subjekte von Objekten. So bleiben die internen Zustände, die das Wissen verkörpern, über die Zeit erhalten. Speicher sind Raumbereiche mit unabhängigen konstanten Zuständen. Sie verwandeln Zeit in Raum. Konstanz, also gleicher Wert über lange Zeitabschnitte, ist maximale zeitliche Abhängigkeit. Räumlich müssen die Werte hingegen voneinander möglichst unabhängig sein, um sich gegenseitig nicht zu beeinflussen. Die Speicher in Subjekten sind inhaltsadressierbare Assoziativspeicher*.

Die Werte im physikalischen Raum sind extern und der Zeit verteilt, also nur durch Bewegung im Raum oder Warten in der Zeit für Subjekte erreichbar. Intern sind sie im Zustands-Raum räumlich konzentriert. Extern ist wegen der Lokalität nur Kausalität, als direkte Wirkung zwischen benachbarten Werten, möglich; zwischen entfernten Werten ist hingegen nur indirekte Wirkung und Korrelation, möglich. Intern ist im Zustandsraum alles benachbart, ist Kausalität möglich.

Die Nervenfasern, als Kanten, verbinden die Nerven, als Knoten, untereinander, bilden als Netz den Zustands-Raum.

Das Lernen erhöht die Effizienz von Subjekten, denn einmal gelernte Informationen müssen nicht mehrfach aus der Umgebung ermittelt werden.

Wahrheit

Kritiker:

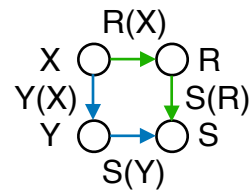
Wissen nutzt ja dem Subjekt nur, wenn es auch wahr ist. Aber was ist Wahrheit? Empfindet nicht jedes Subjekt anders, eben subjektiv. Wie kann da Wahrheit objektiv, für alle gleich sein?

Autor:

Wissen, als die Abhängigkeit interner von externer Information, ist zwar notwendig*, aber nur wahres Wissen ist auch hinreichend*.

Wahrheit ist die Übereinstimmung von Aussagen und Tatsachen, der Äquivalenz interner und externer Informationen. Sie ergibt sich aus der Transitivität und Konstanz der Zuordnungen, wenn gilt

$$S(Y(X)) = S(R(X))$$



mit $Y(X)$ als externe, $S(R)$ als interne, $R(X)$ und $S(Y)$ als wahrnehmende Zuordnungen. Der erwartete Wert $S(R(X))$ ist wahr, wenn er dem wahrgenommenen, $S(Y(X))$, Wert entspricht.

Kritiker:

Die Wahrnehmungen $R(X)$ und $S(Y)$ sind doch bei jedem Subjekt verschieden!

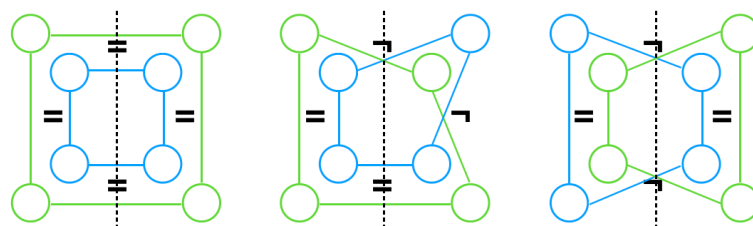
Autor:

Das macht nichts, und ist eine interessante Schlussfolgerung.

Wahrheit erfordert, lediglich, dass die Wahrnehmungen $R(X)$ und $S(Y)$ zeitlich konstant bleiben. Das konstant gespeicherte Wissen $S(R)$ bildet dann die Konstanz der Umgebungs-Zuordnungen $Y(X)$ ab. Ist diese hingegen nur eine zeitlich variable Korrelation statt einer Kausalität, so ist seine interne Abbildung nur eine Erinnerung, kein Wissen.

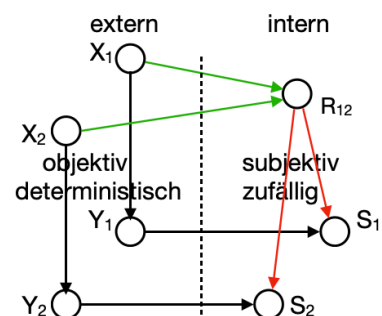
Die Wahrheit stellt außer Konstanz keine Anforderungen an die Wahrnehmungsfunktionen $R(X)$ und $S(Y)$; unterschiedliche Subjekte nehmen daher die gleiche Umwelt wahr. So führt eine externe Zuordnung zwischen Licht und Schall, zur internen Zuordnung zwischen Gesehenem und Gehörtem. Auch kann die Wahrnehmung zwischen Subjekten unterschiedlich sein und trotzdem das interne $S(R)$ das externe $Y(X)$ richtig abbilden, weil

$$\begin{aligned} S_1(Y(X)) &= S_1(R_1(X)), & S_2(Y(X)) &= S_2(R_2(X)), & S_3(Y(X)) &= S_3(R_3(X)), \\ (=) &= (=), & (=) &= \neg(\neg), & \neg(=) &= \neg(\neg). \end{aligned}$$

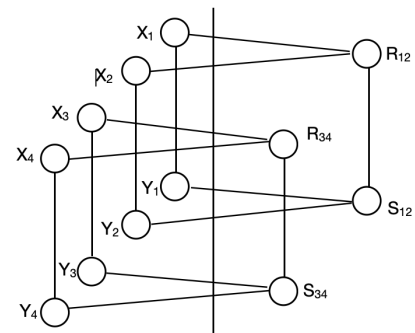


Analog zu den Maßen ist auch hier die zeitliche Konstanz wichtig, aber eine relative Beliebigkeit des Vergleichsmaßstabes möglich. Wahrheit ist somit auch zwischen Subjekten mit verschiedenen Sichten und Empfindungen möglich.

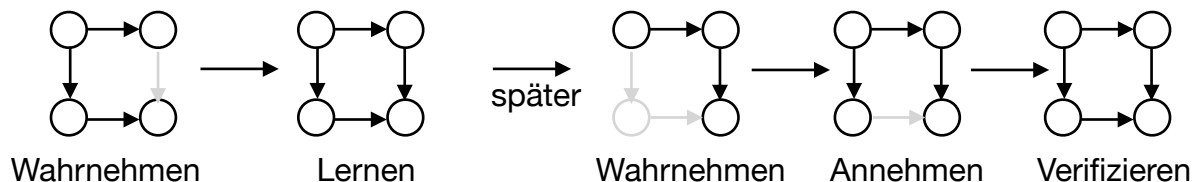
Der hier angenommene Determinismus erlaubt keinen objektiven*, wohl aber subjektiven Zufall* aus Unwissenheit. Bei deterministischer, eineindeutiger Zuordnung der Objekt- Zustände werden bei nur **eindeutiger** Wahrnehmung zufällige, **mehrdeutige** Zuordnungen der Subjekt-Zustände auftreten. Aus dem "keine Wirkung ohne Ursache" folgt kein objektiver sondern subjektiver Zufall.



Ist jedoch die Wahrnehmung konstant unscharf, tritt zwar auch subjektive Unschärfe aber kein subjektiver Zufall auf. Subjekte und Beschreibungen haben notwendig weniger Zustände als ihre Umwelt. Also vereinfachen Wahrnehmung und Schreiben stets. Das schliesst aber die Wahrheit nicht aus:



Die Wahrheit von Wissen wird verifiziert, also der Nachweis der Wahrheit erbracht, wenn der vorausgesagte Zustand tatsächlich vorliegt:



Kritiker:

Wissen doch sehr unterschiedlich, wie kann es da ein einheitliches Maß geben?

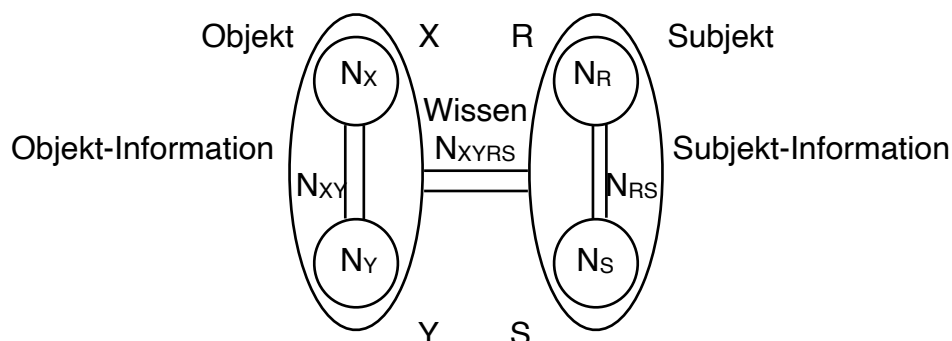
Autor:

Wie schon bei der Information, sind Begriff und Maß streng zu unterscheiden. So sind sowohl die Teilwissen "die Erde ist eine Kugel" und "die Erde umkreist die Sonne" als auch ihr Maß verschieden. Wenn nur die Alternativen Kugel oder Scheibe und Erde um Sonne oder Sonne um Erde existieren, verkörpern das ein Bit an Wissen, wie am Beispiel unten gezeigt wird.

Wissens-Maß

Wissen sind die gelernten und gespeicherten Informationen in Subjekten, welche externe Informationen abbilden. Diese Informationen korrelieren, das Maß ihrer Abhängigkeit ist dem Informations-Maß, der Abhängigkeit zwischen Zuständen, analog, nur eben eine Hierarchie-Ebene höher:

$$I_{XYRS} = \text{Id} (N_{XY} * N_{RS} / N_{XYRS}).$$

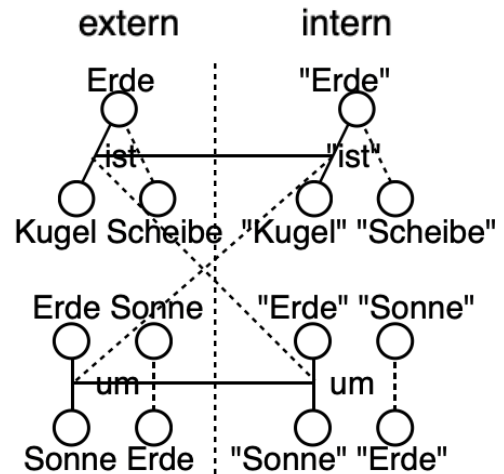


Sind externe und interne Abhängigkeiten, $Y(X)$ und $S(R)$, voneinander unabhängig, so ist $N_{XYRS} = N_{XY} * N_{RS}$, also $I_{XYRS} = \text{Id} 1 = 0$; bei maximal abhängigen Bereichen ist $N_{XY} = N_{RS} = N_{XYRS} = N$ und mit $I_{XYRS} = \text{Id} N$ das Wissen maximal.

Wird die Abhängigkeit durch gegenseitiges Beeinflussen der Wahrscheinlichkeiten bewirkt, so gilt analog:

$$I_{XYRS} = \sum_n \sum_m p_{nm} \cdot \log_2 (p_{nm} / (p_n \cdot p_m)).$$

Im Erde-Beispiel gilt: $N_{X1}=1$ (Erde), $N_{Y1}=2$ (Kugel, Scheibe), $N_{XY1}=1$ (Erde-Kugel), $N_{X2}=2$ (Erde, Sonne), $N_{Y2}=2$ (Sonne, Erde), $N_{XY2}=1$ (Erde-Sonne), $N_{XY}=N_{XY1}+N_{XY2}=2$, $N_{R1}=1$ ("Erde"), $N_{S1}=2$ ("Kugel", "Scheibe"), $N_{R2}=2$ ("Erde", "Sonne"), $N_{S2}=2$ ("Sonne", "Erde"), $N_{RS1}=1$ ("Erde"- "Kugel"), $N_{RS2}=1$ ("Erde"- "Sonne"), $N_{RS}=N_{RS1}+N_{RS2}=2$, $N_{XY} \cdot N_{RS}=4$, $N_{XYRS}=2$ (Erde-Kugel- "Erde"- "Kugel", Erde-Sonne - "Erde"- "Sonne"), und $I_{XYRS} = \log_2 4 = 2$ Bit (mit ----- wahr und - - - - falsch).



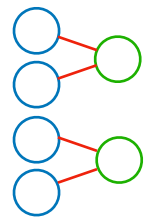
Fakten-Wissen speichert intern die externe räumliche, Regel-Wissen die zeitliche Zuordnung von Zuständen. Information ist Wissen, das Zuordnen objektiver zu subjektiven Zuordnungen.

Kritiker:

Sind denn außer den Definitionen auch hier Schlussfolgerungen zum Wissen möglich?

Autor:

Ja. Die Anzahl als unterschiedlich wahrgenommener externer Zustände kann nicht grösser sein als die der internen Zustände. Viele **Objekte** und die Umwelt besitzen aber mehr Zustände als das **Subjekt**. Darum ist **unscharfe** Wahrnehmung unvermeidlich. Das kann, muss aber nicht zu subjektiven Zufall führen, siehe dazu im Abschnitt Wahrheit.



Kritiker:

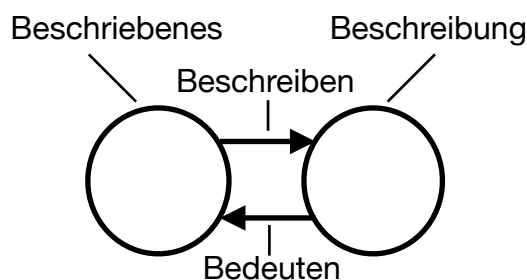
Aber Wissen existiert doch auch in Büchern, Wissensbanken und im Internet!

Autor:

Stimmt! Es gibt noch einen anderen Träger von Wissen, die Beschreibung.

Beschreiben

Beschreibungen sind Objekte, die andere Objekte vertreten. Ihre Zustände bilden die des Beschriebenen ab und speichern sie. Wie bei Objekt und Subjekt, ist auch hier der Bezug wesentlich /14/.



Das Diagramm zeigt den Prozess der semantischen Kommunikation zwischen vier Hauptkomponenten: Objekt, Subjekt₁, Beschreibung und Subjekt₂.

Jede Komponente ist als Kreis dargestellt, der in zwei Teile unterteilt ist:

- Objekt:**
 - Oben: *Zustand_{O1}* (identifizierend)
 - Unten: *Zustand_{O2}* (beschreibend)
 - Mitte: *Information_O*
- Subjekt₁:**
 - Oben: *Zustand₁₁* (syntaktisch)
 - Unten: *Zustand₁₂* (semantisch)
 - Mitte: *Information_{S1}*
- Beschreibung:**
 - Oben: *Symbol₁* (Bezeichnung)
 - Unten: *Symbol₂* (Bedeutung)
 - Mitte: *Information_B*
- Subjekt₂:**
 - Oben: *Zustand₂₁* (syntaktisch)
 - Unten: *Zustand₂₂* (semantisch)
 - Mitte: *Information_{S2}*

Die Interaktionen sind wie folgt dargestellt:

- Wahrnehmen:** Ein grüner Kasten umschließt das Objekt und Subjekt₁. Ein horizontaler Pfeil führt von *Zustand_{O1}* zu *Zustand₁₁*, und ein weiterer von *Zustand_{O2}* zu *Zustand₁₂*.
- Schreiben:** Ein blauer Kasten umschließt Subjekt₁ und die Beschreibung. Ein horizontaler Pfeil führt von *Zustand₁₁* zu *Symbol₁*, und ein weiterer von *Zustand₁₂* zu *Symbol₂*.
- Lesen:** Ein weiterer blauer Kasten umschließt die Beschreibung und Subjekt₂. Ein horizontaler Pfeil führt von *Symbol₁* zu *Zustand₂₁*, und ein weiterer von *Symbol₂* zu *Zustand₂₂*.

Innerhalb jedes Kreises verlaufen vertikale Doppelpfeile zwischen den Zuständen und der zentralen Information, was die interne Konsistenz und den Informationsfluss andeutet.

Objekt -----> Empfindung -----> Symbol -----> Beschreibung -----> Objekt

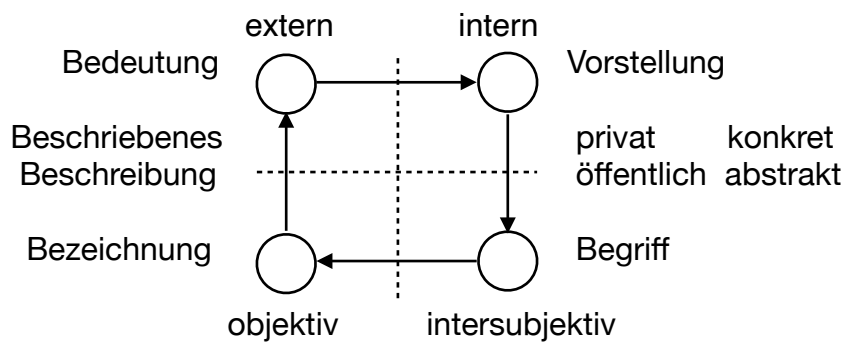
 | | | |

Wahrnehmen Abstrahieren Schreiben Bedeuten

$$I_{OS2} = I_{OS1} + I_{S1B} + I_{BS2} = I_d N_O^* N_{S1}^* N_B^* N_{S2} / N_{OS1BS2}.$$

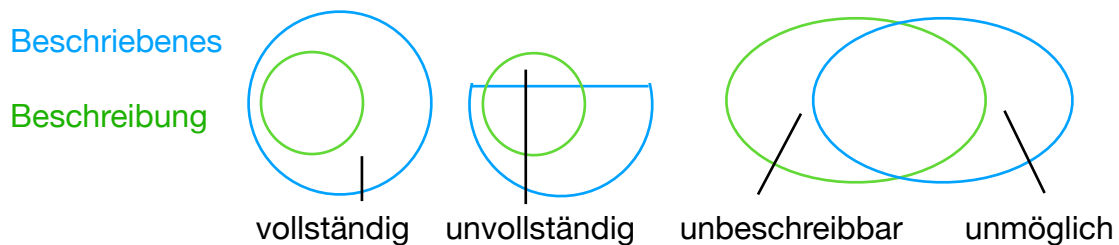
Beschreibungen sind zumeist Folgen von Symbolen, welche über ihre Bezeichnungen miteinander vernetzt sind. Hören und Lesen, Sprechen und Schreiben sind sequentiell, das Beschriebene aber zumeist ein Netz von Entitäten und Beziehungen. Darum bahnt sich die Beschreibung als Pfad durch das Netz, gibt es rekursive Definitionen*, Top-Down- oder Bottom-Up*-Vorgehen.

Neben der Wahrheit, als der Übereinstimmung von Behauptungen und Tatsachen, tritt durch Austausch von Beschreibungen noch deren intersubjektive Übereinstimmung auf. Bezeichnungen, als soziale Werte, werden ihre Bedeutungen zugeordnet und gelernt:

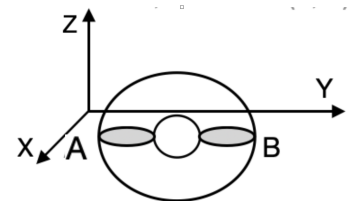


Statt der direkten Überprüfung wird die Wahrheit von Beschreibungen indirekt geglaubt.

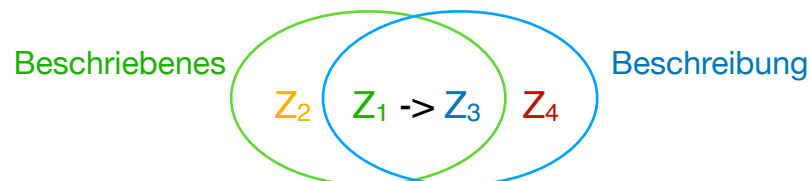
Eine Beschreibung kann nur vollständig sein, wenn sie nicht weniger mögliche Zustände als das Beschriebene besitzt. Meistens sind Beschreibungen schon deshalb unvollständig, weil sie nur die jeweils relevanten Aspekte abbilden. Es können aber auch fiktive, unmögliche Objekte beschrieben werden. Da Beschreibungen Teile der Welt sind, besitzen sie notwendig weniger Zustände als diese, wird es Unbeschreibbares geben:



Für die Unvollständigkeit einer Beschreibung kann nicht nur ihr Umfang, sondern auch eine unzureichende Dimensionalität der Sprache verantwortlich sein. Das Bild veranschaulicht das: Die Flächen A und B sind in drei Dimensionen (X, Y, Z) miteinander verbunden, in zweien (X, Y) hingegen nicht.



Das Beschriebene besitzt neben den abgebildeten, relevanten Teilzuständen, Z_1 , noch andere, irrelevante, Z_2 ; die Beschreibung neben den abbildenden $Z_3(Z_1)$ noch Z_4 . Z_1 und Z_3 verkörpern das Wissen; Z_2 und Z_4 sind verschieden, bewirken aber, dass Berechnen effizienter als Handeln ist:



Bedeutung ist dabei nicht mit Bedeutsamkeit oder Relevanz* zu verwechseln, was bisweilen sogar in informationstheoretischen Texten passiert (Menant 2003). Die Relevanz einer Beschreibung ergibt sich aus deren Sinn, der Einbettung in das interne Wissensnetz und seiner Verknüpfung zu überlebensnotwendigen internen Zuständen des Subjekts der Homöostase*.

Die hier als Wissen charakterisierte Abhängigkeit zweier Raumbereiche besteht nicht nur zwischen Objekt und Subjekt oder Beschriebenem und Beschreibung, sondern beispielsweise auch zwischen Eltern und Kindern oder zwischen Originalen und Kopien.

Kritiker:

Und wie sieht die oben versprochene Beziehung zur Algorithmischen Komplexität aus?

Autor:

Die Algorithmische Komplexität ist ein indirektes Komplexitäts-Maß. Sie bemisst die Information des Beschriebenen durch die Länge ihrer kürzesten Beschreibung. Die ist aber stark von der dabei benutzten Sprache abhängig, Außerdem ist sie bei reinem Zufall am höchsten.

Geeigneter scheint mir deshalb die Anzahl unterscheidbarer Beschreibungs-Zustände, die mindestens der Zahl unterschiedlicher Zustände des Beschriebenen entsprechen muss. So ist die Länge einer Zahl in einem Stellenwertsystem* deren Logarithmus und entspricht damit dem Maß der Information. Bei gleichwahrscheinlichen Zuständen ist die Nummerierung eine minimale Form von Beschreibung.

Kritiker:

Für Intelligenz gibt es doch doch den Intelligenzquotienten IQ. Wozu noch ein Maß?

Auch gibt es ja die verschiedensten Arten von Intelligenz, wie die Praktische, Emotionale, Soziale, oder gar Ästhetische. Wo liegen da die Gemeinsamkeiten?

Autor:

Die Gemeinsamkeit all dieser Intelligenzen ist wohl die Effizienz von Denken, Handeln, Fühlen, Verhalten oder Empfinden. Nicht der Umfang, sondern der Umgang mit Wissen ist entscheidend und macht den Unterschied zwischen belesen oder gebildet, gescheit oder intelligent.

Der IQ bezieht sich stets auf seinen Test, denn eine wissenschaftlich anerkannte, eindeutige Definition von Intelligenz existiert nicht.

Die Vielzahl und Unterschiedlichkeit vorhandener Definitionen der Intelligenz übertrifft wohl noch die von Information oder Wissen. Marcus Hutter hat allein 70 davon zusammengetragen (Hutter 2007). Die folgende Sicht auf Intelligenz versucht hingegen zu systematisieren.

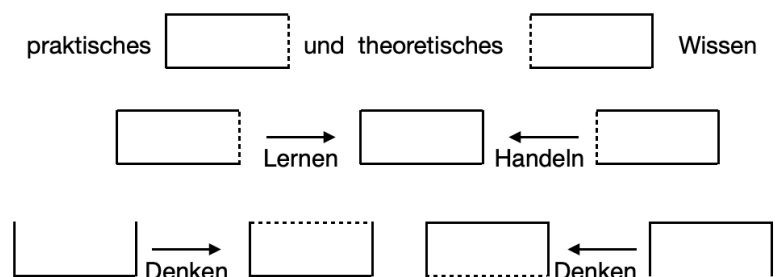
Intelligenz

Lernen erzeugt Wissen, Denken und Berechnen nutzt Wissen, ersetzt externes durch internes Handeln. Dadurch kann das Subjekt effizienter und sicherer agieren als direkt in seiner Umwelt.

Intelligenz ordnet das Wissen von Fakten einander zu, verwandelt Wissens-Mengen in Wissens-Netze, Beschreibungs-Folgen in Berechnungen.

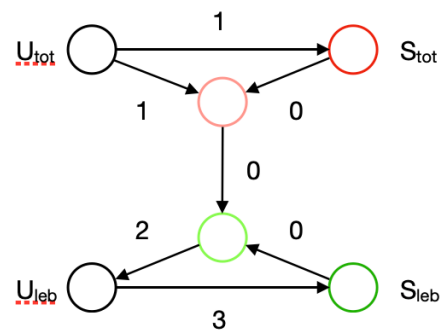
Denken

Denken ersetzt Handeln und schliesst transitive Lücken der Zuordnung. Praktisches Wissen schliesst durch Lernen interne, theoretisches Wissen durch Handeln externe Lücken; Denken ergänzt fehlende Wahrnehmung.



Aufwand und Kosten zum Speichern und Verarbeiten von Information sollen möglichst gering sein. Sie hängen vom Umfang, der Relevanz und Redundanz /15/ des gespeicherten Wissens ab.

Intelligenz sei die Effizienz des Wissens und seiner Verarbeitung. Erreicht wird das durch Vernetzen der einzelnen Wissens-Fakten. Das erleichtert zugleich die Bildung von Analogien, verbessert die Kreativität.



Für das Überleben von Organismen ist es oft wichtig, Wissen schneller zu verarbeiten als die Umgebung sich verändert. Daher ist Intelligenz oft überlebensnotwendig.

Die kognitiven Zustände sind mit anderen Zuständen, welche über Leben und Tod der Subjekte bestimmen (Homöostase), verknüpft. Dieses Wissen (0) ermöglicht geeignetes Handeln (2) um lebensbedrohende externe Zustände (1) zu vermeiden (3):

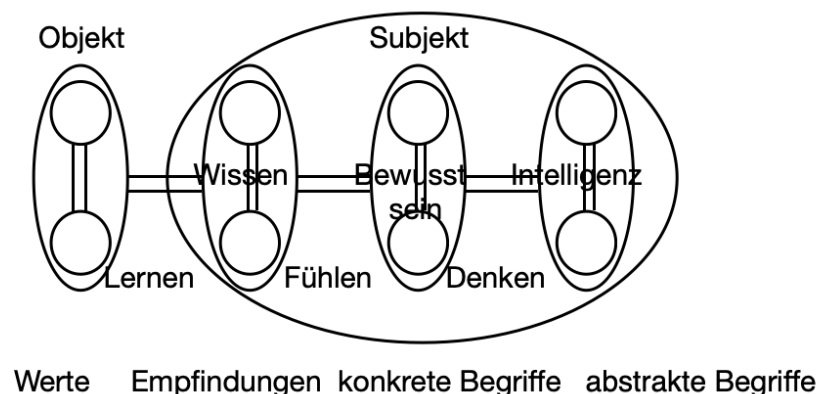
Die Subjekte, als Lebewesen, versuchen die Abhängigkeit von und damit Störungen aus ihrer Umgebung zu verringern.

Das Denken, wie Deduktion* oder Induktion* /16/, ist Wissensverarbeitung: Deduktion schließt aus implizitem* auf explizites Wissen. Induktion erzeugt neues Wissen aus vorhandenem, Kompression vermindert Redundanz.

Intelligent ist auch das Zuordnen zwischen Wahrnehmungen und internen Begriffen. Konkreteren Begriffen werden abstraktere zugeordnet. Wahrgenommenes und bewusst gewordenes Wissen kann über Begriffe in Beschreibungen kommuniziert werden.

Auch ersetzen Abstraktion und Formalismen komplexe Begriffe, also semantische Teilnetze, durch einfache Bezeichnungen, also syntaktische Elemente, und schaffen kompaktere Formen, erhöhen die Intelligenz.

Wissen entsteht durch Lernen, Bewusstsein durch Empfinden, Intelligenz durch Denken:



Wissen setzt kein Bewusstsein voraus. So sind beim Thermostaten die externe Information, dass Heizen die Temperatur erhöht, mit der internen Information, bei zu niedriger Temperatur ist mehr zu heizen, fest verdrahtet.

Bei Künstlicher Intelligenz* wird das Subjekt durch eine Maschine realisiert und das Denken durch Berechnen ersetzt.

Kritiker:

Was hat nun die Effizienz der Intelligenz mit der Abhängigkeit von Wissen zu tun?

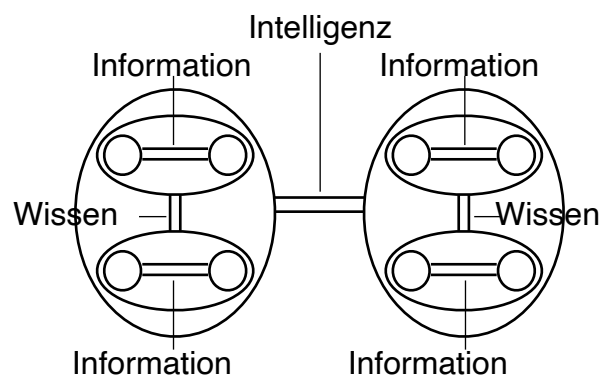
Autor:

Genau das ist der entscheidende Punkt. Die Welt ist keine Menge elementarer Fakten, sondern ein dichtes Netz von Zusammenhängen, die eine hohe gegenseitige Abhängigkeiten bedingen. Die abbildende interne Information, das Wissen, wird aber nacheinander durch Wahrnehmungen gewonnen und ergibt zunächst nur eine lose Menge von Fakten-Wissen. Diese zu einem Wissens-Netz zu verknüpfen, und so die externen Abhängigkeiten auch intern nachzubilden, schafft vermehrte Abhängigkeiten des Wissens und damit mehr Intelligenz.

Intelligenz-Maß

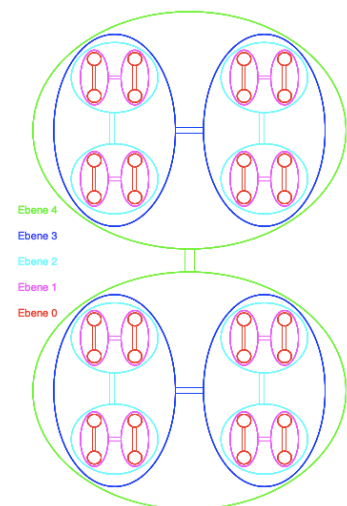
Das Maß von Intelligenz sei die Abhängigkeit von Wissen, welche die Zahl möglicher Verbindungen von M Wissens-elementen auf die tatsächlichen reduziert:

$$I_M = \text{Id} (N_{XYRS1} * N_{XYRS2} * .. * N_{XYRSM} / N_{XYRS12..M}).$$



Es ist das gleiche Muster wie bei der Information und dem Wissen, nur eine Ebene höher:

- Ebene 0: Eigenschaft
= Wert <—Ausschluss—> Wert
- Ebene 1: Zustand
= Wert <—Zuordnung—> Wert
- Ebene 2: Information
= Zustand <—Abhängigkeit—> Zustand
- Ebene 3: Wissen
= Information <—Lernen—> Information
- Ebene 4: Intelligenz
= Wissen <—Lernen—> Wissen

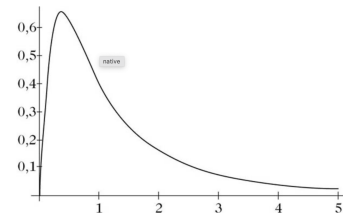
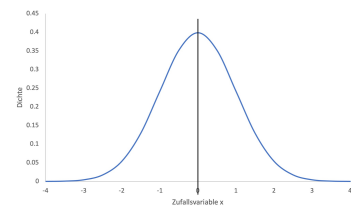


Hier ein Mini-Beispiel für die drei aufeinander aufbauenden Abhängigkeits-Maße:

Information	$I_{XY1} = \{ (x_1, y_1), (\cancel{x_1}, y_2), (\cancel{x_2}, y_1), (x_2, y_2) \}$	$= \text{Id } 4/2 = 1 \text{ Bit,}$
	$I_{XY2} = \{ (\cancel{x_1}, y_1), (x_1, y_2), (x_2, y_1), (\cancel{x_2}, y_2) \}$	$.. = 1 \text{ Bit,}$
	$I_{RS1} = \{ (r_1, s_1), (\cancel{r_1}, s_2), (\cancel{r_2}, s_1), (r_2, s_2) \}$	$.. = 1 \text{ Bit,}$
	$I_{RS2} = \{ (\cancel{r_1}, s_1), (r_1, s_2), (r_2, s_1), (\cancel{r_2}, s_2) \}$	$.. = 1 \text{ Bit,}$

Wissen	$I_{XYRS1} = \{ (I_{O1}, I_{S1}), (\cancel{I_{O1}}, \cancel{I_{S2}}), (\cancel{I_{O2}}, \cancel{I_{S1}}), (I_{O2}, I_{S2}) \}$	..	= 1 Bit,
	$I_{XYRS2} = \{ (\cancel{I_{O1}}, \cancel{I_{S1}}), (I_{O1}, I_{S2}), (I_{O2}, I_{S1}), (\cancel{I_{O2}}, \cancel{I_{S2}}) \}$	..	= 1 Bit,
Intelligenz	$I_{12} = \{ (I_{O1}, I_{S1}), (\cancel{I_{O1}}, \cancel{I_{S2}}), (\cancel{I_{O2}}, \cancel{I_{S1}}), (I_{O2}, I_{S2}) \}$	..	= 1 Bit.

Intelligenz beschreibt die geistige Leistungsfähigkeit von Subjekten. Das vorgeschlagene Intelligenz-Maß ist abstrakt, erfunden und nicht entdeckt, wie auch der Intelligenzquotient IQ. Er wird über Intelligenztests mit Fragen zu Sprachverständnis, logischem Denken, dem Umfang des Arbeitsgedächtnisses und der Verarbeitungsgeschwindigkeit ermittelt und ist eine statistische Kenngröße zum Vergleich innerhalb einer Referenzgruppe. Dabei wird angenommen, dass die Intelligenz normalverteilt (oben) ist. Um das zu erreichen, werden die Teilergebnisse entsprechend gewichtet. Natürlicher wäre die Logarithmische Normalverteilung (unten). Diese korrespondiert besser mit der resultierenden Einkommensverteilung.



Die Kurzspeicherkapazität C, in Bit, als Produkt der Verarbeitungsgeschwindigkeit S, in Bit pro Sekunde, und der Gedächtnisspanne D, in Sekunden, $C = S * D$, ist ein objektiveres Intelligenzmaß und kommt unserem Maß näher.

Kritiker:

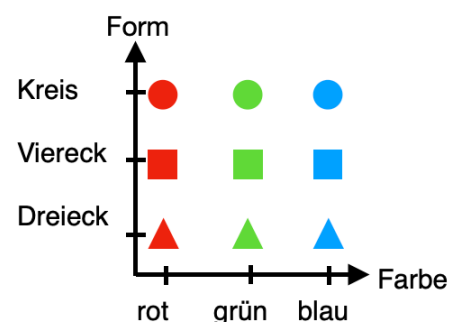
Die Begriffe Information, Wissen und Intelligenz und gar deren Maße sind ja doch recht abstrakt. Existieren diese denn auch tatsächlich in der Welt?

Autor:

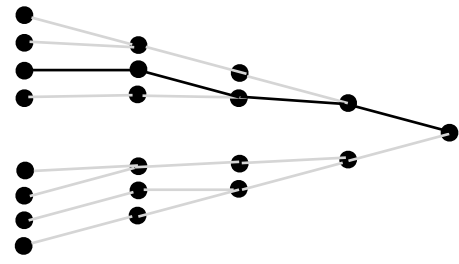
Abstrahieren verzichtet auf Unterscheidungen durch Eigenschaften. Das ist aber nur in Subjekten oder Beschreibungen möglich; tatsächlich sind in der Welt immer alle Eigenschaften vorhanden und damit abstrakte Begriffe nicht real. Aber die Frage muss differenzierter betrachtet werden.

Abstrahieren

Abstrahieren ist der bewußte Verzicht auf unterscheidende Eigenschaften, kann also nur in Subjekten und Beschreibungen auftreten. Das ändert die tatsächliche Anzahl der Objekte natürlich nicht. Der Verlust der Zahl unterschiedener Entitäten wandert in deren Häufigkeit. So werden z.B. die neun Objekte im nebenstehenden Zustandsraum zu drei Formen mit der Häufigkeit drei, wenn auf die Farbunterscheidung verzichtet wird.

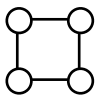
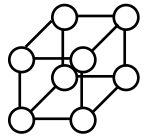


Jede Begrenzung oder Auswahl von N auf M Zuordnungen, mit $N > M$, abstrahiert, vermindert die Vielfalt, erzeugt Information. Das geschieht auch beim Übergang von Information zu Wissen, von Wissen zu Intelligenz, von Empfindungen zu konkreten, von konkreten zu abstrakten Begriffen und bei der Auswahl auf nur einen Fakt.



Vielfalt-Information-Wissen-Intelligenz-Auswahl

Die Hierarchieebenen Information-Wissen-Intelligenz im Zustands-Raum sind abstrakt:

Information	1 Dimension		2 Werte,
Wissen	2 Dimensionen		Meta-Information 4 Werte,
Intelligenz	3 Dimensionen		Meta-Wissen 8 Werte.

Real sind hingegen die drei Dimensionen des physikalischen Raumes mit nebeneinander liegenden Werten im Zustand, dem Nebeneinander von Objekt und Subjekt und deren Netzen sich beeinflussender Werte.

Abstrakte Dimensionen und Hierarchieebenen existieren nur in Subjekten und Beschreibungen. Dort dienen sie der effizienteren Verarbeitung oder dem besseren Verständnis.

Es ist einfacher mit der Bezeichnung statt dem Bezeichneten, mit dem Henkel statt dem Gefäß, zu agieren. So ist die abstrakte Berechnung der Zahlen Fünf plus Zehn gleich Fünfzehn weniger aufwendig, als zu einem konkreten Haufen von zehn Säcken, weitere fünf Säcke hinzu zu fügen.

Viele Grenzen, wie beispielsweise die zwischen Gemeinden, existieren nicht real als Zäune und Mauern, sondern nur in Landkarten. Das Vorhandensein und die Lage abstrakter Grenzen verändern aber das Maß der Information nicht (beachte Indizes):

$$\begin{array}{ccccccc} I_{123} & + & I_{45} & + & I_{123-45} & = & \\ I_{12} & + & I_{345} & + & I_{12-345} & = & I_{12345}, \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Id } N_1 * N_2 * N_3 / N_{123} + \text{Id } N_4 * N_5 / N_{45} + \text{Id } N_{123} * N_{45} / N_{123-45} = \\ \text{Id } N_1 * N_2 * N_3 / N_{123} * N_4 * N_5 / N_{45} * N_{123} * N_{45} / N_{123-45} = \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Id } N_1 * N_2 / N_{12} + \text{Id } N_3 * N_4 * N_5 / N_{345} + \text{Id } N_{12} * N_{345} / N_{12-345} = \\ \text{Id } N_1 * N_2 / N_{12} * N_3 * N_4 * N_5 / N_{345} * N_{12} * N_{345} / N_{12-345} = \text{Id } N_1 * N_2 * N_3 * N_4 * N_5 / N_{12345}. \end{array}$$

So ändern die abstrakten Hierarchie-Ebenen Information-Wissen-Intelligenz auch nicht die Komplexität der Objekte und Subjekte, verbessern aber das Verständnis.

Kritiker:

Was heißt Verständnis und wieso wird es durch Hierarchie-Ebenen verbessert?

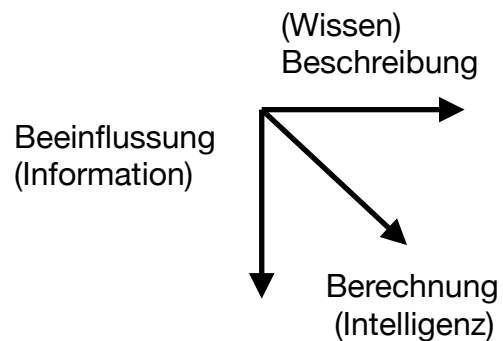
Autor:

Fakten, Begriffe, Zusammenhänge, also Zustands-Zuordnungen, werden verstanden, wenn sie in ein vorhandenes Wissensnetz eingebaut werden können, also gleiche Teil-Zustände bereits vorhanden sind. Disjunkte*, unverbindbare Zustandsmengen sind Fakten-Wissen und können nur gespeichert und bei Wiederauftreten genutzt werden. Wichtig ist auch, dass das wahrzunehmende, zu speichernde und zu verarbeitende Informationsmaß nicht grösser als aktuelle Verarbeitungskapazität des Subjektes ist. Darum kann ein Aufteilen eines Informations-Netzes durch Grenzen und Hierarchie-Ebenen in Teile das Verstehen erst ermöglichen oder vereinfachen: Teile und beherrsche.

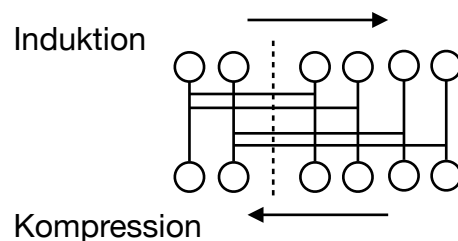
Berechnen

Berechnen ist "Denken" in Beschreibungen, ist aktives Umformen von Beschreibungs-Zuständen. Es ersetzt Handeln, verändert Wissen und ist wahrheitserhaltend.

Codieren, Übersetzen, Drucken und Bewegen von Beschreibungen verändern nur irrelevante Teilzustände, sind kein Berechnen.

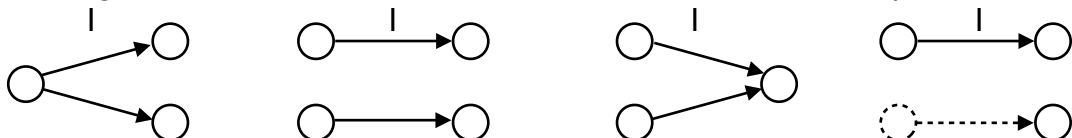


Berechnen ist Interpolieren*, Extrapolieren*, Induzieren* oder die Explikation* impliziten Wissens durch Funktionen, Algorithmen, logische Ableitungen oder Programmläufe. Dabei wird das Wissen redundanter, die Intelligenz geringer. Komprimieren ersetzt umfängliches Wissen durch kompakteres, wie das Beschreiben von Folgen gleicher Elemente durch deren Wiederholung; die Intelligenz wächst.



Theorien* oder Modelle* sind variable Beschreibungen. Sie ermöglichen die Abbildung zu variieren. Berechnen kann inhaltlich, eher das Denken unterstützend und dabei ständig die Wahrheit überprüfend, kann logisch, also automatisch wahrheitserhaltend, oder formal, als Kalkül*, erfolgen.

Es gibt bedeutungserhaltende, wahrheitserhaltende, abstrahierende und phantasierende



Beschreibungsumformungen.

Berechnen ist Bewegung in Zustandsräumen, bildet mathematische Gruppen* und bleibt wahr. Phantasie und Kreativität sind interne Operationen die aus wahren Zuständen herausführen.

Berechnen ist das Suchen eines Weges vom gegebenen zum gewünschten Beschreibungs-Zustand, nicht die einfache Zuordnung beider, weil lediglich der erwünschte Teil des Zielzustandes bekannt, der Rest aber zumeist unbekannt ist.

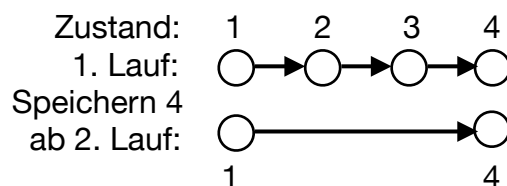
Berechnungen führen Beschreibungen durch Funktionen oder Algorithmen ineinander über. Da es nur abzählbar* unendlich viele Funktionen, aber überabzählbar viel mögliche Berechnungen gibt, muss es unberechenbare Funktionen geben. Der Beweis dafür benutzt das sogenannte Diagonalargument*.

Bei endlichen Funktionen funktioniert das Diagonalargument jedoch nicht, denn alle Diagonalen sind in den Funktionen enthalten, alle Berechnungen können durchgeführt werden. Beispiel binäres $Y(X)$:

X	Y	/- Diagonale
0	0 1 u 0 1 u 0 1 u	0 0 0 1 1 1 u u u
1	0 0 0 1 1 1 u u u	1 u 0 1 u 0 1 u 0
i	1 2 3 4 5 6 7 8 9	4 7 1 5 8 2 6 9 3

Die Vorhersagbarkeit von Berechnungen ist nur möglich, wenn kürzere und längere Wege vom Start- zum Ziel-Zustand führen.

Existiert zunächst nur ein Weg der Berechnung, stehen der gleichen Berechnung jedoch beim zweiten Mal die gespeicherten Start- und Ziel-Zustände abkürzend zur Verfügung:

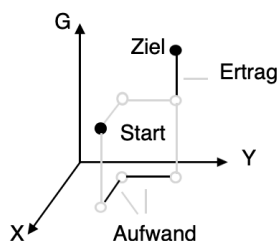


Die direkte Zuordnung von Start- und Ziel-Zustand ist Erfahrungs-Wissen, Voran gegangene eigene oder fremde Berechnung erspart wiederholtes Denken oder Handeln.

Die Effizienz, der Wirkungsgrad von Denken oder Berechnen bestimmt die Intelligenz und bemisst sich wie folgt:

$$\text{Effizienz} = \text{Ertrag/Aufwand} = \text{Güteverbesserung} / \text{Weglänge}.$$

Der Aufwand zur Änderung von Zuordnungen sollte möglichst gering sein. Mehrere Werte eines Zustandes zu ändern ist aufwendiger als nur einen. Ein Maß dafür ist der so genannte Hamming-Abstand, die Weglänge im Zustandsraum. Bei ungeordneten Werten kosten alle Wert-Änderungen gleich viel, bei geordneten Werten hängt der Aufwand von deren Abstand ab, denn auf dem Weg zum gewünschten Wert muß über die dazwischenliegenden gewechselt werden.



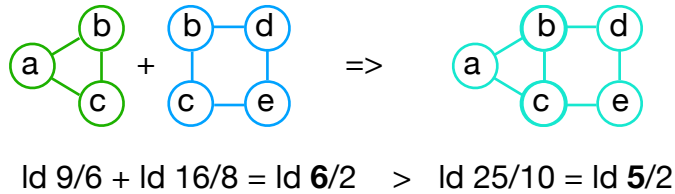
$$E = \Delta G / \Delta Z$$

mit $G(X,Y) = \text{Güte}(\text{Zustand})$

Erklären und Beweisen sind Berechnungen welche aus gegebenem Wissen gesuchtes herleiten. Erklärungen führen neue, unbekannte, zusammengesetzte Begriffe oder

Beziehungen auf bereits vorhandene, bekannte, einfache zurück. Beweise, hingegen, verknüpfen formal, logisch mathematisch, vorhandenes evidentes Wissen mit gesuchtem und fraglichem Wissen (Steegmüller 1969).

Das Ziel von Erklärungen und Beweisen ist besseres Verstehen, das kohärente Einbetten neuen oder fraglichen Wissens in bereits vorhandenes. Das resultierende Wissen wird dadurch kleiner als die Summe aus altem und neuem Wissen. Beispiel:



Berechnen erzeugt kein Wissen,

$$I_{\text{Aufgabe}} + I_{\text{Lösung}} = I_{\text{Aufgabe}} = I_{\text{Lösung}},$$

verbessert es aber, indem kognitive und emotionalen Teilzustände einander zugeordnet werden und dadurch das Wissen handlungsgerecht wird.

Kritiker:

Das waren ja viele Informationen. Damit sie durch Lernen und Speichern zu Wissen werden, wäre eine wiederholende Zusammenfassung hilfreich.

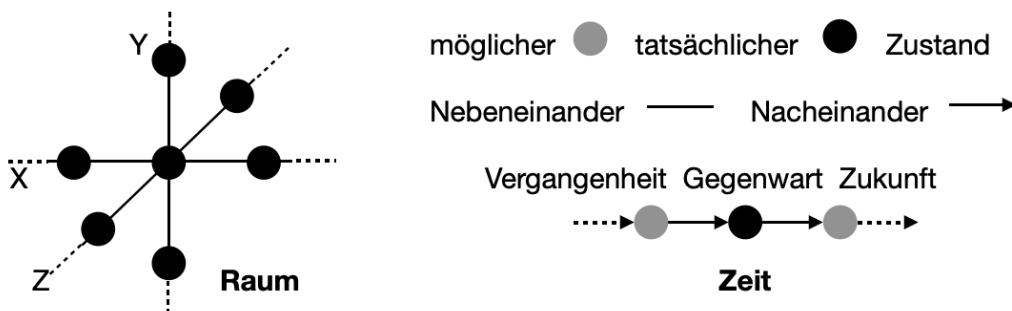
Autor:

Diese will ich im Epilog gern liefern.

Epilog

Werte sind die elementaren Bestandteile der Welt. Mehrere konkrete Werte werden Zustand genannt. Das kann eine ungeordnete Menge an einem Ort oder/und ein geordnetes Tupel eines Raumbereiches sein. Die Werte eines Zustandes existieren gleichzeitig, sind logisch UND-verknüpft. Zustände verändern sich mit der Zeit.

Der dreidimensionale Raum ist das geordnete Nebeneinander, die eindimensionale Zeit das gerichtete Nacheinander von Zuständen. Die räumlichen Zustände existieren alle, von den zeitlichen nur die der Gegenwart:



Eigenschaften sind Mengen möglicher Werte, die sich gegenseitig ausschliessen und logisch durch Entweder-ODER verknüpft sind. Die Eigenschaften sind abstrakt und die

Dimensionen von Zustandsräumen. Jeweils ein Punkt darin stellt den konkreten Zustand dar.

Die Anzahl unterschiedener Werte einer Eigenschaft, die Mächtigkeit dieser Menge, ist zugleich die Zahl ihrer möglichen Werte. Die N möglichen Zustände eines Raumbereiches sind das Produkt der Anzahlen N_m aller M Elemente des Zustandes: $N = N_1 * N_2 * .. * N_M$.

Als Maß der Vielfalt eines Raumbereiches wird deren Logarithmus definiert:

$$H_M = \text{Id } N_1 * N_2 * .. * N_M.$$

Sowohl zwischen den Werten an einem Ort als auch benachbarten Orten können Wirkungen auftreten. Diese verändern deren Werte, und damit den Zustand, bis keine Wirkung mehr besteht, ein Gleichgewichts-Zustand erreicht ist oder dieser zyklisch wechselt.

Die durch die Wirkungen verursachte Abhängigkeit beschränkt die Anzahl möglicher Zustände auf $N_{1..M} < N_1 * N_2 * .. * N_M$. Für die Information wird als das Maß dieser Beschränkung definiert zu:

$$I_M = \text{Id } N_1 * N_2 * .. * N_M / N_{1..M}.$$

Die Information eines Raumbereiches wird durch interne Wirkung zwischen den Werten, durch äußere Einwirkung und/oder eine gezielte Auswahl von Zuständen bewirkt.

Die Beschränkung möglicher Gesamt-Zustände zweier Raumbereiche, wie zum Beispiel von Objekt und Subjekt durch Wahrnehmung und Handeln, wird als Maß des Wissens definiert zu:

$$I_{OS} = \text{Id } N_O * N_S / N_{OS}.$$

Wahrheit ist dabei die Übereinstimmung des gedachten mit dem tatsächlich wahrgenommenen Zustand: $Z_S(Z_R(Z_X)) = Z_S(Z_Y(Z_X))$

Die vielen Fakten der Umgebung $Z_{Ym}(Z_{Xm})$ beeinflussen einander. Darum sollte auch das isolierte Fakten-Wissen $Z_{Sm}(Z_{Rm})$ zu einem Wissens-Netz vereint werden.

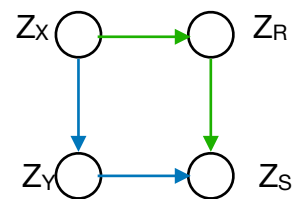
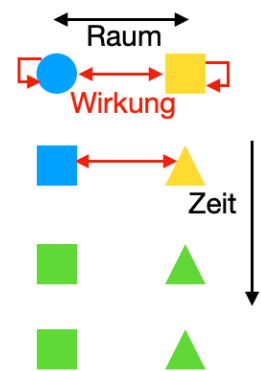
Als Maß von Intelligenz wird die dadurch verursachte Beschränkung möglicher Fakten, und damit die Effizienz des Wissens, definiert zu:

$$I_{XYRSM} = \text{Id } (N_{XYRS1} * N_{XYRS2} * .. * N_{XYRSM} / N_{XYRS12..M}).$$

Komplexität ist die Information von Objekten.

Beschreibung und Beschriebenes sind voneinander abhängig wie Subjekt und Objekt. Aber Beschreibungen sind passiv, Subjekte aktiv.

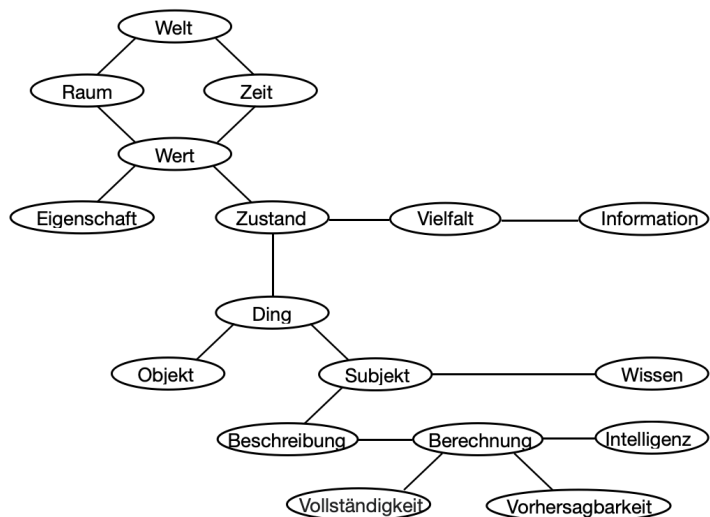
Beschreibungen bilden, direkt oder indirekt die Welt ab, dienen dem Austausch und der Speicherung von Wissen, sowie dem Berechnen.



Berechnen, als Verändern von Beschreibungen durch Subjekte, ist zumeist einfacher als das Bearbeiten des Beschriebenen durch Handeln in der Welt selbst. Gespeicherte Berechnungsergebnisse ersparen zudem das wiederholte Berechnen.

Berechnen schafft kein neues Wissen, verbessert aber dessen Zielorientierung und macht es handlungsgerechter.

Die Grafik rechts verdeutlicht das Zusammenspiel:



Kritiker:

Und ist denn das hier gebotene Wissen denn auch intelligent?

Autor:

Der Text will eine intelligente Beschreibung sein. Er bemüht sich, Vorhandenes verständlich zu beschreiben und wahr zu sein. Er versucht das umfangreiche Wissen dreier Bereiche zu einem engen Netz klar definierter Begriffe zusammenzufassen, also intelligent zu sein.

Die Relationen-Hierarchie Information-Wissen-Intelligenz erinnert an die Weisheitspyramide, mit Information-Wissen-Weisheit, und die Drei-Welten von Karl Popper (1902-1994), mit physischer, psychischer und geistiger Welt. Schon das Vorhandensein dieser bekannten Sichten zeigt die Bedeutsamkeit von Information, Wissen, Intelligenz und deren Zusammenspiel.

Popper läßt seine drei Welten, im Sinne eines erweiterten Dualismus*, unvereinbar nebeneinander bestehen, während hier, im Sinne des Monismus*, von nur einer Welt ausgegangen wird, welche die Information als Ergebnis von Wirkungen, sowie Wissen als übergeordnete Informationen enthält.

Auch Yi.X.Zhong verfolgt mit "Transforming Information to Knowledge and Intelligence" (Zhong 2002) das Anliegen, die drei Begriffe miteinander zu verbinden. Er verfolgt dabei aber den Ansatz, Information als Wissen für Künstliche Intelligenz aufzubereiten.

Die Unterscheidung von Erfindung und Entdeckung ist nicht immer leicht (Söseman 2022). Die Philosophie des Konstruktivismus* versucht sogar alle entdeckten Fakten auf menschliche Erfindungen zurückzuführen.

Erfindungen führen zu Entdeckungen, wie das Fernrohr zu neuen Planeten, das Mikroskop zu Bakterien oder wie Gedankenexperimente zu neuen Erkenntnissen.

Hier wurde aus dem erfundenen Begriff des Wissens die Wahrheit trotz subjektiver Wahrnehmung entdeckt und aus der Definition von wahrem Wissen der subjektiver Zufall trotz Determinismus erkannt.

Doch auch das erfundene Netz von Begriffen, die Relationen-Hierarchie Information-Wissen-Intelligenz kann nützlich sein. Wenn Wissenschaft komprimierte Welt-

Beschreibung und -Berechnung ist, möchten die vorliegenden Zeilen ein wenig beim Komprimieren geholfen haben.

Kritiker:

Und wie sieht es nun mit Anwendungen dieses intelligenten Wissens aus?

Autor:

Eng verwandt mit der Information ist der Begriff der Entropie. Die Entropie der Wärmelehre ist als die Entwertung von arbeitsfähiger Energie in Wärme definiert. Hier werden alle Formen der Entropie als Spezialfall der Vielfalt interpretiert. Mit steigender Abhängigkeit der Elemente wächst die Information und verringert sich die Entropie. Das Beschreiben von Wissen erfordert Sprachen. Das sind potentielle Beschreibungsmengen, kondensiertes Wissen. Ihre Strukturen bilden die der Welt ab.

Zelluläre Automaten realisieren Berechnungen. Sie simulieren die Welt im Sinne der obigen Ontologie. Stephen Wolframs "New Science" (Wolfram 2002) basiert auf deren Erkundung und haben ihn faszinierende neue Einsichten gewinnen lassen.

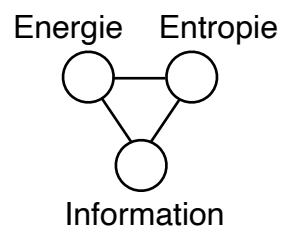
In ihrer einfachsten Ausprägung, mit binären Werten, einer zyklischen Dimension und nur fünf Zellen, sind sie sogar per Hand ausführbar und halfen mir geeignete Beispiele zu generieren.

Da diese drei Themen interessant sind, eng mit dem bisher vorgestellten verbunden sind und mich selbst lange beschäftigt haben, widme ich ihnen hier drei eigene Abschnitte. Aber, um den roten Faden nicht zu unterbrechen, habe ich sie im Anhang untergebracht. Damit stehen sie auch physisch zwischen Haupttext und Anmerkungen.

Anhang

Entropie

Entropie ist einer der wichtigsten, aber auch umstrittensten Begriffe der Physik. Sie leitet sich aus der Energie ab und ist mit der Information eng verbunden. So hat schon 1956 Leon Brillouin (Brillouin 1956) Information als Negentropie bezeichnet. Ich selbst verteidige seit 50 Jahren die Wesensverwandtschaft von Information und physikalischer Entropie (Söseman 1975, 2023.2).



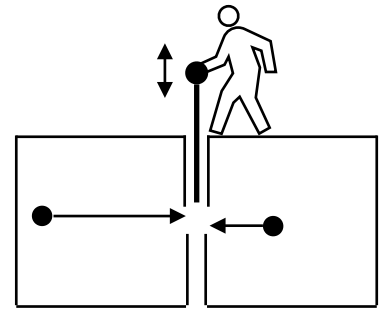
Der Energieerhaltungssatz besagt, dass der Umfang der Energie gleich bleibt, auch wenn sich ihre Form, ändert. Die Summe von wertvoller, so genannter freier Energie, die in Arbeit verwandelt werden kann, und Wärmeenergie, als die minderwertigste Form, bleibt konstant. Wärme allein kann nur noch als Wärmedifferenz in Arbeit verwandelt werden, wie bei der Dampfmaschine.

Die Entropie S ist ein Maß der Arbeitsfähigkeit von Energie. Arbeit zu leisten erfordert den Ausgleich energetischer Unterschiede, erhöht damit aber die Entropie.

Eine Maschine, die ohne Energieverbrauch Arbeit leistet, das Perpetuum mobile*, verbietet der Energie-Erhaltungssatz. Ein Perpetuum mobile der zweiten Art würde Arbeit leisten ohne Energie zu entwerten. Das schliesst aber der zweite Hauptsatz der Wärmelehre aus, der besagt, dass die Entropie in geschlossenen Systemen nicht abnimmt.

Der so genannte Maxwell'sche Dämon lässt durch eine Schranke schnelle Gasatome in die eine, langsame in die andere Kammer, schafft so eine Temperatur-Differenz; oder er lässt die bewegten Atome nur in eine Richtung passieren und schafft so eine Druck-Differenz. Beides könnte dann Arbeit verrichten. Wo liegt der Fehler?

Die dafür erforderliche Information über den Mikrozustand, also Position und Impuls der Atome, kostet mehr Entropie als der Dämon vernichtet.



Der Physiker Ludwig Boltzmann (1844-1906) erkannte die Wärme als Bewegung von Atomen und definierte die Entropie zu $S = k \cdot \ln W$, mit W als Zahl möglicher mikroskopischer Zustände.

Die Vielfalt ist oben mit $H = \lg N$ definiert. Die beiden Formeln unterscheiden sich nur durch eine Konstante, die sich in den unterschiedlichen Maßeinheiten, Joule/Kelvin oder Bit, ausdrückt. So kann die Entropie als Spezialfall der allgemeineren Vielfalt interpretiert werden. Information schränkt die Zahl möglicher Zustände ein und wachsende Entropie erhöht sie,

denn mit

$$N=W, N_1 > N_2,$$

$$\log N_1 - \log N_2 = \log N_1/N_2 = - \log N_2/N_1$$

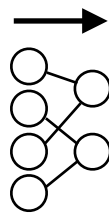
und der Umrechnung

$$\lg N = \ln N / \ln 2$$

gilt dann

$$I = \lg N_1/N_2 = - k \cdot \ln N_2/N_1 = - d S.$$

Information



Entropie

Information ist Entropie-Verminderung, Brillouin's Bezeichnung "Negentropie" ist berechtigt. Information verringert, Entropie-Zuwachs vergrößert die Zahl möglicher Zustände. Der maximalen Entropie entspricht die Vielfalt.

Der 2.Hauptsatz der Thermodynamik gilt zwar allgemein und objektiv, verbietet aber nicht eine lokale Entropie-Verringerung, also Informations-Zunahme.

Die Wirkungen zwischen den Werten beschränken die Zahl möglicher Zustände, verringern oder vergrößern dadurch deren Wahrscheinlichkeiten und bewirken so mehr Information und weniger Entropie /17/.

Im Gegensatz zur Verteilung eines idealen Gases zu wahrscheinlicheren Zuständen steht deren Anziehung durch Gravitation. Die Bewegungsenergie führt zum Umkreisen von Massen, so dass Fliehkräfte die Anziehung wieder aufheben, oder gar zu Kernfusion wie bei der Sonne, bei der sie als Licht wieder verteilt wird und über Evolution zu Organisation beiträgt.

Kritiker:

Ja was denn nun, stirbt das Universum den Wärmetod oder gibt es die Evolution zum universellen Bewußtsein?

Autor:

Vermutlich weder das Eine noch das Andere. Doch gibt es noch keine von allen anerkannte Auffassung. Ich bevorzuge das Vorhandensein entgegengesetzter Prinzipien, deren Wirken die Welt am Laufen hält, den dialektischen Widerspruch*. Doch schauen wir, was die einschlägige Fachliteratur dazu sagt:

Wassim Haddad betont in (Haddad 2017), dass die universelle Entropieerhöhung für evolutionäre und selbstorganisierende Vorgänge sogar notwendig ist /18/.
 Zyklenbildung /19/, Gravitation, Selbstorganisation*, und Evolution verhindern so den Wärmetod* des Universums.

Stephen Wolfram hat sich lange mit dem Problem der Entropie befasst (Wolfram 2023). Er führt das physikalische Gesetz der Entropiezunahme aber auf die rechnerische Beschränkung (Computational Irreducibility), von Beobachtern zurück.

Jedoch liegt Entropiezunahme nicht nur an beschränktem Beobachter, sondern emergentes Makroverhalten beruht auf kausalem Mikroverhalten: Der Energie-Vektor von Valerie Etkin (Etkin 2019) löst sich auf, die Entropiezunahme ist objektiv. Er zeigt, dass der klassische Begriff der Entropie in die Irre geführt hat und durch den Begriff des Thermoimpulses ersetzt werden sollte. Damit gelingt ihm die Widerlegung der Theorie vom „Wärmetod des Universums“ und die Beseitigung des Widerspruchs zwischen Thermodynamik und Evolutionstheorie /20/.

Kritiker:

Was haben denn Sprachen mit Information, Wissen und Intelligenz zu tun?

Autor:

Viel, aber direkter ist die Beziehung zu Beschreiben und Berechnen.

Sprache

Sprachen sind Mengen möglicher Beschreibungen, sind gespeichertes Welt-Wissen /21/. Ihre Lexik*, Syntax*, Semantik* und Pragmatik* sind vereinbarte Definitionen. Symbole, Struktur, Bedeutung und Effizienz verkörpern Vielfalt, Information, Wissen und Intelligenz:

Ebene	Begriff	Maß	Beschreibung	Sprache
0	Vielfalt	$H = \text{Id } N$	Symbol	Lexik
1	Information	$I_{XY} = \text{Id}(N_X * N_Y / N_{YX})$	Struktur	Syntax
2	Wissen	$I_{XYRS} = \text{Id}(N_{XY} * N_{RS} / N_{XYRS})$	Bedeutung	Semantik
3	Intelligenz	$I_M = \text{Id}(N_1 * N_2 * .. * N_M / N_{12..M})$	Effizienz	Pragmatik

Sprachen sind turing-vollständig, wenn alle Berechnungen, die Turing-Maschinen, also Computer, ausführen können, in ihnen beschrieben und ausgeführt werden können. Analog dazu sind vollständige Ontologien, die alle Erscheinungen der Welt erfassen, oder vollständige Axiomensysteme*, aus denen alle wahren Sätze ableitbar sind.

Programme beschreiben vorhandene oder gewünschte Objekte und deren Veränderung in einer gegebenen Programmiersprache. Ihr Ablauf auf einen Computer realisiert die durch sie beschriebene Berechnung und simuliert so das Denken eines Subjektes.

Meine minimale, universelle und vollständige Programmiersprache "Leibniz" diene der Suche nach dem Wesenskern von Sprachen und der Einführung in das Programmieren (Sösemann 2010).

Sie ist vollständig und alle Programmierstile, wie strukturiert, funktional, logisch oder objektorientiert, können in ihr definiert und ausgeführt werden. Die Syntax ist mit nur drei Regeln sehr kompakt:

```
zuordnung  =  folge [ ':' folge ] .
folge       =  symbol [ folge ] .
symbol      =  '(' zuordnung ')'
              | '<' symbol '>'
              | '_' | zeichen .
```

Ihre Semantik wird formal durch Regeln zur parametrisierten, rekursiven Wortersetzung definiert: Die Zuordnung realisiert die Wirkung zwischen Werten, die durch Bezeichner, also Zeichenfolgen, vertreten werden; die Folgen realisieren Raum und Zeit; die Rekursion ermöglicht es, Wiederholungen und Hierarchien abzubilden. Damit verkörpert "Leibniz" die oben definierten Ontologie.

Kritiker:

Zelluläre Automaten sind ja wohl ein spezielles Mittel der Berechnung. Wozu hier ein extra Abschnitt zu ihnen?

Autor:

Sie passen gut zur definierten Ontologie und demonstrieren an Beispielen oben getroffene Aussagen.

Zelluläre Automaten

Zelluläre Automaten sind Mittel zur Beschreibung und Berechnung und verkörpern die Wirkung zwischen Werten.

Die Wechselwirkung zwischen nur zwei Werten ist nicht realistisch. Bei drei Raumdimensionen wirken auf einen Wert wenigstens sechs andere.

Stephen Wolfram vereinfacht für seine minimalen Zellulären Automaten jedoch auf nur eine Raumdimension für binäre Funktionen. Dabei bestimmen je zwei Nachbarn und der alte Wert den neuen.

Der einfachste binäre Zelluläre Automat besitzt nur eine zyklische Raumdimension /22/ und drei Orte. Die Funktion wird durch eine achtstellige Binärzahl charakterisiert:

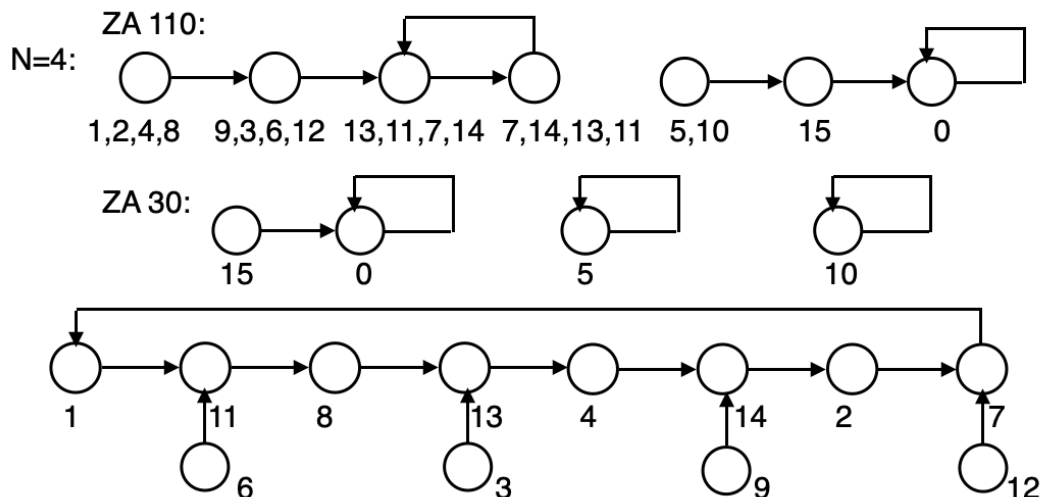
Beispiel Regel 30: 111 110 101 100 011 010 001 000 (alter Wert + Nachbarn)
 (neuer Wert) 0 0 0 1 1 1 1 0 = 16+8+4+2 = 30.

In "A New Kind of Science" (Wolfram 2002) werden alle 256 möglichen Funktionen des minimalen binären Automaten untersucht /23/. Trotz der einfachen deterministischen Regeln zeigen einige davon komplexe, scheinbar zufällige Verläufe. Wolfram zieht daraus weit reichende Schlussfolgerungen, wie das Prinzip der rechnerischen Äquivalenz*, betreibt damit sogar eine neue Art Wissenschaft.

Bei festem N und $x_{N+1}=x_1$ bilden die 2^N Zustände Zyklen. Wenn die Anzahl verschiedener Zustände eines Zyklus T kleiner als 2^N ist, existieren mehrere voneinander getrennte Zyklen T_i mit $\sum T_i = 2^N$.

Die Regeln 30 und 110 der Einfachen Zellulären Automaten führen zu getrennten Graphen bei denen nicht alle End- durch alle Anfangs-Zustände erreichbar, also unberechenbar, sind.

Ein Ring von nur 5 Zellen, also 16 Zuständen, demonstriert hier an den Regeln 30 und 110 das Streben zu Senken (0, 5, 7,10), kurze (0, 5, 10) und lange Zyklen (1-...-7), sowie die Unerreichbarkeit der Zustände 0, 5, 10 von allen anderen in Regel 30 und 0, 5, 15 von den anderen in Regel 110:



Kritiker:

War das alles zu Zellulären Automaten!

Autor:

Ja, denn sie sind eine Welt für sich, siehe Wolfram's "Neue Wissenschaft" oder Conway's "Spiel des Lebens". Ich wollte hier nur zeigen, dass dieses mächtige Werkzeug, wenn die vorgebrachten Einschränkungen berücksichtigt werden, der vorgestellten Ontologie gehorcht und einige einfache Beispiele zur Zyklenbildung und Unberechenbarkeit vorstellen.

Kritiker:

So, das war's. Wo war denn nun das Neue, die bahnbrechende Entdeckung, der praktische Nutzen?

Autor:

In diesem Essay leider nirgends. Aber man muß sich bescheiden, schon mit einer neuen Sichtweise und eher bahnbereitender theoretischer Erfindung zufrieden sein. Zudem dem Leser, der es bis hierher geschafft hat, Respekt erweisen.

Zwar freut sich jeder Autor über geäußerte Zustimmung, wirklichen Gewinn bringt aber nur berechtigte Kritik. Doch dazu bedarf es der unabhängigen Sicht Anderer. Der Kritiker im Text war ja nur der Autor in anderem Gewand. Echte Einwände, die er hatte, sind ja im Text bereits berücksichtigt.

Auf Reaktionen per Email über friedrich.soesemann@web.de würde ich mich freuen. Weitere Informationen sind auf meiner meiner Homepage <https://sites.google.com/view/friedrich-soesemann> zu finden.

Anmerkungen

1:

Meixner's "Einführung in die Ontologie" (Meixner 2004) gibt einen Überblick möglicher Varianten, ist Meta-Ontologie, während Esfeld's minimale (Esfeld 2020), Bunge's materialistische (Bunge 2004), Tegmeier's kategoriale (Tegmeier 1992) oder Wachter's Feld-Ontologie (Wachter 2000) spezielle Sichtweisen bieten.

2:

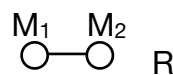
Michael Esfeld (Esfeld 2020) schlägt eine minimale Ontologie als Längendifferenzen zwischen Materiepunkten vor. Der Unterschied zur der hier vorgeschlagenen Ontologie besteht in der Zuordnung der Elemente zu Konstanz, Variabilität und Abhängigkeit: Dort der konstante Wert von Materiepunkten, hier die variablen Werte. Dort die variablen Differenzen durch Bewegung, hier die konstante Anordnung in Orten und Zeitpunkten. Dort die konstante Abhängigkeit der Differenzen untereinander und zu den Positionen, hier die variable Abhängigkeit zwischen den Werten.

3:

Relationen sind Untermengen von Produktmengen: $R \subseteq M_1 \otimes M_2$ mit $N_R \leq N_1 * N_2$.

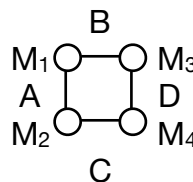
Beispiel:

$$M_1 = M_2 = \{ 1, 2, 3 \}, \\ N_1 = |M_1| = N_2 = |M_2| = 3,$$

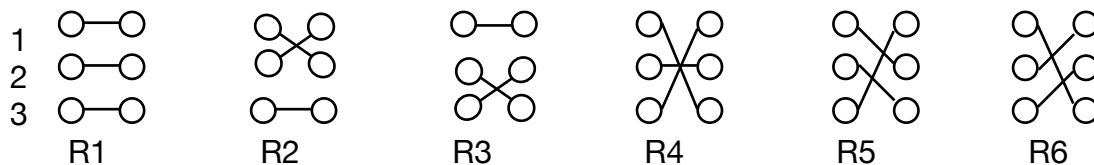


$$M_1 \otimes M_2 = \{ (1,1), (1,2), (1,3), (2,1), (2,2), (2,3), (3,1), (3,2), (3,3) \}, \\ N_{12} = N_1 * N_2 = 9$$

$$R_1 = \{ (1,1), (2,2), (3,3) \} = R_1^{-1}, \\ R_2 = \{ (1,2), (2,1), (3,3) \} = R_2^{-1}, \\ R_3 = \{ (1,1), (2,3), (3,2) \} = R_3^{-1}, \\ R_4 = \{ (1,3), (2,2), (3,1) \} = R_4^{-1}, \\ R_5 = \{ (1,2), (2,3), (3,1) \} = R_6^{-1}, \\ R_6 = \{ (1,3), (2,1), (3,2) \} = R_5^{-1},$$



$$IRI = N_R = 3 < 9,$$



$$R_i ; R_j \neq R_j ; R_i,$$

$$\text{Bsp.} \quad R_2 ; R_4 = \{ \{ (1,2), (2,1), (3,3) \} ; \{ (1,3), (2,2), (3,1) \} \} = \{ (1,2), (2,3), (3,1) \} = R_5 \\ \neq R_4 ; R_2 = \{ \{ (1,3), (2,2), (3,1) \} ; \{ (1,2), (2,1), (3,3) \} \} = \{ (1,3), (2,1), (3,2) \} = R_6$$

$$R_D = M_4(M_3) = M_4(M_2(M_1(M_3))) = R_C ; R_A ; R_B^{-1}$$

$$\text{Bsp.:} \quad R_2 ; R_4, R_3^{-1} = \\ \{ (1,2), (2,1), (3,3) \} ; \{ (1,3), (2,2), (3,1) \} ; \{ (1,1), (2,3), (3,2) \} = \{ (1,3), (2,2), (3,1) \} = R_4.$$

Die Relationen bilden bezüglich der Verkettung* eine mathematische Gruppe, also verkettete Relationen einer Menge ergeben wieder eine Relation aus derselben Menge. Beispiel: Für alle möglichen Belegungen von A-D mit R1-R6 ergibt sich eine Relation aus R1-R6. Damit kann jede der vier Relation A-D aus den drei anderen berechnet werden. Das ist wichtig bei der Definition von Wissen.

4:

Hier werden Wert und Wirkung als elementare Entität und Beziehung festgelegt. Sie sind analog zu Signal und System, aber eben auf unterster Ebene. Darauf bauen Eigenschaften, Zustände, Objekte, Subjekte, Beschreibungen und Berechnungen auf. Räumliche Verschiedenheit ermöglicht zeitliche Veränderung. Aktuelle Verschiedenheit entsteht durch vergangene Veränderung.

5:

Durch Variation von Raum und/oder Zeit werden eine Vielzahl von Zuständen erzeugt. Die Eigenschaften, als Mengen einander ausschliessender Werte und deren Umfänge, können wie folgt ermittelt werden:

- Jeder Wert des ersten Zustandes ist der erste Wert je einer Eigenschaft.
- Der nächste Zustand, der sich nur in einem Wert vom vorangegangenen Zustand unterscheidet, kann der übrig bleibenden Eigenschaft zugeordnet werden.
- Allen Eigenschaften sind alle ihre Werte zugewiesen, wenn die Werte weiterer Zustände bereits in den Eigenschaften enthalten sind.

Im folgenden Beispiel mit drei Eigenschaften zu je drei Werten, also 3^3 möglichen Zuständen, wird dies bereits in sieben Schritten erreicht:

(a, v, t) ->	{ a }	{ v }	{ t }
(t, c, v) ->	{ a, c }	..	..
(b, v, t) ->	{ a, c, b }	..	..
(t, c, w) ->	..	{ v, w }	..
(b, s, w) ->	..	..	{ t, s }
(u, t, a) ->	..	..	..
(b, s, u)	..	..	..
(a, r, w) ->	{ a, c, b }	{ v, w, u }	{ t, s, r c, r, v }
(b, r, u)	..	..	..
..	..	..	..

6:

Ursachen-Ereignisse bewirken Wirkungs-Ereignisse, Gregory Bateson (1904-1980) nennt das die "Unterscheidung, die einen Unterschied macht" (Bateson 1972) und definiert so Information.

Auch für den Biologen Jean Piaget (1896-1980) sind Strukturen nicht gegeben, sondern entstehen aus Operationen (Piaget 1973). Diese bilden aus Mengen mathematische Gruppen. Die Selbstregelung führt zu stabilen End-Zuständen oder Zustands-Zyklen. Die

Wirkungen der Kausalität, des Wahrnehmen's und Handeln's sind eben diese strukturierenden Operationen.

Valeriy Etkin (Etkin 2025) bezeichnet hingegen die Wirkungen als Kräfte inhomogener Energiefelder welche den materiellen Träger verändern:

"Basierend auf der Energiedynamik wird die allgemeinste Definition von Kraft als Maß für einen Nichtgleichgewichtszustand vorgeschlagen und analytische Ausdrücke für die treibenden Kräfte einer großen Zahl unabhängiger Evolutions- und Involutionsprozesse gefunden."

"Aus der Sicht der Energiedynamik wird deutlich, dass die Umwandlung von Energie von einer Form in eine andere mit einer Veränderung ihres materiellen Trägers verbunden ist."

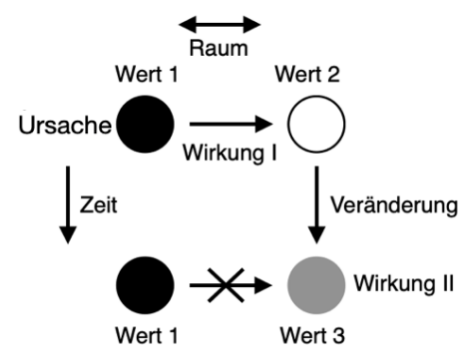
Dies eröffnet die Möglichkeit, alle grundlegenden Disziplinen, einschließlich der Thermodynamik, und nicht nur die Theorien der Gravitation und des Elektromagnetismus zu synthetisieren.

Active and Relaxation forces of heterogeneous processes

№	Nature of force	Analytical expression	Note
1	Gravitational force	$X_g = -c^2 \nabla \rho$	ρ – density of the medium
2	Accelerating force	$X_w = \nabla w$	w – translational speed.
3	Inertia force	$X_c = -\nabla w$	c – speed of light in matter
4	Centripetal force	$X_\omega = -\omega^2 R$	ω, R – speed and radius of rotat.
5	Hydrodynamic force	$X_p = -\nabla p$	p – absolute pressure
6	Radiation force	$X_\psi = -\nabla \psi_\nu$	ψ_ν – amplit.-frequency potential
7	Convection force	$X^i = -\nabla u_i$	u – specific internal energy
8	Diffusion force	$X_\mu^k = -\nabla \mu_k$	μ_k – chemical pot.l of k-th subst.
9	Osmosis force	$X_h^k = -\nabla h_k$	h_k – molar enthalpy kth subst.
10	Sedimentation force	$X_\psi^g = -c_k \nabla \psi_g$	ψ_g – gravitational pot.-l
11	Reaction flow force	$X_r = -\nabla A_r$	A_r – affinity r-th chem. reaction
12	Electrostatic force	$X_\phi = -\nabla \phi = E$	ϕ, E – electr. pot.-l and field
13	Electrochemical force	$X_{\phi k} = -\nabla \mu_k$	μ_k – electrochem.ical. pot.-l
14	Longitudinal magnet. field	$X_H = -(\nabla \omega_k)^2 = H$	H – magnetic tension. fields
15	Vortex magnetic field	$X_{\omega k} = -(\nabla \omega_k)^2 = B$	ω_k – angles. speed rotate change
16	Galvanomagnetic force	$X_{a k} = -a_k (\nabla \omega_k)^2$	a_k – Hall constant
17	Thermomotive force	$X_T = -\nabla T$	T – absolute temperature
18	Thermoelectric force	$X_{s k} = -s_k \nabla T$	s_k – entropy of electron transfer
19	Thermodiffusion. force	$X_{s k T} = -s_k \nabla T$	s_k – entrop. transfer of k-th item
20	Barodiffusion. force	$X_{p k} = -p_k \nabla T$	p_k – molar. volume of kth quant.
21	Volumetric viscosity force	$X_{\nabla v} = -\nabla (\nabla v)$	$\nabla (\nabla v)$ – trace of the speed tensor
22	Shear Viscosity Strength	$X_{\nabla v} = -(\nabla v)^2$	$(\nabla v)^2$ – sim. part of tensor ∇v
23	Turbulent viscosity force	$X_{\nabla v} = -(\nabla v)^2$	$(\nabla v)^2$ – antisim. part of tens. ∇v
24	Gyroscopic force	$X_{\omega} = -(\nabla \omega)^2$	ω – ang. speed
25	"Vorticity" transfer force	$X_{\nabla \omega} = -(\nabla \omega)^2$	$(\nabla \omega)^2$ – antisim. part of tens. $\nabla \omega$

7:

Bestimmte Wertkombinationen, wie hier Wert 1 und Wert 2, sind nicht "erlaubt"; andere schon, wie Wert 1 und Wert 3. Unerlaubte Wertkombinationen im Raum erzeugen Wirkungen, hier Wirkung I. Diese führen zur Veränderung eines, bei Kausalität, oder beider Werte, bei Wechselwirkung. Hier wird Wert 2 in den Wert 3 verwandelt. Der unveränderte Wert, hier Wert 1, wird auch als Ursache, der geänderte Wert, hier Wert 3, als Wirkung, hier Wirkung II, bezeichnet. Da die Unterscheidung der Wirkung als Beziehung, Wirkung I, und als Ergebnis, Wirkung II, sich aus dem Kontext ergibt, wird im Text nur von "Wirkung" gesprochen.



8:

Bewegung erfordert bei unbewegten Eigenschaften das Entstehen und Vergehen. Eigenschaften als Wertmengen besitzen dazu den Null-Wert. Anziehung und Abstossung erscheinen als Fern-Wirkung*, können aber als Feld durch indirekte Nah-Wirkung erzeugt werden:

Globale Wirkung lokaler Regeln; Modell für Anziehung/Abstossung in Zellulärem Automat:

```

G1:          ..0012345432100..
G2:          ..0012345432100..
G1+2:        ..001234555555432100..

```

Regel Abstoßung:

00->00, 01->11, 12->22, 23->33, 34->44, 45->55,
10->11, 21->22, 32->33, 43->44, 54->55, 55->55

G_t : ..001234**555555**5432100..

G_{t+1} : ..001234**55555555**5432100..

<- ->

Regel Anziehung:

00->00, 01->00, 12->11, 23->22, 34->33, 45->44,
10->00, 21->11, 32->22, 43->33, 54->44, 55->55

G_t : ..001234**555555**5432100..

G_{t+1} : ..001234**5555**5432100..

-> <-

9:

Die Anzahl der Elemente einer Eigenschafts-Menge M wird als deren Mächtigkeit IMI bezeichnet. Zustände, als Tupel mehrerer Eigenschaften, bilden dann Produkt-Mengen.

Das Produkt zweier Mengen M_X und M_Y ist die Menge der Paare aller Elemente beider:

$$M_{XY} = M_X \otimes M_Y = \{x_1, x_2, \dots, x_{N_X}\} \otimes \{y_1, y_2, \dots, y_{N_Y}\} \\ = \{(x_1, y_1), (x_1, y_2), \dots, (x_{N_X}, y_{N_Y})\}.$$

Die Mächtigkeit des Produktes von M Mengen ist das Produkt der Mächtigkeit aller Mengen, bei dem jedes Element jedem der anderen Mengen zugeordnet wird:

$$N_{1..M} = \prod_m^M N_m \quad \text{und} \quad N_{1..M} = N^M \quad \text{für} \quad N_m = N.$$

Somit ergibt sich die Anzahl von Zuständen als Produkt der Anzahl von Werten aller Eigenschafts-Mengen.

10:

Zukünftige Häufigkeiten werden, unter der Annahme konstanter Gesetze, aus vergangenen Häufigkeiten extrapoliert. Diese existieren aber nur gespeichert in Subjekten oder Beschreibungen.

11:

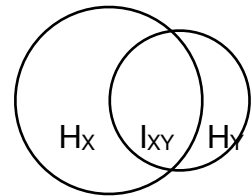
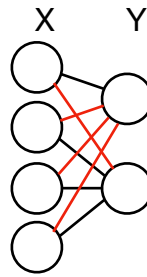
Diese Ungleichung kann noch genauer formuliert werden. Die maximale Anzahl von Zuordnungen zwischen den N_X und N_Y Werten beträgt $N_{XY\max} = N_X \cdot N_Y$. Die minimale Zahl von Zuordnungen $N_{XY\min}$ wird dadurch begrenzt, dass nur zugeordnete Werte als vorhanden betrachtet werden. Somit gilt $N_{XY\min} = \max(N_X, N_Y)$.

Im Bild rechts, mit $N_X = 4$ und $N_Y = 2$, ist zunächst jeder Wert von X mit jedem von Y verbunden; X und Y sind voneinander unabhängig. Werden alle roten Zuordnungen entfernt, ist immer noch jeder Wert zugeordnet, gilt nun aber $N_{XY\min} = \max(N_X, N_Y) = N_X = 4$.

Somit ist

$$\begin{aligned}
 I_{XY\max} &= \text{Id } N_X \cdot N_Y / N_{XY\min} \\
 &= \text{Id } N_X \cdot N_Y / \max(N_X, N_Y) \\
 &= \text{Id } \min(N_X, N_Y) \\
 &= \min(H_X, H_Y)
 \end{aligned}$$

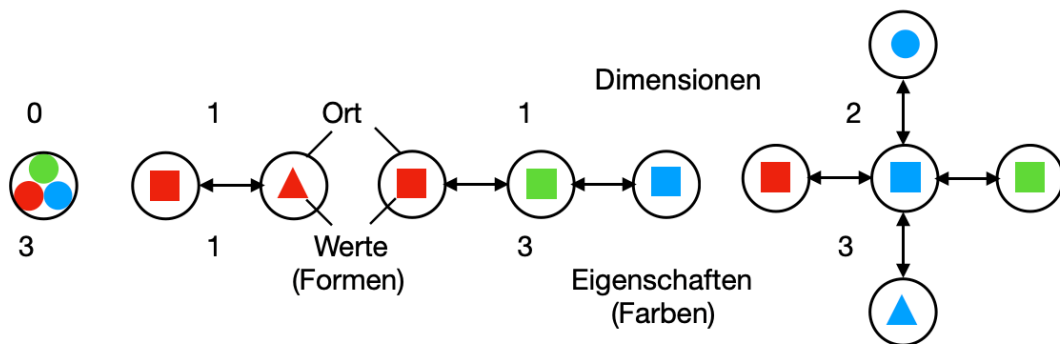
und $0 \leq I_{XY} \leq I_{XY\max} = \min(H_X, H_Y) < H_X + H_Y$.



12:

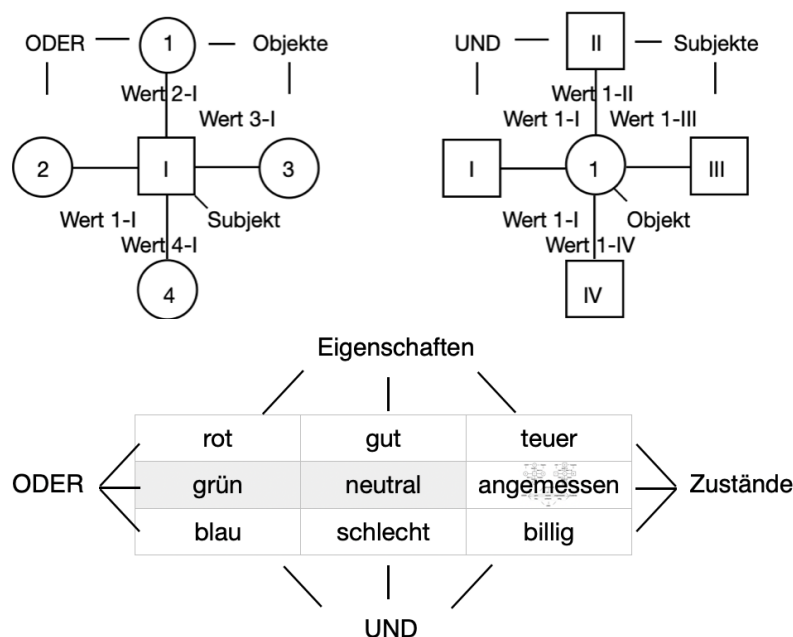
Bei mehr als nur zwei Orten oder Eigenschaften sind die folgenden Einschränkungen zu beachten:

Zwei verschiedene Werte an einem Ort sind nur möglich, wenn diese zu verschiedenen Eigenschaften gehören; an einem Ort können sich M Werte aus M Eigenschaften befinden und gegenseitig beeinflussen. M Werte einer Eigenschaft benötigen aber wenigstens M unterschiedliche Orte. Diese spannen eine oder mehrere räumliche Dimensionen auf. Direkt beeinflussen können sich aber nur räumlich benachbarte Werte (*Lokalität*). Daher wächst der direkte gegenseitige Einfluss mit der Zahl der Raumdimensionen. Das Bild demonstriert die Zusammenhänge zwischen Orten und Dimensionen, ihren Werten und Eigenschaften:



13:

Elementare Subjekte sind Raumbereiche ODER-verknüpfter Werte verschiedener Objekte einer Eigenschaft. Objekte sind Raumbereiche UND-verknüpfter Werte verschiedener Eigenschaften eines Zustandes:



14:

Beschreibungen verkörpern Wissen, sind Meta-Relationen. Sie stellen die Abhängigkeit zwischen bereits abhängigen Zuständen dar, sind Relationen von Relationen:

$$R^2_M \subseteq R^{1_1} \otimes R^{1_2} \otimes \dots \otimes R^{1_M}.$$

Die hierarchische Relation R_{XYRS} der Relationen R_{XY} und R_{RS} ist zugleich die flache Relation der Mengen X, Y, R und S :

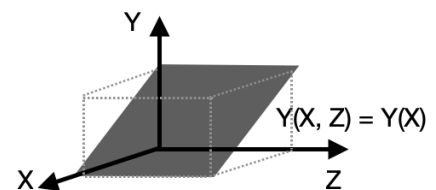
$$\begin{aligned} R_{XY} &= \{ (x_1, y_2), (x_2, y_1) \} \subseteq \{ (\cancel{x_1}, \cancel{y_1}), (x_1, y_2), (x_2, y_1), (\cancel{x_2}, \cancel{y_2}) \}, \\ R_{RS} &= \{ (r_1, s_2), (r_2, s_1) \} \subseteq \{ (\cancel{r_1}, \cancel{s_1}), (r_1, s_2), (r_2, s_1), (\cancel{r_2}, \cancel{s_2}) \}, \\ R_{XYRS} &= \{ (x_1, y_2, r_1, s_2), (x_2, y_1, r_2, s_1) \} \\ &\subseteq \{ (x_1, y_2, r_1, s_2), (\cancel{x_2}, \cancel{y_1}, \cancel{r_1}, \cancel{s_2}), (\cancel{x_1}, \cancel{y_2}, \cancel{r_2}, \cancel{s_1}), (x_2, y_1, r_2, s_1) \}, \\ R_{XYRS} &\subseteq X \otimes Y \otimes R \otimes S = \{ (\cancel{x_1}, \cancel{y_1}, \cancel{r_1}, \cancel{s_1}), (\cancel{x_1}, \cancel{y_2}, \cancel{r_1}, \cancel{s_1}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_1}, \cancel{r_1}, \cancel{s_1}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_2}, \cancel{r_1}, \cancel{s_1}), \\ &\quad (\cancel{x_1}, \cancel{y_1}, \cancel{r_1}, \cancel{s_2}), (\cancel{x_1}, \cancel{y_2}, \cancel{r_1}, \cancel{s_2}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_1}, \cancel{r_1}, \cancel{s_2}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_2}, \cancel{r_1}, \cancel{s_2}), \\ &\quad (\cancel{x_1}, \cancel{y_1}, \cancel{r_2}, \cancel{s_1}), (\cancel{x_1}, \cancel{y_2}, \cancel{r_2}, \cancel{s_1}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_1}, \cancel{r_2}, \cancel{s_1}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_2}, \cancel{r_2}, \cancel{s_1}), \\ &\quad (\cancel{x_1}, \cancel{y_1}, \cancel{r_2}, \cancel{s_2}), (\cancel{x_1}, \cancel{y_2}, \cancel{r_2}, \cancel{s_2}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_1}, \cancel{r_2}, \cancel{s_2}), (\cancel{x_2}, \cancel{y_2}, \cancel{r_2}, \cancel{s_2}) \}. \end{aligned}$$

Bei der hierarchischen Form müssen 6 in der flachen 12 Elemente entfernt werden, die hierarchische Form ist effizienter, agiert additiv statt multiplikativ.

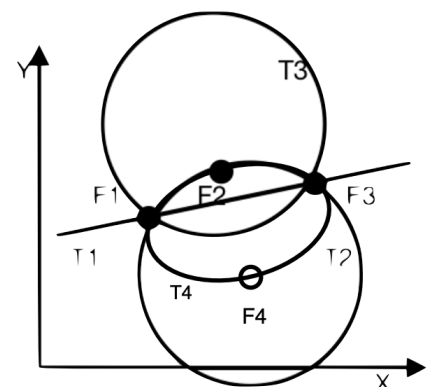
15:

Redundanz kann auch nützlich sein, wie beim Verringern von Störungen bei der Kommunikation oder eben beim Wissen, wo das Duplizieren der Information den Gesamt-Aufwand reduziert.

Die Dimension Z im Bild ist für die erlaubten Zustände irrelevant, hingegen sind X und Y voneinander abhängig, also eines davon redundant:

**16:**

Der begrenzten Faktenmenge F_1, F_2 und F_3 wird durch die Theorie T_2 , einem Kreis mit unendlich vielen Fakten, ersetzt. Damit können bisher unbekannte Fakten, F_i mit $i > 3$, deduktiv erschlossen werden. Es gilt die Hypothese T_2 , während T_1 und T_3 durch F_2 falsifiziert werden. Der neue Fakt F_4 falsifiziert jedoch nun auch T_2 und führt zur besseren Hypothese T_4 , einer Ellipse statt eines Kreises. Induktion wird durch das Bilden von Analogien möglich. Sie verknüpfen gleich strukturiertes Wissen unterschiedlicher Bereiche.

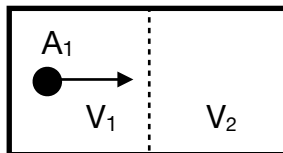
**17:**

Ein beliebtes Beispiel zur Entropie sind zufällig bewegte Gasatome in einem Behälter. Unter der Annahme keiner gegenseitigen Wirkung, wie Stöße oder Anziehung, nimmt deren Entropie ein Maximum an, verteilen sich die Teilchen im Raum gleichmäßig, ihre einmal gegebene Geschwindigkeits-Verteilung bleibt jedoch erhalten.

Die zufällige Zuordnung von N zu M Elementen gehorcht der Multinomial-Verteilung* mit $N > M$, N als Anzahl und M als Dimensionszahl. Beispiele dazu sind N Würfe eines Würfels mit M Seiten oder N Gasatome in M Teilen eines Behälters.

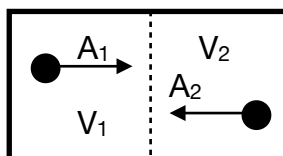
Beispiel für $N=M=2$:

Ein einzelnes Gasatom A_1 bewegt (Energie > 0) sich zufällig (von Wänden reflektiert) in einem Behälter. Deshalb befindet es sich gleich häufig in der einen V_1 oder der anderen Volumen-Hälfte V_2 :



$$N = 1: \quad \begin{array}{c|cc} A_1 & V_1 & V_2 \\ \hline p_m & 1/2 & 1/2 \end{array}$$

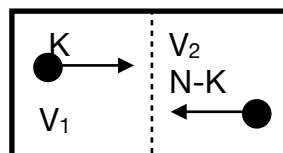
Ein zweites Gasatom A_2 bewegt sich vom ersten unabhängig, da beider Volumina gegenüber dem des Behälters vernachlässigbar sind. So tritt jede der vier möglichen Zustände, $A_1.V_1$, $A_1.V_2$, $A_2.V_1$ oder $A_2.V_2$, gleich häufig auf:



$$N = 2: \quad \begin{array}{c|cccc} A_1 & V_1 & V_1 & V_2 & V_2 \\ A_2 & V_1 & V_2 & V_1 & V_2 \\ \hline p_{nm} & 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{array}$$

Analog gilt für N Gasatome: $p_{nm} = 1/2^N$, $n = 1, \dots, N$, $m = 1, 2$.

Werden die einzelnen Gasatome jedoch nicht voneinander unterschieden und zählt nur deren Anzahl, wird also von den 2^N Mikro- auf $M \ll 2^N$ Makro-Zustände übergegangen, so unterscheiden sich deren Häufigkeiten nun jedoch voneinander:

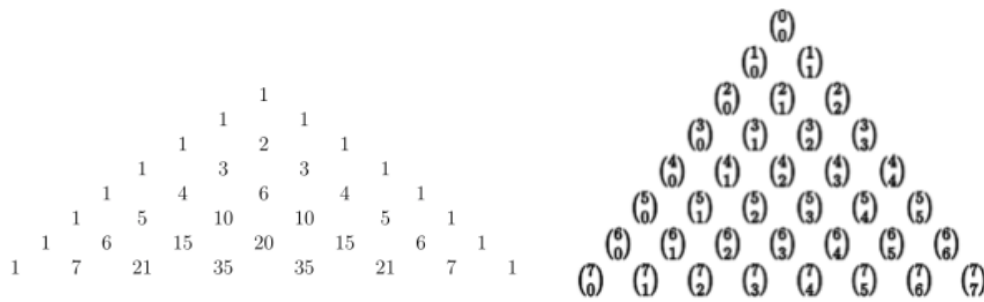


$$\begin{array}{c|cccc} A_1 & V_1 & V_1 & V_2 & V_2 \\ A_2 & V_1 & V_2 & V_1 & V_2 \\ \hline p_{nm} & 1/4 & 2/4 & 1/4 & \end{array} \quad \begin{array}{c|ccccccccc} A_1 & V_1 & V_1 & V_1 & V_2 & V_1 & V_2 & V_2 & V_2 \\ A_2 & V_1 & V_1 & V_2 & V_1 & V_2 & V_1 & V_2 & V_2 \\ A_3 & V_1 & V_2 & V_1 & V_1 & V_2 & V_2 & V_1 & V_2 \\ \hline p_{nm} & 1/8 & 3/8 & 3/8 & 1/8 & \end{array}$$

Für K Atome in V_1 und $N-K$ Atome in V_2 wird deren Anzahl durch den Binomialkoeffizienten* ($N \choose K$) beschrieben. Die Häufigkeit K von N Gas-Atomen im ersten, oder wegen der Symmetrie im zweiten Volumen, ergibt sich damit zu:

$$p_{N,K} = \binom{N}{K} / 2^N.$$

Das sogenannte *Pascalsche Dreieck* zeigt die Werte der entsprechenden Binomialkoeffizienten. Schon ab $N=3$ ist die Summe der inneren Häufigkeiten größer als die der äußeren, $3 > 1$, wobei wegen der Symmetrie rechte und linke Hälfte gleich sind. Mit steigendem N nimmt dieses Verhältnis rasant zu, für $N=7$ ist $35+21 \gg 7+1$.

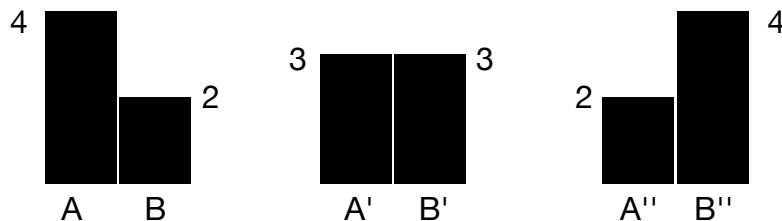


Pascalsches Dreieck

und seine Binomialkoeffizienten

Tritt jedoch zwischen den Teilchen eine Wirkung auf, verändert sich auch die Verteilung der Energie. Beim plastischen Stoß wird sie gleichmäßiger. Nicht nur die Raum-Entropie, auch die energetische Entropie nimmt zu:

Der Energieübertragung muß kein Energieausgleich sein. Der plastische *Stoß* zweier Teilchen führt zu einem Ausgleich (A',B'), der elastische *Stoß* nur zu einem Wechsel (A'',B'').



$$H = \frac{2}{3} \lg \frac{3}{2} + \frac{1}{3} \lg \frac{3}{1} = 0,92 < H' = \frac{1}{2} \lg \frac{2}{1} + \frac{1}{2} \lg \frac{2}{1} = 1 > H'' = 0,92 = H$$

(mit Entropie = Vielfalt).

Gegenseitige Anziehung oder Abstossung führt hingegen zu einer Abnahme der Entropie. Die Teilchen befinden sich dadurch mehr links oder rechts in der Multinomial-Verteilung.

18:

aus Dynamical Systems Theory of Thermodynamics (Haddad 2017): (Auszüge, vom Autor übersetzt)

"Leben und Evolution verstoßen nicht gegen den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik; wir kennen nichts in der Natur, das gegen dieses absolute Gesetz verstößt.

Das Nichtgleichgewicht des Universums ist essentiell für die Gewinnung freier Energie und deren Vernichtung, um Entropie zu erzeugen und so hochorganisierte Strukturen in lebenden Systemen zu erhalten. Das gesamte Gefüge des Lebens auf der Erde erfordert ein komplexes Gleichgewicht der Organisation, das einen hochgeordneten Zustand niedriger Entropie einschließt."

...

"Die drei Quellen freier Energie im Universum sind Gravitation, Kernenergie und chemische Energie."

...

"Eine allgemeine Beziehung zwischen Informationsentropie und thermodynamischer Entropie ist rätselhaft. Die beiden Begriffe sind nur dann miteinander verbunden, wenn sie explizit über physikalische Zustände miteinander verbunden sind."...

"Bevor wir das Geheimnis um den Ursprung des Lebens lüften können, müssen wir thermodynamische Entropie, Informationsentropie und biologische Organisation streng

miteinander verbinden; diese grundlegenden Begriffe sind nach wie vor unzusammenhängend."

19:

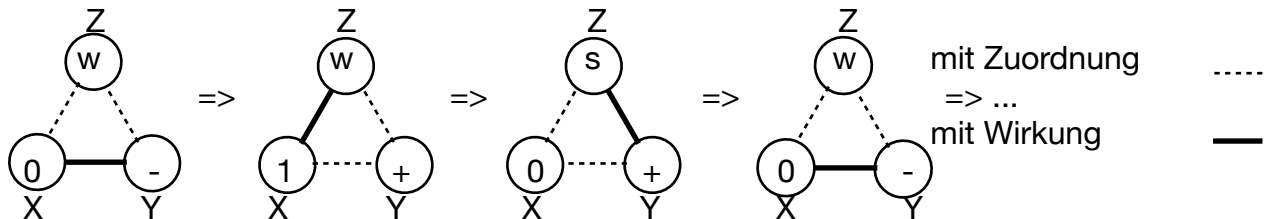
Wirkungen zwischen den Werten führen zu deren Veränderung. Das kann erneut zu Widersprüchen und damit zu weiteren Veränderungen, gar zu zyklischen Veränderungen führen.

Im Beispiel besteht eine Wirkung zwischen je zwei von drei Werten. Durch die Auflösung der Widersprüche tun sich neue auf, die Wirkung wandert zyklisch:

X Y Z	->	X Y Z	->	X Y Z	->	X Y Z	...
-----		-----		-----		-----	
0 - w		1 + w		0 + s		0 - w	

X Y	->	X Y	X Z	->	X Z	Y Z	->	Y Z
---		---	---		---	---		---
0 -		1 +	0 w		0 w	- w		- w
0 +		0 +	0 s		0 s	- s		- s
1 -		1 -	1 w		0 s	+ w		+ w
1 +		1 +	1 s		1 s	+ s		- w

X Y Z	->	X Y Z
-----		-----
0 - w		1 + w
0 - s		1 + s
0 + w		0 + w
0 + s		0 - w
1 - w		1 - w
1 - s		1 - s
1 + w		0 + s
1 + s		1 - w



20:

aus **Rethinking the Concept of Entropy** (Etkin 2019): (Auszüge, vom Autor übersetzt)

Entropie als „Thermoimpuls“ als Impuls innerer Bewegung, der aufgrund seines Chaos seinen Vektorcharakter verloren hat:

"Hier liegt die Antwort auf die Frage, warum „wir in klassischen und späteren thermodynamischen Studien keinen einwandfrei strengen Beweis für das Entropiezunahme-Theorem finden, der nicht der Statistik unterliegt."

...

"Der Punkt ist schlicht, dass das Gesetz der zunehmenden Entropie, das der Natur ein einseitiges Verhalten auferlegt, schlichtweg nicht existiert. Diese Schlussfolgerung wird durch die Tatsache bestätigt, dass sich das thermische Gleichgewicht im Universum seit mindestens 14 Milliarden Jahren nicht eingestellt hat, was die Urknalltheorie darauf hindeutet."

...

"Der „eklatante Widerspruch der Thermodynamik zur Theorie der biologischen Evolution“ ist bekannt. Er liegt darin begründet, dass das Prinzip der zunehmenden Entropie der Natur nur ihren Zerfall vorschreibt. Inzwischen ist bekannt, dass die Natur nicht nur destruktive, sondern auch kreative Tendenzen aufweist."

...

"Wie die statistische Boltzmann-Entropie kann auch der Thermoimpuls in Ordnungsprozessen des Systems abnehmen, wodurch der erwähnte Widerspruch der Evolutionstheorie nicht nur mit der statistischen, sondern auch mit der phänomenologischen Thermodynamik beseitigt wird."

21:

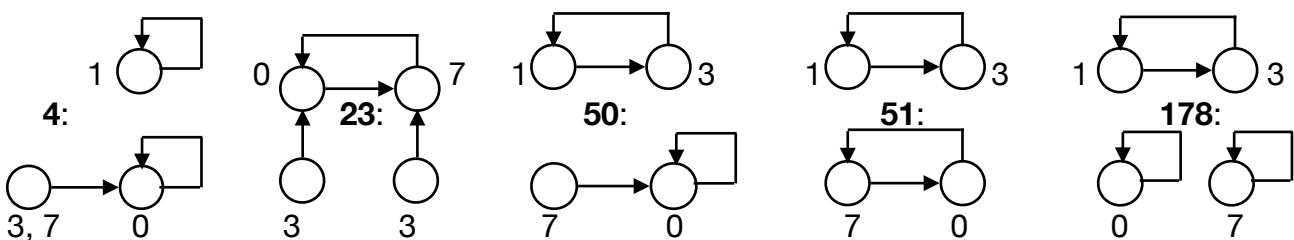
Das gilt für informale natürliche Sprachen, aber auch für formale Programmiersprachen. Die Wolfram_Language (Wolfram 2016) ist eine formale, fast natürlich erscheinende Sprache und ein moderner Ansatz der von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) erstrebten Universalsprache.

22:

Stephen Wolfram begrenzt seine Zellulären Automaten in (Wolfram 2002) offenbar nicht, die Zustände wachsen mit der Zeit in die Breite. Er simuliert damit wohl einen unendlichen Raum. Klaus Mainzer und Leon Chua (Mainzer 2012) arbeiten mit zyklischen Zellulären Automaten und modellieren damit geschlossene Systeme.

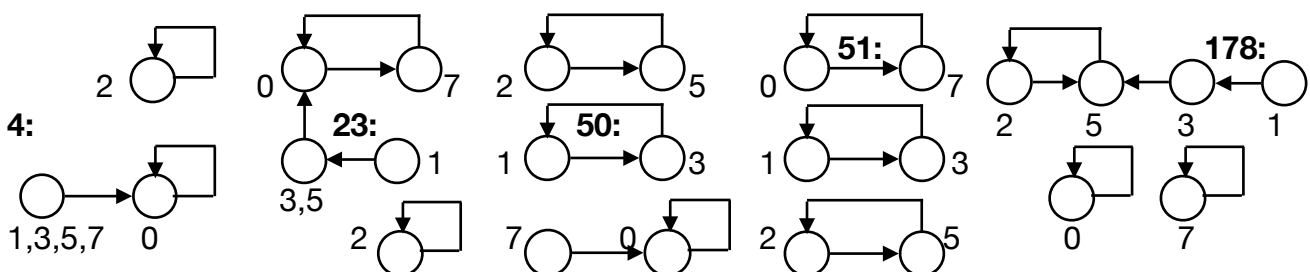
Ich selbst habe zunächst ohne einen Rand experimentiert, dann aber, wie oben, die Breite durch zyklischen ringförmigen Raum begrenzt. Linearer, begrenzter Raum mit den konstanten Rändern 0-0, 1-1 und 0-1, führt zu vergleichbaren Ergebnissen:

Zyklisch:



Durch die Begrenzung kommt zu den zyklisch unterscheidbaren Zuständen 0,1,3,7 noch 2 und 5 dazu. Im asymmetrischen Fall werden alle Zustände 0-7 unterschieden. Dennoch dürfen nur symmetrische Regeln auftreten, da Werte keine Rechts/Links-Unterscheidung haben.

Linear, z.B. 1-1-Rand:



23:

Wenn Zellulären Automaten die Realität beschreiben sollen, muss aber auch deren Raum ungeordnet sein, also die Zustände "0x_t1" und "1x_t0" gleiches x_{t+1} ergeben. Das ist aber nur bei 64 von 256 Regeln so .

Boolesche Funktionen der 256 Zellularen Automaten (**verboten**, erlaubt) mit ihrer Nummer:

Zustand: Stellenwert:		111 128	110 64	101 32	100 16	011 8	010 4	001 2	000 1
0000000	0	0100000	64	1000000	128	1100000	192		
0000001	1	0100001	65	1000001	129	1100001	193		
0000010	2	0100010	66	1000010	130	1100010	194		
0000011	3	0100011	67	1000011	131	1100011	195		
0000100	4	0100100	68	1000100	132	1100100	196		
0000101	5	0100101	69	1000101	133	1100101	197		
0000110	6	0100110	70	1000110	134	1100110	198		
0000111	7	0100111	71	1000111	135	1100111	199		
0001000	8	0100100	72	1000100	136	1100100	200		
0001001	9	0100101	73	1000101	137	1100101	201		
0001010	10	0100110	74	1000110	138	1100110	202		
0001011	11	0100111	75	1000111	139	1100111	203		
0001100	12	0100100	76	1000100	140	1100100	204		
0001101	13	0100101	77	1000101	141	1100101	205		
0001110	14	0100110	78	1000110	142	1100110	206		
0001111	15	0100111	79	1000111	143	1100111	207		
0010000	16	0101000	80	1001000	144	1101000	208		
0010001	17	0101001	81	1001001	145	1101001	209		
0010010	18	0101010	82	1001010	146	1101010	210		
0010011	19	0101011	83	1001011	147	1101011	211		
0010100	20	0101010	84	1001010	148	1101010	212		
0010101	21	0101011	85	1001011	149	1101011	213		
0010110	22	0101010	86	1001010	150	1101010	214		
0010111	23	0101011	87	1001011	151	1101011	215		
0011000	24	0101000	88	1001000	152	1101000	216		
0011001	25	0101001	89	1001001	153	1101001	217		
0011010	26	0101010	90	1001010	154	1101010	218		
0011011	27	0101011	91	1001011	155	1101011	219		
0011100	28	0101100	92	1001100	156	1101100	220		
0011101	29	0101101	93	1001101	157	1101101	221		
0011110	30	0101110	94	1001110	158	1101110	222		
0011111	31	0101111	95	1001111	159	1101111	223		
0100000	32	0110000	96	1010000	160	1110000	224		
0100001	33	0110001	97	1010001	161	1110001	225		
0100010	34	0110010	98	1010010	162	1110010	226		
0100011	35	0110011	99	1010011	163	1110011	227		
0100100	36	0110010	100	1010010	164	1110010	228		
0100101	37	0110011	101	1010011	165	1110011	229		
0100110	38	0110010	102	1010010	166	1110010	230		
0100111	39	0110011	103	1010011	167	1110011	231		
0101000	40	0110100	104	1010100	168	1110100	232		
0101001	41	0110101	105	1010101	169	1110101	233		
0101010	42	0110101	106	1010101	170	1110101	234		
0101011	43	0110101	107	1010101	171	1110101	235		
0101100	44	0110100	108	1010100	172	1110100	236		
0101101	45	0110101	109	1010101	173	1110101	237		
0101110	46	0110110	110	1010110	174	1110110	238		
0101111	47	0110111	111	1010111	175	1110111	239		
0110000	48	0111000	112	1011000	176	1111000	240		
0110001	49	0111001	113	1011001	177	1111001	241		
0110010	50	0111001	114	1011001	178	1111001	242		
0110011	51	0111001	115	1011001	179	1111001	243		
0110100	51	0111010	116	1011010	180	1111010	244		
0110101	53	0111010	117	1011010	181	1111010	245		
0110110	54	0111011	118	1011011	182	1111011	246		
0110111	55	0111011	119	1011011	183	1111011	247		
0111000	56	0111000	120	1011000	184	1111000	248		
0111001	57	0111001	121	1011001	185	1111001	249		
0111010	58	0111010	122	1011010	186	1111010	250		
0111011	59	0111011	123	1011011	187	1111011	251		
0111100	60	0111100	124	1011100	188	1111100	252		
0111101	61	0111101	125	1011101	189	1111101	253		
0111110	62	0111110	126	1011110	190	1111110	254		
0111111	63	0111111	127	1011111	191	1111111	255		

Wenn die oben vorgestellte Ontologie berücksichtigt wird, gibt es nur noch 7 Regeln: Identität oder Negation, und ausgeglichen, 0-dominant oder 1-dominant, und unabhängig:

Mögliche Wirkungen zwischen zwei binären Werten (in obiger Liste fett):

$X Z_1 Y Z_2$ ----- ----	$X Z_1 Y Z_2$ ----- ----	$X Z_1 Y Z_2$ ----- ----	$X Z_1 Y Z_2$ ----- ----
0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 0 0	0 0 0 1
0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 1
0 1 0 0	0 1 0 1	0 1 0 0	0 1 0 1
0 1 1 1 232	0 1 1 1 77	0 1 1 0 160	0 1 1 1 95
1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 1
1 0 1 1	1 0 1 0	1 0 1 1	1 0 1 0
1 1 0 1	1 1 0 1	1 1 0 0	1 1 0 1
1 1 1 1	1 1 1 0	1 1 1 1	1 1 1 0
Identität ausgeglichen	Negation ausgeglichen	Identität 0-dominant	Negation 0-dominant

$X Z_1 Y Z_2$ ----- ----	$X Z_1 Y Z_2$ ----- ----	$X Z_1 Y Z_2$ ----- ----
0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 0 0
0 0 1 1	0 0 1 0	0 0 1 0
0 1 0 0	0 1 0 1	0 1 0 1
0 1 1 1 250	0 1 1 0 5	0 1 1 1 204
1 0 0 1	1 0 0 0	1 0 0 0
1 0 1 1	1 0 1 0	1 0 1 0
1 1 0 1	1 1 0 0	1 1 0 1
1 1 1 1	1 1 1 0	1 1 1 1
Identität 1-dominant	Negation 1-dominant	Unabhängig

Glossar

Das Glossar bietet keine ausführlichen Artikel oder Lexikon-Einträge, sondern nur so viel, um das Verständnis zu erleichtern und so das Weiterlesen zu ermöglichen. Zu allen Begriffen existieren beispielsweise umfassendere Wikipedia-Beiträge.

abzählbar:

Eine Menge ist abzählbar unendlich, wenn sie die gleiche Mächtigkeit wie die Menge der natürlichen Zahlen hat.

Advocatus Diaboli:

Der Anwalt des Teufels, steht für die rhetorische Strategie eines Redners, der bei einem rhetorischen Streit die Position des Gegners einnimmt.

Algorithmische Komplexität:

Zur Beschreibung des Informationsgehalts einer Zeichenkette betrachtet die algorithmische Informationstheorie die Größe eines kleinsten Algorithmus, der die Zeichenkette erzeugt. Gregory Chaitin präzierte diese allgemein als Kolmogorow-Komplexität bekannte Größe durch ein spezielles Maschinenmodell, nach dem der Algorithmus ausführbar sein muss. Wie Chaitin beweisen konnte, lässt sich der algorithmische Informationsgehalt einer Zeichenkette nicht endgültig angeben, da nicht beweisbar ist, ob ein gegebenes Programm zu ihrer Erzeugung wirklich das kürzeste ist.

a priori:

Ist eine erkenntnistheoretische Eigenschaft von Urteilen: Urteile *a priori* können ohne Basis der Erfahrung gefällt werden, sie sind aber Bedingungen der Erfahrung. Im Gegensatz dazu stehen Urteile 'a posteriori', aus der Erfahrung gefällt.

Assoziativspeicher:

Bei Assoziativspeichern oder auch inhaltsadressierbaren Speichern werden die Speicherinhalte nicht über Adressen, sondern über Assoziationen, also bedeutungsmäßige Zuordnungen zum Inhalt, abgerufen.

Axiomensystem:

Ein System von grundlegenden Aussagen, Axiomen, die ohne Beweis angenommen werden und aus denen alle Sätze, Theoreme, einer Theorie logisch abgeleitet werden. Die Ableitung erfolgt dabei durch die Regeln eines formalen logischen Kalküls.

Backpropagation:

Verfahren zum überwachten Lernen künstlicher neuronaler Netze. Beim Lernen wird die Abweichung zwischen dem Ausgabewert und dem Zielwert des Netzes berechnet und dieser Fehler rückwärts durch alle Schichten des Netzes zur Korrektur benutzt.

Bewusstsein:

Ist im weitesten Sinne die Summe der mentalen Prozesse Empfindung, Wahrnehmung und Erleben von Subjekten.

Binomialkoeffizient:

Der Binomialkoeffizient $\binom{n}{k}$, n über k , ist die Anzahl der Teilmengen mit k Elementen in der Potenzmenge einer Grundmenge mit n Elementen.

Cluster:

Gruppe von Objekten mit ähnlichen Eigenschaften, Zusammenballung im Zustandsraum.

Data-Mining:

Systematische Anwendung statistischer Methoden auf große Datenbestände um daraus Wissen zu gewinnen, indem aus indirekten Zuordnungen direkte erzeugt werden.

Deduktion:

Ist der Prozess des Ziehens logisch zwingender Schlussfolgerungen. Gegensatz ist die Induktion.

Deep Learning:

Tiefes, mehrschichtiges Lernen künstliche neuronale Netze mit zahlreichen Schichten.

Determinismus:

Ist die Auffassung, dass alle Ereignisse (Wirkungen) durch ihre Vorbedingungen (Ursachen) eindeutig festgelegt sind.

Diagonalargument:

Beweisverfahren von Georg Cantor (1845-1918) um zu zeigen, dass die Menge der rationalen Zahlen abzählbar ist. Er gab eine umkehrbar eindeutige Abbildung zwischen der Menge der natürlichen Zahlen und der Menge der rationalen Zahlen an.

Auf Funktionen angewendet gilt: Da es überabzählbar viele arithmetische Funktionen gibt, aber nur abzählbar viele Turing-Maschinen, folgt hieraus, daß es auch nicht-berechenbare Funktionen geben muß.

dialektischer Widerspruch:

Er wird nicht im Sinne des Satzes vom ausgeschlossenen Widerspruch der traditionellen Logik verwendet, sondern im Sinne sich polar gegenüberstehender Gegensätze, wie These und Antithese, die sich als Synthese auflösen und damit eine Windung der Entwicklungs-Spirale bilden.

Digitale Physik:

Sie geht davon aus, dass alle physikalischen Größen, Raum und Zeit diskret und alle Wirkungen determiniert sind. So kann die Wirklichkeit digitalisiert und auf Computern simuliert werden. Siehe beispielsweise (Wheeler 1990).

disjunkt:

Zwei Mengen A und B sind disjunkt, elemente- oder durchschnittsfremd, wenn sie kein gemeinsames gleiches Element besitzen, ihre Schnittmenge leer ist: $A \cap B = \emptyset$.

Drei-Welten-Lehre:

Sie nimmt die Existenz dreier Welten an: die Außenwelt (Physis), als physikalische Welt materieller Objekte, die Welt des Bewusstseins, wie Gedanken, Gefühle oder Empfindungen (Psyche) und die Welt der objektiven Gedankeninhalte (Logos), wie mathematische Sätze.

Dualismus:

Der (ontologische) Dualismus geht davon aus, dass die Welt aus zwei, sich einander ausschliessenden Entitäten, Geist und Materie, besteht. Sein Gegensatz ist der Monismus.

Effizienz:

Ist das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand.

Eigenschaft:

Eigenschaften, auch Merkmale oder Attribute, werden Objekten zugeordnet, um sie von anderen unterscheiden zu können: der grüne und rote Apfel sind verschieden.

Entität:

Entität oder Seiendes ist ein Sammelbegriff für konkrete oder abstrakte Gegenstände, Merkmale, Sachverhalte oder Ereignisse.

Evidenz:

Ist das aufgrund von Augenschein oder zwingender Schlussfolgerung unbezweifelbar Erkennbare oder die dadurch erreichte unmittelbare Einsicht und steht für Eindeutigkeit, Klarheit, oder Selbstverständlichkeit.

Explikation:

Ausdrücklich machen, Entfalten, implizites in explizites Wissen verwandeln.

Extrapolieren:

Fortführen einer Reihe über den letzten bisher gegebenen Wert hinaus.

Fakultät:

Sie ordnet jeder natürlichen Zahl das Produkt aller positiven natürlichen Zahlen zu, die diese Zahl nicht übertreffen: z.B. $4! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$.

Falsifikation:

Ist der Nachweis der Ungültigkeit einer Aussage, Methode, Hypothese oder Theorie.

Fern-/Nah-Wirkung:

Konkurrierende Konzepte der klassischen Physik, wie sich Kräfte ausbreiten. Die Fern-Wirkung findet über beliebige Entfernungen ohne vermittelndes Medium statt, wie z.B. die Gravitation zwischen Massen. Bei der Nah-Wirkung müssen die sich beeinflussenden Werte an einem oder mehreren benachbarten Orten sein, wie beim Stoß. Sie kann auch indirekt über mehrere direkte Nah-Wirkungen oder über ein Medium, wie das elektrische Feld zwischen entfernten Ladungen, wirken.

Granularität:

Ist die Kleinteiligkeit einer Sache, wie die Körnigkeit von Bildern, der Verdichtungsgrad von Daten oder die Anzahl der Untergliederung von Teilen.

Gruppe:

In der Mathematik ist eine Gruppe eine Menge von Elementen zusammen mit einer Verknüpfung, die je zwei Elementen der Menge ein drittes Element derselben Menge zuordnet und dabei drei Bedingungen erfüllt: das Assoziativgesetz, die Existenz eines

neutralen Elements und die Existenz von inversen Elementen. Beispiel ist die Menge der ganzen Zahlen mit der Addition.

Homöostase:

Gleichgewichtszustand eines offenen dynamischen Systems, der durch einen internen regelnden Prozess aufrechterhalten wird.

homogen:

Gleichartigkeit der Teile einer Gesamtheit, Konstanz einer Eigenschaft in Raumbereich.

Induktion:

Ist eine abstrahierende, logisch nicht zwingende Schlussfolgerung. Gegensatz ist die Deduktion.

implizit:

Stilles, verstecktes Wissen; der Gegensatz ist explizites Wissen.

Interpolieren:

Errechnen eines Wertes zwischen zwei bereits gegebenen.

intersubjektiv:

Wert, Wirkung oder Aussage zu einem Objekt sind zwar vom betrachtenden Subjekt abhängig, also subjektiv, aber zwischen vielen Subjekten festgelegt und somit, wie bei objektiv*, vom einzelnen Subjekt unabhängig.

intrinsisch:

Steht für inwendig, innerlich, zur Entität* selbst gehörend, wie zum Beispiel der Massewert von 3 Kilogramm im Gegensatz zum relationalen Gewichtswert von 3 Newton.

isotrop:

Unabhängigkeit einer Wirkung von der Richtung im Raum.

Kalkül:

Formales System von Regeln, um aus gegebenen Aussagen, auch Axiomen, weitere, auch Sätze, abzuleiten.

Kausalität:

Gerichteter Einfluss eines Wertes, der Ursache, auf die Veränderung eines anderen Wertes, der Wirkung. Statt Ursache werden auch die Begriffe Bedingung, Anlass oder Grund verwendet. Monokausal bedeutet eine Ursache, multikausal hingegen mehrere Ursachen für eine oder viele Wirkungen.

KI-Winter:

In der Geschichte der künstlichen Intelligenz werden Phasen als KI-Winter bezeichnet, in denen öffentliche und private Forschungsförderung, Start-up-Finanzierung und Investitionen in die Künstliche Intelligenz stark zurückgehen (erster 1970-1980, zweiter 1987-2006).

Konstruktivismus:

Der (radikale) Konstruktivismus geht davon aus, dass sich jeder Einzelne seine Wirklichkeit im Kopf "konstruiert", die objektive Realität kann nicht erkannt werden.

Korrelation:

Abhängigkeit zweier Eigenschaften, die nicht nur auf direkte Wirkung zwischen beiden, sondern auch durch die Wirkung eines dritten Wertes auf beide zustande kommt.

Künstliche Intelligenz:

Realisieren computerbasierte Systeme, die ihre (virtuelle oder reale) Umgebung analysieren können, um daraus relevante Informationen zu abstrahieren, welche sie nutzen, um Entscheidungen zu treffen und definierte Ziele zu erreichen

Kybernetik:

Die Wissenschaft der Steuerung und Regelung von Maschinen, lebenden Organismen und sozialen Organisationen, die "Kunst des Steuerns" mit dem griechischen Wort "kybernetes" für Steuermann.

Lexik:

Die Lexik oder der Wortschatz sind die Gesamtheit aller Wörter einer Sprache. Die deutsche Standardsprache umfasst ca. 75.000 Wörter.

Logarithmus:

Als Logarithmus einer Zahl bezeichnet man den Exponenten, mit dem eine vorher festgelegte Zahl, die Basis, potenziert werden muss, um die gegebene Zahl, den Numerus, zu erhalten. Beispielsweise ist der Logarithmus der Basis Zwei von Acht gleich Drei, $\log_2 8 = 3$ weil $2^3=8$. Der Logarithmus eines Produktes ist die Summe der Logarithmen: $\log X \cdot Y = \log X + \log Y$.

Lokalität:

Annahme, dass physikalische Wirkungen nur zwischen Werten am gleichen oder unmittelbar benachbarten Orten auftreten kann.

Maß:

Ein Maß ist die Zuordnung der Werte von Eigenschaften zu Zahlen, die dann verglichen, kommuniziert und berechnet werden können.

Menge:

Abstraktes Objekt, das aus der Zusammenfassung einer Anzahl einzelner Objekte, ihren Elementen, hervorgeht. Die Menge ist ungeordnet, jedes Element kann nur einmal in der Menge vorkommen.

Modell:

Vereinfachende Beschreibung eines Objektes oder Prozesses.

Monismus:

Im Gegensatz zum Dualismus führt der Monismus alle Phänomene der Welt auf ein einziges Grundprinzip zurück: den Geist im Idealismus, die Materie im Materialismus, Physikalismus oder Naturalismus.

Möglichkeit:

Sie ist die Realisierbarkeit eines Gegenstands, Vorgangs oder Zustands im praktischen oder theoretischen Sinne, und in der Philosophie eine der drei Modalitäten des Seins neben dem Wirklichen und dem Notwendigen.

Multinomial-Verteilung:

Verallgemeinerung der Binomial-Verteilung für mehr als zwei Variablen. Statt des Binomialkoeffizienten* $\binom{n}{k}$, n über k , wird der Multinomialkoeffizient, n über n_1 bis n_k , $\binom{n}{n_1, \dots, n_k} = \frac{n!}{n_1! \cdot \dots \cdot n_k!}$ mit n -Fakultät $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$ verwendet.

Naturalismus:

Die Auffassung, dass die Welt als ein rein von der Natur gegebenes Geschehen zu begreifen ist. Er geht davon aus, dass alles natürliche Ursachen hat. Auch der Geist oder das Bewusstsein ist Teil der physischen Natur.

Neuronales Netz:

Netz aus künstlichen Neuronen, dessen Aufbau von den Netzwerken biologischer Nerven in Gehirnen inspiriert wurde.

notwendig oder hinreichend:

Das sind Eigenschaften der Bedingung von Erklärungen. Eine notwendige Bedingung für eine Aussage muss erfüllt, also wahr, sein, damit die bedingte Aussage wahr sein kann.

Ist eine hinreichende Bedingung wahr, dann ist auch die bedingte Aussage wahr.

Eine notwendige Bedingung muss nicht hinreichend sein, dazu können mehrere notwendige erforderlich sein. Eine hinreichende Bedingung muss nicht notwendig sein, es kann andere hinreichende geben.

objektiv:

Wert, Wirkung oder Aussage zu einem Objekt sind vom betrachtenden Subjekt unabhängig, sind nicht subjektiv.

Ockhams Rasiermesser:

Sparsamkeitsprinzip in der Wissenschaft, wobei gilt dass

1. Von mehreren möglichen hinreichenden Erklärungen für ein und denselben Sachverhalt ist die einfachste Theorie allen anderen vorzuziehen.
2. Eine Theorie ist einfach, wenn sie möglichst wenige Variablen und Hypothesen enthält und diese in logischen Beziehungen zueinander stehen, aus denen der zu erklärende Sachverhalt folgt.

Ontologie:

Die Ontologie oder Metaphysik befasst sich mit der Einteilung des Seienden, den Grundstrukturen der Wirklichkeit, also den Typen von Entitäten*, wie konkrete und abstrakte Gegenstände, Eigenschaften, Sachverhalte, Ereignisse, Prozesse, sowie deren strukturellen Beziehungen

Panpsychismus:

Ist eine metaphysische Theorie der Philosophie, der zufolge alle physischen Objekte neben physikalischen auch geistige Eigenschaften besitzen.

Peer-Review:

Peer Review ist ein Evaluationsverfahren zur Qualitätssicherung einer wissenschaftlichen Arbeit durch unabhängige Gutachter aus dem gleichen Fachgebiet („Peers“). Es gilt als gegenwärtige Standard-Methode, um die Qualität wissenschaftlicher Publikationen zu gewährleisten.

Perpetuum mobile:

Nicht existierendes Gerät, das, einmal in Gang gesetzt, ohne weitere Energiezufuhr ewig in Bewegung bleibt.

Pragmatik:

Teilgebiet der Sprachwissenschaft zur Verwendung der Sprachausdrücke.

Prinzip der rechnerischen Äquivalenz:

Es besagt, dass alle Prozesse als Berechnung aufgefasst werden können und, wenn nicht trivial, vom gleichen Schwierigkeitsgrad sind, sich also auch gegenseitig simulieren können (Wolfram 2002).

Quantenphysik:

Sie umfasst alle Phänomene und Effekte, die darauf beruhen, dass bestimmte Größen nicht jeden beliebigen Wert annehmen können, sondern nur feste, diskrete Werte. Dazu gehören auch der Welle-Teilchen-Dualismus, die Nichtdeterminiertheit von physikalischen Vorgängen und deren unvermeidliche Beeinflussung durch Beobachtung.

Quarks:

Sie sind fundamentale Bestandteile der Materie und verbinden sich zu zusammengesetzten Teilchen, wie Protonen und Neutronen. Farbe oder Flavour ist eine ihrer Eigenschaften. Die Namen sind dabei nur ausgedacht.

Raum:

Bedingung des Nebeneinander-Seins verschiedener ausgedehnter Dinge zur selben Zeit.

Redundanz:

Redundanz oder Überfluss steht für:

- ohne Informationsverlust wegzulassende Informationen in der Informationstheorie,
- mehrfache Nennung derselben Information in der Kommunikationstheorie,
- zusätzliche technische Ressourcen als Reserve in der Technik und
- Überbestimmung, die Messung zusätzlicher unbenötigter Größen, in der Mathematik.

rekursive Definition:

In einer Definition wird gewöhnlich einem Begriff, das Definiendum, eine logische Struktur einfacherer Begriffe, das Definiens, zugeordnet. In rekursiven Definitionen ist der zu definierende Begriff auch in den definierenden Begriffen enthalten, die Erklärung bildet einen Kreis. Das wäre ein zu vermeidender Zirkelschluss, wenn nicht eine Bedingung zum Verlassen des Zyklus gegeben wäre. Beispiel: $N! := 1$ für $N=0$ und sonst $N \cdot (N-1)!$.

Relation:

Relation, Beziehung oder Verhältnis zwischen Dingen. Mathematisch eine Teilmenge des kartesischen Produktes zweier Mengen /3/.

relational:

Eigenschaften*, die nur zwischen Entitäten* auftreten, wie beispielsweise das Gewicht von 3 Newton, im Gegensatz zur intrinsischen Masse von 3 Kilogramm.

Relevanz:

Bezeichnung für die Bedeutsamkeit und situationsbezogene Wichtigkeit.

Selbstorganisation:

Evolution, Musterbildung oder Organisation eines Objektes ohne äußere Einflüsse.

Semantik:

Teilgebiet der Sprachwissenschaft zur Bedeutung von Sprachausdrücken.

Spiel des Lebens:

Zweidimensionaler Zellulärer Automat des Mathematikers John Horton Conway (1937-2020) von 1970, bei dem sich die Zellen, je nach gegebenen Regeln, wie Lebewesen verhalten.

Stellenwertsystem:

Zahlensystem, dessen Zahlzeichen aus Ziffern besteht, deren jeweiliger Beitrag zum Gesamtwert der Zahl von ihrer Position innerhalb des Zahlzeichens abhängt. Beispielsweise errechnet sich der Wert von der Dezimalzahl 127 zu $1 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0$.

Strukturenrealismus:

Ist die wissenschaftstheoretische Position, dass Theorien keinen gegenständlichen, sondern nur strukturalen Zugang zur Welt ermöglichen. Siehe dazu auch (Lyre 2006).

subjektiv:

Wert, Wirkung oder Aussage zu einem Objekt sind vom betrachtenden Subjekt abhängig, sind nicht objektiv.

Substanz:

Begriff für das unveränderliche, beharrende und selbstständige Seiende, dem Träger von Eigenschaften.

Syntax:

Teilgebiet der Sprachwissenschaft zur Struktur von Sprachausdrücken

Teilchen:

Körper, der klein gegenüber dem Maßstab des betrachteten Systems sind. Die innere Struktur eines einzelnen Teilchens spielt dabei keine Rolle, sondern lediglich sein Verhalten als Ganzes gegenüber anderen Teilchen oder äußeren Einflüssen. Ihr Gegenteil in der Quantenphysik sind Wellen.

Theorie:

Formale Beschreibung eines Objektes oder Prozesses.

Top-Down und Bottom-Up:

Top-Down geht vom Abstrakten zum Konkreten, wie die Deduktion, Bottom-Up, wie die Induktion, umgekehrt.

transitiv:

Der direkten Wirkung von X auf Y und dann von Y auf Z entspricht die indirekte von X auf Z. Beispiel sind die Gleich- und Kleiner-Beziehung zwischen Zahlen.

Trope:

Tropen sind partikularisierte, das heisst an Ort und Zeit gebundene Eigenschafts-Individuen, wie hier ein erstes Rot und dort ein zweites Rot.
Ihr Gegensatz sind Universalien, als dem Ort und der Zeit nur zugeordnete allgemeine Eigenschaften, wie hier und dort das eine Rot.

Tupel:

Geordnete Liste endlich vieler, nicht notwendigerweise unterschiedlicher Objekte.

turing-vollständig:

Eigenschaft einer Programmiersprache oder eines anderen logischen Systems, sämtliche berechenbaren Funktionen auch berechnen zu können.

Universalie:

Universalien, sind allgemeine, dem Ort und der Zeit nur zugeordnete Eigenschaften, wie hier und dort das eine Rot.
Ihr Gegensatz sind Tropen* als partikularisierte, das heisst an Ort und Zeit gebundene Eigenschafts-Individuen, wie hier ein erstes Rot und dort ein zweites Rot.

Ur-Alternative:

Theorie von C.F.v.Weizsäcker mit dem Ur als quantentheoretische Informationseinheit als Basis einer einheitlichen Beschreibung der Welt.

Verkettung:

Nacheinander Ausführung zweier Relationen. Beispiel: „Schwägerin sein von“ als „Bruder sein von“ und „Ehefrau sein von“ oder „Ehepartner sein von“ und „Schwester sein von“.

Verschränkung:

Von Verschränkung spricht man in der Quantenphysik, wenn ein zusammengesetztes physikalisches System, z. B. ein System mit mehreren Teilchen, als Ganzes betrachtet einen wohldefinierten Zustand einnimmt, ohne dass man auch jedem der Teilsysteme einen eigenen wohldefinierten Zustand zuordnen kann.

Wahrscheinlichkeit:

Maß der Erwartung für ein unsicheres Ereignis, als das Zahlenverhältnis der Anzahl der günstigen Ergebnisse zur Anzahl der möglichen Ergebnisse, der relativen Häufigkeit.

Wechselwirkung:

Wirkung zwischen Werten in beide Richtungen, so dass sich beide Werte verändern. Fundamentale physikalische Wechselwirkungen sind Gravitation, Elektromagnetismus, und die schwache oder starke Wechselwirkung.

Welle:

Objekten der Quantenphysik werden gleichermaßen die Eigenschaften von klassischen Wellen wie die von klassischen Teilchen zugeschrieben (Dualismus).

Welt:

Gesamtheit der begreifbaren oder erkennbaren Dinge und deren Beziehungen zueinander.

Wert:

Eine physikalische Größe ist eine an einem Objekt der Physik quantitativ bestimmbare Eigenschaft eines Vorgangs oder Zustands. Beispiele solcher Größen sind Länge, Masse, Zeit, Stromstärke.

Jeder spezielle Wert einer physikalischen Größe wird als Produkt aus einem Zahlenwert und einer Maßeinheit angegeben.

Wärmetod:

Hypothese der Kosmologie, nach der sich, gemäß dem 2.Hauptsatz der Wärmelehre, zuletzt alle Energie des Universums in Wärme verwandelt haben wird.

Zeit:

Die Zeit beschreibt das Nacheinander von Ereignissen, und hat eine eindeutige, nicht umkehrbare Richtung.

Zufall:

Von Zufall spricht man, wenn für ein einzelnes Ereignis oder das Zusammentreffen mehrerer Ereignisse keine kausale Erklärung gefunden werden kann, also wenn eine Ursache mehrere Wirkungen haben kann.

Quellen

- Bateson, Gregory: Steps to an Ecology of Mind. 1972.
- Brillouin, Leon: Science and Information Theory. Academic Press 1956.
- Bunge, Mario; Mahner, Martin: Über die Natur der Dinge. Hirzel 2004.
- Chaitin, Gregory: Algorithmic Information Theory. Cambridge University Press 1987.
- Deutsch, David: Constructor Theory. Synthese 2013.
- Esfeld, Michael: A proposal for a minimalist ontology. 2020.
- Etkin, Valeriy: Rethinking the Concept of Entropy. World Scientific News 2019.
- Etkin, Valeriy: A United Method of Finding Forces and their Fields. Academia 2025.
- Floridi, Luciano: Semantic Conceptions of Information. Stanford Encyclopedia of Philosophy 2005.
- Friston, K.; Parr, T.; Pezzulo, G.: Active Inference - The Free Energy Principle in Mind, Brain, and Behavior. MIT Press 2022.
- Haddad, Wassim M.: Thermodynamics: The Unique Universal Science. entropy 2017.
- Hooft, Gerard: The Cellular Automaton Interpretation of Quantum Mechanics. 2014.
- Hutter, Marcus: A Collection of Definitions of Intelligence. arXiv 2007.
- Janich, Peter: Was ist Information? Suhrkamp 2006.
- Kristen, Stefan; Sösemann, Friedrich: Zur Synthese stückweise linearer Klassifikatoren aus zwei Schichten von Schwellwertelementen - Ein Beitrag zur Automatischen Zeichenerkennung. Dissertation (Teil1, Teil2) TH Karl-Marx-Stadt 1978.
- Lyre, Holger: Strukturenrealismus. Information Philosophie 2006.
- Mainzer, Klaus; Chua, Leon: The Universe as Automaton - From Simplicity and Symmetry to Complexity. Springer 2012.
- Meixner, Uwe: Einführung in die Ontologie. WBG 2004.
- Menant, Christophe: Information and Meaning. Entropie 2003.
- Moon, Kyumin; Pae, Hongju: Making Sense of Consciousness as Integrated Information: Evolution and Issues of IIT. <https://arxiv.org/abs/1807.02103v2>, 2018.
- Nafria, José María Díaz: What is information? A multidimensional concern. triple 2010.
- Nielsen, Michael; Chuang, Isaak: Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press 2000.

- Ostoma, Tom; Trushyk, Mike: Cellular Automata Theory and Physics - A new Paradigm for the Unification of Physics. 1999.
- Piaget, Jean: Der Strukturalismus. Walter-Verlag 1973.
- Shannon, Claude; Weaver, Warren: The Mathematical Theory of Communication. Urbana 1949.
- Sösemann, Friedrich: Information, physikalische Entropie und Objektivität. Wiss.Zeitschrift der TH Karl-Marx-Stadt, Heft 1 1975.
- Sösemann, Friedrich: Lernende Klassifikatoren in der technischen Diagnostik. Messen-Steuern-Regeln 1979.
- Sösemann, Friedrich: Programmieren des Programmierens - Ein Ansatz zur Automatisierung der Software-Entwicklung. GI Fachtagung Software-Entwicklung 1989.
- Sösemann, Friedrich: Programmieren lernen mit "Leibniz". 2010.
- Sösemann, Friedrich: Information als Relation. 2018.
- Sösemann, Friedrich: Grundzüge einer Allgemeinen Informationstheorie. 2019.
- Sösemann, Friedrich: Information und Wissen - entdeckt oder erfunden? 2022.
- Sösemann, Friedrich: Information, Wissen und Intelligenz als Relationen-Hierarchie. 2023.1.
- Sösemann, Friedrich: Information and Entropie - Another proof of the second law of thermo-dynamics?. 2023.2.
- Sösemann, Friedrich: Beschreibung und Berechnung. 2024.
- Steegmüller, Wolfgang: Der Begriff der Erklärung und seine Spielarten. Springer 1969.
- Tegtmeier, Erwin: Grundzüge einer kategorialen Ontologie. Alber, 1992.
- Tononi, Giulio: Integrated information theory of consciousness: an updated account. Arch Ital Biol.150, 2012.
- Wachter, Daniel von: Dinge und Eigenschaften: Versuch zur Ontologie. Röhl, 2000.
- Weizsäcker, Carl Friedrich: Aufbau der Physik. Hanser 1985.
- Wheeler, John A.: Information, physics, quantum. in Zurek, W.H.: Complexity, Entropy, and the Physics of Information. Addison-Wesley 1990.
- Wiener, Norbert: Kybernetik. Econ 1963.
- Wolfram, Stephen: A New Kind of Science. 2002.
- Wolfram, Stephen: Computational Law, Symbolic Discourse and the AI Constitution. Stephen Wolfram Writings 2016.
- Wolfram, Stephen: The Second Law: Resolving the Mystery of the Second Law of Thermodynamics. Wolfram Media 2023.
- Zhong, Yi. X.: Transforming Information to Knowledge and Intelligence. 2002.

Sachwörter

A

Abstraktion	33
aktuell	11, 12
allgemein	11, 12
Algorith.Kompl.	21
Anzahl	16, 48

B

Bedeutung	29
Begriffe	31
Berechnen	35
Beschreiben	28
Beweisen	36
Bewegung	14, 47
Bewußtsein	22, 31
Binomialkoeff.	52

D

Deduktion	31
Denken	30
Diagonalargument	36
Dimension	34, 59
Drei Welten	39

E

Ebenen	32, 34
Effizienz	36
Eigenschaft	13
eindeutig	15
eineindeutig	15
Energie	21
Entdecken	39
Entropie	40
Ereignis	13
Erfinden	40
Erklären	36
externe Inf.	20

F

Fakt	13
Freie Energie	21

G

Granularität	18
Gravitation	42
Grenze	34

H

Handeln	23
Homöostase	31
Häufigkeit	16, 18, 19

I

Induktion	31, 50
Information	5
Inf.theor.	5, 6, 21
Integrierte IT	22
Intelligenz	30
Intelligenzquotient	33
interne Inf.	20
intersubjektiv	28

K

Kausalität	14
Klaus, Georg	2, 8
Komplexität	21
Komprimieren	35
Korrelation	14
Kreisgang	10
Künstliche Int.	31

L

"Leibniz", PS	43
Lernen	24
lokal/global	47

M

Maß	17, 26, 32
Max. Dämon	41
mehrdeutig	15
minimal	11, 12
Mächtigkeit	48
Möglichkeit	14

N

Netz	6
neutral	11, 12

O

Objekt	13
--------	----

P

präzise	11, 12
Prozess	13

R

Raum	12
Redundanz	50
Relation	50

S

Speichern	23, 24
Sprache	42
Steinbuch, Karl	2, 8
Subjekt	22
Substanz	10

T

Tabelle	15
transitiv	19, 25

U

Umformung	35
Universalie	10

V

Verifizieren	26
verständlich	11, 12
Verteilung	51
Vielfalt	16
Vollständigkeit	29
Vorhersagbarkeit	36

W

wahr	11, 12
Wahrheit	24, 29
Wahrnehmen	23
Wahrscheinlichkeit	16
Wechselwirkung	14
Welt	12, 39
Wert	13
Wirkung	14, 47
Wirth, Niklaus	2, 8
Wolfram, Stephen	2, 8

Z

Zeit	12
Zellul.Autom.	43, 55
Zufall	11, 25
Zuordn.-Graph	15
Zustand	13
Zustandsraum	13, 14
Zyklen	44, 53