

Das Interessante als computationale Zielsetzung

Ein Ausflug im ästhetischen Raum*

Mihai Nadin, Antè – Institute for the Study of Anticipatory Systems

In seinem im Jahre 1974 veröffentlichten Buch „Ästhetik als Informationsverarbeitung“ schrieb Frieder Nake in Bezug auf die Produktion von ästhetischen Objekten: „Dennoch sei erwähnt, dass wir im Prinzip einen simplen Algorithmus aufstellen können, der alle Objekte einer Klasse erzeugt, indem er alle möglichen Kombinationen durchspielt. So einfach ein solcher Algorithmus wäre, so unbrauchbar wäre er andererseits. Denn er würde ja angesichts des riesigen Umfangs dieser Klassen Jahrtausende benötigen, bevor ein erstes ‚interessantes‘ Objekt erzeugt wäre“ (Nake 1974, S. 104).

Was aber ist mit interessant in Bezug auf ästhetische Objekte im Text von Nake gemeint? Auf einem Umweg über Data Mining-Prozeduren möchte ich den Versuch machen, das Interessante, das nicht nur ästhetisch sein muss, als Computations-Aufgabe zu definieren. Ich bin mir dabei bewusst, dass es nur ein anfänglicher Ansatz sein kann und zwar einer, der zu der Kategorie der Computation gehört, die man computationale Wissensakquise nennt.

Aber bevor ich mich dieser Aufgabe widme, möchte ich einen Brief von Hans Jürgen Ehlers, datiert vom 20. Dezember 1998, erwähnen: „Ich habe Anfang der 60er Jahre in einem Vortrag behauptet, dass mittels eines fast perfekten Zufallsgenerators, einem normierten Zeichensatz, genügend Speicherplatz und unbeschränkter Zeit, es möglich sein müsste, vollendete Lyrik zu generieren. Nehmen Sie Goethes Gedicht ‚Ein Gleiches‘: ‚Über allen Gipfeln ist Ruh ...‘“ (Ehlers 1998). Also: Zufall, Speicher, Zeit, oder wie bei Nake Algorithmus und schon ist das Schöpferische kein Geheimnis mehr, und das Interessante nur ein Ergebnis

deterministischer Prozesse? Ich werde keine eindeutige Antwort darauf geben können, aber ich möchte mich bemühen, diese Frage und die Fragen, die sich aus Nakes Werk ergeben, aus der Perspektive der Datenverarbeitung zu besprechen.

Gewissermaßen gehören Nakes Überlegungen und diejenigen Ehlers' zu der Problematik, die in der Infinite-Monkey Theorie beschrieben wird: „If you put an infinite number of monkeys at typewriters, eventually one will bash out the script for Hamlet.“ Oder „die Gewinnzahlen der Lotterie!“ kann man auch sagen. Diese Behauptung wird unter anderem von dem Astronomen Sir Arthur Eddington (1929) diskutiert¹, gerät aber erneut ins Gespräch, nachdem Russell Maloney (1940) seine Geschichte „Inflexible Logic“ veröffentlicht hat² und erneut, nachdem Douglas Adams (1979) in „Hitchhiker's Guide to the Galaxy“ das Gleiche erwähnte³. Die Theorie beschreibt zuletzt das, was wir als „brute force“ Computation verstehen, sagt uns aber nicht, ob die Affen bei Hamlet auch stehen bleiben oder weiter eifrig Texte produzieren, bis es nicht mehr geht. Die Theorie sagt auch nicht, was dazu gehört, Hamlet als das, was seit Shakespeare⁴ gefeiert wird, als ein Ereignis zu erkennen und es nicht in der Masse der produzierten Kombinationen verloren gehen zu lassen. Es ist sicherlich fraglich, ob das Interessante – falls wir es definieren können – genügt, um in dieser Masse einen möglichen Hamlet zu erkennen. (Mehr über die Vorgeschichte der Infinite-Monkey Theorie s. Endnote⁵).

Aber es geht nicht nur um Hamlet, also ein Theaterstück oder um Prosa (Borges 1971 versuchte in seiner „La Biblioteca de Babel“ – Die Babel Bibliothek – ein ähnliches Thema zu behandeln) und auch nicht um die Lotterie oder die Börse oder um politische Entscheidungen, die eventuell von Affen (es dürfen auch Ameisen sein) besser getroffen werden als von einigen Politikern. In Nakes Überlegungen geht es um visuelle Darstellungen, aus denen wir Kunstwerke, d. h. Bilder, erkennen. Ich möchte aber seine Problematik ein wenig erweitern, indem ich hörbare Sequenzen einbeziehe, die nicht automatisch als gelungene Musik gelten – Formeln der Wissenschaft (Mathematik, Chemie, Genetik usw.) – oder sprachliche Ausdrücke. Einige solche Ausdrücke können trivial sein, andere dürften interessant aber kurzlebig sein, und etliche andere sind als philosophische, politische, soziale, ethische etc. Aussagen zu erkennen, die eine wichtige oder weniger wichtige Rolle im Leben der Menschen spielen.

Eigentlich sollte uns die Beziehung Algorithmus und Interessantheitsgrad beschäftigen. Die Perspektive ist aber nicht eine rein technische, sondern eine semiotische. Inwieweit aus Zeichen (Buchstaben, Punkten, Linien, Farben, Tönen usw.), die durch algorithmisch beschriebene Operationen einen höheren (strukturierten) semiotischen Zustand erreichen, Artefakte entstehen, die unserer durch die Kultur geprägten Vorstellung von Kunst, Wissenschaft, Erfolg u.ä. entsprechen, bleibt offen. Zeichen stellen etwas Anderes dar, sind also zu verstehen stellvertretend für das Dar-Gestellte, Re-Präsentierte (d. h. nochmals präsentierte). Kurzum: Alles, was dargestellt wird, alles, was ausgedrückt wird, alles, was interpretiert wird, kann sich – weil wir uns selber nur durch Zeichen darstellen, ausdrücken, interpretieren – als bedeutungsvoll, sinnvoll, wertvoll oder eben sinnlos, wertlos u.ä. erweisen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die Bestimmung – ich wiederhole, falls diese Bestimmung möglich sein sollte – des Interessantheitsgrades genügt, um alle oder einige dieser Merkmale zu definieren oder wenigstens anzudeuten.

Weil nur durch Zeichen das Darstellen, Ausdrücken, Interpretieren möglich ist, scheint der Interessantheitsgrad auch eine semiotische Bedingung zu haben, egal, ob wir diese mathematisch, algorithmisch oder anders erfassen, definieren und bestimmen. Ich erwähne die semiotische Dimension hier nicht nur, weil Frieder Nake ein Informatiker ist, der seine Arbeit konsequent semiotisch begründet hat (vgl. Nake 1994, 1997), sondern weil die zeichentheoretische Perspektive letztendlich unvermeidbar ist.

Obwohl mich das Interessante in seiner Abstraktheit interessiert, d. h. nicht im Objektbereich, sondern im Metabereich, werde ich die Diskussion meistens auf Bilder beschränken. Dies, weil Nake selber seine Fragestellung in Bezug auf Bilder formuliert hat, und weil ich selber zeitweise in einem Bereich arbeite, der – obwohl nicht auf das Anschauliche reduzierbar – sehr viel mit Bildern und Abbildungen zu tun hat.

Eine verallgemeinerte Matrix

Wissensakquisition ist das eigentliche Vorhaben der Forscher. Eigentlich ist der Mensch durch seine Fähigkeit und seinen Willen gekennzeichnet, sich Wissen aus der Erfahrung zu holen und damit neue praktische Erfahrungen zu ermöglichen. Der Mensch kann alles denken und in Frage stellen. Die Menschen werden niemals aufhören, zu staunen und sich zu fragen: „Was ist das?“, schon gar nicht, solange ihre Aktivitäten den Bereich

der Dinge, des Seienden ständig erweitern. Die Erzeugung von Bildern gehört auch dazu, ebenso die von Geräuschen, von Rhythmen, wissenschaftlichen Theorien usw. Nicht zuletzt werden sogar von Künstlern Bilder in erster Linie aus gnoseologischen Gründen erzeugt: Die ästhetische Praxis ist immer auch eine der Erkenntnis und der Selbsterkenntnis.


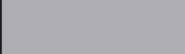
Wissen basiert auf verschiedenen Formen der Wahrnehmung der Wirklichkeit: Messen, Beobachten, Empfinden, Nachdenken, Nachahmen, Testen. Diese sind Beschreibungen eines Teils der von uns wahrgenommenen / erlebten Wirklichkeit (was immer Wirklichkeit auch bedeuten soll). Im Wissen können quantitative, qualitative oder gemischte (Quantität und Qualität) Überlegungen zum Ausdruck kommen. Das Wissen kann induktiv, deduktiv, abduktiv hergeleitet werden (ich bin mir bewusst, dass ich damit nur die westliche Logik berücksichtige!). Es kann die Form von Wissenschaft annehmen (Beweisbarkeit gehört zu den Merkmalen des wissenschaftlich formulierten Wissens), aber auch die der erfolgreichen Handlungen (die Wissen verkörpern), der Kunst, der Philosophie, der Politik usw. Es gibt Wissen (und Gewissen!) in der Liebe, im Hass, in Entscheidungsakten aller Art (vom Würzen der Speise bis zur Wahlbeteiligung, von der Wahrnehmung einer Ampel bis zum Verschreiben von Medikamenten oder von Heiltherapien).

Egal, ob auf Quantität oder auf Qualität bezogen, egal, ob in homogenen oder heterogenen Wissensgebieten, wir können das, was wir wahrnehmen (durch Messungen, Beobachtungen, Lesen, Anschauen, Zuhören, Verstehen, Fühlen, Empfinden etc.) in einer Matrix – einer Beschreibung von Relationen zwischen Dingen – darstellen. Nicht nur, dass das möglich ist, eigentlich entspricht es unserer synthetischen Natur, dass wir immer in Relationen, d. h. in Bezügen denken. Eine Farbe in einem Bild kann einen Ton suggerieren, eine mathematische Formel kann einen Namen in Erinnerung bringen, ein Roman kann mit Erfahrungen in Zusammenhang gebracht werden, ein Kommando, das wir per Tastatur oder Mausklick in den Rechner eingeben, kann eine Menge von Prozessen in Gang setzen (oder Prozesse stoppen!).

Nehmen wir an, dass eine 2D-Matrix mit beliebig vielen Feldern, diese immer wechselnden Relationen wie eine kognitive Karte darstellt.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| s | s | s | | | | g | v | |
| | | | | d | f | g | h | s |
| a | s | w | q | q | r | | | |
| | | | | | g | h | f | |
| j | | | | | | | | |
| | q | h | g | g | i | i | x | |
| | | | | | | | | |

Die benutzten Buchstaben a, b, c, ... x, y, z oder Freifelder (keine Eintragung) können für Zahlen (Messungen), Sätze (der natürlichen Sprache, z. B. „Der Himmel ist blau“, oder der Logik $a \rightarrow b$), Töne, Bilder, multimediale Sequenzen, 3D (oder sogar nD , mit $n > 3$) – Objekte, wissenschaftliche Theorien (die Euler-Geometrie, die Big Bang-Theorie usw.), politische Programme (Manifeste, Regierungserklärungen), Ideologien, Krankheiten, Website-Adressen, Animationen, Tänze, Erlebnisse und sogar Datenbanken (z. B. die Adressen, die wir speichern) usw. stehen. Die einzige Bedingung ist, dass die Relationen erkennbar sind (z. B. Sequenzen, synchrone Ergebnisse, Ähnlichkeiten, Assoziationen usw.).

| | | | |
|--|------------|--|-----|
| Bild | Porträt | Film | DVD |
| Musik  | Punkt • | Farbe  | URL |
| Website | SMS | Nachricht | ... |
| ... | ... | | |

Die Informationen, die sich in den verschiedenen Feldern der Matrix befinden, sind unsere Daten. Eigentlich ist diese Matrix wie ein durchgehend entstehender Film zu verstehen, ein Film der sich kontinuierlich fortsetzt. Die Felder sind während der Nacht anders besetzt als am Tag,

aber es gibt immer – wenn auch schwer nachvollziehbar – eine Beziehung zwischen diesen Daten. Mehr noch, jede Menge von Daten steht in Beziehung zu den Daten der anderen und macht nur Sinn in Bezug auf diese (vgl. Nadin 1991). Innerhalb dieser dynamischen Matrix sind die klassischen semiotischen Operationen „Substitution“, „Insertion“ und „Omission“ möglich. Auf dieser Abstraktionsebene erkennen wir ein Muster, indem wir eine begrenzte Matrix untersuchen – Schnitt am Zeitpunkt t – um zu sehen, ob wir Untermengen der in der Matrix erfassten Relation beschreiben können, die durch gewisse Regelmäßigkeiten gekennzeichnet sind.

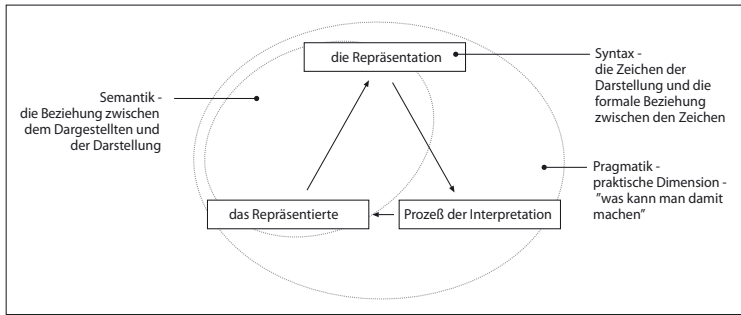
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| a | a | s | l | a | u |
| t | p | a | a | a | y |
| q | m | | a | | q |
| s | a | a | s | r | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| l | q | s | s | s | |
| r | t | o | q | s | m |
| a | | b | c | s | d |
| | w | y | s | s | g |

Betrachtet man die Matrix näher, ergeben sich einige Regelmäßigkeiten, die man auch Muster nennen kann. Egal, welche Sprache wir benutzen, um die Menge der Fakten in der Matrix zu beschreiben – ein Muster ist ein Ausdruck in der benutzten Sprache der Fakten (in diesem Fall wiederholende Sequenzen). Ein Muster bildet eine Untermenge von dem, was

die Sprache der Fakten beschreibt. Ein Muster ist immer einfacher als die Menge aller Fakten in der Matrix. Ein Muster stellt keine komplette Beschreibung der Matrix dar. Gehen wir nun von dem dynamischen Modell aus, ergeben sich einige Erwartungen in Bezug auf Muster. In erster Linie sollten entdeckte Muster mit einem hohen Grad an Wahrscheinlichkeit auch für neue Daten gültig sein. Einfacher ausgedrückt: Falls in der Matrix ein Muster mit einer bestimmten Handlung assoziiert werden kann (Regen im Frühling verspricht eine gute Maisernte, eine Röntgenaufnahme verweist auf eine Entzündung, das Verhalten von Tieren erinnert an bestimmte Umstände vor einem Erdbeben usw.), ist zu erwarten, dass sich dies in einem Wahrscheinlichkeitsverhältnis ausdrücken lässt. Ein Maß an Wahrscheinlichkeit beschreibt unsere Erwartung in Bezug auf die Wiederholung des Musters („kann ich davon ausgehen, dass sich das gleiche Muster auch in den nächsten Reihen wiederholt?“).

Die Daten ändern sich laufend. Das erklärt auch unser Streben nach Wissen – wären die Daten gleich, hätten wir kein Bedürfnis, weiter etwas zu erkennen. Die Beziehung zwischen Mustern, die wir in der Menge der Daten erkennen, und den Fakten, zu denen die Muster gehören, beschreibt intuitiv das Interessante. Neuartigkeit, die wir durch eine Funktion darstellen, d. h. eine Darstellung der Unterschiede zwischen Fakten und erkennbaren Mustern der Daten, die stellvertretend für die Fakten stehen, erfasst die Dynamik. Änderungen der Daten (erkennbar, indem wir den Vergleich von gegenwärtigen mit bisherigen oder erwarteten Werten durchführen) oder des Wissens mit den Daten assoziiert, d. h. wie ein Ergebnis mit alten, uns bekannten verwandt ist, sind wichtig in der Bewertung des Interessantheitsgrades. Somit kann eine Boolesche Funktion dazu dienen („neu gegenüber alt“ – ein klassisches Thema der Kunst!) Änderungen zu erfassen, oder wir können ein Maß an Neuheit oder an Unerwartetem einführen, um diese Änderungen zu beschreiben. Wissen ist sicherlich interessant, auf jeder Ebene, in der es ausgedrückt wird: Von der unmittelbaren Bemerkung eines Nicht-Wissenschaftlers bis hin zu den Schlussfolgerungen von Experten. Diese Ebenen entsprechen den Ebenen der Zeichenrelation: Zeichen = Zeichen (das Repräsentierte, die Repräsentation, Interpretant), d. h. wir nehmen die Wirklichkeit (das Repräsentierte) durch eine Darstellung (die Repräsentation) wahr, um die Welt (unsere eigene auch) zu verstehen (Interpretationen) bzw. zu ändern (Pragmatik). Das Diagramm soll die bekannten Definitionen der Syntax, Semantik, Pragmatik darstellen:



Auf syntaktischer Ebene nehmen wir Relationen zwischen den Elementen wahr, die wir benutzen, um Wissen darzustellen, es auszudrücken, zu vermitteln. Die syntaktische Ebene ist wichtig, weil wir relativ einfach, unter Einsatz formaler Mittel feststellen können, ob es Widersprüchlichkeiten gibt oder ob wir Probleme mit der Vollständigkeit haben.

Auf semantischer Ebene können wir Bezüge zu dem, was dargestellt wurde, feststellen und die Kohärenz damit prüfen. Aber der eigentliche Sinn der Wissensakquise ist die Pragmatik – was machen wir mit dem, was wir wissen? In diesem Sinne sollten wir eine Funktion einführen, die die Nützlichkeit beschreibt (von „einfach“ bis hin zu „sehr komplex“ definierbar). Anders gesagt: Muster sollten möglicherweise zu nützlichen Handlungen führen bzw. nützliche Handlungen unterstützen. Diese sollte man – soweit wie möglich – durch eine Nutzfunktion messen oder beschreiben können. Was nützt uns eine neue Form der Abbildung (wie z.B. die kubistische Perspektive)? In jeder Wissenserfahrung, ob in einer intuitiven (nicht durch vorheriges Wissen vermittelten) oder systematischen, wissenschaftlichen oder künstlerischen, besteht die Notwendigkeit zu verstehen, was gerade aufgenommen, entdeckt oder realisiert worden ist. Das heißt im Sinne des Verfahrens, das ich hier beschreibe, dass die Muster, die wir feststellen und die wir durch Gültigkeit, Neuartigkeit, Nützlichkeit definieren, letztlich verständlich sein müssen. Es ist nicht möglich, die Nützlichkeit präzise zu definieren und sogar noch weniger, diese zu messen. Auf syntaktischer Ebene können wir die Größe der Muster messen und beispielsweise in Bits ausdrücken (ein Dermatologe muss nicht die ganze Haut des Körpers untersuchen, um eine Diagnose zu stellen, sondern nur eine bestimmte Sektion), die wir unbedingt brauchen, um eine nützliche Schlussfolgerung zu ziehen. Auf semantischer Ebene geht es uns um das, was leicht verständlich ist: Bilder, die Bezüge zur Wirklichkeit haben, sind eher erkennbar, falls eine gewisse Semantik

vorhanden ist. Was aber die Pragmatik betrifft, ist es notwendig zu verstehen, dass Muster und Handlungen (mögliche, bestätigte usw.) in Beziehung stehen, und dass die Verständlichkeit nur prozessuell zu erreichen ist. Wir haben somit die Vorleistung gebracht, eine einfache Handlung zu beschreiben, die uns an das Ziel, das Interessante zu definieren, bringen kann. Auf der abstrakten Ebene, auf der wir uns befinden, bleibt uns nur ein Gesamtmaß, das aus Musterwerten, Gültigkeit, Neuheit, Nutzen und Einfachheit besteht, die wir zu verbinden haben. Falls wir dazu noch einen Grad an Informativität einführen – also worüber und wie ausführlich der so erfasste Interessantheitsgrad informieren soll – ergibt sich eine durch Informativität genormte Funktion, die Ausdrücke in der von uns benutzten Sprache in Verbindung mit Wissen, Neuartigkeit, Nützlichkeit, Verständlichkeit, Gültigkeit, und Effizienz bringt. Wie sicherlich jeder weiß, gilt das, was bis zu einem Zeitpunkt als Wissen galt, nachher nur als Schwelle, d.h., das neue Wissen steht hinter dieser Schwelle. Auf eine formale Beschreibung der Interessantheit werde ich noch zurückkommen.

Wissen ist immer benutzerorientiert und wird durch beliebige Funktionen und Schwellen dargestellt, die den Benutzer in seiner Onto- und Morphoentfaltung definieren. Es gibt tatsächlich menschliche Handlungen, in denen deren Schwellen eingestellt sind (was darf jemand heben, was soll jemand lesen, was dürfen wir essen etc.), um Vorhersagen (oder nützliche Muster) machen zu können. Regierungen aller Couleur spielen dieses Spiel, aber nicht weniger wird es von den neuen Wissenschaften betrieben, die auf Datenbearbeitung basieren. Also: Interessantheit, wenigstens als Interessantheitsgrad, können wir definieren, jedoch ohne zu wissen, ob das, was sich über einen begrenzten Zeitraum als interessant bezeichnen und verarbeiten lässt, es auch tatsächlich ist. Mit dieser Bemerkung wird klar, warum wir, so wichtig die abstrakte Ebene ist, die Notwendigkeit zu konkretisieren, nicht vermeiden können.

Ein Ausflug im ästhetischen Raum

Zwischen dem Nakeschen Ansatz zur Ästhetik und dem meinigen gibt es einen wesentlichen Unterschied: *Nake* extrahiert die Ästhetik aus der Kunst, für mich ist das Ästhetische ein Merkmal aller menschlichen Handlungen, oder genauer formuliert, eine grundlegende Dimension jedes menschlichen Tuns. Auf diese Thematik sollten wir hier nicht weiter eingehen. Ich erwähne diesen Unterschied aber aus einem einfachen Grund: *Frieder Nake* untersucht den Raum der möglichen Bilder (und formu-

liert sogar, aus der Perspektive der Informatik, eine Methodologie zur Bestimmung der Anzahl der Bilder) und führt weiterhin den Begriff der ästhetischen Räume ein. Seine sehr prägnante Aussage lautet: „Malt ein Künstler z. B. eine Serie von Bildern, die zu einer Klasse gehören, so sagt das Verhältnis der Anzahl der realisierten zu der der möglichen Bilder etwas darüber aus, zu welchem Grade der Künstler den gewählten ästhetischen Raum erforscht hat“ (Nake 1974, S. 104). Man denke an Pablo Picassos (1881–1973) verschiedene Serien, und schon wird einem intuitiv klar, dass der Maler nicht immer den ganzen Raum der einen oder anderen Serie erschöpft hat. Nake schreibt weiter: „Malen zwei Künstler in ein und demselben ästhetischen Raum, so gibt die Anzahl möglicher Bilder in diesem Raum eine Andeutung darüber, ob sich die Künstler gegenseitig ‚auf die Füße treten‘ oder ob sie erwarten können, unabhängig voneinander zu bleiben“ (Nake 1974, l. c.). Weil ich Picasso erwähnt habe, fällt mir in diesem Zusammenhang automatisch der Name Georges Braque (1882–1963) ein.

Les Femmes d'Alger (O. J. 1895)

(links)

Les Femmes d'Alger (O. J. 1895)

(rechts)



Aber wir sollten nicht nur bei der Kunst bleiben. Im Zeitalter der Visualisierung besteht die Möglichkeit, Programme zu schreiben, die verschiedene ästhetische Räume durch Bilder aller Art (inklusive multimedialer Darstellungen) besetzen können. Programme wechseln nicht den ästhetischen Raum, aber wir können untersuchen, inwiefern das Interessante in einem gegebenen Raum auch tatsächlich verwirklicht wurde. Den Sinn dieser Untersuchung können wir nur im Pragmatischen feststellen, d. h., dienen diese Bilder der Handlung und wenn ja, wie erfolgreich sind sie. Dass meist schlechte Bilder produziert werden, wissen sogar

die, die diese Bilder produzieren. Was sie aber lernen wollen, ist, wie man es besser macht, ohne Künstler zu sein, Kunst studiert zu haben oder ohne als Designer ausgebildet zu sein. Informatiker und andere Wissenschaftler – sogar Geisteswissenschaftler – wissen, wie man Bilder erzeugt. Sie benutzen dafür Computergrafik-Ressourcen oder allerlei Visualisierungsprogramme. Was wir weniger wissen, ist, wie man gute Bilder erzeugt. Wie man Bilder mit ästhetischen Eigenschaften erzeugt, wissen wir sogar noch weniger (weil wir eine fundamentale Dimension hier herauslassen – die der Vorwegnahme, der Antizipation; aber das ist ein anderes Thema). Wir wissen sehr wenig, wie aus Bildern Wissen extrahiert wird. Besonders Wissen über Bilder, was das Unterthema meines Vortrages ist, ist ein sehr schwieriges Thema. Um Wissen aus Bildern zu extrahieren, z. B. „was macht ein Bild interessant?“, müssen wir verstehen, was gute Bilder sind. Und „gut“ lässt sich schwer definieren!

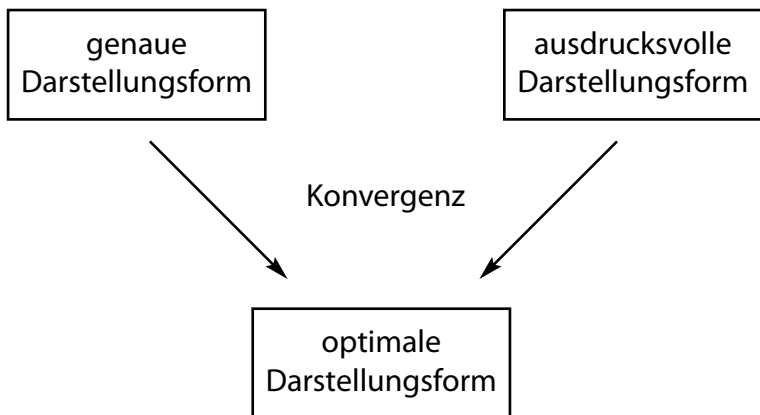
Zur Wissensakquisition bedienen wir uns verschiedenster Methoden, nicht nur der Bilder. Noch vor nicht allzu langer Zeit basierte die ganze Praxis der Erkenntnisgewinnung auf Sprache oder wurde durch Sprache vermittelt. Die wissenschaftliche Wissensakquisition ist letztlich im Wesentlichen in den Formalismen der Mathematik verankert. Die Mathematik selbst, die als Ursprung aller Wissenschaften gilt, hat sich fundamental geändert.

Pierre de Fermat (1601–1665) hat sein Theorem noch als sprachliche Beschreibung formuliert⁶. 1637 schrieb er auf eine Kopie der Übersetzung der Arithmetica von Diophantus von Alexandria (200–284): „Cubum autem in duos cubus, aut quadrato quadratum ...“ etc.. Heute wird diese Aussage als sein letztes Theorem beschrieben: Für jede natürliche Zahl $n > 3$ gibt es keine ganzzahligen Lösungen x, y, z der Gleichung $x^n + y^n = z^n$, für die gilt $x \times y \times z \neq 0$ und beschäftigt (auch nachdem Andrew Wiles (1995) einen stark kontroversen Beweis erbrachte) viele Mathematiker und Informatiker. Durch die Computation nimmt die Mathematik, mehr als je zuvor, die Ausdruckskraft des Anschaulichen in Anspruch. Einige Bereiche der Mathematik würden heutzutage überhaupt nicht existieren, wenn die Visualisierung durch Computer nicht möglich wäre. Dazu gehören nicht nur die Theorien dynamischer Systeme (im Volksmund als Chaostheorie bekannt), sondern auch die ganze fraktale Mathematik oder die Genetik, um nur drei der bekanntesten Entwicklungen zu nennen.

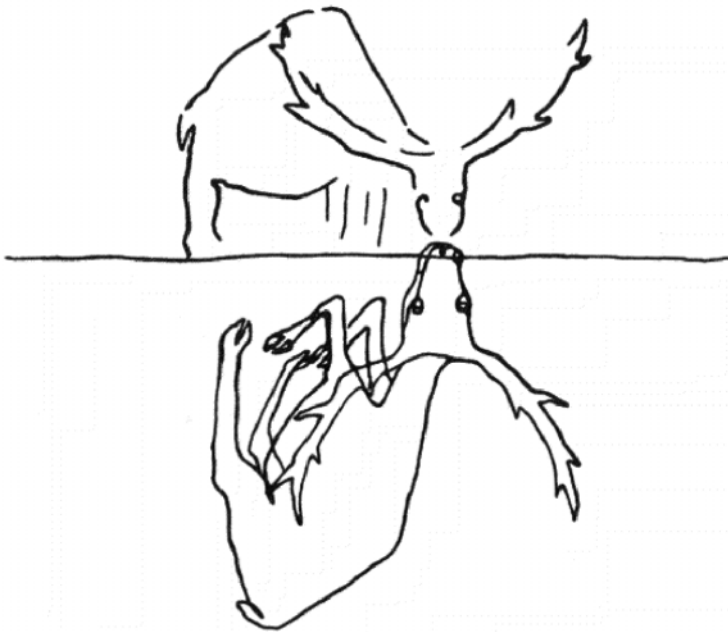
Wenn man von den computationalen Wissenschaften spricht – die computationale Physik, Chemie, Astronomie usw. – spricht man eigentlich von der Aneignung visueller Darstellungsmethoden und Techniken, die zum Geist dieser Zeit gehören. Heutzutage erreicht die visuelle Kommunikation bis zu 80% der gesamten Kommunikation – und das nicht nur durch Fernsehen und Werbung, sondern durch die visuelle Vermittlung der Information in der Arbeit, Freizeit, Gesellschaft. Und trotzdem gilt: Wir wissen sehr wenig über Bilder, obwohl die Kultur der Gegenwart eine Kultur des Anschaulichen ist. Aber darüber weiter nachzudenken, ist letztendlich nicht hier und heute unsere Aufgabe.

Genauigkeit

Wir wollen aber erneut versuchen, das Anschauliche als eine gestaltete Darstellung zu verstehen, die uns im Wesentlichen durch Bestimmungen – analog zu einer Grammatik – erlaubt, von Daten zu Bildern und von Bildern zu Wissen zu kommen. Diese Dimension der Gestaltung ist fundamental. Ohne in der eigenen Sache (Gestaltung) Partei zu ergreifen, muss man sich schon im Klaren sein, dass Visualisierung genauso präzise sein muss wie eine mathematische Formel, genauso nachvollziehbar, aber zusätzlich auch noch ausdrucksvoll. Kurzgefasst: in der Visualisierung spiegelt sich ein fundamentales Gesetz wider: Je präziser eine visuelle Darstellung ist, desto geringer ist die Ausdruckskraft (und sicherlich auch umgekehrt). Dieses Gesetz darf niemand, der visualisiert, ignorieren. Vom Gesetz an sich kann jedoch niemand Schlussfolgerungen für eine erfolgreiche Visualisierung ableiten.



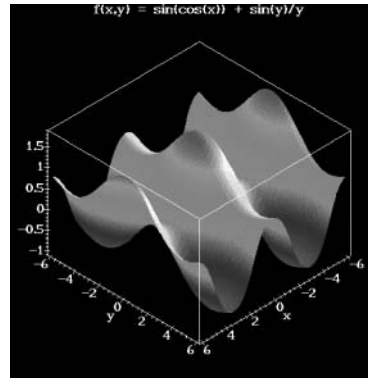
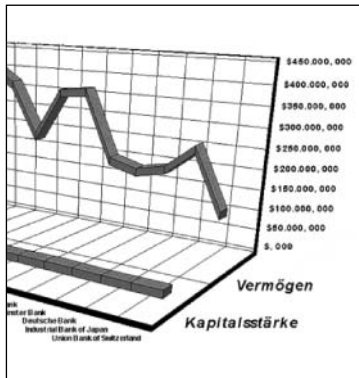
Hier ist anzumerken, dass die genaue und die ausdrucksvolle Darstellung verschiedene Interessantheitsmerkmale haben. Das Genaue ist nicht weniger als das Ausdrucksvolle, sondern anders interessant. Informatiker sind heutzutage die wichtigsten Produzenten von Bildern. Sie sind auch besonders interessiert, das Anschauliche besser zu verstehen – oder sollten es sein! Ich vertrete den Standpunkt, dass Design – d. h. Gestaltung – ein Teil der Ausbildung der Informatiker sein müsste. Dass die Integration des Designs in die Informatikausbildung nicht von sich aus stattfindet, wissen wir alle. Somit stehen wir vor der Aufgabe, Design in computationaler Form auszudrücken und zu vermitteln. Diese Aufgabe ist nicht einfach. Das liegt nicht daran, dass Design im Gegensatz zu den Wissenschaften nicht genau ist, sondern eher daran, dass Genauigkeit als Merkmal der Erkenntnis bisher nur auf Quantität reduziert, aber nicht auch auf Qualität ausgedehnt wurde. Quantitative und qualitative Aspekte der Phänomene müssen zusammengefasst werden, und die Erwartung, die an diese Genauigkeit geknüpft wird – auch wenn diese als Fuzzy-Genauigkeit verstanden wird – muss die Gesamtheit erfassen. Was in jeder Visualisierung passiert, ist die „Übersetzung“ vom Quantitativen (Daten) ins Qualitative (Bilder). Dies gilt beispielsweise für einfache Illustrationen,



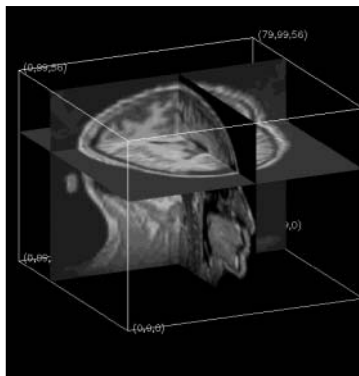
geometrische Darstellungen,



computergraphische Rekonstruktionen,



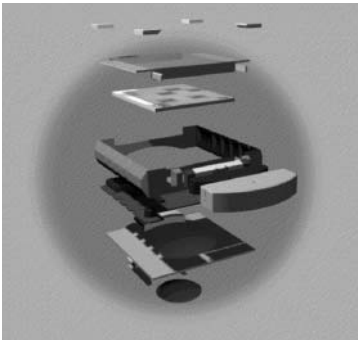
Modellierung,



Simulation,



VR-Darstellung.



Zwischen Daten und Bildern soll – gemäß den Erwartungen einer quantitativen Wissenschaft – ein grundlegender Isomorphismus der Genauigkeit bestehen bleiben. Dass diese Erwartung nicht erfüllbar ist, wissen wir inzwischen. Was wir nicht wissen ist, inwiefern die Visualisierung das Interessante des Visualisierten überträgt oder etwas Neues als interessant anbietet.

Was wird extrahiert?

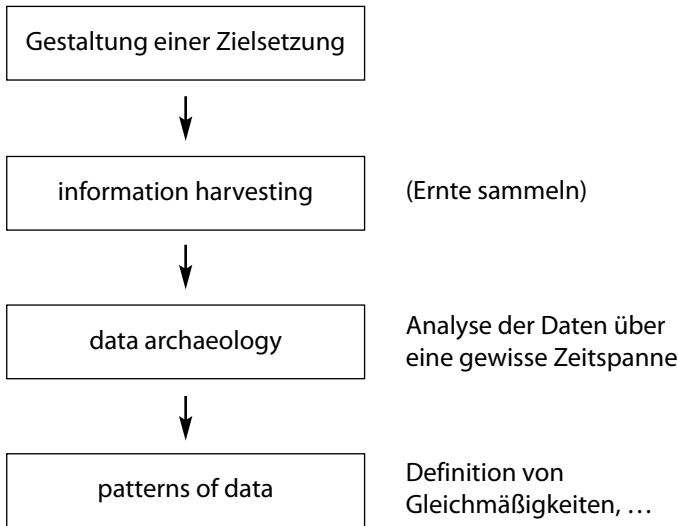
Nun aber zurück zu der schon angekündigten Wissensakquisition oder Erkenntnisentdeckung als Aspekte des Data Mining. Das erste und wichtigste Element ist dabei die Bestimmung der notwendigen Daten. Wir müssen uns im Klaren sein: Heute wird alles gemessen, alles wird durch Daten dargestellt, meistens nicht, weil es sein muss, sondern weil es möglich ist. Oft sind solche Daten bedeutungslos oder falsch, weil sie durch Messungsverfahren extrahiert wurden, die die Phänomene selbst gestört haben. Bevor Daten extrahiert werden, muss unbedingt eine klare Ziel-

setzung definiert werden: Es wird im Zusammenhang mit einem Ziel gemessen, das wir auf abstrakter Ebene durch die Definition der notwendigen Variablen und der uns bekannten Zusammenhänge beschreiben. Hier fängt die Schwierigkeit an: Wir messen, weil wir eigentlich mit unserem Wissen weiterkommen möchten. Also, wir wissen noch nicht, welche Variablen wichtig sind, welche Zusammenhänge bedeutungsvoll oder bedeutungslos sind usw. Diese Zusammenhänge sind im Nachhinein feststellbar oder als Hypothese zu testen. Wie sich dieses Wissen in Bilder umsetzt, kann keiner ahnen. Messen und Anschaulichmachen scheinen total unabhängig zu sein. Die klassische Induktion (immer als Teilinduktion zu verstehen) und die klassische Deduktion helfen. Ohne jedoch ein abduktives (d.h. hypothetisches) Verfahren in Gang zu setzen, werden wir auch weiter in der Schlussfolgerung (der Induktion, Deduktion) das finden, was wir „hineinbeobachtet“ haben. Die Bilder werden also tautologisch wirken (der „wussten wir schon!“-Effekt).

Auch hier eine Nebenbemerkung: Antizipation könnte eine Antwort auf solche Fragen geben. Jede Vorwegnahme erscheint als eine „reverse computation“, d.h. als ob man die Computation erstmals vornimmt und nur danach unter Einbeziehung der Daten, die auch sinnvoll sind, tatsächlich durchführt. In diesem Sinne wäre es nicht ausgeschlossen, gerade das Interessante als Zielsetzung, d.h. als zukünftigen Zustand eines Systems, als antizipatorische Kraft einzusetzen, und zwar als Modell, das sich „schneller“ entfaltet als die Visualisierung und somit diese kontrolliert. Fünf Jahre nach meinem Vortrag in Bremen erschien mein Buch „Anticipation – The end is where we start from“ (Nadin 2003), das auch solche Aspekte mitberücksichtigt.

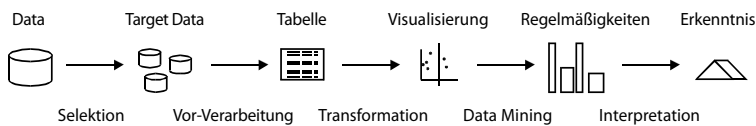
Weil die Computation effektiver geworden ist, können wir heute verschiedene Datensätze aus verschiedenen Quellen miteinander verknüpfen – jeder Datensatz als Prämisse einer effektiven Abduktion. Verschiedene Datenbanken (lokal gespeichert, verteilt, parallel verarbeitet usw.) können kombiniert und gegenseitig auf Vollständigkeit, Widersprüchlichkeit, Kohärenz usw. geprüft werden. Die Integration auf Datenebene und die Integration auf Bildebene sind fundamental unterschiedlich. Die intelligente automatische Bearbeitung, d.h. Visualisierung, die eventuell winzige Erkenntnisse ermöglicht, besteht aus Prozeduren, die Gestaltung – Bilderzeugung – Bildanalyse und Bildoptimierung und Interpretation kombinieren.

Die Schritte, die hier vorliegen, sind folgende:

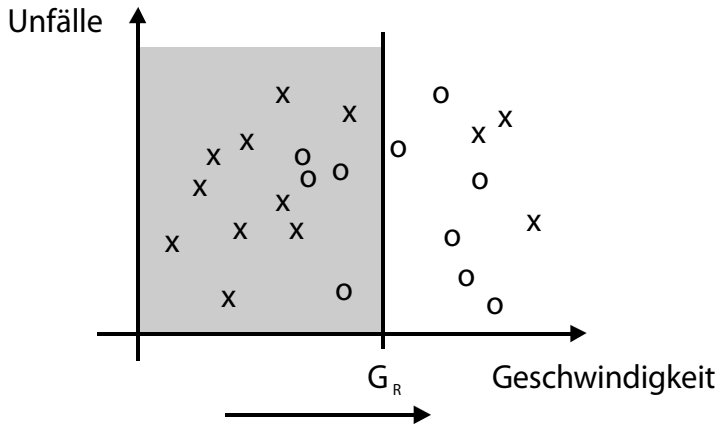


Die Muster, die wir am Ende dieser Kette erkannt haben, sollen uns ermöglichen, an das Interessante heranzukommen. Die erste Methode des Data Mining (Piatetsky, Frawley 1991) basiert auf Algorithmen zum Extrahieren von Regelmäßigkeiten in den Daten. Diese Regelmäßigkeiten können auf visueller Ebene geprüft werden. Es soll damit die alte Tendenz des „data fishing“ beendet werden, indem man definiert, was eigentlich zu messen ist, d. h., welche Daten machen für eine gewisse Zielsetzung Sinn. Diese erste Methode beinhaltet statistische Prozeduren für den Aufbau des Modells und für die Handhabung von Stördaten (noise).

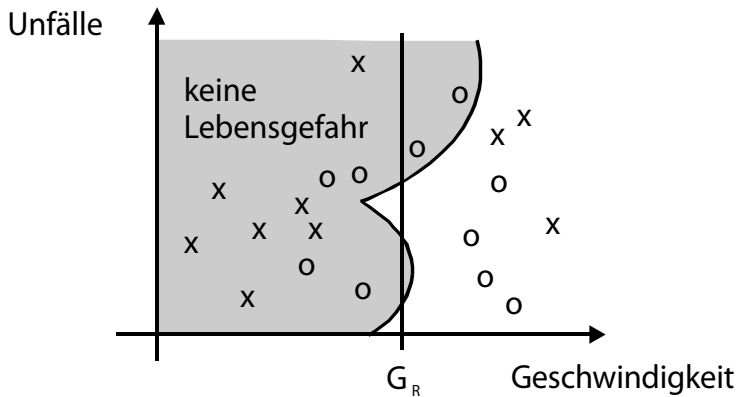
Data Warehousing⁷ gehört in diese Kategorie. OLAP⁸ (vgl. auch Codd, Codd, Salley 1993) ermöglicht die Anwendung im Netzwerk.



Daten sind eine Beschreibung von Fakten (als Beispiel: X_n Fälle mit drei Feldern: Unfälle, Geschwindigkeit, Tempolimit). Definitionen, die wir schon eingeführt haben, sollen uns nun weiterhelfen: Muster (Pattern), ein Ausdruck E in einer Sprache L , der Fakten in einer Untermenge F_E beschreibt. Hier: Unterhalb eines gewissen Einkommens werden Geldstrafen nicht bezahlt.



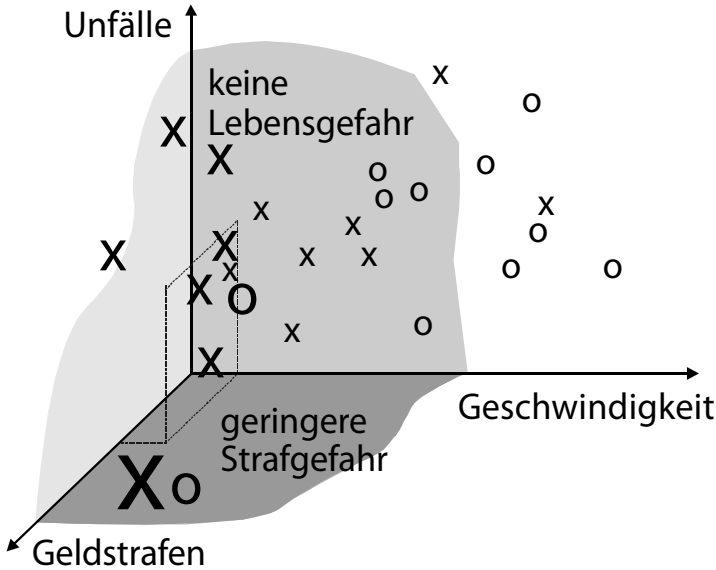
Durch weitere Verarbeitungsmethoden, wie z. B. auch Backpropagation in Neuronale Netzen, werden neue Klassifizierungen möglich.



Mit Hilfe solcher Methoden wird nicht nur festgestellt was war, sondern es wird auch eine mögliche Handlung in die Zukunft projiziert. Jetzt wollen wir versuchen, anhand eines sehr einfachen Beispiels all das, was wir besprochen haben, weiter zu erläutern.

Die Aussagen (predictions), die auf Algorithmen basieren, können weiter visuell differenziert werden.

Statistische graphische Darstellungen (Graphen, Charts) werden heutzutage immer mehr durch interaktive Visualisierungen ersetzt. Die Technik des Brushing entstand durch den Versuch – die Maus wird wie ein Pinsel („brush“) benutzt, der farbige Spuren hinterlässt –, Zusammenhänge zu visualisieren, die auch durch die Intensität der Farbe



angezeigt werden. Durch Data Mining ist es gelungen, den Zusammenhang zwischen Bildern und Erkenntnis zu thematisieren. Deswegen glaube ich, dass wir etwas mehr über Bilder zu sagen haben bzw. uns der Thematik des Bildes etwas mehr annähern sollten.

Die ästhetische Grundlage

Eigentlich gibt es kein Bild, das nicht direkt oder indirekt ästhetisch bewertet wird, d. h., es gibt kein Bild, das nicht als „schön“, „gelingen“, „angenehm“ oder als „nicht schön“, „nicht gelungen“, „unangenehm“ u.ä. wahrgenommen wird. Diese Wahrnehmung ist oft eine implizite (man denkt darüber nach und handelt entsprechend, d. h. man akzeptiert es oder lehnt es ab), insbesondere, wenn wir keine Wahl haben. Dies gilt auch für einen selbstreflektierenden Künstler in Anbetracht seiner eigenen Arbeit, für Sonntagsmaler, Bastler und immer öfter auch für die wachsende Anzahl derer, die mit unterschiedlichen Programmen Bilder oder multimediale Produkte aller Art erzeugen.

Durch die Einbeziehung der Wissenschaft und der Technik des Computers entstand tatsächlich eine Kultur des Anschaulichen, die sich von der Werbung bis hin zu den Versuchen der Visualisierung komplexer wissenschaftlicher Sachverhalte (inklusive virtueller Räume und Handlungen) erstreckt.

Nur sehr wenige, die sich im Visuellen bewegen, haben dabei Schwierigkeiten zu verstehen, wie das Anschauliche funktioniert. Im Vergleich zum Schreiben und Lesen, zur Mathematik und sogar zur Musik scheint alles, was sichtbar ist, genauso natürlich zu sein, wie das Essen und das Schlafen, das Laufen und die Liebe. Doch mancher hat schon gemerkt, dass das Essen selber auch nicht so natürlich ist, dass nicht jeder ein guter Koch werden kann, dass an das Laufen und an die Liebe auch noch Erwartungen gestellt werden, die über die Physik (Biometrik) hinausgehen und dass das Schlafen, bzw. die Welt des Traumes, zu relativ komplizierten wissenschaftlichen Ausarbeitungen (inklusive Traumdeutung) geführt hat.

Tatsächlich ist das Sichtbare – Himmel, Erde, Bäume, Wasser, Sterne u. ä. – das Fenster, die Schnittstelle zu unserer Umwelt. Aber damit ist das Anschauliche noch kein Bild, weil Bilder, egal welche – gute, schlechte, zufällige – die Person, die das Bild erzeugt hat, „beinhalten“ und mit der Person die Kultur, die diese Person geprägt hat. Anders ausgedrückt: Bilder sind genauso künstlich wie die geschriebene und gelesene Sprache, wie die Formeln der Mathematik, die Notenschrift oder wie die Laban – Kurzschrift des Tanzes, die Kineme (eines Eisensteins) der Kinematographie oder die Scriptsprache der Multimedien (z. B. Director, mit oder ohne Lingo-Erweiterungen, oder Flash). Sie sind aber ein Erzeugnis einer praktischen Handlung, die den Erzeugenden wesentlich prägt.

Dass Bilder als künstliche Ausdrucksformen der Menschen zu verstehen sind, dürfte niemanden überraschen. Jede Form des menschlichen Ausdrucks erfordert Erfahrungen, die weit über das Dargestellte (in schriftlicher Form, in mathematischer Notation, in der Musik, im Tanz, in Bildern usw.) hinausgehen. Diese Erfahrungen muss man sich vorher angeeignet haben.

In erster Linie ist in jedem Ausdruck unsere biologische Wirklichkeit in komprimierter Form enthalten. Tatsächlich können nie Elemente benutzt werden, die unsere Sinnesorgane nicht wahrnehmen können. Das klingt so einfach, dass man weiter kein Wort darüber verlieren wird. Jedoch kann man es am Computer so einrichten, dass Farben außerhalb des sichtbaren Spektrums benutzt oder dass Töne außerhalb des hörbaren Spektrums erzeugt werden usw. Damit dürfte – unter Umständen – ein anderer Teil der Welt angesprochen sein (Elefanten-Liebesrufe liegen bekanntlich im Ultraschallbereich, Fledermäuse operieren mit Signalen, die viel höher als die 20.000 Hz der theoretischen

Hörgrenze des Menschen liegen). Bestimme Bilder, die wir als Darstellungen uns bekannter Objekte sehen, erscheinen als Stimulus für schwer erklärbare Handlungen von Menschen, die wir als geistig gestört etikettiert haben, weil diese unter Umständen in einem anderen Spektrum der Sinne operieren. Aber nicht nur die biologische Wirklichkeit ist in Bildern wieder zu entdecken, sondern auch unsere kulturelle. Wobei der Begriff Kultur hier eigentlich etwas zu einfach, zu grob gewählt ist. Die Kultur selber ist als eine Verflechtung von mehreren menschlichen Dimensionen zu verstehen: Die Erfahrung des Machens, des Wissens und der Interaktion (mit der Umwelt, mit den Mitmenschen, mit Objekten und sogar mit Begriffen).

Um mich aber hier nicht in Einzelheiten zu verlieren – egal wie aufregend und aufschlussreich diese auch sind – möchte ich einfach behaupten, dass alle diese Erfahrungen immer konstituieren und gleichzeitig eine grundlegende Struktur widerspiegeln – und zwar die des Ästhetischen.

Wer meint, dass man Bilder außerhalb der ästhetischen Erfahrung erzeugen kann, der bewegt sich auf demselben Grat wie die Alchimisten oder wie diejenigen, die nach dem Perpetuum Mobile suchen. Aber was heißt nun ästhetische Erfahrung? Ich kann auf eine unendliche Bibliographie verweisen, aber mein Beitrag soll hier nicht die Wiederholung der Geschichte der Ästhetik sein, sondern eher eine Zusammenfassung zu einem Begriff, den wir in computationaler Form benutzen können. Ästhetische Erfahrung ist die Selbstkonstituierung des Einzelnen in der Praxis des Lebens (egal in welcher Form dieser Praxis – als Jäger, Sammler, Bauer, Arbeiter, Wissenschaftler, Lehrer, Pfarrer, Politiker usw.) nach dem universellen Gesetz der Selbstoptimierung.

Tatsächlich ist jede menschliche Handlung – egal welcher Natur – eine durch Optimierung (d. h. der besten Relation zwischen Nutzen und Anstrengung) geprägte und zwar deshalb, weil innerhalb der Auslese das Überleben und das Erreichen eines immer höheren Lebensstandards alles, was nicht optimal ist, zum Verschwinden bringt. Die optimale Selbstkonstituierung ist nicht eine für immer gegebene; sie ist vielmehr dynamisch zu verstehen. Zu den Elementen dieser Optimierung zählt alles, was unsere Sinnesorgane beeinflusst oder durch sie weitergegeben werden kann.

Darum scheint mir auch heute noch die geniale Definition von Baumgarten (1983) „Ästhetik als Logik der Sinne“ die am besten

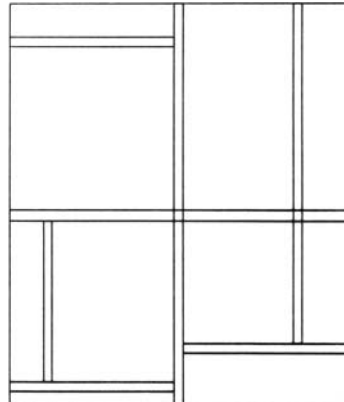
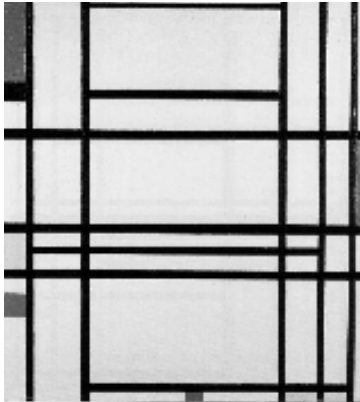
angepasste und durch die ästhetische Praxis mehrmals bestätigte, die erklärt, was Ästhetik ist. Wie schon gesagt, habe ich nicht die Absicht, die Geschichte der Ästhetik zu erzählen, sondern möchte ihr sogar eher widersprechen.

Zurück zum Interessanten

Das Interessante ist nicht auf das Sinnliche reduzierbar. Wäre es das, könnten wir in keinem Fall am Computer durch intelligente Datenverarbeitung das Interessante erfassen. Die Komplexität der Relation, die uns ermöglicht, den Interessantheitsgrad innerhalb einer Matrix zu definieren, ergibt sich nicht nur aus den in Bezug gesetzten Elementen: Sprache, Muster, Gültigkeit, Neuartigkeit, Nützlichkeit, Menge von Daten, sondern aus der Mannigfaltigkeit der Bezüge. Wir sind sicherlich in einem non-linearen Bereich, den wir zu meistern versuchen, indem wir einige Annahmen voraussetzen. Als A. Michael Noll⁹ (1966) versucht hat, Piet Mondrians¹⁰ (1872–1944) Stil nachzuahmen, haben die ersten Versuchspersonen („Which of the two do you think was done by the computer?“) die Nachahmung als das Original gewählt. Seitdem hat man mehrfach die gleiche Erfahrung gemacht – nicht zuletzt, als der Computer den Weltmeister im Schach geschlagen hat.

Man darf sich hier sicherlich erstmals eine einfache Frage stellen: „Inwieweit bieten ein Algorithmus oder die Informationsverarbeitung die Möglichkeit, das Wissen über das Beschriebene, Reproduzierte, Nachgeahmte zugänglich zu machen und damit dieses Wissen in der Kultur einzuordnen?“ Wie schon am Anfang behauptet, wird ein Muster – ob es eine wissenschaftliche Theorie ist, eine Symphonie, die Malerei, ein Text (Prosa, Poesie) etc. – als Wissen bezeichnet, wenn eine Schwelle im Interessantheitsgrad definierbar ist. Wir können durch entsprechende Einstellung von Schwellen sogar zu genauen Vorhersagen oder nützlichen Mustern (über andere) kommen. Programme wie Conway's „A Game of Life“¹¹ oder Schachprogramme, aber auch komplexe mathematische Programme (wie z. B. Mathematica¹²) akzeptieren die Einstellung der benutzerdefinierten Schwellen. Es wird nicht unmöglich sein, durch Schwellendefinition das Lernen zu steuern, indem man das Interessante (einer Theorie, eines Bildes, einer Rezeptur usw.) „dosierte“, d. h. einen Interessantheitsgrad erreicht, der einer optimalen Lehr- und Lernsituation entspricht. Wir wissen, dass der Raum von Mustern (der abstrakter ist als z. B. der Raum der möglichen Bilder) allgemein ein unendlicher ist, aber

wir wissen auch, dass in Unterräumen nach Mustern gesucht wird (z.B. betrachten wir nicht alle Bilder der Welt, sondern die Bilder in einem Buch, in einer Diavorlesung, in einem Museum, auf einer Webseite usw.).



Mondrian (links)

Mondrian von Nake (rechts)

CC 314

Der Data Mining-Prozess des Entdeckens von Wissen in Datenbanken – eine Matrix ist letztendlich eine Datenbank – ist nur ein Anfang. Wir wissen noch nicht, wie wir eine solche verallgemeinerte Matrix bearbeiten können, aber wir sollten die Möglichkeit dieser Bearbeitung nicht ausschließen. Dazu werden wir Algorithmen identifizieren, sie zum Extrahieren des Wissens verwenden, und wir werden Maße (Ehlers erwähnte in seinem Brief die normierten Zeichensätze) und Schwellen zu spezifizieren haben, um zu neuem Wissen zu kommen.

Nehmen wir an, dass alle diese Definitionen operativ eingesetzt werden können. Nehmen wir weiter an, dass die Computation zur Verarbeitung von Daten gemäß der Definitionen (also Muster-Identifikation, Entdeckung der Neuartigkeit, der Nützlichkeit etc.) möglich ist. Können wir uns tatsächlich erhoffen, von allen möglichen Bildern, die es gibt – computer-generiert oder nicht – die interessantesten zu finden? Und können wir weiter davon ausgehen, dass das Interessante auch universell ist?

Ein Experte in Geodaten definiert das Interessante aus dem Blickwinkel der Handlungen, die zu seinem Gebiet gehören. Ein Physiker, ein Chemiker, ein Biologe werden auch von der Interessantheit – und zwar in Bezug auf einen bestimmten Zeitpunkt – der eigenen Wissensdomäne ausgehen. Darum darf es uns nicht überraschen, dass die Nachahmung unter Umständen interessanter erscheinen kann. Das ästhetisch

Interessante mag außerhalb des Ästhetischen nicht anerkannt werden oder mindestens als nicht unbedingt interessant wahrgenommen werden (z.B. als exzentrisch, erotisch u.ä.). Dementsprechend möchte ich nach diesem ersten Versuch, Interessantheit zu definieren, die Schlussfolgerung ziehen, dass nur ein dynamischer Begriff in Frage kommt. In der Hexenküche von Mephisto [Goethe 1806] wird gesagt: „Nicht Kunst und Wissenschaft allein, Geduld will bei dem Werke sein“¹³. Wir wissen immer, was interessant war. Was interessant wird, ergibt sich im Prozess unserer Entfaltung als selbstbewusstes, selbstkonstituierendes Wesen.

In seinem Buch definiert Frieder Nake – und damit nähern wir uns dem Thema – den Raum der möglichen Bilder und lässt die Zahl der möglichen Bilder offen. Hier finde ich den Ansatz, der im heutigen Kontext des Interesses für das, was die Computerwissenschaftler „Data Mining“ nennen, sehr viel versprechend. Aber bleiben wir bei der Sache. In Übereinstimmung mit Azriel Rosenfeld [1969] wird ein Bild als eine reelle Funktion über der Ebene definiert.

$$f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

Der Wert $f(x,y)$ eines Bildes f auf einem innerhalb der Fläche definierten Punkt (x, y) steht für die dort tatsächlich bestehende Farbe.

Sicherlich könnte man an dieser Stelle verschiedene Einwände formulieren: Es gibt Bilder, die sich im drei-dimensionalen Raum entfalten, Farbton, Intensität und Farbsättigung, was durch Vektoren beschreibbar ist (wie es auch Nake gemerkt hat), sind eher durch fuzzy Werte als durch reelle Zahlen definierbar. Es fehlt auch noch die Zeitkomponente, d. h. Farbe und Licht, unter denen man Farbe wahrnimmt, sind nicht trennbar usw. Aber an und für sich ist diese Beschreibung ein guter Ausgangspunkt, besonders in Hinblick auf die weitere Definition des digitalen Bildes – dem eigentlichen Objekt dieser Analyse (Computervisualisierungen entstehen ausschließlich als digitale Bilder). Hier wird der Unterschied zwischen der Rasterung des Definitionsbereichs, die zu einem digitalen Bild (d. h. einer reellen Matrix) führt und der des Wertebereichs, die zu einem quantitativ diskreten Bild führt, deutlich. Im ersten Fall handelt es sich um eine Funktion, die für jeden Punkt des Rades das Paar (x_j, y_j) liefert, d. h. die Farbwerte innerhalb des Feldes, so dass

$$f: \mathbb{N}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

ein digitales Bild beschreibt.

Im zweiten Fall sind an den Koordinatenpaaren (x,y) nur diskrete Werte Z_1, Z_2, \dots feststellbar. Dementsprechend ist ein diskretes Bild durch

$$f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{N}$$

definierbar.

Das digitale diskrete Bild ist schließlich durch eine Funktion

$$f: \mathbb{N}^2 \rightarrow \mathbb{N}$$

dargestellt, wobei eine Matrix mit endlichem Wertebereich eigentlich die Form ist, die bei der Computergenerierung von Bildern benutzt wird (man legt der Berechnung eine endliche Menge

$$\mathbb{N} \subset \mathbb{N}$$

von möglichen Werten zugrunde).

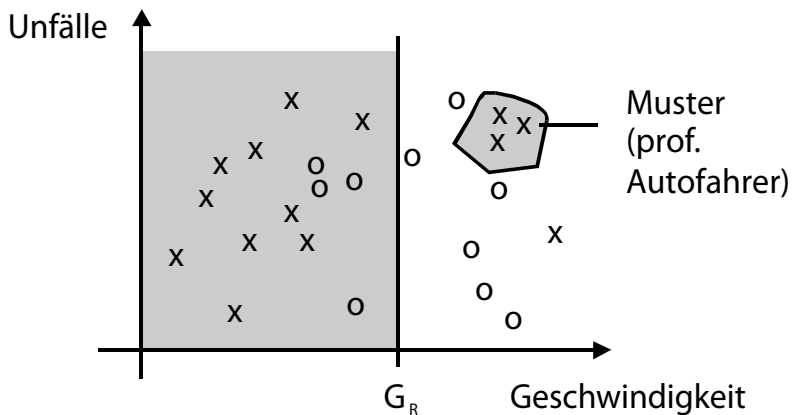
Weitere, viel bessere Einzelheiten als mein Kommentar es schaffen kann, liefert Nake selber. Von Linienzeichnung, Rasterbild, Textbild bis hin zu Halbtonbild werden die Bildkomponenten sorgfältig definiert. Ich will mir an dieser Stelle nur die Schlussfolgerung aufheben, dass hinter jedem computer-generierten Bild eine Matrix steht, die verschiedene Daten beinhaltet. Inzwischen wissen wir eine ganze Menge mehr über die Komplexität solcher Matrizen und über die Matrixoperationen (gewichtete Summierungen, Multiplikationen usw.) als zum Zeitpunkt des Entstehens der Arbeit von Nake. Was wir aber nicht wissen, ist, inwiefern aus einer solchen Matrix, aus den mit Mühe und Aufwand verarbeiteten Daten Bilder entstehen, die auch die Voraussetzungen der ästhetischen Signifikanz erfüllen. Auch wissen wir nicht, wie man ästhetische Signifikanz ins computer-erzeugte Bild einprogrammiert. Wie schon eingangs zitiert schrieb Nake: „Dennoch sei erwähnt, dass wir im Prinzip einen simplen Algorithmus aufstellen können, der alle Objekte einer Klasse erzeugt, indem er alle möglichen Kombinationen durchspielt. So einfach ein solcher Algorithmus wäre, so unbrauchbar wäre er

andererseits. Denn er würde ja angesichts des riesigen Umfangs dieser Klassen Jahrtausende benötigen, bevor ein erstes ‚interessantes‘ Objekt erzeugt wäre“ ([Nake 1974], S. 104).

Was aber ist mit „interessant“ im Text von Nake gemeint? Auf einem Umweg über Data Mining-Prozeduren möchte ich den Versuch machen, das Interessante als Computations-Aufgabe zu definieren. Ich bin mir dabei bewusst, dass es nur ein anfänglicher Ansatz sein kann und zwar einer, der zu der Kategorie der Computation gehört, die man Wissensakquise nennt.

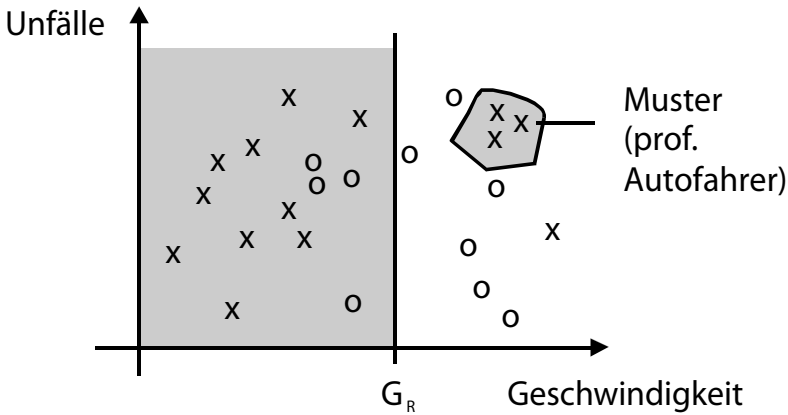
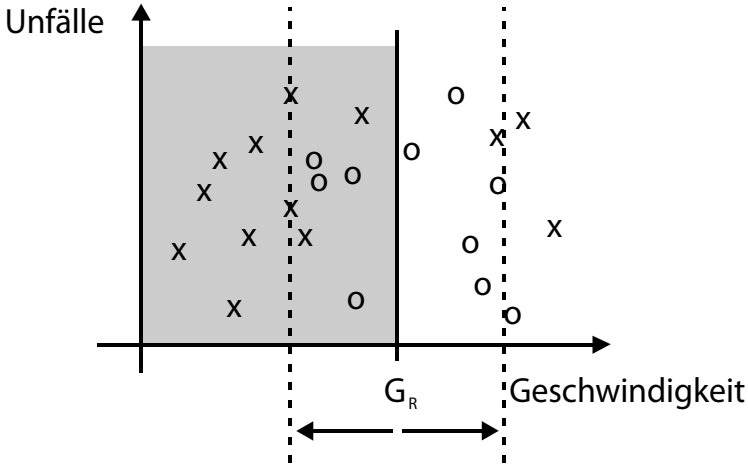
Interessantheitsgrad

Die Definitionen, die wir schon im Teil „Eine verallgemeinerte Matrix“ eingeführt haben, sind nun relativ einfach zu formalisieren: Daten sind eine Gruppe von Fakten F (z. B. Fälle in einer Datenbank oder durch Messungen erworbene Informationen). Ein Muster ist ein Ausdruck E in einer



Sprache L , der Fakten in einer Untermenge F^E von F beschreibt. E wird ein Muster genannt, wenn es einfacher als die Menge aller Fakten in F^E ist. Wenn eine Person mit einer Geschwindigkeit $< G_t$ fährt, ist die Unfallgefahr geringer. Das Muster stellt keine komplette Beschreibung dar. Es gibt Autofahrer, die trotz einer Geschwindigkeit $> G_t$ keine Unfälle verursachen.

Prozess: Die Integrierung der Datenvorbereitung, Suche nach Mustern, Wissensauswertung, Verfeinerung durch Iteration nach der



Modifikation. Der Vorgang, den wir als Prozess definieren, besteht aus mehreren Schritten.

Gültigkeit: Entdeckte Muster sollten mit einem hohen Grad an Wahrscheinlichkeit auch für neue Daten gültig sein. Eine Funktion C stellt ein Maß an Wahrscheinlichkeit dar, die Ausdrücke L auf einem teilweise oder komplett geordneten Maß-Raum MC abbildet. Einem Ausdruck E in L über einer Untermenge FE (Muster) $\dot{\cap}$ F (Menge von Tatsachen) kann ein Wahrscheinlichkeitsmaß $c = C(E, F)$ zugewiesen werden. Wenn der im Faktenfeld F definierte Schwellenwert nach rechts bewegt wird, werden mehr Unfälle geschehen.

Neuartigkeit: Muster sind von der Definition her neuartig für das System. Neuartigkeit wird bezüglich der Änderungen der Daten durch Vergleich von gegenwärtigen mit bisherigen oder erwarteten Werten oder des Wissens (wie ein neues Ergebnis mit alten verwandt ist) gemessen. N kann durch eine Funktion $N(E,F)$ dargestellt werden, die eine Boolesche ist oder ein Maß an Neuheit oder – das Unerwartete – vermittelt.

Möglicherweise nützlich

Muster sollten möglicherweise zu nützlichen Handlungen führen. Diese sollte man durch eine Nutzfunktion messen können. Solch eine Funktion U bildet Ausdrücke in L auf einen teilweise oder komplett geordneten Maßraum M_u ab; folglich gilt $u = U(E,F)$. Es ist beispielsweise nützlich, nicht schneller als das Tempolimit zu fahren, um Strafen zu vermeiden.

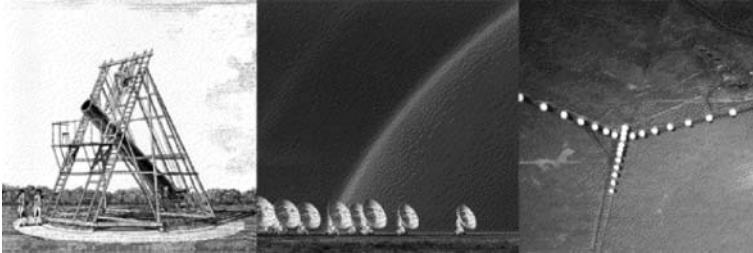
Letztlich verständlich

Das Ziel ist, Muster verständlich zu machen. Es ist immer schwer, präzise zu messen. Es gibt viele Einfachheits-Maße. Man kann sich auf eine syntaktische (Größe der Muster, ausgedrückt in Bits!) oder eine semantische (leicht verständliche) Ebene beschränken. Dies wird, falls möglich, mit einer Funktion S gemessen, die die Ausdrücke E aus L auf einen teilweise oder komplett geordneten Maßraum M_s abbildet, folglich gilt $s=S(E,F)$.



Interessantheitsgrad

Der Grad an Informativität kann über eine Ordnung gefundener Muster definiert werden. Der Interessantheitsgrad ist das Gesamtmaß von Muster-Werten, das Gültigkeit, Neuheit, Nutzen und Einheit verbindet. Die Funktion für den Grad an Informativität, die Ausdrücke in L auf einen Maßraum M_i abbildet, lautet $i = I(E, E, C, N, U, S)$. Man müsste herausfinden, wie ein benutzter Algorithmus das Wissen identifiziert.



Beispiel: Die Beschreibung eines Bildes von Rembrandt könnte zu einer Replikation eines Rembrandt-Bildes führen. Frieder Nake (aber nicht nur er) hat Mondrian-Bilder auf diese Art und Weise erzeugt. Inwieweit bietet ein Algorithmus die Möglichkeit, das Wissen über die Rembrandt-Ästhetik (oder die von Mondrian) zu erkennen?

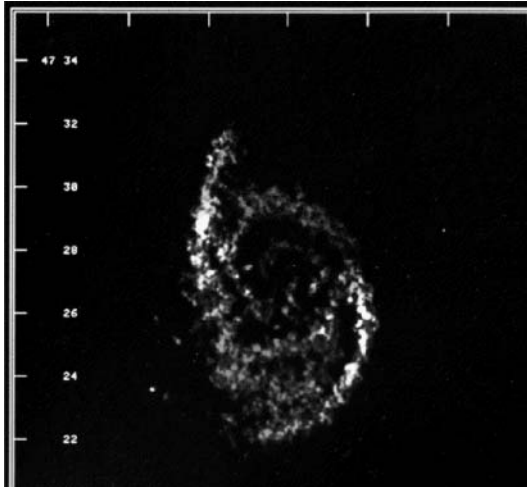
Wissen

Ein Muster $E \in L$ wird als Wissen bezeichnet, wenn eine benutzerdefinierte Schwelle $i \in M_i, I(E, F, C, N, U, S) > i$ definierbar ist. Wissen ist immer benutzerorientiert und wird durch beliebige Funktionen und Schwellen, die vom Benutzer gewählt werden, bestimmt.

Beispiel: Wir können irgendeine Schwelle $c \hat{=} MC, s \hat{=} MS, u \hat{=} MU$ wählen und die Wissensmuster Wissen nennen, wenn – und nur wenn – $C(E, F) > c, S(E, F) > s, U(S, F) > u$ ist. Durch entsprechende Einstellung von Schwellen kann man zu genauen Vorhersagen oder nützlichen Mustern (über andere) kommen. Es gibt einen unendlichen Raum von Möglichkeiten, wie die Abbildung I definiert werden kann.

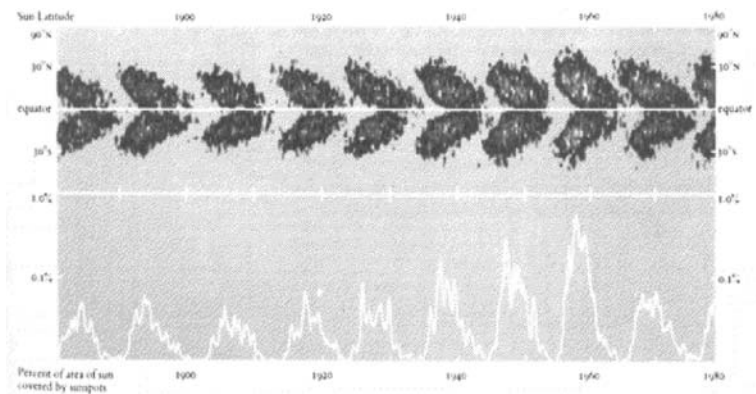
Data Mining

Ein Schritt in der Wissensentdeckung in Datenbanken besteht aus speziellen Data Mining-Algorithmen, die eine besondere Aufzählung von Mustern E_j über F (unter akzeptabler begrenzter computationaler



Effektivität) erzeugen. Der Raum von Mustern ist üblicherweise ein unendlicher Raum. Eine beliebige Aufzählung von Mustern kann durch begrenzte Suchvorgänge in diesem entstehen. Es wird fast immer nur in Unterräumen nach Mustern gesucht.

Der Knowledge Data Mining-Prozess (KDD) des Entdeckens von Wissen in Datenbanken ist nur ein Anfang. Es werden Algorithmen zum



Extrahieren (Identifizieren) verwendet, was gemäß der Spezifikationen von Maßen und Schwellen als Wissen bezeichnet wird. Dabei wird die Datenbank F zusammen mit jeder notwendigen Vorberechnung, Untermusterung (subsampling) und Transformation von F genutzt.

Nehmen wir an, dass alle diese Definitionen operativ eingesetzt werden. Nehmen wir weiter an, dass die Computation zur Verarbeitung von Daten

gemäß der Definitionen (also Muster-Identifikation, Entdeckung der Neuartigkeit, der Nützlichkeit etc.) möglich ist. Können wir uns tatsächlich erhoffen, von allen möglichen Bildern, die es gibt – computer-generiert oder nicht – die interessantesten zu finden? Und können wir weiter davon ausgehen, dass das Interessante auch universell ist? Das ästhetisch Interessante mag außerhalb des Ästhetischen nicht anerkannt werden. Dementsprechend möchte ich nach diesem ersten Versuch, Interessanztheorie zu definieren, die Schlussfolgerung ziehen, dass nur ein dynamischer Begriff in Frage kommt. Dafür reichen meine heutigen Kenntnisse nicht – somit ist vielleicht das Ende meines Vortrages ein Anfang für andere, die diese Gedanken weiterentwickeln können.

Literatur

- Adams, Douglas (1979)**, *The Hitchhikers' Guide to the Galaxy*. London
- Baumgarten, Alexander G. (1983)**, *Aesthetica* [1750–1758]. Deutsche Teilübersetzung: Theoretische Ästhetik. Hamburg
- Borges, Jorge L. (1971)**, *La Biblioteca de Babel*. In: *El jardín de senderos que bifurcan*. Ficciones, 89–100
- Codd, Edgar F.; Codd, Sharon; Salley, Clync (1993)**, *Providing OLAP (Online Analytical Processing) to User-analysts*. An IT Mandate
- Eddington, Arthur St. (1929)**, *The Nature of the Physical World. The Gifford Lectures 1927*. New York
- Ehlers, H. J. (1998)**, Brief an den Autor vom 20. Dezember 1998
- Fayyad, Usama M.; Piatetsky-Shapiro, G.; Smyth, P.; Uthurusamy, R. (1996)**, *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. Cambridge, MA
- Goethe, Johann W. von (1812)**, *Über allen Gipfeln ist Ruh'. Ein gleiches (Wandrer's Nachtlied)*
- Goethe, Johann W. von (1806)**, *Faust – Der Tragödie Erster Teil* (1806). *Der Tragödie Zweiter Teil* (1831)
- Maloney, Russell (1940)**, *Inflexible Logic*. Originally appeared in: *The New Yorker Magazine* and anthologized in: James R. Newman (ed.), *The World of Mathematics* 4 (1956), 2262–2267
- Nadin, Mihai (2003)**, *Anticipation – The end is where we start from*. Baden
- Nadin, Mihai (1991)**, *Mind – Anticipation and Chaos*. English-German parallel text; Series: *Milestones in Thought and Discovery*. Stuttgart

- Nake, Frieder (1997)**, *Der semiotische Charakter der informatischen Gegenstände*. In: Bayer, U.; K. Gfesser und J. Hansen (Hrsg.): *signum um signum*. Elisabeth Walther-Bense zu Ehren. Semiosis Heft 85–90, 24–35
- Nake, Frieder (1994)**, *Human-computer interaction: signs and signals interfacing*. *Languages of Design* 2, 193–205
- Nake, Frieder (1974)**, *Ästhetik als Informationsverarbeitung - Grundlagen und Anwendung der Informatik im Bereich ästhetischer Produktion und Kritik*. Wien
- Noll, A. Michael (1966)**, *Human or machine – A subjective comparison of Piet Mondrian's composition with lines and a computer generated picture*. *The Psychological Record*, 1–10; abgedruckt in: *The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir*. *Leonardo* 25 (1993) No 1, 39–44
- Piatetsky-Shapiro, Gregory; Frawley, William J. (eds.) (1991)**, *Knowledge Discovery in Databases*. Cambridge, MA
- Rosenfeld, Azriel (1969)**, *Picture Processing by Computer*. New York
- Wiles, Andrew (1995)**, *Modular elliptic curves and Fermat's Last Theorem*. *Annals of Mathematics* 141, 443–551

* Vortrag vom 16. Dezember 1998, revidiert im Sommer 2003. Mein Dank gilt Herrn Dr. Clemens Lango, der viel zur Revision dieses Textes beigetragen hat. Ohne seine Hilfe hätte ich diesen Text fünf Jahre später vielleicht nicht zu Ende gebracht.

Anmerkungen

- 1) „If I let my fingers wander idly over the keys of a typewriter it might happen that my screen made an intelligible sentence. If an army of monkeys were strumming on typewriters they might write all the books in the British Museum. The chance of their doing so is decidedly more favourable than the chance of the molecules returning to one half of the vessel“ (Eddington 1929, p. 72).
- 2) „There is a famous example of probability which (in one of its many forms) states that six chimpanzees randomly typing at six typewriters would eventually reproduce all of the books in the British museum. In this story, six chimps begin doing exactly that — without producing any errors or gibberish. The mathematician feels obligated to be a vigilante and defend the laws of probability (which he says take everything into account ... including his own actions) by killing the apes before they get too far“ (Maloney 1940).
- 3) „Ford!“ he said, „there's an infinite number of monkeys outside who want to talk to us about this script for Hamlet they've worked out“ (Adams 1979, ch. 9).
- 4) William Shakespeare und sein Meisterstück *Hamlet* sind als Beispiele angegeben, weil es sich um exemplarische Leistungen handelt. Hier eine kurze bibliographische Anga-

be: Shakespeare's Tragedy of Hamlet, Prince of Denmark is based on a 12th century tale by Saxo Grammaticus, which Shakespeare most certainly never saw, and is part of a spate of revenge dramas which were extremely popular around the turn of the seventeenth century; the missing link between Saxo and Shakespeare may be an earlier play about Hamlet (called by scholars the Ur-Hamlet), which may or may not have been written by the Ur-Revenger himself, Thomas Kyd, based in turn on François de Belleforest's *Histoires tragiques* (1570), a free translation of Saxo.

The revenge drama derived originally from the Roman tragedies of Seneca but was established on the English stage by Thomas Kyd with *The Spanish Tragedie* (c. 1590). This work, which opens with the Ghost of Andrea and *Revenge*, deals with Hieronimo, a Spanish gentleman who is driven to melancholy by the murder of his son. Between spells of madness, he discovers who the murderers are and plans his ingenious revenge. He stages a play in which the murderers take part, and, while enacting his role, Hieronimo actually kills them, then kills himself. The influence of this play, so apparent in *Hamlet* (performed c. 1600–01), is also evident in other plays of the period. – Excerpted from „Revenge Tragedy,“ *Shakespeare and the Globe: Then and Now*, from *Encyclopedia Britannica Online*.

- 5) Émile Borel: *Mécanique Statistique et Irréversibilité*. J. Phys. 5e série, vol. 3, 1913, pp. 189–196; „... Concevons qu'on ait dressé un million de singes à frapper au hasard sur les touches d'une machine à écrire et que, sous la surveillance de contremaîtres illettrés, ces singes dactylographes travaillent avec ardeur dix heures par jour avec un million de machines à écrire de types variés. Les contremaîtres illettrés rassembleraient les feuilles noircies et les relieraient en volumes. Et au bout d'un an, ces volumes se trouveraient renfermer la copie exacte des livres de toute nature et de toutes langues conservés dans les plus riches bibliothèques du monde. Telle est la probabilité pour qu'il se produise pendant un instant très court, dans un espace de quelque étendue, un écart notable de ce que la mécanique statistique considère comme la phénomène le plus probable...“
 Sir James Jeans. *The Mysterious Universe*. New York 1930, p. 4; „... It was, I think, Huxley, who said that six monkeys, set to strum unintelligently on typewriters for millions of millions of years, would be bound in time to write all the books in the British Museum. If we examined the last page which a particular monkey had typed, and found that it had chanced, in its blind strumming, to type a Shakespeare sonnet, we should rightly regard the occurrence as a remarkable accident, but if we looked through all the millions of pages the monkeys had turned off in untold millions of years, we might be sure of finding a Shakespeare sonnet somewhere amongst them, the product of the blind play of chance. In the same way, millions of millions of stars wandering blindly through space for millions of millions of years are bound to meet with every sort of accident, and so are bound to produce a certain limited number of planetary systems

in time. Yet the number of these must be very small in comparison with the total number of stars in the sky.“

- 6) Fermat refused to publish his work, his friends feared that it would soon be forgotten unless something was done about it. His son, Samuel undertook the task of collecting Fermats letters and other mathematical papers, comments written in books, etc. with the object of publishing his father’s mathematical ideas. In this way the famous ‘Last theorem’ came to be published. It was found by Samuel written as a marginal note in his father’s copy of Diophantus’ Arithmetica.

Fermats last theorem states that $x^n + y^n = z^n$ has no non-zero integer solutions for x , y and z when $n > 2$. Fermat wrote: I have discovered a truly remarkable proof which this margin is too small to contain.

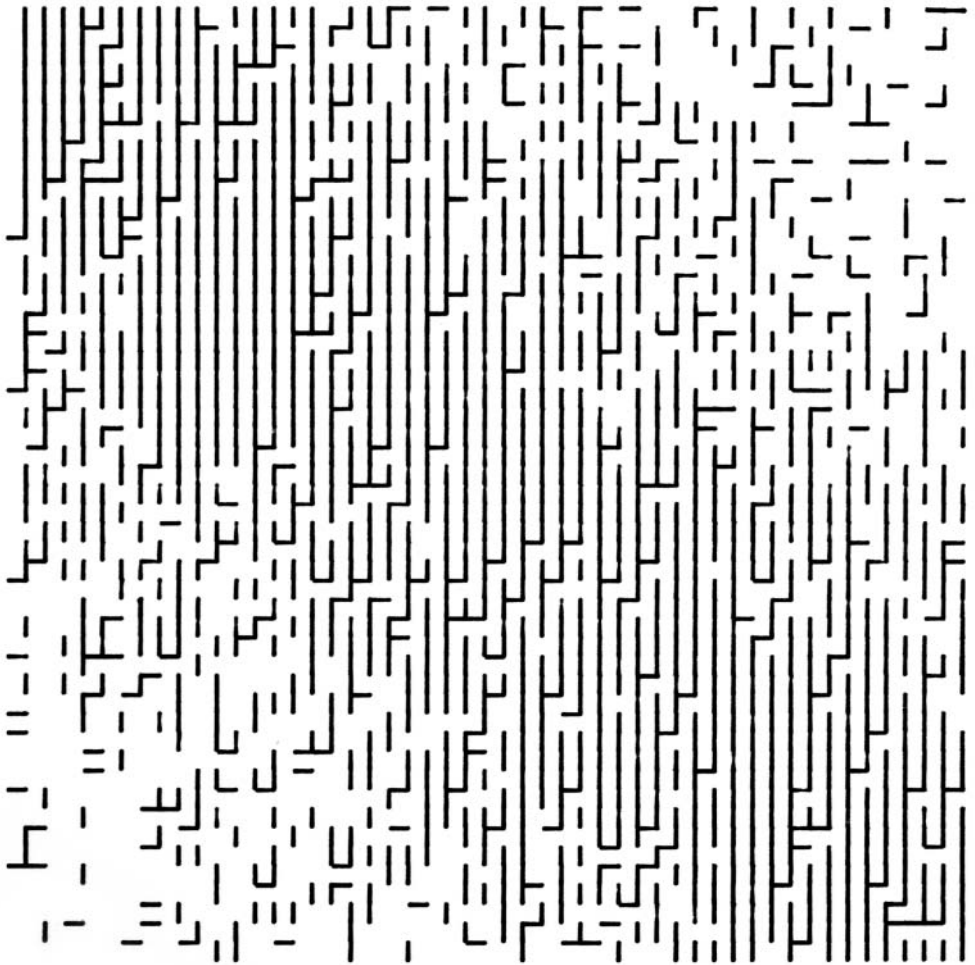
- 7) A data warehouse is a database that collects business information from many sources in the enterprise, covering all aspects of the companies processes, products and customers. The warehouse provides business users with a multidimensional view of the data they need to analyze business condition.
- 8) OLAP sind zahlreiche spekulative „was-wenn“ und/oder „warum“ Datenmodell-Szenarien, welche innerhalb einer spezifischen historischen Basis und Perspektive ausgeführt werden. Dynamische Unternehmensanalysen sind notwendig, um Information aus Unternehmensdatenmodellen zu kreieren, zu manipulieren, anzuregen und herzustellen. Das beinhaltet die Fähigkeit, neue oder unvorhergesehene Verbindungen zwischen Variablen zu erkennen, die Fähigkeit, die nötigen Parameter zu identifizieren um große Mengen an Daten zu handhaben, um eine unendliche Anzahl an Dimensionen zu kreieren und kreuzdimensionale Bedingungen und Ausdrücke zu spezifizieren.

Auch: (online analytical processing) is computer processing that enables a user to easily and selectively extract and view data from different points-of-view. For example, a user can request that data be analyzed to display a spreadsheet showing all of a company’s beach ball products sold in Florida in the month of July, compare revenue figures with those for the same products in September, and then see a comparison of other product sales in Florida in the same time period. To facilitate this kind of analysis, OLAP data is stored in a multidimensional database. Whereas a relational database can be thought of as two-dimensional, a multidimensional database considers each data attribute (such as product, geographic sales region, and time period) as a separate „dimension.“ OLAP software can locate the intersection of dimensions (all products sold in the Eastern region above a certain price during a certain time period) and display them. Attributes such as time periods can be broken down into subattributes.

OLAP can be used for data mining or the discovery of previously undiscerned relationships between data items. An OLAP database does not need to be as large as a data

warehouse, since not all transactional data is needed for trend analysis. Using Open Database Connectivity (ODBC), data can be imported from existing relational databases to create a multidimensional database for OLAP (cf. TechTarget Glossary).

- 9) Noll spent nearly fifteen years performing basic research at Bell Labs and is one of the earliest pioneers in the use of digital computers in the visual arts. Michael A. Noll is one of the earliest pioneers to use a digital computer to create patterns and animations solely for their artistic and aesthetic value. His first computer art was created at Bell Labs in Murray Hill, New Jersey during the Summer of 1962.
- 10) Everything in his life was reasoned or calculated. He was a compulsive neurotic and could never bear to see anything disordered or untidy. He seemed to suffer acutely, for instance, if a table had not been laid with perfect symmetry. Hannah Höch on Piet Mondrian, quoted by Edouard Roditi.
- 11) John Conway: The Game of Life is a 'cellular automaton', and was invented by Cambridge mathematician John Conway. This game became widely known when it was mentioned in an article published by Scientific American in 1970. It consists of a collection of cells which, based on a few mathematical rules, can live, die or multiply. Depending on the initial conditions, the cells form various patterns throughout the course of the game.
- 12) Wolfram Research pioneered the modern conception of technical computing when it launched Mathematica 15 years ago. Stephen Wolfram, the founder of Wolfram Research, is widely regarded as the most important innovator in technical computing today. A distinguished scientist particularly known for his fundamental discoveries in complex systems research, Wolfram has been a leading user and developer of tools for scientific and technical computing for over 20 years. In 1987, Wolfram founded Wolfram Research to provide an organizational environment in which software of the highest quality could be produced and distributed. Mathematica Version 1.0 was released on June 23, 1988, and was immediately lauded by the scientific and technical community, as well as the media, as a dramatic advance. Within months, there were tens of thousands of users around the world, and today Mathematica's reach continues to grow to well over a million.
- 13) Goethes größtes, zumindest umfänglichstes Drama (insgesamt 12111 Verse) war ein sein ganzes schriftstellerisches Leben begleitendes Projekt. Die erste, Fragment gebliebene Fassung gehört ins Frühwerk: 1773–75 können die ersten Beschäftigungen mit dem Stoff nachgewiesen werden, aus denen der sogenannte „Urfaust“ hervorging. Nach einer großen Pause führte eine intensive Arbeitsphase von 1797 an zum Abschluß des Ersten Teils der Tragödie (1806; gedruckt 1808) und zur Vorbereitung einiger Abschnitte des Zweiten. Erst in den letzten Jahren seines Leben (1827–31) stellt Goethe diesen Teil fertig. Vgl. www.uni-essen.de/literaturwissenschaft-aktiv/Vorlesungen/dramatik/faust.htm



Frieder Nake: Realisation von Walk-through-raster Serie 2.1-4. 20 x 20 cm. 1966