

Mentale Repräsentation am Beispiel der visuellen Wahrnehmung

Paul Natterer

2002/2008/2018

(1) Einführung

Niemand arbeitet an seinem Rechner auf der Ebene der **Maschinensprache**, die nur aus einer endlosen Folge verschiedener Kombinationen von Nullen und Einsen (An- und Aus-Zuständen) besteht. Ebenso arbeitet unser biologischer, körpereigener Rechner nicht auf der Ebene des **Neuronenuniversums** und seines Maschinencodes. Auch dieser Code ist nicht sehr aufregend und kennt nur quantitativ skalierbare Kombinationen von An- und Aus-Zuständen: „Die Erregungszustände einer Nervenzelle codieren *nur* die Intensität, aber *nicht* die Natur der Erregungsursache. Codiert wird nur: ‘Soundsoviel an dieser Stelle meines Körpers’, aber nicht ‘Was’.“ (Von Foerster et al.: *Einführung in den Konstruktivismus*, 2. Aufl. München/Zürich, 1995, 58)

- Wir müssen also den Maschinencode des Neuronenuniversums übersetzen in anwendernahe, benutzerfreundlichere Sprachen oder Darstellungen. Aus der Arbeit am Rechner wissen wir, dass es hier im Prinzip zwei Möglichkeiten gibt. Wir können einmal auf der abstrakten, logisch-sprachlichen DOS-Ebene oder Konsole arbeiten. In Reinkultur bedeutet das schwarzer oder grüner Bildschirm und nackte Befehlszeilen und Eingabeflächen.
- Oder wir umgeben das logisch-sprachliche Skelett außerdem mit konkretem Fleisch und Blut und einer attraktiven Haut, d.h. wir machen die Darstellung bunt, lebendig und sinnhaft. Dann haben wir die multimediale WINDOWS-Benutzeroberfläche. Dieselben zwei Möglichkeiten bietet auch unser körpereigener Rechner. Man nennt den abstrakten DOS-Code hier nur die abstrakte oder **begriffliche** (auch: verbale oder propositionale) mentale Repräsentation; und den WINDOWS-Code die analoge, **sinnliche** (imaginale) mentale Repräsentation. Das Vorhandensein beider Codes oder Formate in der mentalen Repräsentation nennt man die **duale Kodierung**.
- Für das anschauliche, bunte WINDOWS-Format müssen normalerweise größere Datenmengen verarbeitet werden als in dem anderen abstrakten, sprachlichen DOS-Kode. Deswegen arbeitet ein moderner Prozessor im Rechner parallel an

verschiedenen Aufgaben gleichzeitig und stützt sich dabei noch auf die parallele Mitarbeit integrierter Schaltkreise *resp.* Mikrocontroller und sogar weiterer (Makro-)Prozessoren (etwa auf der Grafikkarte). Auch der körpereigene Rechner verarbeitet sinnlich-anschauliche, multimediale Daten, Objekte, Szenen und Sequenzen **parallel**.

- Information im abstrakten sprachlichen Repräsentationskode (Sprechen — Lesen — Hören — Schreiben — Grammatik und Logik) wird dagegen wie im Bürokechner auch im körpereigenen Rechner **seriell** verarbeitet. Trotz heftiger Debatten in der Vergangenheit herrscht heute in der Forschung weitestgehende Übereinstimmung hinsichtlich der Existenz einer dualen Kodierung und Organisation mentaler Repräsentationen. Diese duale Kodierung umfasst, wie erörtert, einmal einen anschaulichen, imaginativen Code in Form von **Bildern** und einen begrifflich-abstrakten Code in Form von Ideen und **Wörtern**. Für den alternativen, unorthodoxen Ansatz der sogenannten **Direkten Wahrnehmung** siehe den entsprechenden Skript-Baustein.

(2) Mentale Repräsentation von Wahrnehmung

Zur Erkennung und Repräsentation von Merkmalen, Mustern oder Strukturen in der Wahrnehmung (*pattern-recognition*) gibt es unterschiedliche Theorien, die nur als Teilgesichtspunkte überzeugen.

- Eine Theorie geht von der Annahme aus, dass jedes **Reizmuster als eigene Einheit** im Langzeitgedächtnis gespeichert ist, was für viele Schlüsselreize gilt, aber als allgemeine Theorie unrealistisch ist.
- Die sog. **Prototypentheorie** sieht jeden Reiz als Element einer Reizklasse, deren Schlüsseleigenschaften durch Prototypen verkörpert werden. Problemzonen sind hier die Unterschätzung der Rolle begrifflicher Strukturen (Definitionen) und die Unterbewertung des Einflusses des Kontextes.
- Die **Merkmalstheorie** (*feature-theory*) betrachtet ein Reizmuster als einen Satz spezieller Merkmale, berücksichtigt aber zuwenig, dass in der Regel das Ganze früher begriﬀen wird als die Summe der einzelnen Teile oder Merkmale.
- Genau das ist die Stärke der **Gestalttheorie**, deren These ist, dass Reizganzheiten vor ihren Teilen erkannt werden. Aber auch diese Einsicht gilt nicht allgemein.
- Besonders anspruchsvoll und leistungsfähig im Bereich Muster- und Objekterkennung ist übrigens die eigenständige **Gesichtserkennung**. Um ein Gesicht zu erkennen, stützen wir uns nicht nur auf dessen Form oder Figur, sondern machen auch eine emotionale Ausdrucksanalyse der Gesichtsmimik verbunden mit visueller Spracherkennung (Lippenlesen), und aktivieren vier Gedächtnissysteme: einen Speicher für Gesichtserkennungseinheiten, den Personen-Identitäts-Speicher, den Namengenerator und allgemeine Wissens-Schemata (d.h. allgemeines Vorwissen der Art, dass eine gefönte 100 €-Frisur keinem arbeitslosen Forstarbeiter gehört).

- Die mentale Repräsentation der Wahrnehmung beginnt mit **Kontur-Entdeckung** und **Merkmals-Extraktion**. Die fundamentale und erste Stufe der Wahrnehmung ist die Unterteilung des Gesichtsfeldes in Regionen oder Formen, die von Konturen umgeben und durch Konturen getrennt sind (*contour detection*).
- **Konturen** sind Stellen auf dem Netzhautbild, wo durch Änderungen der Lichtintensität oder der Wellenlängenzusammensetzungen **Kontraste** entstehen. Konturen sind die grundlegenden Bausteine der visuellen Wahrnehmung. Ohne diese verlieren wir überhaupt die Fähigkeit, etwas zu sehen.
- Neben den *räumlichen* Helligkeitskontrasten bzw. -änderungen ist die zweite notwendige Vorbedingung für visuelle Wahrnehmung das Vorhandensein von Helligkeitsänderungen über die *Zeit* auf dem Netzhautbild, die neben sonstigen spontanen und willkürlichen **Augenbewegungen** durch die **Mikrosakkaden** gewährleistet sind: sehr rasche und minimale oszillierende Augenbewegungen um den Fixationspunkt selbst beim Fixieren eines ruhenden Objektes: „Wenn man das Bild künstlich auf eine bestimmte Stelle der Netzhaut fixiert, verschwindet die Konturwahrnehmung.“ (Rock: *Wahrnehmung. Vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen*, Heidelberg 1985, 6)
- Solche elementaren Konturen oder Formen können weitere Attribute aufweisen, die als **Merkmale** (*features*) bezeichnet werden und deren Entdeckung und Herauszierung Merkmalsextraktion genannt wird. Merkmale von Konturen bzw. Formen sind z.B. **Helligkeit, Orientierung, Länge, Krümmung, Farbe, Oberflächenstruktur, Bewegung**.
- Auf dieser Stufe der Wahrnehmung existieren lediglich **getrennte Verarbeitungsbahnen** für Formen, Bewegungen, Farben und räumliche Verortung.
- Auf dieser Stufe der Wahrnehmung erfolgt die Informationsverarbeitung von unten nach oben (*bottom-up*) ohne Beteiligung konzeptgeleiteter Verarbeitung. Mann nennt dies **datengesteuerte** Informationsverarbeitung.
- Konturen und Merkmale werden ferner registriert und identifiziert, ohne dass die Verarbeitung in der Regel bewusst wird. Es handelt sich um **vorbewusste** Informationsverarbeitung.
- Die nächste Stufe ist die **Wahrnehmungsorganisation** (*perceptual patterns*). Dies ist die höherstufige Integration und Ordnung der Konturen und Merkmale in größeren Mustern oder **Merkmalskomplexen**.
- Sie vollzieht sich durch Merkmalsintegration, d.h. die Zusammenfassung oder Bindung der Konturen und Merkmale in räumliche **Konfigurationen** und zeitliche **Sequenzen**. Dies geschieht durch aktive Aufmerksamkeit auf eine besondere Raum-Zeit-Stelle normalerweise des Sehraums und Zusammensetzung eines Wahrnehmungsgegenstandes (*Perzept*) aus den dort registrierten elementaren Merkmalen sowie durch fortlaufendes Aktualisieren

des Perzepts durch neue Informationen. Psychologisch und neurologisch ausgewiesen sind hierbei die folgenden Kriterien.

- (1) **Figur-Grund-Unterscheidung.** Dies ist das grundlegendste Gesetz in diesem Zusammenhang. Normalerweise folgt diese Unterscheidung den in Folge genannten Gestaltprinzipien.
- (2) **Gestaltprinzipien** (*figural grouping*). Im Einzelnen sind dies das Gesetz der **Nähe**, das Gesetz der **Ähnlichkeit**, das Gesetz des **gemeinsamen Schicksals**, das **Prägnanzgesetz** (Prinzip der guten Gestalt: Regelmäßigkeit, Einfachheit, Symmetrie und Geschlossenheit).
- (3) **Emergente Muster**, das sind aus der Zusammensetzung einfacherer elementarer Formen entstehende Konfigurationen, die nicht durch isolierte Untersuchung der einfacheren Teile vorausgesagt werden können.
- (4) **Globale Dominanz.** Dies ist die in vielen Zusammenhängen bestätigte Tatsache, dass die globale Form oder Konfiguration schneller erkannt wird als lokale Teilgesichtspunkte. Neurobiologisch lässt sich die globale Dominanz dadurch erklären, dass Gestalten und Bedeutungen im Gehirn durch unterschiedliche ausgedehnte Zell-*Ensembles* repräsentiert sind. Diese werden zusammengebunden durch gemeinsame synchrone Entladungen der beteiligten Neuronen. Später genügt dann ein Muster-Fragment, um die ganze Gestalt zu aktivieren.
- Dies war und ist die gültige Grundeinsicht der Gestaltpsychologie. Sie erkannte, dass nicht isolierte Sinnesdaten, sondern **Erlebniseinheiten** (Ganzheiten) Grunddaten der Erkenntnis sind.
- Bei dieser Wahrnehmungsorganisation verbinden sich **daten- und konzeptgeleitete** Verarbeitung: Dabei müssen nämlich die Sinnesdaten mit gespeicherten Vorstellungsbildern unter Einbeziehung begrifflicher Interpretation abgeglichen und ergänzt werden. Es handelt sich nun auch um **bewusste**, mit **aktiver** Aufmerksamkeit einhergehende Verarbeitung.

(3) Mentale Repräsentation der Vorstellung (*imagery*)

Die Vorstellungskraft oder Phantasie weist dieselben Repräsentationsformate und -stufen auf wie die Wahrnehmung — nur in umgekehrter Reihenfolge. Wir können uns daher auf eine Auflistung beschränken.

- Wir haben auch hier ganz unten bildhafte (imaginale) **Elementareinheiten**. Man nennt sie *imagens*.
- Dann auf der nächsten Stufe imaginative **Muster** oder *images*.
- Schließlich die Integration der Merkmale in größere Merkmalskomplexe, die man **mentale Modelle** nennt.

(4) Mentale Repräsentation des begrifflichen Denkens (Kognition)

Beim Denken ist die Codierung und Organisation begrifflicher (abstrakter) Repräsentationen erforderlich. Denken heißt **begriffliche Identifizierung, Repräsentation und Einteilung** (Klassifikation) der **Bedeutung**, der **Funktion**, der **Herkunft** und der **Relationen** von Objekten und Prozessen. Es handelt sich vor allem um begriffsgesteuerte Verarbeitung.

- Auch hier haben wir bei der Objektrepräsentation wieder den bekannten Stufenaufbau von einfachen begrifflichen Merkmalen, *logogens* genannt, über Merkmalskomplexe / *semantic patterns* von Objektbegriffen bis zu begrifflichen Schemata oder Wissensstrukturen (begriffliche Netzwerke und Theorien).
- Die begriffliche Kodierung betrifft neben der **Objektrepräsentation** auch die Repräsentation von **Prozessen** oder Vorgängen, ebenfalls auf unterschiedlichen Verarbeitungsstufen.
- Die **Bewegungs-** bzw. **Prozesswahrnehmung** ist mehr als andere Wahrnehmungsbereiche angeboren oder entwickelt sich extrem schnell und bietet mit einem Minimum an Daten maximale Erkenntnisleistungen. So unterscheiden 3—5 Monate alte Kinder dynamische, aber nicht statische Anordnungen bzw. Szenen.
- Die Grammatik der Ereigniswahrnehmung hat davon auszugehen, dass Objekte figürliche Komponenten **und** Aktions-Komponenten haben. Die Struktur eines Ereignisses umfasst somit die **Figur** (statische Komponenten) und ihre **Aktion** (dynamische Entwicklung).
- Auch hier haben wir ansonsten wieder unseren bekannten Stufenaufbau. Er geht aus von sog. elementaren oder **atomaren Relationen** (*relational primitives*), geht weiter zu **komplexen Relationsbegriffen** (*action patterns*) und schließt ab mit globalen begrifflichen Handlungsschemata zur Analyse von Themen, Situationen und Aktionen (zeitlich und ursächlich verknüpfte **Ereignis-** oder **Handlungssequenzen** (*scripts*)).
- Neben den skizzierten **beschreibenden** (deskriptiven) anschaulichen und begrifflichen Repräsentationen von Objekten und Ereignissen gibt es auch formale oder **normative** Repräsentationen und Regeln methodischen Denkens, Urteilens, Schlussfolgerns, Problemlösens und Entscheidens.
- Auch hier ist eine duale, einerseits konkret-anschauliche, andererseits logisch-abstrakte Kodierung belegbar. Letztere wird durch die formale **Aussagen- und Prädikatenlogik** und Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik (*abstract-rule-theory*) beschrieben, Erstere durch **Mentale Modelle**.
- Diese formalen (normativen) Repräsentationen und Regeln umfassen (1) **Definitions- und Formungsregeln** (*formation rules*): Bestimmungsregeln für Grundterme — Definitionsregeln für abgeleitete Terme — Bildungsregeln für höherstufige zusammengesetzte Ausdrücke; (2) **Prädikations- und**

Schlussregeln (*transformation rules*) für Elementaraussagen oder Protokollsätze
— **Reduktionsregeln** für Grundgesetze oder -sätze (Axiome) —
Deduktionsregeln für abgeleitete Gesetze oder Sätze (Theoreme) (vgl.
Bochenski: *Die zeitgenössischen Denkmethoden*, 10. Aufl. Tübingen/Basel
1993).

(5) Mentale Repräsentation der Sprache

Neuere Forschungen aus der Neurobiologie und -psychologie legen neben dem analogen, **imaginären** und dem diskreten, begrifflichen Kode ein drittes Repräsentationsformat nahe, insofern neuronal der abstrakt-begriffliche Kode noch einmal unterschieden werden muss in einen eigentlich **begrifflichen** und einen **linguistischen** Kode (und zwischen beiden vermittelnden Strukturen). Dazu aus einer zusammenfassenden Bericht der in diesem Gebiet führenden Forscher Damasio / Damasio (Sprache und Gehirn. In: *Spektrum des Wissenschaft* 11, 1992, 80–92):

- „Wir sind überzeugt, daß das Gehirn die Sprache mittels **dreier** wechselwirkender **Gruppen von Strukturen** verarbeitet. Die *erste*, eine ganze Batterie neuraler Systeme sowohl in der rechten als auch in der linken Hemisphäre [Gehirnhälften], ist für den nichtsprachlichen, durch verschiedene sensorische und motorische Systeme vermittelten Austausch zwischen dem Organismus und seiner Umgebung vorhanden [...] Das Gehirn **ordnet** diese **nichtsprachlichen Darstellungen und Kategorien** (wie Gestalt, Farbe, Reihenfolge oder emotionaler Zustand), aber es schafft auch eine weitere Repräsentationsebene für die Ergebnisse dieser Klassifikation. Auf diese Weise organisiert der Mensch Objekte, Ereignisse und Beziehungen. Aufeinanderfolgende Ebenen von Kategorien und symbolischen Repräsentationen bilden die Grundlage für **Abstraktionen und Metaphern**.“
- „Die *zweite* Gruppe – eine kleinere Anzahl neuronaler Systeme, die zumeist in der linken Hirnhälfte lokalisiert sind – repräsentiert **Phoneme, Phonem-Kombinationen** und **syntaktische Regeln** für das Kombinieren von Wörtern [...] Werden diese Systeme vom Gehirn selbst aktiviert, so stellen sie Wortformen bereit und bilden gesprochene und geschriebene Sätze; werden sie hingegen von außen durch Gesprochenes oder Geschriebenes stimuliert, führen sie die ersten Verarbeitungsschritte dieser auditiven oder visuellen Sprachsignale durch.“
- „Eine *dritte* Gruppe von Strukturen, die ebenfalls größtenteils in der linken Hemisphäre lokalisiert sind, **vermittelt** zwischen den beiden ersten beiden. Diese Instanzen können einen Begriff aufnehmen und das **Hervorbringen von Wortformen** stimulieren, oder sie können Wörter empfangen und die anderen Hirnteile veranlassen, die entsprechenden **Begriffe aufzurufen** [...] Ein Paradebeispiel für diese dreifache Organisation sind die Begriffe und Wörter für Farben“ (a.a.O. 1992, 80–81).
- Für die visuelle Farbwahrnehmung ist belegt, dass (a) das **Bilden von Farbbegriffen** vom tertiären visuellen Assoziationszentrum des linken Schläfenlappens abhängt, (b) das **Erzeugen von Farbwörtern** (Farbnamen)

vom motorischen Assoziationszentrum (vorderes Sprachzentrum) und (c) die **Vermittlung von Begriffen und Namen** vom tertiären visuellen Assoziationszentrum des linken Schläfenlappens. Oft werden (a) und (c) unter dem Namen sensorisches Sprachzentrum oder Hintere Sprachrinde (*Wernickesches Areal*) zusammengefasst.

(6) Symbolische und verteilte (*distributed*) Repräsentation

Die anschaulichen, analogen und die abstrakten, begrifflichen mentalen Repräsentationen können als ausdrückliche **symbolische Repräsentationen** verstanden werden, die durch Umformungen und Berechnungen **seriell** verarbeitet werden, die **ausdrücklichen Regeln** folgen. Sie können aber auch durch **implizite**, in neuronalen Netzen verteilte **Aktivationsmuster** bzw. -matrizen (oder Vektorräume) verwirklicht gedacht werden, die **parallel** arbeiten. Dies ist der heute stark im Vordergrund stehende und sehr erfolgreiche Ansatz der Neuroinformatik: **Parallel-verteilte Informationsverarbeitung** (*Parallel-Distributed-Processing*: PDP). Mehr dazu bietet das Skript [Symbolische und konnektionistische Repräsentation](#).