

DyReMO (Dynamic Representation of Multiple Objects): Ein konnektionistisches Modell und experimentelle Ergebnisse zur Konzeptdynamik¹

Klaus Kessler

Universität Bielefeld
kessler@lili.uni-bielefeld.de

Abstract. In diesem Beitrag wird das lokale rekurrente konnektionistische Modell DyReMO vorgestellt, mit welchem Prozesse der dynamischen und kontextsensitiven Kategorisierung sowie Repräsentation mehrerer Objekte in einem Kurzzeitgedächtnis simuliert werden können. Neben der Möglichkeit schwammige Begriffe wie "Dynamik" und "Konzept" zu definieren, führen das simulierte Verhalten sowie die Grundannahmen des Modells gemäß der experimentell-simulativen Methode (Rickheit & Strohner, 1993) zu empirischen Hypothesen, welche in mehreren Experimenten überprüft wurden.

1. Einleitung

Das Szenario des Modells ist ein Konstruktionsdialog mit dem Ziel, ein Fahrzeug aus einfachen Holzteilen (Baufix) zusammenzubauen. Der Dialog ist dabei auf einfache sprachliche Äußerungen seitens eines angenommenen menschlichen Instruktors reduziert. Der interessierende Sachverhalt ist dabei, wie ein künstlicher Konstrukteur auf der Basis sprachlicher, visueller und Langzeitgedächtnisinformationen eine aktuelle Repräsentation mehrerer Bauteile und Baugruppen generiert, welche es ihm ermöglicht, die Objekte adäquat zu kategorisieren und zueinander in Beziehung zu setzen, so daß weitere Schritte im Konstruktionsprozeß vorgenommen werden können.

2. Das Modell DyReMO

Das Modell DyReMO gehört zur Klasse der lokalen rekurrenten konnektionistischen Netze, welche Mechanismen bereitstellen, die einer Definition von Dynamik als direkter Abhängigkeit des Systemverhaltens vom Parameter "Zeit" gerecht werden (Port & Van Gelder, 1995). Der Konzeptbegriff findet sich in vier Aspekten wieder (Kessler & Rickheit, 1999). Es werden sowohl eine aktuell generierte Repräsentation (z.B. Mangold-Allwin, 1993) als auch eine Langzeitgedächtnisrepräsentation von

¹ Die hier vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des SFB 360 ("Situierete Künstliche Kommunikatoren") im Teilprojekt C1 ("Konzeptdynamik") durchgeführt.

Objekten (z.B. Schyns & Rodet, 1995) berücksichtigt. Darüber hinaus spielt sowohl die Struktur einzelner Konzepte in Form eines Merkmalsabgleichs als auch die Relation zwischen Konzepten in einem Langzeitgedächtnis eine wesentliche Rolle (zu dieser Unterscheidung vgl. Khalidi, 1995).

Aufbauend auf den Befunden von Miller (1956) zur Kapazitätsbeschränkung des Kurzzeitgedächtnisses (KG) werden im DyReMO-Modell fünf perzeptuelle Chunks angenommen, welche eine präkategoriale Vorsegmentierung der Szene darstellen. Die Chunks werden sequentiell mit dem LZG abgeglichen, wobei jedoch die Substruktur eines Chunks parallel verfügbar ist. Der Kategorisierungsprozeß eines perzeptuellen Chunks wird zum einen durch bereits kategorisierten visuellen Kontext und zum anderen durch sprachliche Information beeinflusst. Nachdem das Netz einen stabilen Zustand erreicht hat, werden Chunks und überschwellig aktivierte LZG-Konzepte über *Kontrollknotenstrukturen dynamisch* (Decay-Funktion) zu einem *Gefüge* verknüpft.

Des Weiteren gibt es zwei verschiedene, partiell unabhängige Subnetze im LZG (vgl. auch Herrmann et al., 1996). Es bestehen erstens *imaginale* Verbindungen über ein Subnetz, welches Fahrzeuge und ihre Teile verbindet. Diese Konnektionen leiten nur dann Aktivierung weiter, wenn Fahrzeugteile tatsächlich *räumlich-strukturell* mit einem Gesamtobjekt *verbunden* sind (z. B. wenn eine Baggerschaufel tatsächlich auf einen Bagger montiert ist). Zweitens sind schwächere *assoziative* Verbindungen vorhanden, welche permanent Aktivierung weiterleiten.

Die Konzeptdynamik im Modell ist die Dynamik der *Aktivationsausbreitung* bei der Generierung einer aktuellen Repräsentation mehrerer visuell verfügbarer Objekte. Beim Generierungsprozeß *konkurrieren* LZG-Knoten um die Kategorisierung eines perzeptuellen Chunks. Dabei gilt das Prinzip: *Kompatible* Information unterstützt sich, *inkompatible* hemmt sich. Die *Aktivationsfunktion* basiert auf McClelland & Rumelhart, 1981 sowie Schade, 1992:

$$a_i(t+1) = a_i(t) - \theta \cdot a_i(t) \cdot (1 - |n_i(t)|) + \varepsilon_i(t) \quad (1)$$

Die *aktuell generierte Repräsentation* eines Objekts in DyReMO ist das momentan aktivierte Gefüge. Der *Inhalt des KG* besteht dann aus dem momentan aktivierten Gefüge und allen potentiell reaktivierbaren Gefügen. Inaktive Gefüge können über die Kontrollknoten durch ihre Komponenten reaktiviert werden. Es werden perzeptuelle, kategoriale und sprachliche Komponenten berücksichtigt. Bereits vorhandene Gefüge beeinflussen den aktuellen Generierungsprozeß, womit *Kontexteinflüsse* modelliert werden können. Ein komplexes Objekt kann über *mehrere perzeptuelle* Chunks kodiert sein, was die Anzahl der weiteren präkategorialen Einheiten im KG einschränkt. Wenn zu einem solchen komplexen Objekt ein LZG-Konzept aktiviert wird, kann das gesamte Objekt in *einem Gefüge* zusammengefaßt werden und besetzt nur noch eine mentale Einheit im KG. Dadurch kann *effektives Chunking* durch Vorwissen modelliert werden.

3. Simulative und Experimentelle Ergebnisse

3.1. Ein imaginales und ein assoziatives Subnetz

In Simulationen (Abb. 1) wurde die Annahme evaluiert, daß die Aktivationsausbreitung im Modell in *zwei Subnetzen* stattfindet: in einem *imaginalen* und in einem *asso-*

ziativen Subnetz. Nur bei struktureller Verbundenheit zwischen zwei perzeptuellen Chunks (s.o.) werden die imaginalen Verbindungen freigeschaltet, sind dann aber effektiver als die permanent verfügbaren assoziativen Verbindungen.

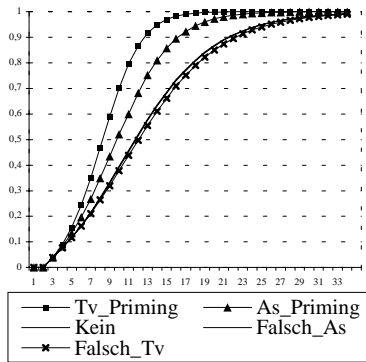


Abb. 1. Fünf Bedingungen im Vergleich (vier dieser Bedingungen entsprechen vier der Bedingungen im unten dargestellten Experiment). "Tv_Priming" ist der Aktivierungsverlauf des LZG-Konzepts "Flugzeug" bei bereits erkanntem und strukturell verbundenem "Propeller" (Priming über die assoziativen und über die imaginalen Verbindungen). "As_Priming" ist der Aktivierungsverlauf des LZG-Konzepts "Flugzeug" bei bereits erkanntem und isoliertem "Propeller" (Priming nur über die assoziativen Verbindungen). "Falsch_As" und "Falsch_Tv" sind entsprechende Bedingungen mit dem Unterschied, daß ein anderes Fahrzeug geprimt wurde – z.B. "Bagger" durch eine "Baggerschaufel". "Kein" ist der Aktivierungsverlauf bei keiner zusätzlichen Aktivierung (vgl. Kessler & Rickheit, 1999).

In einem Experiment wurden die Hypothesen geprüft. Ein erstes Bild zeigte einen maskierten Stimulus mit einem sichtbaren Ausschnitt auf dem Bildschirm (siehe Abb. 2). Der Ausschnitt stellte ein Fahrzeugteil dar (z.B. eine Baggerschaufel in Abb. 2 links), das entweder erkennbar räumlich-strukturell mit "etwas" verbunden war oder sichtbar räumlich-strukturell isoliert war. Auf einem zweiten Bild wurde der restliche Teil des ersten Bildes gezeigt und konnte ein *passendes* bzw. ein *unpassendes* Fahrzeug darstellen (vgl. Abb. 2). Bei der Darbietung des zweiten Bildes wurde per Reaktionszeitmessung die Verfügbarkeit der Bezeichnung gemessen.



Abb. 2. Ein Beispiel für ein erstes (links) und ein zweites Bildschirmbild (rechts) in Experiment 1. Die Baggerschaufel (links) ist erkennbar mit einem verdeckten, größeren Objekt strukturell verbunden. Das zweite Bild stellt ein passendes Gesamtfahrzeug dar.

Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (eine genauere Darstellung findet sich in Kessler & Rickheit, 1999). Die Annahme zweier autonomer Subnetze in der LZG-Struktur konnte durch die hier vorgestellten Befunde bestätigt werden. Allein durch die Andeutung einer räumlich-strukturellen Verbindung eines Fahrzeugteils in einem ansonsten maskierten Stimulus konnte das gesamte Fahrzeug effektiver voraktiviert werden als bei einer isolierten Darbietung des ansonsten identischen Fahrzeugteils. Dies ist eine Bestätigung der Annahme, daß das ima-

ginale Netz nur unter bestimmten perzeptuellen Bedingungen genutzt wird, dann jedoch eine höhere Effektivität als das assoziative Teilnetz aufweist. Evidenz für das Vorhandensein des assoziativen Netzes kann aus dem Befund abgeleitet werden, daß ein isoliert dargebotenes *passendes* Fahrzeug schneller mit einer Kennzeichnung abgeglichen werden kann als ein isoliert dargebotenes, jedoch *falsches* Fahrzeug, da bei letzterem keine assoziativen Verbindungen zwischen zuerst dargebotenem maskierten Fahrzeugteil und falschem Fahrzeug im Modell bestehen.

3.2. Der visuelle Kontext

Die Kategorisierung eines Chunks wird durch den *visuellen Kontext* beeinflusst. Ein Objekt - beispielsweise eine Leiste - kann sowohl in der Flugzeugdomäne als "Tragfläche" als auch in der Bauteildomäne als "Leiste" kategorisiert werden. Welche Bedeutung dominiert, hängt dabei - unter anderem - vom visuellen Kontext ab.

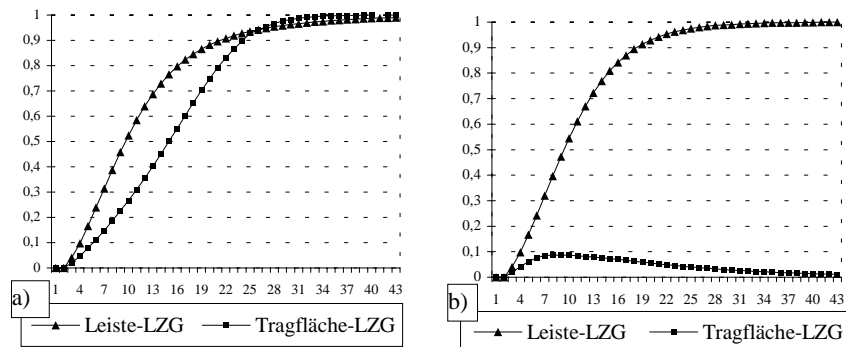


Abb. 3. Die beiden Kurven bilden die simulierten Aktivationsverläufe der LZG-Konzepte "Leiste" bzw. "Tragfläche" ab: a) Die Verläufe in einem Kontext mit *drei Flugzeugteilen* - es werden beide Konzepte aktiviert, b) die Verläufe in einem *bedeutungslosen* Kontext - es wird nur "Leiste" überschwellig und stabil aktiviert.

Wenn mehrere Bauteile eines Flugzeugs bereits erkannt wurden (z.B. Rumpf, Fahrwerk und Propeller; vgl. Abb. 2 links), so wird über die assoziativen Verbindungen das Konzept "Flugzeug" aktiviert, welches wiederum Aktivierung an die Konzeptknoten noch fehlender Flugzeugteile wie Tragfläche weiterleitet. Dadurch ist in diesem Kontext die Tragflächen-Bedeutung einer Leiste mindestens gleich stark wie ihre Bedeutung als Bauteil (Abb. 3.a). In einem bedeutungslosen Objektkontext (vgl. Abb. 2 rechts) wird hingegen eine Dominanz der Bauteilbedeutung erwartet (Abb. 3.b). Dieser Effekt sollte sich mindestens ebenso stark finden lassen, wenn der Kontext nicht durch Fahrzeugteile sondern durch das Fahrzeug selbst konstituiert wird im Gegensatz zu einem bedeutungslosen Kontext (Kessler & Rickheit, 1999).

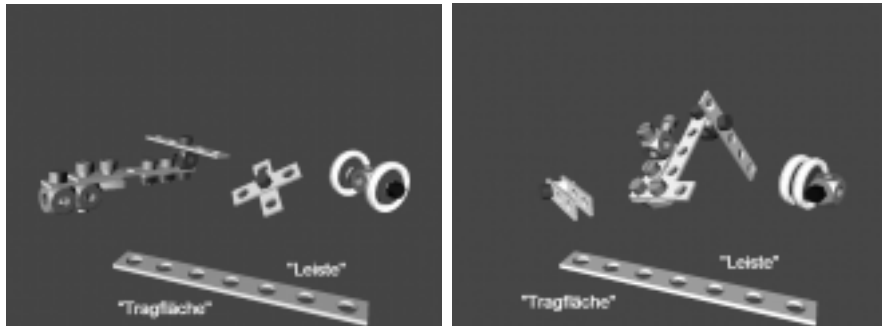


Abb. 4. Ein Beispiel für einen sinnvollen Kontext mit Flugzeugteilen (links) und für einen bedeutungslosen Kontext mit sinnlosen Baugruppen (rechts) in Experiment 2.

Entsprechend den Erwartungen konnte in einem zweiten Experiment gezeigt werden, daß der visuelle Objektcontext massiven Einfluß auf die Kategorisierung eines Bauteils hat (vgl. Kessler & Rickheit, 1999). Bei einem sinnlosen Kontext dominiert die Bauteilkategorisierung eine Fahrzeugkategorisierung hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit, was sich in der schnelleren Reaktion auf die Bauteilbezeichnung ausdrückt. Dies ändert sich bei einem sinnvollen Kontext, wo sich die beiden Kategorisierungsvarianten nicht mehr statistisch bedeutsam unterscheiden. Die Fahrzeugkategorisierung weist dabei eine signifikante Verbesserung der Verfügbarkeit gegenüber einem sinnlosen Kontext auf (genauer in Kessler & Rickheit, 1999).

In einem weiteren Experiment konnte dieser Effekt des visuellen Kontextes repliziert und weiter differenziert werden. Bei einem passenden Fahrzeugkontext ist die Bezeichnung für die Fahrzeugfunktion eines Teils schneller verfügbar als bei einem unpassenden Kontext. Des weiteren wurde die Anzahl der Fahrzeugteile im Kontext variiert. Bei nur *einem* Fahrzeugteil im Kontext ist die Baufixbezeichnung ("Leiste") weiterhin schneller verfügbar als die Fahrzeugbezeichnung ("Tragfläche"). Für *drei* Teile oder das *gesamte* Fahrzeug als Kontext gleicht sich die Verfügbarkeit der beiden Bedeutungen gegenüber einem unpassenden Kontext hingegen an. Dieser Effekt läßt sich ebenfalls aus DyReMO ableiten, da bei mehreren Teilen oder beim gesamten Fahrzeug im Kontext eine höhere Voraktivierung noch fehlender Fahrzeugteil-Konzepte zu beobachten ist, als nur bei einem Teil (Kessler & Rickheit, 1999).

4. Fazit

Die Annahme zweier Subnetze – eines imaginalen und eines assoziativen - hat wesentliche Auswirkungen auf die Dynamik im Modell und konnte experimentell bestätigt werden. Weitere Hypothesen ergaben sich aus der Dynamik der Aktivationsausbreitung über die LZG-Strukturen und betrafen die Sensitivität des Konzeptgenerierungsprozesses gegenüber visuellem und sprachlichem Kontext. Der Einfluß des visuellen Kontextes konnte dabei statistisch bedeutsam nachgewiesen werden. In weiteren Experimenten (Kessler & Rickheit, 1999) konnte auch der Einfluß des *sprachlichen* Kontextes bestätigt werden. Darüber hinaus wurde die Vernetzung der LZG-Konzepte auf verschiedenen Stufen einer Teil-Ganzes-Hierarchie mit katego-

rialem Wissen über *intrinsische Gerichtetheit* geprüft, wobei von einem Ökonomieprinzip ausgegangen wurde (vgl. z.B. Smith, Shoben & Rips, 1974). Auch diese Annahme fand eine experimentelle Bestätigung (Kessler & Rickheit, 1999). Die Modellierung des Einschwingprozesses bei der Generierung einer aktuellen Objektrepräsentation in DyReMO konnte somit insgesamt in ihren strukturellen, dynamischen und kontextsensitiven Grundprinzipien bestätigt werden.

Literatur

- Herrmann, Th., Grabowski, J., Schweizer, K. & Graf, R. (1996). Die mentale Repräsentation von Konzepten, Wörtern und Figuren. In J. Grabowski, G. Harras & Th. Herrmann (Hrsg.), *Bedeutung - Konzepte, Bedeutungskonzepte*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Khalidi, M. A. (1995). Two concepts of concept. *Mind and Language*, 10, 402-422.
- Kessler, K. & Rickheit, G. (1999). Dynamische Konzeptgenerierung in konnektionistischen Netzen: Begriffsklärung, Modellvorstellungen zur Szenenrekonstruktion und experimentelle Ergebnisse. *Kognitionswissenschaft*, in Druck.
- Mangold-Allwin, R. (1993). *Flexible Konzepte*. Frankfurt a. M.: Lang.
- McClelland, J. L. & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- Miller G. A., (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Rickheit, G. & Strohner, H. (1993). *Grundlagen der Kognitiven Sprachverarbeitung*. Tübingen: Francke.
- Schade, U. (1992). *Konnektionismus: Zur Modellierung der Sprachproduktion*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Schyns, P. G. & Rodet, L. (1995). Concept Learning. In Arbib, M. A. (Ed.) *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, 234-238. Cambridge Mass.: The MIT Press.
- Smith, E. E., Shoben, E. J. & Rips, L. J. (1974). Structure and process in semantic memory. *Psychological Review*, 81, 214-241.
- Van Gelder, T. & Port, R. F. (1995b). It's About Time: An Overview of the Dynamical Approach to Cognition. In Port, R. F. & Van Gelder, T. (Eds.) *Mind as Motion*, 1-45. Cambridge Mass.: The MIT Press.