

# DIE WELT IST NICHT GENUG! MAN MUSS AUCH ÜBER SIE SPRECHEN KÖNNEN

*Ronald Römer, Peter beim Graben, Markus Huber,  
Peter Klimczak, Günther Wirsching\* und Matthias Wolff*

*BTU Cottbus-Senftenberg, \*Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt  
ronald.roemer@b-tu.de*

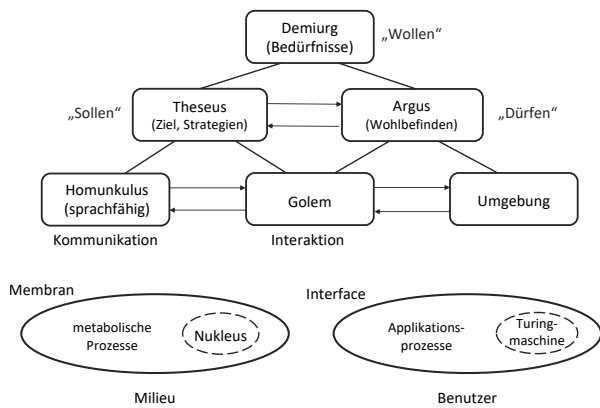
**Kurzfassung:** In dieser Arbeit zeigen wir am Beispiel des Mouse-Maze-Problems, wie ein kognitives System sensorische Information (Interaktionskreis) und sprachliche Information (Kommunikationskreis) in semiotische Information transformiert, so dass diese logisch verarbeitet werden kann. Zu diesem Zweck erweitern wir den Perzeptions-Aktionszyklus kognitiver Systeme um eine innere Bühne mit Datenbank-Semantik sowie um einen psychologischen Überbau. Wir erhalten damit die grobe Nachbildung eines *ektopsychischen Systems* nach C.G. Jung, mit dem wir die Information aus dem Interaktions- und Kommunikationskreis einheitlich mit dem Formalismus der Minimalistischen Grammatik verarbeiten und mittels eines logischen Verbundsystems zu vollständigen semantischen Repräsentationen (im Sinne der Datenbank-Semantik) zusammenführen können. Der Übergang zur logischen Ebene erlaubt uns die Modellierung eines Motivationssystems, das dem Agenten eine Informationsverarbeitung ermöglicht, welche nun gerade nicht durch die Sinne vermittelt wird.

## 1 Einführung

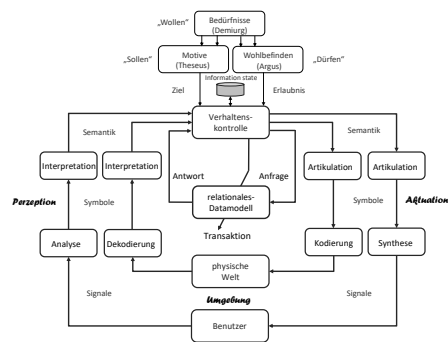
In [1] haben wir einen Bauplan für technische kognitive Systeme nach psychologisch geprägten Vorgaben [2, 3] skizziert. Zur weiteren Formalisierung und Modellierung kognitiver Agenten, erfolgten in [4] Konkretisierungen hinsichtlich des psychologischen Überbaus<sup>1</sup> des Perzeptions-Aktionszyklus (PAC) sowie in Bezug auf die Integration von Interaktion und Kommunikation (Abbildung 1). Dabei wurde der PAC zu einem doppelten kognitiven Kreis erweitert. Der erste Kreis dient der Beobachtung und Manipulation der physikalischen Umgebung des Agenten (Interaktion). Der zweite Kreis ist für die Kommunikation über die gemeinsame physikalische Umgebung zwischen menschlichen Benutzern und dem kognitiven Agenten vorgesehen. Damit die Information aus beiden Kreisen integriert und verarbeitet werden kann, verwendet der Agent ein inneres, dynamisch angelegtes Wissensmodell. Es dient dem Agenten dazu, Wissen zu speichern und abzuleiten sowie zielgerichtete Handlungen auszuwählen und Konsequenzen vorherzusagen. Zu den grundlegenden Eigenschaften des PAC zählt, dass die Verhaltenssteuerung mit semantischen Repräsentationen operiert. Damit nun gewährleistet ist, dass ein solches technisches kognitives System in den Geltungsbereich finaler Systeme fällt, sind die von uns gewählten semantischen Repräsentationen wahrheitsfunktional angelegt.

---

<sup>1</sup>Auf die Motivation zur Verwendung der mythologischen Figuren wird zu einem späteren Zeitpunkt in einer geeigneten Publikationsform eingegangen.



(a) Psychologischer Überbau des PAC



(b) Kognitiver Kreis (Kommunikation, Interaktion, innere Bühne)

**Abbildung 1** - (a) Der PAC unter dem Dach von psychologisch und biologisch motivierten Funktionalitäten. Bedürfnisse (Wollen) werden von einem Systemkonstrukteur (Demiurg) vorgegeben. Motive und zielgerichtetes Handeln (Sollen) sind mit der Figur des „Theseus“ assoziiert. Die Fähigkeit Schäden zu vermeiden (Dürfen), ist mit der Figur des „Argus“ verbunden. (b) Verhaltenssteuerung mit Umgebungsmodell. Das natürlichsprachliche Kommunikationsmodell (Nutzer-Agent) findet sich im äußeren kognitiven Kreis wieder. Die Interaktion zwischen Agent und Umgebung ist im inneren kognitiven Kreis angesiedelt und basiert auf Informationen nichtsprachlichen Ursprungs.

## 2 Ausgangssituation und Problemstellung

Mit der von uns in [5] vorgeschlagenen Modellstruktur liegen dem Agenten semantische Repräsentationen in Form von relationalen Schemata vor. Wechselwirkungen und damit Zustandsänderungen der Schemata in der Explorations- und Orientierungsphase werden über den Kommunikationskreis und den Interaktionskreis ermöglicht (Abbildung 1 – rechts).

**Interaktion und Kommunikation.** Für den Interaktionskreis haben wir in [4] gezeigt, dass der Austausch von Information nichtsprachlichen Ursprungs auch mit sprachlichen Mitteln erfolgen kann. Grundlegend dafür ist die Erkennung, Benennung und Anordnung beobachteter Sensorereignisse durch Symbolfolgen einer formalen Sprache. Die Übersetzung von Ausdrücken dieser formalen (äußeren) Sprache in semantische Repräsentationen (relationale Schemata) erfolgte durch eine Minimalistische Grammatik (MG) [6, 7, 8]. Dieses Prinzip gilt in ähnlicher Form auch für den Kommunikationskreis. Hier erfolgt jedoch zuerst eine Übersetzung von der natürlichen (äußeren) Quellsprache in eine semantische (innere) Zielsprache [9]. Anschließend wird der Inhalt dieser Sprache in eine semantische Repräsentation in Form von relationalen Schemata überführt. Die Problemstellung besteht nun darin, Symbolfolgen aus zwei verschiedenen (äußeren) Sprachen mit dem gleichen Formalismus in vergleichbare semantische Repräsentationen zu überführen, so dass ein Wissensabgleich bezüglich einer gemeinsamen Umgebung von Agent und Benutzer ermöglicht wird. Dabei orientieren wir uns am psycholinguistischen Vorbild [10] und berücksichtigen, dass sich Sprache – aus evolutionärer Perspektive – erst nach der Fähigkeit zum produktiven Denken (Problemlösen) entwickelt hat [2].

**Verhalten und Motivation.** Um das Verhalten eines kognitiven Agenten organisieren zu können, ist die Verknüpfung von Interaktion und Kommunikation durch ein relationales Verbundsystem nötig. Die Aufgabe des Verbundsystems besteht darin, Meßinformation (sprachlich und/oder nichtsprachlich) mit Modellwissen zu vergleichen und nach einer logischen Bewertung Hand-

lungsentscheidungen zu treffen. Dazu ist es notwendig, die eingehenden Signale in andere nützliche Informationsformen zu überführen. Eine solche Informationsform ist z.B. *Wissen*, welches es dem Agenten logisch ermöglicht, eine widerspruchsfreie Repräsentation dessen, was wirklich oder vermeintlich der Fall ist, herzustellen oder zu erweitern [3]. Auf dieser Informationsebene sind auch höhere psychologische Systeme wie das Motivationssystem angesiedelt. Es basiert auf den gewonnenen Aussagen des Kommunikations- und Interaktionskreises und wird benötigt, um den Handlungsdruck zur Bedürfnisbefriedigung aufzubauen. Das zu entwickelnde Motivationssystem werden wir daher ebenfalls auf der formal-logischen Ebene modellieren.

### 3 Lösungsansatz und Methode

In dieser Arbeit werden wir als erstes die Adäquatheit des MG-Formalismus als Lösung für das Übersetzungsproblem des Kommunikationskreises untersuchen. Danach steht die Zusammenführung der beiden kognitiven Kreise unter Verwendung eines logischen Verbundsystems im Mittelpunkt der Betrachtungen.

Einführend werden wir zunächst den in [4] beschriebenen Lösungsansatz für den Interaktionskreis skizzieren, der auf einem bidirektionalen minimalistischen Utterance-Meaning-Transducer (UMT) beruht. Anschließend gehen wir kurz auf das logische Verbundsystem zur Bestimmung der wahrheitsfunktionalen Semantik ein. Im Folgenden wenden wir dann den MG-Formalismus auf den Kommunikationskreis an. Wie bei der Interaktion dient uns auch hier die Definition von linguistischen Zeichen nach Kracht [11] als Ausgangspunkt. Danach werden Zeichen als Tripel – bestehend aus Exponenten (äußere Sprache), syntaktischen Typen (Steuerbefehle für den MG-Formalismus) und semantischen Ausdrücken (innere Sprache) – definiert. Derartig strukturierte Zeichen bilden den Inhalt des minimalistischen Lexikons. Zusammen mit fünf strukturzeugenden Regeln wird der MG-Formalismus nach [7, 8] sowohl in Bezug auf die Interpretation als auch bezüglich der Artikulation gemäß Abbildung 1 – rechts angewendet. Um dabei die Teilausdrücke der semantischen Sprache zu einem interpretationsfähigen prädikatenlogischen Ausdruck komponieren zu können, verwenden wir den Lambda-Kalkül und die Schönfinkel-Darstellung von  $n$ -stelligen Funktionen [8, 9].

Die Beziehung zwischen prädikatenlogischen Ausdrücken und den relationalen Schemata des inneren Modells ist aus theoretischer Sicht durch die Entsprechung der prädikatenlogischen Argumente zu den Attributen des zugehörigen relationalen Schemas in der Modelltheorie [9] gegeben. Darüber hinaus ist diese Beziehung aber auch an eine charakteristische Eigenschaft der verbalen Kommunikation gebunden, denn im Gegensatz zur Interaktion, welche auf Objektinstanzen operiert, beschränkt sich die Kommunikation auf den symbolischen Gebrauch von Objekttypen. Diese Eigenschaft werden wir bei der Zusammenführung beider kognitiver Kreise durch das logische Verbundsystem ausnutzen. Zur Verifikation unserer Modellvorstellung beschränken wir uns auch in dieser Arbeit auf das Minimalbeispiel des Mouse-Maze-Problems [5]. Alle Untersuchungen (linguistische Verarbeitung, Verbundsystem und Motivationssystem) basieren exemplarisch auf der Sprachäußerung „Feld( $x, y$ ) enthält Käse“ (Kommunikationskreis) und dem Sprachgebilde „Maus ist auf Feld( $x, y$ )“ (Interaktionskreis).

## 4 Grundlagen

### 4.1 Formale Sprachen

Um eine technische Kommunikation zwischen Quelle und Senke zu ermöglichen, muss ein gemeinsames Alphabet  $\mathcal{A} = \{a, b, \dots\}$  und eine gemeinsame Sprache  $\mathcal{L} \subseteq \mathcal{A}^*$  vereinbart werden. Wörter oder Sätze notiert man dann als geordnete Sequenz  $s = (s_1, s_2, \dots, s_k) \in \mathcal{L}$ , wo-

bei  $s_i \in \mathcal{A}$ ,  $\forall i \leq k$  gilt. Solche Sprachgebilde können durch die Verwendung einer Grammatik  $\mathcal{G} = (\mathcal{N}, \mathcal{T}, \mathcal{P}, S)$  erzeugt werden. Eine Grammatik ist durch die Menge der Nichtterminale  $\mathcal{N}$ , der Terminalmenge  $\mathcal{T}$  sowie der Menge der Produktionsregeln  $\mathcal{P}$  und einem Startsymbol  $S$  definiert. Basierend auf den Produktionsregeln können erlaubte Sätze ausgehend vom Startsymbol produziert oder abgeleitet werden (Synthese). In der umgekehrten Richtung erfolgt die Analyse eines gegebenen Satzes durch das Parsing.

## 4.2 Semantische Repräsentation

In der Semantik unterscheiden wir zwischen Objekten – welche durch Attribute beschrieben sind – und Relationen zwischen Objekten [12]. Zur Repräsentation von Semantik beschränken wir uns auf Merkmalwerte-Paare (MWP), diese haben eine flache Struktur und entsprechen den Tupeln von Datenbank-Relationen. Bezüglich der Notation halten wir uns an [13]. Ausgehend von einem Universum  $\mathcal{U} = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , welches eine endliche Menge von Attributen umfasst, verwenden wir eine Menge von Domänen  $\mathcal{D} = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$  und eine entsprechende Abbildung  $dom : \mathcal{U} \rightarrow \mathcal{D}$ . Die Attributwerte entstammen den zugehörigen Domänen:  $\omega_i \in D_i = dom(A_i)$ . Objekttypen werden durch die Bestimmung der charakteristischen Attribute  $\mathcal{H} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\} \subset \mathcal{U}$  festgelegt. Um konkrete Objekte bzw. Instanzen von Objekttypen zu identifizieren, werden spezielle Attribute als Primärschlüssel gekennzeichnet. Attributnamen mit denen Relationen zwischen Objekt(-typen) angegeben werden, werden als Fremdschlüssel bezeichnet. Objektinstanzen unterscheiden wir durch eine Menge von Abbildungen, die Tupel genannt werden:

$$\tau : \{A_1, A_2, \dots, A_n\} \rightarrow \bigcup_{i=1}^n dom(A_i), \quad n \leq m \quad (1)$$

. Dabei ist zu beachten, dass die Tuplelemente in der Datenbank-Notation nicht geordnet sind. Dies korrespondiert mit der Vorstellung, dass die Anordnung der Attribute bei der Objekttypbeschreibung nicht relevant ist [13]. Ein Objekt- oder Relationstyp wird durch ein Relationsschema spezifiziert:  $R(\mathcal{H}) = (A_1 : dom(A_1), A_2 : dom(A_2), \dots, A_n : dom(A_n))$ . Im Datenbankkontext entspricht das Relationsschema dem Kopf einer relationalen Datentabelle. Die zugehörigen Datenbankeinträge entsprechen einer Menge von Tupeln, welche mathematisch zu einer Relation korrespondieren:  $R_{\mathcal{H}} \subseteq Tup(\mathcal{H}) := \{\tau | \tau : \mathcal{H} \rightarrow dom(\mathcal{H})\}$ . Dabei entspricht  $Tup(\mathcal{H})$  der Menge der möglichen Tupel eines Relationschemas  $R(\mathcal{H})$ . Die Menge aller möglichen Relationen, die über einem Schema gebildet werden können, wird mit  $Rel(\mathcal{H})$  bezeichnet.

## 4.3 Minimalistische Grammatik

Gemäß [11], betrachten wir ein linguistisches Zeichen als geordnetes Tripel  $z = \langle e, t, \sigma \rangle$  mit einem *Exponenten*  $e \in E$  als Signal-Anteil,  $t \in T$  als syntaktischem *Typ* und *Semantik*  $\sigma \in \Sigma$ . Technisch gesehen sind die Exponenten Symbolstrings aus der Kleen'schen Hülle über einem endlichen Alphabet  $\mathcal{A}$ , d.h.  $E = \mathcal{A}^*$ . Den syntaktischen Typ  $t$  drücken wir im Rahmen der Minimalistischen Grammatik (MG) in ihrer Ketten-Darstellung [7] aus. Die Zeichen-Semantik ist ein logischer Term, der üblicherweise durch den Lambda-Kalkül ausgedrückt wird [9, 11]. Dadurch kontrolliert der Typ zugleich den syntaktischen Strukturaufbau und die Reihenfolge der Lambda-Applikationen in Analogie zum typisierten Lambda-Kalkül in der Montague-Semantik.

Eine MG besteht aus einer Datenbank, dem *mentalen Lexikon*, welches Zeichen als Listen phonetisch/orthographischer, syntaktischer und semantischer *Merkmale* enthält, und zwei struktur-erzeugenden Funktionen, namens „merge“ und „move“. Syntaktische Merkmale sind *Basistypen*  $b \in B$  aus einer endlichen Menge  $B$ , mit  $b = n, v, a, num, \dots$ , zusammen mit einer Menge

zugeordneter *Selektoren*  $S = \{=b|b \in B\}$ , die durch die „merge“-Operation unifiziert werden. Zudem unterscheidet man eine Menge von *Lizenzgebern*  $L_+ = \{+l|l \in L\}$  und eine weitere Menge korrespondierender *Lizenznehmer*  $L_- = \{-l|l \in L\}$ , welche die „move“-Operationen auslösen. Hierbei ist  $L$  die zugrundeliegende endliche Menge von Bewegungs-Bezeichnern.  $F = B \cup S \cup L_+ \cup L_-$  wird als (syntaktische) Merkmalsmenge bezeichnet. Schließlich gibt es eine zweielementige Menge  $C = \{::, : \}$  von *Kategorien*, wobei „::“ eine *einfache, lexikalische* Kategorie bezeichnet, während „:“ für *komplexe, abgeleitete* Kategorien steht. Die reguläre Menge  $T = CF^+$  ist dann die Menge der syntaktischen Typen [7, 14]. Dann ist  $Z = E \times T \times \Sigma$  die Menge der linguistischen Zeichen [11].

Seien nun  $e_1, e_2 \in E$  zwei Exponenten,  $\sigma_1, \sigma_2 \in \Sigma$  semantische Terme im Lambda-Kalkül,  $f \in B \cup L$  ein Merkmalsbezeichner,  $\mathbf{t}, \mathbf{t}_1, \mathbf{t}_2 \in F^+$  Merkmalstrings und  $\mathbf{z}, \mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2 \in Z^*$  Zeichenketten. In der MG wird eine Zeichenkette als *minimalistischer Ausdruck* bezeichnet. Das erste Zeichen eines Ausdrucks heißt Kopf und steuert den Strukturaufbau durch „merge“ und „move“ wie folgt:

Die MG-Funktion „merge“ ist definiert durch drei Inferenzschemata

$$\frac{\langle e_1, ::=f\mathbf{t}, \sigma_1 \rangle \quad \langle e_2, \cdot f, \sigma_2 \rangle \mathbf{z}}{\langle e_1 e_2, : \mathbf{t}, \sigma_1 \sigma_2 \rangle \mathbf{z}} \text{ merge-1,} \quad (2)$$

$$\frac{\langle e_1, :=f\mathbf{t}, \sigma_1 \rangle \mathbf{z}_1 \quad \langle e_2, \cdot f, \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_2}{\langle e_2 e_1, : \mathbf{t}, \sigma_1 \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_1 \mathbf{z}_2} \text{ merge-2,} \quad (3)$$

$$\frac{\langle e_1, \cdot =f\mathbf{t}_1, \sigma_1 \rangle \mathbf{z}_1 \quad \langle e_2, \cdot f\mathbf{t}_2, \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_2}{\langle e_1, : \mathbf{t}_1, \sigma_1 \rangle \mathbf{z}_1 \langle e_2, : \mathbf{t}_2, \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_2} \text{ merge-3.} \quad (4)$$

Entsprechend ist „move“ gegeben durch

$$\frac{\langle e_1, : +f\mathbf{t}, \sigma_1 \rangle \mathbf{z}_1 \langle e_2, : -f, \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_2}{\langle e_2 e_1, : \mathbf{t}, \sigma_1 \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_1 \mathbf{z}_2} \text{ move-1,} \quad (5)$$

$$\frac{\langle e_1, : +f\mathbf{t}_1, \sigma_1 \rangle \mathbf{z}_1 \langle e_2, : -f\mathbf{t}_2, \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_2}{\langle e_1, : \mathbf{t}_1, \sigma_1 \rangle \mathbf{z}_1 \langle e_2, : \mathbf{t}_2, \sigma_2 \rangle \mathbf{z}_2} \text{ move-2,} \quad (6)$$

wobei lediglich ein Zeichen mit Lizenznehmer  $-f$  in dem Ausdruck auftreten darf, der durch  $+f$  in seinem Kopf lizenziert ist. Dieser sogenannte *shortest movement constraint* (SMC) garantiert syntaktische Lokalisierungsbeschränkungen [7, 14]. Die semantischen Berechnungen ergeben sich durch Lambda-Applikation [8, 9].

Eine minimalistische Ableitung terminiert, sobald alle paarweise auftretenden Typ-Merkmale (Selektor-Basis, Lizenzgeber-Lizenznehmer) einander gegenseitig ausgelöscht haben und nur ein ausgezeichnetes Basismerkmal verbleibt, welches dem Startsymbol in einer Phrasenstrukturgrammatik entspricht. Startsymbol und Verwendung der Inferenzregeln (2 – 6) werden unten erläutert.

## 5 Innere Bühne und Datenbank-Semantik

Die Verhaltenskontrolle eines kognitiven Agenten beruht auf einem relationalen Datenmodell, welches sowohl kausale Beziehungen als auch logische Beziehungen umfasst. Die Modellierung kausaler Beziehungen ermöglicht die Verwendung als ein dynamisches System, das bei Stimulation mit der Vorhersage von entsprechenden Effekten reagiert. Beim Mouse-Maze Problem wird diese Rolle von der Verhaltensrelation  $R_V$  übernommen, dabei werden Zustände  $z \in \mathcal{Z}$ , Aktionen  $a \in \mathcal{A}$  und Observierungen  $o \in \mathcal{O}$  unterschieden:  $R_V \subseteq \mathcal{Z} \times \mathcal{A} \times \mathcal{Z} \times \mathcal{O}$ . Da wir

uns zunächst auf eine deterministische Welt beschränken wollen, die zudem vollständig beobachtbar ist, vereinfacht sich die Verhaltensrelation zu  $R_V \subseteq \mathcal{Z} \times \mathcal{A} \times \mathcal{Z}$ . Logische Beziehungen erlauben dagegen Ableitungen und Schlussfolgerungen. Diese werden beim Mouse-Maze Problem mit der Relation  $R_S$  erfasst. Damit sollen beobachtbare Situationen widerspruchsfrei beschrieben werden:  $R_S \subseteq \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \times \mathcal{C}$ . Mit den Mengen  $\mathcal{X} = \{1, 2, \dots\}$  und  $\mathcal{Y} = \{1, 2, \dots\}$  unterscheiden wir die Koordinaten der einzelnen Feldelemente des Labyrinths. Die Menge  $\mathcal{C} = \{c, \neg c\}$  enthält die binären Ausprägungen der logischen Variable „Käse“.

Zwischen den beiden Relationen können wir einen Zusammenhang herstellen, indem wir die symbolische Zustandsraumdarstellung in eine semantische Zustandsraumdarstellung überführen. Zu diesem Zweck geben wir den Symbolen eine innere Struktur. Beispielsweise können wir die Symbole  $z \in \mathcal{Z}$  durch eine Menge von Merkmalwerte-Paaren  $\{X \rightarrow x \in \text{dom}(X), Y \rightarrow y \in \text{dom}(Y), C \rightarrow c \in \text{dom}(C)\}$  beschreiben und in einem relationalen Schema abspeichern.

Um dieses Modell anwenden zu können, müssen wir zunächst die Attribute und relationalen Schemata für Situationen, Aktionen und Verhalten spezifizieren:

- *Situation* =  $\{X, Y, C\} \subset U$ ,  $R(\text{Situation}) = (X : \text{dom}(X), Y : \text{dom}(Y), C : \text{dom}(C))$  und  $R_{\text{Situation}} \subseteq \text{Tup}(\text{Situation})$ ,
- *Aktion* =  $\{\Delta X, \Delta Y\} \subset U$ ,  $R(\text{Aktion}) = (\Delta X : \text{dom}(\Delta X), \Delta Y : \text{dom}(\Delta Y))$  und  $R_{\text{Aktion}} \subseteq \text{Tup}(\text{Aktion})$ ,
- *Verhalten* =  $\{\text{Situation}, \text{Aktion}\} \subset U$ ,  $R(\text{Verhalten}) = (\text{Situation} : \text{dom}(\text{Situation}), \text{Aktion} : \text{dom}(\text{Aktion}), \text{Situation}' : \text{dom}(\text{Situation}'))$  und  $R_{\text{Verhalten}} \subseteq \text{Tup}(\text{Verhalten})$ .

## 6 Linguistische Verarbeitung

Für die beiden kognitiven Kreise gehen wir davon aus, dass die Übersetzung vom Signal- in den Symbolraum gemäß Abbildung 1 – rechts bereits vorliegt (z. B. durch SST [15]).

### 6.1 Interaktion

Für die Interaktion benötigen wir eine rechtsreguläre Grammatik, die lediglich zwei Regelschemata enthält:  $S \rightarrow wS$  und  $S \rightarrow w$  mit  $w \in \mathcal{T}$ . Zur besseren Nachvollziehbarkeit des MG-Formalismus werden wir uns nachfolgend auf indexbehaftete Ableitungsfolgen der Form  $S_0 \rightarrow w_0 S_1, S_1 \rightarrow w_1 S_2, S_2 \rightarrow w_2 S_3, \dots, S_n \rightarrow w_n S_{n+1}, S_{n+1} \rightarrow w_{n+1}$  beziehen. Die Datenbank-Semantik wird von Mengen gebildet, deren Elemente Zuordnungen von Werten zu Attributen sind  $\tau : A \rightarrow \omega \in \text{dom}(A)$ . Da die Symbole nichtverbaler Nachrichten keine implizite Semantik besitzen, muss diese explizit spezifiziert werden. Dies erfordert zwei Anpassungen der MG-Regeln. Zuerst substituieren wir  $\sigma$  mit  $\sigma(e)$ , wobei nun die Wortbezeichner  $w \in \mathcal{T}$  durch Exponenten  $e \in E$  ersetzt werden. Anschließend definieren wir die semantische Verkettung als Mengenoperation:  $\sigma_1 \sigma_2 := \sigma(e_1) \cup \sigma(e_2)$ .

**Linguistisches Lexikon.** Der MG-Formalismus arbeitet mit linguistischen Zeichen, die einem minimalistischen Lexikon entstammen. Es werden drei Typen von Zeichen benötigt:

$$\langle \text{start} \rangle, :: S_0 \text{ k}, \emptyset \quad \langle \text{end} \rangle, :: = S_n + \text{k } S_{n+1}, \emptyset \quad \langle e_i, :: = S_{i-1} + \text{k } S_i, \sigma(e_i) \rangle$$

**Tabelle 1** - Minimalistisches Lexikon – Interaktion. Die Symbole  $\langle \text{start} \rangle$  und  $\langle \text{end} \rangle$  stellen den Beginn und das Ende einer Symbolfolge dar, die Einträge  $e_i$  entsprechen den Ereignisbezeichnungen. Der Index  $i$  mit  $0 < i < n + 1$  bezieht sich auf die Attribute eines Schemas.

**Interpretation.** Labyrinth-Situationen werden in der Form  $\mathbf{s} = (e_{i_0}, e_{i_1}, e_{i_2}, e_{i_3}, e_{i_4})$ , bzw.  $\mathbf{s} = (\langle \text{start} \rangle, x, y, c, \langle \text{end} \rangle)$  kodiert und als Nachricht empfangen. Die Semantik dieser Nachricht muss wegen des nichtverbalen Ursprungs explizit spezifiziert werden. Zu diesem Zweck weisen wir jedem Wortindex eine Rolle zu und verwenden eine bijektive Abbildung  $\beta : \mathcal{R} \rightarrow \text{Situation}$ , welche jede Rolle  $r \in \mathcal{R}$  auf Attribute von relationalen Schematas  $R(\text{Situation})$  abbildet. Die Semantik eines Exponenten  $e_i$  mit  $0 < i < n + 1$  ist dann durch  $\sigma(e_i) := \beta(r_i) \rightarrow \omega_i \in \text{dom}(\beta(r_i))$  und  $\sigma(e_0) = \sigma(e_{n+1}) = \emptyset$  definiert. Basierend auf dieser rollenabhängigen Semantik erhalten wir mit dem MG-Formalismus eine linguistische Struktur (Ableitungsbaum), bei der die syntaktische und semantische Struktur parallel aufgebaut wird. Im Kern wird dabei das *Schlüssel-Schloss-Prinzip* angewendet, bei dem ein Selektor (e.g., „S“) stets einen syntaktischen Typ der gleichen Kategorie (e.g., „S“) fordert und Lizenzgeber und Lizenznehmer für die Steuerung der Reihenfolge der Symbole auf der Oberfläche verwendet werden.

Nach der Überführung von  $\mathbf{s} \in \mathcal{L}_{obs}$  in eine *Sequenz linguistischer Zeichen* wechselt der Formalismus alternativ zwischen den Regeln merge-3 sowie move-1 und antwortet mit einem Tupel  $\tau_{obs} \in \text{Tup}(\text{Situation})$ . Nach der Verarbeitung des Starttyps erfolgt eine rekursive Verarbeitung der Mappingtypen bis zur Erreichung des Endtyps. Wendet man diesen Formalismus auf das relationale Schema  $R(\text{Situation})$  an, erhält man für jede beobachtete Situation eine semantische Repräsentation

$$\tau_{obs} = \bigcup_{i=0}^{n+1} \sigma(e_i) = \{X \rightarrow x \in \text{dom}(X), Y \rightarrow y \in \text{dom}(Y), C \rightarrow c \in \text{dom}(C)\},$$

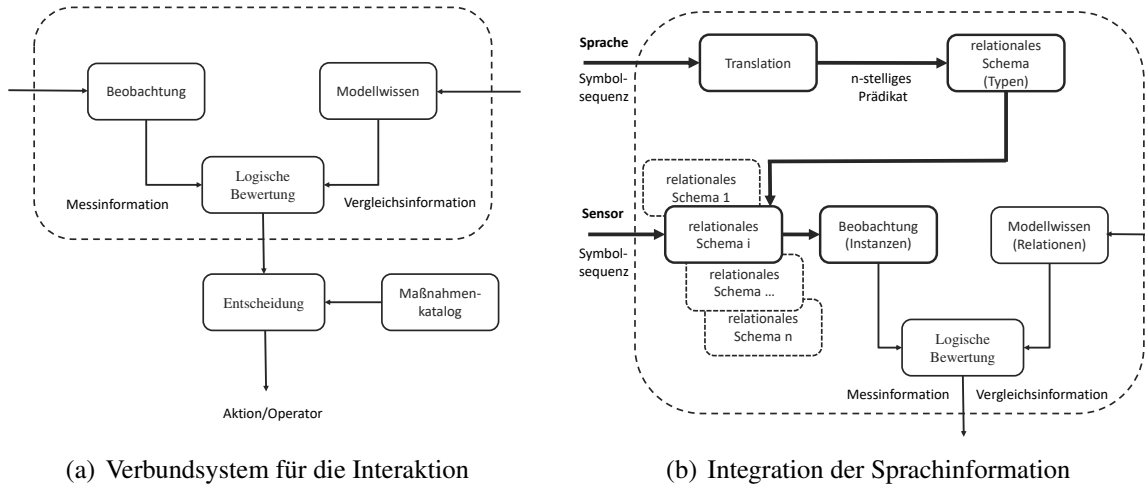
welche die gewünschte Menge von ungeordneten Merkmal-Wert-Abbildungen enthält.

**Artikulation.** Nach der Handlungsentscheidung durch die Verhaltenssteuerung (siehe Abbildung 1 – rechts) muss der MG-Formalismus auf eine semantische Repräsentation für Handlungen angewendet werden. Dazu wird der Formalismus mit einem Tupel  $\tau_{act} \in \text{Tup}(\text{Aktion})$  gespeist. Die Antwort ist dann eine linear geordnete Sequenz von Symbolen  $\mathbf{a} \in \mathcal{L}_{act}$ . Jedes Handlungstupel ist zunächst in der Form

$$\tau_{act} = \{\Delta X \rightarrow \Delta x \in \text{dom}(\Delta X), \Delta Y \rightarrow \Delta y \in \text{dom}(\Delta Y)\} \quad (7)$$

gegeben. Um nun eine Nachricht  $\mathbf{a} = (e_{i_0}, e_{i_1}, e_{i_2}, e_{i_3})$  bzw.  $\mathbf{a} = (\langle \text{start} \rangle, \Delta x, \Delta y, \langle \text{end} \rangle)$  zu erzeugen, müssen die Werte des relationalen Schematas  $R(\text{Aktion})$  in die zugehörigen linguistischen Zeichen abgebildet werden. Diese Zeichen wurden zuvor im linguistischen Lexikon der Artikulation (in Analogie zu Tab. 1) abgelegt. Auch hier wechselt der Formalismus alternativ zwischen den Regeln merge-3 and move-1. Der einzige Unterschied zur Interpretation besteht darin, dass der Formalismus nun mit einer *Menge von linguistischen Zeichen* gespeist wird. Der MG-Formalismus erhält die Ordnung auf den Terminalen bzw. Exponenten gemäß dem zuvor erwähnten Schlüssel-Schloss-Prinzips. Vertiefende Betrachtungen zur Interpretation und Artikulation finden sich in [4].

**Verbundsystem.** Die methodische Systemtheorie stellt für die logische Bewertung von Beobachtungen doppelt angesteuerte Systeme – sogenannten Verbundsysteme – zur Verfügung [16]. Die Eingangsgrößen des Systems tragen einerseits Vergleichsinformation (Modellwissen: hier die Tupel der Relation  $R_{\text{Situation}}$ ) und andererseits Meßinformation (hier die aktuelle Beobachtung:  $\tau_{obs} \in \text{Tup}(\text{Situation})$ ) und liefern als Ergebnis des Vergleichs Wahrheitswerte. Mit einem solchen logischen Verbundsystem kann festgestellt werden, was in der Welt der Fall ist (Abbildung 2–links). Der Vergleich selbst erfolgt durch einen binären Klassifikator bzw. die



**Abbildung 2** - (a) Verhaltenssteuerung als Verbundsystem basierend auf logischen Verknüpfungen nach [16]. (b) Verbundsystem bei Zusammenführung von Interaktion (Sensorinformation) und Kommunikation (Sprachinformation).

Auswertung der charakteristischen Funktion des logischen Prädikats:

$$f_{R_{Situation}}(\tau_{obs}) = \begin{cases} True, & \text{if } \tau_{obs} \in R_{Situation}, \\ False, & \text{if } \tau_{obs} \notin R_{Situation}. \end{cases}$$

Nach der logischen Bewertung kann der Agent geeignete Aktionen oder Operatoren aus einem Maßnahmenkatalog (z.B. nach einer Strategie) auswählen, welche der aktuellen Zielsetzung folgen.

## 6.2 Kommunikation

Die hier verwendeten MG können durch einen bidirektionalen *Utterance-Meaning-Transducer* (UMT) sowohl zum Sprachverstehen als auch zur Sprachproduktion verarbeitet werden [6].

**Linguistisches Lexikon.** Für unser Modellsystem konstruieren wir das minimalistische Lexikon in Tab. 2.

$\langle \text{enthält}, :: =n =n v, \lambda q. \lambda p. \text{enthalten}(q)(p) \rangle$	$\langle \text{Käse}, :: =n, \text{Käse} \rangle$
$\langle \text{liegt}, :: =p =n v, \lambda q. \lambda p. \text{liegen}(q)(p) \rangle$	$\langle \text{Feld}, :: =n, \text{Feld} \rangle$
$\langle (x, y), :: =p =f, (x, y) \rangle$	$\langle \varepsilon, :: =n =p =m -g, \lambda P. \lambda p. P(p) \rangle$
$\langle \varepsilon, :: =m =f =g =n, \lambda P. \lambda Q. QP \rangle$	$\langle \text{im}, :: =n =p, \varepsilon \rangle$

**Tabelle 2** - Minimalistisches Lexikon – Kommunikation.

Das Lexikon in Tab. 2 enthält zwei Verben, *enthält* und *liegt*, vom Basistyp *v*, das wir hier als Startsymbol der MG betrachten wollen. Das Verb *enthält* ist transitiv und entspricht daher einem zweistelligen Prädikat, wie oben durch den Lambda-Term in der Schönfinkel-Semantik angegeben [9]. In der Syntax drückt sich die Zweistelligkeit durch zwei Selektoren *=n*, aus, wonach ein transitives Verb zuerst ein direktes Objekt und danach sein Subjekt (beides Substantive vom Typ *n* „Nomen“) selegiert. Das Verb *liegt* ist zwar intransitiv, kann aber durch eine adverbiale Bestimmung des Ortes (*=p*) spezifiziert werden. In der MG Tab. 2 treten



zwei Substantive auf: *Feld* und *Käse*, deren Semantik die entsprechenden Namen sind. Die Feld-Koordinaten  $(x, y)$  im Labyrinth werden durch den Exponenten  $(x, y)$  ausgedrückt, dessen syntaktische Funktion ein Adjunkt vom Basistyp  $p$  (Präpositionalphrase) ist. Dieses muss im Verlauf des Strukturaufbaus einmal bewegt werden, wozu der Lizenznehmer  $-f$  dient. Die Adjunktion selbst wird durch einen phonetisch leeren Eintrag vom Basistyp  $m$  (Modifikator) ausgelöst. Dieser weist zwei Selektoren auf: durch  $=n$  wird die zu modifizierende Nominalphrase ausgewählt, während  $=p$  die adjungierte Präpositionalphrase selektiert. Anschließend lizenziert  $-g$  eine Bewegung. Die Semantik der Adjunktion drücken wir hier vereinfacht als Prädikation  $\lambda P.\lambda p.P(p)$  aus, d.h. es gibt ein Objekt  $p$  dem die Eigenschaft  $P$  zukomme. Ein weiterer phonetisch leerer Ausdruck selektiert eine modifizierte Nominalphrase ( $=m$ ), lizenziert daraufhin zwei Bewegungen ( $+f +g$ ) und erzeugt selbst eine Nominalphrase vom Basistyp  $n$ . Semantisch wird eine Argumentbewegung durch den Vertauschungsoperator  $\lambda P.\lambda Q.QP$  wieder aufgehoben. Schließlich gibt es eine Präposition *im* vom Basistyp  $p$ , die ebenfalls eine Nominalphrase zur Adjunktion selektiert ( $=n$ ). Anstatt ihre Lokative-Semantik konkret zu formalisieren, vereinfachen wir diese durch einen leeren Lambda-Ausdruck  $\varepsilon$ .

**Interpretation.** Um bspw. den Aufwand für die Explorationsphase zu reduzieren, geben wir der Maus die Aufgabe, die sprachliche Mitteilung „*Feld*( $x, y$ ) enthält *Käse*“ zu verstehen. Im einfachsten Fall kann die Äußerung durch einen nicht-inkrementellen Bottom-Up-Parser verarbeitet werden, welcher die folgende Ableitung erzeugt.

$$\begin{array}{c}
\frac{\langle \text{enthält}, ::=n \quad =n \quad v, \lambda q.\lambda p.\text{enthalten}(q)(p) \rangle \quad \langle \text{Käse}, ::=n, \text{Käse} \rangle}{\langle \text{enthält Käse}, :=n \quad v, (\lambda q.\lambda p.\text{enthalten}(q)(p))(\text{Käse}) \rangle} \text{merge-1} \\
\\
\frac{\langle \varepsilon, ::=n \quad =p \quad m \quad -g, \lambda P.\lambda p.P(p) \rangle \quad \langle \text{Feld}, ::=n, \text{Feld} \rangle}{\langle \text{Feld}, :=p \quad m \quad -g, (\lambda P.\lambda p.P(p))(\text{Feld}) \rangle} \text{merge-1} \\
\\
\frac{\langle \text{Feld}, ::=p \quad m \quad -g, \lambda p.\text{Feld}(p) \rangle \quad \langle (x, y), :=p \quad -f, (x, y) \rangle}{\langle \text{Feld}, :=m \quad -g, \lambda p.\text{Feld}(p) \rangle \langle (x, y), :=-f, (x, y) \rangle} \text{merge-3} \\
\\
\frac{\langle \varepsilon, :=m \quad +f \quad +g \quad n, \lambda P.\lambda Q.QP \rangle \quad \langle \text{Feld}, :=m \quad -g, \lambda p.\text{Feld}(p) \rangle \langle (x, y), :=-f, (x, y) \rangle}{\langle \varepsilon, :=+f \quad +g \quad n, \lambda P.\lambda Q.QP \rangle \langle \text{Feld}, :=-g, \lambda p.\text{Feld}(p) \rangle \langle (x, y), :=-f, (x, y) \rangle} \text{merge-3} \\
\\
\frac{\langle \varepsilon, :=+f \quad +g \quad n, \lambda P.\lambda Q.QP \rangle \langle \text{Feld}, :=-g, \lambda p.\text{Feld}(p) \rangle \langle (x, y), :=-f, (x, y) \rangle}{\langle (x, y), :=+g \quad n, (\lambda P.\lambda Q.QP)((x, y)) \rangle \langle \text{Feld}, :=-g, \lambda p.\text{Feld}(p) \rangle} \text{move-1} \\
\\
\frac{\langle (x, y), :=+g \quad n, \lambda Q.Q((x, y)) \rangle \langle \text{Feld}, :=-g, \lambda p.\text{Feld}(p) \rangle}{\langle \text{Feld } (x, y), :=n, (\lambda Q.Q((x, y))) (\lambda p.\text{Feld}(p)) \rangle} \text{move-1} \\
\\
\frac{\langle \text{enthält Käse}, :=n \quad v, \lambda p.\text{enthalten}(\text{Käse})(p) \rangle \quad \langle \text{Feld } (x, y), :=n, \text{Feld}((x, y)) \rangle}{\langle \text{Feld } (x, y) \text{ enthält Käse}, :=v, (\lambda p.\text{enthalten}(\text{Käse})(p))(\text{Feld}((x, y))) \rangle} \text{merge-2}
\end{array}$$

Damit ist die Äußerung „*Feld*( $x, y$ ) enthält *Käse*“ im Exponenten erkannt, so dass ihre Semantik als prädikatenlogische Formel nach einer letzten Lambda-Applikation  $(\lambda p.\text{enthalten}(\text{Käse})(p))(\text{Feld}((x, y))) = \text{enthalten}(\text{Käse})(\text{Feld}((x, y)))$  modelltheoretisch interpretiert werden kann. Das Denotat ergibt sich dann zu

$$\llbracket \text{enthalten}(\text{Käse})(\text{Feld}((x, y))) \rrbracket = (\llbracket \text{Käse} \rrbracket, \llbracket \text{Feld}((x, y)) \rrbracket) \in \llbracket \text{enthalten} \rrbracket \quad (8)$$

im Sinne der Datenbank-Semantik.

**Artikulation.** Für die Sprachproduktion gehen wir vom obigen Sachverhalt (8) aus und zeigen die Möglichkeit stilistischer Kreativität auf. Dazu stellen wir fest, dass das Denotat von *enthalten* mit dem von *liegen* koextensiv ist, also  $\llbracket \text{enthalten} \rrbracket = \llbracket \text{liegen} \rrbracket$ . Wenn die Maus eine entsprechende Äußerung bspw. als Ergebnis einer Explorationsphase artikulieren will, muss sie den Sachverhalt zunächst in eine prädikatenlogische Formel  $\text{liegen}(\text{Feld}((x, y)))(\text{Käse})$  übersetzen, wobei allerdings die Argumentreihenfolge von Subjekt und direktem Objekt zu vertauschen ist. Eine Datenbankabfrage im minimalistischen Lexikon führt dann zu folgender Ableitung, wobei wir den bereits früher abgeleiteten Ausdruck  $\langle \text{Feld } (x, y), :=n, \text{Feld}((x, y)) \rangle$  im

Sinne der dynamischen Programmierung wiederverwerten.

$$\frac{\langle \text{im}, ::=n \ p, \epsilon \rangle \quad \langle \text{Feld } (x, y), :n, \text{Feld}((x, y)) \rangle}{\langle \text{im Feld } (x, y), :p, \text{Feld}((x, y)) \rangle} \text{merge-1}$$

$$\frac{\langle \text{liegt}, ::=p \ =n \ v, \lambda q. \lambda p. \text{liegen}(q)(p) \rangle \quad \langle \text{im Feld } (x, y), :p, \text{Feld}((x, y)) \rangle}{\langle \text{liegt im Feld } (x, y), :=n \ v, (\lambda q. \lambda p. \text{liegen}(q)(p))(\text{Feld}((x, y))) \rangle} \text{merge-1}$$

$$\frac{\langle \text{liegt im Feld } (x, y), :=n \ v, \lambda p. \text{liegen}(\text{Feld}((x, y)))(p) \rangle \quad \langle \text{Käse}, ::n, \text{Käse} \rangle}{\langle \text{Käse liegt im Feld } (x, y), :v, (\lambda p. \text{liegen}(\text{Feld}((x, y)))(p))(\text{Käse}) \rangle} \text{merge-2}$$

Die vorliegende Ableitung führt schließlich nach einer letzten Lambda-Applikation auf die gewünschte Semantik  $(\lambda p. \text{liegen}(\text{Feld}((x, y)))(p))(\text{Käse}) = \text{liegen}(\text{Feld}((x, y)))(\text{Käse})$ .

**Verbundsystem.** Trotz der einheitlichen Beschreibung der beiden kognitiven Kreise mit sprachlichen Mitteln, besteht ein wesentlicher Unterschied darin, dass die Interaktion mit Objektinstanzen, die verbale Kommunikation jedoch mit Objekttypen operiert [17]. Dieser Unterschied kann genutzt werden, um ein bislang noch nicht angesprochenes Problem zu lösen. Sensorwerte können ja durchaus verschiedenen Schemata zugeordnet werden. Eine dem Kontext angemessene Interpretation der Sensorwerte kann jedoch nur durch Auswahl des korrekten Schemas erfolgen. Dabei kann der Benutzer nützliche Hilfestellungen durch sprachliche Mitteilungen geben (Abbildung 2 – rechts). So wird bspw. mit der Äußerung „Feld(x, y) enthält Käse“ auf das logische Schema  $R(\textit{Situation})$  – mit den Attributen  $X$ -Koordinate,  $Y$ -Koordinate und dem Käseattribut  $C$  – verwiesen. Das kausale Schema  $R(\textit{Verhalten})$  enthält zwar ebenfalls drei Attribute, passt aber nicht zu den angesprochenen „Objekttypen“. Die Mitteilung legt daher folgende „Sollhandlung“ in Bezug auf den Interaktionskreis nahe: Die Maus soll sich zu den genannten  $x, y$ - Koordinaten bewegen. Um die tatsächliche Position zu bestimmen, muss sensorische Information aufgenommen und in die logische Aussage „Maus ist auf Feld(x, y)“ überführt werden. Wenn das Zielobjekt erreicht wurde, kann eine Messung am „Käsesensor“ vorgenommen werden. Mit der Unifikation der Information von Positions- und Käsesensor sowie der Vorgabe des relationalen Schemas durch die sprachliche Eingabe kann die beobachtete Situation über das logische Verbundsystem mit der Wissensbasis verglichen werden. Dieses Verhalten hat seinen Ursprung allerdings im *Motivationssystem*.

## 7 Modellierung der Motivation

Das Motivationssystem dient dazu, Anreize zu schaffen, Zielobjekte oder Zielsituationen in denen konsummatorische Handlungen (Bedürfnisbefriedigung) stattfinden können, ausfindig zu machen und im Gedächtnis zu behalten. Ein einfacher Motivationsmechanismus, bei dem ein innerer Stimulationsdruck auf das Verhalten des kognitiven Agenten berücksichtigt wird, ist die Instinkthandlung. Die zur Erklärung dieser Handlung verwendeten Begriffe Bedürfnis, Anreiz und Antrieb lassen sich regelungstechnisch interpretieren. Danach wird das Bedürfnis als Führungsgröße (Sollwert), der sensorische Anreiz als Meßgröße (Beobachtung) und der Antrieb als Regelabweichung aufgefasst. Ein Antrieb liegt also dann vor, wenn mit der Beobachtung eines sensorischen Anreizes und bei nicht erfülltem Bedürfnis ein Spannungszustand und damit ein Handlungsdruck entsteht. Um diesen Spannungszustand auf die logische Ebene zu übertragen, fassen wir im Folgenden sowohl Käse  $k := \text{Käse}$  als auch Maus  $m := \text{Maus}$  als Individuen auf. Die jeweilige Position auf einem Feld, bestimmt durch die  $x$ - und  $y$ -Koordinaten, betrachten wir als einstelliges Prädikat  $P_{x,y}(a)$  und das Haben von etwas durch jemanden (hier das Haben von Käse durch die Maus) verstehen wir als zweistelliges Prädikat  $H(a, b)$ , wobei  $a$  und  $b$  Individuen- und  $x$  und  $y$  Koordinatenvariablen darstellen. Entsprechend kann das Haben von Käse durch die Maus als die Positionierung von Käse und Maus auf demselben Feld bestimmt werden:  $H(m, k) \leftrightarrow P_{x,y}(k) \wedge P_{x,y}(m)$  Derart kann dann im Falle

von  $P_{x,y}(k) \wedge P_{x,y}(m)$  – Käse und Maus befinden sich auf demselben Feld – via Modus Ponens auf  $H(m,k)$  geschlossen werden: Die Maus hat Käse. Da  $H(m,k) \leftrightarrow P_{x,y}(k) \wedge P_{x,y}(m)$  logisch äquivalent mit  $\neg H(m,k) \leftrightarrow \neg(P_{x,y}(k) \wedge P_{x,y}(m))$  ist, kann im Falle von  $\neg(P_{x,y}(k) \wedge P_{x,y}(m))$  – Käse und Maus befinden sich NICHT auf demselben Feld – auf  $\neg H(m,k)$ : Die Maus hat keinen Käse geschlossen werden. Der hier vorliegende Antrieb beruht auf der sprachlichen Information  $P_{x,y}(k)$  des Kommunikationskreises und der sensorischen Information  $P_{x,y}(m)$  des Interaktionskreises. D.h. solange die Maus nicht auf dem Käsefeld ist, liegt zwar ein Spannungszustand vor, dieser bezieht sich jedoch nicht auf die Regelabweichung zwischen Anreiz und Bedürfnis. Andererseits weist die Konklusion darauf hin, dass positionsverändernde Aktionen die Bedürfnisbefriedigung ermöglichen würden. Zusammenfassend kann man daher festhalten, dass bei einer logischen Beschreibung der Motivation zusätzlich die Bedürfnisse und positionsverändernde Aktionen erfasst werden müssen. Daher soll gelten, dass das Nicht-Haben von Käse durch die Maus, die Aktion der Maus ihre Position zu ändern,  $A(m)$ , als Obligation dieser Aktion,  $\mathbf{O}(A(m))$ , auslöst:  $\neg H(m,k) \rightarrow \mathbf{O}(A(m))$ . Obwohl zugleich angenommen wird, dass das Hungrig-Sein der Maus,  $G(m)$ , mit der Obligation einhergeht, eine Positionsänderung vorzunehmen,  $G(m) \rightarrow \mathbf{O}(A(m))$ , kommt es weder zu deontischen noch normativen Widersprüchen im Falle dessen, dass die Maus keinen Käse hat,  $\neg H(m,k)$ , zugleich aber auch nicht hungrig ist,  $\neg G(m)$ . Hierfür müsste das Nicht-hungrig-Sein entweder die Negation der Obligation einer Positionsänderung,  $\neg\mathbf{O}(A(m))$ , nach sich ziehen, oder aber die Obligation keine Positionsänderung vorzunehmen,  $\mathbf{O}(\neg A(m))$ . Beides ist nicht der Fall.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit haben wir den Informationsaustausch des Agenten mit seiner Umgebung unter Verwendung von sprachlichen Mitteln beschrieben. Unter Einbeziehung der Verhaltenssteuerung (Pragmatik, Apobetik) werden damit alle Ebenen der Semiotik erfasst.

Mit der semiotischen Beschreibung ist es naheliegend, das vorliegende technische System als Nachbildung eines *ektopsychischen Systems* nach C.G. Jung [18] aufzufassen. Dabei handelt es sich um ein Orientierungssystem, das die kognitive Verbindung zwischen den Umwelteindrücken – vermittelt durch die Sinne – und den Wissensinhalten des Agenten herstellt und durch vier ektopsychische Funktionen charakterisiert ist: Das Empfinden (1) gehört zur (Sinnes-) Wahrnehmung und kann technisch durch Sensoren nachgebildet werden. Das Denken (2) wird als Verknüpfung von Wahrnehmung und Urteil verstanden und führt auf Begriffe (Semantik). Selbst das Fühlen (3) lässt sich als Bewertung von Begriffen auffassen und kann mit der Berechnung von Informationswerten (Pragmatik) formalisiert werden.

Diesen drei Funktionen billigte C.G. Jung einen rationalen Charakter zu. Etwas anders verhält es sich dagegen mit der letzten Funktion, der Intuition (4). Diese wird als eine Art Wahrnehmung verstanden, welche nun gerade nicht durch die Sinne vermittelt wird. Stattdessen steht sie eng mit der Kategorie „Zeit“ in Verbindung. Die Intuition schließt dort eine Lücke, wo Vergangenheit, Zukunft und Möglichkeit einen Mangel an Realität aufweisen [18]. In unserer Modellstruktur kommt dafür nur die Wechselwirkung mit der inneren Bühne in Frage. Der Zugriff auf gespeichertes Wissen (Vergangenheit), die Fähigkeit zur Vorhersage (Zukunft) sowie die Fähigkeit zum logischen Schließen (Möglichkeit) sollte daher ebenfalls als Informationsaustausch mit sprachlichen Mitteln beschrieben werden. Da wir die innere Bühne auf der Grundlage von relationalen Schemata realisieren, wollen wir auch hier untersuchen, ob sich der universelle Charakter der minimalistischen Grammatik bei der Bildung einer Gedankensprache als vorteilhaft erweisen kann. Als solche könnte dann der untypisierte Lambda-Kalkül des Semantikmoduls aufgefasst werden, welcher imstande ist, selbstreflexive Aussagen, Paradoxien und Metaphorik zu ermöglichen.

## Literatur

- [1] RÖMER, R. UND WIRSCHING, G.: *Ein Beitrag zu den natur-und geisteswissenschaftlichen Grundlagen kognitiver Systeme*. Tagungsband, 24. Konferenz Elektronische Sprachsignalverarbeitung, Seiten 93–102, Bielefeld 2013.
- [2] BISCHOF, N.: *Psychologie, ein Grundkurs für Anspruchsvolle*. Kohlhammer, 2009.
- [3] BISCHOF, N.: *Struktur und Bedeutung, Einführung in die Systemtheorie*. Hogrefe, 2016.
- [4] RÖMER, R., P. BEIM GRABEN, M. HUBER, M. WOLFF, G. WIRSCHING und I. SCHMITT: *Behavioral Control of Cognitive Agents Using Database Semantics and Minimalist Grammars*. In: *6th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 2019.
- [5] WOLFF, M., M. HUBER, G. WIRSCHING, R. RÖMER, P. BEIM GRABEN und I. SCHMITT: *Towards a Quantum Mechanical Model of the Inner Stage of Cognitive Agents*. In: *9th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, Seiten 147–152, 2018.
- [6] GRABEN, P. BEIM, W. MEYER, R. RÖMER und M. WOLFF: *Bidirektionale Utterance-Meaning-Transducer für Zahlworte durch kompositionale minimalistische Grammatiken*. Tagungsband der 30. Konferenz Elektronische Sprachsignalverarbeitung (ESSV), 76 – 82, Dresden, 2019. TU-Dresden Press.
- [7] STABLER, E. P., KEENAN E. L.: *Structural similarity within and among languages*. In: *Theoretical Computer Science*, Seiten 345 – 363, 2003.
- [8] KOBELE, G. M.: *Syntax and semantics in minimalist grammars*. In: *Proceedings of ESSLI*, 2009.
- [9] LOHNSTEIN, H.: *Formale Semantik und natürliche Sprache*. De Gruyter, Berlin, 2011.
- [10] DIETRICH, R. UND GERWIEN, J.: *Psycholinguistik. Eine Einführung*. J.B. Metzler, 2017.
- [11] KRACHT, M.: *The Mathematics of Language, Studies in Generative Grammar*. De Gruyter, Berlin, 2003.
- [12] CHEN, PETER P.: *The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data*. In: *Proceedings of the International Conference on Very Large Data Bases*, Framingham, Seite 173, 1975.
- [13] LAUSEN, G.: *Datenbanken, Grundlagen und XML-Technologien*. Spektrum, 2005.
- [14] STABLER, E. P.: *Derivational minimalism*. In: *Logical Aspects of Computational Linguistics*, Seiten 68 – 96. Lecture Notes in Computer Science, Springer New York, 1997.
- [15] WOLFF, M., C. TSCHÖPE, R. RÖMER und G. WIRSCHING: *Subsymbol-Symbol-Transduktoren*. *Elektronische Sprachsignalverarbeitung 2013*, Seiten 197–204. TUD-press, Dresden, 2013.
- [16] LANGE, F.H.: . Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 1995, Berlin 1995.
- [17] HAUSSER, R.: *Foundations of Computational Linguistics*. Springer Berlin, 2014.
- [18] JUNG, C.G.: *Ausgewählte Schriften*. Patmos, 2013.