

DIE KOGNITIVE HEIZUNG

P. Klimczak, M. Wolff, J. Lindemann, C. Petersen, R. Römer und T. Zoglauer

*Brandenburgische Technische Universität
matthias.wolff@tu-cottbus.de*

Kurzfassung: Die strukturelle Narrativik bedient sich der deontischen Logik zur Modellierung von Ereignissen im Sinne von Normverletzungen [1]. Wir zeigen, wie solche Ereignisse für die Verhaltenssteuerung kognitiver Systeme verwendet werden können. Man kann nämlich das Eintreten *unerwarteter* (verbaler) Nutzerreaktionen bei gegebener Vorgeschichte und unter Kenntnis des bisherigen (verbalen) Systemverhaltens als ein solches Ereignis verstehen. Somit sind Kommunikationssituationen erkennbar, in denen eine Anpassung der semantischen Modelle notwendig ist, da diese die tatsächlich eingetretene Nutzerreaktion nicht korrekt vorhersagen konnten. Am trivialen Beispiel einer „kognitiven“ Heizungssteuerung diskutieren wir, wie in einer ereignishaften Situation ein Zusammenhang zwischen dem verbalen Verhalten des Nutzers (also einer Äußerung) und der Bedeutung dieser Äußerung für das kognitive System hergestellt werden kann. Dafür ist *keine* semantische Analyse der Äußerung im Sinne der Computerlinguistik notwendig.

Wir glauben, damit einen ersten Ansatz zum automatischen Lernen von Günther Wirschings Äußerungs-Bedeutungs-Paaren (*utterance meaning pairs*, UMP [3, 4]) gefunden zu haben, welche die technische Grundlage der bedeutungsorientierten Sprachmodelle (*meaning oriented language models*, MOLM [4]) sind. Da es sich bei letzteren um stochastische endliche Grammatiken handelt, präsentieren wir eine Bayes'sche Interpretation von Skinners ABC-Schema des verbalen Verhaltens [2]. Wir zeigen, wie die von Wirsching postulierte bedingte Wahrscheinlichkeit verbalen Verhaltens (*behavior*, B) bei gegebenen Vorbedingungen (*antecedents*, A) und angestrebten Auswirkungen (*consequences*, C) mit Hilfe des Bayes'schen Satzes sowohl als kognitive als auch als intentionale Bedeutung interpretiert werden kann.

1 Bedeutung und Verhalten

Bekanntermaßen verortet B. F. Skinner die Bedeutung einer sprachlichen Äußerung („verbal behavior“, B) nicht in der Äußerung oder ihrer Transliteration selbst. Er argumentiert vielmehr, dass verbales Verhalten eine Funktion von Vorbedingungen (auch der Vorgeschichte, „antecedents“, A) und der vom Sprecher beabsichtigten Wirkung („consequences“, C) ist. Das Erkennen der Bedeutung verbalen Verhaltens liegt nach Skinner im (wenigstens teilweisen) Erkennen der ihm zugrunde liegenden Vorbedingungen und Konsequenzen [2] (zitiert nach [4]).

Mit dem sogenannten ABC-Schema wählte Skinner einen experimentellen Zugang und beschreibt die Bedeutung des Verhaltens B als bedingte Wahrscheinlichkeitsverteilung, in der die Vorgeschichte A und die beabsichtigte Konsequenz C durch den Experimentator weitgehend kontrolliert werden können und sich deshalb als Bedingungen verankern lassen. Die Bedeutung des Verhaltens wird dann als eine vermittelnde Variable aufgefasst, welche die Vorgeschichte

A mit dem Verhalten B und dieses wiederum mit der Konsequenz C verbindet. Um dies zu zeigen, geht man zunächst von der Verbundwahrscheinlichkeit $P(A, B, C)$ aus, faktorisiert diese nach dem Bayes'schen Prinzip und wendet die Markov-Bedingung an. Bei zwei gegebenen Bedingungen führt dies auf zwei komplementäre Sichtweisen.

$$P(B|A, C) \stackrel{\text{Bayes}}{=} \frac{P(A|B, C) \cdot P(B|C)}{P(A|C)} \stackrel{\text{Markov}}{\approx} \frac{P(A|B) \cdot P(B|C)}{P(A|C)} \quad (1)$$

In dieser Schreibweise finden sich im Zähler eine Likelihood des Verhaltens sowie dessen A-priori-Wahrscheinlichkeit bei gegebener Konsequenz C wieder. Der Nenner ist unabhängig vom Verhalten B und sorgt bei gegebener Konsequenz C für eine entsprechende Normierung. Da hier die Konsequenz möglicher Aktionen (durch die Motorik) gegeben ist, wird diese Sichtweise als intentionale Bedeutung des Verhaltens interpretiert.

$$P(B|A, C) \stackrel{\text{Bayes}}{=} \frac{P(C|B, A) \cdot P(B|A)}{P(C|A)} \stackrel{\text{Markov}}{\approx} \frac{P(C|B) \cdot P(B|A)}{P(C|A)} \quad (2)$$

In der komplementären Sichtweise findet sich im Zähler ebenfalls eine Likelihood des Verhaltens. In den anderen beiden Termen ist nun jedoch die Vorgeschichte A gegeben, welche von der Sensorik erfasst wird. Mit dieser Interpretation kann auf die kognitive Bedeutung des Verhaltens geschlossen werden.

2 Ereignishaftes Verhalten

Sich selbsttätig an die Umwelt anpassen zu können ist ein wesentliches Merkmal kognitiver Systeme. Technisch erfolgt dies durch eine Modelladaption. Die entscheidende Frage ist dabei: Wann ist eine Adaption notwendig und wann nicht? Die Standardantwort lautet: „Immer“. Die strukturelle Narrativik erlaubt eine bessere Antwort: „Adaption ist beim Eintreten ereignishafter Zustände notwendig.“

Als ereignishafter Zustand wird das Eintreten eines formal-logischen Widerspruchs definiert: $p \wedge \neg p$. Diese bis vor Kurzem in der Narratologie-Forschung nicht hinterfragte Vorstellung stellt allerdings ein Problem dar, da Widersprüche in der formalen Logik aufgrund des Satzes vom ausgeschlossenen Widerspruch ausgeschlossen sind, sodass es nach einer derartigen Modellierung formal-logisch zu keinen Ereignissen kommen kann. Auf den Satz vom ausgeschlossenen Widerspruch kann jedoch nicht verzichtet werden, da ansonsten formal-logisch korrekt auf alles Mögliche geschlossen werden könnte. Dieses Problem konnte erst vor kurzem unter Verwendung der deontischen Modallogik gelöst werden [1]. Sie verwendet im Gegensatz zur ontischen Modallogik anstatt eines Notwendigkeitsoperators N einen *Gebotsoperator* O , mit dessen Hilfe Sachverhalte als geboten gesetzt werden können: $O(p)$.

Während also $\neg p$ aussagt, dass ein bestimmter Istzustand p nicht zutrifft, sagt $O(p)$ aus, dass dieser bestimmte Istzustand geboten ist. Es besteht also auch weiterhin zwischen Gegebenem und Gebotenem eine Relation, die einem kontradiktorischen Verhältnis entspricht mit dem entscheidenden Unterschied, dass während $\neg p$ wahr ist, im Falle von p aber nur dessen Gebotenem, also lediglich der Gebotssatz als Ganzes, $O(p)$, wahr ist. Entsprechend kann es auch zu keinem formal-logischen Widerspruch mit $\neg p$ kommen. Um Ereignisse deduzieren zu können, ist es folglich nur notwendig, das kontradiktorische Verhältnis zwischen *Gegebenem*, $\neg p$, und *Gebotenem*, p , in ein äquivalentes Verhältnis zwischen *Gegebenem*, $\neg p$, und *Gebot*, $O(p)$, zu überführen, was sich formal mittels einer Bisubjunktion zwischen E , was für das Vorliegen eines Ereignisses steht, und der Konjunktion von $O(p)$ und $\neg p$ abbilden lässt:

$$E \leftrightarrow O(p) \wedge \neg p. \quad (3)$$

Somit ist ein Ereignis im Sinne der Normenlogik als die Verletzung eines Ordnungssatzes definiert. In einem kognitiven System unterscheiden wir zwischen Ordnungssätzen bezüglich des Systems und Ordnungssätzen bezüglich der Umwelt. Der Einfachheit halber stellen wir uns als „Umwelt“ im Folgenden einen menschlichen Nutzer des Systems vor. Wir postulieren:

1. Was bezüglich des Systems „geboten“ ist, wird vom System getan (Systemverhalten: B_S).
2. Was bezüglich des Nutzers „geboten“ ist, erwartet das System vom Nutzer (Nutzerverhalten B_N).

Wir sehen, dass wir zwischen System- und Nutzerverhalten unterscheiden müssen. Beide sind kognitive Systeme und „verhalten“ sich dementsprechend. Da die Frage nach der Ereignishaftigkeit des Systemverhaltens sich erst in viel komplexeren Systemen stellt, wird an dieser Stelle angenommen, dass dahingehend kein Ereignis eintreten kann und darüber hinaus aus dem Gebotensein eines Systemverhaltens zum Zeitpunkt k dessen Realisierung zum darauffolgenden Zeitpunkt, also $k + 1$, folgt:

$$O(B_S)^k \rightarrow B_S^{k+1}. \quad (4)$$

Anders beim Nutzerverhalten: Was aus Systemsicht zum Zeitpunkt k für den Nutzer geboten ist, muss dieser natürlich nicht tatsächlich tun. Falls der Nutzer sich zum Zeitpunkt k nicht wie vom System erwartet verhält, liegt ein Ereignis vor:

$$E^k \leftrightarrow [O(B_N)^k \wedge \neg B_N^k] \vee [O(\neg B_N)^k \wedge B_N^k]. \quad (5)$$

In diesem Fall ist eine entsprechende Anpassung an das Nutzerverhalten erforderlich, was auch die Modifikation von bestehenden Regeln mit einschließt.

3 Fallbeispiel: Die kognitive Heizung

Wir betrachten folgendes Szenarium: Es ist Winter, sodass die Raumtemperatur bei ausgeschalteter Heizung kontinuierlich sinkt. Unsere triviale „kognitive“ Heizung kann die Raumtemperatur gradgenau messen und ein- oder ausgeschaltet sein:

$$a_0 = \vartheta \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6)$$

$$a_1 = \begin{cases} H & \text{heizen oder} \\ \neg H & \text{nicht heizen.} \end{cases} \quad (7)$$

Beides sind Vorbedingungen für das Verhalten der Heizung und des Nutzers, also wählen wir a als Formelzeichen. Anzeigt dem Nutzer lediglich der momentane Zustand a_1 der Heizung. Es geht gerade darum, dass der Nutzer nicht aufgrund einer entsprechenden notwendigerweise abstrakten Raumtemperaturanzeige auf das Verhalten der Heizung einwirkt, sondern aufgrund seines intuitiven, individuellen und kontextuellen, sprich natürlichen, Raumtemperaturempfindens. Unabhängig davon, welche Äußerungen der Nutzer auch von sich gibt, sie haben aus Sicht der Heizung nur zwei mögliche Bedeutungen:

$$c = \begin{cases} V & \text{Veto oder} \\ \neg V & \text{kein Veto} \end{cases} \quad (8)$$

gegen den angezeigten Zustand der Heizung. Da die Handlungen des Nutzers aus Sicht der Heizung die Konsequenz ihres eigenen Handels darstellen, wählen wir das Formelzeichen c .

Im Initialzustand ist der Heizung eingeschrieben, dass sie weder heizt noch heizen soll und sie auch kein Veto erwartet:

$$R_{1.1} : \quad \neg H^k \quad (9)$$

$$R_{1.2} : \quad O(\neg H)^k \quad (10)$$

$$R_{1.3} : \quad O(\neg V)^k. \quad (11)$$

Wir untersuchen nun drei Kommunikationssituationen mit der kognitiven Heizung:

- In der ersten Situation soll die Heizung aufgrund eines Vetos seitens des Nutzers ihr Verhalten ändern, also sowohl vom Nicht-Heizen zum Heizen wechseln als auch umgekehrt vom Heizen zum Nicht-Heizen.
- In der zweiten Situation soll die Heizung dasselbe Verhalten an den Tag legen, aber ohne dass der Nutzer in das Verhalten der Heizung mit seinem Veto eingreifen muss. Ob er dabei mit dem Verhalten der Heizung zufrieden oder einfach nicht anwesend ist, spielt keine Rolle. Sein Nicht-Reagieren auf das Verhalten der Heizung hat für die Heizung stets die Bedeutung von $\neg V$.
- In der dritten Situation wird angenommen, dass der Nutzer gegen das gelernte Verhalten der Heizung, bei einer bestimmten Temperatur vom Nicht-Heizen ins Heizen zu wechseln, votiert. Die Heizung soll daraufhin ihr Verhalten ändern und aufhören zu heizen.

In allen drei Situationen werden die beiden bereits angesprochenen Regeln benötigt: die Ereignisregel und die allgemeine Handlungsregel für das Systemverhalten. Entsprechend dem Sachverhalt, dass jeweils zwei Varianten bezüglich des Nutzerverhaltens (V , $\neg V$) und des Systemverhaltens (H , $\neg H$) möglich sind, ergeben sich insgesamt folgende vier Regeln:

$$R_{2.1} : O(V)^k \wedge \neg V^k \leftrightarrow E^k \quad (12)$$

$$R_{2.2} : O(\neg V)^k \wedge V^k \leftrightarrow E^k \quad (13)$$

$$R_{3.1} : O(H)^k \rightarrow H^{k+1} \quad (14)$$

$$R_{3.2} : O(\neg H)^k \rightarrow \neg H^{k+1}. \quad (15)$$

Des Weiteren werden vier elementare Handlungsregeln für das aus dem Nutzerverhalten resultierende Systemverhalten benötigt:

$$R_{4.1} : H^k \wedge \neg E^{k-1} \rightarrow O(H)^k \quad (16)$$

$$R_{4.2} : \neg H^k \wedge \neg E^{k-1} \rightarrow O(\neg H)^k \quad (17)$$

$$R_{4.3} : H^k \wedge E^{k-1} \rightarrow O(\neg H)^k \quad (18)$$

$$R_{4.4} : \neg H^k \wedge E^{k-1} \rightarrow O(H)^k. \quad (19)$$

Das Nutzerverhalten fließt dabei nicht unmittelbar ein, sondern mittelbar über das Eintreten oder Nicht-Eintreten eines Ereignisses zum vorhergehenden Zeitpunkt. Dass der Ereigniszustand des vorhergehenden Zeitpunktes zu berücksichtigen ist, hat formallogische, sprich systemische Gründe. Der Grund dafür, dass das Nutzerverhalten nur mittelbar über den Ereigniszustand und nicht unmittelbar über das Einlegen oder Nicht-Einlegen des Vetos erfolgt, liegt darin, dass dieser lediglich mittelbare Einbezug des Nutzerverhaltens bereits die Lösung der in der zweiten und dritten Situation gestellten Aufgaben ermöglicht. In der ersten Situation würde es hingegen tatsächlich reichen, wenn anstatt E^{k-1} und $\neg E^{k-1}$ lediglich V^{k-1} und $\neg V^{k-1}$ in den Formeln stünden.

Ebenfalls für alle Situationen gilt, dass Änderungen im Weltmodell durch das Quasi-Eintreten von Widersprüchen zustande kommen. Da diese aufgrund des Satzes vom ausgeschlossenen Widerspruch verboten sind, kommt es aber nicht zum Widerspruch, sondern zur Negation bzw. Löschung der älteren Regel.

Die formallogische Darstellung der ersten Situation lautet mit den oben beschriebenen Regeln:

k	$a_0^k / ^\circ\text{C}$	a_1^k	b_1^k	b_2^k	c^k	\tilde{c}^k	E^k
0	17	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
1	16	$\neg H$	$O(\neg H)$		V	$O(\neg V)$	1
2	16	$\neg H$	$O(H)$	$\ominus R_{1,2}$	$\neg V$	$O(\neg V)$	0
3	16	H	$O(H)$	$\ominus R_{1,1}$	$\neg V$	$O(\neg V)$	0
4	17	H	$O(H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
5	24	H	$O(H)$		V	$O(\neg V)$	1
6	24	H	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
7	24	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
8	20	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0

(20)

Die Spalten haben folgende Bedeutungen: k – Zeitpunkt, a_0 – Raumtemperatur in $^\circ\text{C}$ (Antezedenz), a_1 – tatsächliches Verhalten der Heizung (Antezedenz), b_1 – gebotenes Verhalten der Heizung (nach Gl. 4 sowie nach $R_{3,1}$ und $R_{3,2}$ das *tatsächliche* Verhalten der Heizung zum nächsten Zeitpunkt), b_2 – Lernverhalten der Heizung: Installation (\oplus) oder Deinstallation (\ominus) von Regeln, c – tatsächliches Verhalten des Nutzers (Konsequenz aus Sicht der Heizung) und \tilde{c} – erwartetes Verhalten des Nutzers (erwartete Konsequenz aus Sicht der Heizung).

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass der Nutzer bei Erreichen einer Raumtemperatur von 16°C sein Veto gegen das Nicht-Heizen einlegt ($k = 1$). Wegen $R_{2,2}$ ist dieser Zustand ereignishaft. Entsprechend leitet die Heizung am nächsten Zeitpunkt ($k = 2$) das Gebotensein zu heizen ab, was sie dann ab dem nächsten Zeitpunkt ($k = 3$) auch tut. Die Temperatur beginnt entsprechend zu steigen ($k = 4$), bis bei Erreichen von 24°C Raumtemperatur abermals ein Veto seitens des Nutzers eingelegt wird ($k = 5$). Entsprechend wird das Gebotensein nicht zu heizen abgeleitet ($k = 6$) und dieses dann auch realisiert ($k = 7$), woraufhin die Temperatur wieder fällt ($k = 8$).

Um nun, wie in der zweiten Situation gefordert, ein wiederholtes Einwirken des Nutzers auf das Heizverhalten bei derselben Raumtemperatur zu erübrigen, müssen der Heizung zwei zusätzliche Regeln eingeschrieben sein. Beide installieren jeweils drei weitere Regeln:

$$R_{5.1}(\vartheta) : \quad [\neg H^k \wedge E^{k-1} \wedge (a_0 = \vartheta)^k] \rightarrow \quad (21)$$

$$R_{5.1.1}(\vartheta) : \quad [(a_0 = \vartheta)^k \wedge O(\neg H)^k \rightarrow O(V)^k] \quad \wedge \quad (22)$$

$$R_{5.1.2}(\vartheta) : \quad [(a_0 = \vartheta)^k \wedge O(H)^k \rightarrow O(\neg V)^k] \quad \wedge \quad (23)$$

$$R_{5.1.3}(\vartheta) : \quad [(a_0 \neq \vartheta)^k \wedge O(\neg H)^k \rightarrow O(\neg V)^k], \quad (24)$$

$$R_{5.2}(\vartheta) : \quad [H^k \wedge E^{k-1} \wedge (a_0 = \vartheta)^k] \rightarrow \quad (25)$$

$$R_{5.2.1}(\vartheta) : \quad [(a_0 = \vartheta)^k \wedge O(H)^k \rightarrow O(V)^k] \quad \wedge \quad (26)$$

$$R_{5.2.2}(\vartheta) : \quad [(a_0 = \vartheta)^k \wedge O(\neg H)^k \rightarrow O(\neg V)^k] \quad \wedge \quad (27)$$

$$R_{5.2.3}(\vartheta) : \quad [(a_0 \neq \vartheta)^k \wedge O(H)^k \rightarrow O(\neg V)^k]. \quad (28)$$

$R_{5.1}$ installiert für den Fall, dass nicht geheizt wird und ein ereignishafter Zustand eintritt, die Regeln ($R_{5.1.1}$, $R_{5.1.2}$, $R_{5.1.3}$). $R_{5.2}$ installiert hingegen im Fall dessen, dass geheizt wird und ein Ereignis eintritt, die Regeln ($R_{5.2.1}$, $R_{5.2.2}$, $R_{5.2.3}$). Das Besondere an den sechs zu installierenden Regeln ist dabei, dass sie nicht das Heizverhalten der Heizung steuern, sondern nur die Nutzererwartung der Heizung. Die Steuerung des Heizverhaltens der Heizung wird weiterhin durch die Regeln $R_{4.1}$ bis $R_{4.4}$ übernommen. Das ist nur deshalb möglich, weil die Regeln $R_{4.1}$ bis $R_{4.4}$, wie bereits erläutert, das Nutzerverhalten (V , $\neg V$) nicht unmittelbar berücksichtigen, sondern nur mittelbar über das Eintreten oder Nicht-Eintreten von Ereignissen (E , $\neg E$). Dies

ist zum einen vom Nutzerverhalten selbst abhängig, zum anderen aber von der Erwartung des Systems über das Verhalten des Nutzers ($R_{2.1}$ und $R_{2.2}$).

Entsprechend ergibt sich für die zweite Situation folgende formale Darstellung:

k	$a_0^k/^\circ\text{C}$	a_1^k	b_1^k	b_2^k	c^k	\check{c}^k	E^k
0	17	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
1	16	$\neg H$	$O(\neg H)$		V	$O(\neg V)$	1
2	16	$\neg H$	$O(H)$	$\ominus R_{1.2}$ $\oplus R_{5.1.1}(16^\circ\text{C})$ $\oplus R_{5.1.2}(16^\circ\text{C})$ $\oplus R_{5.1.3}(16^\circ\text{C})$	$\neg V$	$O(\neg V)$	0
3	16	H	$O(H)$	$\ominus R_{1.1}$	$\neg V$	$O(\neg V)$	0
4	17	H	$O(H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
5	24	H	$O(H)$		V	$O(\neg V)$	1
6	24	H	$O(\neg H)$	$\oplus R_{5.2.1}(24^\circ\text{C})$ $\oplus R_{5.2.2}(24^\circ\text{C})$ $\oplus R_{5.2.3}(24^\circ\text{C})$	$\neg V$	$O(\neg V)$	0
7	24	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
8	20	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
9	16	$\neg H$	$O(\neg H)$	$\ominus R_{1.3}$	$\neg V$	$O(V)$	1
10	16	$\neg H$	$O(H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
11	16	H	$O(H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
12	20	H	$O(H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0

(29)

Was die Raumtemperatur, aber auch das Nutzer- und Heizverhalten angeht, sind die Zeitpunkte bis $k = 8$ dieselben wie in der ersten Situation. Dasselbe gilt auch für das vom System erwartete Nutzerverhalten und damit auch für das Eintreffen und Nicht-Eintreffen von Ereignissen. Bis zum achten Zeitpunkt ($k = 8$) besteht zur ersten Situation nur insofern ein Unterschied, als dass zum zweiten und sechsten Zeitpunkt ($k = 2, k = 6$) aufgrund der im Vergleich zum ersten Szenario beiden neuen Regeln $R_{5.1}$ und $R_{5.2}$ jeweils drei neue Regeln automatisch installiert werden: zum Zeitpunkt $k = 2$ aufgrund der Regel $R_{5.1}$ die Regeln $R_{5.1.1}$ bis $R_{5.1.3}$ und zum Zeitpunkt $k = 6$ aufgrund der Regel $R_{5.2}$ die Regeln $R_{5.2.1}$ bis $R_{5.2.3}$. Diese allerdings haben bis zum Zeitpunkt $k = 8$ keine Auswirkungen auf die anderen Parameter (und Regeln).

Zwar kann aufgrund der Regeln $R_{5.1.3}$ und $R_{5.2.3}$ zu entsprechenden Zeitpunkten ebenfalls $O(\neg V)$, also die Systemerwartung über das jeweilige Nutzerverhalten, deduziert werden, allerdings bringt das keine Folgen mit sich, da $O(\neg V)$ bereits systemisch (Regel $R_{1.3}$) seit der Initialisierung gilt. Es wird (bis zum betrachteten Zeitpunkt $k = 8$) auch nicht negiert und das obwohl seit dem zweiten Zeitpunkt mit der Regel $R_{5.1.1}$ und seit dem sechsten Zeitpunkt mit der Regel $R_{5.2.1}$ zwei Regeln gelten, die dieser Regel potenziell widersprechen: allerdings nur potenziell, weil das $O(\neg V)$ widersprechende $O(V)$ seitens einer dieser beiden Regeln noch nicht zum Tragen gekommen ist. Bis zum achten Zeitpunkt ($k = 8$) lag weder $(a_0 = 16^\circ\text{C}) \wedge O(\neg H)$ noch $(a_0 = 24^\circ\text{C}) \wedge O(H)$ vor, sodass weder aufgrund von $R_{5.1.1}$ noch $R_{5.2.1}$ auf $O(V)$ zu schließen gewesen wäre. Dieser Fall tritt erst zum Zeitpunkt $k = 9$ ein. Erst dann liegen sowohl 16°C Raumtemperatur als auch das Gebotensein nicht zu heizen, $O(\neg H)$, vor. Das damit aufgrund der Regel $R_{5.1.1}$ einhergehende $O(V)$ widerspricht dann dem nach wie vor von Anfang an geltenden $O(\neg V)$ und damit auch der Regel $R_{1.3}$. Sie ist entsprechend zu deinstallieren. Aufgrund des nunmehr vorliegenden $O(V)$ verursacht der Sachverhalt, dass der Nutzer kein Veto äußert – sei es, weil er darauf vertraut, dass die Heizung nach seiner vormaligen Intervention gelernt hat, oder sei es, weil er sich außerhalb des Hauses befindet – ein Ereignis. Dieses Ereignis wiederum führt

dazu, dass die Heizung aufgrund der Regel $R_{4.4}$ wieder zu heizen beginnt: Das System erwartet, dass der Nutzer sein Veto einlegt, doch gerade das tut er nicht. Hätte anstatt des Eintreffens eines Ereignisses, wie noch im Vorfeld des ersten Szenarios angedacht, das Äußern eines Vetos dessen Platz eingenommen, so hätte das gerade dazu geführt, dass kein Systemverhaltenswechsel stattgefunden hätte – das Veto bleibt ja, wie gesagt, aus. So aber ändert das System sein Verhalten und beginnt zu heizen ($k = 11$). Entsprechend steigt die Temperatur ($k = 12$).

Die dritte Situation setzt nun genau an dieser Stelle an. Angenommen werden muss lediglich, dass das Ausbleiben des Vetos beim Absinken der Temperatur auf 16°C seinen Grund nicht darin hatte, dass der Nutzer abwesend war, sondern der Nutzer lediglich auf den Lerneffekt der Heizung vertraut hatte oder sein Veto schlicht „vergaß“. Jedenfalls soll im dritten Szenario angenommen werden, dass der Nutzer anwesend ist und mitgeteilt bekommt, dass die Heizung heizt, was er allerdings nicht will. Also legt er zum besagten Zeitpunkt $k = 11$ sein Veto ein. Da das System gleichzeitig aufgrund der Regel $R_{5.1.2}$ (und $R_{5.3.3}$) erwartet, dass der Nutzer kein Veto einlegt, ist abermals ein Ereignis eingetreten. Entsprechend der Regel $R_{4.3}$ folgt daraus das Gebotensein nicht zu heizen ($k = 12'$), was im darauffolgenden Zeitpunkt entsprechend der Regel $R_{3.2}$ auch getan wird ($k = 13'$). Die Temperatur beginnt dann auch zu sinken ($k = 14'$):

k	$a_0^k/^\circ\text{C}$	a_1^k	b_1^k	b_2^k	c^k	\tilde{c}^k	E^k
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
11'	16	H	$O(H)$		V	$O(\neg V)$	1
12'	16	H	$O(\neg H)$	$\oplus R_{5.2.1}(16^\circ\text{C})$ $\oplus R_{5.2.2}(16^\circ\text{C})$ $\oplus R_{5.2.3}(16^\circ\text{C})$ $\ominus R_{5.1.1}(16^\circ\text{C})$	$\neg V$	$O(\neg V)$	0
13'	16	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0
14'	14	$\neg H$	$O(\neg H)$		$\neg V$	$O(\neg V)$	0

(30)

Gleichzeitig werden aufgrund der Regel $R_{5.2}$ drei neue Regeln eingeführt, analog zu denen, die zum Zeitpunkt $k = 6$ eingeführt wurden; allein mit dem Unterschied, dass sie nunmehr keine Aussagen bezüglich der Raumtemperatur von 24°C treffen, sondern solche bezüglich einer Raumtemperatur von 16°C . Da zudem sowohl $a_0 = 16^\circ\text{C}$ als auch $O(\neg H)$ vorliegen, führt das einerseits aufgrund der neu installierten Regel $R_{5.2.2}(16^\circ\text{C}) : (a_0 = 16^\circ\text{C}) \wedge O(\neg H) \rightarrow O(\neg V)$ zum Vorliegen von $O(\neg V)$, während andererseits aufgrund der zum zweiten Zeitpunkt installierten Regel $(a_0 = 16^\circ\text{C}) \wedge O(\neg H) \rightarrow O(V)$ das Vorliegen von $O(V)$ folgen würde. Da sich beides widerspricht, wird die zum zweiten Zeitpunkt installierte Regel gelöscht. Entsprechendes würde bei Vorliegen von $(a_0 = 16^\circ\text{C}) \wedge O(\neg H)$ auch für die Gültigkeit der zum Zeitpunkt $k = 2$ installierten Regel $R_{5.1.2}(16^\circ\text{C}) : (a_0 = 16^\circ\text{C}) \wedge O(H) \rightarrow O(\neg V)$ gelten. Sie würde aufgrund der zum aktuellen Zeitpunkt $k = 12'$ installierten Regel $R_{5.2.1}(16^\circ\text{C}) : (a_0 = 16^\circ\text{C}) \wedge O(H) \rightarrow O(V)$ ebenfalls gelöscht werden. Ansonsten lägen abermals sowohl $O(\neg V)$ als auch $O(V)$ vor. Das bedürfte aber, wie gesagt, des Gebotenseins zu heizen, was ausgehend vom Zeitpunkt $14'$ erst eines Vetos bedürfte und eines abermaligen Handlungswechsels des Systems.

4 Ausblick

Probabilistische Erweiterung: Die oben ausgeführten Betrachtungen beruhen zunächst auf einem formallogischen Kalkül. Nach Abschnitt 1 steht jedoch noch der Rückbezug zum probabilistischen Modell nach B. F. Skinner aus, welcher an dieser Stelle nur kurz umrissen werden kann und zu einem späteren Zeitpunkt genauer ausgeführt wird. Wir gehen wieder von der Ver-

bundwahrscheinlichkeit $P(A, B_S, C)$ aus und erhalten ein Modell für die bedingte Wahrscheinlichkeit einer Konsequenz:

$$P(C|A, B_S) = \frac{P(B_S|A, C) \cdot P(C|A)}{P(B_S|A)} = \frac{P(B_S|A, C) \cdot P(C|A)}{\sum_C P(B_S|A, C)}. \quad (31)$$

Dieses Modell enthält im Zähler die kognitive bzw. intentionale Bedeutung des Verhaltens nach Gleichung (1) bzw. (2) und die (a-priori) bedingte Wahrscheinlichkeit der Konsequenz, in die das Verhalten (noch) nicht eingegangen ist. Den Nenner erhält man als Randverteilung über Gleichung (1) oder (2). Mit diesem Modell können wir sowohl die erwartete Konsequenz

$$\tilde{c} = \operatorname{argmax}_C P(C|A, B_S) \quad (32)$$

als auch die Ereignishaftigkeit einer tatsächlich eingetroffenen Konsequenz $C = c$ bestimmen:

$$E := P(C|A, B_S) < \varepsilon. \quad (33)$$

Schließlich kann das auszuwählende Systemverhalten entsprechend der Entscheidungsfunktion

$$b_S^* = \operatorname{argmax}_{B_S} P(B_S|A, C) \quad (34)$$

bestimmt werden.

Unüberwachtes Lernen von UMPs: Das Beispiel in Abschnitt 3 spart absichtlich das konkrete (verbale) Verhalten des Nutzers gegenüber der Heizung aus. Er bringt lediglich sein „Veto“ zum Ausdruck. Im einfachsten Fall interpretiert die Heizung zunächst jede Äußerung, die der Nutzer an sie richtet, als Veto, verbindet die Wortfolge (oder auch nur die HMA-Zustandsfolge) mit der durch die Vorbedingungen und die Konsequenz V definierten Bedeutung und lernt damit ein Äußerungs-Bedeutungs-Paar. Falls diese Interpretation der Nutzeräußerung zu Ereignissen führt (beispielsweise indem der Nutzer sein Veto gegen ein irrtümlich verstandenes Veto einlegt), muss die Semantik des UMP später gegebenenfalls geändert werden. Das kann nach dem gleichen Prinzip wie die Änderung der Ordnungssätze hinsichtlich des Heizverhaltens geschehen. Obwohl dieser Gedanke noch nicht zu Ende gedacht und das vorgestellte Beispiel zu trivial für eine vertiefende Diskussion ist, scheint sich hier doch eine Möglichkeit des unüberwachten Lernens von UMPs zu eröffnen. Die Idee ist vielversprechend, da ein technisches kognitives System nur die (wenigen) Semantiken lernen, erkennen und verarbeiten muss, welche für seinen Handlungsspielraum relevant sind. Aus Sicht der Heizung sind zum Beispiel die Vetos „Ich fahre weg“ und „Ich gehe schlafen“ gegen das Heizen gleichbedeutend! Eine semantische Analyse der Nutzeräußerungen im herkömmlichen Sinne ist (weitestgehend) unnötig, da die Bedeutung ja nur in den Vorbedingungen und gewünschten Konsequenzen (Ausschalten!) liegt.

Literatur

- [1] KLIMCZAK, P.: *Formale Subtextanalyse. Modallogische Grundlegung der Grenzüberschreitungstheorie*. Dissertationsschrift, BTU, Cottbus, 2013.
- [2] SKINNER, B. F.: *Verbal Behavior*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1957.
- [3] WIRSCHING, G., M. HUBER, C. KÖLBL, R. LORENZ und R. RÖMER: *Semantic Dialogue Modeling*. In: A. ESPOSITO ET AL (Hrsg.): *Behavioral Cognitive Systems*, Bd. 7403 d. Reihe LNCS, S. 104–113, 2012.
- [4] WIRSCHING, G. und R. LORENZ: *Towards meaning-oriented language modeling*. In: BARAMANYI, P. ET AL. (Hrsg.): *IEEE 4th Int. Conf. on Cognitive InfoCommunication, Budapest, Hungary, December 2-5*, S. 369–374. IEEE Xplore, 2013.