

## 6. Kommunikation

### 6.1. Aspekte der Kommunikation

#### 6.1.1. Zeichen, Indizes und Signale

Kommunikation erfolgt mittels Signalen; jedes *Signal* charakterisiert einen *Index* oder ein *Zeichen*. Diese drei Begriffe müssen genau unterschieden werden. Das Signal ist das einfachste Element in der Kommunikation. Es kann als Marke oder als Spur oder als Modifikation der Umgebung auf der mechanischen Ebene (hören, fühlen), der elektromagnetischen Ebene (sehen) oder der chemischen Ebene (schmecken, riechen) definiert werden. Es kann Information für diejenigen transportieren, die es empfangen können. Signale breiten sich nach den jeweiligen physikalischen Gesetzen aus und haben für sich genommen keine Bedeutung. Damit sie Bedeutung erhalten, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: Es muss ein Agent existieren, dessen Wahrnehmungsfähigkeit zum Empfang der Signale geeignet ist, und ein Interpretationssystem, das das Signal in Bedeutung umwandeln kann oder zumindest in ein Verhalten.

Wird das Signal in ein Verhalten umgewandelt, dann nennt man es einen *Stimulus*. Das ist bei den meisten Tieren der Fall sowie bei reaktiven Agenten. Ein solches Signal kann eine Tendenz in einem Agenten verstärken. Ist diese ausreichend stark, dann führt das Signal zu einer Handlung. Erzeugt das Signal kein Verhalten, sondern wird in das kognitive System eingefügt, dann nennt man es einen *Bedeutungsträger* und es nimmt den Status eines Zeichens an. Ein Zeichen ist etwas, was für etwas anderes steht (Eco), d.h. etwas wie ein Ausdruck, ein Ton, eine Bewegung oder ein Diagramm, das auf etwas anderes verweist, etwa eine Situation, ein physikalisches Objekt, eine Aktion, eine Prozedur, einen anderen Ausdruck. Die Signale, die Bestandteil der Zeichen sind, haben nichts mit der Bedeutung, die sie tragen, gemeinsam. Die Zuordnung zu Bedeutungen innerhalb der Zeichen erfolgt durch Konvention.

Es gibt mehrere Arten von Zeichen. Eine Art sind die linguistischen Zeichen, die aus der Sprache stammen. Diese ist eine Kommunikationsstruktur, die sowohl eine phonetische Artikulation, nämlich die Töne, die zu Worten kombiniert werden, als auch eine grammatische Artikulation, in der Wörter zu Phrasen zusammen gesetzt werden, besitzt. Linguistische Zeichen treten im Allgemeinen in der Form von Zeichenketten auf, und es wird ihnen ein Signifikator zugeordnet, d.h. ein Konzept, eine Idee, die Repräsentation von etwas oder von einem mentalen Zustand.

Eine andere Art von Zeichen sind die Indizes. Sie basieren nicht auf einer Sprache mit einer doppelten Artikulation, sondern beziehen sich auf die Konstruktion von Hypothesen über eine Situation oder eine Sache zurück. Beispiele sind die Spuren von Tieren, die andeuten, dass diese vorbei gegangen sind, die Symptome einer Krankheit, die auf die Krankheit hindeuten, oder der Rauch als Anzeichen für Feuer. Der kognitive Prozess der Ableitung einer Hypothese aus einem Index heißt *Abduktion*. Er ist typisch für untersuchendes Schlussfolgern (z.B. in der Kriminalistik) und für die Diagnose.

#### 6.1.2. Definition und Modelle der Kommunikation

Existierende Ansätze zur Definition von Kommunikation gehen auf die Kommunikationstheorie von Shannon und Weaver (1940) zurück. In dieser Theorie besteht ein Kommunikationsakt aus dem Senden einer Information von einem *Sender* zu einem *Empfänger*. Die Information wird *kodiert* mittels einer *Sprache* und vom Empfänger dekodiert. Die Information wird über einen *Kanal* (oder

*Medium*) gesendet. Die Situation, in der sich Sender und Empfänger befinden und sich der ganze Prozess abspielt, heißt *Kontext*. Abbildung 6.1 illustriert diese Vorstellung.

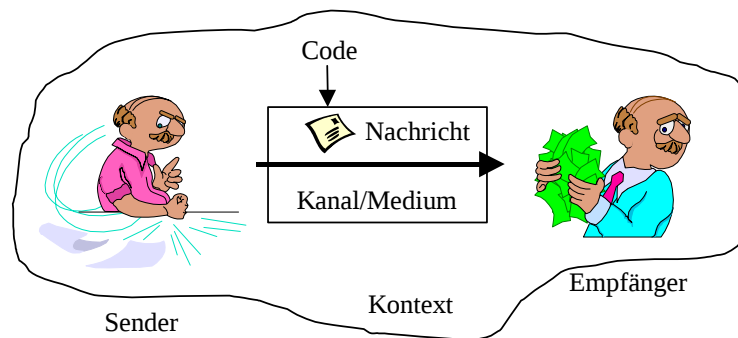


Abbildung 6.1

In den Sozialwissenschaften bildete sich die so genannte *Palo Alto-Schule* aus. Sie betonte, dass Kommunikation als ein integriertes Ganzes sei, d.h. eine Menge bedeutungsvoller Interaktionen zwischen Individuen. Kommunikation ist demnach ein permanenter sozialer Prozess, der verschiedene Verhaltensformen einschließt: Worte, Gesten, Blicke, Mimikry, interpersonaler Raum usw. Nachrichten haben danach für sich genommen keine Bedeutung, nur der Kontext erhellt die Bedeutung der Interaktionsformen.

Sperber und Wilson (1986) haben ein kognitionswissenschaftliches Modell der Kommunikation entwickelt, in dem die Konzepte der Inferenz und Repräsentation die wesentliche Rolle spielen. Die an der Kommunikation Beteiligten stellen eine Menge von Hypothesen über die Repräsentationen und Ziele des jeweils anderen auf. Der Sender macht eine „minimale“ Äußerung, d.h. eine die er für notwendig hält, damit der Empfänger seine kommunikative Intention versteht. Dabei geht er davon aus, dass der Empfänger auf Grund seiner Repräsentationen aus der Äußerung die richtigen Konsequenzen ableitet.

### 6.1.3. Kategorien der Kommunikation

In der Linguistik werden Sprechakte dadurch beschrieben, dass Kommunikationsarten mit Bezug auf die Beziehungen zwischen den verschiedenen an der Kommunikation beteiligten Agenten klassifiziert werden. Die Linguistik bezieht sich dabei auf das klassische Kommunikationsmodell. Diese Beziehungen sind:

- (1) Die Sender-Empfänger-Verbindung
- (2) Die Art des Mediums
- (3) Die Kommunikationsintention

#### Sender-Empfänger-Verbindung

Ist der Empfänger dem Sender bekannt, dann kann er ihm eine spezifische Nachricht schicken und damit eine individuelle Kommunikation initiieren. Man sagt, diese Art der Kommunikation erfolge im *point-to-point*-Modus. Sie ist die bei kognitiven Agenten am häufigsten benutzte. Sie wird in folgender Weise notiert:

$\langle id \rangle \quad \langle \text{Sender} \rangle : \langle \text{Adressat} \rangle \ll \langle \text{Äußerung} \rangle$

$\langle id \rangle$  ist der (optionale) Identifier der Nachricht,  $\langle Sender \rangle$  der sendende Agent,  $\langle Adressat \rangle$  der Agent, an den die Nachricht gerichtet ist, und  $\langle \text{Äußerung} \rangle$  der Inhalt der Nachricht.

Kennt der Sender den Empfänger nicht, dann wird die Nachricht im *broadcasting*-Modus an eine ganze Menge von Agenten verschickt, die zum Empfänger in einer Nachbarschaftsrelation stehen, sei es durch räumliche Nähe, Verknüpfung über ein Netz oder ähnlich. Diese Art der Kommunikation wird vor allem in dynamischen Umgebungen genutzt, in denen Agenten neu entstehen oder verschwinden können. Es wird zum Beispiel in Protokollen zur Aufgabenzuordnung wie dem Contract Net Protocol benutzt. In der obigen Notation wird nur der Empfänger durch das Wort *All* oder durch die Angabe der Nachbarschaftsrelation zwischen Sender und Menge von Adressaten ersetzt.

Broadcasting-Nachrichten können durch eine Menge von point-to-point-Nachrichten ersetzt werden, wenn eine Art vermittelnde Einheit existiert, die das Broadcasting durchführt. So kann z.B. die folgende Broadcasting-Nachricht (M3) durch die Menge von Nachrichten (M3') und (M3'') ersetzt werden, wobei C die vermittelnde Einheit ist:

(M3)  $A : \{x|P(x)\} \ll M$

(M3')  $A : C \ll \text{broadcast}(M)$

(M3'') for all x of Receivers(C),  $C : x \ll M$

### Art des Mediums

Man kann zwischen drei Arten der Nachrichtenübertragung unterscheiden: direkte Übertragung, Übertragung durch Signalpropagierung und Übertragung durch öffentliche Mitteilung.

1. *Direkte Übertragung* erfolgt, wenn ein Agent eine Nachricht dem Kanal übergibt und dieser sie direkt zum Empfänger oder zu den Empfängern transportiert. Die Entfernung wird nicht berücksichtigt, außer dies wäre in der Nachricht spezifiziert, und die Nachricht geht an keine anderen Agenten.

2. *Übertragung durch Signalpropagierung* ist typisch für reaktive Agenten. Ein Agent sendet ein Signal, das in der Umgebung verbreitet wird und dessen Intensität mit zunehmender Entfernung abnimmt. Üblicherweise erfolgt die Abnahme der Intensität linear oder quadratisch mit der Entfernung. Ist  $x_0$  der Ausgangspunkt des Signals, dann hat die Intensität des Signals am Punkt x also einen der beiden folgenden Werte

$$V(x) = \frac{V(x_0)}{\text{dist}(x, x_0)} \quad \text{oder} \quad V(x) = \frac{V(x_0)}{\text{dist}(x, x_0)^2}$$

Eine direkte Kommunikation ist bei dieser Übertragungsart schwierig, denn im Prinzip kann jeder Agent, der nahe genug an der Signalquelle ist, es hören und interpretieren. Soll eine solche Nachricht an einen spezifischen Empfänger gerichtet werden, dann müssen zusätzliche Daten hinzugefügt werden.

Der Effekt, dass die Intensität des ausgesandten Signals mit der Entfernung abnimmt, hat die Wirkung, dass sich räumliche Abstände als soziale Differenzen auswirken, vorausgesetzt die Agenten sind für die Intensität sensitiv. Angenommen, in einem reaktiven Multiagentensystem gebe es eine Quelle, die einen Stimulus S am Punkt  $x_0$  aussendet, und zwei Agenten A und B, in denen S das Verhalten P hervorruft. Wenn sich A näher an der Quelle befindet als B, dann ist das Stimulusniveau für A höher als für B, also wird bei A eine stärkere Tendenz zum Verhalten P aufgebaut als

bei B. Gibt es außerdem einen Mechanismus zur Verstärkung bereits ausgelöster Verhaltensweisen, dann der räumliche Unterschied sogar eine unterschiedliche Spezialisierung in den Verhaltensweisen der beiden Agenten hervor rufen. Auf diese Weise führen räumliche Unterschiede zu sozialen Differenzen.

3. *Übertragung durch öffentliche Mitteilung* ist die typische Übertragungsart bei Blackboard-Systemen, wird aber bei Multiagentensystemen seltener benutzt. Ein Agent bringt eine Nachricht, die er kommunizieren will, in einem öffentlichen Raum an, der Nachrichtenbrett, Tafel (Blackboard) oder Äther genannt wird. Diese Übertragungsart kombiniert die direkte Übertragung (durch Angabe einer Adresse im Kopf der Nachricht) mit der Übertragung durch Signalpropagierung.

### Kommunikationsintention

Bezüglich der Intention eines Agenten bei einer Kommunikation kann man zwei Formen unterscheiden: *Intentionale Kommunikation* entsteht durch den ausdrücklichen Wunsch eines Agenten zur Kommunikation, der Agent führt dann eine bewusste Handlung aus; *zufällige Kommunikation* entsteht als Nebeneffekt einer anderen Aktion ohne die Absicht des Agenten zur Kommunikation.

Zufällige Kommunikationen haben zwei besondere Merkmale: Ihre Bedeutung ist nur mit dem Zustand des Senders verbunden, auch wenn dieser nicht unbedingt in der Lage ist, die Kommunikation zu steuern, und ihre Interpretation folgt nicht aus einem vorab festgelegten Code, sie ist vielmehr vollständig variabel und hängt nur vom Empfänger und der Bedeutung, die dieser ihr zuweist, ab. Deshalb können Nachrichten der zufälligen Kommunikation z.B. von einem Tier verwendet werden um Artgenossen zu finden oder von einem Jäger um ein Beutetier zu jagen. Sie haben zwar eine Semantik (sie bezeichnet den Zustand des Senders), aber keine intrinsische Pragmatik, d.h. sie können beim Empfänger unterschiedliches Verhalten auslösen. Darin unterscheiden sie sich grundlegend von der intentionalen Kommunikation, deren Pragmatik durch die Sprechakt-Theorie untersucht werden kann.

Die Intention zur Kommunikation ist nicht ein absoluter Wert, sondern existiert in abgestufter Form, abhängig von den kognitiven Fähigkeiten des Senders. Es gibt komplexe Beziehungen zwischen den Repräsentationsfähigkeiten von Agenten und den Kommunikationsformen, die sie benutzen, wie Tieruntersuchungen ergeben haben. Nach Vaclair gibt es eine Vielzahl von Stufen der Intentionalität, die mit Komplexität der Kommunikation korrespondieren. In dieses System von Intentionalitätsstufen ist die zufällige Kommunikation eingeschlossen.

Intentionalität der Ordnung 0 beschreibt eine Situation, in der der Sender ein Signal sendet, weil er einen bestimmten inneren Zustand aufweist (z.B. wenn er schreit, weil er hungrig ist) oder weil er einen bestimmten Stimulus erhält (z.B. Wahrnehmung eines Jägers), selbst wenn kein Empfänger für das Signal existiert. Die Erzeugung des Signals geht nur auf eine Stimulus/Response-Beziehung zurück und hängt nicht von einer Überlegung seitens des Senders ab. Dies kann in folgender Weise notiert werden

X sendet die Nachricht M weil X S wahrnimmt

wobei S das Signal ist. M ist dann eine *zufällige Nachricht*. Intentionalität der Ordnung 1 setzt einen direkten Wunsch beim Sender voraus eine Wirkung beim Empfänger zu erzielen. Die Relation zwischen Nachricht und Intention kann so formuliert werden:

X sendet die Nachricht M to Y, weil X von Y will, dass er P tut

Höhere Ordnungen von Intention behandeln die Annahmen, die durch Nachrichten erzeugt werden. Zum Beispiel bei Ordnung 2 erwartet der Sender keine Antwort vom Empfänger, sondern will bei ihm eine Annahme über den Zustand der Welt erzeugen. Dies kann so notiert werden:

X sendet die Nachricht M to Y, weil X von Y will, dass er P annimmt

Intention der Ordnung 3 schließt eine dritte Partei ein. Sie wird beschrieben durch

X sendet die Nachricht M to Y, weil X von Y will, dass er annimmt, dass Z P glaubt

In Multiagentensystemen kommen nicht alle möglichen Formen von Kommunikation vor. Tabelle 6.1 zeigt die wichtigsten Formen, dargestellt nach den hier verwendeten Kriterien.

| Nachrichtentyp                          | Kommunikationsmodus                         | Übertragungsart  | Intentionalität       |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|-----------------------|
| point-to-point<br>symbolische Nachricht | point-to-point                              | direkt           | allgemein intentional |
| Broadcast symbolische<br>Nachricht      | allgemeines Broadcasting                    | direkt           | allgemein intentional |
| Ankündigung                             | point-to-point,<br>allgemeines Broadcasting | Nachrichtenbrett | allgemein intentional |
| Signal                                  | Broadcasting                                | Propagierung     | zufällig              |

Tabelle 6.1

#### 6.1.4. Zweck der Kommunikation

Man kann Kommunikation auch nach ihrer Funktion klassifizieren, d.h. nach dem, was sie bezwecken soll. Jakobson unterscheidet sechs verschiedene Funktionen: die expressive, conative, referentielle, phatische, poetische und metalinguistische Funktion.

- Die *expressive Funktion* charakterisiert die Haltung des Senders. Sie beschreibt den Zustand des Senders, seine Intentionen und Ziele und wie er die Dinge beurteilt und sieht. Diese Funktion dient dazu, Agenten zu synchronisieren um ihre Aufgaben zu koordinieren und bei ihnen gemeinsame Annahmen zu erreichen.
- Die *conative Funktion* charakterisiert einen Auftrag oder eine Forderung des Senders an den Empfänger. Sie ist mit einer Erwiderung der Akzeptanz oder Ablehnung verknüpft. In den meisten Multiagentensystemen hat die Kommunikation diese Funktion. Sie ist sicherlich die wichtigste Funktion in solchen Systemen.
- Die *referentielle Funktion* bezieht sich auf den Kontext. Sie garantiert das Senden von Daten, die sich auf die Fakten der Welt beziehen. Eine Nachricht mit dieser Funktion bezieht sich deshalb auf den Zustand der Welt oder einer dritten Partei.
- Die *phatische Funktion* dient im Wesentlichen dazu eine Kommunikation zu etablieren, fortzusetzen oder zu unterbrechen. Sie dient insbesondere dazu, das Funktionieren des Kanals zu überprüfen. Eine typische Nachricht mit dieser Funktion ist die Acknowledge-Nachricht in den Protokollen verteilter Systeme.
- Die *poetische Funktion* oder ästhetische Funktion beschreibt eine besondere Betonung der Nachricht. Sie spielt in Multiagentensystemen keine Rolle.
- Die *metalinguistische Funktion* bezieht sich auf alles, was Nachrichten, Sprache und die Kommunikationssituation betrifft. Diese Funktion ist in Multiagentensystemen sehr wichtig, denn sie

ermöglicht es, in Nachrichten über Nachrichten zu sprechen und die Konzepte, das Vokabular und die Syntax von Sender und Empfänger zu harmonisieren.

Eine Nachricht besitzt gleichzeitig mehrere Funktionen, insbesondere hat jede Nachricht eine expressive und eine phatische Funktion. Die folgende Nachricht

(SM1)      B : A << Für welche  $x$  gilt  $P(x)$ ?

hat zunächst conative Funktion (B will A zu einer Antwort veranlassen), sie hat aber auch expressive Funktion (der Zustand des Senders B ist, dass er etwas wissen will), und man kann ihr phatische Funktion beimessen (B wünscht den Dialog fortzusetzen). Die Funktion, die unmittelbar mit einer Nachricht verbunden ist, wird *primäre Funktion* genannt, alle anderen mit ihr verbundenen Funktionen *sekundäre Funktionen*.

## 6.2. Sprechakte

### 6.2.1. Sprechen als Handlung

Sprechakte bezeichnen all intentionalen Aktionen, die im Lauf einer Kommunikation ausgeführt werden. Es gibt mehrere Typen von Sprechakten; nach Searle und Vanderveken werden die folgenden Haupttypen unterschieden:

- (1) *Assertive* Akte geben Informationen über die Welt, indem sie etwas feststellen.
- (2) *Direktive* Akte erteilen dem Adressaten Anweisungen.
- (3) *Promissive* Akte verpflichten den Sprecher bestimmte Handlungen in der Zukunft auszuführen.
- (4) *Expressive* Akte geben dem Adressaten Hinweise auf den mentalen Zustand des Sprechers.
- (5) *Deklarative* Akte sind die bloße Aktion des Machens einer Äußerung.

Für die Verwendung in Multiagentensystemen sind diese Definitionen aber noch zu allgemein. Für sie ist eine präzisere Einteilung erforderlich. Es werden vor allem zwei Veränderungen vorgenommen. Erstens: Die direktiven Akte werden in die interrogativen und exerzitiven Akte unterteilt. Die Akte des ersten Typs stellen Fragen um eine Information zu bekommen, die des zweiten Typs fordern einen Agenten zu einer Aktion in der Welt auf. Zweitens: Es werden Sprechunterakte definiert, und zwar dadurch, dass das Objekt eines Aktes spezifiziert wird, und vor allem durch Charakterisierung der Konversationsstruktur, in die ein Sprechakt eingebettet ist.

### 6.2.2. Lokutorische, illokutorische und perlokutorische Akte

Sprechakte werden als komplexe Strukturen definiert, die aus drei Komponenten aufgebaut sind:

- Die *lokutorische* Komponente betrifft die materielle Erzeugung von Äußerungen durch das Aussenden von Schallwellen oder das Niederschreiben von Zeichen, also den Modus der Erzeugung von Phrasen mit Hilfe einer Grammatik und eines Lexikons.
- Die *illokutorische* Komponente betrifft die Ausführung des Aktes durch den Sprecher mit Bezug auf den Adressaten. Ilokutorische Akte lassen sich durch eine illokutorische Absicht (z.B. zusichern, fragen, bitten, versprechen, befehlen, informieren) und einen propositionalen Inhalt, das Objekt dieser Absicht, charakterisieren. Ilokutorische Akte kann man in der Form  $F(P)$  repräsentieren, wobei  $F$  die illokutorische Absicht und  $P$  der propositionale Inhalt ist.

Illokutorische Akte sind oft durch das Vorhandensein eines Verbs gekennzeichnet, das als *Performativ* bezeichnet wird und auf den Typ des Aktes hinweist. Ein typisches Beispiel ist der Satz „Ich bitte dich morgen zu kommen“. Das Performativ *bitte* weist auf einen direktiven illokutorischen Akt hin. Das Konzept der Performative ist für die Multiagentensysteme nützlich, denn sie werden dazu benutzt, verschiedene Formen von Sprechakten zu bezeichnen, die ein Agent äußern und verstehen kann. Deshalb wird das Äußern von Nachrichten durch Agenten durch

$\langle \text{Performativ} \rangle (\langle \text{Inhalt} \rangle)$

bezeichnet, wobei  $\langle \text{Performativ} \rangle$  ein Schlüsselwort ist, das den Typ des illokutorischen Aktes, der mit der Nachricht verbunden ist, und  $\langle \text{Inhalt} \rangle$  der propositionale Inhalt.

- Die *perlokutorische* Komponente betrifft die Wirkungen, die ein Sprechakt auf den Zustand, die Aktionen, Annahmen und Urteile des Adressaten haben kann. Beispiele sind überzeugen, inspirieren, fürchten machen, überreden usw. Für sie gibt es keine Performative, vielmehr sind sie Konsequenzen illokutorischer Akte.

Alle diese Sprechaktkomponenten sind in der selben Äußerung auf verschiedenen Ebenen vorhanden. Deshalb kann man auch von lokutorischen, illokutorischen und perlokutorischen Aspekten einer Äußerung reden. Wenn man Sprechakte diskutiert, dann sollte man sich implizit auf alle drei Aspekte beziehen, nicht nur auf den illokutorischen, wie es z.B. Searle und andere getan haben.

### 6.2.3. Erfolg und Erfüllung

Erfolg und Erfüllung sind Kriterien für Sprechakte. Zunächst kann ein Sprechakt erfolgreich sein oder nicht. Er ist erfolgreich, wenn sein Zweck erreicht wird. Ein Sprechakt kann auf verschiedene Weise Misserfolg haben:

- Bei der Artikulation des Sprechakts: Unverständliche Aussprache, Rauschen im Übertragungskanal, unbekannte Sprache.
- Bei der Interpretation des Sprechakts: Die Übertragung hat zwar geklappt und den richtigen Adressaten erreicht, aber der interpretiert die illokutorische Absicht des Senders nicht richtig.
- Bei der tatsächlichen Ausführung der gewünschten Handlung: Dafür gibt es eine Fülle von Gründen, z.B. das Fehlen der erforderlichen Fähigkeit oder die Weigerung des Adressaten. Der Adressat muss auch bereit sein, sich auf Versprechungen des Senders zu verlassen.

Allgemein ist ein Sprechakt erfolgreich, wenn der Sender den illokutorischen Akt ausführt, der mit dem Sprechakt verbunden ist. Zum Beispiel ist ein Versprechen erfolgreich, wenn der Sender sich verpflichtet, das Versprochene zu tun, oder eine Erklärung ist erfolgreich, wenn der Sender die Autorität hat das Erklärte auszuführen.

Im Unterschied zum Kriterium des Erfolgs bezieht sich das Kriterium der Erfüllung auf die perlokutorische Komponente des Sprechakts und berücksichtigt den Zustand der Welt, der aus dem Sprechakt folgt. So ist eine Bitte etwas zu tun erfüllt, wenn der Adressat ihr nachkommt, eine Frage ist erfüllt, wenn der Adressat darauf antwortet, eine Zusicherung ist erfüllt, wenn sie wahr ist, ein Versprechen ist erfüllt, wenn es gehalten wird. Das Kriterium der Erfüllung ist stärker als der Erfolg, denn aus der Erfüllung eines Sprechakts folgt der Erfolg, aber nicht umgekehrt.

### 6.3. Konversationen

Ein Sprechakt kommt nicht isoliert vor, sondern er hat in der Regel andere (Sprech-) Akte zur Folge. Ein Versprechen etwas zu tun erwartet die Ausführung der betreffenden Handlung, eine Bitte erwartet eine Handlung und hat weitere Aktionen zur Folge, z.B. Zustimmung oder Verweigerung durch den Adressaten und eine Benachrichtigung des Senders. Solche nachfolgenden Sprechakte sind für den Sender von Bedeutung, denn sie beeinflussen sein weiteres Handeln und seine Erwartungen.

Ein Sprechakt löst in der Regel weitere Sprechakte aus, führt also zu einer Kommunikation. Der Sprechakt

(M7) A : B  $\ll$  Question(welche Elemente enthält die Menge  $\{x|P(x)\}$ )

erwartet z.B. eine der folgenden drei Reaktionen:

(1) Die Antwort auf die Frage:

(M8) B : A  $\ll$  Answer(M7,  $a_1, \dots, a_n$ )

wobei  $a_1, \dots, a_n$  die Werte sind, die  $P(x)$  erfüllen.

(2) Eine Weigerung zur Beantwortung der Frage, eventuell zusammen mit einer Erklärung:

(M8') B : A  $\ll$  RefuseIncompetentRequest(M7)

(3) Eine Bitte um weitere Information, wodurch der Dialog auf eine Metaebene gehoben wird, denn jetzt muss über die Kommunikation gesprochen werden:

(M8'') B : A  $\ll$  MetaQuestion(M7, Argumente(P))

Um solche Konversationen zu modellieren benötigt man *Protokolle*, d.h. gültige Folgen von Sprechakten oder Nachrichten. Als Darstellungsmittel für Protokolle können z.B. endliche Automaten oder Petrinetze verwendet werden.

#### 6.3.1. Konversationen und endliche Automaten

Konversationen können als gerichtete Graphen beschrieben werden. Die Knoten repräsentieren Zustände der Kommunikation, die Kanten Übergänge, die durch Sprechakte oder Nachrichten ausgelöst werden. Ein solcher Graph kann auch als Zustandsübergangsgraph, also als endlicher Automat betrachtet werden. Der Graph von Abbildung 6.2 ist ein Beispiel für ein Protokoll.

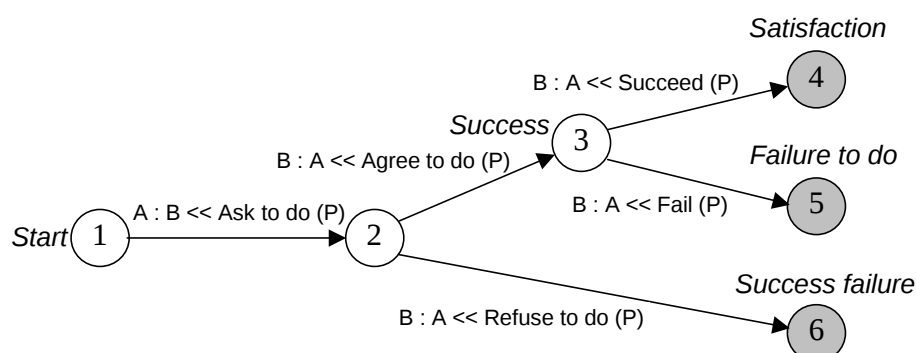


Abbildung 6.2

Die wichtigsten Merkmale einer kommunikativen Struktur sind:

- (1) Die Konversation beginnt mit einem größeren Sprechakt (zusichern, versprechend, fragend, erklärend), der als Folge der Intention eines Agenten gegenüber einem anderen Agenten geäußert wird.
- (2) In jedem Zustand der Konversation gibt es eine eingeschränkte Menge möglicher Aktionen. Diese sind größere oder kleinere Sprechakte, z.B. Weigerung, Zustimmung usw.
- (3) Es gibt Endzustände, die das Ende der Konversation bestimmen. Wird einer dieser Zustände erreicht, dann wird die Konversation als abgeschlossen betrachtet.
- (4) Ein Sprechakt verändert nicht nur den Zustand der Konversation, sondern auch den Zustand der Agenten (Annahmen, Verpflichtungen, Intentionen), der durch die Konversation hervorgerufen wird.

### 6.3.2. Konversationen und Petrinetze

Verwendet man Petrinetze zur Modellierung von Protokollen in Multiagentensystemen, dann wird jeder Agent durch ein eigenes Petrinetz beschrieben. In diesem werden seine internen Zustände durch Plätze und die durch die Konversation hervorgerufenen Übergänge zwischen ihnen durch Transitionen dargestellt. Genauer dienen die Transitionen teilweise zur Synchronisation der eingehenden Nachrichten, teilweise repräsentieren sie die Bedingungen von Aktionen. Die Sprechakte werden durch Plätze zwischen den beiden Agentennetzen repräsentiert. Abbildung 6.3 stellt die Konversation von Abbildung 6.2 in Form eines Petrinetzes dar.

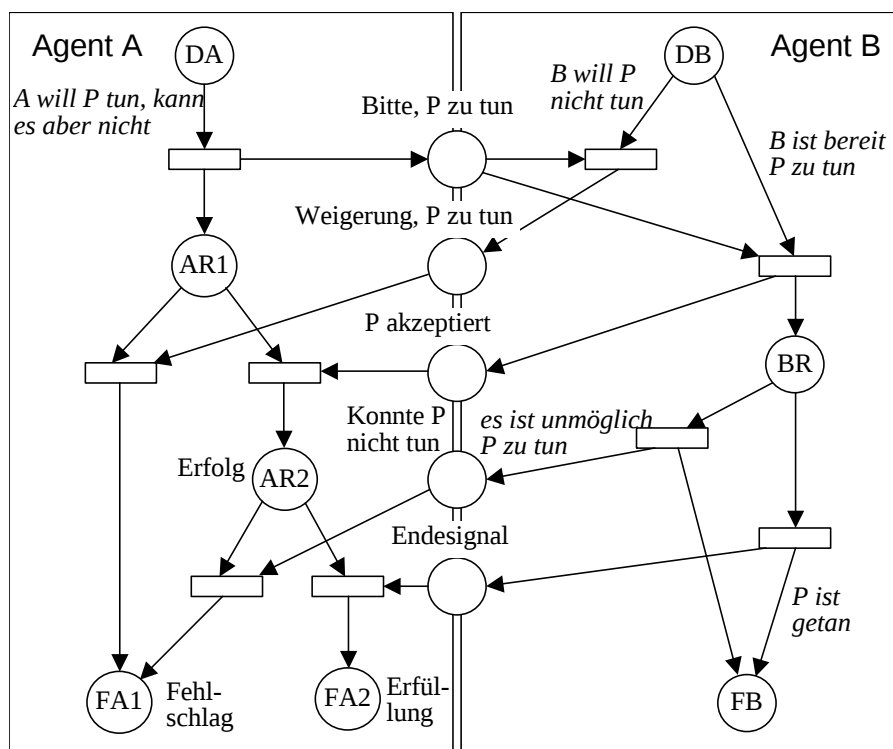


Abbildung 6.3

Der Vorteil der Petrinetze ist, dass sie nicht nur die Sprechakte darstellen, sondern gleichzeitig auch die internen Zustände der Agenten mit ihren Übergängen. Dadurch kann genauer beschrieben werden, was während der Konversation abläuft. Auch die typischen Merkmale der Sprechakte können dargestellt werden, z.B. die Notation von Erfolg, Misserfolg oder Erfüllung. Mit Hilfe gefärbter Petrinetze kann auch die gleichzeitige Konversation mehrerer Agenten modelliert werden.

Die Tokens sind dann Strukturen, die den Inhalt der Konversation widerspiegeln. Die einzelnen Sprechakte werden nummeriert, so dass sie jeweils der richtigen Konversation zugeordnet werden können.

### 6.3.3. Eine Klassifikation der Sprechakte in Multiagenten-Konversationsstrukturen

Die Beschreibung eines Sprechakts besteht aus zwei Teilen: Einem Formular, in dem die einzelnen Angaben zum Sprechakt enthalten sind, und einem BRIC-Diagramm, das die konversationale Struktur wiedergibt. In den Formularen sind die Bedingungen für die Anwendung des Sprechakts aus der Sicht des Initiators enthalten, die Bestandteile der illokutorischen Komponente des Sprechakts, die Bedingungen für Erfolg und Erfüllung, mögliche Fehler und normale Konsequenzen. Das Formular besteht aus folgenden Teilen:

**Format:** Beschreibt die Syntax der Nachricht, die mit dem Sprechakt verbunden ist. Es hat die Form  $A : B \ll F(P_1, \dots, P_n)$ , wobei  $A$  der sendende Agent ist,  $B$  der Adressat,  $F$  das Performativ, das den Sprechakt anzeigt, und wobei die  $P_i$  den propositionalen Inhalt des Sprechakts bezeichnen.

**Subakte:** Listet die Varianten des Sprechakts und ihre Performative auf.

**Bedingungen:** Gibt die Bedingungen für die Realisierung des Sprechakts an, d.h. die Bedingungen, die erfüllt sein müssen für die Anwendung. Sie beziehen sich allgemein auf die Intentionen und Annahmen des Senders und auf die Fähigkeiten der Kommunikationspartner.

**Erfolg:** Beschreibt die normalen Konsequenzen des Erfolgs des Sprechakts und die damit verbundene Nachricht.

**Erfüllung:** Listet die Nachbedingungen der Erfüllung und die damit verbundene Nachricht auf.

**Misserfolg:** Beschreibt die erfassbaren Bedingungen eines Misserfolgs, d.h. diejenigen, die auf Grund des Nichterfülltseins einzelner Bedingungen der Realisierung vorhersagbar sind. Misserfolge, die mittels spezifischer Nachrichten mitgeteilt werden, haben Folgen für die Annahmen des Senders und seinen Zustand. Erklärungen werden nicht gegeben, sie müssen bei Bedarf extra abgefragt werden.

Die Bedingungen und Konsequenzen der Sprechakte werden mit Hilfe einiger grundlegender Cognitons und Prädikate formuliert, die im Folgenden aufgelistet sind.

#### Kognitons

$\text{believe}(A, P)$ : Agent  $A$  nimmt  $P$  an. Annahmen werden als überprüfbar betrachtet.  $\text{believe}(A, P)$  in prädikativer Verwendung bedeutet, dass Agent  $A$  annimmt, dass  $P$  gilt, innerhalb einer Aktion, dass Agent  $A$  ab sofort annimmt, dass  $P$  gilt und seine Annahmen dementsprechend aktualisiert.

$\text{goal}(A, P)$ : Agent  $A$  hat das Ziel, dass Bedingung  $P$  wahr sein soll.

$\text{intention}(A, P)$ : Agent  $A$  hat die Intention, die Aktion  $P$  auszuführen.

$\text{commit}(A, B, P)$ : Agent  $A$  ist verpflichtet  $P$  für  $B$  zu tun.

$\text{competent}(A, P)$ : Agent  $A$  hat die Fähigkeit Aktion  $P$  auszuführen.

#### Prädikate

$\text{compute}(E)$ : Repräsentiert die Aktion einen Ausdruck  $E$  zu berechnen.

$\text{perceive}(A, E)$ : Zeigt an, ob Agent  $A$  das Objekt oder die Situation  $E$  wahrnimmt.

$\text{exec}(P)$  : Zeigt an, ob Aktion  $P$  ausgeführt wird oder nicht.

$\text{wantDo}(A, P)$  : Agent  $A$  wird irgendwann in der Zukunft bereit sein,  $P$  zu tun.

### Ausführungs-Sprechakte

Die wichtigsten Ausführungs-Sprechakte sind Delegation und Subskription. Beide dienen zum Initiieren einer Konversation.

#### Delegation

Delegationen sind z.B. Bitten um Aktionen oder Bitten um Lösungen. Sie werden neben den Fragen am häufigsten zur Eröffnung einer Konversation benutzt. Eine Bitte wird an einen anderen Agenten geschickt und dieser informiert darüber, ob er sich zur Ausführung der Aufgabe verpflichtet oder nicht. Wenn sich der andere Agent verpflichtet, dann kann er auf zwei Arten reagieren:

- a) Er sendet eine Nachricht über das Ende der Aktion zurück oder schickt die Lösungen zurück, falls es sich um ein zu lösendes Problem handelt.
- b) Er informiert, dass es ihm nicht möglich war seine Verpflichtung einzulösen, trotz seines Versprechens.

Abbildung 6.4 zeigt ein Formular und ein BRIC-Diagramm für die Delegation.

#### Subskription

Mit Subskription ist die Bitte eines Agenten um Information über das Eintreten von Ereignissen oder über das Wissen eines anderen Agenten über einen speziellen Gegenstand. Tätigkeiten, die etwas mit Erforschung, Überwachung oder Wahl zu tun haben sind Beispiele dafür, wo Subskription vorkommen kann, wenn nämlich ein Agent die Aufgabe hat, Informationen über die Ereignisse an andere zu schicken. Die Subskription kann in regelmäßigen Abständen oder ereignisorientiert erfolgen. Abbildung 6.5 zeigt ein Formular und ein BRIC-Diagramm für die Subskription.

Das Diagramm zeigt speziell die ereignisorientierte Subskription, weil die Erfüllung bei  $A$  nur dann eintreten kann, wenn  $B$  eine Information über ein Ereignis bekommt.

### Interrogative Sprechakte

Interrogative Sprechakte werden für Fragen benutzt, deren Beantwortung keine komplexe Berechnung erfordert. Die Fragen können sich auf die Welt beziehen, z.B. Fragen danach, was der Agent annimmt, oder auf den mentalen Zustand des Adressaten, z.B. nach seinen Zielen, Verpflichtungen, Kontakten usw. Abbildung 6.6 zeigt ein Formular und ein BRIC-Diagramm für interrogative Sprechakte.

Erfolg ist hier identisch mit Erfüllung, denn es gibt nur zwei Möglichkeiten für  $B$ : Im positiven Fall weiß er die Antwort und ist bereit sie zu geben, im negativen Fall weiß er sie nicht oder ist nicht bereit sie zu geben, beides führt zu Misserfolg.

**Bitten:** Grundlegender Sprechakt, bei dem ein anderer Agent um die Ausführung einer Aufgabe (Ausführen einer Aktion oder Lösen eines Problems) gebeten wird.

**Format**

$A : B \ll \text{Request}(P)$  wobei  $P$  eine Aufgabe ist

**Subakte**

$\text{RequestSolve}(P)$  wobei  $P$  ein Problem ist

**Bedingungen**

$\text{goal}(A, C) \wedge \text{believe}(A, \text{exec}(P) \Rightarrow C) \wedge \text{believe}(A, \text{competent}(B, P)) \wedge$   
 $\text{believe}(A, \text{wantDo}(A, P)) \wedge [\text{believe}(A, \neg \text{competent}(A, P)) \vee$   
 $\neg \text{wantDo}(A, P)]$

$\text{believe}(A, \neg \text{eventually}(C))$

**Erfolg**

$A : B \ll \text{Request}(P) \rightarrow \text{commit}(B, A, P)$

**Erfüllung**

$B : A \ll \text{NotificationEndAction}(P) \rightarrow \text{believe}(A, C)$  wobei  $P$  eine Aktion ist

$B : A \ll \text{Result}(P, R) \rightarrow \text{believe}(A, R)$  wobei  $P$  ein Problem ist

**Misserfolg**

$B : A \ll \text{RefuseDo}(P) \rightarrow \text{believe}(A, \neg \text{competent}(B, P)) \vee \neg \text{wantDo}(B, P)$

$A \ll \text{FailureDo}(P) \rightarrow \text{frage nach Erklärungen}$

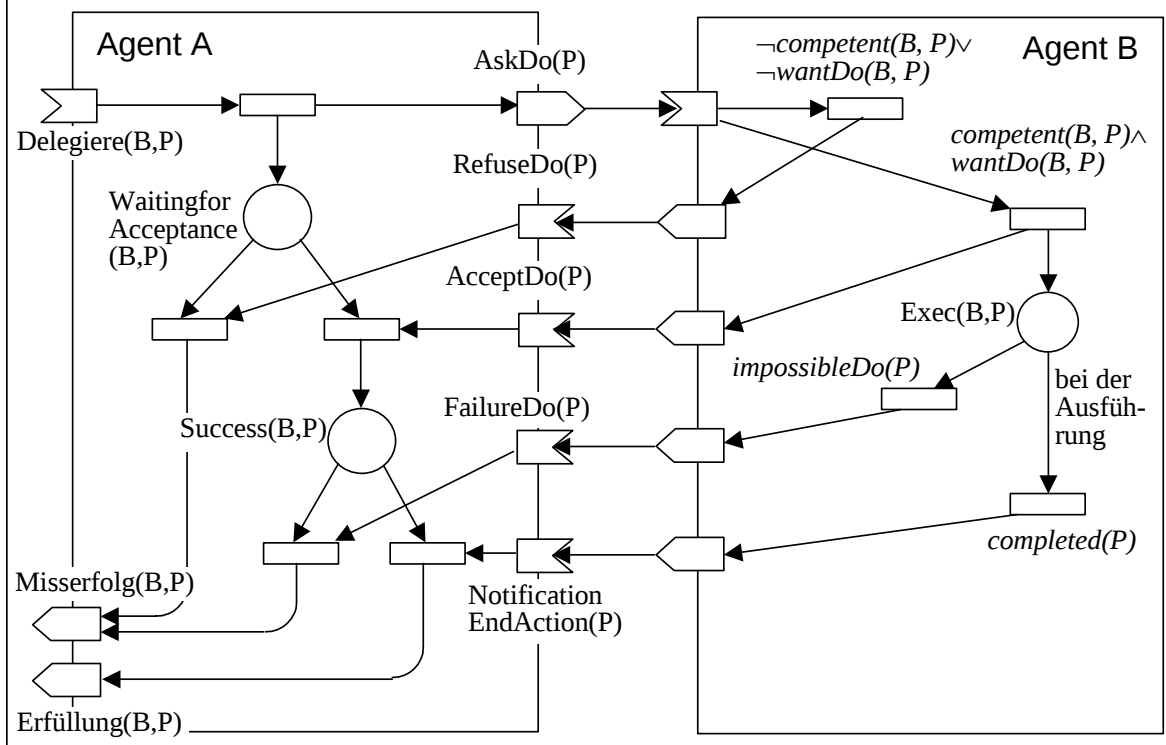


Abbildung 6.4

## Assertive Sprechakte

Assertive Sprechakte dienen dazu, Informationen über die Welt, also über Objekte oder Situationen, zu übermitteln. Man kann zwei Ebenen assertiver Sprechakte unterscheiden: Bei der ersten werden Informationen als Antwort auf Fragen übermittelt; sie sind deshalb Bestandteil anderer Sprechakte, etwa der interrogativen. Bei der zweiten möchte man einen anderen Agenten von etwas überzeugen. Im ersten Fall sind Erfolg und Erfüllung miteinander verbunden, vgl. die Formalisierung des interrogativen Sprechakts. Im zweiten Fall besteht der Sprechakt aus zwei Phasen: In der ersten werden

die Daten gesendet, sie kann zum Erfolg führen, in der zweiten werden die Daten akzeptiert, sie kann zur Erfüllung führen, und zwar dann, wenn die Information mit den Annahmen des Empfängers kompatibel ist. Abbildung 6.7 zeigt ein Formular und ein BRIC-Diagramm für den Sprechakt *Zusichern*.

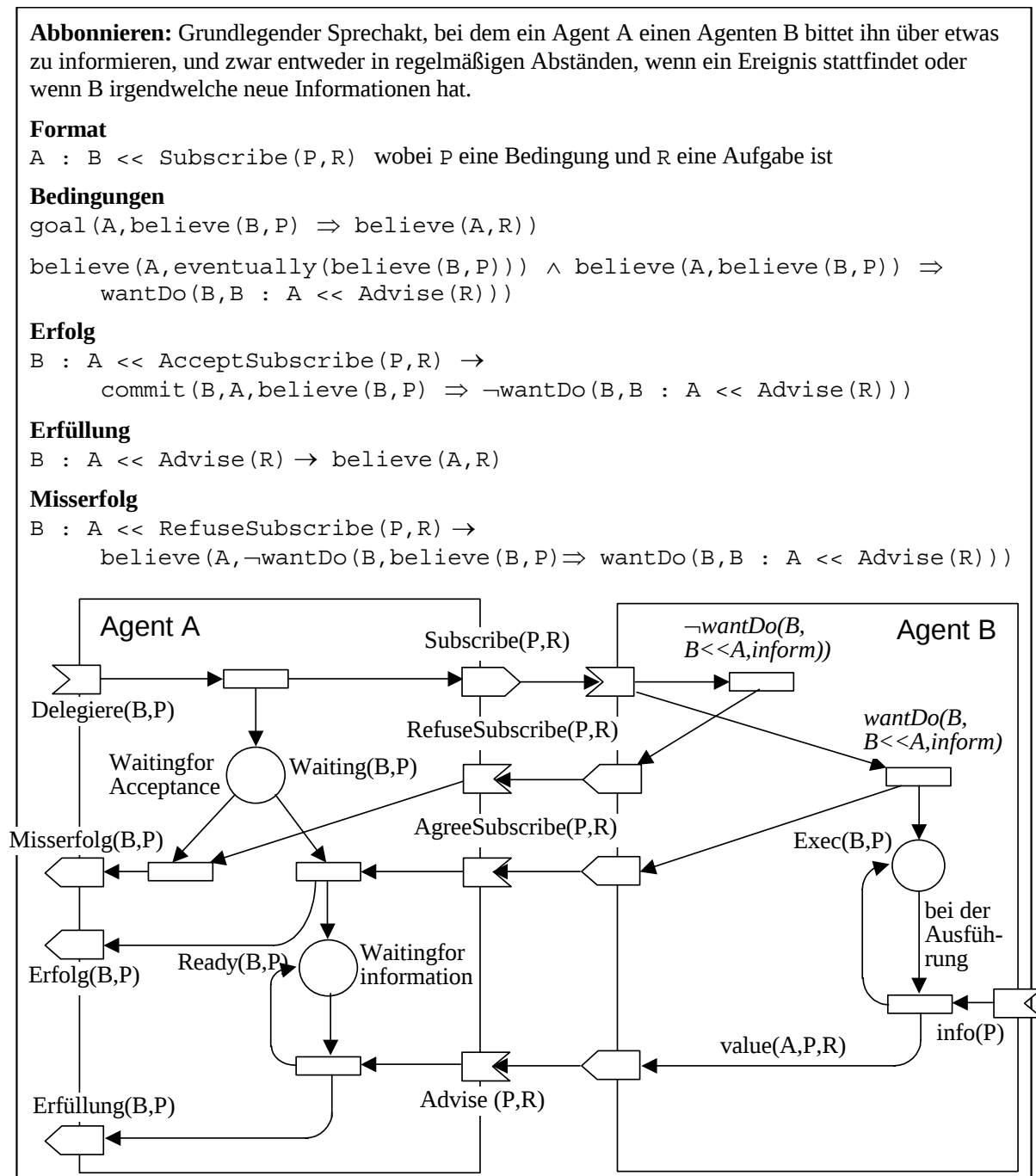


Abbildung 6.5

**Fragen:** Grundlegender Sprechakt, bei dem ein anderer Agent um Information gebeten wird.

**Format**

$A : B \ll \text{Question}(f, P)$  wobei  $P$  ein Datum und  $f$  eine Funktion ist

**Subakte**

$\text{QuestionBoolean}(P)$  wobei  $P$  eine Aussage ist

$\text{QuestionReasons}(E)$  wobei  $E$  ein Ausdruck ohne Variable ist

**Bedingungen**

$\text{goal}(A, \text{believe}(A, R))$  mit

$R = f(P) \wedge \text{believe}(A, \text{competent}(B, f)) \wedge \text{believe}(A, \neg \text{competent}(A, f))$   
 $\wedge \text{believe}(A, \neg \text{believe}(A, R)) \wedge \text{believe}(A, \text{wantAnswer}(B, f))$

**Erfüllung**

$B : A \ll \text{Answer}(R) \rightarrow \text{believe}(A, R)$

**Misserfolg**

$B : A \ll \text{RefuseAnswer}(R) \rightarrow$   
 $\text{believe}(A, \neg \text{wantAnswer}(f) \vee \neg \text{competent}(B, f))$

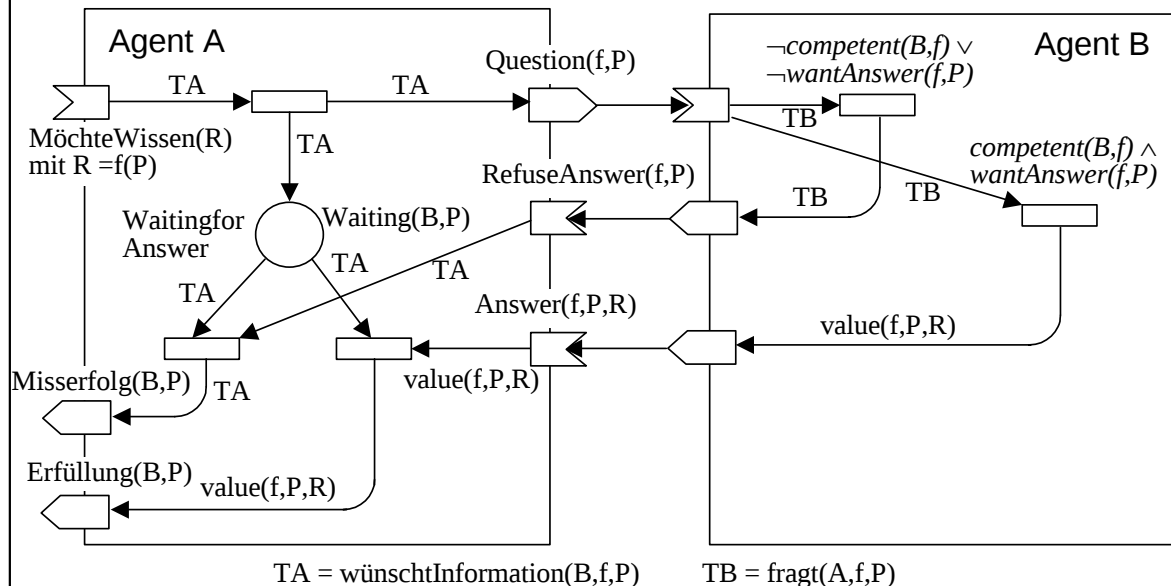


Abbildung 6.6

Zusätzlich zu den Hauptsprechakten, die bisher behandelt wurden, kann man noch weitere Sprechakte definieren, u.a. die folgenden:

**Promissive Sprechakte**

**OfferService:** Ein Agent A bietet einem anderen Agenten B seine Dienste an. B kann sie ablehnen oder akzeptieren. A verpflichtet sich dabei gegenüber B und muss, seinen Fähigkeiten entsprechend, die Befehle von B ausführen.

**Propose/Confirm/Refute/Hypothesis:** Diese Performative werden beim verteilten Problemlösen benutzt.

**Expressive Sprechakte**

**KnowHowDo:** Ein Agent A zeigt B seine Fähigkeiten an.

**Believe:** Ein Agent A zeigt B seine Überzeugung über einen Sachverhalt an.

**Zusichern:** Grundlegender Sprechakt, bei dem ein anderer Agent von etwas überzeugt werden soll.

**Format**

$A : B \ll \text{Assert}(R)$

**Bedingungen**

$\text{goal}(A, \text{believe}(B, R)) \wedge \text{believe}(A, \neg \text{believe}(B, R))$

**Erfüllung**

$B : A, \text{Acquiesce}(R) \rightarrow \text{believe}(A, \text{believe}(B, R))$

**Misserfolg**

$B : A, \text{RefuseBelieve}(R) \rightarrow \text{believe}(A, \text{believe}(B, \neg R))$

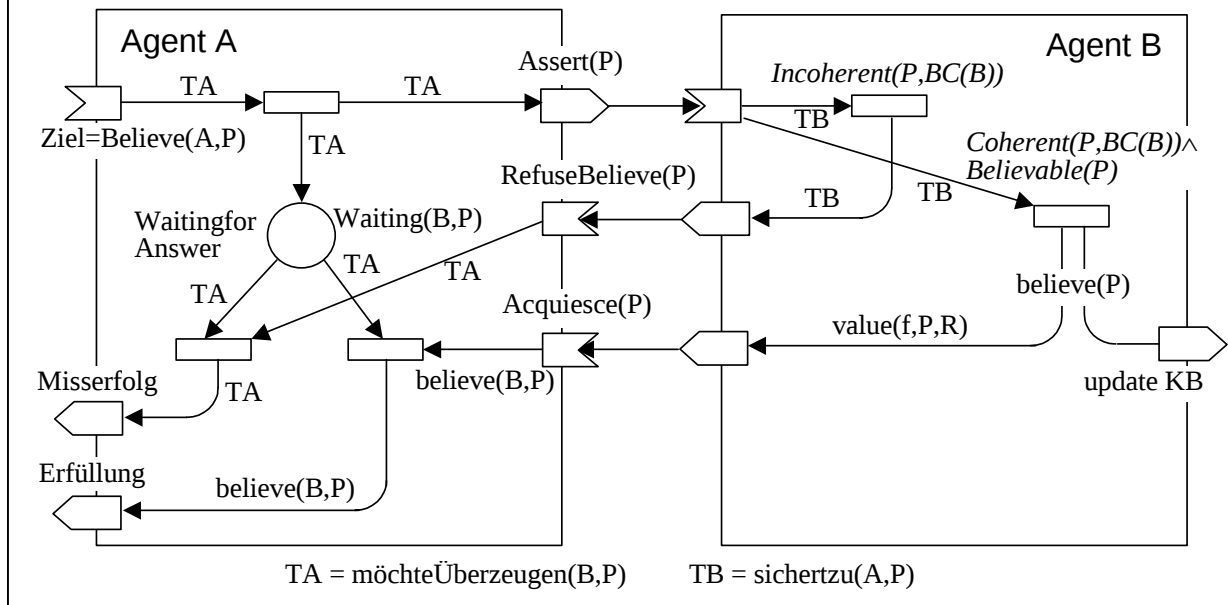


Abbildung 6.7