

# Kapitel 6

## Konzeptbildung in einem relativen Referenzsystem

Nachdem bisher die theoretischen und empirischen Grundlagen von LOKATOR erläutert und im letzten Kapitel das System selbst beschrieben wurde, widmen sich die beiden nächsten Kapitel den Experimenten, die in LOKATOR durchgeführt wurden. Dazu zunächst eine kurze Rekapitulation der in dieser Dissertation behandelten Fragestellungen: Vorrangiges Ziel ist die Bedeutungskonstitution in situierten Systemen, hier interpretiert als Konzeptbildung in der und durch die Interaktion mit der Umwelt unter Berücksichtigung verschiedener Eingabemodalitäten (visuelle und sprachliche Eingaben). Durch die Kombination verschiedener Modalitäten rückt die Frage nach der Interaktion und der gegenseitigen Beeinflussung der Modalitäten untereinander in den Blickpunkt.

Gerade im Hinblick auf die sprachliche Modalität ergeben sich zwei interessante Fragestellungen. Die Verankerung sprachlicher Symbole in sensorischen Eingaben ist ein zentrales Problem, wenn verstanden werden soll, wie ein abstraktes Symbolsystem, dessen Zeichen zunächst arbiträr sind, auf die erfahrbare Realität bezogen werden kann. Indem Konzepte in LOKATOR durch die Verwendung beider Eingabemodalitäten gebildet werden, sind die sprachlichen Symbole immer auf die erfahrenen visuellen Eingaben bezogen und so direkt in diesen verankert.

Ein zweiter, viel diskutierter Punkt, der gerade in letzter Zeit durch neue empirische Methoden und Ergebnisse wieder in den Fokus der Aufmerksamkeit rückt, ist die Frage, ob, und wenn ja wie, Sprache Einfluss auf das Denken nimmt, genauer: auf nichtlinguistische kognitive Prozesse. Im System LOKATOR wird diese Einflussnahme während der Bildung von Konzepten lokalisiert und manifestiert sich insbesondere durch die Modifizierung der Analysemechanismen visueller Eingaben.

Bedeutungskonstitution wird in LOKATOR als Bildung von Konzepten verstanden. In Kapitel 2 ist deutlich geworden, dass der Begriff des Konzeptes keineswegs geklärt ist, sondern im Gegenteil heftig diskutiert wird. Die Art der Kon-

zeptbildung in LOKATOR orientiert sich grob an dem Ansatz einer dynamischen Konzeptklärung. Hauptdefinitionsmerkmal für ein Konzept sind in diesem Sinne die mit dem Konzept ausgeführten Funktionen. Dynamisch wird hier allerdings nicht in dem Sinne verstanden, dass Konzepte lediglich Epiphänomene darstellen und situationsabhängig generiert werden. Der Begriff der Dynamik bezieht sich vielmehr auf die Variabilität von Konzepten, insbesondere des Inhalts von Konzepten.

Zwei unterschiedliche Arten der Variabilität müssen berücksichtigt werden. Einerseits stellen Konzepte immer eine Art *Erfahrungsgeschichte* des Agenten dar, da sie während und durch die Interaktion des Agenten in konkreten Situationen gebildet werden. Daher kann nicht davon ausgegangen werden, dass einmal gebildete Konzepte keiner Veränderung mehr unterworfen sind. Ändern sich die erfahrbaren Situationen, indem beispielsweise qualitativ neue Erfahrungen hinzukommen, müssen auch etablierte Konzepte angepasst werden können. Dynamik im Sinne von Variabilität kann andererseits auch zwischen Agenten bestehen. Wiederum basiert diese Feststellung auf der Situiertheit des Konzeptbildungsprozesses. Wenn Konzepte durch und in der Interaktion des Agenten in gegebenen Situationen gebildet werden, sind die Konzepte auf diese Situationen bezogen. Unterscheiden sich die Situationen voneinander, die zwei Agenten erfahren, kann das die von ihnen gebildeten Konzepte beeinflussen. Gleiche Funktionalität wird so auf der Basis inhaltlich unterschiedlich strukturierter Konzepte möglich. Dies kann sogar der Fall sein, wenn Agenten mit den gleichen Situationen konfrontiert werden, da sie u.U. auf unterschiedliche Aspekte fokussieren.

Die gewählte Domäne räumlicher Referenzen und zugrundeliegender, unterschiedlicher Referenzrahmen stellt zusätzlich die Frage, wo die Universalien sprachlicher und konzeptueller Systeme zu suchen sind. Die Antwort im System LOKATOR folgt hier den Ideen Regiers (1996), der Universalien auf einer prozessualen Ebene ansiedelt (Abschnitt 4.7). Damit beschränken sie Variationsmöglichkeiten, ohne unterschiedliche Möglichkeiten der Konzeptualisierung zu stark zu limitieren, wie es frühere Ansätze taten, die Universalien auf einer konzeptuellen Ebene ansiedelten (z.B. Miller & Johnson-Laird, 1976; siehe auch Abschnitt 2.1.2). Die Idee universeller Verarbeitungsprozesse im Gegensatz zu universellen Strukturen (Repräsentationen) folgt auch den Ideen Levinsons (2001), der anführt, dass die Negierung universeller Strukturen gerade die Frage eingebauter Heuristiken zur Einschränkung des Hypothesenraumes beim Spracherwerb in verstärktem Maße aufwirft, um das Problem überhaupt handhabbar zu machen (Abschnitt 3.4).

Die im Folgenden vorgestellten Experimente sollen also vier Aspekte verdeutlichen:

1. Sprachliche Symbole werden in sensorischen (hier: visuellen) Eingaben verankert.
2. Sprachlicher Einfluss auf nichtlinguistische Fähigkeiten manifestiert sich durch multimodale Konzeptbildung.

3. Konzepte liegen als dynamische Repräsentationen vor.
4. Universalien finden sich in Form universeller Prozesse, nicht universeller Strukturen.

Die ersten drei Punkte werden hauptsächlich in den Experimenten 1 und 2 untersucht. Hier wird ein sprachlicher Referenzrahmen verwendet, der einem relativen System entspricht. Die Experimente 3 und 4 befassen sich zusätzlich mit dem vierten Aspekt, da in diesen Fällen auch die Konzeptbildung unter Verwendung eines absoluten Systems berücksichtigt wird.

In allen Experimenten mussten die erzeugten Agenten ihre Umwelt explorieren. Diese ist in den Abbildung 5.3 und 5.16 zu sehen. Unterschiedliche Objekte sind zu erkennen. Es handelt sich im einzelnen um Häuser, Bäume, drei verschiedene Tierarten, Brunnen und Zäune (siehe auch Anhang A). Ein Agent kann sich beliebig bewegen. Diese Bewegung wird mittels einer behaviorbasierten Steuerungsarchitektur kontrolliert, die u.a. verhindert, dass ein Agent vor ein Objekt stößt. Die Sprachgemeinschaft wird durch den Experimentator simuliert, der in unregelmäßigen Abständen die aktuelle Szene kommentiert. Ein solcher Kommentar löst gegebenenfalls den Konzeptualisierungsprozess aus (Abschnitt 5.5).

## 6.1 Experiment 1: Dichotomien

In einem ersten Experiment werden anhand einer einfachen Lernaufgabe die verwendeten Analysemechanismen eingeführt und erste Ergebnisse zu den Fragen der sensorischen Verankerung sprachlicher Symbole, des sprachlichen Einflusses auf den Prozess der Konzeptbildung sowie einer dynamischen Konzeptidee vorgestellt.

Die Agenten in diesem Experiment explorieren ihre Umwelt (s.o.) und erhalten dabei sprachliche Eingaben, in denen ein relatives System der Raumreferenz realisiert ist (Deutsch).

### 6.1.1 A: *rechts* vs *links*

Fünf Agenten wurden für dieses Experiment erzeugt, die während der Exploration ihrer Umwelt sprachliche Eingaben erhielten, in denen ein Objekt entweder als *rechts* oder als *links* eines Referenzobjektes lokalisiert wurde. Erlernt werden musste also die *rechts-/links*-Dichotomie. Da diese Dichotomie über eine der grundlegenden Achsen der Raumkognition wahrnehmbar ist, sollte ihr Erwerb kein prinzipielles Problem darstellen.

Die Agenten erhielten jeweils 1600 sprachliche Eingaben, die gegebenenfalls die Konzeptualisierungsroutinen anstießen. Von diesen 1600 Eingaben realisierten jeweils ca. die Hälfte eine der beiden beteiligten Relationen *rechts* und *links*. Die

Zahlen schwankten zwischen 792 (49.5%) und 810 (50.63%) für *rechts* und zwischen 790 (49.38%) und 808 (50.5%) für *links*. Da keine Trennung in Trainings- und Performanzphase erfolgt, versuchten die Agenten zu jedem Zeitpunkt, die aktuellen Eingaben auf der Grundlage der bis dahin gebildeten Konzepte zu kategorisieren. Daher wurde zu jedem Zeitpunkt der Kategorisierungserfolg gespeichert.

**Ergebnisse (qualitativ)** Abbildung 6.1 zeigt auf der linken Seite die Erfolgskurven für die fünf Agenten. Diese Kurven stellen dar, wie erfolgreich die etablierten Konzepte zur Kategorisierung der visuellen und sprachlichen Eingaben verwendet werden konnten. Als Ankerpunkt der Berechnung dient der Agent selbst (*obj1000*). Alle fünf Agenten haben „funktionierende“, d.h. für die Funktion der Kategorisierung geeignete, Konzepte gebildet. Der Erfolg variiert zwischen den Agenten und liegt nach der Stabilisierung der Konzepte (Anzahl der Versuche > 800) zwischen 90 und 100%.

Zusätzlich zum Kategorisierungserfolg zeigt Abbildung 6.1 auf der rechten Seite das perzeptuelle System jedes Agenten. Dargestellt sind diejenigen Merkmalsdetektoren, die sich nach 1600 Versuchen für die Analyse der berechneten perzeptuellen Merkmale etabliert haben (Abschnitt 5.3.2). Jeweils in der oberen Reihe finden sich von links nach rechts die Merkmalsdetektoren für den Winkel zwischen dem Vektor, der die Schwerpunkte zweier Objekte verbindet, und der VERTIKALEN (V), HORIZONTALLEN (H) bzw. 2. SAGITTALEN (2S). Darunter sind die Detektoren für die Merkmale ABSTAND (ABS) und AUSRICHTUNG (AUS) abgebildet.

Alle Agenten haben ihre perzeptuellen Systeme auf unterschiedliche Weise modifiziert. Treibende Kraft dieser Modifizierungen sind die erfahrenen Situationen, die zwischen den Agenten variieren. Eine genaue Analyse der gebildeten Konzepte und der beteiligten Merkmalsdetektoren zeigt, dass bei allen Agenten ein Merkmalsdetektor als Hauptkriterium für die Kategorisierung dient. Dieser Detektor wertet den Winkel zwischen dem Vektor, der die beiden Schwerpunkte verbindet und der Horizontalen aus und entspricht daher der Wahrnehmung auf einer der Hauptachsen der Raumkognition.

Die Abbildungen 6.2 und 6.3 zeigen exemplarisch für zwei Agenten die Erfolgskurven der gebildeten Konzepte (oberer Teil der Abbildungen), sowie die hauptsächlich in den Konzepten verwendeten Merkmalsdetektoren. Zu jedem Konzept sind zwei Erfolgskurven angegeben. Die obere zeigt, wie erfolgreich der Einsatz des Konzeptes zu einem bestimmten Zeitpunkt war, gemittelt über alle bis dahin erfahrenen Situationen. Die untere Kurve stellt den lokalen Erfolg dar, d.h. bezogen auf den letzten Messpunkt. Dabei fällt auf, dass die Etablierung der Konzepte generell in zwei Phasen zerfällt. Anfänglich sind die gebildeten Konzepte häufiger Veränderung unterworfen, was zu einer instabilen Performanz führt. Mit der Zeit kristallisieren sich auf die erfahrenen Situationen bezogen erfolgreiche Merkmale

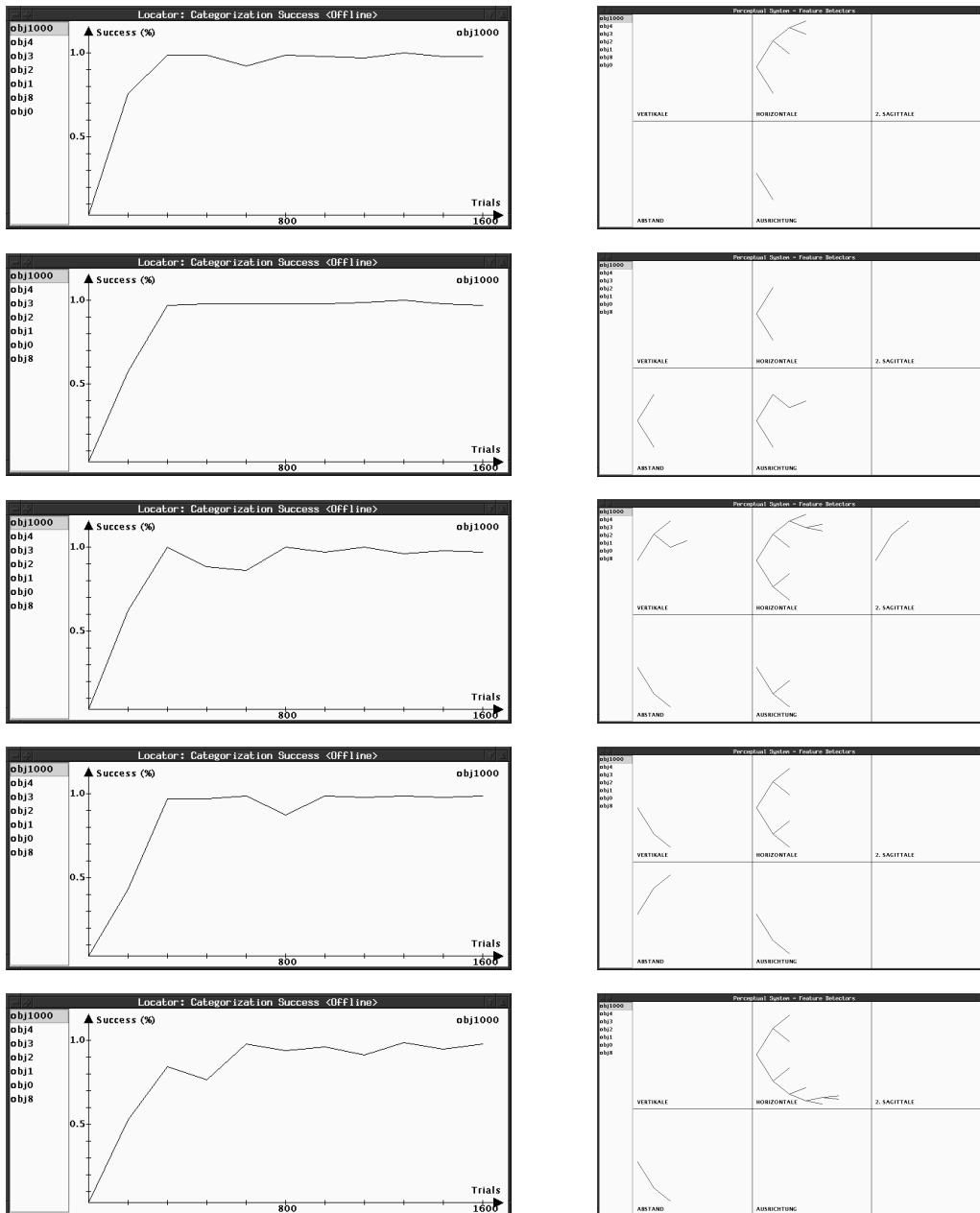


Abbildung 6.1: Experiment 1A: *rechts* vs *links*. Kategorisierungserfolg (links) und perzeptuelles System (rechts) der Agenten 1–5.

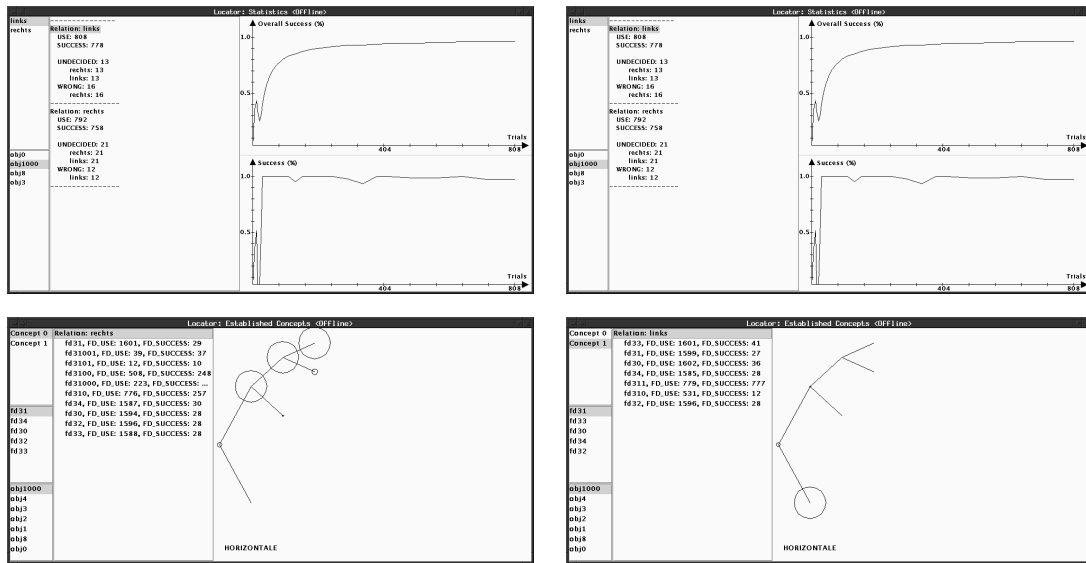


Abbildung 6.2: Experiment 1A: *rechts* vs *links*. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale (Agent 1).

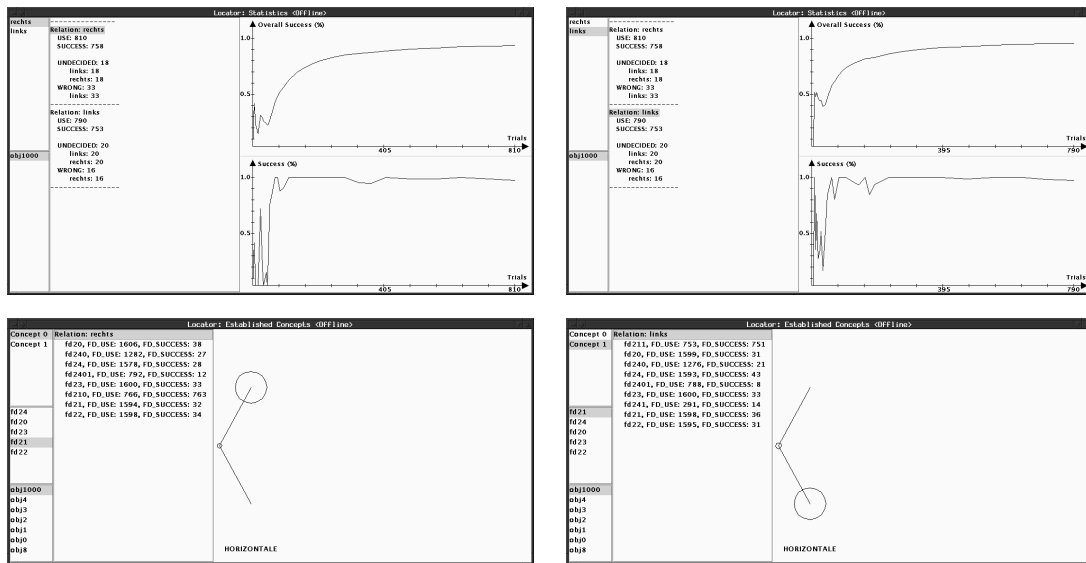


Abbildung 6.3: Experiment 1A: *rechts* vs *links*. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale (Agent 2).

heraus, die eine stabile Performanz erlauben. Als Hauptentscheidungskriterium für die Kategorisierung bilden sich bei allen Agenten trotz situativ unterschiedlicher Eingaben Merkmalsdetektoren des Merkmals H heraus. Dabei wird der Wertebereich zwischen 0 und 0.5 im Konzept RECHTS verwendet, der Wertebereich von 0.5 bis 1 im Konzept LINKS. In den Abbildungen der verwendeten Merkmalsdetektoren (unterer Teil der Abbildungen 6.2 und 6.3) sind die bei der Kategorisierung und zur Etablierung der Konzepte erfolgreich eingesetzten Detektoren durch einen Kreis markiert. Die Größe der Markierung gibt an, wie erfolgreich der betreffende Merkmalsdetektor im Laufe der Zeit eingesetzt wurde.

**Ergebnisse (quantitativ)** Für die quantitative Auswertung wurde nach jeweils 160 Versuchen der Kategorisierungserfolg gemessen, so dass insgesamt 10 Messpunkte pro Agent in die Analyse einfließen. Da die Anzahl der Versuche für die beteiligten Relationen nicht konstant war, sondern zwischen den Agenten leicht variierte, wurden Kovarianzanalysen nach Winer (1971) gerechnet. Diese wurden zum einen in Bezug auf die Agenten gerechnet, um signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Agenten feststellen zu können, zum anderen in Bezug auf die Anzahl der Versuche. Dies dient dem Nachweis der Stabilität etablierter Konzepte. Um die Performanz des Gesamtsystems LOKATOR zu erhalten wurde bei den auf die Agenten bezogenen Analysen der Mittelwert über alle Agenten gebildet. Bei den Analysen, die sich auf die Anzahl der Versuche beziehen, wird an jedem Messpunkt über die Agenten gemittelt, so dass diese Ergebnisse insgesamt als diejenigen des Gesamtsystems LOKATOR gedeutet werden können.

Für beide Arten von Kovarianzanalysen wurde jeweils der Kategorisierungserfolg und der Kategorisierungsfehler als Variate berücksichtigt. Unter Fehler wird eine tatsächlich falsche Kategorisierung verstanden. Konnte eine Eingabe nicht eindeutig kategorisiert werden, das korrekte Konzept war aber Element der Menge aktivierter Konzepte ( $Conc_{rel} \in Conc_{fd}$ , Abschnitt 5.5.2), dann wurde dieser Fall nicht als Fehler gezählt. Da die qualitativen Ergebnisse zwei Performanzphasen zeigen (vor und nach der Stabilisierung der gebildeten Konzepte), wurden die Analysen unter Berücksichtigung der letzten fünf Meßpunkte wiederholt.

Die Ergebnisse der Kovarianzanalysen sind in den Tabellen 6.1 und 6.2 zu sehen. Die Abbildungen 6.4 und 6.5 zeigen Kategorisierungserfolg und Kategorisierungsfehler für die einzelnen Agenten. Erfolg und Fehler des Systems LOKATOR ergeben sich als Mittelwert über den einzelnen Agenten. Kategorisierungserfolg und -fehler des Gesamtsystems, d.h. gemittelt über die fünf Agenten an den einzelnen Messpunkten, sind in den Abbildungen 6.6 und 6.7 dargestellt.

In den auf die Agenten bezogenen Kovarianzanalysen tritt in der stabilen Phase ein signifikanter Effekt zwischen den Agenten für den Kategorisierungserfolg auf ( $F_E(4, 39) = 3.38, p < 0.05$ ). Weiterhin gibt es in der stabilen Phase eine Interaktion zwischen den Agenten für die Fehlerrate die einzelnen Relationen betreffend ( $F_F(4, 39) = 4.55, p < 0.01$ ). Abbildung 6.5 verdeutlicht dieses Ergeb-

	gesamt			stabil		
	df	$F_{Erfolg}$	$F_{Fehler}$	df	$F_{Erfolg}$	$F_{Fehler}$
Agenten	4,89	0.77	0.55	4,39	3.38*	0.22
Relationen	1,89	0.24	1.08	1,39	0.03	0.19
A x R	4,89	0.35	0.81	4,39	0.44	4.55**

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.1: Experiment 1A: *rechts* vs *links*. Kovarianzanalysen bezogen auf die Agenten.

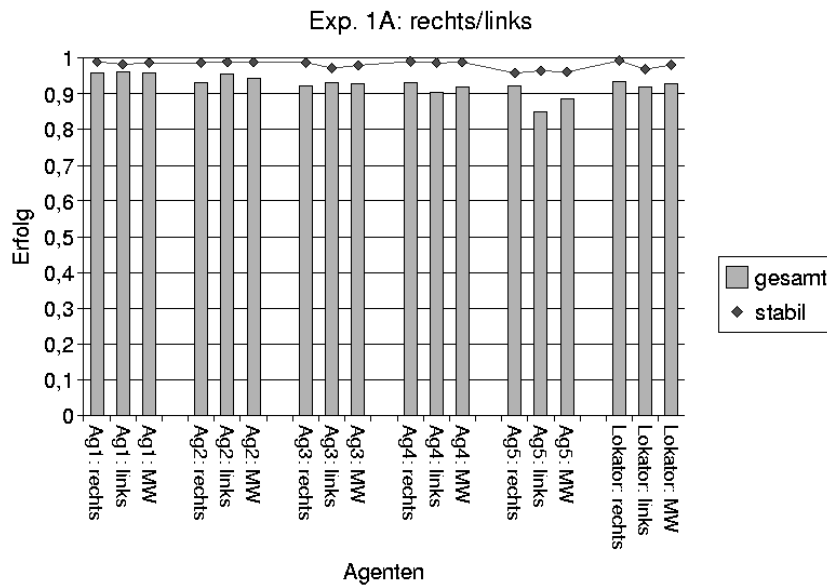


Abbildung 6.4: Kategorisierungserfolg der Agenten und des Gesamtsystems.

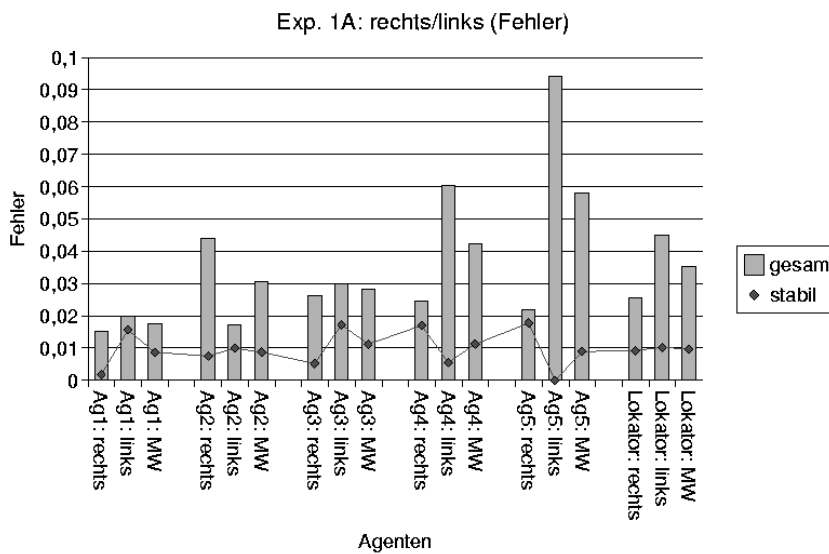


Abbildung 6.5: Kategorisierungsfehler der Agenten und des Gesamtsystems.



	gesamt			stabil		
	df	$F_{Erf}$	$F_{Fehl}$	df	$F_{Erf}$	$F_{Fehl}$
Versuche	9,79	27.02**	12.18**	4,39	0.77	0.67
Relationen	1,79	0.82	2.24	1,39	0.02	0.30
V x R	9,79	0.42	0.87	4,39	0.09	1.05

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.2: Experiment 1A: *rechts* vs *links*. Kovarianzanalysen bezogen auf die Anzahl der Versuche.

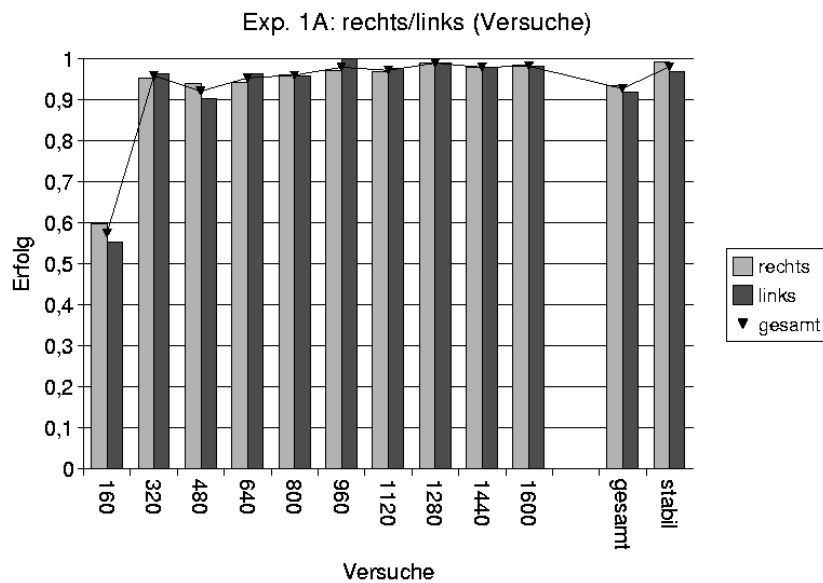


Abbildung 6.6: Kategorisierungserfolg während der Versuche.

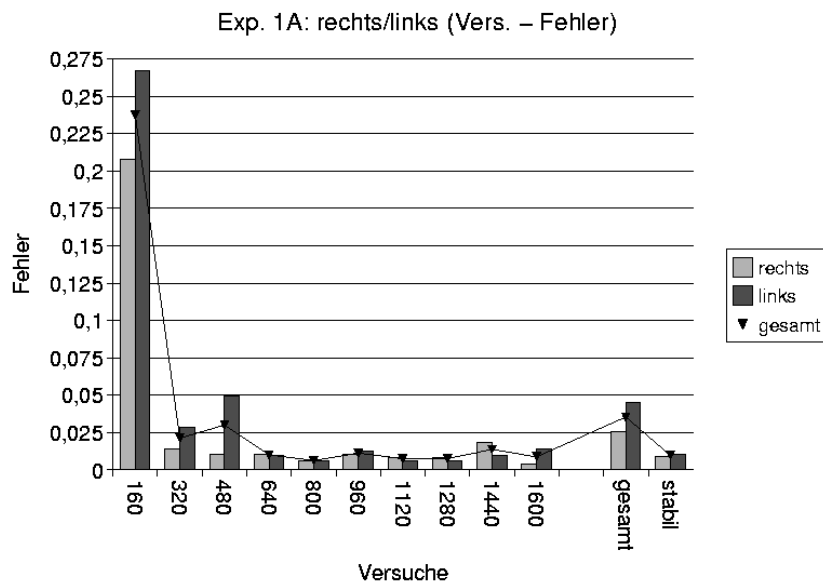


Abbildung 6.7: Kategorisierungsfehler während der Versuche.

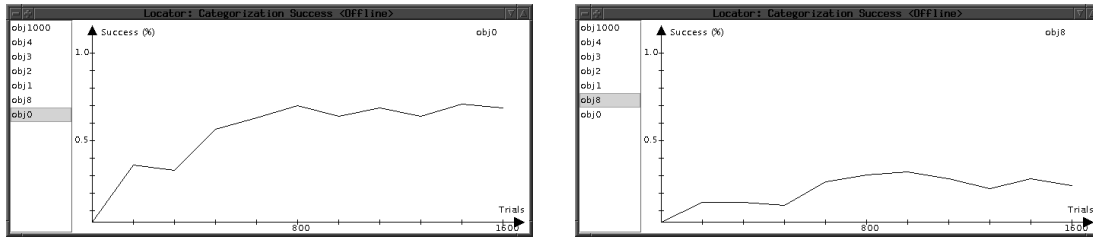


Abbildung 6.8: Experiment 1A: *rechts* vs *links*. Kategorisierungserfolg für Agent 1 unter Verwendung der Ankerpunkte *obj0* (Berg) und *obj8* (Zaun).

nis. Während beispielsweise Agent 1 in der stabilen Phase kaum noch Fehler in Bezug auf RECHTS macht, dafür aber für LINKS, ist dieses Muster für Agent 5 umgekehrt.

Die Analysen bezogen auf die Versuche zeigen signifikante Unterschiede sowohl für den Kategorisierungserfolg ( $F_E(9, 79) = 27.02, p < 0.01$ ) als auch für den Kategorisierungsfehler ( $F_F(9, 79) = 12.18, p < 0.01$ ) zwischen den einzelnen Versuchen, wenn alle zehn Messpunkte berücksichtigt werden. Dieser Effekt verschwindet, wenn sich die Analyse auf die stabile Phase beschränkt.

**Diskussion** Die qualitativen Ergebnisse erlauben erste Schlussfolgerungen in Bezug auf die diskutierten Fragestellungen. Die *rechts-/links*-Unterscheidung beruht primär auf einer der Hauptachsen menschlicher Raumkognition. Die grundlegenden Prozesse menschlicher Raumkognition beschränken daher mögliche Variationen bei der Bildung von Konzepten, die Bezug auf diese Unterscheidung nehmen. Tatsächlich bilden sich in LOKATOR die einer *rechts-/links*-Unterscheidung zugrundeliegenden Konzepte auf Merkmalen aus, deren Berechnung auf dieser Achse basiert. Die Spracheingaben geben einen Fokus der Aufmerksamkeit vor und bieten ein positives Beispiel der Analyse. Dadurch können sie als Selektionskriterium funktionalisiert werden und ermöglichen die gezielte Modifikation des perzeptuellen Systems. Variationen in den wahrgenommenen Situationen spiegeln sich in der unterschiedlichen Modifizierung des perzeptuellen Systems der einzelnen Agenten wider.

Als Ankerpunkt der Berechnung perzeptueller Merkmale und damit der etablierten Konzepte bildet sich der Agent selbst heraus (*obj1000*), wie es für ein relatives System zu erwarten war. Die Bestimmung des Ankerpunkts findet über den Kategorisierungserfolg statt. Abbildung 6.8 zeigt beispielhaft den Kategorisierungserfolg von Agent 1, wenn *obj0* (Berg) oder *obj8* (Zaun) als Ankerpunkt gewählt wird. Im Falle des Zauns liegt die Performanz noch unter einer zufälligen Auswahl eines Konzeptes.

Die quantitative Analyse des Kategorisierungserfolgs der einzelnen Agenten

zeigt signifikante Unterschiede. Für diesen Effekt verantwortlich ist Agent 5, dessen Kategorisierungserfolg um über zwei Prozent von den übrigen Agenten abweicht. Wird die Analyse ohne Agent 5 wiederholt verschwindet der Effekt. Ein Blick auf den wesentlich an der Konzeptbildung beteiligten Merkmalsdetektor zeigt, dass Agent 5 zur Etablierung der Konzepte auf den gleichen Detektor zurückgreift wie die übrigen Agenten. Der im Konzept LINKS verwendete Ast ist etwas weiter ausdifferenziert. Einziger Grund für die schlechtere Performanz dieses Agenten sind daher die von ihm erfahrenen Situationen, die im Vergleich zu den anderen Agenten eine weniger eindeutige Kategorisierung erlauben.

Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse bezogen auf die Anzahl der Versuche bergen keine Überraschungen. Anfangs ist der Kategorisierungserfolg klein und die Fehlerrate hoch. Im weiteren Verlauf des Experimentes, d.h. mit zunehmender Stabilisierung der Konzepte, kehrt sich dieses Verhältnis um. Daher lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Messpunkten feststellen, wenn alle zehn Punkte berücksichtigt werden. Dieser Unterschied verschwindet, konzentriert sich die Auswertung auf die stabile Phase.

Insgesamt zeigt dieses erste Experiment, dass die sprachlichen Symbole *rechts* und *links* über die gebildeten Konzepte erfolgreich in den visuellen Wahrnehmungen bzw. genauer: in den auf den visuellen Wahrnehmungen berechneten Merkmalen, verankert werden können. Durch die Funktionalisierung der sprachlichen Eingaben während des Konzeptualisierungsprozesses manifestiert sich ein Einfluss dieser Eingabemodalität auf die Analyse der visuellen Eingaben, was sich zum einen in der Modifikation des perzeptuellen Systems, zum anderen in der Etablierung eines geeigneten Ankerpunktes widerspiegelt.

Ein Ergebnis verdient besondere Beachtung. Lediglich durch Vorgabe grundlegender Analyseprozesse (Merkmalsdetektoren) und auf der Basis situativer, multimodaler Eingaben bilden sich bei allen Agenten ähnliche Analysewerkzeuge heraus. In allen Agenten wird hauptsächlich ein bestimmter Merkmalsdetektor modifiziert, und die aus dieser Modifikation resultierenden Merkmalsdetektoren werden für die Etablierung der Konzepte verwendet. Die Konzepte selbst sind trotzdem nicht für alle Agenten identisch. In welcher Weise der Merkmalsdetektor modifiziert wird und welche, die Konzepte konstituierenden, Merkmalsdetektoren letztlich gebildet werden, hängt von den Situationen ab, in denen die Konzeptbildung stattfindet. Der Inhalt der Konzepte variiert also zwischen den Agenten. Die vorhandenen, grundlegenden Prozesse der Analyse beschränken im Falle der *rechts-/links*-Dichotomie diese Variation auf die Ausprägung eines bestimmten Merkmalsdetektors.

### 6.1.2 B: *vor* vs *hinter*

Für dieses Experiment wurden fünf Agenten erzeugt, die während der Exploration ihrer Umwelt sprachliche Eingaben erhielten, in denen ein Objekt entweder als *vor* oder als *hinter* einem Referenzobjekt lokalisiert wurde. Auch diese Art der Di-

chotomie sollte über eine der grundlegenden Achse der Raumkognition erlernbar sein.

Die Agenten erhielten jeweils 1600 sprachliche Eingaben, die gegebenenfalls die Konzeptualisierungsroutinen anstießen. Von diesen 1600 Eingaben realisierten jeweils ca. die Hälfte eine der beiden beteiligten Relationen *vor* und *hinter*. Die Zahlen schwankten zwischen 778 (48.63%) und 829 (51.81%) für *vor* und zwischen 786 (49.13%) und 822 (51.38%) für *hinter*.

**Ergebnisse (qualitativ)** Der in Abbildung 6.9 für die einzelnen Agenten dargestellte Kategorisierungserfolg zeigt, dass jeder der fünf Agenten funktionierende Konzepte gebildet hat. Funktionierend bedeutet auch hier wieder, die Funktion der Kategorisierung erfolgreich erfüllend. Im Vergleich mit Experiment 1A fallen zwei Dinge auf. Einerseits sind die Erfolgskurven für die einzelnen Konzepte nicht so glatt (Abbildungen 6.10 oben und 6.11 oben), andererseits gibt es hier sehr viel mehr und sehr viel komplexere Variationen zwischen den perzeptuellen Systemen der Agenten. Welche Merkmalsdetektoren relevant sind, lässt sich daher nicht auf Anhieb feststellen.

Die genauere Analyse der gebildeten Konzepte und der beteiligten Merkmalsdetektoren bringt aber einen Einblick, welche Merkmale konzeptkonstituierend sind (Abbildungen 6.10 und 6.11). Die Erfolgskurven der etablierten Konzepte zeigen das schon aus Experiment 1A bekannte Muster einer instabilen Anfangsphase mit nachfolgender Stabilisierung. Diese Stabilisierung liegt hier auf niedrigerem Niveau (85 – 90%) als in Experiment 1A (95 – 100%).

Zur Bildung der Konzepte VOR und HINTER wurde insbesondere auf die Merkmale V, 2S und ABS zurückgegriffen. VOR konstituiert sich dabei aus Merkmalsdetektoren, die für das Merkmal V im Wertebereich von 0 – 0.5, für das Merkmal 2S im Bereich von 0 – 0.5 und für das Merkmal ABS im Wesentlichen im Bereich von 0 – 0.5 mit einem Fokus im Bereich von 0.25 – 0.5 liegen. Zur Etablierung des Konzeptes HINTER werden Detektoren verwendet, die für V einen Bereich von 0.5 – 0.75, für 2S von 0.75 – 1 und für ABS von 0.5 – 0.75 abdecken. In welcher Weise die Diskriminationsnetze für die verschiedenen Merkmale modifiziert wurden, unterscheidet sich ebenso zwischen den Agenten, wie die Auswahl der für die Konzeptkonstitution verwendeten Merkmalsdetektoren.

**Ergebnisse (quantitativ)** Wie schon in Experiment 1A wurden insgesamt acht Kovarianzanalysen gerechnet, um die Variabilität in der Auftretenshäufigkeit der in den Spracheingaben verwendeten Relationen zu berücksichtigen (Tabellen 6.3 und 6.4). Während der stabilen Phase ergibt sich bei Betrachtung der Fehlerrate ein signifikanter Unterschied zwischen den Agenten:  $F_F(4, 39) = 6.27, p < 0.01$ . Abbildung 6.13 zeigt deutlich, dass insbesondere die Agenten 3 und 4 im positiven (Agent 3: +2.9%) und im negativen Sinne (Agent 4: -2.7%) von der mittleren Fehlerrate (3.2%) abweichen.

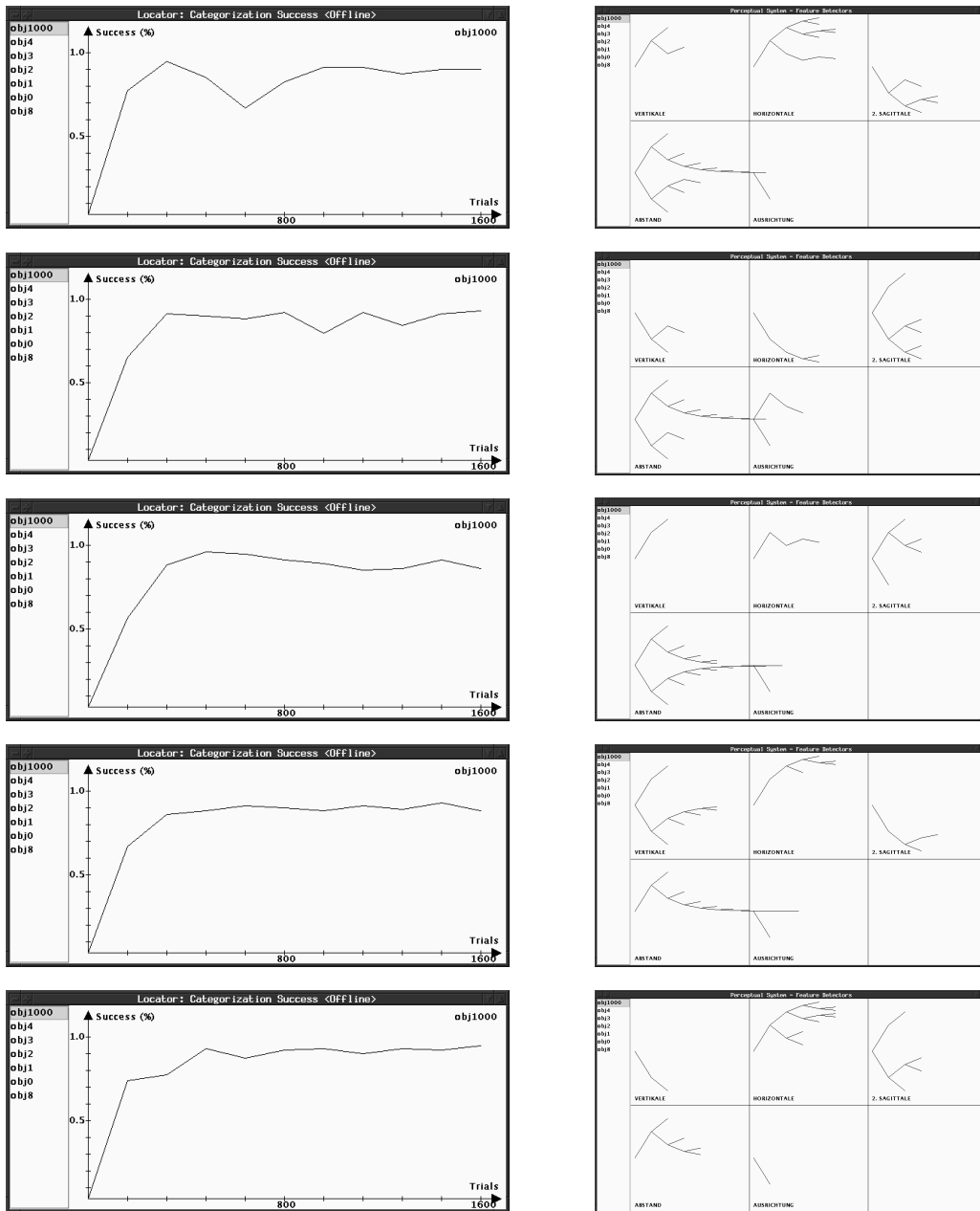


Abbildung 6.9: Experiment 1B: *vor vs hinter*. Kategorisierungserfolg (links) und perzeptuelles System (rechts) der Agenten 1–5.

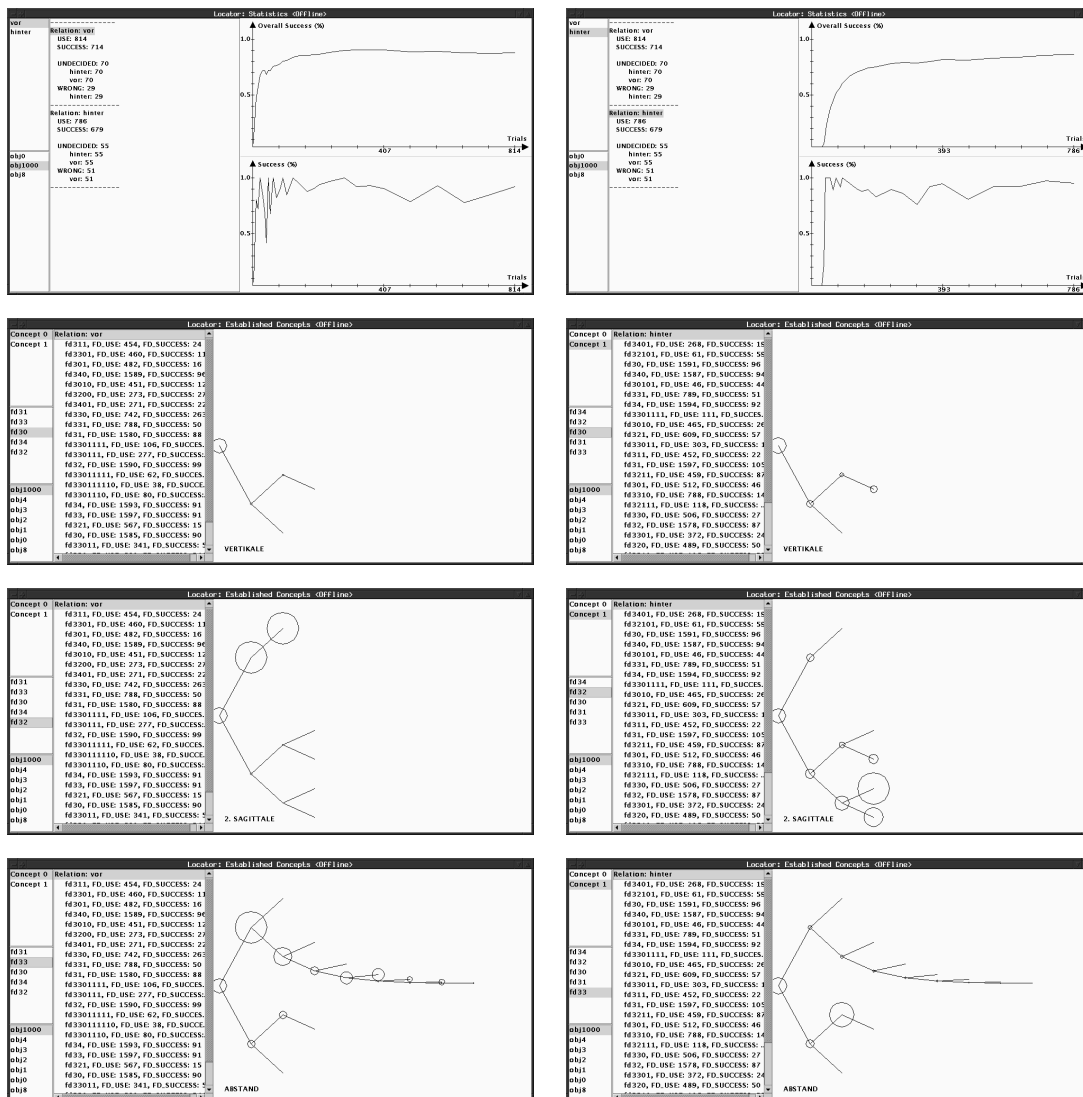


Abbildung 6.10: Experiment 1B: *vor* vs *hinter*. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale (Agent 2).

Bei den auf die einzelnen Messpunkte bezogenen Analysen ergeben sich keine Überraschungen. Signifikante Effekte treten zwischen den verschiedenen Messpunkten (Versuche) sowohl in Bezug auf die Kategorisierungsleistung als auch auf die Fehlerrate auf, wenn alle Messpunkte berücksichtigt werden:  $F_E(9, 79) = 9.44, p < 0.01$  bzw.  $F_F(9, 79) = 4.67, p < 0.01$ . Diese Effekte verschwinden bei Einschränkung der Berechnung auf die stabile Phase. Die Abbildungen 6.14 und 6.15 zeigen den mittleren Erfolg und die mittlere Fehlerrate.

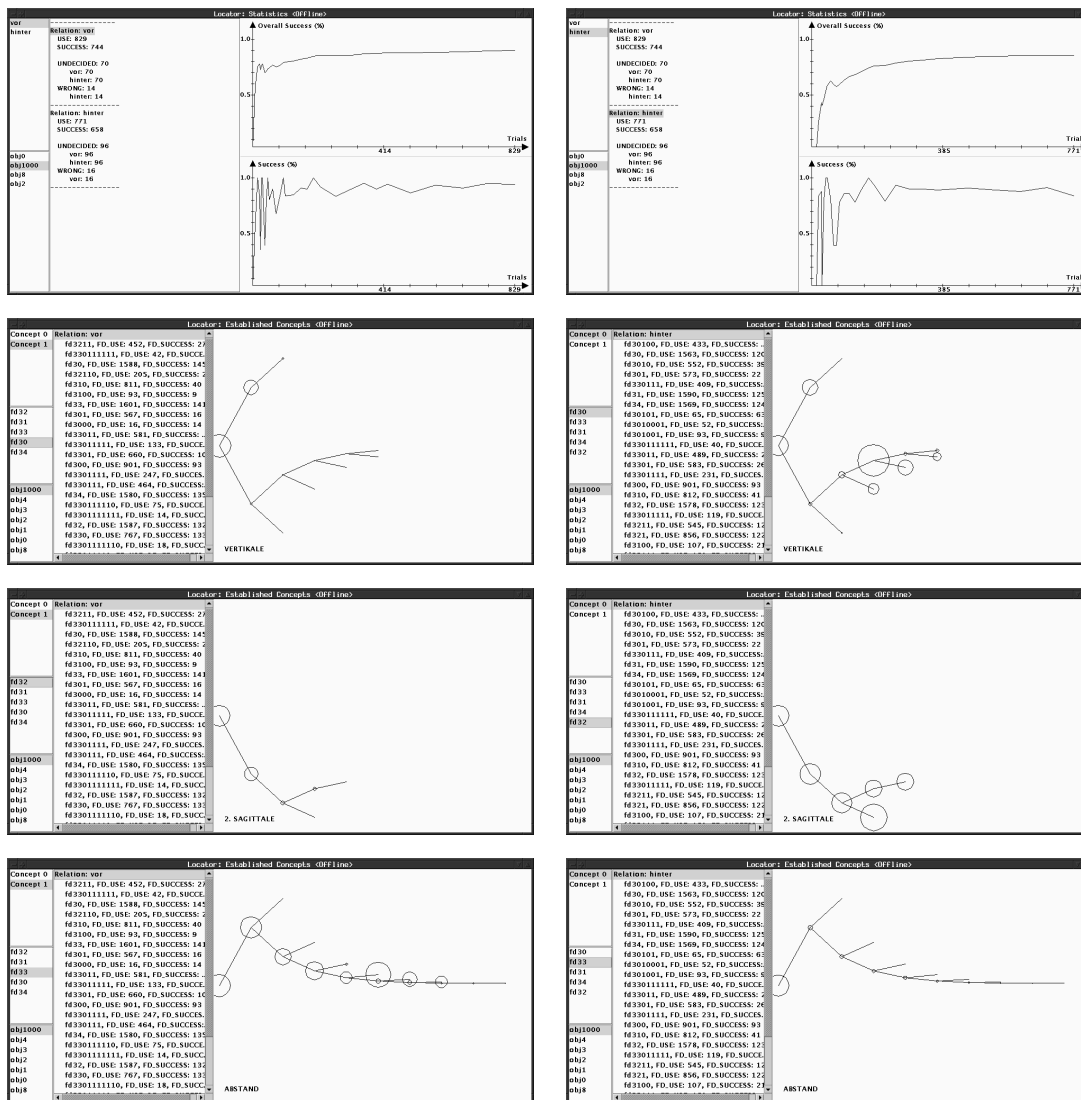


Abbildung 6.11: Experiment 1B: *vor* vs *hinter*. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale (Agent 4).

**Diskussion** Ebenso wie die *rechts-/links-* ist auch die *vor-/hinter-*Dichotomie auf der Grundlage einer zentralen Achse menschlicher Raumkognition wahrnehmbar und erlernbar (2. Sagittale). Die Ergebnisse dieses Experimentes zeigen, dass die Agenten in LOKATOR die Konzepte VOR und HINTER erfolgreich etablieren. Zugleich wird deutlich, dass die Performanz auf einem niedrigeren Niveau liegt als in Experiment 1A. Dies entspricht nicht der beim Menschen beobachteten Performanz, für den gerade *rechts* und *links* auf Grund ihrer Symmetrie problematisch sind (Abschnitt 3.3). Ein der Limitation der implementierten Sensorik

	gesamt			stabil		
	df	$F_E$	$F_F$	df	$F_E$	$F_F$
Agenten	4,89	0.3	1.64	4,39	2.23	6.27**
Relationen	1,89	0.36	0.89	1,39	0.25	1.26
A x R	4,89	0.22	0.55	4,39	2.55	0.93

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.3: Experiment 1B: *vor* vs *hinter*. Kovarianzanalysen bezogen auf die Agenten.

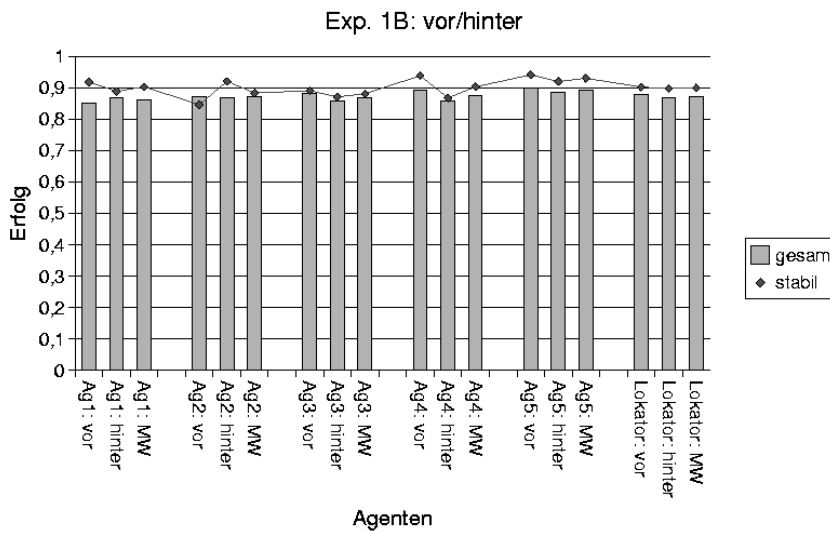


Abbildung 6.12: Kategorisierungserfolg der Agenten und des Gesamtsystems.

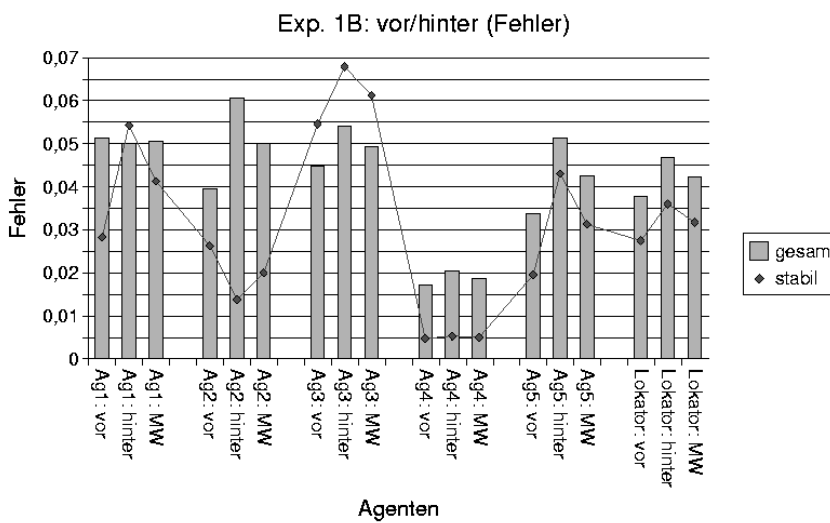


Abbildung 6.13: Kategorisierungsfehler der Agenten und des Gesamtsystems.



	gesamt			stabil		
	df	$F_E$	$F_F$	df	$F_E$	$F_F$
Versuche	9,79	9.44**	4.67**	4,39	1	0.79
Relationen	1,79	0.64	1.14	1,39	0.19	0.79
V x R	9,79	0.21	0.37	4,39	0.34	0.16

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.4: Experiment 1B: *vor* vs *hinter*. Kovarianzanalysen bezogen auf die Anzahl der Versuche.

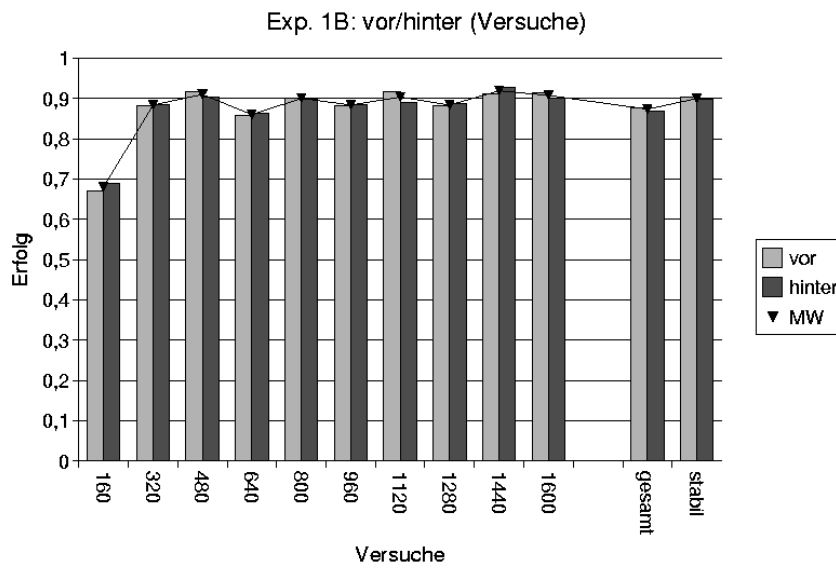


Abbildung 6.14: Kategorisierungserfolg während der Versuche.

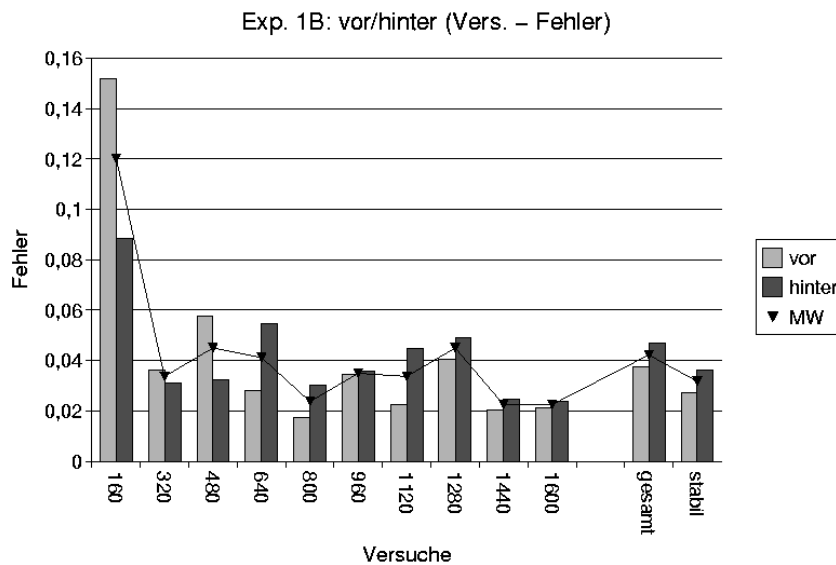


Abbildung 6.15: Kategorisierungsfehler während der Versuche.

	<i>vor</i>			<i>hinter</i>		
	gesamt	ambig	Anteil (%)	gesamt	ambig	Anteil (%)
Agent 1	778	125	16.07%	822	125	15.21%
Agent 2	814	134	16.46%	786	120	15.27%
Agent 3	802	119	14.84%	798	114	14.23%
Agent 4	829	140	16.89%	771	107	13.88%
Agent 5	785	128	16.31%	815	115	14.11%
Mittelwert	801.6	129.2	16.12%	798.4	116.2	14.55%

Tabelle 6.5: Analyse der visuellen Eingaben. Dargestellt ist die Gesamtzahl der Szenen mit der jeweiligen Relation (*gesamt*), die Anzahl der Szenen, in denen die benannten Objekte auf der gleichen Entfernungsebene lagen (*ambig*), und der prozentuale Anteil dieser Szenen.

geschuldetes Problem macht das Erlernen der Konzepte VOR und HINTER im Vergleich zu RECHTS und LINKS für die Agenten schwieriger. Diese Limitation betrifft die Tiefenauflösung des visuellen Sensors. Hier können lediglich fünf unterschiedliche Entfernungsstufen wahrgenommen werden (Abschnitt 5.3.1). Dadurch wird die Entscheidung für geeignete Merkmale erschwert, da die beiden durch die Spracheingabe spezifizierten Objekte leicht auf der gleichen Entfernungsstufe liegen können. Das macht das auf der 2. Sagittale basierende Merkmal für die Entscheidung nur beschränkt aussagekräftig. Deshalb muss zusätzlich auf andere Merkmale zurückgegriffen werden, was die Konzepte insgesamt aufwendiger werden lässt. Eine Analyse der visuellen Eingaben der an dem Experiment beteiligten Agenten zeigt, dass in ca. 15% der Fälle die in der Spracheingabe genannten Objekte tatsächlich auf einer Entfernungsebene lagen. In Tabelle 6.5 sind detailliert die Ergebnisse dieser Analyse für die fünf Agenten und die beteiligten Relationen *vor* und *hinter* dargestellt.

An dieser Stelle zeigt sich sehr deutlich der Vorteil (bzw. Nachteil) eines agentenorientierten Ansatzes der Modellierung von Prozessen der Konzeptbildung. Diese Prozesse operieren immer auf den Eingaben, die ein Agent auf der Grundlage seiner Sensorik und in der konkreten Interaktion mit seiner Umwelt bekommt. Die Konzepte sind daher immer auf die Beschränkungen der Sensorik und die während der Konzeptbildung erfahrenen Situationen bezogen. Im Falle von LOKATOR bedeutet dies, die geringe Tiefenauflösung des implementierten Sensors erfordert das Hinzuziehen von Merkmalen, die von einem objektivistischen Standpunkt aus betrachtet nicht konzeptkonstituierend sind. Für die Agenten in LOKATOR sind diese zusätzlichen Merkmale aber zwingend notwendig, um die gewünschten Konzepte zu etablieren. Trotz der physikalischen Limitationen gelingt es den Agenten, funktionierende Konzepte zu etablieren, d.h. die *vor-/hinter*-Dichotomie zu erlernen. Dabei werden die vorhandenen Analysemechanismen situativ angepasst, um die Kategorisierungsaufgabe erfolgreich zu lösen.

Die Festlegung eines geeigneten Ankerpunktes ist mit dem Ergebnis des Experimentes 1A vergleichbar und nicht überraschend. Der Agent selbst (*obj1000*) bildet sich als geeigneter Ankerpunkt heraus. Die Erfolgskurven für die übrigen Objekte liegen wiederum unterhalb der Performanz bei einer zufälligen Auswahl.

Die quantitativen Analysen zeigen die erwarteten Ergebnisse mit der Ausnahme des signifikanten Unterschiedes in der Fehlerrate zwischen den Agenten. Hier lässt sich Agent 3 als Ursache dieses Unterschiedes ausmachen. In Bezug auf den Kategorisierungserfolg gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Agenten. Von außen ist also kein Performanzunterschied und damit kein Unterschied in den dieser Performanz zugrundeliegenden Konzepten zu erkennen. Welche Merkmalsdetektoren für die Etablierung der Konzepte herangezogen werden, unterscheidet sich allerdings zwischen den Agenten und ist wiederum abhängig von den visuellen und sprachlichen Eingaben, die sie während der Exploration der Umwelt erhielten.

Auch dieses Experiment unterstreicht, dass die Etablierung von Konzepten auf der Basis grundlegend identischer Prozesse möglich ist, die von den Agenten situationspezifisch modifiziert werden und so zu einem agentenspezifischen Konzeptinhalt führen. Universell sind hier die bei der Konzeptbildung zum Einsatz kommenden Verarbeitungsprozesse, nicht die konzeptuellen Strukturen selbst. Während sich in Experiment 1A sehr ähnliche Analysestrukturen für die visuellen Eingaben herausgebildet haben, kommt es hier auf Grund der beschränkten Tiefenwahrnehmung zu einer ausgeprägteren Modifikation der perzeptuellen Systeme, da diese Beschränkung aufgefangen werden muss. Unterschiedliche Agenten bilden dabei unterschiedliche Strategien zum Ausgleich dieser Beschränkung heraus.

### 6.1.3 C: *rechts* vs *vor*

Wiederum wurden fünf Agenten erzeugt, die während der Exploration ihrer Umwelt sprachliche Eingaben erhielten. Für dieses Experiment wurden die klaren Dichotomien der Experimente A und B aufgebrochen. Die erzeugten Agenten erhielten während ihrer Exploration sprachliche Eingaben, die Objekte als *rechts* eines Referenzobjektes oder als *vor* einem Referenzobjekt lokalisierten. Ziel dieses Experimentes ist die Feststellung, ob die aus den Experimenten 1A und 1B bekannten Konzepte auch in diesem Fall tragen, oder ob auf Grund der veränderten Lernsituationen sich ein qualitativ anderer Konzeptinhalt herausbildet.

Wie in den vorhergehenden Experimenten erhielten die Agenten jeweils 1600 sprachliche Eingaben, die gegebenenfalls die Konzeptualisierungsroutinen anstießen. Von diesen 1600 Eingaben realisierten jeweils ca. die Hälfte eine der beiden beteiligten Relationen *rechts* und *vor*. Für die Relation *rechts* schwankten die Zahlen zwischen 773 (48.31%) und 821 (51.31%) und für die Relation *vor* zwischen 779 (48.69%) und 827 (51.69%).

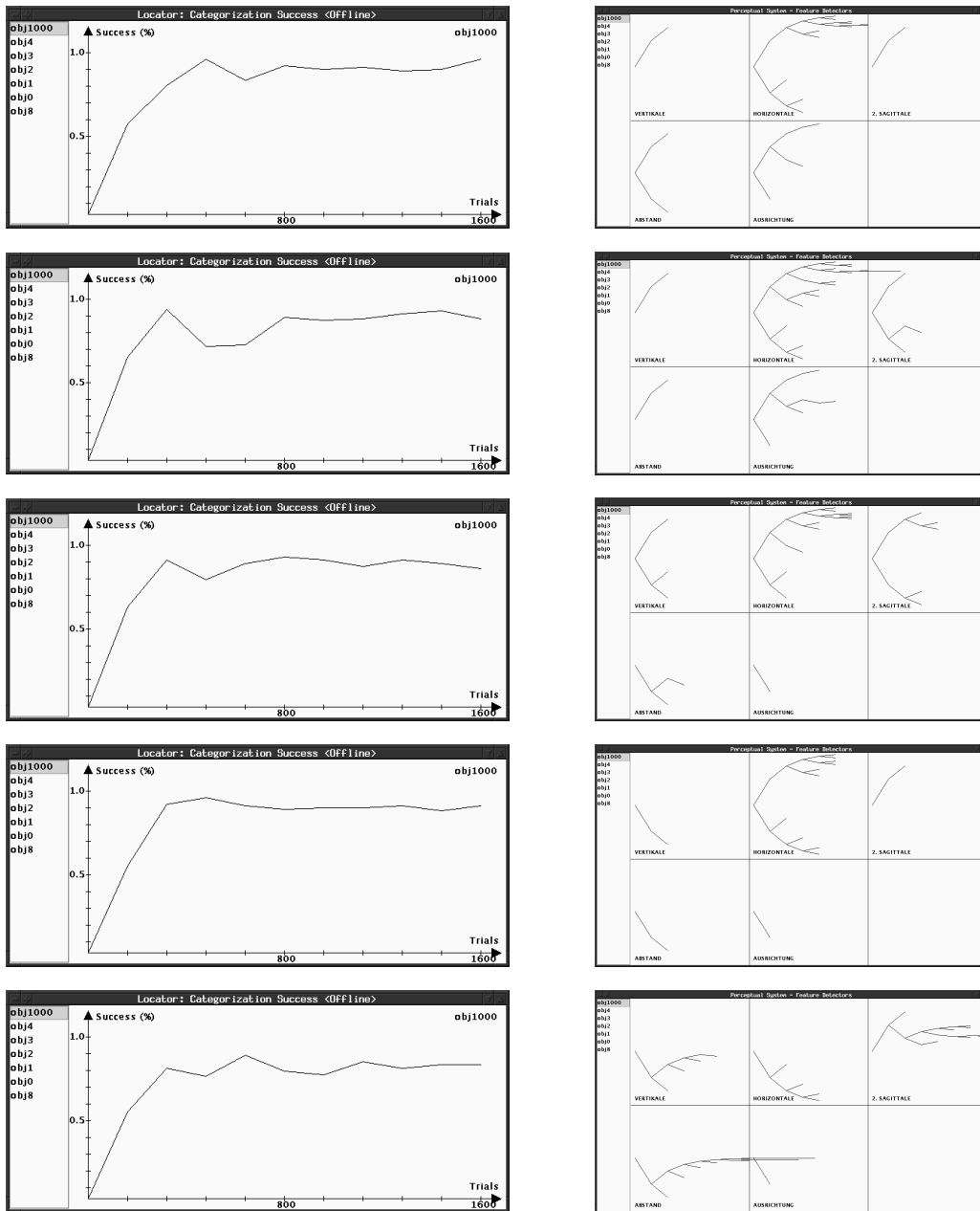


Abbildung 6.16: Experiment 1C: *rechts* vs *vor*. Kategorisierungserfolg (links) und perzeptuelles System (rechts) der Agenten 1–5.

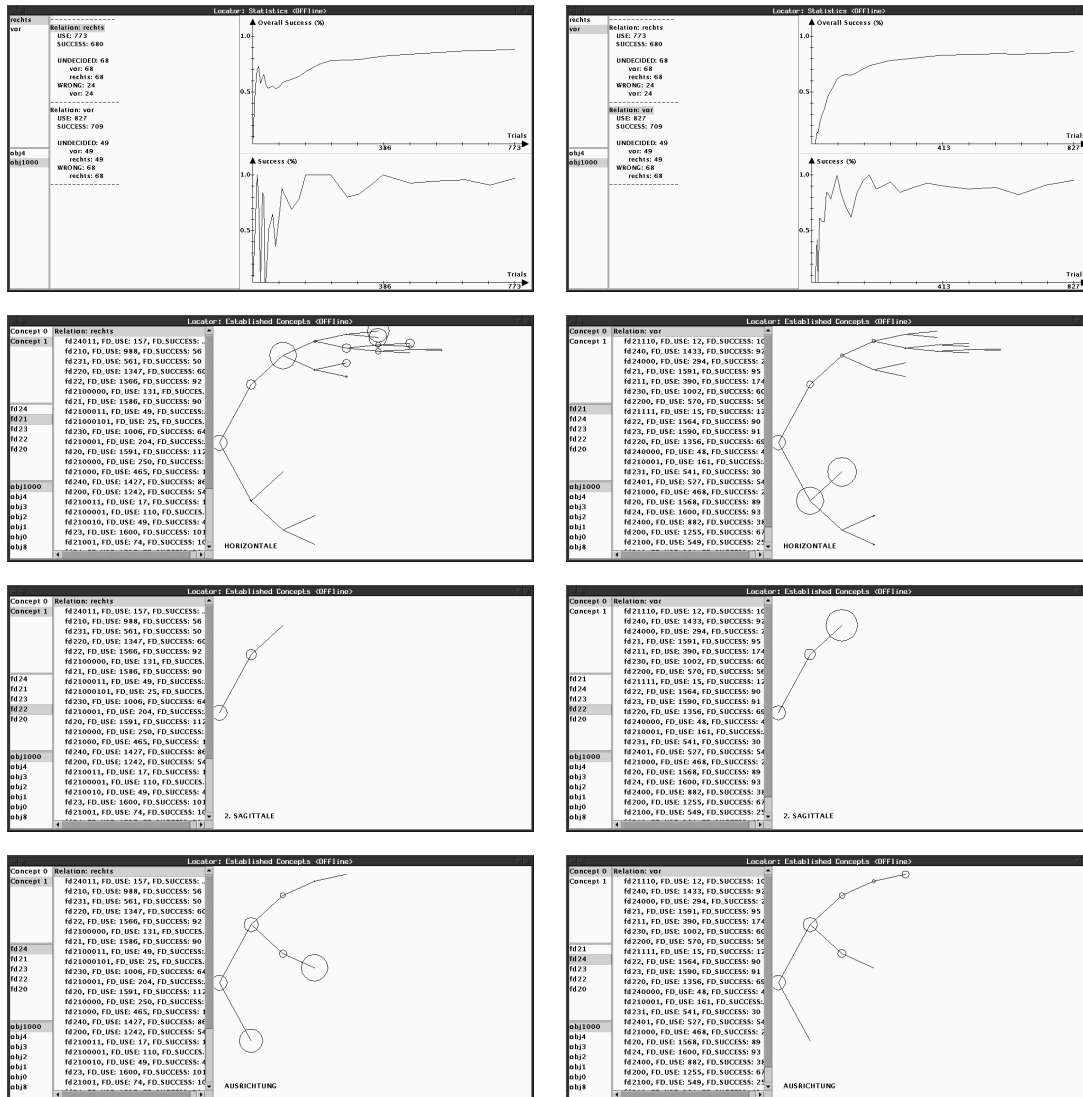


Abbildung 6.17: Experiment 1C: *rechts* vs *vor*. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale (Agent 1).

**Ergebnisse (qualitativ)** Wie schon in den Experimenten 1A und 1B gelingt es auch den Agenten in diesem Experiment, funktionierende Konzepte zu etablieren. Der Kategorisierungserfolg liegt dabei auf ähnlichem Niveau wie in 1B, was auf Grund der Relation *vor* zu erwarten war (Abbildung 6.16). Aus dem gleichen Grund ist die Modifizierung der perzeptuellen Systeme ausgeprägter als in Experiment 1A. Sie unterscheidet sich qualitativ von den Ausprägungen in 1B, da andere Konzepte gebildet wurden.

Eine genauere Analyse bestätigt wiederum die Existenz von zwei Phasen

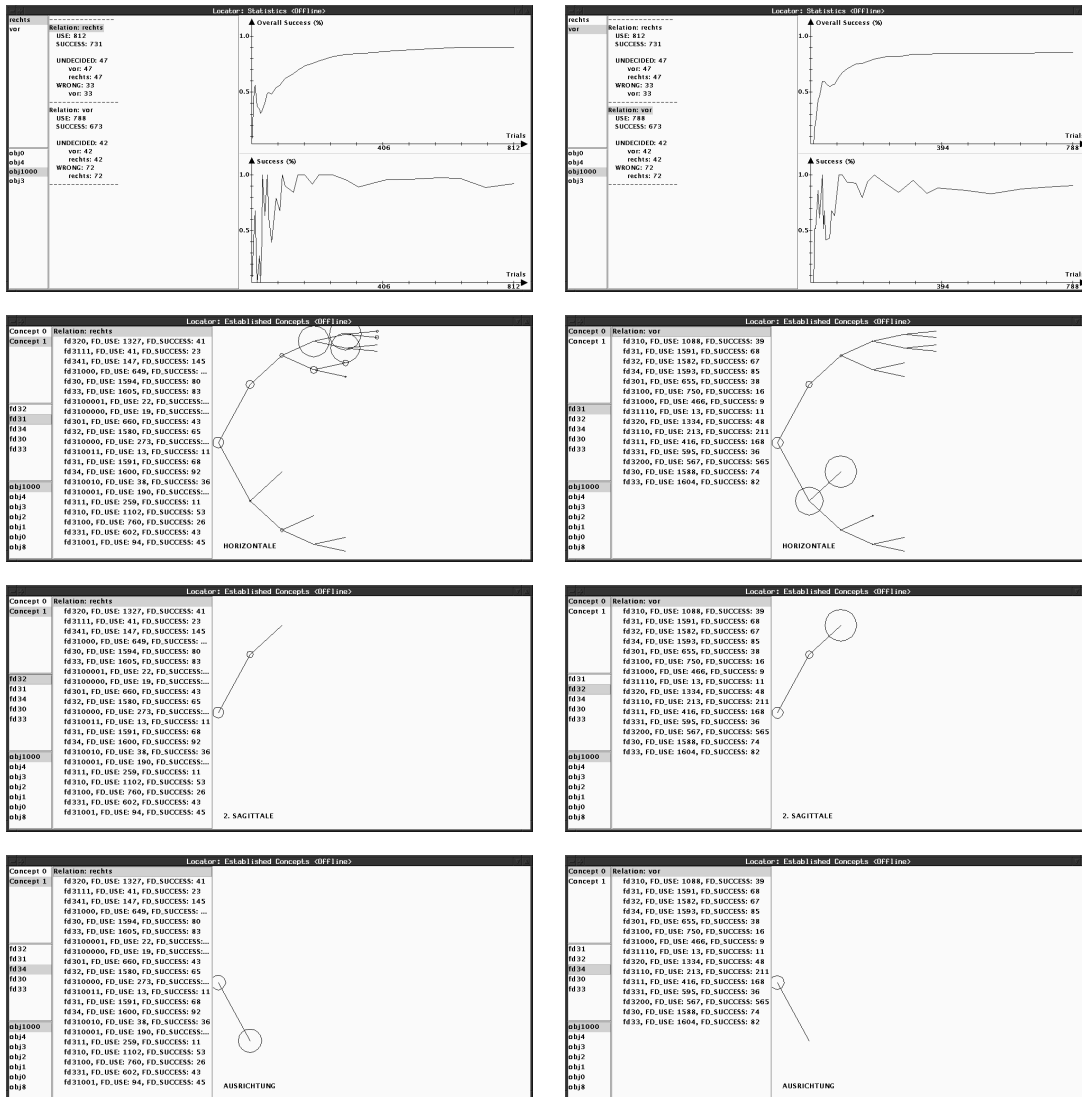


Abbildung 6.18: Experiment 1C: *rechts* vs *vor*. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale (Agent 4).

während der Konzeptbildung (Abbildungen 6.17 und 6.18). Die Erfolgskurven für die beiden Konzepte RECHTS und VOR liegen mit 85 – 90% auf ähnlichem Niveau wie in 1B. Die Zusammensetzung der gebildeten Konzepte unterscheidet sich aber von denen in 1A und 1B. Zum einen treten die Merkmale H aus 1A und 2S aus 1B hier in kombinierter Form und weiter ausdifferenziert auf. Zum anderen wird das Merkmal AUS relevant und bietet insbesondere für das Konzept RECHTS hohen Informationsgehalt.

**Ergebnisse (quantitativ)** Bei den Kovarianzanalysen, die in Bezug auf die Agenten gerechnet wurden, ergeben sich folgende signifikante Effekte (Tabelle 6.6). Die Analyse des Kategorisierungserfolgs in der stabilen Phase zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Agenten ( $F_E(4, 39) = 11.67, p < 0.01$ ). Verantwortlich hierfür ist Agent 5, der im Vergleich mit den anderen Agenten eine deutlich geringere Performanz aufweist (Abbildung 6.19). Weiterhin treten signifikante Unterschiede zwischen den beteiligten Relationen auf ( $F_E(1, 39) = 6.86, p < 0.05$ ). Die Agenten kategorisieren jeweils eine der beiden Relationen erfolgreicher als die andere. Bei den Agenten 1 bis 4 ist dies *rechts*, bei Agent 5 *vor*. Dieses unterschiedliche Antwortverhalten der Agenten schlägt sich in einer signifikanten Interaktion zwischen Agenten und Relationen nieder:  $F_E(4, 39) = 8.81, p < 0.01$ .

Ein zusätzlicher Effekt ergibt sich zwischen den Relationen in Bezug auf die Fehlerrate. Dieser Effekt lässt sich sowohl bei Betrachtung des gesamten Versuchszeitraums ( $F_F(1, 89) = 14.54, p < 0.01$ ) als auch in der stabilen Phase feststellen ( $F_F(1, 39) = 55.27, p < 0.01$ ). Abbildung 6.20 zeigt, dass die Agenten durchgängig für die Relation *rechts* weniger Fehler machen als für *vor*. Für den Gesamtzeitraum liegt die Fehlerrate für *rechts* im Mittel bei 4% und für *vor* bei 8%. In der stabilen Phase vergrößert sich dieser Unterschied weiter. Im Mittel liegt die Fehlerrate für *rechts* bei 2.1%, für *vor* bei 7.7%.

Die auf die Anzahl der Versuche bezogenen Analysen (Tabelle 6.7) ergeben wie schon in den Experimenten 1A und 1B signifikante Effekte zwischen den Versuchen, wenn alle Messpunkte berücksichtigt werden:  $F_E(9, 79) = 15.91, p < 0.01$  bzw.  $F_F(9, 79) = 14.95, p < 0.01$ . Diese Effekte verschwinden auch hier bei Einschränkung der Betrachtung auf die stabile Phase. Desweiteren bestätigt sich der signifikante Unterschied zwischen den Relationen in Bezug auf die Fehlerrate, sowohl für alle Messpunkte ( $F_F(1, 79) = 36.28, p < 0.01$ ) als auch für die stabile Phase ( $F_F(1, 39) = 54.25, p < 0.01$ ).

**Diskussion** Durch das Aufbrechen der klaren Dichotomien aus den Experimenten 1A und 1B verändert sich die Lernaufgabe und damit die von den Agenten erfahrenen Situationen grundlegend. Das führt auf Grund der weniger eindeutigen Unterschiede zwischen den Relationen beim Konzept RECHTS zu mehr Unsicherheiten bei der Kategorisierung und damit zu einer insgesamt etwas geringeren Performanz verglichen mit Experiment 1A.

Wie in einem agentenorientierten Ansatz zu erwarten, schlägt sich die qualitative Änderung möglicher Situationen direkt in den gebildeten Konzepten nieder. Obwohl die Konzepte ähnlich erfolgreich zur Kategorisierung eingesetzt werden wie in den vorherigen Experimenten, sind sie inhaltlich den erfahrenen Situationen, d.h. der veränderten Aufgabe, angepasst. Das bedeutet, die prinzipiell gut geeigneten Merkmale aus den Experimenten 1A und 1B reichen für eine erfolgreiche Kategorisierung nicht mehr aus, so dass zusätzlich ein weiteres Merkmal herangezogen wird. Bei diesem Merkmal handelt es sich um die Ausrichtung von

	gesamt			stabil		
	df	$F_E$	$F_F$	df	$F_E$	$F_F$
Agenten	4,89	1.86	0.18	4,39	11.67**	1.61
Relationen	1,89	0.04	14.54**	1,39	6.86*	55.27**
A x R	4,89	0.83	0.53	4,39	8.81**	0.51

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.6: Experiment 1C: *rechts vs vor*. Kovarianzanalysen bezogen auf die Agenten.

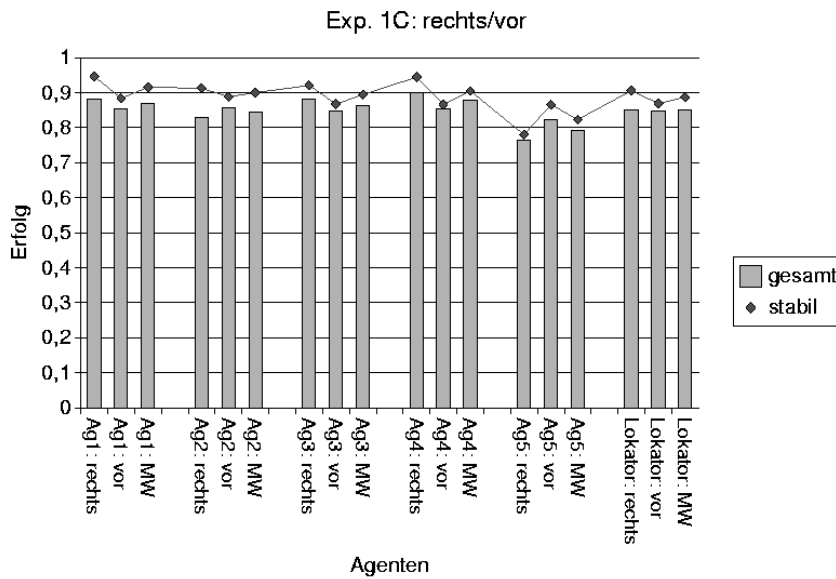


Abbildung 6.19: Kategorisierungserfolg der Agenten und des Gesamtsystems.

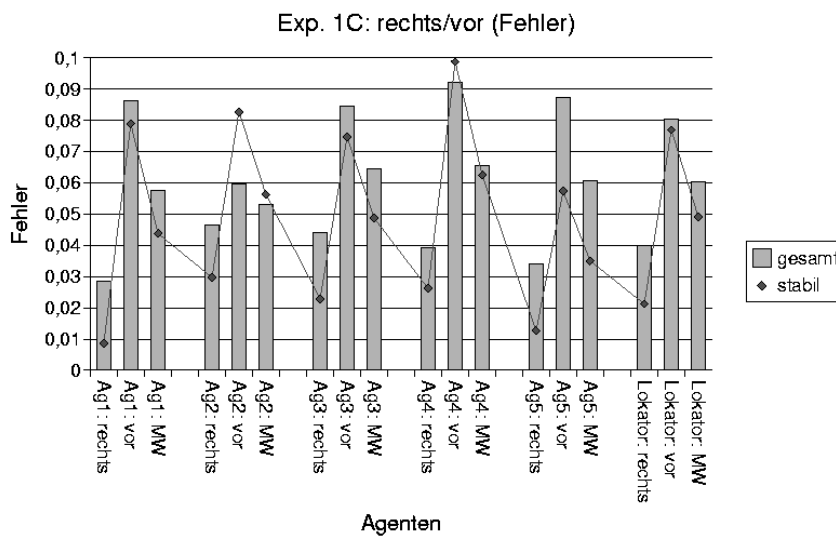


Abbildung 6.20: Kategorisierungsfehler der Agenten und des Gesamtsystems.



	gesamt			stabil		
	df	$F_E$	$F_F$	df	$F_E$	$F_F$
Versuche	9,79	15.91**	14.95**	4,39	0.15	0.52
Relationen	1,79	0.09	36.28**	1,39	2.3	54.25**
V x R	9,79	0.42	1.75	4,39	0.44	1.4

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.7: Experiment 1C: *rechts vs vor*. Kovarianzanalysen bezogen auf die Anzahl der Versuche.

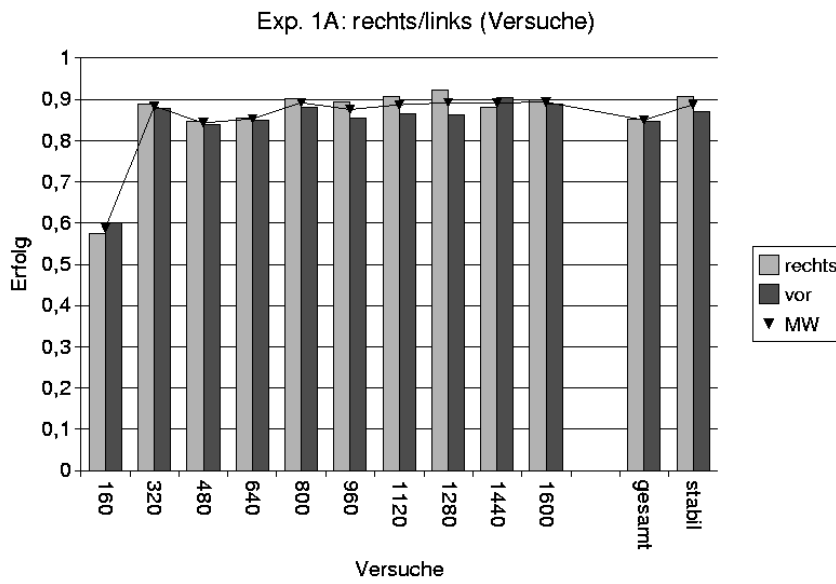


Abbildung 6.21: Kategorisierungserfolg während der Versuche.

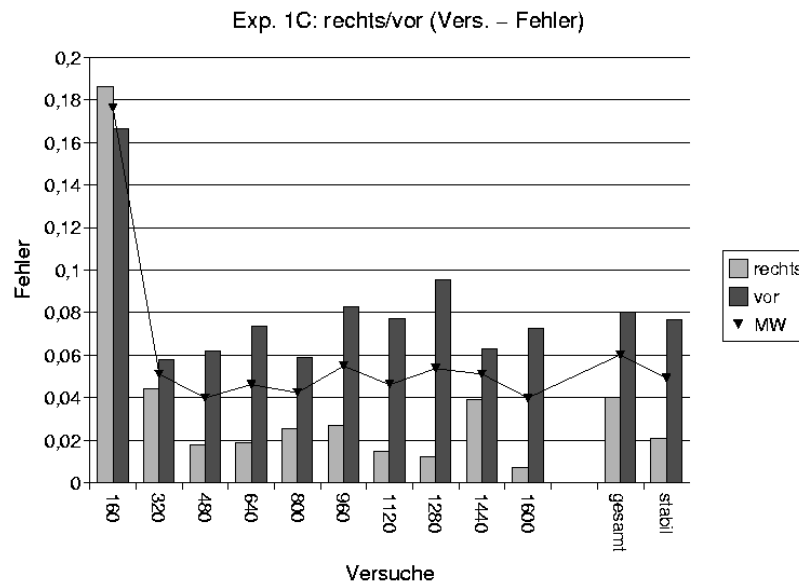


Abbildung 6.22: Kategorisierungsfehler während der Versuche.



Figur und Grund bezogen auf den Agenten (AUS). Im Falle der klaren Dichotomien war dieses Merkmal nicht von Bedeutung, da es keine für die erfolgreiche Kategorisierung auswertbaren Informationen geliefert hat. Dies ändert sich, wenn stattdessen *rechts* und *vor* betrachtet werden. Für *rechts* ist der Wert des Merkmals AUS signifikant größer als 0, für *vor* sollte der Wert dagegen um 0 liegen.

Dieses Ergebnis unterstreicht einmal mehr die Situativität der Konzeptbildung. Konzepte etablieren sich in Abhängigkeit der erfahrenen Situationen. In einem solchen Ansatz genügt es nicht, bei einer Änderung der Ausgangslage bekannte Merkmale neu zu kombinieren. Stattdessen findet eine qualitative Umstrukturierung der Konzepte statt. Bekannte Merkmale werden neu fokussiert und neue Merkmale kommen hinzu, um die Konzepte zu etablieren.

Die statistische Auswertung des Experimentes liefert einen Ausreisser. Agent 5 zeigt eine schlechtere Kategorisierungsleistung als die übrigen Agenten. In Abbildung 6.23 sind die Erfolgskurven und die konzeptkonstituierenden Merkmalsdetektoren für diesen Agenten dargestellt. Dabei wird deutlich, dass Agent 5 auf andere Aspekte der Situationen fokussiert hat, die anscheinend nicht so gut zur Erfüllung der Kategorisierungsaufgabe geeignet sind. Beispielsweise verzichtet er zur Etablierung des Konzeptes RECHTS auf das hierfür geeignete Merkmal H. Der zur Auswertung der entsprechenden Relation korrespondierende Wertebereich des Merkmalsdetektors für H ist nicht ausdifferenziert. Diese Fokussierung auf weniger gut geeignete Merkmale zur Kategorisierung der Relation *rechts* resultiert sogar in einer geringeren Performanz des Konzeptes RECHTS im Vergleich zu VOR. Bei allen übrigen Agenten ist diese Verhältnis umgekehrt.

Der signifikante Effekt zwischen den Relationen sowohl beim Kategorisierungserfolg in der stabilen Phase als auch allgemein bei der Fehlerrate, kann wiederum auf die Probleme mit der geringen Tiefenauflösung des visuellen Sensors zurückgeführt werden. Die Analyse der visuellen Eingaben zeigt wie in Experiment 1B für die Relation *vor*, dass in ca. 16% der Fälle die benannten Objekte in einer Entfernungsebene liegen. Dadurch ist eine Entscheidung für die Relation *rechts* einfacher zu treffen als für *vor*, da eindeutigere Hinweise zur Verfügung stehen. Dies resultiert in dem größeren Kategorisierungserfolg für die Relation *rechts* (ausgenommen Agent 5) und in einer kleiner Fehlerrate.

## 6.2 Experiment 2: *rechts, links, vor, hinter*

Im zweiten Experiment wird die Anzahl der zu erlernenden Konzepte erhöht. Die Agenten erhalten während der Exploration ihrer Umwelt sprachliche Eingaben, die einen relativen Referenzrahmen realisieren. Bei den in den Spracheingaben verwendeten Relationen handelt es sich um *rechts, links, vor* und *hinter*. In Experiment 2A wird die Konzeptbildung bei verschiedenen Agenten untersucht. Für Experiment 2B wird die Explorationsgeschichte eines Agenten abgespeichert, so dass verschiedene Agenten mit identischen Situationen konfrontiert werden

können. Experiment 2C untersucht schließlich, in welcher Weise eine qualitative Änderung erfahrbarer Situationen sich auf das perzeptuelle System und auf die etablierten Konzepte niederschlägt. Hierzu werden die Agenten in den sprachlichen Eingaben zunächst mit den Relationen *rechts* und *links* konfrontiert. Nach Etablierung geeigneter Konzepte kommen die Relationen *vor* und *hinter* hinzu.

### 6.2.1 A: unterschiedliche Eingaben

Die fünf erzeugten Agenten erhielten jeweils 3200 sprachliche Eingaben, die gegebenenfalls die Konzeptualisierungsroutinen anstießen. Jeweils ca. ein Viertel dieser Eingaben realisierte eine der beteiligten Relationen. Die Zahlen schwankten zwischen 782 (24.44%) und 842 (26.31%) für *rechts*, 758 (23.69%) und 815 (25.47%) für *links*, 773 (24.16%) und 837 (26.16%) für *vor* und 761 (23.78%) und 827 (25.84%) für *hinter*.

**Ergebnisse (qualitativ)** Auch in diesem Experiment gelang es den Agenten, funktionierende Konzepte zu bilden. Das Niveau des Kategorisierungserfolgs entspricht ungefähr dem in Experiment 1B. Wiederum schlägt sich die geringe Tiefenauflösung des visuellen Sensors in den Ergebnissen nieder, wobei der Anteil ambiger Situationen mit 15.68% für *vor* und 15.11% für *hinter* quantitativ im gleichen Bereich liegt wie in den Experimenten 1B und 1C. Im Gegensatz zu den ersten Experimenten sind die perzeptuellen Systeme der Agenten sehr viel elaborierter als vorher (Abbildung 6.24).

Die genaue Analyse der an der Konzeptbildung beteiligten Merkmalsdetektoren zeigt Unterschiede in der Zusammensetzung der Konzepte im Vergleich zu den vorherigen Experimenten. Die Abbildungen 6.25 und 6.26 zeigen dies exemplarisch für die Konzepte RECHTS und LINKS sowie VOR und HINTER von Agent 5. Das in Experiment 1C relevant gewordene Merkmal AUS spielt keine Rolle mehr. Insgesamt werden die aus den Experimenten 1A und 1B bekannten Merkmale verwendet, die allerdings sehr viel weiter ausdifferenziert sind. Bei allen Agenten ist die Konzentration auf die Merkmale H und 2S zu beobachten. Dabei werden für die vier Konzepte jeweils unterschiedliche Wertebereiche selektiert.

Wie schon in Experimenten 1A – 1C haben die verschiedenen Agenten ihr perzeptuelles System in ähnlicher Weise modifiziert. Daher lässt sich grob der Bereich ermitteln, in dem die konzeptkonstituierenden Merkmalsdetektoren liegen. Welche Detektoren aber tatsächlich für die Konzeptbildung Verwendung finden, kann auf Grund der unterschiedlichen Eingaben nicht vorhergesagt werden. Durch die stärkere Differenzierung der Merkmalsdetektoren gibt es hier zudem größere Unterschiede in der Konzeptbildung als in den vorherigen Experimenten.

**Ergebnisse (quantitativ)** Die auf die Agenten bezogenen Kovarianzanalysen zeigen mehrere Effekte (Tabelle 6.8). Bei Betrachtung des gesamten Ver-

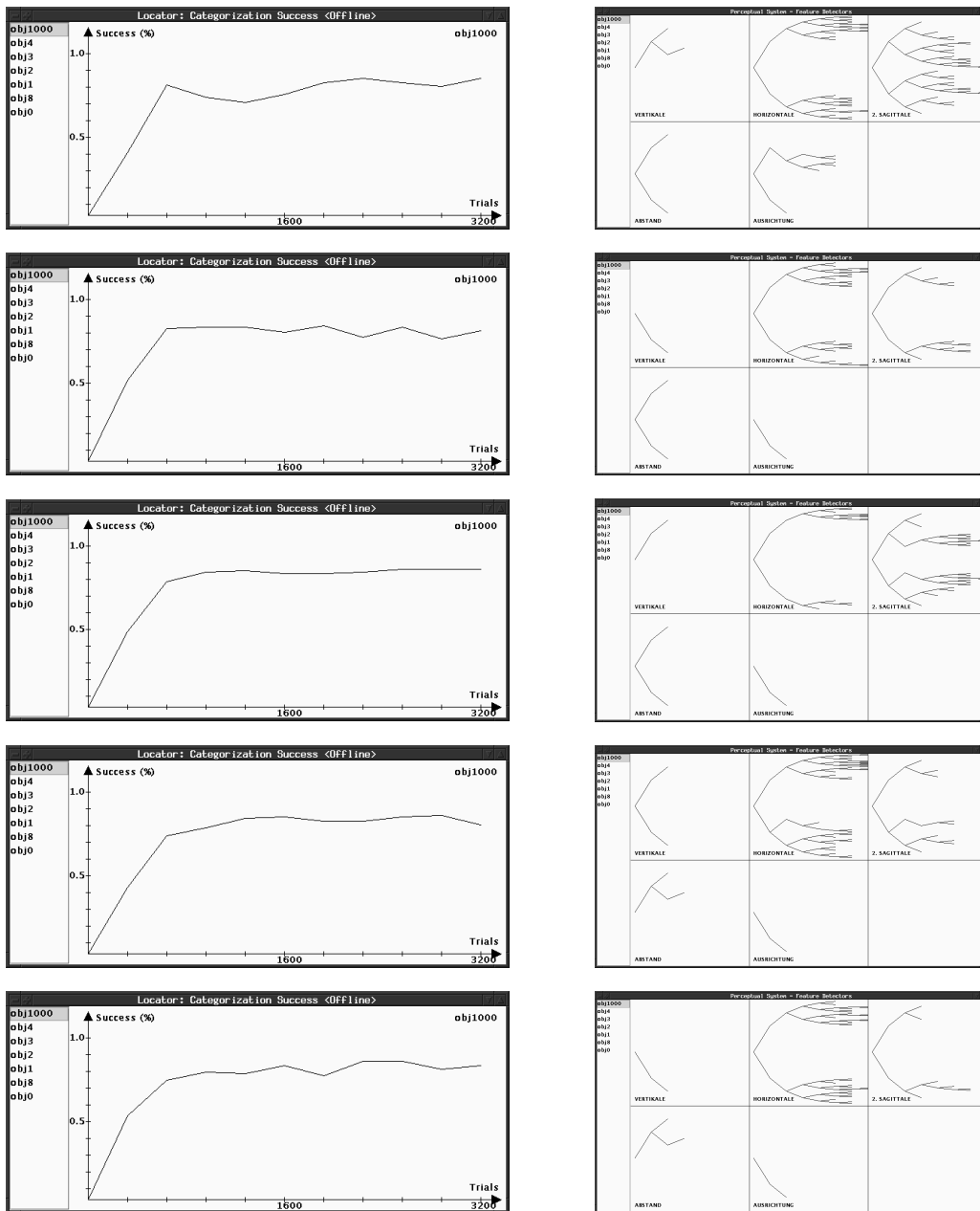


Abbildung 6.24: Experiment 2A: *rechts, links, vor, hinter*. Kategorisierungserfolg (links) und perzeptuelles System (rechts) der Agenten 1–5.

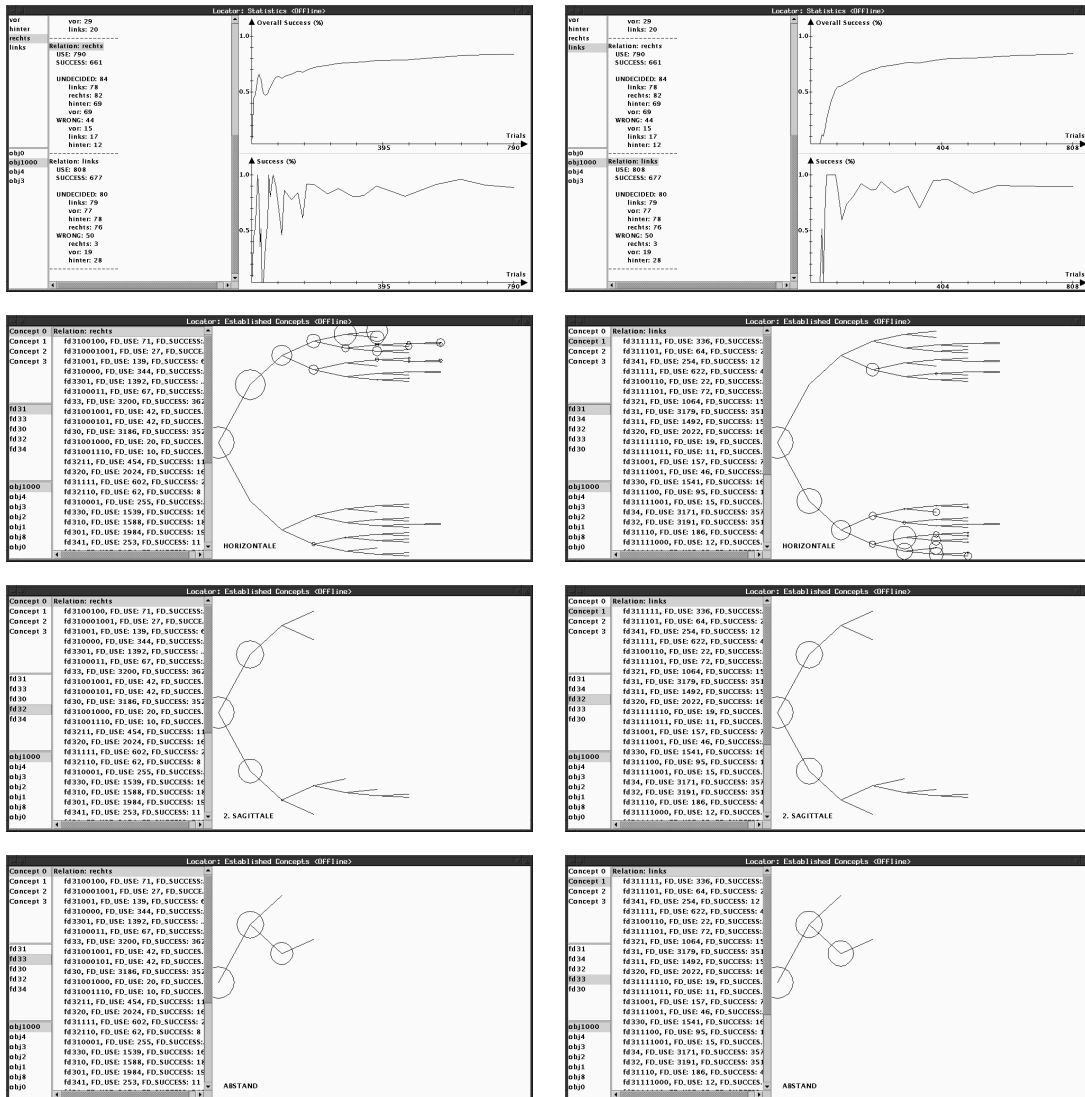


Abbildung 6.25: Experiment 2A: rechts, links, vor, hinter. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale von Agent 5 für die Konzepte RECHTS und LINKS.

suchszeitraums lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Relationen in Bezug auf die Fehlerrate feststellen:  $F_F(3, 179) = 6.94, p < 0.01$ . Abbildung 6.29 stellt die Fehlerrate der einzelnen Agenten aufgefächert nach den vier Relationen dar. Insbesondere für die Relation *vor* machen alle Agenten mehr Fehler als für die anderen Relationen. In Bezug auf die Fehlerrate findet sich ein weiterer signifikanter Effekt während der stabilen Phase zwischen den Agenten:  $F_F(1, 79) = 2.65, p < 0.05$ . Der Übersichtlichkeit halber sind die mittleren Fehleraten für die Agenten aus Abbildung 6.29 in Abbildung 6.30 noch einmal geson-

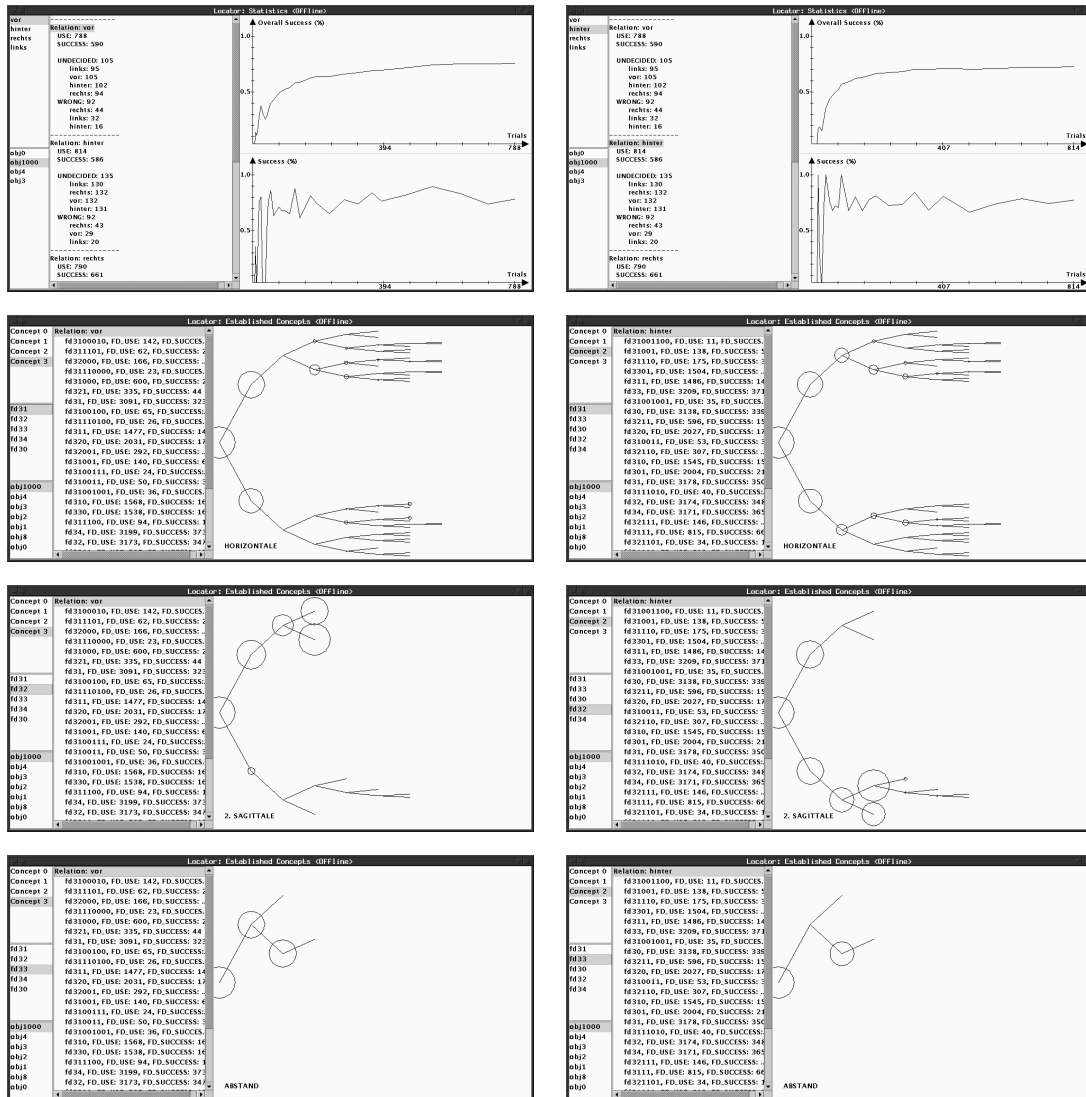


Abbildung 6.26: Experiment 2A: *rechts*, *links*, *vor*, *hinter*. Konzepterfolg (oben) und verwendete Merkmale von Agent 5 für die Konzepte VOR und HINTER.

dert dargestellt. Die größten Unterschiede finden sich zwischen Agent 1 (mittlere Fehlerrate 6.7%) und Agent 2 (mittlere Fehlerrate 9.9%).

Der auf die Fehlerrate bezogene Effekt zwischen den Relationen bleibt in der stabilen Phase erhalten ( $F_F(3, 79) = 10.14, p < 0.01$ ). Im Mittel ist die Fehlerrate für die Relation *vor* auch hier immer noch höher als für die übrigen Relationen. Dies gilt aber nicht für alle Agenten. Agent 3 macht die meisten Fehler für die Relation *links*, Agent 5 für *hinter*. Dieses abweichende Antwortmuster in einigen Agenten führt zu einer Interaktion zwischen Agenten und Relationen

	gesamt			stabil		
	df	$F_E$	$F_F$	df	$F_E$	$F_F$
Agenten	4,179	0.72	0.78	4,79	2.41	2.65*
Relationen	3,179	2.07	6.94**	3,79	10.95**	10.14**
A x R	12,179	1.05	1.14	12,79	4.17**	4.49**

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.8: Experiment 2A: rechts, links, vor, hinter. Kovarianzanalysen bezogen auf die Agenten.

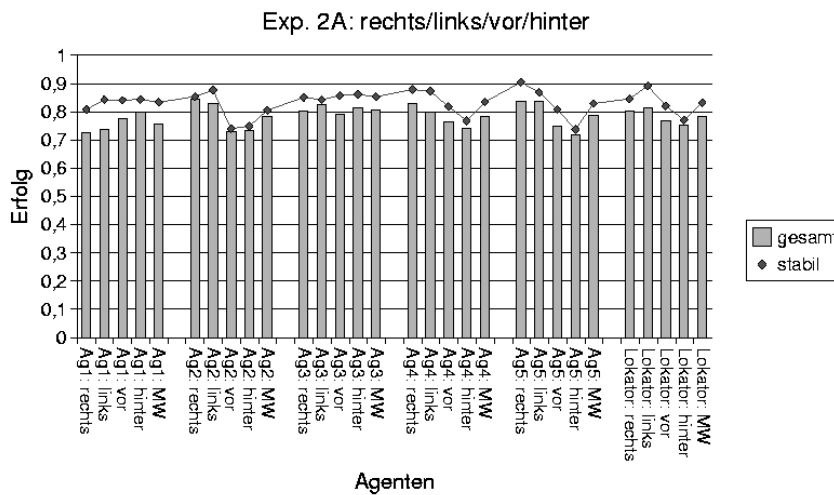


Abbildung 6.27: Kategorisierungserfolg der Agenten und des Gesamtsystems.

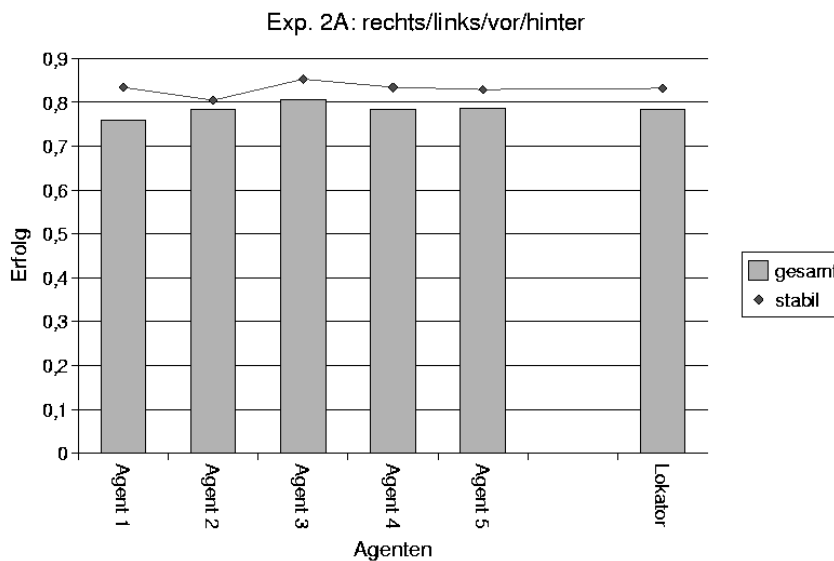


Abbildung 6.28: Mittlerer Kategorisierungserfolg der Agenten und des Gesamtsystems.



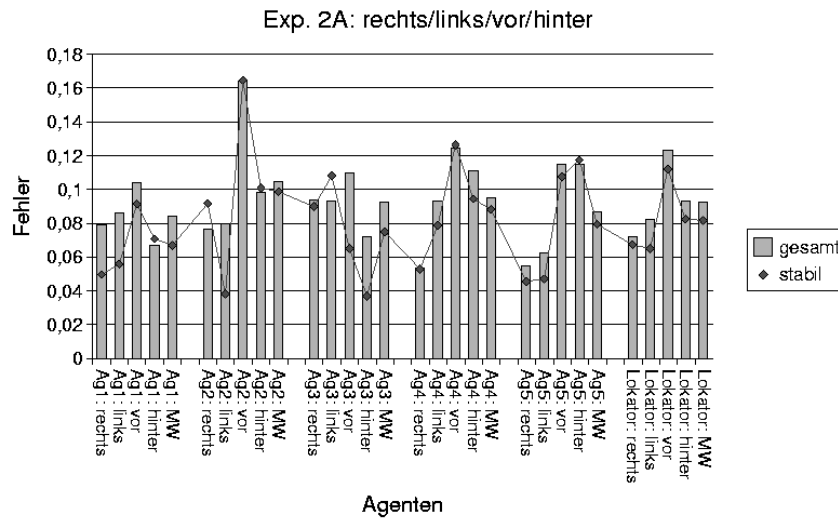


Abbildung 6.29: Kategorisierungsfehler der Agenten und des Gesamtsystems.

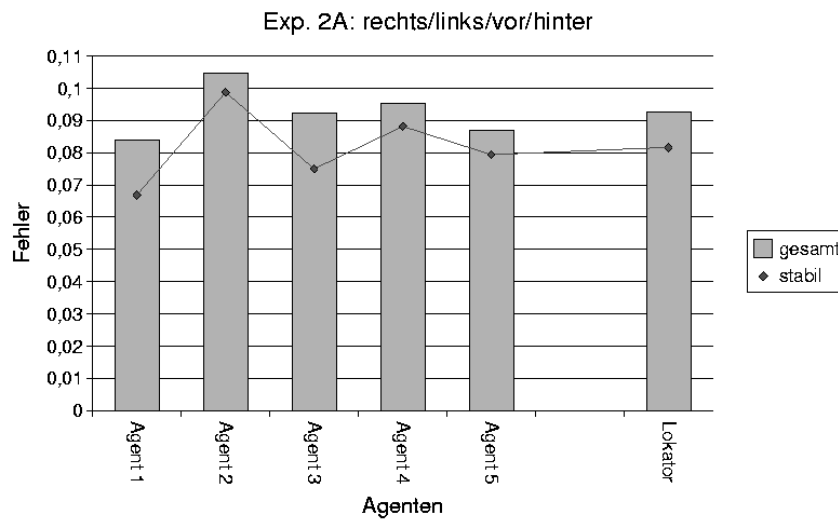


Abbildung 6.30: Mittlerer Kategorisierungsfehler der Agenten und des Gesamtsystems.

	gesamt			stabil		
	df	$F_E$	$F_F$	df	$F_E$	$F_F$
Versuche	9,159	45.9**	11.85**	4,79	0.65	0.53
Relationen	3,159	6.93**	10.68**	3,79	8.22**	6.59**
V x R	27,159	0.89	1.27	12,79	1.49	0.98

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.9: Experiment 2A: rechts, links, vor, hinter. Kovarianzanalysen bezogen auf die Anzahl der Versuche.

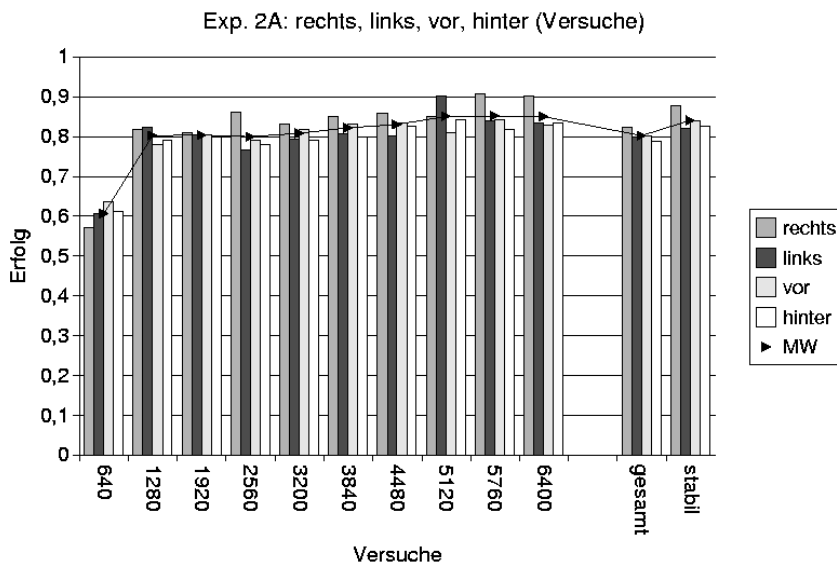


Abbildung 6.31: Kategorisierungserfolg während der Versuche.

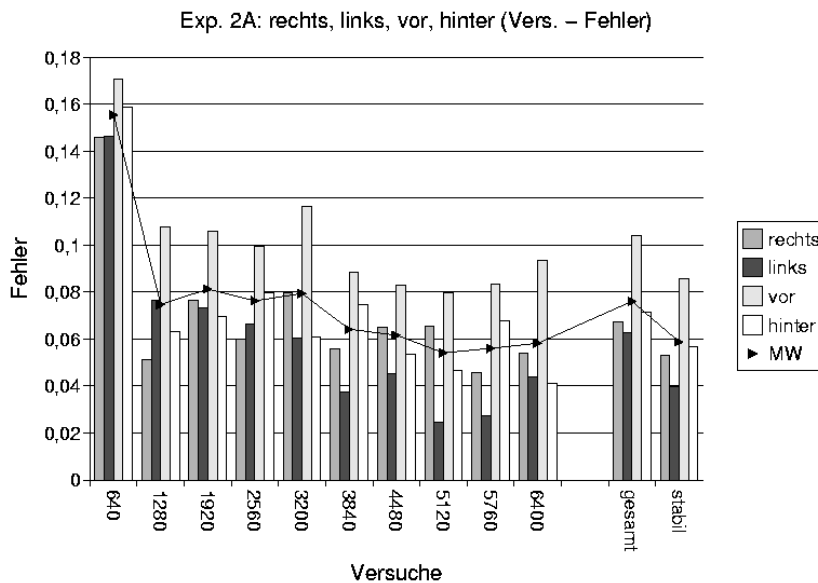


Abbildung 6.32: Kategorisierungsfehler während der Versuche.

( $F_F(12, 79) = 4.49, p < 0.01$ ).

Auch beim Kategorisierungserfolg zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Relationen ( $F_E(3, 79) = 10.95, p < 0.01$ ). Drei der fünf Agenten kategorisieren die Relationen *rechts* und *links* erfolgreicher als *vor* und *hinter*. Die Agenten 1 und 3 weichen hiervon ab, da sie keine Unterschiede im Kategorisierungserfolg für die einzelnen Relationen erkennen lassen. Das Vorhandensein von Unterschieden zwischen den Relationen ist also agentenspezifisch, so dass sich auch hier eine signifikante Interaktion zwischen Agenten und Relationen findet:  $F_E(12, 79) = 4.17, p < 0.01$ .

Die Kovarianzanalysen, die in Bezug auf die Anzahl der Versuche gerechnet wurden (Tabelle 6.9), bestätigen die schon in den Experimenten 1A – 1C erhalten Effekte zwischen den Agenten, wenn alle Messpunkte berücksichtigt werden:  $F_E(9, 159) = 45.9, p < 0.01$  und  $F_F(9, 159) = 11.85, p < 0.01$ . Wie zuvor verschwinden diese Effekte, wenn lediglich die stabile Phase betrachtet wird. Zusätzlich treten die aus Experiment 1C bekannten Effekte zwischen den Relationen wieder auf. Die Abbildung 6.31 zeigt, dass im Mittel die Performanz für die Relationen *rechts* und *links* sowohl im Gesamtzeitraum als auch in der stabilen Phase höher ausfällt als für *vor* und *hinter*. Ebenso liegt die Fehlerrate für *rechts* und *links* im Mittel niedriger als diejenige der beiden anderen Relationen (Abbildung 6.32).

**Diskussion** Die Analyse der von den fünf Agenten gebildeten Konzepte macht deutlich, dass die in den Experimenten 1A und 1B erreichten Modifikationen des perceptuellen Systems und die dort für die Konzeptbildung verwendeten Merkmalsdetektoren nicht ausreichen, um die komplexere Aufgabe in diesem Experiment zu lösen. Zum einen kommt es zu einer größeren Differenzierung der initialen Merkmalsdetektoren, zum anderen reicht die Konzentration auf ein bestimmtes Merkmal nicht mehr aus. Stattdessen wird eine Kombination relevanter Merkmale notwendig. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um das Merkmal H, das insbesondere bei der Konstitution von RECHTS und LINKS Verwendung fand und um das Merkmal 2S, das konstituierend für VOR und HINTER war. Diese klare Zuordnung bleibt nicht erhalten. Beide Merkmale werden für alle Konzepte konstituierend, wobei sich für die einzelnen Konzepte bestimmte Wertebereiche als relevant herausbilden. In Bezug auf die verwendeten Merkmale sind die Konzepte in den fünf Agenten ähnlich strukturiert. Der tatsächliche Inhalt der Konzepte, d.h. die verwendeten Merkmalsdetektoren, unterscheiden sich dagegen zwischen den Agenten. Es existiert also ein agentenspezifischer Konzeptinhalt. Diese Agentenspezifität ergibt sich aus der Situationsbezogenheit der gebildeten Konzepte. Konzeptbildung findet immer in den konkreten Situationen statt, die ein Agent erfährt, hier gegeben durch die visuellen und sprachlichen Eingaben.

Die Situativität der Konzeptbildung wird noch in einem anderen Punkt evident. Werden die in den Experimenten 1A, 1B und 2A gebildeten Konzepte be-

trachtet, dann unterscheiden sich gleiche Konzepte strukturell voneinander. Diese Unterschiede ergeben sich wiederum in Abhängigkeit der erfahrenen Situationen, d.h. in Abhängigkeit der sprachlichen und visuellen Eingaben. Soll beispielsweise die *rechts-/links*-Dichotomie erlernt werden, birgt das Merkmal 2S keinen lösungsrelevanten Informationsgehalt. Kontrastierend zu den Relationen *vor* und *hinter* erweist sich dieses Merkmal aber auch für die Konzepte RECHTS und LINKS als relevant. Der Inhalt eines Konzeptes kann daher nicht auf einen bestimmten Kern beschränkt werden. Stattdessen sind Struktur und Inhalt eines Konzeptes nur in Abhängigkeit von der zu lösenden Aufgabe bestimmbar. Die Lernaufgabe in Experiment 2A ist auf Grund der größeren Menge zu erwerbender Konzepte komplexer. Dadurch werden andere bzw. mehr Aspekte der Situation, hier der visuellen Eingabe, relevant.

Die statistischen Analysen zeigen für das Gesamtsystem LOKATOR, d.h. bezogen auf die Anzahl der Versuche, keine Überraschungen. Die Unterschiede in Kategorisierungserfolg und Fehlerate zwischen den Relationen lassen sich wiederum auf die mit der geringen Tiefenauflösung des visuellen Sensors verbundenen Probleme zurückführen. Interessanter sind die signifikanten Interaktionen, die in der stabilen Phase zwischen Agenten und Relationen auftreten, wenn die Analysen mit Bezug auf die einzelnen Agenten gerechnet werden. Hier zeigt sich, dass die signifikanten Unterschiede zwischen den Relationen agentenspezifisch auftreten. Die einzelnen Agenten unterscheiden sich zunächst nur in ihrer Explorationsgeschichte voneinander. Daher können diese Interaktionen auf die Situationen zurückgeführt werden, denen die Agenten während der Exploration ihrer Umwelt begegnet sind. Sie begründen sich also aus den jeweiligen Erfahrungen der Agenten und unterstreichen einerseits den situativen Charakter des Konzeptbildungsprozesses und andererseits die Wichtigkeit eines agentenorientierten Ansatzes, um diese Prozesse zu untersuchen.

Da die Prozesse der Konzeptualisierungskomponente nicht vollständig deterministisch ablaufen, sind auch Variationen in den etablierten Konzepten und in der Modifizierung des perzeptuellen System denkbar, wenn zwei Agenten die gleiche Explorationsgeschichte aufweisen. Daher besteht die theoretische Möglichkeit, dass die statistisch signifikante Interaktion nicht auf die verschiedenen erfahrenen Situationen zurückgeht, sondern in der Implementierung der Konzeptbildungsprozesse begründet ist. Experiment 2B wird unter anderem dieser Frage nachgehen.

Zusammenfassend zeigt dieses Experiment, dass auf der Basis grundlegender Analyseprozesse und multimodaler Eingaben, Konzepte gebildet werden können, die sich inhaltlich unterscheiden, ohne dass sich dieser Unterschied in einem signifikanten Performanzunterschied niederschlägt. Die grundlegenden Analysestrukturen werden dabei auf der Basis ähnlicher sprachlicher Eingaben in ähnlicher Weise modifiziert. Die sprachlichen Eingaben realisieren für alle Agenten die gleichen sprachlichen Relationen. Die so von der Sprachgemeinschaft vorgegebenen Analysemuster werden für die Erzeugung und Selektion konzeptkonstituierender

Merkmale in Form von Merkmalsdetektoren verwendet. Es zeigt sich, dass sich die Modifizierung der perzeptuellen Systeme sprachgetrieben auf die gleichen Merkmale konzentriert. In welcher Weise und wie weit die initialen Merkmalsdetektoren dann tatsächlich modifiziert werden, hängt von den empfangenen visuellen und sprachlichen Eingaben ab.

### 6.2.2 B: identische Eingaben

Für dieses Experiment wurden fünf Agenten erzeugt, die identische visuelle und sprachliche Eingaben erhielten. Auch in diesem Durchgang wurde nach 3200 sprachlichen Eingaben abgebrochen. Jeweils ca. ein Viertel der Eingaben realisierte je eine der beteiligten Relationen. Da in diesem Fall keine Variationen zwischen den Agenten bestehen, können die genauen Zahlen angegeben werden: *rechts* 825 (25.78%), *links* 777 (24.28%), *vor* 837 (26.16%) und *hinter* 761 (23.78%).

**Ergebnisse (qualitativ)** Der Kategorisierungserfolg der fünf Agenten A – E ist mit dem aus Experiment 2A vergleichbar. Die perzeptuellen Systeme wurden ebenfalls in der dort gefundenen Weise modifiziert (Abbildung 6.33). Als konzeptkonstituierend erweisen sich wiederum Detektoren der Merkmale H und 2S. Eine genaue Analyse der gebildeten Konzepte zeigte, dass trotz identischer Eingaben Variationen in den verwendeten Merkmalsdetektoren bestehen.

**Ergebnisse (quantitativ)** Die statistische Analyse konzentriert sich hier auf die einzelnen Agenten (Tabelle 6.10). Es ergeben sich durchgehend signifikante Unterschiede zwischen den Relationen. Die übrigen Signifikanzen aus Experiment 2A sind verschwunden. Insbesondere existieren keine signifikanten Interaktionen mehr zwischen Agenten und Relationen.

**Diskussion** Zwei Ergebnisse dieses Experimentes sind von entscheidender Wichtigkeit. Zum einen lassen sich trotz identischer Eingaben weiterhin Variationen sowohl in den zur Etablierung der Konzepte verwendeten Detektoren als auch bei der Modifikation des perzeptuellen Systems finden. Konzepte, die in den gleichen Situationen gebildet wurden, müssen somit nicht zwangsläufig inhaltlich identisch sein. Die Analyse derselben Situation kann (geringfügig) andere Aspekte fokussieren, die Eingang in die Konzeptrepräsentation finden.

Das Verschwinden der Signifikanzen zeigt zum anderen, dass Variationen zwar weiterhin möglich sind, identische Situationen aber geringere Abweichungen in der Modifikation des perzeptuellen Systems erlauben, somit strengere Constraints darstellen, die zu eindeutigeren Ergebnissen führen. Insbesondere das Verschwinden der signifikanten Interaktionen zwischen Agenten und Relationen bestätigt die Schlussfolgerungen aus Experiment 2B. Die Interaktionen sind nicht in der Art der Implementierung der Konzeptbildungsprozesse begründet, die auch bei

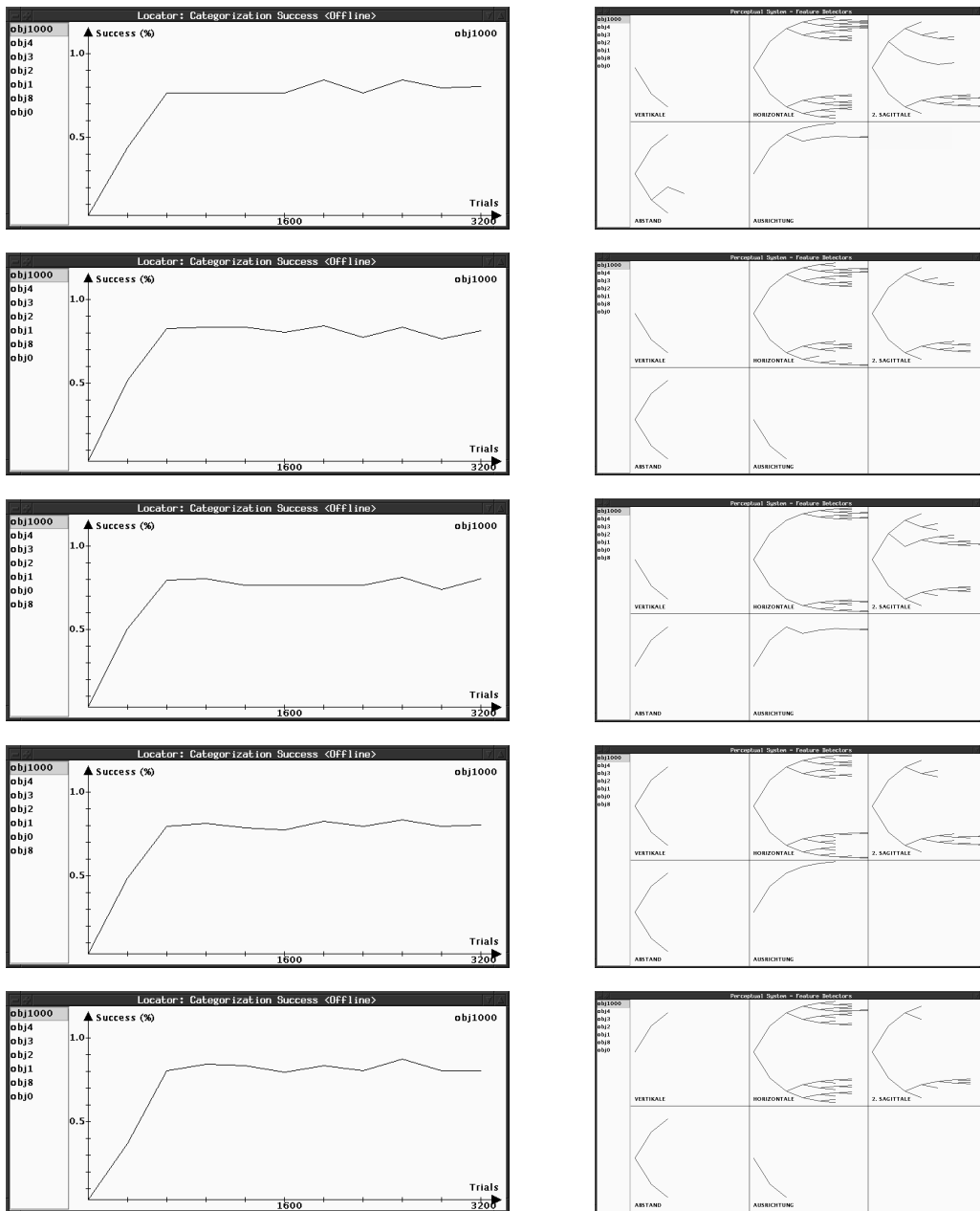


Abbildung 6.33: Experiment 2B: rechts, links, vor, hinter. Kategorisierungserfolg (links) und perzeptuelles System (rechts) der Agenten A–E

	gesamt			stabil		
	df	$F_E$	$F_F$	df	$F_E$	$F_F$
Agenten	4,179	0.4	0.77	4,79	1.41	1.34
Relationen	3,179	4.14**	3.39**	3,79	18.22**	18.32**
A x R	12,179	0.24	0.32	12,79	0.77	0.93

$p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$

Tabelle 6.10: Experiment 2B: rechts, links, vor, hinter. Kovarianzanalysen bezogen auf die Agenten.

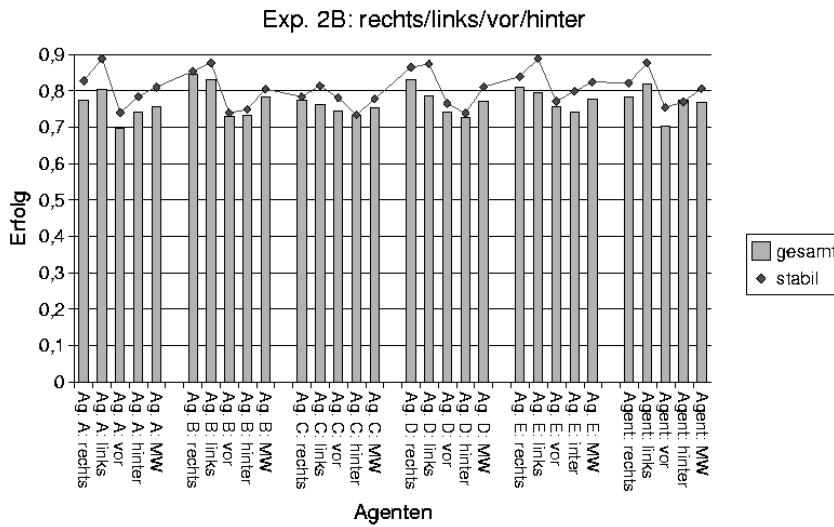


Abbildung 6.34: Kategorisierungserfolg der Agenten und des Gesamtsystems.

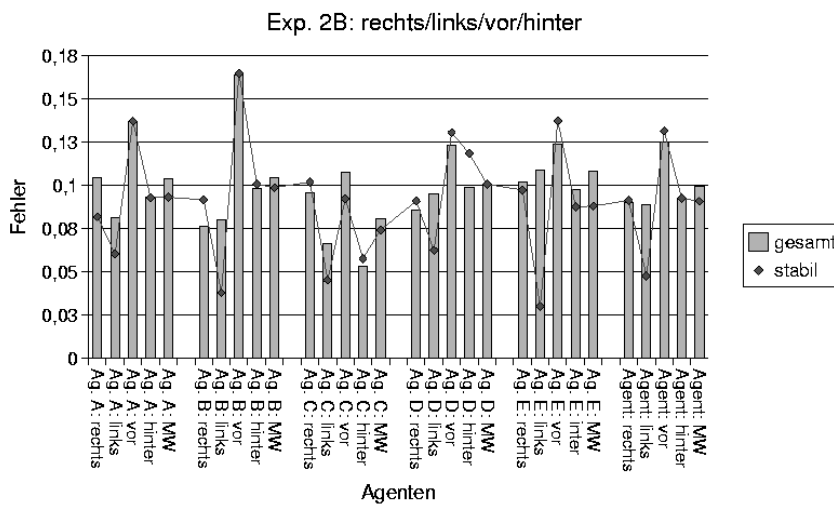


Abbildung 6.35: Kategorisierungsfehler der Agenten und des Gesamtsystems.

identischer Explorationsgeschichte Variationen in Konzepten und perzeptuellem System zulassen, sondern können auf die unterschiedlichen Explorationsgeschichten verschiedener Agenten zurückgeführt werden,

Die weiterhin feststellbaren signifikanten Unterschiede zwischen den Relationen können wie schon vorher auf die geringe Tiefenauflösung des visuellen Sensors zurückgeführt werden. Abbildung 6.34 macht deutlich, dass die Performanz für die Relationen *rechts* und *links* höher liegt als für *vor* und *hinter*.

Die Ergebnisse dieses Experimentes unterstreichen nochmals die Rolle situierter Konzeptbildung. Die Modifizierung der grundlegenden Analysemechanismen findet in Abhängigkeit der erfahrenen Eingaben, also der erfahrenen Situationen, statt. Variieren diese zwischen den Agenten, gibt es Variationen in den perzeptuellen Systemen und damit in den für die Konzeptbildung verwendeten Merkmalsdetektoren.

### 6.2.3 C: *rechts, links, später vor, hinter*

Im Rahmen der Untersuchungen zu einem relativen Referenzsystem wurde noch ein weiteres Experiment durchgeführt, das aber unter quantitativen Gesichtspunkten keine neuen Erkenntnisse brachte. Daher wird hier auf eine ausführliche Analyse verzichtet und lediglich auf einen Aspekt genauer eingegangen.

In diesem Experiment wurden wiederum fünf Agenten erzeugt. Diese erhielten zunächst jeweils 1600 sprachliche Eingaben, in denen die Relationen *rechts* und *links* realisiert waren. Danach wurden jeweils 4800 sprachliche Eingaben präsentiert, die zusätzlich auch die Relationen *vor* und *hinter* enthielten.

Die qualitativen und quantitativen Ergebnisse für die Anfangsphase (nur *rechts* und *links*) unterscheiden sich nicht von Experiment 1A. Das gleiche gilt für den stabilen Teil (ab 3200 Versuchen) der zweiten Phase (alle vier Relationen). Auch hier unterscheiden sich die Ergebnisse nicht von Experiment 2A.

Von Interesse ist daher die Phase von Beginn der Verwendung aller vier Relationen (ab 1600 Versuchen) bis zur Stabilisierung (ab 3200 Versuchen). Die Abbildung 6.36 zeigt die Entwicklung des Kategorisierungserfolgs und des perzeptuellen Systems exemplarisch für einen Agenten. Wie nicht anders zu erwarten, führt die Verwendung unbekannter Relationen zunächst zu einem Einbruch der Kategorisierungsperformanz. Für den Beispielagenten von ca. 95% auf ca. 70%. Im Laufe der nächsten 1600 Versuche steigt dieser Wert dann im Zuge der Modifizierung des perzeptuellen Systems auf das aus Experiment 2A bekannte Niveau an (ca. 80%). Die Modifizierung des perzeptuellen Systems konzentriert sich auf zwei Merkmale. Zum einen wird das bereits verwendete Merkmal H stärker differenziert, zum anderen gewinnt das bis dahin irrelevante Merkmal 2S an Bedeutung und wird ebenfalls differenziert. Diese Modifizierung des perzeptuellen Systems geht einher mit einer Neustrukturierung der bereits vorhandenen Konzepte. Die bisherigen konzeptkonstituierenden Merkmalsdetektoren können die Funktionalität der Konzepte RECHTS und LINKS während der Kategorisierung



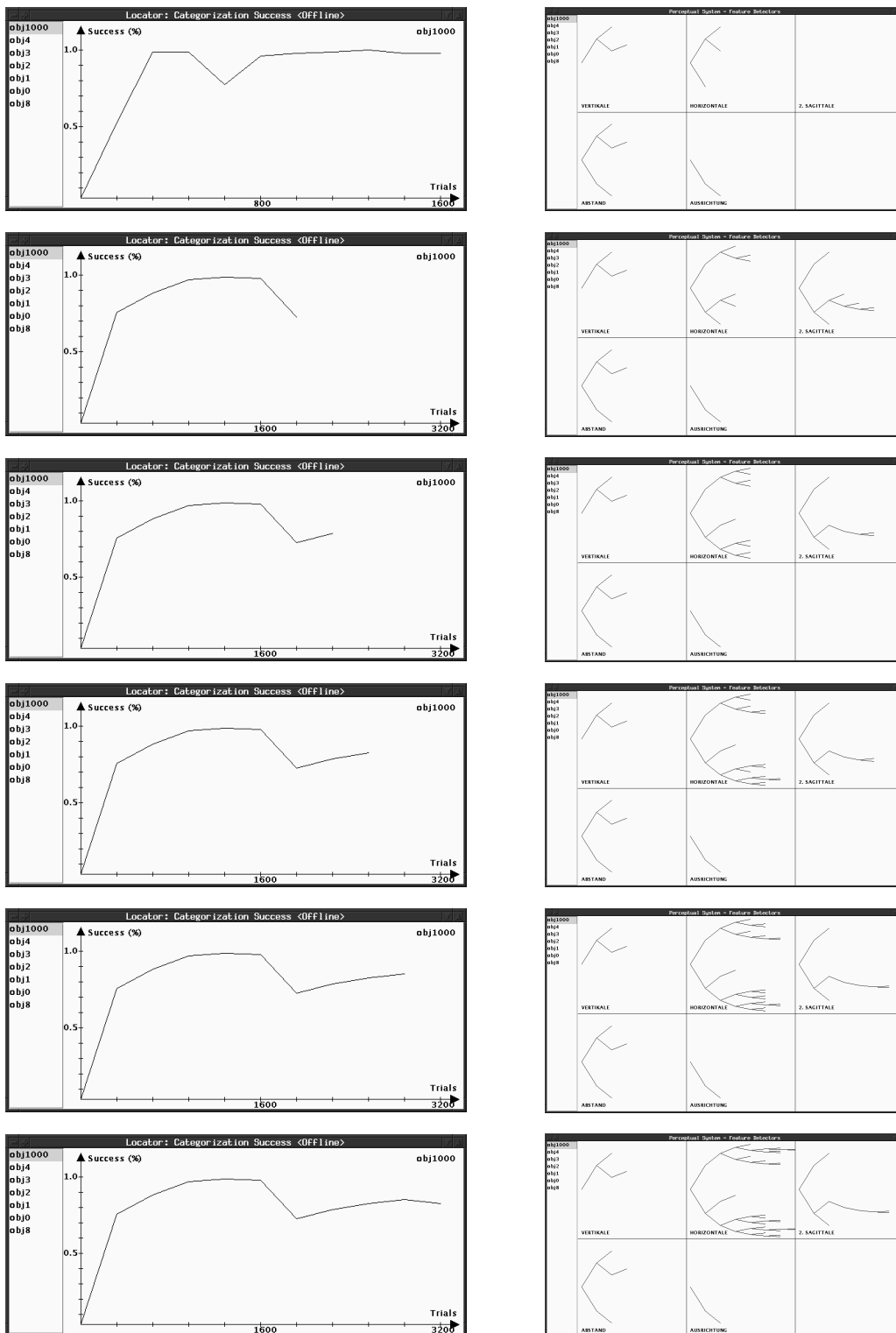


Abbildung 6.36: Experiment 2C: *rechts, links, später rechts, links, vor, hinter*. Entwicklung des Kategorisierungserfolges (links) und des perzeptuellen Systems (rechts) eines Agenten während der Versuche 1600–3200.

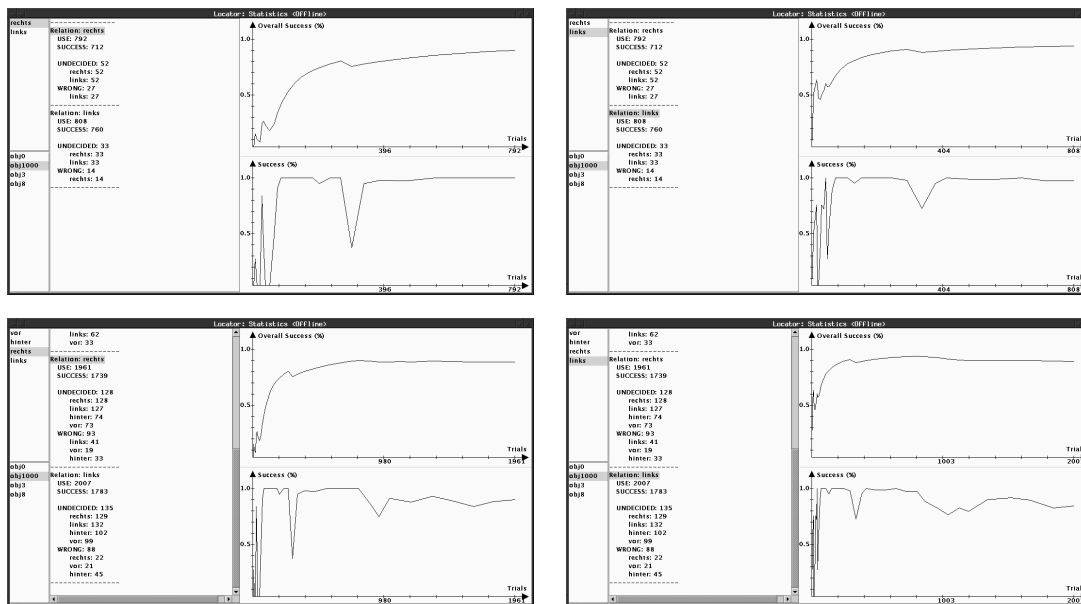


Abbildung 6.37: Experiment 2C: *rechts, links, später rechts, links, vor, hinter*. Konzepterfolge eines Agenten für die Konzepte RECHTS und LINKS nach 1600 und nach 6400 Versuchen.

nicht mehr sicherstellen. Konzeptkonstituierend werden daher auch andere Merkmalsdetektoren für das Merkmal H. Außerdem kommen Merkmalsdetektoren für das Merkmal 2S hinzu (siehe auch Experiment 2A). Im Zuge dieser Neustrukturierung fällt der Kategorisierungserfolg für die Konzepte RECHTS und LINKS ebenfalls ab, um dann wieder auf ein aus Experiment 2A bekanntes Niveau anzusteigen (Abbildung 6.37). Der beobachtete Abfall der Kategorisierungsleistung bei Einführung der neuen Relationen *vor* und *hinter* ist also nicht allein diesen noch unbekanntenen Relationen geschuldet.

Diese Neustrukturierung vorhandener Konzepte beim Erwerb neuer Konzepte stimmt mit Ergebnissen von Skarda und Freeman (1987) überein. Skarda und Freeman untersuchten das olfaktorische System von Hasen (durch Ableitung an den entsprechenden Hirnarealen). In diesen Experimenten trainierten sie u.a. einen Hasen, den Geruch von Bananen zu erkennen. Nach einer Lernphase konnte ein gleichbleibendes EEG-Muster abgeleitet werden. Die Repräsentation des Bananengeruchs hatte sich stabilisiert. Nach dieser Stabilisierung wurde dem Hasen zusätzlich das Erkennen des Geruchs von Sägespänen antrainiert. Auch dazu war der Hase nach einiger Zeit in der Lage, ohne seine Fähigkeit der Kategorisierung von Bananenduft zu verlieren. Was sich im Zuge des Erwerbs der Sägespänenrepräsentation allerdings geändert hatte, war das vorher stabile Muster für Bananenduft. Dieses wurde zeitgleich mit dem Erwerb des neuen Konzeptes umstrukturiert.

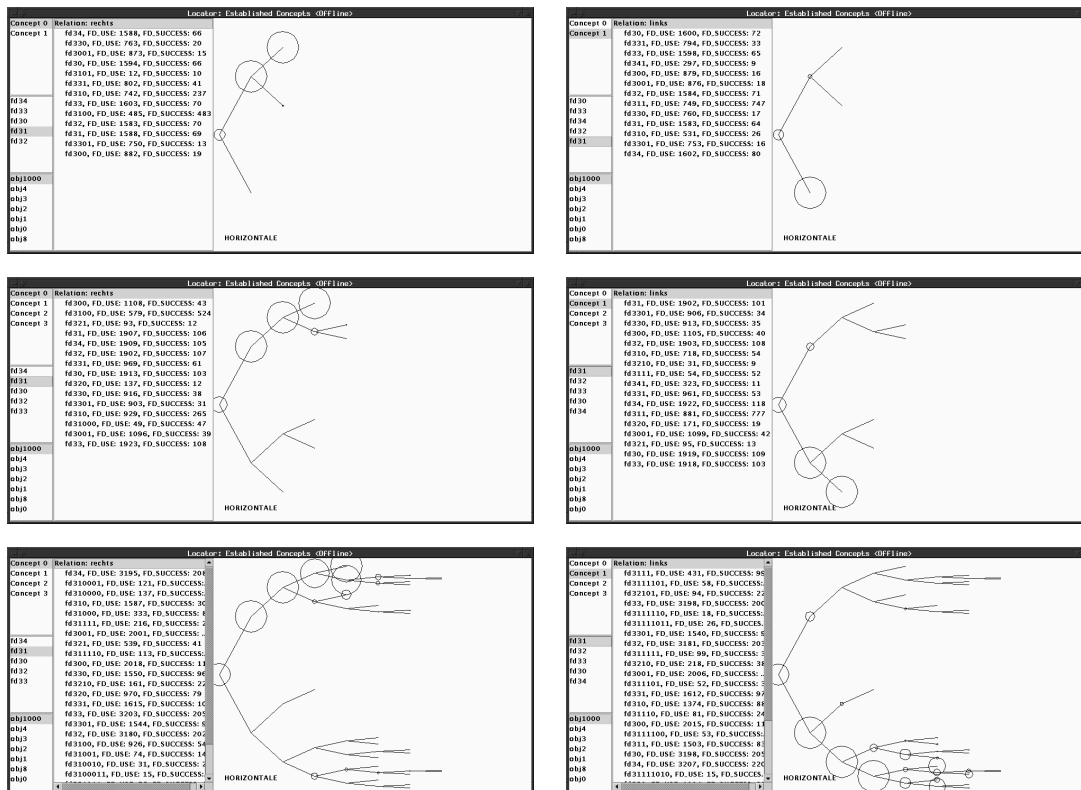


Abbildung 6.38: Experiment 2C: rechts, links, später rechts, links, vor, hinter. Entwicklung der konzeptkonstituierenden Merkmalsdetektoren der Konzepte RECHTS und LINKS für das Merkmal H (nach 1600, 2560 und 3200 Versuchen).

Ähnliches passiert in LOKATOR. Die vorhandenen Analyse- und Repräsentationsmechanismen reichen nicht mehr aus, wenn neue Konzepte erworben werden, daher ist eine Modifizierung dieser Mechanismen notwendig und damit einhergehend die Neustrukturierung der vorhandenen Konzepte. Nicht beeinträchtigt werden sollte dabei die Performanz der bereits früher etablierten Konzepte (zumindest nicht nach Abschluss der Umstrukturierung). Dies kann in LOKATOR nicht in vollem Umfang garantiert werden, was wiederum auf die bereits beschriebene Beschränkung der verwendeten Sensorik zurückzuführen ist.

Am Beispiel der Merkmalsdetektoren für das Merkmal H wird die Neustrukturierung der Konzepte RECHTS und LINKS gezeigt (Abbildung 6.38). Auffallend ist hier, wie sehr schnell viele neue Merkmalsdetektoren an Bedeutung gewinnen, und an die Seite der bisherigen bedeutungskonstituierenden Merkmalsdetektoren treten, so dass deren Bedeutung im Laufe der Zeit relativiert wird.

Der Kategorisierungserfolg für die Konzepte VOR und HINTER nach 6400 Versuchen ist in Abbildung 6.40 dargestellt. Die Erfolgskurven für die Konzepte

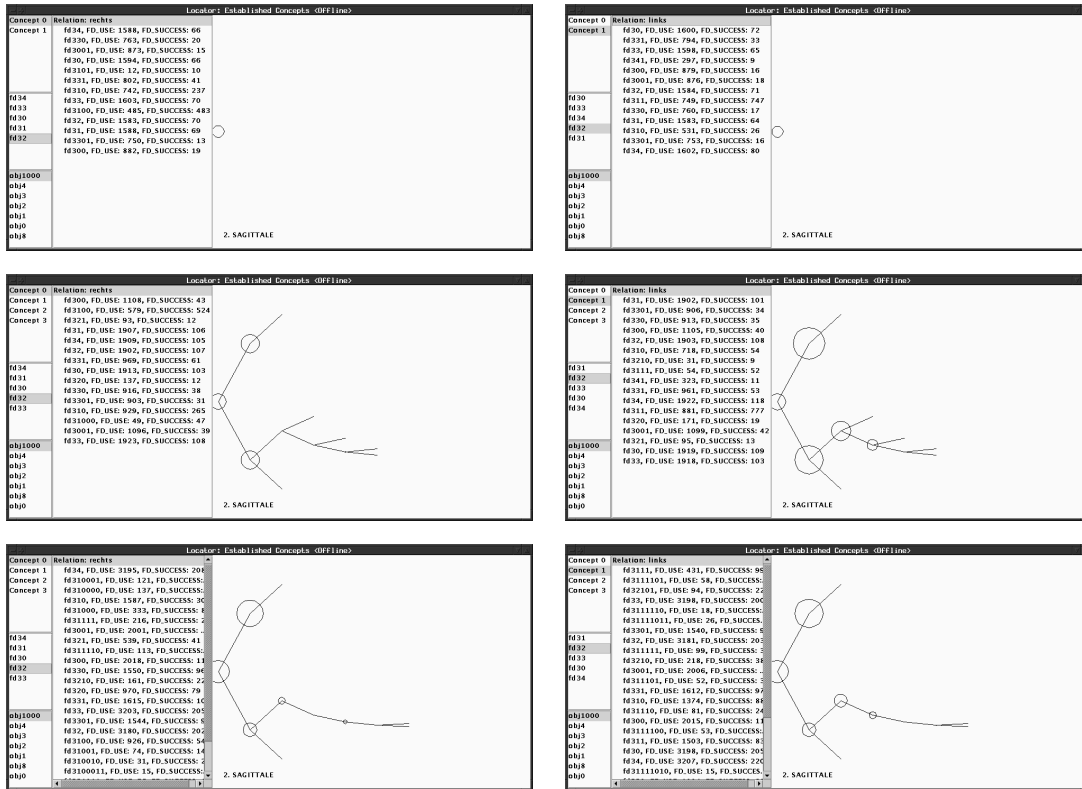


Abbildung 6.39: Experiment 2C: rechts, links, später rechts, links, vor, hinter. Entwicklung der konzeptkonstituierenden Merkmalsdetektoren der Konzepte RECHTS und LINKS für das Merkmal 2S (nach 1600, 2560 und 3200 Versuchen).

VOR und HINTER zeigen einen bemerkenswerten Effekt. Die aus allen vorherigen Experimenten bekannte instabile Phase am Anfang der Konzeptetablierung fehlt hier gänzlich. Stattdessen steigt die Kurve sehr schnell auf ein stabiles Niveau. Der einzige Unterschied zwischen den vorherigen Experimenten und diesem besteht in der Aufteilung des Lernproblems in zwei Phasen. Die Bildung der Konzepte RECHTS und LINKS veranlasst einen Agenten zu einer eingabenspezifischen Modifizierung seines perzeptuellen Systems, d.h. der Mechanismen zur Analyse visueller Eingaben. Die sprachlichen Eingaben tradieren dabei allgemein akzeptierte, konzeptuelle Constraints der Sprachgemeinschaft des Agenten, im Falle der hier gewählten Domäne der Konzeptbildung ein relatives System der Raumreferenz. Das zur Analyse der visuellen Eingaben verwendete perzeptuelle System ist daher schon im Sinne eines relativen Systems räumlicher Referenz vorstrukturiert. Der Erwerb weiterer Konzepte, die einem solchen System genügen, kann daher auf bereits vorhandenem Wissen aufsetzen. Dadurch wird die Aufgabe des Erwerbs dieser neuen Konzepte erleichtert, da sie mit einer bereits gebildeten

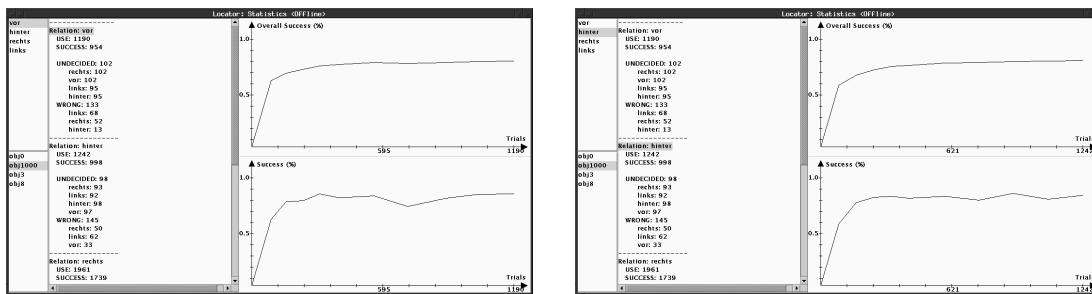


Abbildung 6.40: Experiment 2C: *rechts, links*, später *rechts, links, vor, hinter*. Konzepterfolge eines Agenten für die Konzepte VOR und HINTER nach 6400 Versuchen.

konzeptuellen Strukturierung kompatibel sind. Da diese Strukturierung situativ und datengetrieben aufgebaut wurde, ist sie allerdings den bisher erfahrenen Eingaben angepasst, so dass eine Modifizierung der bereits gebildeten Struktur unerlässlich ist, um auch die neuen Eingaben abzudecken.