

Please request reprints and cite the original paper!

This text is published in the following Reference:

Raab, M. (1999). Modellierung taktischer Entscheidungen. In W.-D. Miethling & J. Perl (Eds.), *Sport und Informatik VI: Bericht über den 6. Workshop Sport und Informatik vom 17.-19. Juni 1998 in Konstanz* (S. 111-123). Köln: Sport und Buch Strauß.

Modellierung taktischer Entscheidungen im Sportspiel¹

Markus Raab

1 Vorbemerkungen

Der bisherige Schwerpunkt der sportwissenschaftlichen Modellbildung ist primär dem Bereich der Leistungsdiagnostik zuzuordnen (vgl. Brand & Miethling, 1997; Lames, 1990; Liesegang, 1996; Miethling & Perl, 1985, 1986; Perl, 1997). Versuche, Mechanismen für das beobachtbare Verhalten zu beschreiben, sind meines Wissens nur von Andreas (1997) für Entscheidungen zu Gangänderungen beim Radfahren und von Sarrazin, Alain & Lacombe (1986) sowie Alain & Sarrazin (1990) für Angriffshandlungen im Squash geleistet worden. Wie solche Entscheidungen erlernt werden, blieb jedoch in beiden Fällen unberücksichtigt. Ziel dieses Beitrages ist es, Erklärungen für das Verhalten von Versuchspersonen zu finden, die im Rahmen eines vom BISp geförderten Forschungsprojektes (VF 0407/06/16/95 und VF 0407/06/13/96) taktische Entscheidungen implizit (wahrnehmungszentriert mit indirekter Aufmerksamkeitslenkung) und explizit (regelbasiert, verbale und visuelle Vermittlung von Wenn-Dann Antizipationsregeln) erlernten. Dazu wird auf der Grundlage der BDI-Architektur (Belief, Desires, Intentions; vgl. Bratman, 1987) eine taktische Sportspielsituation im Basketball (Centerrotation) in ihren subjektiv erlebten Wahrnehmungsbedingungen (Beliefs), ihren durch Wissen gebildeten Ziele (Desires) und ihren Entscheidungsmöglichkeiten sowie deren Umsetzung (Intentions) modelliert. Die Simulation der Lernleistung von Versuchspersonen wird in einem lokalen Neuronalen Netzwerk (ECHO; Thagard, 1989) realisiert. Das taktische Entscheidungsmodell T-ECHO (Tactical decision – Explanatory CHOherence) ist in der Lage, taktische Entscheidungen implizit und explizit zu erwerben. Der

¹ Mein herzlicher Dank gilt Prof. Fiedler für die Programmierhilfe und Hossner, Künzell und Schorer für die berechtigten und nützlichen Anmerkungen zu einer früheren Fassung dieses Textes.

Vergleich mit Versuchspersonen zeigt zudem, daß das Verhalten der Simulation weitestgehend den Entscheidungen von Versuchspersonen in Labor- und Feldexperimenten entspricht.

2 Modellierung taktischer Entscheidungen

Opwis & Spada (1994) beschreiben eine 3-Schritt-Modellierung für kognitive Prozesse, die die Schritte Konzeptualisierung, Formalisierung und Implementation beinhaltet. Unter *Konzeptualisierung* eines Gegenstandsbereiches wird dabei die Bildung von Taxonomien, d.h. hierarchisch geordnete Klasseneinteilungen verstanden. Taktische Entscheidungen im Sportspiel werden beispielsweise durch sogenannte Abstraktionshierarchien beschrieben (vgl. Roth, 1994). Zur Konzeptualisierung zählt die Festlegung der Objekte, die Definition von Relationen zwischen den Objekten sowie Operationen auf den Objekten bzw. Relationen (vgl. Genesereth & Nilsson, 1987). Die beiden ersten Punkte sind im Sportspiel leicht zu verwirklichen. In einer definierten Sportspielsituation - z.B. im Handball - sind die Objekte, die Spieler der beiden Mannschaften, der Ball, das Tor und weitere für die Entscheidung relevante Größen und ihre Relationen zu bestimmen. Den Spielern - z.B. Rückraummitte (RM) werden "Eigenschaften" zugeordnet und in einer Menge von Tupeln beschrieben {(SpielerRM, Ballbesitz)...}. Die Operationen auf den Objekten und Relationen sind etwas schwieriger handzuhaben. In der Regel werden sie im Sinne logischer Axiome als Menge von Präpositionen definiert. Die *Formalisierung*, der zweite Schritt der kognitiven Modellierung, erfolgt in Regeln, die allgemeine Aussagen in Abstraktionshierarchien zulassen. Dazu sind Regeln nötig, die aus gegebenen Fakten neue Aussagen ableiten können und Eigenschaften vererben. Diese Regeln werden entweder im Sinne der prädikatenlogischen Formalisierung logikorientiert (z.B. SpielerRM besitzt die Eigenschaft Ballbesitz, wenn zwischen SpielerRM und Ballbesitz eine "Hat_Eigenschaft"-Relation besteht) oder als Algorithmen durch Grammatiken beschrieben (vgl. Chomsky, 1980). Für die Verwendung formaler Modelle nichtnumerischer Art spricht die - für die in der sportwissenschaftlichen Forschung erwartete - höhere praktische Anwendbarkeit von wissensbasierten Modellen mit einer Grammatik als formale Sprache (vgl. Opwis & Spada, 1994, 233). Grammatikregeln als Metaphern sind dabei in der Sportwissenschaft bereits seit langem bekannt (vgl. Hagedorn, 1994) und werden immer

wieder zur Beschreibung taktischer Prozesse herangezogen (Roth & Raab, 1998). Der dritte Schritt, die *Implementierung*, ist für die taktische Leistungsdiagnostik (vgl. TESSY, TISSY, HANSY, Baba-Mate, VideoAS u.v.m.) vielversprechend entwickelt worden. Jedoch ist die gemeinsame Modellierung von taktischen Lern- und Entscheidungsprozessen m.E. bis jetzt nicht realisiert worden.

2.1 Konzeptualisierung

Zur Konzeptualisierung von taktischen Situationen werden Objekte, Relationen und Operationen durch Experten formuliert. Sie werden anhand der BDI-Architektur strukturiert. Diese geht davon aus, daß die Wahrnehmung der Umwelt (Beliefs) und die durch Wissen gebildeten Ziele (Desires) sowie Entscheidungen (Intentions) in einer gemeinsamen Architektur modelliert werden können. Für die Simulation taktischer Entscheidungen gelten folgende erweiterte Modellannahmen, die die Aufgabe durch Bildung von Äquivalenzklassen² miteinbezieht:

Objekte: {Beliefs, Desires, Intentions, Äquivalenzklassen}

Relationen: {<Beliefs,Desires>, <Desires,Intentions>, <Desires,Äquivalenzklassen>, <Äquivalenzklassen,Intentions>, <Beliefs,Intentions>}

Operationen: {<Beliefs_hemmen/fördernDesires>, <Desires_hemmen/fördernBeliefs>, <Äquivalenzklassen_hemmen/fördernDesires>, <Äquivalenzklassen_hemmen/fördernBeliefs>

, <Beliefs_hemmen/fördernIntentions>, <Desires_hemmen/fördernIntentions>,

<Intentions_hemmen/fördernBeliefs>, <Intentions_hemmen/fördernDesires>}

Die Menge der Objekte setzt sich aus Beliefs (Bewegungsrichtungen von Mit- und Gegenspielern), Desires (Anwendung von gelernten Wenn-Dann Antizipationsregeln, die Situationswissen mit Zielen verknüpfen), den Äquivalenzklassen (Angriffs-/Verteidigungssituationen unterschiedlicher Komplexität) und den Intentionen (den möglichen Paß- und Abspielmöglichkeiten eines Spielers) zusammen. Die Relationen zwischen den Objekten sind inhaltlich aus den postulierten Mechanismen abzuleiten. Demnach beeinflussen sich lernsituationsspezifisch Beliefs und Desires sowie jeweils die Desires und die Beliefs die Intentionen. Wissen über Situationen kann sowohl implizit (wahrnehmungsgesteuert) als auch explizit (instruierte Wenn-Dann Regeln) erworben werden. Bei hoher Unschärfe der Situation

² Unter Äquivalenzklassen werden Situationen verstanden, die durch invariante Reizwirkungen strukturiert sind (vgl. Hoffmann, 1993, 147f.)

bzw. hoher Komplexität wird vorhergesagt, daß ein impliziter Lernmechanismus bevorzugt wird, da explizite Instruktionen unter Zeitdruck nicht anwendbar sind. Dementsprechend werden als Operationen hemmende und fördernde Einflüsse der Äquivalenzklassen über implizite und explizite Lernerfahrungen auf die Aktionen definiert. Abbildung 1 veranschaulicht die Beziehungen graphisch.

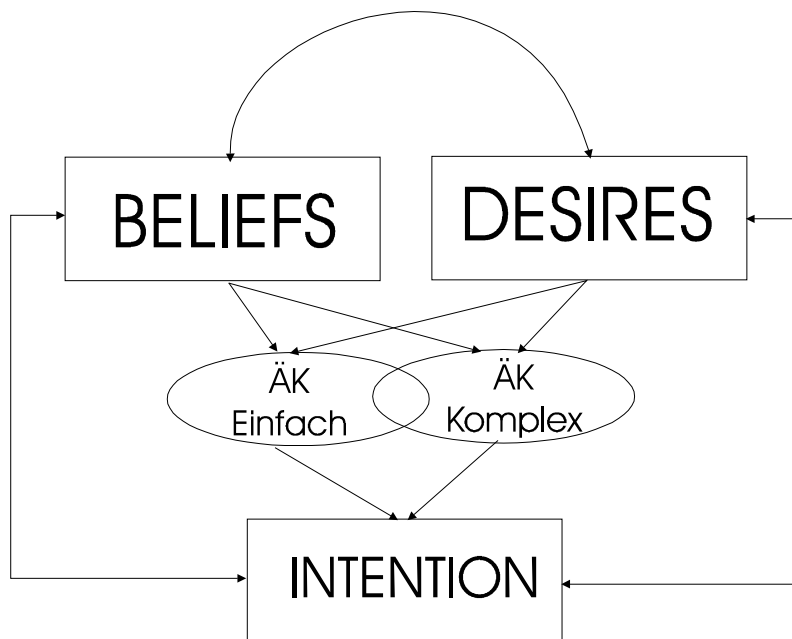


Abb. 1: Modell T-ECHO nach der BDI-Architektur (ÄK=Äquivalenzklassen)

Das Modell kann damit nicht-bewußte Ziele als auch ziellose Entscheidungen beschreiben, die nur durch die Wahrnehmung verursacht sind. Zudem ist es möglich, mentale Trainingseffekte abzubilden, in der ohne direkte Wahrnehmungssituation vorgestellte Aktionen umgesetzt werden.

2.2 Formalisierung

Die Formalisierung bedarf zuerst einer exakten Definition der Objekte. Die Desires werden durch kontextfreie Grammatiken, Typ 2 der Chomsky-Hierarchie beschrieben. Die Grammatik besteht formal aus vier Komponenten $G=(V,T,P,S)$, wobei V die Menge von Variablensymbolen, T die Menge von Terminalsymbolen, P die Menge von Grammatikregeln und S das Startsymbol bezeichnet. Kontextfreie Grammatiken benutzen Regeln der Form $B \rightarrow w$ mit $B \in V$. (w) ist ein Wort, welches aus Null bis beliebig vielen Symbolen aus $V \cup T$ besteht. Exemplarisch soll die Vorgehensweise an der einfachen Entscheidungssituation im Basketball aus der Sicht des rechten Flügelspielers bei Ballbesitz in der hoch abgesprochenen Spielkonzeption "Centerrotation" demonstriert werden:

$G = (\{FR, Center, Post, Aufbau, Verteidiger_x1, Verteidiger_x2, Verteidiger_x3,$
 $Verteidiger_x4, Verteidiger_x5, greift_an, greift_nicht_an, nicht_reagiert, geht_mit,$
 $übernimmt, sinkt\}, \{Korb,\}, \{p1, p2, p3, p4\}, FR)$

wobei $p1: FR \rightarrow$ Verteidiger_x2 greift_nicht_an Korb

$p2: FR \rightarrow$ Verteidiger_x3 nicht_reagiert Post Korb

$p3: FR \rightarrow$ Verteidiger_x3 geht_mit Verteidiger_x1 nicht_reagiert Center Korb

$p4: FR \rightarrow$ Verteidiger_x3 geht_mit Verteidiger_x1 übernimmt Verteidiger_x4
 Verteidiger_x5 sinkt Aufbau Korb

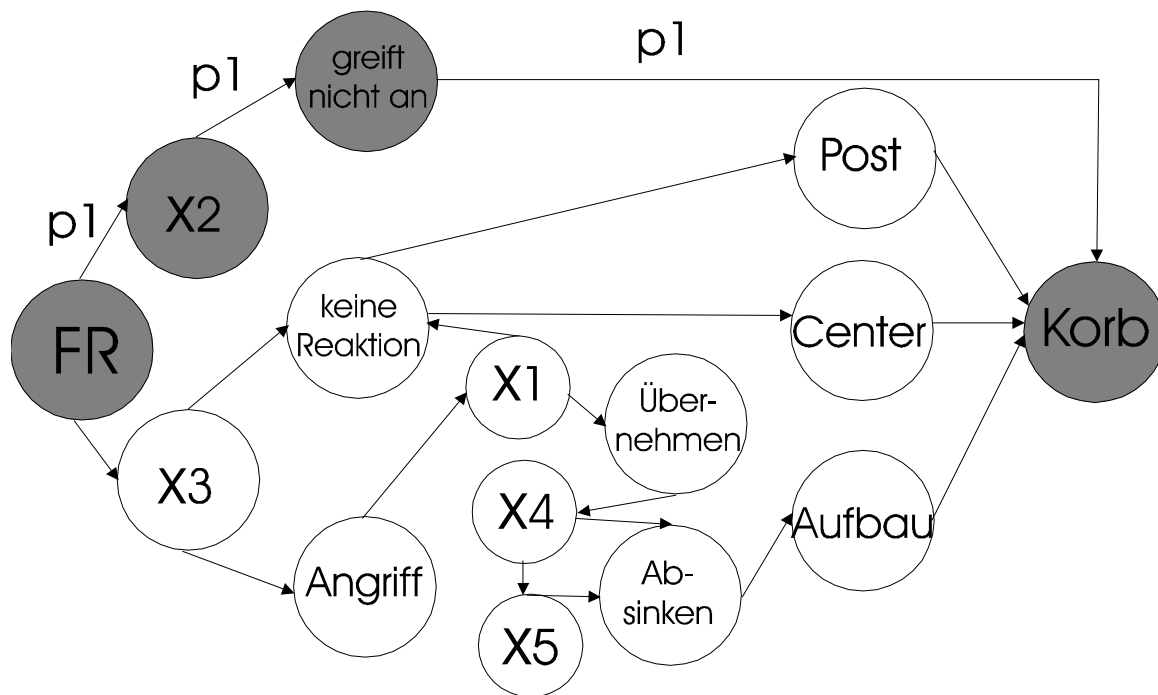


Abb. 2: Graph für die Centerrotation im Basketball

Abbildung 2 zeigt den Weg im Graphen für die Regel p1. Die einfachste Wenn-Dann Regel p1 für die Entscheidung des rechten Flügel Spielers (FR) selbst auf den Korb zu werfen, wird dadurch bestimmt, daß der direkte Gegenspieler (Verteidiger x2) von FR nicht angreift und somit der Wurf die richtige Entscheidung ist.

Die Beliefs werden entsprechend den Desires definiert. Auf der Wahrnehmungsseite spielen jedoch die Bewegungsrichtungen der Mit- und Gegenspieler die tragende Rolle. Anstatt Wenn-Dann Regeln werden spezifische Wahrnehmungsmuster konzipiert, in denen z.B. mehrere gegnerische Spieler sich auf den rechten Flügel Spieler zubewegen können, so daß eine Abspiel zum Aufbauspieler nahegelegt wird. Die möglichen Handlungen (Intentionen) des rechten Flügel Spielers werden durch seine Wurf- und Abspielmöglichkeiten definiert. Etwas schwieriger ist die Definition von Äquivalenzklassen (vgl. Hoffmann, 1993) verschiedener Komplexität, die ja bereits im Modell mit einer Schnittmenge dargestellt sind (vgl. Abb. 1). Die Komplexität wird hier vereinfacht durch die Anzahl der Entscheidungsmöglichkeiten sowie

durch die Stärke der Absprache (z.B. abgesprochene Centerrotation versus nicht abgesprochenem Angriff gegen eine Manndeckung) bestimmt.

2.3 Implementierung

Zur grundlegenden Einordnung ist anzumerken, daß die hier durchgeführte Implementation theorienah erfolgte. Prozesse der Informationsaufnahme sind jedoch auch durch subsymbolische Neuronale Netze (vgl. Eimert, 1997; Künzell, 1996), die Klassifikationsleistungen durch Fuzzy-Systeme (vgl. Andreas, 1996) und die Wissensrepräsentation durch regelbasierte Systeme realisierbar, wie es in hybriden Systemen der Agentenprogrammierung (vgl. Wagner, 1997) z.B. beim Fußball-RoboCup 1997 umgesetzt wurde (vgl. Burkhard, Hannenbauer & Wendler, 1998).

Die Implementierung erfolgt in einem lokalen Neuronalen Netzwerk, welches symbolische Knoten (z.B. Ball oder Verteidiger x2) besitzt, Regeln bearbeiten kann und über einen Hebb-Lernalgorithmus Aktivationen der Knoten und Gewichte der Verbindungen unter Berücksichtigung eines Vergessens(Decay)-Parameter für jede Iteration neu berechnet (vgl. Lange, 1992, 246). Die spezifische Verwendung des Modells ECHO (Explanatory Coherence; Thagard, 1989) beinhaltet zudem, daß im Sinne einer "parallel-constraint-satisfaction" die Entscheidung gewählt wird, die die größte Kohärenz des Systems ermöglicht (vgl. Thagard & Milgram, 1995). Die Aktivitäten werden nach jeder Iteration durch folgende Algorithmen berechnet:

$$a_j(t+1) = a_j(t)(1-\theta) + \begin{cases} \text{net}_j & \text{wenn } \text{net}_j > 0 \\ \text{net}_j(a_j - \min) & \text{sonst} \end{cases}$$

a_j bezeichnet die Aktivität des j ten Knoten zum Zeitpunkt t von dem der Lernzuwachs durch einen Vergessensparameter θ relativiert und net_j als Summe von $w_{ij} a_j(t)$ addiert wird. Zur Umsetzung der Annahmen in das lokale Neuronale Netz wird folgendes Vorgehen gewählt.

Erstens werden Beliefs und Desires mit separaten lokalen Netzen implementiert. Jedes dieser Netze enthält Knoten (s. Abb. 2) mit einer inhaltlich bestimmten Startaktivität zwischen -1 und $+1$. Die Gewichte der Verbindungen zwischen den Knoten werden durch Zufallszahlen generiert, die einen geringen Anfangswert um Null herum besitzen. Der Decay-Parameter wird aufgrund der empirisch bestimmten Verbalisierungsfähigkeit der Regeln der Versuchspersonen auf 0.2 gesetzt. Ein Vektor wird als Prompt für jede Regel (Desires) oder

Wahrnehmungssituation (Beliefs) gebildet und mit der Gewichtsmatrix kreuzmultipliziert. Die Definition der Vektoren ergibt sich aus den für die regel- und wahrnehmungsbasierte Entscheidungssituation spezifischen hohen Aktivitäten relevanter Knoten und den geringen Aktivitäten irrelevanter Knoten. Das System erreicht nach einem Abbruchkriterium Kohärenz (Veränderung von Iteration $I_{(t)}$ zu $I_{(t+1)} < 0.001$), so daß die Endaktivitäten aller Knoten determiniert sind. Hohe Aktivität eines Entscheidungsknoten bedeutet, daß dieser gegenüber den anderen einen hohen Erklärungswert besitzt.

Zweitens werden die Endaktivitäten der einzelnen Belief- und Desire-Netzwerke als neue Startaktivitäten für die Entscheidungsknoten (d.h. bei der Centerrotation eine der drei Abspielmöglichkeiten oder der Korbwurf) in ein Gesamtnetz gegeben, in dem die vier Knoten für die Wahrnehmungs-, Wissens- und Entscheidungsseite definiert sind. Die Prozedur wird erneut durchgeführt.

Drittens ist geplant, für die oben formulierten Lern- und Entscheidungssituationen das neue Neuronale Netz für die unterschiedlichen Gruppen und unterschiedlich komplexen Äquivalenzklassen einzeln zu berechnen. Dabei bleibt beispielsweise für implizit lernende Gruppen der Wissensteil deaktiviert, da ja keine Regeln per Instruktion vermittelt wurden (für Details vgl. Raab, in Vorbereitung).

3 Ergebnisse der Modellierung

Die Ergebnisse der Modellierung der einzelnen Neuronalen Netze, des gesamten Modells T-ECHO sowie die Effekte unterschiedlicher Lernsituationen beschreiben die drei Schritte der Implementation. Beispielhaft wird dies nur für die gering komplexe Situation im Basketball der "Centerrotation" demonstriert.

3.1 Modellierung von Beliefs

Die Modellierung der Wahrnehmungsinhalte benötigte eine durchschnittliche Iterationszahl von 19,75. Die Endaktivitäten der Entscheidungsknoten für die einzelnen Perzepte (P) ergab eine recht gute Kohärenz für die entsprechenden Wahrnehmungssituationen. Der Mittelwert der Endaktivitäten lag bei .70. Während P1 und P4 bei dem Vektor für P1- und P4-Berechnungen

ungefähr gleiche Aktivitäten erhielten, waren bei dem Perzept P2 und P3 die jeweils vorausgesagten Entscheidungen am meisten aktiviert. Berechnet man für jedes Perzept den entsprechenden Outputvektor, so erhält man vier dieser Aktivitätsmuster, deren unterschiedliche Endaktivitäten Abbildung 3 verdeutlicht.

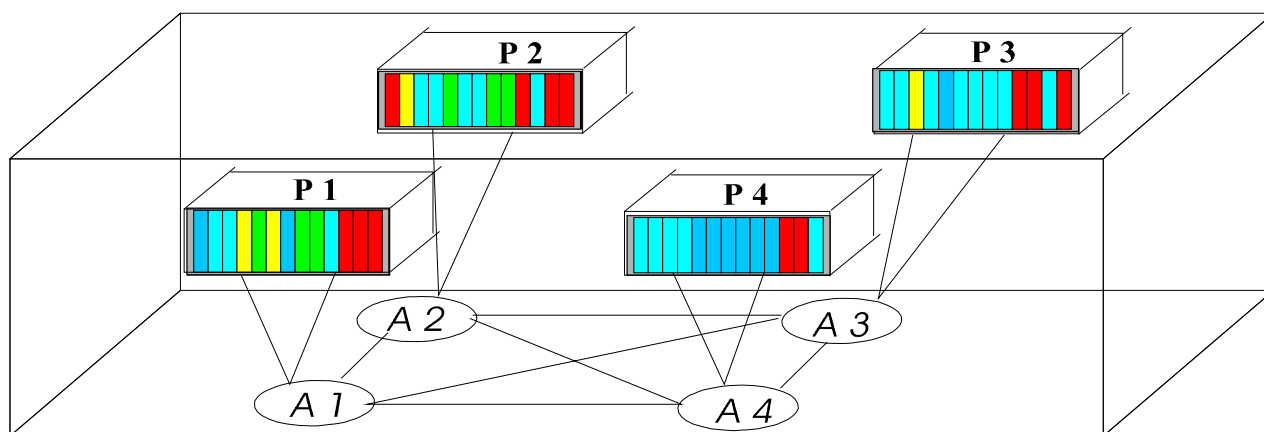
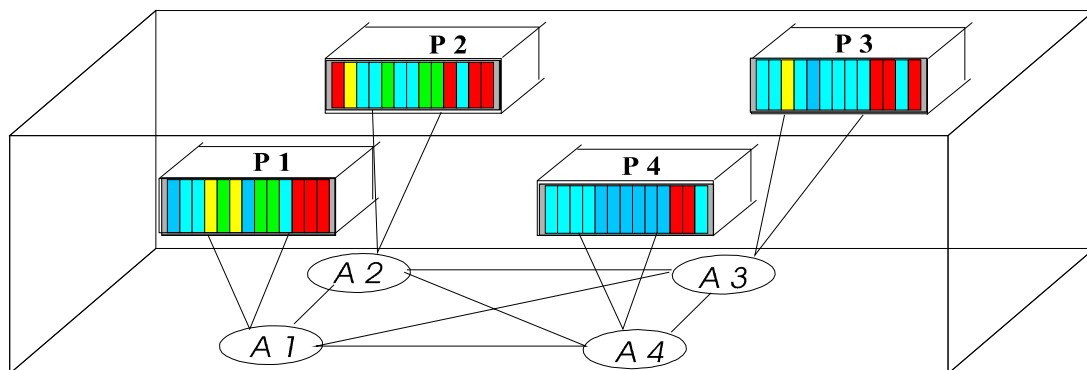


Abb. 3: Das Belief-Modell für die Centerrotation (dunkle Grautöne entsprechen einer hohen Aktivität des Knotens)

Die vier Perzepte P1-P4 zeigen für die relevanten Entscheidungsknoten - also die letzten vier Balken des Vektors - die gewünschte und vorhergesagte hohe Endaktivität der Effekte, die für die entsprechende Wahrnehmungssituation angenommen wurden.

3.2 Modellierung von Desires

Das für die Belief-Modellierung skizzierte Verfahren wurde ebenfalls für die Desires angewandt. Unterschiede der Bedeutung und Anzahl der Knoten (vgl. Abb. 2) sowie der

Startaktivitäten wurden entsprechend angepaßt. Auffällig an den Ergebnissen ist, daß *erstens* im Durchschnitt vier Iterationen weniger gebraucht wurden als bei den Beliefs, um das System in einen kohärenten Zustand zu bringen. Die klar strukturierten Regeln scheinen insgesamt leichter gelernt zu werden als mit hoher Überlappung zu klassifizierende Wahrnehmungssituationen. Dies wird *zweitens* daran deutlich, daß die Gesamtaktivität des Wissen-Netzes um 0.02 Aktivitätspunkte höher liegt, obwohl die Spannweite der Zufalls-Gewichte, Decay-Parameter zwischen dem Wahrnehmungs- und Wissens-Netz konstant gehalten wurden. *Drittens* konnte das Wissens-Netz zusätzlich genauer die vorhergesagten Entscheidungen treffen, als das Wahrnehmungs-Netz. Nur für Regel 3 (Abspiel zum Center) wird eine geringere Aktivität berechnet als für den in dieser Situation nicht postulierten Korbwurf. Ein zusätzlicher Aspekt ist, daß die höchsten Aktivitäten des Wahrnehmungs-Netzes das Abspiel zum Center oder Aufbau-Spieler nahelegen, während das Wissens-Netz den Korbwurf und den Paß zum Aufbau präferiert.

3.3 Das Modell T-ECHO

Das Modell T-ECHO integriert die einzelnen Neuronalen Netze des Belief- und Desire-Modells und verbindet sie mit dem Intentionen. Die Endaktivitäten aus den beiden Modellen werden für die Entscheidungsknoten als Startaktivitäten in das neue Modell übernommen. Das Modell T-ECHO zur Beschreibung taktischer Entscheidungen besteht damit aus drei verknüpften Netzwerken, die jeweils vier Knoten besitzen (vgl. Abb. 4).

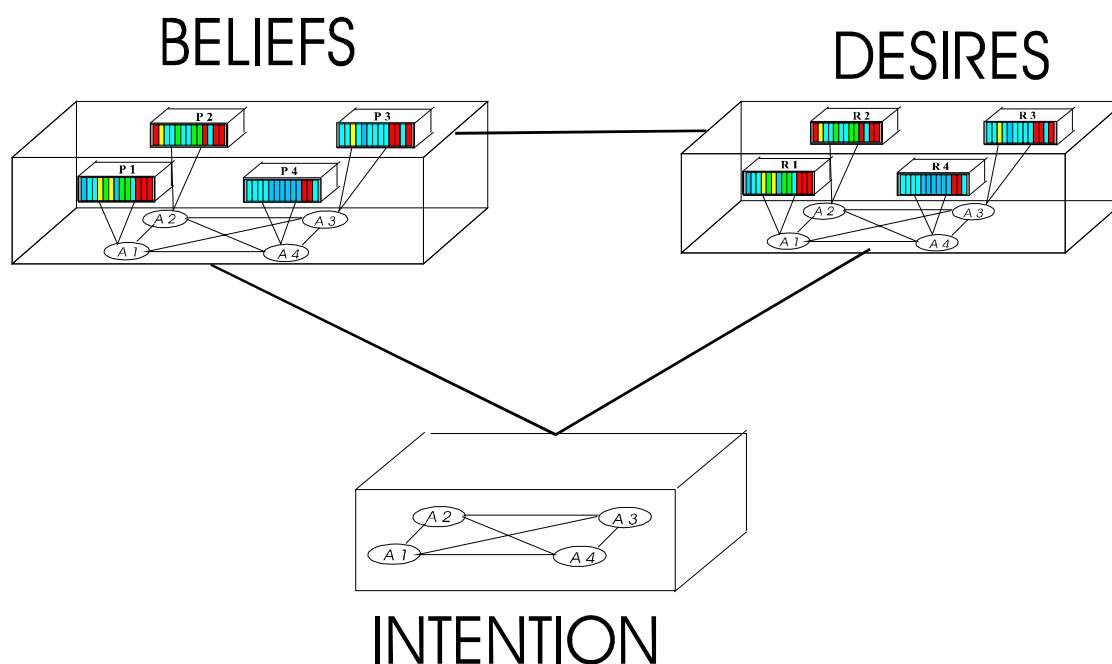
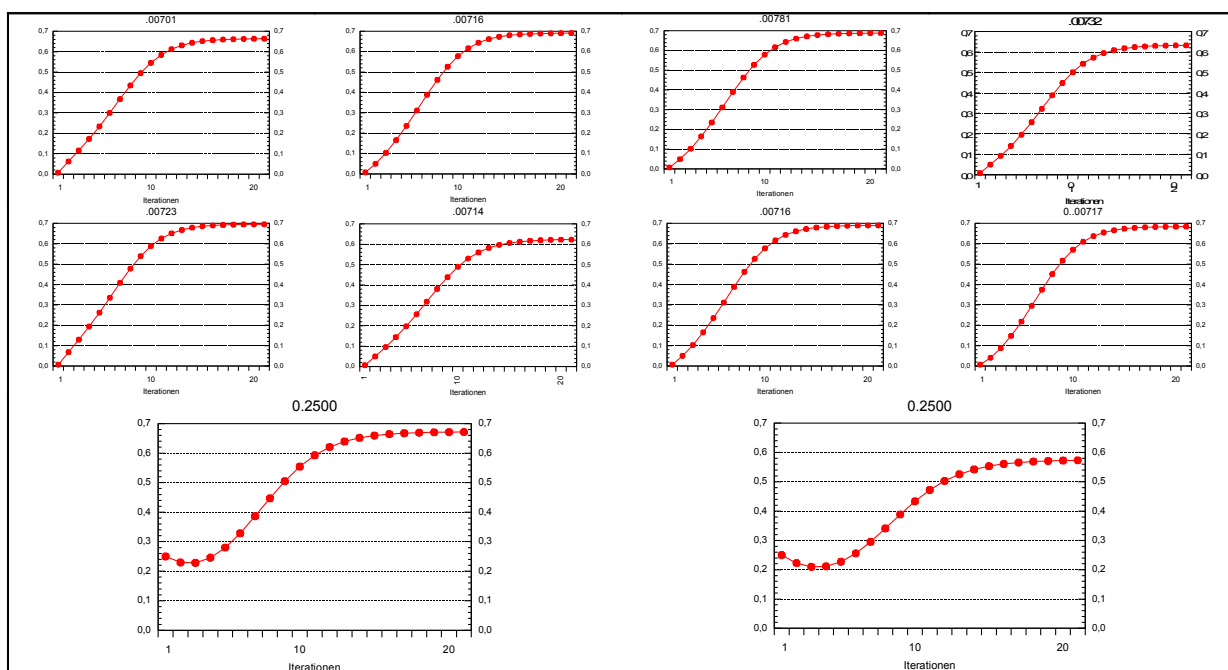


Abb. 4: Vektordarstellung für das Modell T-ECHO (Perzepte P1-P4; Regeln R1-R4; Aktionen A1-A4)

Kombiniert man jetzt die einzelnen Modelle mit den Intentionen, sind diese nur noch in ihrer Startaktivität zu definieren. Die Startaktivitäten der Intentionen entsprechen der Ratewahrscheinlichkeit von 0.25 mit der Annahme, daß der rechte Flügelspieler bei der Centerrotation sich ohne eine spezifisch erworbene Wahrnehmungs- und Regelstruktur gleich oft für eine der vier Lösungen entscheiden wird.



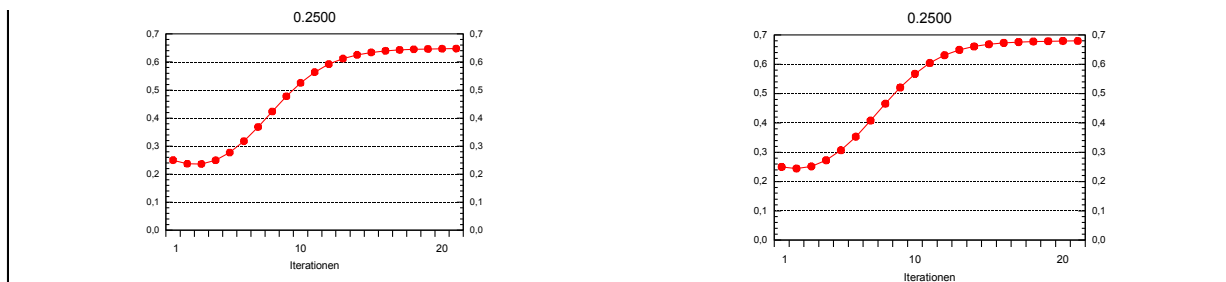


Abb. 5: Aktivitäten der Entscheidungsknoten im Modell T-ECHO (links oben: Perzepte 1 bis 4; rechts oben: Regeln 1 bis 4; unten: Intentionen Korb, Post, Center, Aufbau)

Die Ergebnisse der Simulation T-ECHO zeigten, daß Korbwurf (0.68) und Paß zum Aufbau (0.67) die höchste Aktivität besitzen, während Anspiel des Centers (0.64) und Post (0.57) geringere Endaktivitäten aufweisen. Die Ergebnisse der einzelnen Belief- und Desire-Netzwerke sowie der Simulation des T-ECHO sind jetzt mit den Entscheidungen der Versuchspersonen aus zwei Experimenten der oben genannten BISp-Studie zu vergleichen.

4 Vergleich von Simulation und empirischen Befunden

Die Entscheidungen von Versuchspersonen in einem Feld- und Laborexperiment für durch Video vorgegebene Wahrnehmungssituationen und durch visuell und verbal vermittelte Wenn-Dann-Regeln ergab in einem Video-Entscheidungstest (vgl. Roth & Raab, 1998) die in Tabelle 1 wiedergegebene Gesamtverteilung der Entscheidungen sowie der prozentual richtigen Entscheidungen. Die Gesamtentscheidungen addieren sich nicht ganz auf 100%, da in den Labor- und Feldexperimenten im Durchschnitt 7% ungültige oder gar keine Entscheidungen gefällt wurden. Die richtigen Entscheidungen sind auf die 100%-Bestleistung relativiert. Die Simulationszellen, die mit den empirischen Verteilungen zu vergleichen sind, repräsentieren die Endaktivitäten der Entscheidungsknoten.

Tab. 1: Prozentuale Verteilung der Entscheidungen (oben: Versuchspersonen; unten: Simulation)

	Korbwurf	Post	Center	Aufbau
Gesamt- entscheidungen Versuchspersonen	Labor: .31 Feld: .25	Labor: .24 Feld: .29	Labor: .23 Feld: .19	Labor: .19 Feld: .17
Richtige Entscheidungen Versuchspersonen	Labor: .77 Feld: .55	Labor: .77 Feld: .55	Labor: .71 Feld: .51	Labor: .66 Feld: .47
Simulation	.68	.57	.64	.67

T-ECHO				
--------	--	--	--	--

Die Ergebnisse zeigen, daß *erstens* Versuchspersonen in dem Laborexperiment mehr Entscheidungen fällen und deutlich mehr richtige Lösungen in allen Regeln produzieren als im Feldexperiment. *Zweitens* ist das Antwortverhalten der Versuchspersonen in beiden Experimenten nahezu identisch; es werden mehr Korbwürfe und Pässe zum Post-Spieler als Entscheidung gewählt. Dieses Verhalten ist auch konsistent über die einzelnen Treatmentgruppen, die entweder wahrnehmungszentriert oder regelbasiert trainiert wurden. *Drittens* - als relevanter Unterschied zwischen Versuchspersonen und der Simulation - hat die Simulation ihre zweithöchste Aktivierung bei dem Paß zum Aufbau-Spieler, während die Versuchspersonen diese Lösung am wenigstens beachtetten.

Versucht man jetzt zusätzlich, aus dem empirisch bestimmten Verhalten Wissens- und Wahrnehmungsanteile der Entscheidungen zu selektieren, so bietet es sich an, *erstens* nach zweigipfligen Verteilungen bei den Reaktionszeiten zu schauen, die eine eher wahrnehmungszentrierte vs. regelbasierte Entscheidung nahelegen. *Zweitens* lassen sich die in Postbefragungen verbalisierten Regelkenntnisse und Aufmerksamkeitsstrategien daraufhin untersuchen, ob sie mit den simulierten Schwierigkeiten beispielsweise der Trennung vom Perzept "Aufbau vs. Korb" oder der Center-Regel im Wissensnetz identisch sind. Hier ist festzustellen, daß die Verteilungen der Reaktionszeiten keinen systematischen Wechsel von regelbasierten zu wahrnehmungszentrierten Entscheidungen ergaben. Interessant sind jedoch die Postbefragungen. Es zeigt sich, daß in beiden Experimenten die Regeln für den Korbwurf und den Paß zum Aufbau-Spieler am besten verbalisiert werden konnten. Dies entspricht dem Ergebnis der Simulation T-ECHO als auch der Endaktivitätsverteilung des Wissen-Netzes.

5 Fazit

Bilanziert man die realisierte Modellierung T-ECHO, so ist festzustellen, daß die Schritte Konzeptualisierung, Formalisierung und Implementierung taktische Lern- und Entscheidungsprozesse im Sportspiel abbilden können. Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen Simulation und empirischen Befunden zeigen m.E. folgende kritische Punkte auf:

1. Die Simulation kann die regelbasierte Wissensseite exakt modellieren und entspricht dem Verhalten der Versuchspersonen im überwiegenden Maße. Für komplexere Situationen

sind jedoch die Leistungen mit einfachen Wenn-Dann Regeln nicht mehr beschreibbar. Es ist zu überlegen, ob subsymbolische Situationsklassifikationssysteme vorzuziehen sind (vgl. Eimert, 1997).

2. Die Simulation kann die Wahrnehmungsseite nur unzureichend simulieren, deshalb unterscheiden sich im Gesamt-Modell T-ECHO auch simuliertes und empirisches Verhalten. Hier sind m.E. die Raum-Zeit Relationen durch Geschwindigkeitsangaben von sich bewegenden Objekten zu ergänzen (vgl. Burkhard, Hannebauer & Wendler, 1998).
3. Das Modell ist z.Zt. statisch. Eine realistischere dynamische Modellierung muß "real-time neural networks" benutzen (vgl. Grossberg & Gutowski, 1987) und die Dynamik innerhalb einer Entscheidung berücksichtigen (vgl. Townsend & Busemeyer, 1995).
4. Dem Modell fehlen handlungsrelevante Faktoren, wie beispielsweise Emotionen, Motivationen oder persönliche Verhaltensdispositionen. Letzteres ist durch entsprechende Operationen (Konzeptualisierung), Knoten (Formalisierung) und Anfangsaktivitäten (Implementation) zu gewährleisten. Ein Ergebnis der BISp-Studien zu den Verhaltensdispositionen zeigte, daß HandlungsOrientierte (HO) Spieler den Korbwurf und LageOrientierte (LO) Spieler den Paß zum Aufbau-Spieler präferieren. Die Startaktivitäten in T-ECHO Entscheidungsknoten sind deshalb differentiell vorzunehmen.

6 Literatur

- ALAIN, C. & SARRAZIN, C. (1990). Study of decision-making in Squash competition: A computer simulation approach. In *Canadian Journal for Sport Science*, 15, 3, 193-200.
- ANDREAS, H. (1996). Neuronale Netze als Hilfsmittel in komplexen Entscheidungsprozessen – Ein lernfähiges Fuzzy-System zum Radfahren. In Quade, K. (Red.). *Anwendungen der Fuzzy-Logik und neuronaler Netze*. (S. 109-114). Köln: Sport und Buch Strauss.
- BRAND, R. & MIETHLING, W.-D. (1997). Zur Rekonstruktion von Sportspiel-Wirklichkeit – Die Bedeutung sportspezifischer Modellierung im Tennis. In Perl, J. (Hrsg.). *Sport und Informatik V: Bericht über den 5. Workshop Sport und Informatik vom 17. bis 19. Juni 1996 in Berlin*. (S. 13-24). Köln: Sport und Buch Strauss.
- BRATMAN, E. (1987). *Intentions, Plans, and Practical Reason*. Harvard: University Press.
- BURKHARD, H.-D., HANNEBAUER, M. & WENDLER, J. (1998). Computer spielen Fußball. In *Spektrum der Wissenschaft* 1, 20-23.
- CHOMSKY, N. (1980). *Rules and Representations*. Oxford: Blackwell.
- EIMERT, E. (1997). *Beobachten und Klassifizieren von sportlichen Bewegungen mit neuronalen Netzen*. Dissertation: Universität Tübingen.
- GENESERETH, M.R. & NILLSON, N.J. (1987). *Logical foundations of artificial intelligence*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.

- GROSSBERG, S. & GUTOWSKI, W.E. (1987). Neural dynamics of decision-making under risk: Affective balance and cognitive-emotional interactions. In *Psychological Review* 94, 3, 300-318.
- HAGEDORN, G. (Hrsg.). (1994). *Basketball-Handbuch*. Hamburg: Rowohlt.
- HOFFMANN, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- KÜNZELL, S. (1996). *Motorik und Konnektionismus: Neuronale Netzwerke als Modell interner Bewegungsrepräsentation*. Köln: bps-Verlag.
- LAMES, M. (1990). *Leistungsdiagnostik durch Computersimulation*. Frankfurt am Main: Harri Deutsch.
- LANGE, T.E. (1992). Hybrid connectionist models: Temporary bridges over the gap between the symbolic and the subsymbolic. In Dinsmore, J. (Hrsg.). *The Symbolic and Connectionist Paradigms: Closing the Gap*. (S. 237-290). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- LIESEGANG, W. (1996). Ein Fuzzy-Modell für Angriff-Abwehr Interaktionen im Handball. In Quade, K. (Red.). *Anwendungen der Fuzzy-Logik und neuronaler Netze*. (S. 33-40). Köln: Sport und Buch Strauss.
- MIETHLING, W.-D. & PERL, J. (1985). Entwicklung optimaler Strategien am Beispiel von Badminton und Tennis. In *Sportwissenschaft* 15, 2, 170-182.
- MIETHLING, W.-D. & PERL, J. (1986). Strategisches Verhalten in Rückschlagspielen – Aspekte der Analyse, Darstellung und Umsetzung. In Letzelter, H., Steinmann, W. & Freitag, W. (Red.). *Angewandte Sportwissenschaft*. 7. dvs Hochschultag, September 1985 in Mainz. (S. 96-103). Clausthal-Zellerfeld: dvs.
- OPWIS, K. & SPADA, H. (1994). Modellierung mit Hilfe wissensbasierter Systeme. In: Hermann, T. & Tack, W.H. (Hrsg.). *Enzyklopädie für Psychologie. Methodologische Grundlagen der Psychologie*. (S. 199-248). Göttingen: Hogrefe.
- PERL, J. (1997). Möglichkeiten und Probleme der computerunterstützten Interaktionsanalyse am Beispiel Handball. In Perl, J. (Hrsg.). *Sport und Informatik V: Bericht über den 5. Workshop Sport und Informatik vom 17. bis 19. Juni 1996 in Berlin*. (S. 74-89). Köln: Sport und Buch Strauss.
- RAAB, M. (in Vorbereitung). Implizites und explizites Lernen und Entscheiden im Sportspiel.
- ROTH, K. (1994). Steuerung des Taktiktrainings in den Sportspielen. In Brack, R., Hohmann, A. & Wieland, H. (Hrsg.). *Trainingsteuerung - Konzeptuelle und trainingsmethodische Aspekte (Sportwissenschaft und Praxis Band 6)*. (S. 56-73). Stuttgart: Nagelschmid.
- ROTH, K. & RAAB, M. (1998). Inzidentelle und intentionale Regelbildungsprozesse im Sportspiel. *Jahrbuch des BISp* 1998.
- SARRAZIN, C., ALAIN, C. & LACOMBE, D. (1986). Simulation study of a decision-making model of Squash competition, Phase two: Testing the model through the use of computer simulation. In *Human Movement Science* 5, 373-391.
- THAGARD, P. (1989). Explanatory Coherence. *Behavioral and Brain Sciences*, 12, 435-502.
- THAGARD, P. & MILGRAM, E. (1995). Inference to the best plan: A Coherence theory of decision. In Ram, A. & Leake, D.B. (Eds.). *Goal directed learning*. (S. 439-454). Cambridge: MIT-Press.
- TOWNSEND, J.T. & BUSEMEYER, J. (1995). Dynamic representation of decision-making. In Port, R.F. & von Gelder, T. (Hrsg.). *Mind as Motion*. (S. 101-120). Cambridge: MIT-Press.
- WAGNER, G. (1997). Software mit Managerqualitäten. In *c't* 15, 234-243.