

Institut für Informatik VI
Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz
und Angewandte Informatik
der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Sommersemester 2002

Diplomarbeit

im Studiengang Diplom-Psychologie

**Komplexes Problemlösen in
Multiagentensimulationsszenarien:
Untersuchungen zur Formalisierung von
Strategien für die Bekämpfung von
Waldbränden**

vorgelegt von

Wilmar Igl

Würzburg, im Mai 2002

Erstgutachter: Prof. Dr. Frank Puppe
Zweitgutachter: Prof. Dr. Joachim Hoffmann
Betreuung: Dr. Franziska Klügl

Vorwort und Danksagung

Das Zustandekommen der vorliegenden Arbeit habe ich vielen Personen zu verdanken, von denen ich einige an dieser Stelle besonders hervorheben möchte.

An erster Stelle möchte ich Prof. Dr. Frank Puppe nennen, der nicht nur die Idee zu dieser Diplomarbeit hatte, sondern auch die nötige Aufgeschlossenheit einen Psychologie-Studenten mit dieser doch sehr informatiklastigen Thematik zu betrauen. Neben der materiellen Ausstattung (z. B. Räume, Computer, Versuchspersonengelder,...), die er zur Verfügung stellte, investierten Mitarbeiter seines Lehrstuhls auch einen erheblichen Anteil ihrer Zeit und Energie für dieses Projekt. Darüberhinaus schufen sie eine angenehme Arbeitsatmosphäre. Prof. Puppe machte zudem die richtigen konzeptionellen Vorschläge, die schließlich auch zum Erfolg dieser Diplomarbeit führten.

Prof. Dr. Hoffmann möchte ich dafür danken, dass er sich als psychologischer Gutachter für meine Diplomarbeit zur Verfügung stellte und mir den notwendigen Freiraum für die Durchführung dieses Projekts gewährte.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Dr. Franziska Klügl, ohne deren kompetente und intensive Unterstützung bei der Implementierung des Simulationsszenarios ich wahrscheinlich nicht weit gekommen wäre. Hervorheben möchte ich ihre Hilfsbereitschaft und ihren Einfallsreichtum bei der Lösung technischer Probleme als auch bei der Korrektur des Manuskripts in der Endphase der Diplomarbeit.

Christoph Oechslein war zwar eher punktuell an der Diplomarbeit beteiligt, doch trug auch er wichtige Teile zur Simulationsumgebung *SeSAM* bei (z. B. die Berechnung der Feuer-Konglomerate, Auswertungsfunktionen...). Besonders danken möchte ich ihm dafür, dass er in den „heißen“ Phasen des Versuchs ein paar Mal eingesprungen ist, als es „brannte“.

Prof. Dr. Harald Schaub (Universität Bamberg) hat vor allem in der Anfangsphase der Diplomarbeit aufgrund seiner umfangreichen Erfahrung und seines Wissens auf dem Gebiet ‚Komplexes Problemlösen‘ wichtige Impulse für die Konzeption der Untersuchung gegeben.

Meine Versuchspersonen möchte ich auch nicht unerwähnt lassen, die geduldig die langwierigen Versuche auf sich nahmen (auch wenn’s mal ein bisschen länger dauerte...). Ohne deren engagierte Beteiligung wäre diese Untersuchung bei weitem nicht so interessant geworden.

Susanne, Norman, Alex und allen anderen, die mich in der Zeit der Anfertigung der Diplomarbeit (und darüberhinaus) unterstützt und aufgemuntert haben, möchte ich von Herzen dafür danken.

Würzburg, den 10. Mai 2002

Wilmar Igl

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	x
1. Einleitung	1
1.1. Einordnung des Themas	1
1.2. Hintergrund der Untersuchung	1
1.3. Zielsetzung	2
1.4. Überblick über den Inhalt	3
I. Theoretischer und Empirischer Hintergrund	4
2. Grundkonzepte des Komplexen Problemlösens	4
2.1. Abgrenzung des Bereichs ‚Problemlöseforschung‘	4
2.1.1. Geschichtlicher Überblick	5
2.1.2. Komplexes Problemlösen aus einer integrativen Perspektive	7
2.2. Eigenschaften von komplexen Systemen	9
2.2.1. Komplexität	9
2.2.2. Dynamik	10
2.2.3. Vernetztheit	11
2.2.4. Intransparenz	13
2.2.5. Polytelie	13
2.2.6. Dialektische Barriere	13
2.3. Anforderungen an die Fähigkeiten des Problemlösers	14
2.3.1. Zielfindung	14
2.3.2. Handlungsentscheidung und -planung	16
2.4. Forschungsansätze des Komplexen Problemlösens	17
2.4.1. Einzelfall-Studien und der Ansatz individueller Unterschiede	17
2.4.2. Systemanalytisches Experiment und Realistische Simulation	18
2.4.3. Modellierung von menschlichem und rationalem Denken	19
3. Kognitive Modellierung	19
3.1. Repräsentation von Wissen	19
3.1.1. Die Begriffe ‚Wissen‘ und ‚Wissensrepräsentation‘	20
3.1.2. Die Theorie der Semantischen Netze von COLLINS & QUILLIAN (1969)	22
3.1.3. Das ‚Schema‘-Konzept nach MINSKY (1975)	23
3.2. Modelle des Problemlösens	24
3.2.1. Der Begriff ‚Strategie‘	24
3.2.2. Der Informationsverarbeitungsansatz	28
3.2.3. Der General-Problem-Solver (GPS) von NEWELL (1960)	29
3.2.4. SOAR von LAIRD, NEWELL & ROSENBLOOM (1987)	31
3.2.5. Die ACT*-Theorie von ANDERSON (1983)	32
3.2.6. Die Kontroll-Theorie nach BREHMER (1992)	33
3.2.7. Die PSI-Theorie von DÖRNER (1998)	34

4. Delegation	36
4.1. Abgrenzung der Begriffs ‚Delegation‘	37
4.2. Die Bedeutung psychologischer Faktoren für die Delegation	37
4.3. Rechte und Pflichten aus Sicht der Unternehmensführung	40
4.4. Delegation an künstliche Agenten	40
5. Waldbrandsimulation	42
5.1. Computergestützte Simulation als Forschungswerkzeug	42
5.1.1. Unterschiede zu traditionellen Untersuchungsmethoden	42
5.1.2. Simulation mit Multiagentensystemen	43
5.2. Feuerverhalten und Feuerbekämpfung in der Realität	46
5.2.1. Deskriptive Maße des Feuerverhaltens	47
5.2.2. Entstehung, Entwicklung und Ausbreitung von Feuern	47
5.2.3. Feuerbekämpfung in der Praxis	50
5.3. Beispiele für Waldbrandsimulationen	53
5.3.1. Die Waldbrandsimulation „Fire Fighting“ von BREHMER (1987)	54
5.3.2. Die Waldbrandsimulation „WinFire“ von DÖRNER & AL. (1989)	57
5.3.3. Die Waldbrandsimulation „Phoenix“ von COHEN & AL. (1989)	58
6. Empirische Befunde	61
6.1. Einfluss von Systemmerkmalen	61
6.2. Einfluss von Situationsmerkmalen	63
6.3. Einfluss von Personmerkmalen	65
6.3.1. Persönlichkeitseigenschaften	65
6.3.2. Intelligenz	66
6.3.3. Domänenspezifisches Wissen	66
6.3.4. Strategien	67
6.3.5. Handlungsfehler	69
6.4. Empirische Befunde zu Testgütekriterien	69
7. Hauptprobleme der Komplexen Problemlöseforschung	72
8. Fragestellungen	73
II. Empirische Untersuchung	76
9. Methode	76
9.1. Operationalisierung der Variablen	76
9.1.1. Operationalisierung der unabhängigen Variablen	76
9.1.2. Operationalisierung der abhängigen Variablen	78
9.2. Auswertung	81

10. Die Simulationsumgebung SeSAM	82
10.1. Repräsentation von Multiagentenmodellen	82
10.1.1. Strukturen von Agent und Gesamtsystem	83
10.1.2. Beschreibung des Verhaltens	84
10.2. <i>SeSAM</i> als Entwicklungs- und Simulationsumgebung	86
10.2.1. <i>SeSAM</i> als Entwicklungsumgebung	86
10.2.2. <i>SeSAM</i> als Simulationsumgebung	87
10.2.3. Erstellung einer Waldbrandsimulation mit <i>SeSAM</i>	88
11. Implementierung der Simulation	90
11.1. Spezifikation der Waldbrandsimulation	90
11.1.1. Anforderungen an die Simulation	91
11.1.2. Das Umweltmodell	91
11.1.3. Die Feuerwehreinheiten	98
11.2. Kontrolle einzelner Aktivitäten - Steuerungsart 1	98
11.3. Strategisches Planen - Steuerungsart 2 bis 4	100
11.3.1. Vorüberlegungen zum Aufbau der Strategien	101
11.3.2. Gemeinsame Voreinstellungen	102
11.3.3. Steuerungsart 2 – reine Strategien	102
11.3.4. Steuerungsart 3 - kombinierte Strategien	103
11.3.5. Steuerungsart 4 - eigene Strategien	104
11.4. Konzept für ein Normatives Modell	107
12. Die Untersuchung	109
12.1. Stichprobe	109
12.2. Versuchsaufbau	109
12.3. Versuchsablauf	109
13. Ergebnisse	111
13.1. Leistungen der Versuchspersonen	112
13.2. Zusammenhang von Leistung und Wissen	113
13.3. Unterschiede zwischen den Gruppen	115
13.4. Schwierigkeit der Szenarios	116
13.5. Anwendung der Steuerungsarten	117
13.5.1. Eignung zur Steuerung des Szenarios	117
13.5.2. Effektivität der Steuerungsarten	119
13.6. Verwendete Strategien	119
13.6.1. Aktionsbasierte Steuerung – Die vier besten Vpn	121
13.6.2. Aktionsbasierte Steuerung – Die vier schlechtesten Vpn	122
13.6.3. Strategiebasierte Steuerung – Die vier besten Vpn	123
13.6.4. Strategiebasierte Steuerung – Die vier schlechtesten Vpn	124
13.7. Selbstbeurteilung des Delegationsverhaltens	125
13.8. Belastung der Versuchspersonen	126
13.9. Sonstige Beobachtungen	127

14. Diskussion	128
14.1. Konzeption und Validität der Simulation	128
14.2. Formalisierung von Strategien	130
14.3. Verwendete Strategien	131
14.3.1. Allgemeine Problemlösestrategien	131
14.3.2. Domänenspezifische Strategien	132
14.4. Einfluss der Steuerungsarten	134
14.5. Einfluss von Wissen und Erfahrung	135
14.6. Zusammenhang von Problemlöse- und Delegationsfähigkeit	135
14.7. Schlussbetrachtung	136
Literatur	145
Selbstständigkeitserklärung	146
III. Anhang	147
A. Methodik	147
B. Simulation	148
B.1. Die verwendeten Szenarios	148
B.2. Spezifikation der Strategietabelle	152
C. Instruktionen	153
D. Fragebögen	169
E. Daten	188
E.1. Leistungen der Vpn	188
E.2. Wissen der Vpn	190
E.3. Delegationsfähigkeit	191
E.4. Gruppenunterschiede	192
F. Beiliegender Datenträger (CD-ROM)	192

Abbildungsverzeichnis

1.	Komplexes Problemlösen als Interaktion zwischen Problemlöser, Aufgabe und Umwelt	8
2.	Mögliche Kausalmodelle zwischen korrelierten Variablen	12
3.	Beispiel für ein hierarchisches Semantisches Netz	23
4.	Das Multi-Speicher-Modell von ATKINSON & SHIFFRIN (1968)	28
5.	Die Architektur von <i>ACT*</i> nach ANDERSON (1983)	33
6.	Die Prozesse der <i>PSI</i> -Theorie nach DÖRNER ET AL. (1998)	36
7.	Strategien zur Kontrolle von Feuern	52
8.	Teilung des Feuersaums als Taktik	53
9.	Die Waldbrandsimulation von BREHMER (1990)	54
10.	Interaktion von Feuerausbreitung und Feuerbekämpfung	56
11.	Die Simulation <i>Winfire</i> von DÖRNER ET AL. (2001)	57
12.	Agentenarchitektur der Simulation <i>Phoenix</i> nach COHEN ET AL. (1989) . .	60
13.	Struktur der Einheiten eines Multiagentenmodells	85
14.	Die Bestandteile des <i>SeSAM</i> -Systems	88
15.	Ausschnitt aus einer laufenden Simulation	92
16.	Verhaltensmodell der Feuer-Agenten	95
17.	Die Kommandofenster zur Handsteuerung	100
18.	Das Menü zur Auswahl von „reinen Strategien“	103
19.	Die Tabelle zur freien Eingabe von eigenen Strategien	105
20.	Die Benutzeroberfläche der Waldbrandsimulation.	110
21.	Verteilung der Gesamtwertung der Vpn	113
22.	Lage und Verteilung der Gesamtwertung für Steuerungsart 1 und 4	114
23.	Lage und Verteilung der Gesamtwertung (Vp) abhängig von der Gruppe . .	116
24.	Lage und Verteilung des Wissens der Vpn abhängig von der Gruppe	120
25.	Lage und Verteilung der Gesamtwertung für alle Steuerungsarten	120
26.	Anhang: Szenario 0 – Das Aufwärmerszenario	148
27.	Anhang: Szenario 1 – Ein einfaches Szenario mit einem kleinen Dorf	149
28.	Anhang: Szenario 2 – Ein schwieriges Szenario mit zwei großen Dörfern . .	150
29.	Anhang: Szenario 2' – Eine gedrehte Version von Szenario 2	151

Tabellenverzeichnis

1.	Beispiel für das Schema ‚Cowboy‘	24
2.	Beispiel für das Schema ‚Reise‘ ohne Wertebelegung	24
3.	Unterschiede zwischen Strategie und Taktik	25
4.	Umweltfaktoren und ihr Einfluss auf das Feuerverhalten	51
5.	Strategien und Taktiken in einem Waldbrandszenario	59
6.	Der Versuchsplan.	79
7.	Parameterkonfiguration der Szenarios	94
8.	Verhalten eines Feuer-Agenten	95
9.	Faktoren, die das Feuerverhalten in der Simulation beeinflussen.	97
10.	Übersicht über die Umweltvariablen und -parameter	97
11.	Leistungsdaten der Feuerwehreinheiten	99
12.	Strategien als Kombination von Regel- und Schema-Konzept	102
13.	Ränge der Versuchspersonen bezogen auf die Gesamtwertung	112
14.	Anhang: Der ausführliche Versuchsplan (mit Fragebögen).	147
15.	Anhang: Spezifikation der Strategietabelle	152
16.	Anhang: Gesamtwertungen in Wertpunkten und als Prozentanteile	188
17.	Anhang: Gewichtete Gesamtwertungen der Simulationsläufe	189
18.	Anhang: Vorwissen und erworbenes Wissen der Vpn	190
19.	Anhang: Selbstbeurteilungen der Delegationsfähigkeit der Vpn	191
20.	Anhang: Unterschiede zwischen den Gruppen	192

Zusammenfassung

Die Übertragung und Ausführung von Arbeitsaufgaben durch Maschinen spielt in industrialisierten Gesellschaften eine zentrale Bedeutung. Ausgehend von der Automatisierung einfacher, routinemäßiger Arbeitsabläufe wird versucht, auch Aufgaben an Computer zu delegieren, bei denen Probleme auftreten, die auf ‚intelligente‘ Art gelöst werden müssen. Obwohl dies bei einfachen Aufträgen gelingt, sind die Ergebnisse bei komplexen Aufgaben bzw. in komplexen Umwelten noch unbefriedigend.

Vor diesem **Hintergrund** untersucht die vorliegende Arbeit menschliches Problemlösen in der Auseinandersetzung mit komplexen, dynamischen Systemen. Das **Ziel** ist, diejenigen Aspekte der ablaufenden kognitiven Prozesse zu formalisieren, die die ‚Strategie‘ einer Person bei der Lösung eines Problems bilden, wodurch sie auf künstlich intelligente Systeme übertragbar und durch sie ausführbar werden. Als **Untersuchungsmethode** wird die Delegation von Strategien an künstliche Agenten in einem computersimulierten Waldbrandszenario, das eine komplexe, dynamische Umgebung darstellt, gewählt.

Zu diesem Zweck setzt sich die Arbeit mit den **Grundkonzepten des Komplexen Problemlösens** auseinander. Zuerst wird die geschichtliche Entwicklung der Problemlöseforschung behandelt und eine integrative **Definition** des Forschungsgebietes ‚Komplexes Problemlösen‘ vorgestellt. In Anlehnung an FRENSCH & FUNKE (1995) wird ‚Komplexes Problemlösen‘ in der Tradition der europäischen Problemlöseforschung als Auseinandersetzung mit neuartigen, komplexen und dynamischen Aufgaben verstanden. Die Taxonomie von DÖRNER ET AL. (1994) zur Beschreibung der Eigenschaften von komplexen Systemen und ihren Anforderungen an ProblemlöserInnen wird erörtert und den Vorstellungen anderer Autoren gegenübergestellt. Zu den wesentlichen **Eigenschaften** eines komplexen Systems zählen demnach u. a. Komplexität, Intransparenz und (Eigen)Dynamik. **Anforderungen**, die an den Problemlöser durch ein solches System gestellt werden, sind u. a. neben der Zielpräzisierung- und balancierung, auch die Informationssammlung und inhaltliche Schwerpunktbildung. Desweiteren ist auch die Analyse der Neben- und Fernwirkungen des eigenen Handelns von großer Bedeutung. Forschungsansätze innerhalb des Komplexen Problemlösens unterscheiden sich dabei hinsichtlich ihrer Zielsetzungen und der verwendeten Methoden, z. B. was die Realitätsnähe und Komplexität der Simulationen betrifft.

Um geeignete Methoden zur Formalisierung von Strategien für die empirische Untersuchung zu finden, wird im Anschluss daran auf verschiedene **Theorien und Modelle der Kognitiven Modellierung** eingegangen. Diese versuchen sowohl die Struktur von Wissen als auch die Prozesse der Informationsverarbeitung abzubilden. Nach einer Auseinandersetzung mit dem Begriff ‚**Wissensrepräsentation**‘ wird die Theorie der Semantischen Netze von COLLINS & QUILLIAN (1969) und das Schema-Konzept von MINSKY (1975) vorgestellt. Letzteres ist von besonderer Bedeutung für den empirischen Teil der Arbeit. Im Zusammenhang mit verschiedenen **Modellen des Problemlösens** wird der Begriff ‚Strategie‘ eingeführt und aus unterschiedlichen Perspektiven diskutiert. Die grundlegende Bedeutung des Begriffs ‚Strategie‘ als einem langfristigen und umfassenden

den Plan oder Methode zur Erreichung eines bestimmten Ziels wird verdeutlicht. Es wird darauf hingewiesen, dass der Begriff in der Komplexen Problemlöseforschung sowohl zur Bezeichnung von domänenunspezifischen Informationsverarbeitungsstrategien als auch von domänenspezifischen Vorgehensweisen verwendet wird. Zu den vorgestellten Modellen des Problemlösens zählen z. B. *GPS* von NEWELL, SHAW & SIMON (1960), *SOAR* von LAIRD, NEWELL & ROSENBLOOM (1987) und die *ACT**-Theorie von ANDERSON (1983). Diese Produktionssysteme werden ausführlich erläutert, da das Konzept der Produktionsregeln (Wenn-Dann-Regeln) im empirischen Teil der Arbeit eine wichtige Rolle spielt. Weiterhin werden die Kontroll-Theorie von BREHMER (1992) und die PSI-Theorie nach DÖRNER (1998) beschrieben.

Da **Delegation** im empirischen Teil der Arbeit eine wichtige Rolle als Methode zur Erfassung von Problemlösestrategien spielt, wird auf dieses Konzept genauer eingegangen. Zur Klärung des Begriffs wird auf Überlegungen und Befunde aus der Unternehmensführung und Organisationspsychologie zurückgegriffen, da die Informatik dieses Konzept noch wenig behandelt hat. Es werden Problembereiche und Schwierigkeiten bei der Delegation von Aufgaben aus der Sicht der Psychologie diskutiert. Die Unternehmensführung hingegen trägt wesentlich zur Bestimmung der Rechte und Pflichten in einem Delegationsverhältnis bei. Anschließend wird aufgezeigt, welche Auswirkungen diese Befunde auf die Gestaltung von künstlichen Agenten haben, die zur Delegation und Ausführung von Aufgaben eingesetzt werden können, und mit welchen Methoden diesen Anforderungen begegnet werden kann.

Als nächstes werden **Waldbrandsimulationen** behandelt. Diese zählen zu den klassischen Simulationen, die zur Untersuchung von Komplexem Problemlösen eingesetzt werden. Zuerst wird allgemein auf **computergestützte Simulationen** als Forschungswerkzeug in der Komplexen Problemlöseforschung eingegangen. Dabei werden wesentliche Unterschiede im Vergleich zu traditionellen Untersuchungsmethoden, wie Laborexperimenten oder Feldstudien, hervorgehoben. Anschließend werden die Konzepte ‚Agent‘ und ‚Multiagentensystem‘ erörtert und die besondere Eignung der Multiagentensimulation für die Simulation von komplexen, eigendynamischen Systemen betont. Als Vorbereitung zur Darstellung der Waldbrandsimulationen werden die Grundlagen des **Feuerverhaltens und der Feuerbekämpfung** behandelt. Dadurch sollen Anhaltspunkte gewonnen werden, um die Realitätsnähe und Plausibilität von Waldbrandsimulationen im Allgemeinen beurteilen zu können. Desweiteren erweisen sich die erhaltenen Anregungen auch bei der Erstellung der Waldbrandsimulation im empirischen Teil der Arbeit als nützlich. Im Anschluss daran werden **Beispiele für Waldbrandsimulationen** vorgestellt, welche von BREHMER (1990), DÖRNER (1989) bzw. COHEN ET AL. (1989) entwickelt wurden und sich sowohl in ihrer Realitätsnähe als auch in ihrer Zielsetzung unterscheiden.

Nachdem der theoretische Hintergrund dargelegt worden ist, werden **empirische Befunde** aus der Forschung zum Komplexen Problemlösen berichtet, die sich sowohl auf die Eigenschaften des simulierten Systems als auch auf die Personmerkmale der ProblemlöserIn beziehen. Beide Inhaltsbereiche erlauben Rückschlüsse auf die Strukturen und Prozesse, die bei der ProblemlöserIn bei der Bearbeitung komplexer Aufgaben ablaufen. Zentrale Aussagen der bisherigen Forschung sind, dass menschliche ProblemlöserInnen große Schwierigkei-

ten beim Umgang mit komplexen Systemen haben, besonders bei nicht-linearen Prozessen und bei der Berücksichtigung von Neben- und Fernwirkungen. Zur Bedeutung kognitiver Merkmale für die Problemlöseleistung liegen heterogene Befunde vor. Neuere Studien belegen jedoch, dass Faktoren wie Intelligenz oder Arbeitsgedächtniskapazität unter bestimmten Bedingungen valide Prädiktoren der Problemlöseleistung sind.

Die wichtigsten **Problembereiche der Komplexen Problemlöseforschung**, die in den vorangehenden Abschnitten nur angerissen wurden, werden nochmal zusammengefasst. Zu diesen zählen der Mangel an Theorien zur System- und Verhaltensbeschreibung sowie Probleme bei der Messung psychologischer Konstrukte und der Interpretation der Ergebnisse.

Auf der Grundlage der verschiedenen Theorien und empirischen Befunde zum Komplexen Problemlösen werden die **Fragestellungen der Untersuchung** formuliert. Das Hauptinteresse gilt der Frage, ob Vpn Strategien, die sie bei der Lösung komplexer Aufgaben einsetzen, formalisieren können. Darüberhinaus sollen auch Einflussfaktoren auf das Problemlöseverhalten untersucht werden, die die Steuerung auf einer konkreten vs. abstrakten Ebene oder das domänenspezifische Wissen betreffen.

Nachdem die Fragestellungen formuliert worden sind, wird auf die **Operationalisierung** der interessierenden Konstrukte in der Untersuchung eingegangen. Als unabhängige Variablen werden die Steuerungsart (aktionsbasiert vs. strategiebasiert), die Art der Erfahrung im Umgang mit der Simulation, sowie die Schwierigkeit der vorgegebenen Szenarios variiert. Die abhängigen Variablen beziehen sich sowohl auf die objektive Leistung der Vpn, als auch auf subjektive Urteile und Maße des domänenspezifischen Wissens der Vpn zur Simulation. Zusätzlich werden noch qualitative Daten zur Beschreibung der Art der eingesetzten Strategien erhoben. Desweiteren beurteilen die Vpn Fragen zu ihrer Delegationsfähigkeit.

Im Anschluss daran wird die **Entwicklungs- und Experimentierumgebung *SeSAM*** vorgestellt, die als Implementierungsplattform für die Waldbrandsimulation benutzt wird. Das Repräsentationsschema zur Beschreibung von Multiagentensystemen wird beschrieben, mit dem sowohl Strukturen als auch Verhalten von Multiagentensystemen auf unterschiedlichen Ebenen (Agentenebene vs. Systemebene) modelliert werden kann. Auch die einzelnen Komponenten von *SeSAM*, i. e. die grafische Modellieroberfläche, der Simulator sowie die Animations- und Auswertungskomponente, werden beschrieben.

Der darauffolgende Abschnitt behandelt ausführlich die **Spezifikation der erstellten Waldbrandsimulation**. Die Umwelt besteht dabei aus Wäldern und Häusern, sowie Seen und Straßen. Das Verhalten des Feuers wird durch Windstärke und -richtung und die verfügbaren brennbaren Objekten bestimmt. Die Ausbreitung des Feuers kann durch Feuerwehreinheiten, welche aus Helikoptern und Löschautos bestehen, bekämpft werden. Die Steuerung der Einheiten erfolgt in der aktionsbasierten Kontrolle durch Eingabe einzelner Aktionen an eine Feuerwehreinheit (Handsteuerung). Bei der strategiebasierten Steuerung werden Strategien der Vp von den Einheiten selbstständig ausgeführt. Diese Strategien können durch die Kombination von Eigenschaftsbeschreibungen der Waldbrände, die gelöscht werden sollen, von den Vpn frei bestimmt werden. Zur Eingabe der Strategien wird

eine Kombination des Konzepts ‚Produktionsregel‘ mit dem ‚Schema‘-Konzept verwendet. Dadurch ist die Eingabe von Strategien in strukturierter Weise möglich.

Der genaue **Aufbau und Ablauf der Untersuchung** wird berichtet, die mit insgesamt 16 Vpn in mehrstündigen Einzelsitzungen durchgeführt wurde.

Die **Ergebnisse der Untersuchung** zeigen, dass die Strategien, die Vpn bei der Feuerbekämpfung einsetzen, durchaus mit der vorgegebenen Formalisierungsmethode erfasst werden können. Die objektive Problemlöseleistung bei strategiebasierter Steuerung mit eigenen Strategien ist mit der Leistung bei aktionsbasierter Steuerung vergleichbar. Auch die subjektiven Urteile der Vpn zeigen, dass für sie die Eingabe eigener Strategien nur „mittlere“ Schwierigkeit besitzt. Darüberhinaus beurteilen sie die Übereinstimmung der eingegebenen und ausgeführten Strategien mit den Strategien, die sie ausführen wollen, als „gut“. Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Leistung pro Simulationslauf und dem im Lauf der Untersuchung erworbenen Wissen. Eine Auswertung der Art der eingesetzten Strategien ergibt mehrere Merkmale, die effektive von ineffektiven Strategien unterscheiden, was entgegen einer häufig geäußerten Kritik an komplexen Szenarios für die Existenz eines Normativen Modells spricht. Desweiteren liegen einige bedeutsame Zusammenhänge zwischen der Beurteilung der eigenen Delegationsfähigkeit und der Leistung in der Simulation vor.

Zusammenfassend kann die Umsetzung der konzeptionellen Vorgaben bei der Gestaltung der Simulation bzw. des Versuchs als zufriedenstellend beurteilt werden. Hervorzuheben ist, dass die Untersuchung zeigt, dass die Formalisierung und Delegation von domänenspezifischen Strategien in einer simulierten Umwelt durchaus möglich ist. Die Untersuchung von Formalisierungsmethoden für Strategien in anderen Domänen als dem Waldbrandszenario bleibt zukünftiger Forschung vorbehalten.

1. Einleitung

”Civilization advances by extending the number of important operations that we can do without thinking about them.”

A. N. WHITEHEAD (1910)

Dieses Zitat, das von dem Philosophen und Mathematiker Alfred N. WHITEHEAD stammt, sieht als Ursache von gesellschaftlichem Fortschritt die Anzahl an Handlungen, die Menschen ausführen können, ohne darüber nachzudenken. Auch wenn die Vieldeutigkeit dieser Aussage verschiedenste Interpretationen zulässt, scheint sie in der heutigen Gesellschaft eine besondere Bedeutung erlangt zu haben. Vor allem in technologisch weiter entwickelten Gesellschaften spielt die Automatisierung durch Maschinen eine immer größere Rolle. Während auf der einen Seite durch diese Entwicklung Menschen viele Dinge erledigen können, „ohne darüber nachzudenken“, stellt man auf der anderen Seite immer wieder fest, dass Maschinen, zu denen ich auch den Computer zähle, nur in einfachen Umwelten zu guten bis sehr guten Leistungen in der Lage sind. Muss jedoch eine Vielzahl von heterogenen, wechselnden Bedingungen für die ausgeführten Handlungen berücksichtigt werden, so schneiden Maschinen immer noch recht bescheiden ab oder scheitern sogar kläglich im Vergleich zu den Leistungen, die ein Mensch zu erbringen vermag.

1.1. Einordnung des Themas

In den letzten Jahrzehnten hat sich zeitgleich zu Entwicklung der Computertechnologie das Forschungsgebiet des ‚Komplexen Problemlösens‘ (KPL)¹ aus den Bereichen *Kognitive Psychologie* und *Künstliche Intelligenz* bzw. *Informatik* gebildet. Dieser interdisziplinäre Ansatz untersucht Prozesse und Strukturen, welche erfolgreiches Handeln auch in komplexen Umgebungen ermöglichen. Durch die gewonnenen Ergebnisse sollen nicht nur psychologische Theorien entwickelt werden, mit denen man komplexe menschliche Bewusstseinsvorgänge beschreiben und erklären kann. Es sollen auch Modelle geschaffen werden, die ermöglichen, diese Prozesse künstlich z. B. in Form von Computerprogrammen nachzubilden. Dabei bezeichnet man speziell die Beschreibung und Formalisierung von kognitiven Prozessen als ‚Kognitive Modellierung‘. Wie im folgenden erläutert wird, ist auch die vorliegende Arbeit in diese Bereiche einzuordnen.

1.2. Hintergrund der Untersuchung

Unter Anleitung von Prof. Dr. Frank PUPPE (Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz, Universität Würzburg) und PD Dr. Harald SCHAUB (Lehrstuhl für Theoretische Psychologie, Universität Bamberg) wurden bereits mehrere Untersuchungen zum Thema ‚Komplexes Problemlösen‘ durchgeführt. Psychologie-Studenten aus Würzburg und Bamberg untersuchten dabei im Rahmen ihrer Diplomarbeiten die Formalisierung von menschlichen Strategien beim Lösen komplexer Probleme. Dazu verwendeten sie Waldbrandsimulationen, die auf

¹engl. *Complex Problem Solving (CPS)*

der Basis der am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz entwickelten Simulationsumgebung *SeSAM* implementiert wurden.

Die erste Studie, die von Emanuel BÜTTNER (1999) (Universität Bamberg) durchgeführt wurde, zielte in erster Linie auf eine „Phänomensammlung“ (S. 5, 90) ab. Dazu nahm er verschiedene Falluntersuchungen vor. Die Fragestellungen, die er damit beantworten wollte, betrafen die Merkmale und Anforderungen des simulierten Waldbrandszenarios, die Bedeutung von psychologischen Größen (z. B. Fähigkeiten) und die Eignung der Simulationsumgebung *SeSAM* für weitere Versuche. In der Untersuchung wurden die Befehle, Taktiken und Strategien, aus denen die Versuchspersonen (Vpn) im Hauptversuch auswählen sollten, vorher an ihre Vorstellungen angepasst werden. Als Methode zur Erfassung ihrer Ideen hatten die Probanden u. a. anhand der grafischen Oberfläche von *SeSAM* die gewünschten Verhaltensweisen der Feuerwehreinheiten als Verhaltensautomat zu modellieren. Hier zeigte sich allerdings, dass die Probanden auch bei massiver Unterstützung durch den Versuchsleiter überfordert waren bzw. eine adäquate Abbildung ihrer Strategien höchstens auf der Ebene einfacher Aktionen oder Taktiken erreicht werden konnte. In Einzelfällen gelang jedoch die erfolgreiche Bearbeitung des Szenarios mit Hilfe von „Wenn-Dann-Regeln“ [BÜTTNER 1999, S. 90, 212, 222 ff.].

Aufbauend auf diesen Ergebnissen suchte Patrick HUBER (2000) (Universität Würzburg) nach einer Methode zur Formalisierung von Strategien, die menschliche Problemlöser¹ im Umgang mit einem dynamischen System wie dem Waldbrandszenario einsetzen. Zu diesem Zweck sollten die Versuchspersonen ihre Strategien mit Hilfe von Produktionsregeln („Wenn-Dann-Regeln“) formulieren. Obwohl dadurch zwar die Erfassung ‚heuristischer‘ Regeln gelang, existierten noch eine Vielzahl weiterer Regeln, die sich ein solcher Formalisierung entzogen (S. 103).

1.3. Zielsetzung

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein weiterer Beitrag dazu geleistet werden, die Frage zu beantworten, wie man Denkvorgänge in Form von Strategien beim Lösen komplexer Probleme modellieren kann. Dazu sollen Vpn ihre Strategien mit einer neuen Methode (vgl. Abschnitt 11.3) *formalisieren* und an simulierte Agenten *delegieren*, die diese Strategien dann selbstständig ausführen. Eine erfolgreiche Umsetzung dieses Ansatzes würde einen wichtigen Schritt bedeuten auf dem Weg zu einer Programmierung und Automatisierung von Problemlösungsstrategien. Wie in den Vorgängerstudien basiert die Untersuchungsmethode auf einer Waldbrandsimulation, die mit der Simulationsumgebung *SeSAM* erstellt wird. Dementsprechend lautet das Thema dieser Arbeit: „Komplexes Problemlösen in Multiagentensimulationsszenarien: Untersuchungen zur Formalisierung von Strategien für die Bekämpfung von Waldbränden“.

¹Wenn im Folgenden Bezeichnungen wie Problemlöser, Versuchspersonen, Probanden o. ä. verwendet werden, beziehen sich die Aussagen sowohl auf Männer als auch Frauen. Für eine ausführliche Diskussion zur Verwendung des generischen Maskulinums und seiner Alternativen wird auf HEISE (2000) verwiesen.

1.4. Überblick über den Inhalt

Die vorliegende Arbeit ist in zwei Teile gegliedert, von denen der erste Teil den theoretischen Hintergrund und empirische Befunde zum Thema ‚Komplexes Problemlösen‘ behandelt. Der zweite Teil beinhaltet Methodik und Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung.

Nach der Einleitung in *Kapitel 1* werden in *Kapitel 2* die ‚Grundkonzepte des Komplexen Problemlösens‘ vorgestellt, wobei mit der Abgrenzung des Bereichs ‚Komplexes Problemlösen‘ begonnen wird. Anschließend werden die Eigenschaften von komplexen Systemen und deren Anforderungen an Problemlöser beschrieben, wobei die Taxonomie¹ von DÖRNER ET AL. (1994) zugrunde gelegt wird. In *Kapitel 3* werden Modelle der Wissensrepräsentation und des Problemlösens vorgestellt. Dabei wird der Begriff der ‚Strategie‘ diskutiert und im Zusammenhang mit verschiedenen allgemeinen Modellen des Problemlösens erläutert.

Kapitel 4 behandelt das Konzept ‚Delegation‘. Delegation wird in dieser Arbeit als Methode verwendet, um Vpn zur Formalisierung ihrer Strategien zu bewegen, wobei sie die Ausführung der Strategien gleichzeitig beobachten können. Es werden vor allem Befunde aus der Organisationspsychologie und Unternehmensführung berichtet und die Anwendung von Delegation in der Interaktion zwischen Mensch und künstlichem Agent erörtert. In *Kapitel 5* werden Waldbrandsimulationen behandelt. Diese zählen zu den klassischen Simulationen, die zur Untersuchung von Komplexem Problemlösen verwendet werden. Zuerst wird auf computergestützte Simulation im Allgemeinen eingegangen, wobei Unterschiede zu traditionellen Untersuchungsmethoden angesprochen werden. Dabei wird auch die Bedeutung der Multiagentensimulation für die Komplexe Problemlöseforschung hervorgehoben. Anschließend wird Feuerverhalten und Feuerbekämpfung als Vorbild für Waldbrandsimulationen erläutert. Dadurch können sowohl Anhaltspunkte zur Beurteilung der Plausibilität als auch für die Implementierung einer Waldbrandsimulation gewonnen werden. Im Anschluss daran werden drei bekannte Beispiele für Waldbrandsimulationen vorgestellt, wobei auch auf domänen- bzw. simulationsspezifische Strategien eingegangen wird. In *Kapitel 6* wird ein Überblick über verschiedene empirische Befunde aus dem Bereich des Komplexen Problemlösens gegeben. Diese betreffen sowohl Eigenschaften von komplexen Systemen als auch Merkmale des Problemlösers. In *Kapitel 7* werden die wichtigsten Kritikpunkte und Probleme, mit denen die Komplexe Problemlöseforschung zu kämpfen hat, zusammengefasst.

Die konkreten Fragestellungen der Untersuchung werden in *Kapitel 8* vorgestellt, wobei *Kapitel 9 und 10* erläutern, mit welcher Methodik diese Fragen untersucht werden. In diesem Zusammenhang wird auch die Simulationsumgebung *SeSAM* vorgestellt. Im folgenden *Kapitel 11* wird auf die Eigenschaften der implementierten Waldbrandsimulation eingegangen. *Kapitel 12* beschreibt den Aufbau und Ablauf der Untersuchung, mit der die Daten gewonnen werden, die in *Kapitel 13* berichtet werden. Eine Diskussion der Befunde im Hinblick auf die Fragestellungen und ihre Bedeutung für die zukünftige Forschung erfolgt in *Kapitel 14*.

¹Begriffssystem

Teil I.

Theoretischer und Empirischer Hintergrund

In diesem Teil der Diplomarbeit werden die Theorien und empirische Ergebnisse zusammengetragen, die den wissenschaftlichen Hintergrund dieser Diplomarbeit bilden. Aufgrund des interdisziplinären Charakters der vorliegenden Arbeit im Schnittbereich zwischen Psychologie und Informatik ist dieser Teil bewusst breit gefächert. Er deckt ein weites Spektrum von Themen ab, die für diese Arbeit relevant sind. Diese reichen von Theorien zum Problemlösen, über Computersimulation bis hin zu Feuerbekämpfung in der Realität. Zuerst sollen jedoch die Grundkonzepte des Komplexen Problemlösens dargelegt werden.

2. Grundkonzepte des Komplexen Problemlösens

Die wissenschaftliche Erforschung des Problemlösens in Realitätsbereichen mit hoher Komplexität hat sich in den letzten Jahrzehnten ihren Kritikern zum Trotz langsam, aber beständig etabliert. Gründe für die zunehmende Akzeptanz und das Interesse an diesem Gebiet liegen zum einen in dem Wunsch nach einer größeren Alltagsnähe der Forschung, zum anderen auch in den neuen Möglichkeiten, die vor allem durch die Computertechnologie zur Verfügung stehen. Besondere Brisanz erhält dieses Thema dadurch, dass auch Ursachen für menschliche Fehlleistungen bei komplexen Entscheidungen untersucht werden, die z. B. zu solchen Katastrophen wie der Explosion eines Reaktors eines Atomkraftwerks in Tschernobyl führen können [DÖRNER 1989]. Weiterhin erhofft man sich z. B. auch neue Erkenntnisse und diagnostische Möglichkeiten hinsichtlich der Intelligenzmessung und der Personalselektion [FUNKE 1992, S. 2].

2.1. Abgrenzung des Bereichs ‚Problemlöseforschung‘

Wie bei jeder neuen Forschungsrichtung ist auch beim ‚Komplexen Problemlösen‘ die Definition der Phänomene, mit denen sie sich beschäftigt, mit Schwierigkeiten verbunden, da Begriffe und Konzepte teilweise erst geschaffen werden müssen. Insbesondere der interdisziplinäre Charakter unter Mitwirkung z. B. der Psychologie (speziell: Kognitive Psychologie), Informatik (speziell: Künstliche Intelligenz), Linguistik oder auch der Neurowissenschaften ist dazu geeignet den Begriff mit vielfältigen Assoziationen und Bedeutungen zu belegen. Alle Aussagen zum Problemlösen können jedoch nur Aussagekraft besitzen, wenn klar ist, was ein Problem bzw. Problemlösungsprozesse ausmachen [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 4]. Aus diesem Grunde soll eine Abgrenzung und Bestimmung des Untersuchungsgegenstands der Komplexen Problemlöseforschung erfolgen. Zu diesem Zweck wird zuerst ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Problemlöseforschung gegeben.

2.1.1. Geschichtlicher Überblick

Die Anfänge der Problemlöseforschung

Die Anfänge der Problemlöseforschung bezeichnet man aus der heutigen Sicht als „Einfaches Problemlösen“ (EPL)¹. Der Grund dafür ist, dass von den ersten Experimenten an, die von Gestaltpsychologen in den 30er Jahren in Deutschland durchgeführt wurden, bevorzugt „einfache“ Laboraufgaben als Untersuchungsgegenstand eingesetzt wurden. Man ging damals davon aus, dass einfache Probleme nicht nur die zentralen Merkmale von realen Problemen aufweisen, sondern man nahm auch an, dass bei einer Versuchsperson ähnliche Prozesse ablaufen wie sie auch bei der Lösung realer Probleme auftreten [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 16]. Auch HUSSY (1993, S. 116), ein aktueller Vertreter des Einfachen Problemlösens, ist der Meinung, dass kreative Denkvorgänge, sowie Urteils- und Entscheidungsprozesse als Spezialfälle eines allgemeinen Problemlösungsprozesses verstanden werden können.

Die verwendeten einfachen Aufgaben hatten die folgenden Eigenschaften [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 16,18] [VANLEHN 1993, S. 528]:

- Es liegen klare Ausgangsbedingungen und ein eindeutiger Endzustand vor.
- Das Problem bzw. die Problemlösungsschritte sind eindeutig formulierbar.
- Es liegt meist nur eine „Barriere“ vor.
- Es gibt eine klar definierte optimale Lösung.
- Das Problem kann in kurzer Zeit gelöst werden.
- Für die Lösung des Problems ist kein bereichsspezifisches Wissen notwendig.

Beispiele für solche Aufgaben sind u. a. das ‚Kerzenproblem‘ und das ‚Bestrahlungsproblem‘ von DUNCKER (1935), das ‚Seilproblem‘ von MAIER (1931) oder das ‚Scheibenproblem‘ bzw. der ‚Turm von Hanoi‘ von EWERT & LAMBERT (1932). Die Barriere besteht in diesen Aufgaben häufig in der „funktionalen Gebundenheit“ der Objekte. Das bedeutet, dass zur Lösung der Aufgabe oft ein Gegenstand in einer anderen Funktion eingesetzt werden muss, als er es typischerweise wird [STÄDLER 1998, S. 827].

Die Vorteile dieses Ansatzes bestehen darin, dass ein *Normatives Modell* vorliegt und eine genaue Analyse der Problemlösungsprozesse, einschließlich der begangenen Fehler, erfolgen kann. Unter einem Normativen Modell versteht man dabei sowohl eine Beschreibung der optimalen Lösung einer Aufgabe als auch Kriterien, die zur Beurteilung der Leistung einer Vpn herangezogen werden können. Bei diesem Ansatz sind auch kausale Interpretationen von Ergebnissen, d. h. die Bestimmung der Ursachen der beobachteten Ergebnisse, leichter möglich, was wiederum die Anwendung der Ergebnisse in der Praxis fördert. Insgesamt besitzen diese Aufgaben eine bessere Berechenbarkeit und erfordern einen geringeren methodischen Aufwand [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 16 f.].

Mitte der 70er Jahre kamen jedoch Forscher zu der Überzeugung, dass sowohl die empirischen Befunde als auch die theoretischen Konzepte des Einfachen Problemlösens nicht in

¹engl. *Simple Problem Solving (SPS)*

befriedigender Weise auf komplexe, alltagsnahe Probleme verallgemeinerbar sind. Desweiteren gab es Hinweise darauf, dass in unterschiedlichen Realitätsbereichen auch unterschiedliche kognitive Prozesse eine Rolle spielen. Europäische und nordamerikanische Forscher versuchten daraufhin, diesen neuen Anforderungen auf unterschiedliche Weise zu begegnen, wobei es insgesamt zu einer stärkeren Betonung von realitätsnahen, komplexen Problemen kam [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 16, 17].

Entwicklung des Problemlösens in Europa und Nordamerika ab den 70er Jahren

Unter den in der Fachliteratur diskutierten Definitionen des Problemlösens sind zwei Hauptströmungen zu beobachten, welche sich aus der europäischen und der nordamerikanischen Forschungstradition ergeben, und als zueinander komplementär betrachtet werden können.

Problemlösen in Nordamerika In Nordamerika wurde das Bestreben, eine globale Theorie des Problemlösens zu entdecken, zugunsten einer Untersuchung spezifischer Problemlösungsprozesse in natürlichen Wissensbereichen aufgegeben. Ein Schwerpunkt wurde dabei auf die Entwicklung des Wissens und der Problemlöseprozesse von Novizen (Anfängern) zu Experten gelegt. VANLEHN (1993, S. 529) unterscheidet in diesem Zusammenhang *knowledge-rich task domains* von *knowledge-lean task domains*, die z. B. für das einfache Problemlösen kennzeichnend sind. Zu den erforschten „wissensreichen“ Domänen zählen beispielsweise die Physik, das Schachspiel oder auch das Schreiben. Eine Übersicht zur Expertiseforschung findet sich in CHI, GLASER & FARR (1988) und VANLEHN (1993).

Der wichtigste methodische Ansatz besteht im *Experten-Novizen-Vergleich*, der die problemlösungsrelevanten Unterschiede zwischen Experten und Novizen in einem korrelativen bzw. quasi-experimentellen Ansatz aufzudecken versucht [STÄDLER 1998, S. 290]. Zu den zentralen Fragen gehört dabei nicht nur die Repräsentation und Anwendung des Wissens auf ein Problem, sondern auch der Wissenserwerb, i. e. Lernen. Gängige Konzepte zur Erklärung dieser Phänomene sind z. B. ‚Schemata‘ zur Repräsentation von Wissen, die Anwendung von ‚Suchstrategien‘ zur Suche nach einer Lösung in einem ‚Problemraum‘ oder im Erwerb von Wissen durch ‚*chunking*‘¹ (i. e. Zusammenfassen).

Kritik an diesem Ansatz kann man insofern äußern, als hier die Interaktion zwischen Aufgabenstellung und Problemlöser nicht berücksichtigt wird. Man kann zwar davon ausgehen, dass eine Person ohne domänenspezifisches Wissen vor einem schwierigen Problem steht, wenn sie z. B. eine mathematische Knobelaufgabe lösen soll. Dieselbe Aufgabe ist jedoch für einen Experten, z. B. einen Mathematiker, der ein Lösungsschema parat hat, lediglich als eine Übung anzusehen. Dies kann qualitativ unterschiedliche Denkvorgänge bedeuten [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 17].

Problemlösen in Europa In Europa erlangten zwei Ansätze besondere Geltung, deren herausragende Vertreter zum einen Donald BROADBENT in Großbritannien und Dietrich DÖRNER in Deutschland sind. Die *Gemeinsamkeiten* beider Richtung bestehen darin, dass sie beide Laboraufgaben verwenden, die relativ komplex und semantisch bedeutungsvoll

¹engl. *chunk* = dt. Klumpen, Brocken

sind. Die Aufgabenstellungen für die Vpn sind darüber hinaus Problemen des realen Lebens nachempfunden, wobei sie aber trotzdem für die Problemlöser neu sind. Beide Forscher verwenden desweiteren Computer zur Simulation der Problemlöseumgebungen.

Unterschiede ergeben sich jedoch hinsichtlich ihrer theoretischen Zielsetzung als auch der systemanalytischen Beschreibung der verwendeten Simulationen. BROADBENT untersucht bevorzugt die Unterschiede zwischen bewussten (expliziten) und unbewussten (impliziten) Prozessen. Er legt dabei besonderen Wert auf die sorgfältige, mathematische Konstruktion der Probleme. Der Ansatz von DÖRNER hingegen ist umfassender und am Zusammenwirken des gesamten psychischen Systems interessiert mit seinen kognitiven, emotionalen und auch motivationalen Anteilen. Dabei verwendet er hochkomplexe, computersimulierte Szenarios [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 17 ff.]. Neben der Betonung des Umgangs mit Unbestimmtheit hat DÖRNER nach FUNKE (1992, S. 12) auch die Bedeutung des zeitlichen Aspekts beim Ablauf von Problemlösungsprozessen (Dynamik) in den Mittelpunkt gerückt.

2.1.2. Komplexes Problemlösen aus einer integrativen Perspektive

FRENSCH & FUNKE (1995, 4 ff.) kommen in ihrer ausführlichen Diskussion zur Definition der Begriffe *Problem* und *Problemlösen* zu dem Ergebnis, dass eine allgemein akzeptierte Definition dieser Konzepte kaum zu erreichen ist. Aufgrund unterschiedlicher Forschungsinteressen und wissenschaftlicher Paradigmen besitzen Definition dieser Begriffe für verschiedene Forscher unterschiedliche Nützlichkeit, was auch für ihre Anwendung entscheidend ist. Hingegen sollte es möglich sein, die vorhandenen Definitionen auf eine begrenzte Anzahl einzuschränken, diese nach ihren Zielsetzungen und Paradigmen zu systematisieren und zusammenzufassen [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 13]. Im Folgenden wird daher zur Bestimmung des Begriffs ‚Komplexes Problemlösen‘ auf die Definition von FRENSCH & FUNKE (1995, S. 18 ff.) zurückgegriffen, die sich um eine Integration der von verschiedenen Forschern betonten Aspekte bemühen. Sie legen dabei eine besondere Betonung auf die europäische Perspektive, deren Unterschied und Vorteil zur nordamerikanischen Perspektive bereits erläutert wurde:

CPS occurs to overcome barriers between a given state and a desired goal state by means of behavioral and/or cognitive, multistep activities. The given state, goal state, and barriers between given state and goal state are complex, change dynamically during problem solving, and are intransparent. The exact properties of the given state, goal state, and barriers are unknown to the solver at the outset. CPS implies the efficient interaction between a solver and the situational requirements of the task, and involves a solver's cognitive, emotional, personal, and social abilities and knowledge.
[FRENSCH & FUNKE 1995, S. 18]

Diese Definition beinhaltet durch die Unterscheidung zwischen Ausgangszustand, Barriere und Zielzustand, die klassische Definition eines Problems [STÄDLER 1998, S. 826]. Es werden dabei nicht nur verhaltensbasierte sondern auch kognitive Aktivitäten zur Überwindung dieser Barriere berücksichtigt, wodurch ein Bogen von frühen behavioristischen Theorien über die ‚Kognitive Wende‘ bis zu aktuellen Informationsverarbeitungstheorien gespannt wird. Bei der Aufzählung der Merkmale von komplexen Problemen, zu welchen sie u. a.

2. Grundkonzepte des Komplexen Problemlösens

Komplexität, Dynamik und Intransparenz zählen, greifen FRENSCH & FUNKE auf Kategorien von DÖRNER zurück [vgl. DÖRNER ET AL. 1994, S. 19 ff.]. Genaue Kenntnisse über Ausgangszustand, Barriere oder Zielzustand beim Problemlöser fehlen. Desweiteren liegt eine Interaktion zwischen den situationalen Anforderungen und den Fähigkeiten des Problemlösers vor, die sowohl kognitiver, emotionaler oder sozialer Art oder auch Persönlichkeitsmerkmale sein können. Dadurch dass auch ‚Wissen‘ explizit in die Definition aufgenommen wird, wird deutlich, dass Problemlösen nicht nur generelle, domänenunabhängige, „schwache“ Prozesse umfasst, sondern auch wissensgesteuerte, „starke“ Methoden, welche auch von VANLEHN (1993, S. 538) unterschieden werden.

Obwohl diese Definition aufgrund ihrer Ausgewogenheit als sehr gelungen zu bezeichnen ist, fehlt hier ein Verweis darauf, dass es sich bei den verwendeten „komplizierten Systemen [...] typischerweise [...] um computersimulierte Szenarien“ handelt [FUNKE 1992, S. 5].

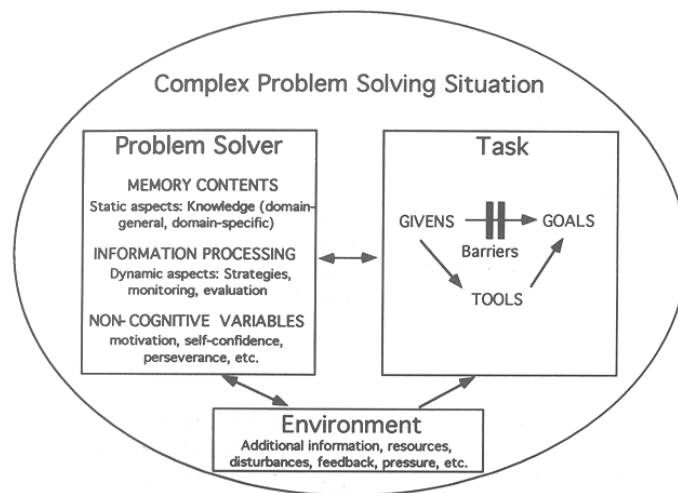


Abbildung 1: Komplexes Problemlösen als Interaktion zwischen Problemlöser, Aufgabe und Umwelt [nach FRENSCH & FUNKE 1995, S. 22]

Zur Veranschaulichung wird die oben zitierte Definition in Abbildung 1 dargestellt. Die komplexe Problemlösesituation besteht demnach aus Problemlöser (engl. *problem solver*), der Aufgabe (engl. *task*) und der Umwelt (engl. *environment*). Auf Seiten des Problemlösers wird weiterhin zwischen statischem Wissen und dynamischer Informationsverarbeitung unterschieden, die wiederum durch nicht-kognitive Persönlichkeitsmerkmale, z. B. Motivation, beeinflusst sein können. Die wesentlichen Elemente der Aufgabe wurden bereits weiter oben genannt, sind aber hier nochmal um die Methoden (engl. *tools*) erweitert, die zur Lösung zur Verfügung stehen. Bemerkenswerterweise wird die Umwelt getrennt von der Aufgabe behandelt und bildet den Kontext. Durch die Umwelt werden zusätzliche Information zur Verfügung gestellt, z. B. Feedback über die eigenen Aktionen. Es wirken aber durch sie auch noch andere Kräfte wie z. B. Gruppendruck (engl. *peer pressure*) oder Störungen auf den Problemlöser ein [FRENSCH & FUNKE 1995, S. 22].

2.2. Eigenschaften von komplexen Systemen

Mit Beginn der 80er Jahre setzte eine Welle von empirischen Untersuchungen zum *Komplexen Problemlösen* ein, die eine schwer überschaubare Menge und Vielfalt von empirischen Befunden zur Folge hatte. Aus diesem Grund forderte FUNKE (1988, S. 296) gegen Ende der 80er Jahre eine einheitliche Taxonomie der Begriffe zur Beschreibung von komplexen Systemen als auch den notwendigen Fähigkeiten zum Umgang mit diesen Systemen. Dadurch würden nicht nur die Voraussetzungen für die Entwicklung von Theorien und Modellen geschaffen, sondern auch ein Vergleich der Ergebnisse von Untersuchungen, die unterschiedliche Domänen und Simulationen verwenden, gefördert.

Taxonomien von komplexen Systemen Dietrich DÖRNER und seine Arbeitsgruppe gehörten zu den ersten, die sich um eine Präzisierung der Merkmale von komplexen Systemen bemühten. Er entwickelte seine Modelle auch systematisch weiter bis hin zu einer allgemeinen Theorie der Handlungsregulation [DÖRNER ET AL. 1994 bzw. 1983] [DÖRNER 1998]. Auch FUNKE (1990) und BREHMER (1992) lieferten später eigene Systematiken zur Beschreibung von dynamischen Systemen. Für die folgende Darstellungen wird der Ansatz von DÖRNER ET AL. (1994) zugrundegelegt, da er den umfassendsten und differenziertesten Ansatz im Hinblick auf die Eigenschaften von komplexen Systemen, Anforderungen und Kompetenzen darstellt. DÖRNER schlägt als charakteristische Merkmale zur Beschreibung von komplexen Systemen folgende Aspekte vor, die im Folgenden genauer erläutert werden [DÖRNER ET AL. 1994] [DÖRNER 1998] [DÖRNER & SCHAUB 1998] [STÄDLER 1998, S. 574]:

- *Komplexität*: die Anzahl der Variablen, die in einem System von Bedeutung sind
- *Dynamik*: Veränderung von Variablen ohne Eingreifen des Problemlösers
- *Intransparenz*: Unzugänglichkeit von Informationen über den Problemzustand
- *Vernetztheit*: Abhängigkeiten und Kausalitäten zwischen Variablen
- *Polytelie*: mehrere Zielformulierungen sind möglich, die sich verändern können
- *Dialektische Barriere*: Unklarheit der Zielkriterien bzw. des Zielzustands

2.2.1. Komplexität

DÖRNER ET AL. (1994, S. 44) unterscheidet im Prinzip zwischen zwei Arten von *Komplexität*. Unabhängig vom Akteur besitzt eine Umwelt *objektive Komplexität*, die sich in erster Linie aus der Anzahl der Variablen des Systems sowie aus der Anzahl ihrer Verknüpfungen ergibt. Weiterhin muss die Anzahl der Problemzustände berücksichtigt werden, die sich aus der Anzahl der möglichen Werte jeder Variable, sowie der Art des Zusammenhangs zwischen den Variablen berechnen. Man beachte hierbei die Überschneidung mit dem Merkmal der *Konnektivität* (siehe unten). An anderer Stelle zählen BREHMER & DÖRNER (1993, S. 173) auch das Vorliegen von mehreren Zielen (Polytelie) zu den Merkmalen der Komplexität. Es muss daher festgehalten werden, dass der Begriff ‚Komplexität‘ durchaus nicht klar von

den anderen Eigenschaften komplexer Systeme abgegrenzt wird. Vielmehr wird sie als „*pars pro toto*“ bzw. charakteristische Eigenschaft für komplexe Systeme als Ganzes verwendet.

Aus der Interaktion Problemlöser und Umwelt ergibt sich desweiteren die *subjektive Komplexität*, welche durch die Informationsverarbeitungs(IV)-geschwindigkeit (bzw. die zur Verfügung stehende Zeit) und die Informationsverarbeitungskapazität des Akteurs bestimmt ist [DÖRNER ET AL. 1994, S. 44]. Nach DÖRNER ET AL. (1994, S. 26) kann man dann von einem komplexen Problem sprechen, wenn ein Akteur in der zur Verfügung stehenden Entscheidungszeit selbst diejenigen Merkmale eines Problems nicht feststellen und verarbeiten kann, die an sich feststellbar sind, da deren Zahl zu groß ist. Die Menge der zu verarbeitenden Informationen überschreitet dabei die zur Verfügung stehende Kapazität bei weitem und verhindert somit eine optimale Lösungsstrategie. Diese Sichtweise, wonach sich Komplexität aus der Interaktion zwischen System und Problemlöser ergibt, wobei die zur Verfügung stehende Menge an Information die Kapazität des Problemlösers übersteigt, liegt auch der vorliegenden Arbeit zugrunde.

Im Gegensatz dazu bezeichnet FUNKE (1988, S. 278) auch Systeme als komplex, die mindestens aus „two mutually exclusive independent variables“, also mindestens zwei voneinander unabhängigen Variablen, bestehen. FUNKE (1988) benutzt dieses Kriterium, um die in der deutschen Problemlösungsforschung verwendeten Simulationen in Kategorien von „weniger als 10 Variablen“, „bis zu 100 Variablen“ und „mehr als 100 Variablen“ zu gliedern. THALMAIER (1979) verwendet z. B. in seiner Simulation *Mondlandung* lediglich drei Variablen, während im Szenario *Tanaland* von DÖRNER (1975) 54 Variablen berücksichtigt werden. Zu den komplexesten Simulationen, die in psychologischen Untersuchungen bisher verwendet wurden, zählt u. a. das System *Lohhausen* von DÖRNER ET AL. (1994). Bei ihr werden über 2000 Variablen verwendet.

2.2.2. Dynamik

Obwohl auch DÖRNER (Eigen)Dynamik als wesentlichen Eigenschaft von komplexen Systemen nennt, legen andere Autoren, wie z. B. FUNKE (1992) oder BREHMER (1992) eine besondere Betonung auf diesen Aspekt. Dementsprechend bezeichnen sie ihr Forschungsgebiet als ‚Entscheidungen in dynamischen Systemen‘, während DÖRNER ET AL. (1994, S. 19) von „Handeln in Komplexität und Unbestimmtheit“ spricht. Da diese Autoren durchaus unterschiedliche Ansätze zur Beschreibung der Dynamik von Systemen verwenden, werden diese unterschiedlichen Perspektiven einzeln dargestellt. Danach werden die für diese Arbeit relevanten Aspekte herausgegriffen.

DÖRNER wendet beispielsweise das Konzept der ‚Autonomie‘ an, um (eigen)dynamische Systeme zu beschreiben. Er unterscheidet dabei zwischen aktiven Elementen, die ihren Zustand auch ohne Einwirkungen von „außen“ verändern können, und passiven Elementen, die ausschließlich durch äußere Einwirkungen bestimmt werden. (*Eigen*)Dynamik ist die Folge davon, dass Variablen selbstständig ihre Werte verändern, ohne dass der Problemlöser aktiv eingreift. Somit ist der Problemlöser selbst nur ein aktives Element in einem komplexen Netzwerk von aktiven und passiven Elementen [DÖRNER ET AL. 1994, S. 20].

FUNKE (1992, S. 13 ff.) konzentriert sich bei seiner Beschreibung von Dynamik auf die Systemeigenschaften. Diese beschreibt er mit regeltheoretischen Begriffen und Formeln, in denen die Zeit eine wichtige Rolle spielt. FUNKE betont als wesentliche Merkmale eines dynamischen Systems, dass zumindest zwei Variablen zu mindestens zwei Zeitpunkten miteinander verknüpft sind. Eingriffe zu einem früheren Zeitpunkt können dabei Auswirkungen auf einen späteren Zeitpunkt haben. Er meint dabei nicht nur Änderungen von Werten über die Zeit hinweg, sondern auch die Veränderung struktureller Aspekte, die sich auf die Zusammenhänge zwischen zwei Variablen, beziehen.

BREHMER wiederum beschreibt dynamische Systeme aus der Sicht des Problemlösers bzw. den Anforderungen, die an ihn gestellt werden. Dabei spielt dessen Handeln unter Zeitdruck in Echtzeit eine herausragende Rolle. BREHMER (1992, S. 214) schlägt demnach als charakteristische Merkmale von dynamischen Systemen vor:

- Das System erfordert eine Reihe von Entscheidungen.
- Die Entscheidungen sind von einander abhängig.
- Der Problemzustand ändert sich sowohl eigendynamisch als auch als Funktion der Handlungen des Entscheidungsträgers.
- Die Entscheidungen müssen in (simulierter) Echtzeit getroffen werden.

BREHMER (1990, S. 268) spricht sich in diesem Zusammenhang gegen die Verwendung von Simulationen ohne Echtzeitaspekte aus.¹ Er begründet dies damit, dass solche Simulationen seiner Meinung nach dem dynamischen Aspekt, z. B. dem Zeitdruck und der prozesshaften Charakteristik des Geschehens, nicht gerecht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird Dynamik als Eigenschaft von Systemen verstanden, die Elemente aufweisen, die sich selbstständig, d. h. ohne Eingreifen des Problemlösers verändern können. Dies kann sich sowohl auf die Änderung von Werten als auch Strukturen beziehen. Das Eingreifen des Problemlösers erfolgt dabei unter Zeitdruck, wobei sich Zustände des Systems bzw. Handlungen zu einem früheren Zeitpunkt auf nachfolgende Zustände auswirken können.

2.2.3. Vernetztheit

Unter *Vernetztheit* bzw. Konnektivität versteht man Abhängigkeiten zwischen Variablen, die man sich netzwerkartig miteinander verbunden vorstellen kann [DÖRNER ET AL. 1994, S. 20, 248 f.].

Die Statistik hat elaborierte Modelle zur Beschreibung solcher Abhängigkeiten entwickelt. Sie können z. B. durch *lineare* Gleichungssysteme bestimmbar sein, es treten aber auch *nicht-lineare* Beziehungen auf. Unter den letzteren werden u. a. *parabolische* Zusammenhänge (u-förmig), *kubische* Zusammenhänge (s-förmig), *logarithmische* und *exponentielle* Verläufe unterschieden. Wenn man dagegen die Anzahl der Merkmale betrachtet, die an diesen Zusammenhängen beteiligt sind, dann liegen nicht nur bivariate Abhängigkeiten

¹BREHMER meint dabei vor allem Systeme, die nach einer Reihe Aktionen anhalten und auf eine Eingabe des Problemlösers warten, bevor die Simulation fortgesetzt wird.

2. Grundkonzepte des Komplexen Problemlösens

sondern auch multivariate Beziehungen vor, an denen mehr als zwei Variablen beteiligt sind. Weiterhin können *deterministische* Beziehungen, z. B. aus A folgt B, von *stochastischen* unterschieden werden, die keine eindeutige Vorhersage eines unbekanntes Werts Y aus einem bekannten Wert X erlauben, sondern nur eine Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Wert liefern [BORTZ 1999, S. 173 ff.]. Um den „wahren“ Zusammenhang zwischen zwei Variablen zu bestimmen, muss man in manchen Fällen auch Variablen untersuchen, die als *Drittvariablen* einen Einfluss auf die beiden anderen ausüben und so möglicherweise eine *Scheinkorrelation* bewirken [BORTZ & DÖRING 1995, S. 473].

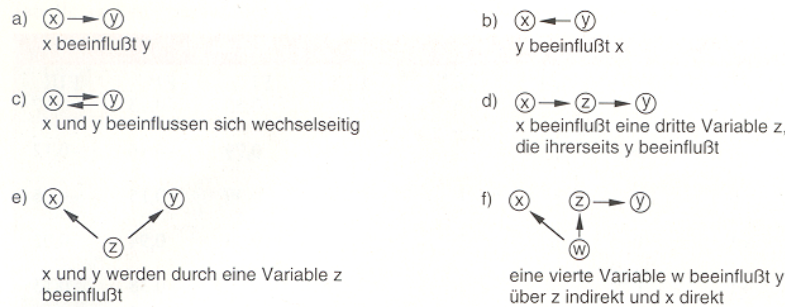


Abbildung 2: Mögliche Kausalmodelle zwischen korrelierten Variablen [aus BORTZ & DÖRING 1995, S. 484]

Kausalbeziehungen, d. h. eine Variable wirkt auf eine andere Variable als Ursache ein, sind allerdings von Abhängigkeiten zu unterscheiden. Während das Fehlen eines korrelativen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen gegen das Vorliegen einer Kausalbeziehung spricht, kann man aus dem Vorhandensein einer Korrelation nicht auf eine entsprechende Kausalbeziehung schließen [BORTZ & DÖRING 1995, S. 483]. In Abbildung 2 sind verschiedene Beispiele über mögliche Kausalbeziehungen wiedergegeben, die durch den Nachweis einer Korrelation zwischen den Variablen x und y bestätigt werden. Wenn z. B. X den ‚Alkoholkonsum‘ und Y die ‚Lebenserwartung‘ darstellt, dann sind folgende Ursache-Wirkungs-Beziehungen denkbar:

- Alkohol reduziert die Lebenserwartung.
- Eine geringe Lebenserwartung verursacht erhöhten Alkoholkonsum.
- Erhöhter Alkoholkonsum macht depressiv. Depressivität wiederum führt zu verstärktem Trinken.
- Alkoholkonsum macht arbeitsunfähig und arm. Armut (Z) führt zu schlechter Ernährung, was die Lebensdauer verkürzt.
- Ein angeborene psychische Labilität (Z) führt zu erhöhter Anfälligkeit für Krankheiten und Alkoholkonsum.
- Stress (W) verursacht Trinken und Rauchen (Z). Lebensverkürzend wirkt nur das Rauchen.

Die Wirkungen von Veränderungen einer Variable können weiterhin zeitverzögert sein und wurden in Form von *feedback delays* vor allem von BREHMER untersucht [vgl. BREHMER 1995].

2.2.4. Intransparenz

Als *Intransparenz* (engl. *opaqueness*) bezeichnet man die Unzugänglichkeit von Informationen über den Zustand eines Problems. Dies kann zum einen direkt den Wert bestimmter Variablen oder Abhängigkeiten zwischen Variablen betreffen, aber auch indirekt den Wahrheitsgehalt oder das Unsicherheitsintervall von verfügbaren Werten. Gründe für dieses Fehlen von Informationen können darin liegen, dass sie grundsätzlich nicht abgerufen werden können z. B. die Ziehungszahl in der Lotterie der nächsten Woche. Es können aber auch die Ressourcen (z. B. Zeit oder Geld) fehlen, um sie sich zu verschaffen [DÖRNER ET AL. 1994, S. 19 f., 32, 51].

2.2.5. Polytelie

Polytelie liegt vor, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt mehrere Ziele verfolgt werden bzw. verfolgt werden müssen. Diese können voneinander unabhängig oder abhängig sein, wobei im Fall der Abhängigkeit sowohl synergistische als auch kontradiktorische Wechselwirkungen auftreten können. Ein Beispiel einer solchen polytelischen Situation ist die Wohnungssuche, bei der viele verschiedene Ziele gleichzeitig verfolgt werden. Es spielen dabei Faktoren wie „Größe“, „Preis“, „Gemütlichkeit“ oder „Lage“ eine Rolle.

Teilziele können dabei gleichzeitig oder auch zeitlich versetzt auftreten bzw. durch Erreichen eines Ziels erst geschaffen werden. Im letzteren Fall kann dies zu unangenehmen Konsequenzen führen, wenn sich herausstellt, dass sich die Teilziele widersprechen und möglicherweise ein Vorgängerzustand wieder hergestellt werden muss. DÖRNER ET AL. (1994, S. 21) führt dazu das Beispiel eines Unternehmers an, der plötzlich erkennt, dass die erreichte Profitabilität seines Unternehmens im Widerspruch zu seinem Ziel steht, die Umwelt zu schützen. Eine Reduktion der Umweltbelastungen würde jedoch wiederum geringeren Profit für sein Unternehmen bedeuten.

2.2.6. Dialektische Barriere

Nach DÖRNER (1976, S. 13 f.) weist die Mehrzahl von Problemen im Alltag eine sogenannte ‚Dialektische Barriere‘ auf. Das bedeutet, dass der Zielzustand oder ein globales Zielkriterium nicht genau bekannt sind. Es liegen höchstens einige ‚Komparativkriterien‘ vor, an Hand derer eine Annäherung oder Entfernung vom Zielzustand beurteilt werden kann. Es kann aber auch vorkommen, dass sogar solche Kriterien fehlen oder erst formuliert werden müssen. Um nun eine solche Barriere zu überwinden, muss ein ‚dialektisches Verfahren‘¹ eingesetzt werden, bei dem ein Entwurf für einen Zielzustand auf Widersprüche überprüft und modifiziert wird. Ein Beispiel für eine solche Dialektische Barriere ist das Einrichten einer Wohnung, welche „schöner“ werden soll als die alte, ohne dass man genau weiß, wie sie später aussehen soll. Dazu müssen erst Zielkriterien festgelegt werden wie ‚Ich möchte gelbe Wände haben.‘, ‚Ich möchte die Wohnung mit meinen geerbten Möbeln einrichten.‘, ‚Ich

¹In der Psychologie versteht man unter dem ‚dialektischen Verfahren‘ eine „unter weit gehendem Verzicht auf vorgefasste Theorien und Methoden sich rein aus dem Pro und Kontra entwickelnde Auseinandersetzung zur Klärung offener Fragen und Probleme“ [DORSCH ET AL. 1994, S. 157].

möchte viel freien Raum haben.‘. Bei genauerer Überlegung kann man nun feststellen, dass die Farbe der Möbel nicht mit der Farbe der Wände harmoniert und außerdem zuviel Platz wegnehmen. Es bestehen nun die Möglichkeiten, auf den freien Raum zu verzichten, sich für eine andere Wandfarbe zu entscheiden, sich neue Möbel anzuschaffen und viele mehr. Die Definition und Gewichtung der Zielkriterien einer ‚schöneren Wohnung‘ bleibt dabei dem Problemlöser überlassen.

Sind die Operatoren unbekannt, die verwendet werden können, um die Ausgangssituation in Richtung eines Zielzustandes zu verändern, d. h. muss ein Inventar dieser Operatoren erst zusammengestellt werden, spricht DÖRNER (1976, S. 12) von einer ‚Synthesebarriere‘. Sind die einzusetzenden Operatoren dagegen bekannt und ist nur unklar, wie diese zu kombinieren sind oder in welcher Reihenfolge sie auszuführen sind, liegt eine ‚Interpolationsbarriere‘ vor.

Auch die anderen Merkmale Komplexer Situationen haben Einfluss auf die Art und Anzahl der vorliegenden Barrieren. Aufgrund der *Polytelie* liegen mehrere Ziele vor, von denen nicht bekannt ist, wie sie gewichtet werden oder ob es noch weitere Ziele zu berücksichtigen gilt. Die *Intransparenz* und *Komplexität* der Situation bewirkt dagegen eine Unsicherheit bzgl. des Ausgangszustands, da er zum Teil unbekannt oder unüberschaubar ist. Im Zusammenhang mit der *Konnektivität* hat dies auch Folgen für die anwendbaren Operatoren, da der Problemlöser nicht weiß, welche „Regler“ er auf welche Weise betätigen muss, um bestimmte Wirkungen hervorzurufen. Eine der Implikationen bzw. Auswirkungen dieser Merkmale eines komplexen Problems ist auch das Fehlen eines *Normativen bzw. Optimalen Modells*, das beschreibt wie ein Problem mit den zur Verfügung stehenden Mittel auf die effektivste Weise gelöst werden kann [BREHMER 1990, S. 264].

2.3. Anforderungen an die Fähigkeiten des Problemlösers

Die Eigenschaften eines komplexen, dynamischen Systems stellen an den Problemlöser bestimmte Anforderungen. Dabei muss er über bestimmte Fähigkeiten verfügen, um diesen gerecht zu werden. Auch dazu stammen die differenziertesten Ausarbeitungen von Dietrich DÖRNER, auf den sich die folgenden Ausführungen hauptsächlich beziehen [DÖRNER ET AL. 1994, S. 37 ff.]. Die Gliederung der folgenden Abschnitte unterscheidet zwischen Anforderungen, die sich aus der Aufgabe der *Zielfindung* („Was?“) und der *Operatorenwahl* („Wie?“) ergeben.

2.3.1. Zielfindung

Im Gegensatz zu den objektiven Merkmalen eines Problems, z. B. der Menge der verfügbaren Informationen oder der anwendbaren Operatoren, stellt die Zielfindung den subjektiven Teil des Problemlösens dar. Hier kann der Akteur selber entscheiden, welche Ziele er verfolgen will und wie er sie gewichtet. In der Interaktion mit den objektiven Merkmalen der Problemsituation ergeben sich verschiedene *Anforderungen* (Teilaufgaben) an den Problemlösenden, welche im Folgenden genauer behandelt werden:

2. Grundkonzepte des Komplexen Problemlösens

- Zielpräzisierung
- Vermehrung strukturellen Wissens
- Zielbalancierung
- Schwerpunktbildung
- Hintergrundkontrolle

Zielpräzisierung DÖRNER geht davon aus, dass offene Ziele, wie „Ich möchte keine finanziellen Sorgen haben.“ wenig nützlich sind, um daraus bestimmte Maßnahmen abzuleiten, da keine genauen Zielvorgaben vorhanden sind. Aus diesem Grund ist es notwendig diese zu schaffen. Die wichtigsten Schritte sind dabei:

1. *Dimensionalisierung*: Zerlegung eines globalen Ziels in einzelne kritische Variablen, die für die Erreichung des Zielzustands von Bedeutung sind.
2. *Valenzierung*: Für diese Variablen müssen auch eindeutige Werte festgelegt werden, d. h. Zielkriterien, anhand derer das Erreichen des Zielzustands bzw. die Entfernung von ihm bestimmt werden kann.

Diese beiden Aspekte erfordern Wissen über den jeweiligen Realitätsausschnitt, um sinnvolle Dimensionen und Werte festlegen zu können, das sich sowohl aus *strukturellem Wissen* und *Datenwissen* zusammensetzt [DÖRNER ET AL. 1994, S. 37].

Strukturelles Wissen Wenn man davon ausgeht, dass ein Problemlöser am Anfang kein bzw. wenig oder ungenaues Wissen über die zu bearbeitende Domäne besitzt, ist die erste Frage, wie oder wodurch sich dieses Wissensdefizit ändert bzw. wie der Wissenserwerb geschieht. Dieser kann auf verschiedene Weise erfolgen, z. B. dem *Sammeln von fehlenden Informationen*. Weiterhin steht aber auch die Methode der *Hypothesenbildung und -testung* zur Verfügung, um weitere Informationen zu erlangen. Für die Hypothesenbildung haben die Verfahren der Analogiebildung und der Verwendung abstrakter Strukturschemata besondere Bedeutung. Eine *Analogiebildung* liegt z. B. vor, wenn man ein Wirtschaftssystem (Güter- und Geldfluss) mit einem Wasserkreislauf (Wasserfluss) vergleicht und hieraus seine Schlüsse zieht. Durch *Abstrakte Strukturschemata* können z. B. allgemeine Beziehungen auf einen konkreten Inhaltsbereich angewendet werden. Beispielsweise könnte man den Zusammenhang zwischen Einkommen und Lebensstandard durch eine ‚positive Rückkopplung‘ beschreiben. Für die erfolgreiche Anwendung dieser Prinzipien zur Generierung von nützlichem Wissen muss zusätzlich noch ein geeigneter *Auflösungsgrad* (bzw. *Diskriminanzgrad*) gewählt werden, mit dem ein System bzw. seine Subsysteme betrachtet werden. Dadurch kann sowohl eine Überforderung als auch ein Mangel an Informationen vermieden werden [DÖRNER ET AL. 1994, S. 39 ff.].

Zielbalancierung Wenn zugleich mehrere Ziele vorliegen, sind diese oft nicht unabhängig voneinander. Sie stehen meist schon aus Gründen der beschränkten Ressourcen (z. B. Zeit, Geld) in einem abhängig-kontradiktorischen Verhältnis. Dadurch wird es notwendig, die

Ziele einzeln zu gewichten bzw. ihre Prioritäten festzulegen. Das geschieht meist in der Form eines Kompromisses [DÖRNER ET AL. 1994, S. 43 ff.].

Schwerpunktbildung und Hintergrundkontrolle Wie schon in Abschnitt 2.2.1 dargelegt wurde, führt Komplexität zu einer Überforderung der Informationsverarbeitung des Problemlösers. Durch eine Unterscheidung zwischen wichtigen und unwichtigen Bereichen bzw. Informationen des Systems kann jedoch die Menge an Information, die es zu bewältigen gilt, reduziert werden. Daraus ergibt sich die Anforderung an den Problemlöser eine *Schwerpunktbildung* vorzunehmen. Dabei entscheidet der Akteur bewusst darüber, welche Informationen er für seine Entscheidungen berücksichtigen will und welche nicht. Aufgrund der Dynamik des Systems kann sich jedoch die Wichtigkeit der Bereiche eines Systems wieder verändern. Daher hat der Akteur auch die Aufgabe, (im Augenblick) unwichtige Teile des Systems zumindest weiter zu beobachten und ihre Bedeutung für die Lösung der Aufgabe zu beurteilen. Dies wird als *Hintergrundkontrolle* bezeichnet.

Kriterien, die zur Unterscheidung zwischen relevanten und irrelevanten Informationen verwendet werden können, sind zum einen die *Wichtigkeit* und zum anderen die *Dringlichkeit* der verfolgten Ziele. Auf der Ebene einzelner Variablen betrachtet ist für die Wichtigkeit von Zielen, z. B. einen bestimmten Variablenwert herzustellen, vor allem die Stärke des Einflusses dieser Variable auf die kritischen Zielvariablen ausschlaggebend. Die Dringlichkeit eines Ziels hängt wiederum von der Geschwindigkeit und Beschleunigung ab, mit der sich der Wert einer Variablen abhängig von der Zeit von ihrem Sollwert entfernt [DÖRNER ET AL. 1994, S. 44 ff.].

2.3.2. Handlungsentscheidung und -planung

Ausgehend von der Auswahl seiner Ziele ist es auch Aufgabe eines Akteurs, diese Ziele durch Entscheidungen und Handlungen umzusetzen. Zuerst einmal ist wichtig, den *aktuellen Zustand* herauszufinden, da darauf das weitere Vorgehen aufbaut. Aus der teilweisen Intransparenz des Systems folgt, dass geeignete Indikatoren gefunden und interpretiert werden müssen, auf deren Basis eine ausreichend genaue Aussage über den Systemzustand getroffen werden kann. Dieser sichtbare Teil des Systems wird als der *Ausgangsrand* des Systems bezeichnet. Der *Eingangsrand* beschreibt dagegen diejenigen Variablen, die vom Akteur beeinflusst werden können. Durch Auswahl geeigneter Variablen aus dem Eingangsrand wird die *Eingriffsqualität* festgelegt, während die Indikatoren eine wichtige Rolle für die *Dosierung* der Eingriffe spielen. Desweiteren hat die Eigendynamik eines Szenarios einen wichtigen Einfluss auf die zu treffenden Maßnahmen, da diese Veränderungen in einer *Trendanalyse* danach beurteilt werden müssen, ob sie im Einklang mit den eigenen Zielen stehen, d. h. *erwünschte* oder *unerwünschte Transformationen* darstellen. Aus der Vernetztheit der Variablen erwächst schließlich noch die Notwendigkeit der Abschätzung der Handlungsfolgen auf Nebenschauplätzen oder in der Zukunft, was als *Analyse der Neben- und Fernwirkungen* bezeichnet wird [DÖRNER ET AL. 1994, S. 48 ff.].

Die Bedeutung des Planens und der Vorhersage von Effekten des eigenen Handelns wird insbesondere auch von HOFFMANN (1993, S. 39 ff.) im Rahmen der ‚Theorie der Anti-

zipativen Verhaltensteuerung‘ thematisiert. HOFFMANN postuliert in dieser Theorie einen Mechanismus, der lernt unter *welchen* Bedingungen *welche* Reaktionen zu *welchen* Konsequenzen führen. Besondere Bedeutung hat dabei die Antizipation, d. h. die Erwartung von Konsequenzen, da Abweichungen der eingetretenen Verhaltensfolgen von den Erwartungen zu einer Modifikation der erlernten Beziehungen zwischen Ausgangsbedingungen, Reaktion und Konsequenzen führen muss, um weiterhin zielgerichtetes Handeln des Individuums zu ermöglichen. Derartige Überlegung spielen auch in komplexen Systemen eine wichtige Rolle, da zum einen Verhaltens-Konsequenz-Beziehungen in einer unbekanntem Umwelt erst gelernt werden und aufgrund der Komplexität, Dynamik und Konnektivität des Systems diese Beziehungen ständig weiter differenziert und modifiziert werden müssen.

2.4. Forschungsansätze des Komplexen Problemlösens

Nachdem bereits eine Einführung in das Gebiet ‚Komplexes Problemlösen‘ erfolgt ist und es von anderen Bereichen der Problemlöseforschung abgegrenzt wurde, sollen in diesem Abschnitt verschiedene Richtungen innerhalb des Komplexen Problemlösens deutlich gemacht werden. Dadurch soll das Verständnis und die Orientierung innerhalb des Forschungsgebiets erleichtert werden.

2.4.1. Einzelfall-Studien und der Ansatz individueller Unterschiede

Einzelfalluntersuchungen (engl. *case studies*) dienen in erster Linie zur Phänomensammlung und Generierung von Hypothesen und Theorien über das Verhalten von Personen bei Komplexität und Unbestimmtheit. Dazu wird das Verhalten von einzelnen Versuchspersonen intensiv z. B. auf typische bzw. untypische Verhaltensweisen hin analysiert, wobei letztere häufig von besonderem Interesse sind [BREHMER & DÖRNER 1993, S. 179 f.]. Bei diesem Ansatz spielt daher eine detaillierte Protokollierung relevanter Daten eine wichtige Rolle z. B. durch Erfassung einzelner Maßnahmen in der Simulation oder genauer Verhaltensbeobachtung mit Video- oder Tonbandaufzeichnungen.

Beim *Ansatz der individuellen Unterschiede* (engl. *individual differences approach*) liegt eine besondere Betonung auf der Erfassung der Unterschiede zwischen Problemlösern z. B. hinsichtlich der erbrachten Leistungen, eingesetzter Strategien oder bestimmter Persönlichkeitsmerkmale.

Der Ansatz der individuellen Unterschiede verfolgt drei Ziele:

- Erfassung interindividueller Unterschiede
- Vorhersage von Leistungen der Vpn
- Informationen über die Anforderung der Aufgabe zu erhalten

Es werden meist einer großen Stichprobe Tests und Fragebögen zur Bearbeitung vorgelegt. Die Vpn müssen sich dann in einem simulierten Szenario bewähren. Bei der Auswertung werden die Testergebnisse bzw. Eigenschaften von besonders guten Vpn mit besonders schlechten Vpn verglichen. Unterschiede zwischen diesen Gruppen geben Hinweise auf relevante Anforderungen bzw. Fähigkeiten beim konkreten Lösen des gegebenen Problems.

Unterscheiden sich z. B. gute Problemlöser von schlechten Problemlöser in ihrem räumlichen Vorstellungsvermögen, kann man daraus schließen, dass die Aufgabe starke räumliche Anforderungen stellt. Dieser Ansatz hat besonders in Deutschland große Verbreitung gefunden [BREHMER 1992, S. 222 ff.].

2.4.2. Systemanalytisches Experiment und Realistische Simulation

Unter den Forschern im Bereich Komplexes Problemlösen sind auch zwei Gruppen auszumachen, von denen die eine besonderen Wert auf eine streng experimentelle Forschung legt. Dabei werden Systemeigenschaften unter kontrollierten Bedingungen variiert, um genaue Aussagen über Zusammenhänge zwischen Systemeigenschaften, Problemlöseverhalten und Problemlösungsgüte treffen zu können. Autoren, wie FUNKE, HUSSY oder THALMAIER wenden diese Vorgehensweise bevorzugt an [FUNKE 1992, S. 57]. Die andere Gruppe legt dagegen eine stärkere Betonung auf realitätsnahe, komplexe Simulationen. Problemlöseverhalten und damit verbundene Phänomene sollen unter möglichst realistischen Bedingungen untersucht werden, ohne auf die Möglichkeiten zur Beobachtung und Analyse zu verzichten, die Computersimulationen bieten. Mitglieder der Arbeitsgruppe um DÖRNER wenden u. a. diesen Ansatz an [vgl. DÖRNER ET AL. 1994].

Die Haltung der systemanalytischen Experimentatoren, die auch auf ähnliche Argumente wie Vertreter des Einfachen Problemlösens zurückgreifen, wird durch das folgende Zitat von KLUWE & REIMANN (1983) zum Ausdruck gebracht:

With the construction of our system we are less interested in pursuing the aim of simulating reality, rather we want to develop systems, which can be fitted to many experimental inquiries [...] We think it is convenient first of all to check special inquiries on reduced systems. [KLUWE & REIMANN 1983, S. 6; zit. nach FUNKE 1988, S. 295]

Hier wird die Betonung auf die Entwicklung von „reduzierten“ Systemen gelegt, die für verschiedene experimentelle Fragestellungen eingesetzt werden können. Durch eine Beschränkung der Systeme auf wenige überschaubare Variablen und Zusammenhänge und sorgfältiges, planvolles Experimentieren soll die Interpretation der Ergebnisse begünstigt werden [FUNKE 1988, S. 293]. Dies führt dazu, dass die verwendeten Simulationen eher abstrakter Natur sind, wie z. B. das System *SIM002* von KLUWE & REIMANN (1983) .

BREHMER & DÖRNER (1993, S. 176) betonen dagegen die „ökologische Validität“ der Simulationen und versuchen einen Brückenschlag zwischen Laboruntersuchungen und der Feldforschung. Dabei spielt der semantische Inhalt der Simulation, die hier eine reale Domäne abbildet, eine wichtige Rolle. Der semantische Inhalt provoziert dabei geradezu, dass Versuchspersonen auch ihr Vorwissen über den modellierten Realitätsausschnitt anwenden, um die verschiedenen Variablen oder Zusammenhänge des Modells in ihrer Bedeutung zu gewichten. Weiterhin wird durch diesen Aspekt auch der Einfluss von Wertsystemen auf das Verhalten der Probanden untersuchbar, wenn z. B. die Problemlöseleistung bei der Eindämmung einer (harmlosen) Grippeepidemie mit der einer (gefährlichen) Pockenepidemie verglichen wird [vgl. HESSE, SPIES & LÜER 1983].

2.4.3. Modellierung von menschlichem und rationalem Denken

Die *Kognitive Psychologie* verfolgt in erster Linie das Ziel, menschliche Informationsverarbeitungsprozesse zu erforschen. Die empirische Untersuchung der kognitiven Leistungen des Menschen in Form von kontrollierten Experimenten bis hin zu Feldstudien stellt dabei die wichtigste Methode zur Hypothesenbildung als auch zur Hypothesenprüfung dar. Theorien werden meist in natürlichsprachlicher Form aufgestellt und sollen menschliches Denken beschreiben und erklären [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 18].

Die Informatik, speziell der Teilbereich *Künstliche Intelligenz*, ist dagegen weniger an psychischen Phänomenen des Menschen interessiert, sondern vielmehr an der Erstellung intelligenter Systeme, die dem ‚Rationalitätsprinzip‘ unterliegen [STRUBE ET AL. 2000, S. 19,59] [GÖRZ ET AL. 2000, S. 7]. Ein wichtiges Merkmal von intelligentem bzw. rationalem Verhalten ist dabei herauszufinden, was „die beste Weise zu handeln ist, bevor tatsächlich gehandelt wird“ und sich dementsprechend zu verhalten [GÖRZ ET AL. 2000, S. 1]. Die verwendeten Methoden basieren dabei auf Informationsverarbeitung durch Berechnungsverfahren, die auf Computern realisiert werden, d. h. exakt sind. Wichtige (Ziel)Merkmale dieser Berechnungsverfahren sind auf der einen Seite die mathematisch-algorithmische Vorgehensweise als auch ihre *Effizienz*, z. B. hohe Geschwindigkeit und/oder geringer Speicherbedarf [HUSSY 1993, S. 22 ff.]. Obwohl beiden Ansätzen eine andere Zielsetzung zugrunde liegt, ergeben sich jedoch in der Praxis große Überschneidungsbereiche, so dass SCHAEFER (1985, S. 238) sogar von „zwei Seiten einer Medaille“ spricht. Gründe hierfür sind auf Seiten der Künstlichen Intelligenz, dass aufgrund eines Mangels an Alternativen der Mensch als Vorlage für kognitive bzw. rationale Leistungen nützlich ist [STRUBE ET AL. 2000, S. 19]. Auf Seiten der Kognitiven Psychologie hingegen besteht ein Bedarf, psychologische Theorien auf ihre Konsistenz und Validität hin zu überprüfen, wozu wiederum Methoden zur Formalisierung notwendig sind. Neben den meist statischen Verfahren der Mathematik, liefern die prozessorientierten Verfahren der Informatik die notwendigen Grundlagen, um über die natürliche Sprache hinaus Theorien und Modelle exakt zu spezifizieren und zu simulieren [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 18]. Durch die Formalisierung und Simulation wird nicht nur ein vertieftes Verständnis bestehender Theorien erreicht, sondern trägt auch dazu bei, neue psychologische Theorien aufzustellen [vgl. HUSSY 1993, S. 164].

3. Kognitive Modellierung

Im Folgenden soll anhand repräsentativer Theorien und Modelle ein Einblick in die *Kognitive Modellierung* gegeben werden. Dieses Teilgebiet im Schnittbereich von Kognitiver Psychologie und Künstlicher Intelligenz beschäftigt sich mit der Beschreibung von Strukturen und Prozessen menschlichen Denkens mit formalen Methoden. Die Bereiche Wissensrepräsentation und Problemlösen werden an Hand einiger Beispiele vorgestellt.

3.1. Repräsentation von Wissen

Die Kognitive Psychologie, speziell die Gedächtnispsychologie, hat sich von Anfang an mit der Repräsentation von kognitiven Inhalten beschäftigt [vgl. EBBINGHAUS 1885]. Auch heu-

te noch stellt die Untersuchung und Beschreibung der mentalen Modelle, die Personen bei der Lösung dynamischer Probleme verwenden, nach Meinung mancher Forscher die wichtigste Aufgabe der Kognitiven Psychologie dar [BREHMER & ALLARD 1987, S. 275]. Sie bildet dabei die Grundlage für alle übrigen Bereiche [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 27]. Gleichwohl bemerkt FUNKE (1992, S. 18), dass für den Bereich der dynamischen Systeme die Frage der gedächtnismäßigen Repräsentation noch weitgehend ungeklärt ist. Im Folgenden werden daher nach einer kurzen Diskussion der Begriffe ‚Wissen‘ und ‚Wissensrepräsentation‘ typische Modelle zur Repräsentation von Wissen vorgestellt.

3.1.1. Die Begriffe ‚Wissen‘ und ‚Wissensrepräsentation‘

Im Folgenden wird der Begriff ‚Wissen‘ erläutert und Möglichkeiten zur Unterscheidung von verschiedenen Arten von Wissen vorgestellt. Anschließend wird auf den Begriff ‚Repräsentation‘ und seine Anwendung auf die Repräsentation von Wissen eingegangen.

Wissen OPWIS (1992, S. 50) beschreibt Wissen als „die Gesamtheit [...] der subjektiven Überzeugungen, individuellen Erfahrungen und kognitiven Fertigkeiten“ einer Person oder eines Systems. Er stimmt daher mit der Bedeutung des englischen Begriffs *knowledge* überein, der nicht nur Aussagen über die Welt, sondern auch Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten des Menschen umfasst [PUPPE ET AL. 2000, S. 599]. Während OPWIS Wissen als „subjektiv“ auffasst, verstehen PUPPE ET AL. (2000, S. 599) Wissen als objektive „begründete und wahre Aussagen über die Welt oder andere Inhalte“. Sie schließen dabei u. a. Fertigkeiten und Fähigkeiten aus ihrer Definition von Wissen aus, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass sie diese Definition auf den speziellen Bereich des *knowledge engineering* in der Informatik anwenden.

Weiterhin werden in der Fachliteratur auch verschiedene Arten von Wissen unterschieden, wobei eine geläufige Klassifikation in der folgenden Gliederung besteht [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 29] [STÄDLER 1998, S. 182]:

- *Deklaratives Wissen*: Wissen über Fakten („Wissen, was“)
 - *Semantisches Wissen*: Wissen über Begriffe z. B. „Usbekistan liegt in Asien.“
 - *Episodisches Wissen*: Wissen über individuelle Erfahrungen z. B. „Ich habe den Film ‚Gefährliche Banditen‘ letzten Freitag im Kino gesehen.“
- *Prozedurales Wissen*: Handlungswissen und heuristisches Wissen („Wissen, wie“) z. B. „Um Kaffee zu machen, muss ich erst Wasser heiß machen.“ oder „Wenn ein Problem nicht auf abstrakte Weise lösbar ist, dann versuche ich erst ein konkretes Beispiel zu bearbeiten.“

Da ihm Rahmen dieser Arbeit nicht informatische, sondern psychologische Fragestellungen im Vordergrund stehen, wird ‚Wissen‘ im Sinne von OPWIS (1992) verstanden, d. h. es werden auch kognitive Fertigkeiten (prozedurales Wissen) in den Begriff aufgenommen. Wichtig ist jedoch dabei zu unterscheiden, welcher Teil des Wissens von einer Person subjektiv für wahr gehalten wird oder objektiv richtig den Zustand der Realität beschreibt.

Wissensrepräsentation Wenn man versucht das Wissen einer Person zu erfassen und zu beschreiben, steht man vor der Frage, ob dieses Wissen grundsätzlich auf ein (nicht-lebendes) Modell übertragen bzw. abgebildet werden kann. FUNKE (1992, S. 19) trifft als Antwort auf diese Frage eine klare Unterscheidung zwischen ‚Wissen‘ und ‚Wissensrepräsentation‘: Wissen ist nur bei Lebewesen vorhanden und wird in der „Sprache des Gehirns“ dargestellt. Dagegen liegt bei künstlichen Medien (z. B. einem Computer) im besten Fall eine Wissensrepräsentation vor, die in formalisierter Weise, z. B. in einer Programmiersprache, abgelegt ist. Das bedeutet, dass Wissensrepräsentation nicht gleichbedeutend mit Wissen ist.

OWSNICKI-KLEWE, v. LUCK & NEBEL (2000) liefern eine genauere Abgrenzung des Begriffs ‚Wissensrepräsentation‘:

Der Begriff der *Wissensrepräsentation* [...] wird [...] dazu benutzt, den Entwurf und die Implementation von Formalismen zu beschreiben, die Modellierung eines Teils der Realität, der Domäne, zu bezeichnen, aber auch, um Vorüberlegungen zu einem dieser beiden Teilprobleme zu umschreiben.

[OWSNICKI-KLEWE, v. LUCK & NEBEL 2000, S. 153]

Für OWSNICKI-KLEWE ET AL. (2000) bedeutet Wissensrepräsentation (unter anderem), einen Teil der Realität bzw. der Domäne zu modellieren. Diesen Punkt kann man aber durchaus kritisch betrachten. Dazu sollen Überlegungen von FUNKE (1992) zum Begriff ‚Repräsentation‘ wiedergegeben werden. Für FUNKE (1992, S. 19) ist *Repräsentation* ein „Modell der Realität“, das bestimmte Aspekte der Außenwelt in strukturierter Weise abbildet, wobei aber auch die *Innenwelt* des Akteurs bzw. der Akteur selber kann darin repräsentiert sein. Bei strenger Interpretation von Wissensrepräsentation – im Sinne von ‚Repräsentation von Wissen‘ – ergibt sich daher eine abweichende Bedeutung im Vergleich zu der von OWSNICKI-KLEWE ET AL. (2000). Nicht „die Modellierung eines Teils der Realität, der Domäne“ [vgl.OWSNICKI-KLEWE ET AL. 2000], sondern die Repräsentation der „Innenwelt“ bzw. des „Wissens“ einer Person in strukturierter Weise sollte das Ziel sein. Diese „Innenwelt“ kann durchaus von der „Außenwelt“ abweichen, was von grundlegender Bedeutung für das entwickelte Modell sein kann. In dieser psychologisch motivierten Arbeit wird daher unter ‚Wissensrepräsentation‘ vor allem die Repräsentation der Innenwelt einer Person verstanden.

Dass OWSNICKI-KLEWE ET AL. (2000) jedoch einen guten Ansatz zur Wissensrepräsentation einer Person verfolgen, wird deutlich, wenn man eine Aussage von FUNKE betrachtet. Er empfiehlt als Grundlage für die Erstellung einer Repräsentation der kognitiven Strukturen und Prozesse bei Komplexem Problemlösen, zuerst das zugrunde liegende dynamische, komplexe System zu verstehen. Dies kann z. B. durch eine mehr oder minder präzise mathematisch-formale Beschreibung erfolgen (z. B. Strukturgleichungsmodelle) [FUNKE 1992, S. 23]. Auf diese Weise könnte man eine objektive Repräsentation erstellen bzw. ein *Normatives Modell* (vgl. S. 5), mit dem man die subjektive Repräsentation einer Person vergleichen oder vielleicht sogar daraus ableiten könnte. Dies würde den Weg für weiterführende diagnostische Untersuchungen eröffnen [FUNKE 1992, S. 24].

Aus dem Zitat von OWSNICKI-KLEWE ET AL. (2000) wird desweiteren die besondere

Bedeutung der Formalisierung deutlich, um Modelle zur Wissensrepräsentation zu erstellen. Unter Formalisierung von Wissen versteht man die Beschreibung von Wissen durch eine formale Sprache. Eine formale Sprache weist dabei eine spezielle, normierte Syntax auf, mit der formale Aussagen konstruiert werden können. Wesentliche Aspekte der Formalisierung sind die semantische Normierung und die Kontextbeseitigung. D. h. die Bedeutung von verschiedenen Aussagen, die in der formalen Sprache erstellt sind, muss rekonstruiert und verglichen werden können unabhängig von deren Kontext [PUPPE ET AL. 2000, S. 601]. Gängige Methoden der Formalisierung sind z. B. Semantische Netze und Schemata [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 30 f.]. Diese werden in den Abschnitten 3.1.2 und 3.1.3 vorgestellt.

Die formulierten Modelle zur Repräsentation von Wissen, i. e. Repräsentationssysteme, lassen sich verschiedenen Grundformen zuordnen. Üblicherweise wird dazu die folgende Klassifikation von RUMELHART & NORMAN (1988, zit. nach FUNKE 1992, S. 18) verwendet:

1. *Propositionalbasiertes System*: In diesem wird Wissen durch atomare Aussagen, d. h. diskrete Symbole oder Propositionen, repräsentiert, so dass Konzepte der Realität durch formale Aussagen dargestellt werden.
2. *Analoges Repräsentationssystem*: Hier ist der Zusammenhang zwischen repräsentierter und repräsentierender Welt so direkt wie möglich.
3. *Prozedurales Repräsentationssystem*: Wissen wird durch aktive Prozesse oder Prozeduren abgebildet, welche durch ein Handlungssystem direkt interpretierbar sind.
4. *Verteiltes Repräsentationssystem*: Wissen wird nicht an einem konkreten Ort im Speicher repräsentiert, sondern ist stattdessen über eine große Menge von repräsentierenden Einheiten verteilt. Dabei stellt jede Einheit einen Teil der Gesamtmenge an Wissen dar.

Obwohl diese Grundformen nützlich sind zur Strukturierung von Modellen der Wissensrepräsentation, kann die Mehrzahl der Modelle nicht eindeutig einer Kategorie zugeordnet werden. Dies trifft auch auf die in dieser Arbeit beschriebenen Modelle wie die ‚Semantischen Netze‘ (vgl. Abschnitt 3.1.2), ‚Schemata‘ (vgl. Abschnitt 3.1.3) oder Produktionssysteme (vgl. Abschnitt 3.2) zu. Diese werden auch als *hybride Repräsentationssysteme* bezeichnet, da sie Bestandteile aus verschiedenen Kategorien beinhalten [OPWIS 1992, S. 52].

3.1.2. Die Theorie der Semantischen Netze von Collins & Quillian (1969)

Die von COLLINS & QUILLIAN (1969) vorgestellte *Theorie der Semantischen Netzen* geht davon aus, dass Wissen in Form von Konzepthierarchien organisiert ist. Diese basieren auf der elementaren Beziehung zwischen „Begriff – Oberbegriff“. Durch eine Verknüpfung der Begriffe gelangt man zu *Graphen* (netzartigen Strukturen). Begriffe werden innerhalb des Graphen als *Knoten* bezeichnet, die Relationen dagegen als *Kanten*. Es gibt zweierlei Arten von Kanten. Kanten, die eine Teilmengen-Beziehung zwischen Begriffen angeben, werden als *isa-Kanten* bezeichnet (dt. „ist ein“) während Kanten, die einem Begriff Eigenschaften zuweisen, mit *hasprop* benannt sind (dt. „hat die Eigenschaft“). In Abbildung 3 ist ein Beispiel für ein solches Semantisches Netz wiedergegeben.

3. Kognitive Modellierung

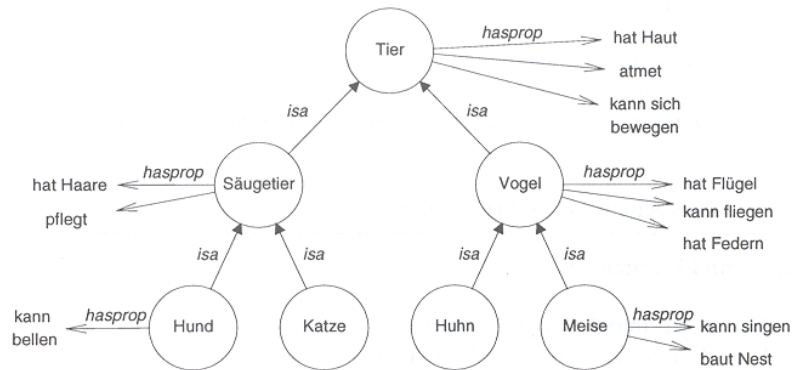


Abbildung 3: Beispiel für ein hierarchisches Semantisches Netz [aus SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 36]

Diese Theorie wurde auch verwendet, um die Organisation deklarativen bzw. begrifflichen Wissens im menschlichen Gedächtnis zu beschreiben. COLLINS & QUILLIAN (1969) konnten eine experimentelle Bestätigung ihrer Annahmen in zwei Experimenten erbringen. Sie wiesen nach, dass die Reaktionszeiten von Vpn bei der Verifikation von Aussagen wie z. B. „Ein Kanarienvogel ist ein Vogel.“ bzw. „Ein Kanarienvogel ist ein Tier.“ anstiegen je länger der „Weg“ zwischen Konzept und Oberkonzept im Semantischen Netz war.

RIPS, SHOBEIN & SMITH (1973) zeigten jedoch, dass auch kürzere Wege im Semantischen Netz mit längeren Reaktionszeiten verbunden sein können und zwangen so COLLINS & LOFTUS (1975) zu einer Erweiterung ihres Konzepts. Dies bestand u. a. darin, dass sie unterschiedliche Arten von Kanten und ein anderes Verarbeitungsmodell annahmen [vgl. STRUBE ET AL. 2000, S. 42].

Die Ansätze von COLLINS, LOFTUS & QUILLIAN sind auch heute noch von Bedeutung. Sie lieferten die Grundlage für viele andere Theorien innerhalb der Psychologie und Künstlichen Intelligenz, auch wenn sie sich letztlich nicht als haltbar bzw. aussagekräftig erwiesen [STRUBE ET AL. 2000, S. 42].

3.1.3. Das ‚Schema‘-Konzept nach Minsky (1975)

Der *Schema-Ansatz* geht davon aus, dass neues Wissen in Bezug auf bereits im Gedächtnis vorhandenes Wissen verarbeitet wird. Er wurde erstmals von BARTLETT (1932) angewendet und von MINSKY (1975) weiter verfeinert [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 40 ff.]. Ein ‚Schema‘ (engl. *frame*) bezeichnet eine intern strukturierte Darstellung eines Konzepts oder einer Situation. Die interne Struktur wird durch *Eigenschaften* vorgegeben, die als *Leerstellen* (engl. *slots*) mit bestimmten Werten (z. B. Transportmittel) oder Wertebereichen (z. B. Gehütete Kühe) belegt werden können. Werte-Belegungen können als *Standardannahmen* (engl. *defaults*) die prototypischen Eigenschaften von Konzepten repräsentieren. In Tabelle 1 ist als Beispiel der Begriff ‚Cowboy‘ als Schema dargestellt.

Schemata können ähnlich wie Semantische Netze auch in *hierarchischen Strukturen* organisiert sein. So kann das übergeordnete Schema ‚Cowboy‘ mit den Unter-Schemata ‚Nord-amerikanischer Cowboy‘ und ‚Südamerikanischer Cowboy‘ (i. e. *Gaucha*) verknüpft sein,

3. Kognitive Modellierung

SCHEMA ‚Cowboy‘	
<i>Geschlecht</i>	sehr männlich
<i>Kleidung</i>	Hut, Weste, Stiefel
<i>Arbeitswerkzeug</i>	Lasso
<i>Transportmittel</i>	Pferd
<i>Gehütete Kühe</i>	0 ... 5000

Tabelle 1: Beispiel für das Schema ‚Cowboy‘

wobei auch Eigenschaften vererbt werden oder von den Eigenschaften des untergeordneten Schemas überschrieben werden können.

Darüberhinaus können Konzepte entworfen werden, die *slots* ohne Wertebelegung aufweisen und durch *Instantiierung* mit konkreten Werten belegt werden. ‚Leere‘ Schemata können eine wichtige Rolle bei der strukturierten Integration neuer Information ins Gedächtnis spielen. Tabelle 2 zeigt ein Beispiel für das Schema ‚Reise‘, deren Eigenschaften z. B. mit den Werten ‚Pferd‘ als Transportmittel und ‚morgen‘ als Datum der Reise belegt werden könnten.

SCHEMA ‚Reise‘	
<i>Transportmittel</i>	
<i>Start</i>	
<i>Ziel</i>	
<i>Datum</i>	

Tabelle 2: Beispiel für das Schema ‚Reise‘ ohne Wertebelegung

3.2. Modelle des Problemlösens

Nachdem auf Modelle zur Repräsentation von deklarativem Wissen eingegangen wurde (vgl. Abschnitte 3.1.2 und 3.1.3), steht in diesem Teil die Modellierung von prozeduralem Wissen im Vordergrund. Zuerst wird der Begriff ‚Strategie‘ erläutert, da Strategien bei der zusammenfassenden Beschreibung von Problemlöseprozessen eine zentrale Rolle spielen. Danach wird der Informationsverarbeitungsansatz behandelt, da er die Grundlage für die Modelle des Problemlösens darstellt, die im Anschluss daran vorgestellt werden.

3.2.1. Der Begriff ‚Strategie‘

Wie BREHMER & DÖRNER (1993, S. 178 f.) hervorheben, macht es wenig Sinn, komplexe Problemlöseprozesse auf Grundlage einzelner Entscheidungen zu modellieren. Die Verallgemeinerbarkeit einzelner Entscheidungen ist durch die speziellen Bedingungen, die in einer Situation auf der Seite des Problemlösers als auch des Systems vorliegen, sehr gering. Stattdessen empfehlen sie die *Strategien* einer Person zu untersuchen. Dadurch wird ihr Verhalten nicht mehr auf der Ebene einzelner Aktionen betrachtet, sondern auf einer abstrakteren und allgemeingültigeren Ebene charakterisiert. Häufig wird neben oder an Stelle des Begriffs ‚Strategie‘ auch ‚Taktik‘ verwendet, ohne dass Unterschiede zwischen beiden Begriffen erkennbar sind, obwohl welche vorliegen. Aus diesem Grunde wird die Bedeutung

3. Kognitive Modellierung

des Begriffs ‚Strategie‘ zuerst anhand der Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Begriff ‚Taktik‘ erläutert. Anschließend werden Strategien aus der Sicht der Künstlichen Intelligenz und der Psychologie beschrieben.

Strategie vs. Taktik

Der folgende Auszug soll sowohl einen Eindruck hinsichtlich der Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der beiden Begriffe vermitteln, als auch der grundlegenden Unterschiede:

strategy [means] a plan, method, or series of maneuvers [...] for obtaining a specific goal or result.	tactic [means] a plan, procedure, or expedient for promoting a desired end or result.
---	--

In military usage, a distinction is made between STRATEGY and TACTICS. STRATEGY is the utilization, during both peace and war, of all nation's forces, through large-scale, long-range planning and development, to ensure security or victory. TACTICS deals with the use and deployment of troops in actual combat.

[FLEXNER & AL. 1996, S. 1880, 1934]

Strategie und Taktik haben nach dieser Definition gemeinsam, dass sie eine Art Plan oder Methode darstellen, mit der ein bestimmtes Ziel erreicht werden kann. Ihre Verwendung im militärischen Kontext zeigt jedoch, dass Strategie eine wesentlich umfassendere Bedeutung besitzt als Taktik, sowohl was den zeitlichen Aspekt bei der Planung als das Ausmaß der eingesetzten Mittel betrifft.

Dies wird noch klarer, wenn man Strategie und Taktik an Hand weiterer Dimensionen vergleicht. Tabelle 3 zeigt, dass ‚Strategie‘ und ‚Taktik‘ zwar auf den gleichen Dimensionen beschrieben werden können, aber auf den einzelnen Dimensionen deutliche Unterschiede vorliegen [vgl. auch BÜTTNER 1999, S. 45 ff.].

DIMENSION	STRATEGIE	TAKTIK
<i>Ziel</i>	übergeordnet	untergeordnet
<i>zeitlich</i>	langfristig	kurzfristig
<i>räumlich</i>	global	lokal
<i>Auflösung</i>	makroskopisch	mikroskopisch
<i>Unbestimmtheit</i>	hoch	niedrig

Tabelle 3: Unterschiede zwischen Strategie und Taktik

Strategien aus der Sicht der Künstlichen Intelligenz

Bei der Modellierung des Problemlösens kann man zwischen *Problemlösungsprozessen im engeren Sinne (PeS)* und *im weiteren Sinne (PwS)* unterscheiden. Bei *PwS* ist meist ein Verfahren, ein *Algorithmus*, bekannt, mit dem ein Ausgangszustand in einen Zielzustand überführt werden kann. Derartige Bedingungen werden von europäischen Autoren nicht als ‚Problem‘, sondern als ‚Aufgabe‘ bezeichnet.¹ Im Gegensatz dazu muss bei *PeS* ein solcher Algorithmus erst noch gefunden werden. Als Lösungsalgorithmen für „einfache“ Probleme können häufig vollständige oder uninformierte Suchverfahren eingesetzt werden. Diese werden auf Problemräume angewendet, welche man in vielen Fällen in Form von Bäumen oder

¹In der nordamerikanischen Forschung werden auch ‚Probleme‘ als *tasks* (i. e. Aufgaben) bezeichnet.

Graphen darstellen kann. Bei „komplexen“ Problemen erweisen sich solche Suchverfahren jedoch oft als nicht mehr berechenbar oder ineffizient, so dass *Heuristiken* verwendet werden müssen, die nicht mehr alle möglichen Wege ausprobieren, sondern sich bei der Auswahl von Lösungswegen an bestimmten erfolgversprechenden Kriterien orientieren. Als ‚Strategien‘ werden dabei Verfahren bezeichnet, die die Suche nach Lösungswegen lenken [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 135 ff., 149 ff., 159 ff.]).

Strategien aus der Sicht der Psychologie

Die Verwendung des Begriffs ‚Strategie‘ in der psychologischen Literatur stimmt zum großen Teil mit der Sichtweise der bisherigen Definitionen überein, was Planung, methodisches Vorgehen und Zielorientierung betrifft. So heben PUTZ-OSTERLOH & SCHROIFF (1987, S. 211) als zentrale Merkmale zur Beschreibung von Strategien die Informationssammlung (Fragen, Hypothesen), die Absichtsbehandlung (Analysen, Ziele, Planungen) und die Entscheidung (Art und Ausmaß von Veränderungen) hervor.

Weitere charakteristische Aspekte von Strategien betreffen die ihre Abstraktheit und ihre (relative) Einfachheit. So werden aus den einzelnen Maßnahmen bzw. Aktionen einer Vpn Strategien abgeleitet bzw. abstrahiert. Dabei wird versucht die Komplexität der Vielzahl von einzelnen Aktionen und situationalen Bedingungen zu reduzieren und die Vorgehensweise einer Person mit wenigen aussagekräftigen Merkmalen zu charakterisieren. Die Vp wendet ‚Abstraktion‘ und ‚Komplexitätsreduktion‘ bei der Entwicklung einer Strategie im Umgang mit einem komplexen Szenario selbst an. Aber auch der Untersucher greift zu diesem Mittel, wenn er das Verhalten oder die Aussagen eines Probanden analysiert. Im letzteren Fall kommt eine interpretative Komponente hinzu, da die kognitiven Prozesse und Modelle des Problemlösers als solche nicht beobachtet werden können [BREHMER & DÖRNER 1993, S. 179] [DÖRNER 1989, S. 137 ff.] [BÜTTNER 1999, S. 32].

Unter Strategien wird in der Psychologie häufig die Anwendung von Regeln verstanden, d. h. dass beim Eintreten bestimmter Bedingungen bestimmte Aktionen ausgeführt werden. HUSSY (1989, S. 25) bezeichnet beispielsweise Informationsverarbeitungsstrategien als ein „regelmäßiges, weitgehend bedingungsunabhängiges [...] Vorgehen zur Erarbeitung und Durchführung eines Lösungsplanes“. Auch DÖRNER (1989, S. 139 ff.) betrachtet Regeln als Basis zur Beschreibung von Problemlösestrategien. Für ihn haben Regeln jedoch nur lokale Bedeutung. D. h. (gute) Strategien zeichnen sich dadurch aus, dass Regeln immer abhängig von der Gesamtkonstellation der Bedingungen eingesetzt werden. Er warnt dabei ausdrücklich vor der Anwendung „allgemeiner“ Regeln, die „dekonditionalisiert“, d. h. ohne Berücksichtigung der Gesamtsituation, eingesetzt werden [vgl. auch DÖRNER & PFEIFER 1992, S. 75].

Bei der Diskussion von Strategien in der Kognitiven Psychologie ist es hilfreich, zwei Ebenen zu unterscheiden, auf denen der Begriff verwendet wird. Auf der einen Ebene wird Bezug auf die *allgemeine Informationsverarbeitung* genommen, auf der anderen Ebene das *Verhalten in einer bestimmten Domäne* charakterisiert.

Strategien im Sinne von allgemeinen Merkmalen der Informationsverarbeitung beim Problemlösen sind zwar nicht unabhängig von der Domäne, in der sie eingesetzt werden,

3. Kognitive Modellierung

sind aber zumindest domänenübergreifend anwendbar. Beispiele hierfür sind die im Rahmen von Problemlösungsmodellen beschriebenen Strategien wie z. B. die vorwärtsgerichtete und rückwärtsgerichtete Suchstrategie, die im Rahmen der Expertiseforschung häufig zitiert werden. Die Mittel-Ziel-Analyse im *General-Problem-Solver* von NEWELL, SHAW & SIMON (1960) vereinigt verschiedene solcher Strategien zu einem domänenunabhängigen Gesamtkonzept, um zu einem allgemeinen Modell menschlicher Problemlöseprozesse zu gelangen. Auch die *Feedforward*- und die *Feedback*-Strategie nach BREHMER (1992) sind zu diesen Ansätzen zu zählen (vgl. Abschnitte 3.2.3 bis 3.2.6).

Im Unterschied zu allgemeinen Informationsverarbeitungsstrategien sind *Strategien*, die *allgemeine Merkmale des Verhaltens abhängig von der jeweiligen Aufgabe bezeichnen*, von den Eigenschaften der Domäne und den Zielen des Problemlösers abhängig. Am Beispiel eines Waldbrandszenarios könnte eine solche Strategie z. B. darin bestehen, nur die Feuer zu löschen, die in der Nähe der Häuser brennen. Bei der Simulation eines Entwicklungslands z. B. wäre eine mögliche Strategie zu versuchen, die Wirtschaft durch Förderung des Tourismus „anzukurbeln“. Derartige Strategien sind allerdings nicht ohne weiteres auf andere Realitätsbereiche übertragbar, obwohl es Analogien zwischen den Domänen geben kann. Zusätzlich hängen sie oft noch von Unterschieden zwischen verschiedenen Simulationen der gleichen Domäne ab. Auf derartige Strategien wird in dieser Arbeit deshalb nicht eingegangen. Eine Ausnahme bilden Strategien, die in Waldbrandszenarios eingesetzt werden können (vgl. Abschnitt 5.3).

Nach BÜTTNER (1999, S. 51 ff.) können Strategien auch auf der *inhaltlichen* und der *strukturellen Ebenen* betrachtet werden. Er greift dabei auf die Unterscheidung zwischen *inhaltlicher* und *struktureller Strategie* von TEASDALE (1998, zit. nach BÜTTNER 1999, S. 51) zurück. Auf der *inhaltlichen Ebene* wird die thematische Ausrichtung des Handelns einer Person, i. e. deren Eingriffe und Maßnahmen, zusammengefasst und beschrieben. Beispielsweise stellt in einem Waldbrandszenario die Bekämpfung von kleinen Feuern eine andere inhaltliche Strategie dar als die Bekämpfung von großen Bränden. Im Gegensatz dazu bezieht sich die *strukturelle Ebene* auf den Ablauf des gesamten Handelns einer Person und versucht die Art und Weise des Handelns durch Eigenschaften zu beschreiben. Als Beispiel für strukturelle Unterschiede von Strategien beschreibt BÜTTNER (1999, S. 51) Probanden, die in einem Waldbrandszenario eine „Übersichtsstrategie“ anwandten, d. h. die Situation nur grob betrachteten und taktische Fehler begingen. Andere Versuchspersonen setzten dagegen eine „Detailstrategie“ ein, die mit einer guten Taktik einherging, aber auch mit mangelnder Übersicht.

Zum Abschluss der Diskussion zum Begriff ‚Strategie‘ wird festgehalten, dass im Rahmen dieser Arbeit Strategie als ein langfristiger und umfassender Plan oder Methode zur Erreichung eines bestimmten Ziels verstanden wird. Strategien können sich sowohl auf die allgemeine Informationsverarbeitung als auch auf eine spezifische Domäne beziehen. Der domänenspezifische Aspekt steht dabei in dieser Arbeit im Vordergrund. Strategie unterscheidet sich von Taktik durch ihre umfassendere Bedeutung.

3.2.2. Der Informationsverarbeitungsansatz

Der Informationsverarbeitungs(IV-)ansatz bildet die Grundlage für die meisten kognitionspsychologischen Theorien und auch für die Modelle des Problemlösens, die den Abschnitten 3.2.3 und folgende beschrieben werden. Seine Grundannahmen sollen aus diesem Grunde an dieser Stelle dargelegt werden.

Der IV-Ansatz geht davon aus, dass das menschliche Bewusstsein durch ein Informationsverarbeitungsmodell beschreibbar ist, wofür der Computer die zugrunde liegende Metapher liefert [STÄDLER 1998, S. 479]. Es werden die folgenden Stufen der Informationsverarbeitung unterschieden:

1. Informationsaufnahme
2. Informationsspeicherung
3. Informationsabruf

Wichtige Konzepte in diesem Bereich sind z. B. ‚Arbeitsspeicher‘, ‚parallele vs. serielle Verarbeitung‘ oder der ‚zentrale Prozessor‘, die an Hardware-Analogien angelehnt sind.

Besondere Bedeutung in Bezug auf die Struktur des Gedächtnisses hat das *Multi-Speicher-Modell* von ATKINSON & SHIFFRIN (1968) erlangt, die *sensorischen Speicher*, *Kurzzeitgedächtnis (KZG)* und *Langzeitgedächtnis (LZG)* voneinander unterscheiden (vgl. Abbildung 4). Eingehende Informationen (Stimuli) werden auf verschiedenen Stufen verarbeitet, wobei sie nur Bruchteile von Sekunden im sensorischen (sinnesspezifischen) Speicher behalten werden. Aus diesem Speicher wird ein Teil der Informationen in das Kurzzeitgedächtnis übernommen. Dabei werden auch physikalische Erregungsmuster in symbolische Informationen umkodiert, die nun Verarbeitungsprozessen zur Verfügung stehen. Wichtig ist hierbei, dass die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses beschränkt ist und IV-Prozesse nur auf diesem aktiven Teil der Informationen operieren. Informationen strömen nicht nur aus dem sensorischen Speicher in das KZG ein, sondern können auch aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden. Wenn hingegen Informationen aus dem KZG in das LZG übernommen werden, spricht man von *Lernen*. Wissen, das auf diese Art erworben wird, wird in strukturierter Art und Weise repräsentiert und kann wiederum die Auswahl und Kategorisierung der eingehenden Reize beeinflussen [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 19 f.].

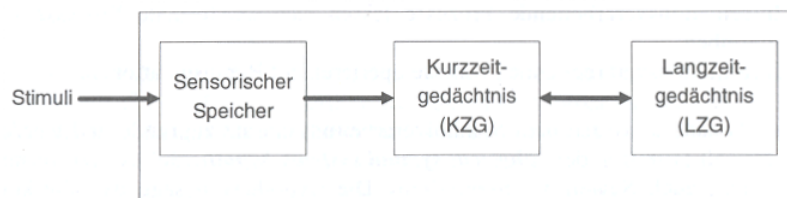


Abbildung 4: Das Multi-Speicher-Modell von ATKINSON & SHIFFRIN (1968) [aus SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 19]

Im Hinblick auf Informationsverarbeitungsprozesse stellt der *Symbolverarbeitungsansatz* von NEWELL & SIMON (1976) eines der zentralen Konzepte dar. Sie gehen davon aus,

dass kognitive Prozesse Transformationen von Symbolstrukturen darstellen, welche aus elementaren bedeutungstragenden Einheiten (Symbolen) aufgebaut sind, die Aspekte der Welt repräsentieren. Die Symbole müssen dabei in irgendeiner materiellen Form codiert sein, z. B. durch elektrische Muster in Computerspeichern oder in Neuronenverbänden. Die *physical symbol systems hypothesis* von NEWELL & SIMON besagt, dass ein derartiges symbolverarbeitendes System unabhängig vom zugrunde liegenden materiellen Substrat eine notwendige Voraussetzung für intelligentes Verhalten ist [STRUBE ET AL. 2000, S. 57].

Bei der Anwendung des Informationsverarbeitungsansatzes auf menschliches Problemlösen spielen Strategien der Informationsverarbeitung eine wichtige Rolle. In Begriffen des IV-Ansatzes definiert HUSSY (1993, S. 115) „Strategien“ folgendermaßen:

Strategien des Problemlösens – als Verfahren zur Erarbeitung und Durchführung eines Lösungsplans – dienen der Bewältigung eines Überangebots an Informationen, die für die Lösung des Problems von Relevanz sind. Der Begriff des Überangebots definiert sich an der Verarbeitungskapazität der mittelfristigen Speichermedien. Übersteigt der Umfang der problemrelevanten Informationen diese Kapazität, liegt ein Überangebot vor. Dessen Bewältigung erfolgt durch eine angemessene, zielbezogene Zwischenzielbildung [...]. Im Sinn der gegebenen Aufmerksamkeitsdefinitionen steuert und kontrolliert der ZP [Zentrale Prozessor] gemäß der gewählten bzw. erarbeiteten Strategie die Art und das Ausmaß der verfügbaren Verarbeitungskapazität der mittelfristigen Speichermedien, also die schrittweise und kapazitätsangemessene Abarbeitung der Zwischenziele bis zur Zielerreichung.
[HUSSY 1993, S. 115 f.]

Festzuhalten bleibt, dass beim IV-Ansatz die Speicherung und Verarbeitung von Informationen zentrale Rollen spielen. Dementsprechend sollten auch Modelle, die auf diesem Ansatz aufbauen, insbesondere unter diesen Aspekten betrachtet werden.

3.2.3. Der General-Problem-Solver (GPS) von Newell (1960)

NEWELL, SHAW & SIMON (1960) betrachten generelle Suchstrategien als die zentrale Komponente menschlicher Expertise. Sie implementierten solche Suchstrategien in Form des Programmes *General Problem Solver*. Entsprechend den Forschungsansätzen der 50er Jahre wurden diese Strategien aus Untersuchungen zu menschlichem Problemlösen gewonnen. Dazu führte man eine eingehende, objektive Problemanalyse durch, aus welcher die für erfolgreiches logisches Problemlösen notwendigen (allgemeingültigen) Prozesse abgeleitet wurden [GRUBER & MANDL 1996, S. 588 f.].

Aufgrund dieser Forschungen schlugen NEWELL, SHAW & SIMON (1960) die *Mittel-Ziel-Analyse* (engl. *means-end-analysis*, *MEA*) als allgemeines Beschreibungsmodell für menschliches Problemlösen vor. Die Strategie der *means-end-analysis* ist durch die Integration von verschiedenen heuristischen Strategien¹ gekennzeichnet. Allgemein versucht die *Mittel-Ziel-Analyse* einen Weg von einem Anfangs- zu einem Zielzustand zu finden. Sie geht dabei von einem Anfangszustand aus und versucht den nächsten (Zwischen)zielzustand herzustellen. Die Auswahl eines entsprechenden Operators zur Herstellung dieses

¹Die *means-end-analysis* wird in VANLEHN (1993) bzw. GRUBER & MANDL (1996) unterschiedlich dargestellt, was die Bedeutung von vorwärtsgerichteter bzw. rückwärtsgerichteter Suche betrifft.

3. Kognitive Modellierung

Zielzustands erfolgt mit *Vorwärtsgerichteter Suche* (engl. *forward chaining*). Wird jedoch festgestellt, dass für die Erreichung des nächsten Zustands eine Bedingung nicht erfüllt ist, wird die Herstellung der fehlenden Bedingung das nächste Zwischenziel. Dies ist kennzeichnend für die *zielorientierte Suche* bzw. für das *operator subgoalings*, da die Suche von einem Zielzustand ausgeht, der hergestellt werden soll. Zur Herstellung dieses Zwischenziels wird die rückwärtsgerichtete Suche (engl. *backward chaining*) eingesetzt, wobei von einem Zielzustand ausgehend andere Zustände gesucht werden, von denen aus der angestrebte Zwischenzielzustand erreicht werden kann. Durch eine rekursive Konstruktion von Zwischenzielen mit wiederholter Durchführung der genannten Suchstrategien, wird versucht einen vollständigen Pfad vom Anfangs- zum Zielzustand herzustellen.

Um konkrete Probleme zu lösen, muss jedoch die Mittel-Ziel-Analyse zusätzlich problemspezifisch angepasst werden [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 182]. Die problemspezifischen Erweiterungen dieser Suchstrategie sind in einer *Differenz-Operator-Tabelle* enthalten, die zu jedem Unterschied, den ein aktueller Zustand zum Zielzustand aufweisen kann, denjenigen Operator zurückliefert, der den Unterschied am stärksten reduziert [VANLEHN 1993, S. 538] [GRUBER & MANDL 1996, S. 588] [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 182].

Die Mittel-Ziel-Analyse basiert dabei auf Regeln, die auch als Produktionen bezeichnet werden. Unter Produktionen versteht man Regeln, die nach dem Schema „WENN Bedingung, DANN Aktion.“ aufgebaut sind. Sie sind in einem Langzeitspeicher enthalten. Die Konditionen (Bedingungen) der Regeln werden beim Problemlösen mit dem aktuellen Inhalt des Arbeitsspeichers verglichen. Aus der Menge der Regeln, die angewendet werden können, wird mit Hilfe einer Konfliktauflösungsstrategie eine (beste) Regel ausgewählt und angewendet. Die ausgelösten Aktionen können nun wiederum den Inhalt des Arbeitsspeichers verändern [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 174] [OPWIS 1992, S. 73 f.]. Die Interaktion des Systems mit der Umwelt erfolgt auch über den Arbeitsspeicher. Neue Informationen aus der Umwelt werden darin enkodiert (Wahrnehmung). Die enthaltenen Informationen können auf der anderen Seite wiederum Aktionen auslösen (Verhalten) [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 189].

Aus diesen Prozessen ergeben sich auch die Strukturen, aus denen der *GPS* aufgebaut ist [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 175]:

- ein Arbeitsspeicher, der deklaratives Wissen enthält (z. B. in Form von aktuellen Zielen oder Daten über den aktuellen Problemzustand)
- ein Langzeitspeicher, der prozedurales Wissen enthält (in Form von Produktionsregeln)
- ein Regelinterpretier, der die Auswertung, Auswahl und Ausführung der Regeln übernimmt.

Die Entwicklung des Programmes *General Problem Solver* von NEWELL, SHAW & SIMON (1960) bildete den Ausgangspunkt für alle weiteren sogenannten „Kognitiven Architekturen“, die die Strukturen und auch die Prozesse menschlicher Kognition zu beschreiben versuchen. Darunter sind noch weitere Systeme zu finden, die wie der *GPS* auf der Anwendung von Produktionsregeln basieren, weswegen sie als Produktionssysteme bezeichnet

werden, und einen ähnlichen Aufbau besitzen. Zu diesen zählen auch die kognitiven Architekturen *SOAR* von LAIRD, NEWELL & ROSENBLOOM (1987) und *ACT** von ANDERSON (1983), die in den Abschnitten 3.2.4 und 3.2.5 dargestellt werden.

3.2.4. SOAR von Laird, Newell & Rosenbloom (1987)

SOAR stellt eine Weiterentwicklung des *General Problem Solvers (GPS)* von NEWELL, SHAW & SIMON (1960) durch LAIRD, NEWELL & ROSENBLOOM (1987) dar. Wie der *GPS* besteht auch *SOAR* aus einem Langzeitspeicher, in dem eine Menge von Produktionsregeln enthalten ist, sowie einem Arbeitsspeicher, der den aktuellen Problemzustand und offene Teilziele beinhaltet. Es bestehen jedoch einige Unterschiede gegen über dem *General Problem Solver*:

- Es stehen verschiedene Suchstrategien zur Verfügung.
- Es gibt verschiedene Problemräume mit spezifischen Operatoren.
- Regeln werden parallel ausgewertet.
- Das System ist lernfähig.

Als *Suchstrategien* stehen in *SOAR* nicht nur die Mittel-Ziel-Analyse (vgl. Abschnitt 3.2.3) zur Verfügung, sondern auch andere „informierte Suchstrategien“¹. Als *informierte Suchstrategien* werden Strategien bezeichnet, denen eine Bewertungsfunktion zur (heuristischen) Beurteilung der nachfolgenden Problemzustände zugrunde liegt mit der über die Auswahl des nächsten Operators entschieden wird. Zu diesen Verfahren, deren Prinzip hier nicht genauer erläutert werden soll, zählen z. B. *hill climbing*, das die Kosten des restlichen Weges zum Ziel berücksichtigt, oder *branch-and-bound*-Verfahren (z. B. A^*), die die vollständigen Wegekosten berücksichtigen, d. h. den bisher zurückgelegten Weg und den restlichen Weg [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 159 ff.,186].

Diese Suchstrategien können auf verschiedene Probleme bzw. Problemräume angewendet werden. Ein Beispiel für einen solchen Problemraum stellt die ‚Klötzchenwelt‘ dar. Hier sollen verschiedene Klötzchen, die im Ausgangszustand in einer bestimmten Anordnung aufeinander gestapelt sind, so umgeordnet werden, dass sie einem bestimmten Zielzustand mit einer anderen Anordnung entsprechen. Aktionen, durch die Klötzchen verschoben werden, stellen die Operatoren in diesem Problemraum dar. Dabei müssen bestimmte Rahmenbedingungen berücksichtigt werden, z. B. dass Klötzchen, die sich unter einem anderen befinden, nicht bewegt werden können.

Das zentrale Konzept beim Problemlösen in *SOAR* ist der Problemraum. Es werden dabei mehrere Problemräume verwendet, die verschiedene Teile des Gesamtproblems darstellen. Im obersten Problemraum, z. B. der ‚Blockwelt‘, stehen verschiedene Operatoren zur Verfügung, deren Einsatz abhängig von den aktuellen Bedingungen, in Regeln beschrieben ist. Sind nun auf einen Problemzustand mehrere Regeln gleichzeitig bzw. parallel anwendbar, von denen die beste Regel nicht bekannt ist, ergibt sich daraus ein *tie impasse*

¹Uninformierte Suchstrategien sind für die Bearbeitung komplexer Probleme ungeeignet [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 159]

(i. e. „Sackgasse“). Der Grund dafür ist, dass im *obersten Problemraum* nur Problemlöse-Operatoren zur Verfügung stehen und keine Operatoren zur Bewertung der Regeln. Dies führt zur Öffnung eines *Auswahlproblemraums*, in dem Bewertungs-Operatoren anwendbar sind. Um die Regeln bewerten zu können, müssen sie aber zuerst angewendet werden, um den jeweiligen resultierenden Folgezustand zu erhalten und beurteilen zu können. Diese neue Sackgasse (*no-change impasse*) führt zu einem *Auswertungsproblemraum*, der ein Probehandeln erlaubt. Die so erhaltenen Folgezustände können nun im Auswahlproblemraum mit einem *preference value* bewertet werden, und die Regel bzw. die zugehörige Aktion mit der besten Bewertung wird auf das eigentliche Problem angewendet. Durch Zusammenfassung (*chunking*) aller Regeln, die zur Überwindung einer „Sackgasse“ angewendet wurden, zu einer neuen Regel kann auch neues Wissen erlernt werden [SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 186 ff.].

3.2.5. Die ACT*-Theorie von Anderson (1983)

Eine Alternative zu den bisher berichteten Produktionssystemen bilden die verschiedenen Formen der *ACT*-Architektur¹, deren Aufbau anhand der bekanntesten Variante *ACT** von ANDERSON (1983, zit. nach SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 188 ff.) vorgestellt werden soll.² Anders als der *GPS* oder *SOAR* unterscheidet die *ACT**-Theorie von ANDERSON drei verschiedene Speicherarten (vgl. auch Abbildung 5):

- Arbeitsspeicher
- Deklarativer Speicher
- Prozeduraler Speicher

Zu beachten ist, dass der Arbeitsspeicher denjenigen Teil des deklarativen Speichers darstellt, der gerade aktiviert ist. Deklaratives Wissen ist dabei in Form eines semantischen Netzes mit Aktivierungsausbreitung strukturiert repräsentiert. Das bedeutet, dass aktuelle Informationen hohe Aktivitätswerte aufweisen. Die Aktivität wird über die Kanten des Semantischen Netzes weitergeleitet. Je mehr Verbindungen durchlaufen werden, desto schwächer wird auch die weitergeleitete Aktivität. Es können Informationen aus dem deklarativen Speicher abgerufen werden (vgl. *retrieval*). Neues Wissen, das aus den vorhandenen Informationen inferiert wird, kann aber auch dauerhaft gespeichert werden (vgl. *storage*).

Demgegenüber besteht Prozedurales Wissen aus Produktionsregeln. Neben der Lernfähigkeit für deklaratives Wissen, verfügt *ACT** auch über einen Lernprozess für prozedurales Wissen (engl. *application*). Während ein Problem zu Beginn mit allgemeinen Regeln bearbeitet wird, werden mit zunehmender Erfahrung neue und spezifischere Regeln aufgebaut, was auch als ‚Prozess des Fähigkeitserwerbs‘ bezeichnet wird (engl. *skill acquisition*).

Gründe für diese Unterscheidung liefern empirische Befunde der Psychologie, die z. B. Dissoziationen zwischen diesen Arten des Wissens feststellen. ANDERSON führt jedoch auch

¹Die Abkürzung steht bei der *ACT*- und *ACT**-Theorie für „Adaptive Control of Thought“. *ACT** wird wie die englischen Wörter *act star* ausgesprochen.

²Die ursprüngliche Form *ACT* wurde Anfang der 70er Jahre entwickelt. Eine Weiterentwicklung von *ACT** stellt das System *ACT-R* von ANDERSON (1993) dar.

3. Kognitive Modellierung

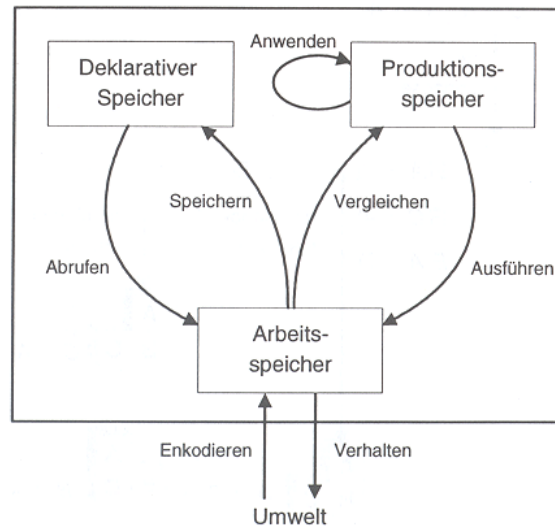


Abbildung 5: Die Architektur von ACT* nach ANDERSON (1983) [aus SCHMID & KINDSMÜLLER 1996, S. 188]

in theoretischen Überlegungen an, dass die Effizienz und Flexibilität kognitiver Prozesse durch diese Unterscheidung besser abgebildet werden kann. Während deklaratives Wissen meist hoch strukturiert ist und neue Daten einfach integriert werden können, besteht prozedurales Wissen meist aus hochautomatisierten Fertigkeiten, die durch Erfahrung (langsam) erworben werden.

Der Aktionsauswahl liegt eine Auswertung der Regeln im Produktionsspeicher zugrunde. In einem Vergleichsprozess (engl. *matching*) werden die Vorbedingungen der Regeln mit den Daten im Arbeitsspeicher verglichen. Jede Regel besitzt einen Stärkewert, der durch erfolgreiche Anwendung erhöht bzw. immer weiter erniedrigt wird, während eine Regel nicht verwendet wird. Bei Konflikten zwischen mehreren anwendbaren Regeln wird diejenige mit dem höchsten Stärkewert ausgewählt und angewendet. Ähnlich wie bei *SOAR* oder dem *GPS* wendet *ACT** bei der Suche nach Regeln eine zielgesteuerte Suchstrategie an. Regeln erfordern demnach das Vorhandensein eines bestimmten (Teil)Zieles und einer bestimmten Ausgangssituation, auf die sie anwendbar sind. Das Ausführen (engl. *execution*) einer Regel kann dabei sowohl zur Anwendung von Operatoren auf die Daten führen als auch zur Generierung neuer Teilziele.

3.2.6. Die Kontroll-Theorie nach Brehmer (1992)

BREHMER (1992) charakterisiert die zentrale Aufgabe eines Problemlösers unter komplexen, dynamischen Bedingungen folgendermaßen:

Indeed, we may define the task facing the decision maker in dynamic decision making as the problem of finding a way to use one process to control another process.
[BREHMER 1992, S. 211 ff.]

Diese Aussage beruht auf der *Kontroll-Theorie*, in der das menschliche Subjekt als ein sich selbst regulierendes System in einer komplexen, dynamischen Umwelt aufgefasst wird. Der

3. Kognitive Modellierung

Problemlöser versucht durch seine Entscheidungen in einem System Kontrolle zu erlangen. Kontrolle wird dabei in der Herstellung oder Beibehaltung eines erwünschten Zielzustandes gesehen [BREHMER & DÖRNER 1993, S. 179]. An der Terminologie, z. B. Kontrolle, Prozesse oder Regulation, ist erkennbar, dass BREHMER in seiner Theorie auf Konzepte der Kybernetik zurückgreift. BREHMER & DÖRNER (1993, S. 177) nennen einige Voraussetzungen, die vorliegen müssen, damit ein Akteur Kontrolle über ein System erlangen kann [vgl. auch BREHMER 1992, S. 217].

- Es müssen ein oder mehrere Ziele vorliegen.
- Es muss Möglichkeiten geben, in das System einzugreifen.
- Es muss Möglichkeiten geben, den Zustand des System einzusehen.
- Es muss ein Modell des System vorliegen, auf dessen Grundlage Wirkungen von Handlungen vorhergesagt werden können und so die Auswahl geeigneter Aktionen ermöglicht.

Aufgrund dieser Überlegungen wird eine besondere Betonung auf die Bestimmung des mentalen Modells des Problemlösers gelegt [BREHMER 1990, S. 265]. BREHMER (1992, S. 218) unterscheidet desweiteren zwischen Feedforward-Strategie und Feedback-Strategie. Diese stellen grundlegende Vorgehensweisen beim Problemlösen dar. Bei der *Feedback-Strategie* benutzt der Akteur nur die Informationen über den aktuellen Zustand des Systems, um Entscheidungen zu treffen. Sie kann sinnvoll eingesetzt werden, wenn keine bedeutsamen Feedbackverzögerungen (engl. *feedback delays*) vorliegen und keine Änderungen des Systems auftreten, so dass ein stabiles Modell des Systems aufgebaut werden kann. Bei der *Feedforward-Strategie* dagegen wird ein Modell zur Vorhersage eines zukünftigen Zustands des Systems verwendet, um geeignete Handlungen (i. e. *control inputs*) auszuwählen, wozu allerdings die Stabilität des Systems erforderlich ist. So können Verzögerungen im Feedback kompensiert werden.

BREHMER (1992, S. 230) weist darauf hin, dass für die anzuwendende Strategie, die Beziehung zwischen kontrollierendem und kontrolliertem Prozess ausschlaggebend ist. Er betont weiterhin, dass diese Strategien auf unterschiedlichen Modellen beruhen, und deshalb zur Erfassung der Modelle von Problemlösern zuerst deren Strategie bestimmt werden muss. Ähnliche Strategien, wie die eben erwähnten, werden als *look ahead strategy* bzw. *look-up table strategy* auch von BROADBENT, FITZGERALD & BROADBENT (1986, S. 49) diskutiert.

3.2.7. Die PSI-Theorie von Dörner (1998)

Mitarbeiter der Arbeitsgruppe um Dietrich DÖRNER (Universität Bamberg) arbeiten schon seit einigen Jahren an einer Theorie zur Integration der Bereiche Kognition, Emotion und Motivation, deren erste Ansätze von DÖRNER bereits im Jahr 1974 vorgestellt wurden [SCHAUB 1998, S. 284]. Aktuelle Darstellungen der PSI-Theorie finden sich z. B. in DÖRNER (1998), DÖRNER & SCHAUB (1998) und DÖRNER, SCHAUB & STROHSCHNEIDER (1999), die auch die Grundlage für die folgenden Ausführungen bilden. Neben dem Anspruch

3. Kognitive Modellierung

einer Integration der genannten Bereiche ist auch hervorzuheben, dass *PSI* ein vollständig formalisiertes Modell von psychischen Prozesse und Strukturen liefern möchte, welches als Computerprogramm simuliert werden kann.¹

Die *PSI*-Theorie versucht allgemein, Handeln in komplexen Situationen zu erklären. Die Theorie baut wie die anderen berichteten Theorien auf dem Informationsverarbeitungsansatz auf, ist aber im Unterschied zu diesen Theorien konsequent subsymbolisch. Die zugrunde liegenden Strukturen sind neuronale Netze. Alle Prozesse sind als Aktivierungen, Inhibierungen oder Verknüpfungen von Neuronen beschrieben.

Die *PSI*-Theorie geht davon aus, dass problemlösendes Handeln stattfindet, um Ziele zu erreichen, die direkt oder indirekt der Befriedigung von Bedürfnissen dienen. Ein *Bedürfnis* wird als die „Meldung, dass eine Variable von ihrem Sollwert abweicht“ verstanden [DÖRNER & SCHAUB 1998, S. 10]. Die Differenz zwischen Ist- und Sollwert bildet den Bedarf, der ein *Bedürfnis* auslöst. Ein Bedürfnis in Verbindung mit einem *Ziel*, i. e. eine Gelegenheit zur Befriedigung dieses Bedürfnisses, wird zu einem *Motiv*, welches Handlungen in Gang setzen und aufrechterhalten kann. Ein Motiv bildet zusammen mit anderen Informationen, wie z. B. anwendbaren Operatoren und Plänen ein „Bündel von zusammenhängenden Informationen“, das als *Absicht* bezeichnet wird [DÖRNER & SCHAUB 1998, S. 10]. Absichten stellen in der *PSI*-Theorie die zentrale Strukturen dar, die sich abhängig von aktuellen Bedürfnissen verändern können. Maßgeblich für die aktuelle und handlungsleitende Absicht sind die Komponenten *Kompetenz* und *Wichtigkeit*, die nach einem Erwartungs×Wert-Modell, die Stärke einer Absicht (*Motivstärke*) bestimmen. Die Kompetenz beeinflusst dabei die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Erfolg zu erwarten ist, i. e. die Erwartung. Die Wichtigkeit ist dagegen für den Wert der Bedürfnisbefriedigung ausschlaggebend. Die Absicht mit der höchsten Motivstärke wird handlungsleitend, wobei sich aufgrund von Veränderung der Situation die Motivstärken ständig ändern können und ein „Kampf“ um die Handlungsleitung zwischen verschiedenen Absichten stattfindet [DÖRNER ET AL. 1999, S. 202].

Die bisher genannten anthropomorphen Begriffe und Vorgänge können aus der Perspektive des Informationsverarbeitungsansatzes als Datenstrukturen und Prozesse aufgefasst werden. In der *PSI*-Theorie werden als Datenstrukturen ein sensorisches und ein motorisches „Gedächtnis“ bzw. Speicher unterschieden, die mit Bedarfsindikatoren verbunden sind. Das *sensorische Gedächtnis* enthält Wissen über Sachverhalte, Situationen und Gegenstände, während das *motorische Gedächtnis* sowohl die Beschreibung einfacher motorischer Abläufe als auch komplexer Handlungen speichert. Man beachte in diesem Zusammenhang die Ähnlichkeit zu deklarativem und prozeduralem Speicher in der Gedächtnisforschung oder kognitiven Architekturen. Die Struktur der Motive kann auf dieser Ebene als Verknüpfung von Bedarfsindikatoren mit bestimmten erstrebenswerten sensorischen Schemata beschrieben werden [DÖRNER ET AL. 1999, S. 202].

Es können insgesamt vier Gruppen von Prozessen unterschieden werden, die mit diesen Datenstrukturen arbeiten, deren Interaktion in Abbildung 6 veranschaulicht ist. Die Ab-

¹Die aktuelle Version des Programms *Psi* ist unter der Adresse <http://www.uni-bamberg.de/~ba2dp1/psi.html> frei erhältlich.

4. Delegation

sichtsentstehung wird von der Prozessgruppe *GenInt* (von *generate intention*) übernommen. Wenn Bedarfsindikatoren einen aktuellen oder zu erwartenden Mangelzustand melden, verknüpft *GenInt* diese mit Zielen und zielführenden Verhaltensweisen, wodurch eine neue Absicht entsteht. Aus den aktuellen Absichten wird durch die Gruppe *SelectInt* (von *select intention*) diejenige Absicht ausgewählt, die als nächstes das Handeln bestimmt. Dabei versucht *SelectInt* zunächst möglichst viele Absichten mit kompatiblen Zielen gemeinsam auszuführen. Falls das nicht möglich ist, werden die Absichten nach ihrer Priorität geordnet und eine Absicht ausgewählt. Die aktuelle Absicht wird von *RunInt* (von *run intention*) ausgeführt, wobei ihm verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung stehen, wie z. B. die Ausführung von automatischen Verhaltensweisen, Planung von Handlungswegen oder auch das Vorgehen nach „Versuch-und-Irrtum“. Neben diesen zentralen Prozessgruppen gibt es noch eine weitere Gruppe von Prozessen, die als *Percept* bezeichnet wird und Umgebungsinformationen an andere Prozesse liefert [DÖRNER ET AL. 1999, S. 203].

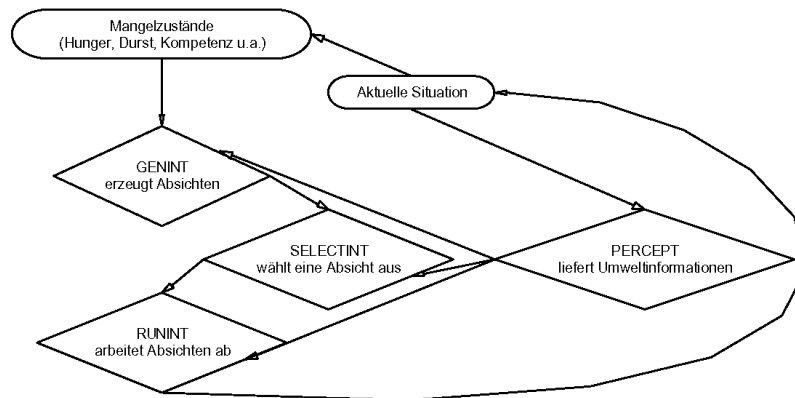


Abbildung 6: Übersicht über die wichtigsten Prozesse der PSI-Theorie von DÖRNER
[aus SCHAUB 1996B, S. 10]

4. Delegation

Neben Komplexem Problemlösen und Kognitiver Modellierung, die in den vorangehenden Abschnitten behandelt wurden, stellt Delegation einen weiteren Bereich dar, der schwerpunktmäßig der Psychologie zugeordnet werden kann. Delegation ist in dieser Arbeit insofern von Bedeutung, da sie als Mittel verwendet wird, Vpn zur Formalisierung ihrer Strategien zu bewegen und die Ausführung dieser Strategien gleichzeitig beobachtbar zu machen. Delegation wurde allerdings im Bereich der Kognitiven Psychologie oder der Künstlichen Intelligenz noch wenig bearbeitet. Daher werden vor allem Definitionen, Überlegungen und Befunde aus der Organisationspsychologie und der Unternehmensführung zusammengetragen. Im Anschluss daran werden die Implikationen dieser Ergebnisse für die Übertragung des Konzepts ‚Delegation‘ auf die Interaktion zwischen Mensch und künstlichem Agent diskutiert. Mögliche Lösungen der damit verbundenen Probleme werden aufgezeigt.

4.1. Abgrenzung der Begriffs ‚Delegation‘

Im allgemeinen Sprachgebrauch drückt ‚Delegation‘ die Übertragung von Zuständigkeiten, Rechten, Leistungen oder Aufgaben an eine Person aus [DUDEN 2001, S. 362]. Insbesondere bezeichnet Delegation in der Unternehmensführung die Übertragung von Entscheidungsaufgaben an untergeordnete Stellen und ist mit der Abgabe von Rechten und Verantwortung verknüpft [ALTFELDER 1973, S. 46]. STEIN & MÜLLER (1974, S. 22) nennen als Voraussetzung jeder Delegation die klare Definition und Übergabe von Aufgaben, Verantwortungsbereichen und Vollmachten, welche möglichst schriftlich fixiert werden sollten. Als wesentliches Merkmal von Delegation heben sie hervor, „daß nicht jeder einzelne Schritt genau überwacht wird, sondern der Mann an seinen Ergebnissen gemessen wird“. Weiterhin ist die Möglichkeit der Rücknahme der übertragenen Vollmachten ein wichtiges Kriterium der Delegation.

Synonym zur Delegation wird gelegentlich auch der Begriff ‚Dezentralisation‘ verwendet [vgl. BREHMER 1990, S. 272; BREHMER 1992, S. 227; BREHMER 1995, S. 114]. Daher scheint es angebracht, kurz den Begriff ‚Dezentralisation‘ der ‚Delegation‘ gegenüberzustellen. Als ‚Dezentralisation‘ wird die Tendenz bezeichnet sämtliche Aufgabenarten auf unteren Hierarchieebenen zu verteilen. In einer engeren Definition bezieht sich diese Aussage nur noch auf Entscheidungsaufgaben, wobei generell Entscheidungen an den Stellen getroffen werden, an denen die zugehörigen Probleme aufgetreten sind [CORSTEN 1995, S. 185]. Delegation und Dezentralisation überschneiden sich daher zu einem großen Teil in ihrer Bedeutung, wobei allerdings bei Dezentralisation eher der organisatorische Aspekt im Vordergrund steht und der führungstechnische Aspekt bei der Delegation [ALTFELDER 1973, S. 46].

4.2. Die Bedeutung psychologischer Faktoren für die Delegation

Die Anwendung von Delegation ist im Alltag mit Schwierigkeiten verknüpft. Diese führen häufig dazu, dass Aufgaben nicht delegiert werden, obwohl es oft sinnvoll oder sogar notwendig wäre. Neben eher sachlichen Gründen spielen auch „psychologische“ Faktoren eine wichtige Rolle, die im Folgenden erläutert werden.

Eine erste wichtige Frage bzw. Voraussetzung, damit Delegation eingesetzt wird, bezieht sich auf das Verhältnis von Kosten und Nutzen [vgl. MILEWSKI & LEWIS 1997, S. 489 f.]. Soll Delegation angewendet werden, müssen die Vorteile von Delegation die damit verbundenen Nachteile überwiegen bzw. Vorteile gegenüber der selbständigen Ausführung der Tätigkeit bieten. Vorteile der selbstständigen Ausführung liegen dabei z. B. im Vergnügen durch die Tätigkeit selber oder durch eine bessere Leistung, die erzielt werden kann. Vorteile bei Delegation bestehen dagegen z. B. in der Zeitersparnis und einer höheren persönlichen Effizienz. Während die Nachteile bei selbstständiger Ausführung von Tätigkeiten relativ einsichtig sind, wie z. B. Zeitaufwand, kognitive oder körperliche Anstrengung bei Ausführung der Aufgabe oder beim Erwerb der notwendigen Fertigkeiten, werden die Nachteile der Delegation leicht übersehen. Nach MILEWSKI & LEWIS (1997, S. 490) fallen beim Delegieren „Kosten“ in Form von aufgewendeter Zeit oder Mühe in den folgenden Bereichen an:

4. Delegation

1. Beurteilung der Kompetenz der ausführenden Person (engl. *assessment*)
2. Überwachung des Arbeitsfortschritts (engl. *monitoring*)
3. Kommunikation der erwünschten Ergebnisse und Strategien (engl. *communication*)
4. Angst vor Kontrollverlust (engl. *anxiety*)

LÖSSL (1970, S. 452) stellt fest, dass häufig vor allem im mittleren Managementbereich viele Vorgesetzte eine erhebliche Menge an Zeit für Aufgaben verwenden, die auch rangniedrigere Mitarbeiter übernehmen könnten, obwohl sie diese Tätigkeit von ihren Führungsaufgaben ablenken. Gründe hierfür sieht LÖSSL u. a. in nicht hinterfragten Konventionen des jeweiligen Betriebes, aber auch in Strategien des Vorgesetzten, um seine Unabkömmlichkeit im Betrieb zu demonstrieren.

Auch MILEWSKI & LEWIS (1997, S. 488) weisen darauf hin, dass Manager häufig nicht Delegation in dem Maße verwenden, wie sie es tun sollten. Deswegen gelangen sie zu der Auffassung, dass es sich hier eher um eine unnatürliche und schwierige Aufgabe für Menschen handelt. Sie führen eine Vielzahl an Gründen an, die dazu führen können, dass Aufgaben, die delegiert werden sollten, nicht delegiert werden. Diese Gründe werden in sachorientierte, egoistische und soziale Gründe unterteilt.

- sachorientierte Gründe:
 - Manager glauben, dass sie eine Aufgabe besser erfüllen als ihre Angestellten.
 - Manager glauben, dass bei dringenden Angelegenheiten Delegation zu viel Zeit kostet (i. e. zu erklären, zu überwachen und zu beurteilen).
- egoistische Gründe:
 - Manager erledigen Tätigkeiten, die sie delegieren sollten, weil es ihnen Spaß macht.
 - Manager wollen das Lob für die Erledigung einer Aufgabe selber einstecken.
 - Manager wollen bei wichtigen Sachen, nicht die Kontrolle verlieren, um Angst vor Kontrollverlust zu vermeiden.
 - Manager wollen beschäftigt erscheinen und nicht untätig oder faul.
- soziale Gründe:
 - Manager wollen nicht als Tyrannen erscheinen.
 - Manager wollen den Mitarbeiter nicht durch Misserfolg bei schwierigen Aufträgen frustrieren.

Die bisher genannten Faktoren bewirken, dass sinnvolle Möglichkeiten zur Delegation nicht genutzt werden. Es gibt jedoch auch Faktoren, die dazu führen, dass Delegation in Situationen eingesetzt wird, in denen sie schädlich wirkt. Nach DÖRNER ET AL. (1994, S. 257 ff.) neigen Entscheidungsträger dazu, Entscheidung an andere untergeordnete Stellen abzuschieben, wenn sie von Problemen oder den Handlungsmöglichkeiten eines Systems überfordert zu werden scheinen und Unsicherheiten auftreten. Im Forschungsgebiet des

4. Delegation

Komplexen Problemlösens bezeichnet man solches Verhalten als Delegations- und Exculpationstendenzen [DÖRNER ET AL. 1994, S. 257 ff.] [STÄDLER 1998, S. 575]. DÖRNER ET AL. interpretieren dieses Verhalten als einen Versuch „dem entstandenen Stress durch ‚Flucht‘ zu entkommen“ (S. 257).

Wenn jedoch eine Situation vorhanden ist, in der Delegation sinnvoll eingesetzt werden kann, und der Entscheidungsträger auch dazu bereit ist, Entscheidungen zu delegieren, stellt sich die Frage, welche Faktoren den Einsatz bzw. den Erfolg von Delegation beeinträchtigen oder fördern können.

Entscheidet sich jemand dazu zu delegieren, sollte er zunächst eine sinnvolle Aufgabenverteilung anstreben. Die Zielsetzung des Unternehmens, technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen und das soziale System sollten dabei berücksichtigt werden, um Konflikte schon im Vorfeld zu vermeiden [LÖSSL 1970, S. 451]. Die Kompetenzfestlegung und -abgrenzung sollte so getroffen werden, dass sich die Verantwortung und die Kompetenzen eines Mitarbeiters stets entsprechen. LÖSSL weist darauf hin, dass eine Abgrenzung von Kompetenzbereichen besonders wichtig ist, da sonst ständiger Anlass für Konflikte besteht. Weiterhin warnt er vor einem unangekündigten Eingreifen durch Vorgesetzte, da dadurch das Engagement der Mitarbeiter beeinträchtigt werden kann. Kompetenzbereiche, die bereits vorhanden sind, sollten respektiert werden, da sie auch Bedeutung als Statussymbole für den jeweiligen Mitarbeiter besitzen [LÖSSL 1970, S. 451].

MILEWSKI & LEWIS (1997, S. 491 ff.) sehen Delegation vor allem unter den Aspekten *Vertrauen*, *Kommunikation* und *Kontrolle*. Vertrauen beeinflusst z. B. die Entscheidung, ob überhaupt delegiert werden soll und welche Aufgabe und welche Person dafür in Frage kommen. Wichtige Faktoren, die das Ausmaß von Vertrauen bestimmen, sind nach BARBER (1983, zit. nach MILEWSKI & LEWIS 1997, S. 493) die folgenden Erwartungen:

- Erwartungen, die sich auf die Kompetenz des Anderen bei der Ausführung seiner Rolle beziehen
- Erwartung, die sich auf das Verantwortungsgefühl und die Motivation des anderen beziehen
- Erwartungen, die sich auf das weitere Verhalten der Personen in der Zukunft beziehen

Eine interaktive und genaue Kommunikation ist eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Delegation. Von Managern, die erfolgreich delegieren, werden Aufgaben jedoch nicht in Form einzelner auszuführender Schritte vorgegeben, sondern in Form von Zielen, Absichten und Ergebnissen unter Aufzählung von Gründen für die Aufgabe präzise beschrieben. Die Vorgabe allgemeiner Strategien zur Bearbeitung der Aufgabe erweist sich dabei als nützlich. Kommunikation ist hier kein einseitiger Prozess, sondern interaktiv gestaltet. Dies erlaubt beiden Beteiligten, i. e. Auftraggeber und Auftragnehmer, sich zu vergewissern, dass die Aufgabenstellung richtig vermittelt bzw. verstanden wurde, als auch andere Faktoren wie z. B. die Motivation des Mitarbeiters zu beurteilen [JENKS & KELLY 1985, zit. nach MILEWSKI & LEWIS 1997, S. 491].

Neben dem Vertrauen, das in einem Delegationsverhältnis herrscht, kann auch Kontrolle dazu dienen, evtl. auftretende Angst vor unerwünschten Ergebnissen zu vermeiden. JENKS

& KELLY (1985, zit. nach MILEWSKI & LEWIS 1997, S. 495) betonen dabei drei Aspekte der Kontrolle, welche *vor*, *während* und *nach* der Bearbeitung der Aufgabe angewendet werden können. So können schon vor der Aufgabe durch Planung, Vorgabe von anzuwendenden Strategien und Mitteilung der Zielkriterien Fehler und Enttäuschungen vermieden werden. Durch Beobachtung der Bearbeitung der Aufgabe können auch während der Ausführung der Aufgabe Korrekturen erfolgen. Die so erhaltenen Ergebnisse sollten am Ende beurteilt werden, um auf diese Weise sowohl dem Auftraggeber als auch dem Auftragnehmer Feedback für sein Verhalten zu geben.

4.3. Rechte und Pflichten aus Sicht der Unternehmensführung

Im letzten Abschnitt wurde auf psychologische Faktoren eingegangen, die für den Einsatz und den Erfolg von Delegation von Bedeutung sind. Zur Vertiefung und Ergänzung des Verständnisses von Delegation wird an dieser Stelle das Konzept aus der Sicht der Unternehmensführung in Form von Rechten und Pflichten der beteiligten Personen dargestellt.

Der Vorgesetzte muss schon bei der Auswahl des Mitarbeiters, dem er einen Auftrag übergeben will, sorgfältig prüfen, ob der beauftragte Stelleninhaber ausreichende Rechte und Kompetenzen besitzt, die zur erfolgreichen Ausführung des Auftrags notwendig sind. Weiterhin steht der Vorgesetzte auch in der Pflicht, den Mitarbeiter richtig in den Bereich einzuweisen, d. h. Aufgaben, Befugnisse und Verantwortung genau abzugrenzen und ausreichende Informationen zu geben. Nachdem ein Aufgabengebiet übertragen worden ist, hat der Vorgesetzte das Subsidiaritätsprinzip zu befolgen, welches besagt, dass ein Eingreifen in den Aufgabenbereich des Mitarbeiters solange zu unterbleiben hat, wie der Mitarbeiter in der Lage ist, richtig zu handeln. Zugleich hat der Vorgesetzte aber auch eine Kontrollfunktion auszuüben und die Pflicht einzugreifen, wenn Fehler auftreten oder in Sonderfällen, die in entsprechenden Regelungen festgehalten sind. Darüberhinaus hat er seine Mitarbeiter zu motivieren und zu fördern und die Führungsverantwortung für seinen Bereich zu tragen [ALTFELDER 1973, S. 151].

Die Pflicht des Mitarbeiters ist es, in seinem Aufgabenbereich selbstständig zu handeln und zu entscheiden und dabei die vorgegebenen Ziele einzuhalten. Die Handlungsverantwortung soll übernommen werden und nicht weiter delegiert werden. Der Vorgesetzte ist über die eigene Arbeit ausreichend zu informieren und es sind ihm Entscheidungen vorzulegen, die die Kompetenzen des Mitarbeiters überschreiten [ALTFELDER 1973, S. 151 f.].

4.4. Delegation an künstliche Agenten

Sowohl aus der Sicht der Psychologie als auch der Unternehmensführung wurden förderliche und hinderliche Faktoren, sowie Rechte und Pflichten in einem Delegationsverhältnis dargestellt. In diesem Abschnitt wird auf die Konsequenzen dieser Ergebnisse für die Gestaltung von Benutzerschnittstellen und künstlichen Agenten eingegangen. Dadurch soll die Delegation von Aufgaben von menschlichen Benutzern an künstliche Agenten ermöglicht werden.

Als Erstes sind einige grundlegende Fragen zur Delegation an künstliche Agenten zu stellen, da dieses Thema im Rahmen der Informatik noch bisher wenig untersucht wurde.

4. Delegation

Eine wichtige Frage ist, welche Eigenschaften ein künstlicher Agent besitzen muss, um derartige Aufgaben überhaupt erfüllen zu können. Aus der kontroversen Diskussion zum Agenten-Konzept heben MILEWSKI & LEWIS (1997, S. 487) hervor, dass ein Agent vor allem Aktivitäten auf autonome Weise ausführen können muss, um Aufgaben zu erfüllen, die an ihn delegiert werden. Auch domänenspezifisches Wissen sowie Methoden und Strategien zur Zwischenzielbildung, und Fähigkeiten, um Schlussfolgerungen und Entscheidungen zu treffen, d. h. kognitive Fertigkeiten, sind von zentraler Bedeutung. Darüberhinaus werden auch Fähigkeiten zur Kommunikation in natürlicher Sprache oder Persönlichkeitsmerkmale von Agenten diskutiert.

MILEWSKI & LEWIS (1997, S. 488) gehen davon aus, dass die Interaktion zwischen Mensch und Agent an einer solchen Benutzerschnittstelle in erster Linie von sozialer Art ist. Es spielen zwar nicht alle, aber doch viele Faktoren eine Rolle, die auch bei der Delegation von Mensch zu Mensch von Bedeutung sind. Zu den Faktoren, die nicht oder wenig wichtig sind bei der Delegation von Aufgaben an Agenten, zählen z. B. Überlegungen eines Auftraggebers die Rivalitäten zwischen Mitarbeitern oder deren berufliche Förderung betreffen [MILEWSKI & LEWIS 1997, S. 489]. Andere Faktoren wie z. B. Kommunikation, Vertrauen und Kontrolle sind dabei jedoch von genauso großer oder vielleicht sogar noch größerer Bedeutung als im zwischenmenschlichen Bereich.

Die Entscheidung, ob ein Benutzer einen Agenten zur Erledigung bestimmter Aufgaben einsetzt, hängt, wie bereits im Abschnitt 4.2 erläutert wurde, von seinem *Vertrauen* bzw. bestimmten Erwartungen an ihn ab. Um Vertrauen zwischen dem menschlichen Benutzer und einem künstlichen Agenten herzustellen bzw. zu fördern, schlägt MILEWSKI & LEWIS (1997, S. 493) vor, zuverlässige Agenten zu entwickeln und sie in stabilen Umwelten einzusetzen. Weiterhin trägt auch die Transparenz des Agentenverhaltens, d. h. seine Beobachtbarkeit, dazu bei, sich über die erwartungsgemäße Ausführung der Aufträge zu vergewissern und so Vertrauen zu bilden. Der Benutzer sollte auch wahrheitsgemäß über die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Agenten aufgeklärt werden, z. B. in Form von Erfolgsstatistiken, um so Enttäuschungen zu vermeiden. Weiterhin könnte das Verhalten eines Agenten an verschiedene Phasen bzw. an das jeweilige Ausmaß an Vertrauen angepasst werden angefangen vom ersten Auftrag bis zur langjährigen „Zusammenarbeit“. Daran könnte z. B. die Häufigkeit von Rückfragen des Agenten an seinen Benutzer angepasst werden.

Kommunikation dient dazu, dem Agenten mitzuteilen, welche Aufgabe er erledigen soll, aber auch um dem Benutzer Rückmeldung von Seiten des Agenten zu geben. MILEWSKI & LEWIS (1997, S. 492) zählen verschiedene Möglichkeiten auf, wie solche Eingaben des Benutzers als auch Rückmeldungen des Agenten geschehen könnten. Am benutzerfreundlichsten wäre es natürlich, wenn die Kommunikation mit einem Agenten der Kommunikation mit einem kompetenten und hilfsbereiten Menschen möglichst ähnlich wäre. Anthropomorphie könnte sowohl im Bereich verbaler als auch non-verbaler Kommunikation eingesetzt werden. Im verbalen Bereich wäre Kommunikation in Form natürlicher Sprache für den Menschen von großem Vorteil. Zur Zeit ist sie jedoch aufgrund ihrer hohen Komplexität nur für Aufgaben anwendbar, die einfach und eindeutig zu beschreiben sind. Durch non-verbale Kommunikation könnte dem Agenten die gewünschte Art der Aufgabenbearbeitung

z. B. durch Vormachen übermittelt werden. Rückmeldungen des Agenten könnten wiederum in Form gesichtsähnlicher Displays erfolgen. Diese könnten den Benutzer in kurzer, unmissverständlicher Form z. B. darüber informieren, ob eine Aufgabe nicht verstanden oder etwa erfolgreich abgeschlossen wurde.

Besitzt der Anwender nur wenig Vertrauen in den Agenten, kann *Kontrolle* dazu beitragen, Ängste vor Misserfolgen zu reduzieren und darüberhinaus die Zusammenarbeit bzw. Leistung des Agenten langfristig zu verbessern. Dazu können Maßnahmen wie die Vorgabe von Fristen (engl. *deadlines*) eingesetzt werden. Auch Rückmeldung über den Stand der Bearbeitung bringen dem Benutzer zusätzliche Kontrolle. Durch die Aufteilung einer Aufgabe in Teilaufgaben könnte sie zusätzlich erhöht werden, da sich für den Benutzer ein detaillierteres Bild ergibt.

Es zeigt sich daher insgesamt, dass durchaus Methoden zur Verfügung stehen, Schwierigkeiten, die sich bei der Delegation von Aufgaben von menschlichen Benutzern an künstliche Agenten ergeben, zu überwinden und künstliche Agenten als hilfreiche Instrumente bei der Erledigung von (alltäglichen) Aufgaben einzusetzen.

5. Waldbrandsimulation

Die computerbasierte Simulation von Waldbränden stellt eine klassische Umgebung zur Untersuchung von komplexen Problemlöseprozessen dar. Die vorangehenden Abschnitte haben sich mit allgemeinen Theorien und Konzepten zum Problemlösen beschäftigt, die hauptsächlich der Psychologie zugeordnet werden können. Hier wird jedoch eine konkrete Untersuchungsmethode vorgestellt, die aus der Informatik stammt. Im Folgenden werden daher zunächst grundlegende Fragen der computerbasierten Simulation als Forschungswerkzeug in der Psychologie behandelt. Danach wird Feuerverhalten und Feuerbekämpfung als Vorbild in der Realität beschrieben, wodurch Anhaltspunkte zur Beurteilung der Plausibilität von Simulationen in dieser Domäne gewonnen werden. Abschließend werden bekannte Beispiele von Waldbrandsimulationen vorgestellt.

5.1. Computergestützte Simulation als Forschungswerkzeug

In Untersuchungen zum Komplexen Problemlösen setzt man typischerweise Computer als Forschungswerkzeug zur Simulation komplexer, dynamischer Umwelten ein, die Komplexes Problemlösen beobachtbar machen sollen [vgl. FUNKE 1992, S. 5]. Mit diesem Thema beschäftigt sich der vorliegende Abschnitt. Zunächst werden Unterschiede zu traditionellen Untersuchungsmethoden aufgezeigt. Danach wird auf die Bedeutung und Eignung des Konzepts ‚Multiagentensystem‘ für die Simulation von komplexen, dynamischen Szenarios eingegangen.

5.1.1. Unterschiede zu traditionellen Untersuchungsmethoden

Bis zur Einführung der computerbasierten Simulation von Umwelten Anfang der 80er Jahre beschränkten sich die Methoden der psychologischen Forschung bzw. der Problemlösefor-

schung entweder auf experimentelle Untersuchungen im Labor oder auf Feldstudien, welche als traditionelle Untersuchungsmethoden bezeichnet werden. Im Folgenden wird erörtert, welche Unterschiede die neue Methode der Simulation im Vergleich zu traditionellen Untersuchungsmethoden aufweist.

Bei *Laboruntersuchungen* wird besonderer Wert auf die isolierte Variation einzelner Reize gelegt, wobei Störeinflüsse kontrolliert werden. Daraus ergibt sich allerdings auch die Kritik an dieser Methode, da häufig die Aussagekraft und Anwendbarkeit der gewonnenen Ergebnisse für das reale Leben bezweifelt wird. Nach BREHMER & DÖRNER (1993, S. 178) unterscheiden sich Untersuchungen, die computersimulierte Szenarios verwenden, von traditionellen Experimenten hinsichtlich der Rolle der unabhängigen Variablen. So werden hier meist keine isolierten Stimuli variiert, sondern Systemmerkmale auf einer höheren Ebene, wie z. B. die Komplexität der Umwelt. Dies ist durch den interaktiven Charakter der Simulation bedingt, da einzelne Stimuli (Reize) der Umwelt nicht mehr ausschließlich vom Untersucher kontrolliert werden, sondern vor allem vom Verhalten der Vp abhängen. Der Experimentator versucht daher durch eine geeignete Gestaltung der Simulation interessierende Systemmerkmale statt einzelner Reize aufrechtzuerhalten. Ähnliches gilt auch für die abhängigen Variablen, d. h. für das beobachtete Verhalten der Vp. Es werden nicht mehr einzelne Reaktionen analysiert, sondern direkt welche Strategien und Taktiken sie anwenden, um auftretende Probleme zu lösen [vgl. auch BREHMER 1992, S. 220].

Bei *Feldstudien* wird Verhalten unter realen Bedingungen, d. h. im wirklichen Leben, untersucht. Dabei sind Störeinflüsse allerdings nur schwer kontrollierbar, was wiederum die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Durch die Methode der Simulation werden die Bedingungen der realen Welt im Labor nachgebildet, wobei trotzdem umfangreiche und genaue Möglichkeiten zur Kontrolle der Umweltbedingungen bzw. zur Beobachtung und Protokollierung des Verhaltens der Vpn zur Verfügung stehen. Darüberhinaus haben simulierte Systeme den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu vorgegebenen, natürlichen Umwelten von einem Menschen konstruiert wurden. Dadurch kann sowohl das System als auch das Verhalten der Versuchsperson wesentlich besser verstanden werden kann als im Feldversuch [BREHMER & DÖRNER 1993, S. 179].

5.1.2. Simulation mit Multiagentensystemen

Computersimulationen, die in Untersuchungen zum Komplexen Problemlösen eingesetzt werden, liegen unterschiedliche Konzeptionen, Software-Architekturen und Programmiersprachen zugrunde. Deren Effizienz und Flexibilität bei der Anpassung an verschiedene Untersuchungsfragen und Domänen lässt oft zu wünschen übrig. Im Folgenden soll das Konzept der *MultiAgentenSysteme (MAS)* erläutert und dessen besondere Bedeutung und Eignung im Hinblick auf die Simulation von komplexen, dynamischen Umgebungen hervorgehoben werden. Da Multiagentensysteme auf dem Konzept des *Agenten* aufbauen, soll dieses zuerst vorgestellt werden.

Das Konzept ‚Agent‘

Trotz der vielfältigen Verwendung des Agentenbegriffs in der Informatik, herrscht eine große Vielfalt an Meinung, was unter einem Agenten zu verstehen ist. Im Folgenden sollen verschiedene Ansätze zur Definition des Begriffs vorgestellt und seine Verwendung im Rahmen dieser Arbeit deutlich gemacht werden.

Wie BURKHARD (2000, S. 1012 ff.) ausführt, ist es im Augenblick noch nicht möglich eine allgemein akzeptierte Definition des Begriffs ‚Agent‘ in der Informatik zu liefern. Es gibt jedoch Definitionen, die eine gewisse Verbreitung und Akzeptanz gefunden haben. Dazu gehört sicherlich die Definition von RUSSELL & NORVIG (1995) , die besagt:

„An agent is anything that can be viewed as perceiving its environment through sensors and acting upon that environment through effectors. [RUSSELL & NORVIG 1995, S. 31]

Durch diese Definition werden die Wahrnehmung und das Handeln in einer Umwelt als zentrale Merkmale eines Agent hervorgehoben. Dabei wird der Agent selbst bzw. sein Aufbau nicht genauer erläutert, abgesehen davon, dass er Sensoren und Effektoren besitzt. Eine häufig verwendete Definition stammt auch von FRANKLIN & GRAESSER (1997) . Sie streben jedoch nicht in erster Linie nach einer Definition des Begriffs ‚Agent‘, sondern nach einem Konzept, um Agenten von Programmen zu unterscheiden. Dazu leiten sie aus verschiedenen anderen Agentenbeschreibungen die folgende Definition eines ‚Autonomen Agenten‘ ab:

An autonomous agent is a system situated within and a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time, in pursuit of its own agenda and so as to effect what it senses in the future. [FRANKLIN & GRAESSER 1997, S. 25]

Neben den bereits in der Definition von RUSSELL & NORVIG (1995) enthalten Merkmalen eines Agenten betrachten FRANKLIN & GRAESSER die Autonomie bzw. das Verfolgen eigener Ziele als wesentliche Kennzeichen. Auch die Persistenz des Agenten, i. e. sein Fortbestehen über die Zeit hinweg, und die Möglichkeit durch seine Handlungen seine Wahrnehmungen in der Zukunft zu beeinflussen werden als charakteristisch angesehen.

Weitere Hilfe zum Verständnis des Agentenkonzepts bieten Merkmale, die üblicherweise zur Beschreibung verwendet werden. Zu den wichtigsten Eigenschaften gehören nach KLÜGL (2001, S. 14 f.) :

- *situated*: Die *situatedness* bezeichnet, die Bedingung, dass sich ein Agent in einer Umwelt befindet, die er über Sensoren wahrnehmen und über Effektoren verändern kann.
- *reaktiv*: Ein Agent kann Veränderungen in seiner Umwelt wahrnehmen und sein Verhalten entsprechend anpassen.
- *autonom*: Ein Agent bestimmt seine Aktionen weitgehend selber, wobei hier unterschiedliche Ausprägungen an Autonomie möglich sind.¹ Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Eigenschaft „Proaktivität“, wodurch Agenten auch selber die

¹vgl. Kontrollautonomie und Verhaltensautonomie

Initiative für Handlungen ergreifen können, ohne dass diese von Außen angestoßen werden müssen.

- *sozial*: Ein Agent kann mit anderen Agenten interagieren, z. B. kommunizieren und gemeinsam planen.
- *rational*: Das Verhalten eines Agenten ist konform mit seinen Zielen.
- *anthropomorph*: Dem Agent können menschliche Eigenschaften wie Annahmen (*beliefs*), Wünsche (*desires*) oder Absichten (*intentions*) zugeschrieben werden. Diese müssen jedoch nicht explizit repräsentiert sein.

Im Rahmen dieser Arbeit bzw. im Zusammenhang mit Multiagentensystemen wird in Anlehnung an KLÜGL (2001, S. 13) der Begriff ‚Agent‘ im Sinne eines „autonomen, reaktiven Akteurs“ verstanden.

Multiagentensysteme

Nachdem der Begriff ‚Agent‘ erläutert wurde, wird im Folgenden auf Multiagentensysteme eingegangen.

Befinden sich in einem System eine Menge von mehreren interagierenden Agenten, so spricht man im Allgemeinen von einem *Multiagentensystem*. Diese Interaktion spielt sich bei Agenten z. B. über den Austausch von Nachrichten ab. Die Koordination der Agenten kann dabei auf der Basis von Wissen über andere Agenten oder Protokollen erfolgen. KLÜGL (2001, S. 17) charakterisiert Multiagentensysteme anhand der folgenden Eigenschaften:

- Ein einzelner Agent hat nur unvollständige Informationen bzw. Problemlösefähigkeit.
- Jeder Agent verwaltet seine Daten selbst.
- Berechnungen und Aktionen der Agenten erfolgen parallel und asynchron.
- Es gibt aufgrund der Autonomie der Agenten keine zentrale Kontrolle.

„Multiagentensysteme“ können von „Verteilten Problemlösern“ grob dadurch unterschieden werden, dass bei Verteilten Problemlösern die gemeinsame Arbeit von Agenten für globale Ziele im Vordergrund steht. Bei Multiagentensystemen können Agenten dagegen als Einheiten mit individuellen Zielen betrachtet werden. Auftretende Interessenkonflikte (z. B. über Ressourcen) können über Protokolle gelöst werden, die die Aufgabenverteilung überwachen. Solche Protokolle können Ähnlichkeiten zu sozialen Regeln, Normen oder Verhandlungen in der menschlichen Gesellschaft besitzen [KLÜGL 2001, S. 18] [BURKHARD 2000, S. 996 ff.]. Wie KLÜGL (2001, S. 18) ausführt, werden die Grenzen zwischen beiden Begriffen immer unschärfer, da beide als agentenbasierte Systeme gelten.

Wenn man die Eigenschaften, die ein komplexes bzw. dynamisches System erfüllen soll, mit den Eigenschaften von Agenten oder Multiagentensystemen vergleicht, fällt auf, dass die Anforderung der Dynamik bzw. der Eigendynamik mit dem Konzept des Agenten und die Anforderung der Komplexität mit dem Konzept eines Multiagentensystems gut vereinbar ist. BREHMER & DÖRNER (1993, S. 182 f.) sprechen sogar von einem Mangel in den bisherigen Studien zum Komplexen Problemlösen, in denen meist einzelne Probanden, die

mit diktatorischen Vollmachten ausgestattet sind, ihre Umwelt zu kontrollieren versuchen. Sie stellen einen Bedarf an Simulationen fest, mit denen Gruppen von Probanden untersucht werden können, die miteinander und mit einem simulierten System interagieren, um so soziale Systeme und Verteiltes Problemlösen (engl. *distributed decision making*) besser verstehen zu lernen. Aufgrund dieser Überlegungen erscheinen Multiagentensysteme für die Simulation von komplexen, dynamischen Umwelten geradezu prädestiniert.

Multiagentenmodelle und -simulation

Bei der Entwicklung agentenbasierter Modelle und ihrer Simulation wird das Konzept ‚Multiagentensystem‘ in zweierlei Hinsicht angewendet [KLÜGL 2001, S. 67 f.].

Erstens wird dieses Konzept bei der Formulierung des Modells des interessierenden Systems, i. e. des Multiagentenmodells, benutzt. Dabei kann eine große Vielfalt von Modellen erstellt werden, bei denen man das Konzept ‚Agent‘ nur in sehr abstrakter Form wiederfinden kann bis hin zur Modellierung menschlicher Akteure. Zweitens findet man eine grundlegend andere Verwendung des Begriffs ‚Agent‘ bei komplexeren Simulationssystemen. Hier werden einzelne Module (z. B. Simulatoren oder Werkzeuge zur Optimierung) als Agenten behandelt. Diese erledigen relativ autonom unterschiedliche Aufgaben. Der Simulator liefert z. B. die Ergebnisse eines Simulationslaufs an den Optimierer, der diese auswertet. Dieser generiert daraufhin einen neuen Satz an Parametern zur Konfiguration des Systems und gibt ihn an den Simulator zurück, der diesen wiederum testet. Im Rahmen dieser Arbeit ist allerdings nur die zuerst genannte Bedeutung relevant.

Wesentliche Faktoren eines Multiagentenmodells in diesem Sinne sind: Agenten, ihre Interaktionen und eine simulierte Umwelt. Um zu bestimmen, welche Systembestandteile als *Agenten* zu modellieren sind, ist es hilfreich verschiedene Kriterien zu überprüfen. Diese Kriterien sollen die Agenten in einer Simulation von den übrigen Elementen unterscheiden. Dazu können Merkmale benutzt werden, die man auch zur Definition des Agentenkonzepts verwendet (vgl. Abschnitt 5.1.2). Agenten können demnach ihre Umwelt wahrnehmen als auch durch ihre Aktionen verändern. Dabei steht ihnen ein nichttriviales Verhaltensrepertoire zur Verfügung, wodurch sie vor allem von (passiven) Objekten abgegrenzt werden. Die *Interaktionen* in einem Multiagentenmodell können aus Organisationsstrukturen des Originalsystems resultieren oder auch explizit vom Modellierer vorgegeben werden. Die *Umwelt* stellt den Teil des Modells dar, in dem der Agent „lebt“. Aus der Sicht eines einzelnen Agenten betrachtet, besteht sie nicht nur aus den anderen Agenten, sondern auch aus den Teilen des Modells, welche nicht als Agenten modelliert sind. Auch diese Teile können dabei über eine eigene Dynamik verfügen. Die Umsetzung und das Experimentieren mit einem Multiagentenmodell bezeichnet man schließlich als Multiagentensimulation.

5.2. Feuerverhalten und Feuerbekämpfung in der Realität

An dieser Stelle soll auf Feuerverhalten und Feuerbekämpfung in der Realität eingegangen werden. Dadurch sollen nicht nur Kriterien zur Beurteilung der „ökologischen Validität“ von Waldbrandsimulationen, sondern auch Anregungen für eine Implementierung der Waldbrandsimulation gewonnen werden. Desweiteren wurde in der bisherigen Literatur zu Waldbrandsimulationen versäumt, auf diese Grundlagen einzugehen.

5.2.1. Deskriptive Maße des Feuerverhaltens

Bei Ausbruch eines Feuers stellen sich verschiedene Fragen, die den aktuellen Zustand des Feuers sowie dessen weitere Entwicklung betreffen, um den Schaden für die Umwelt vorherzusagen und geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Zur Beschreibung des sog. *Feuerverhaltens* (engl. *fire behavior*), das den Verlauf eines Feuers von seiner Entzündung bis hin zum Erlöschen umfasst, werden bestimmte Maße verwendet. Die zwei wichtigsten Kriterien eines Feuers sind die *Intensität* des Feuers und die *Ausbreitungsgeschwindigkeit*. Sie sind von besonderer Bedeutung für die Entscheidung, ob man ein Feuer unbeeinflusst weiterbrennen lässt oder ob man sofort eingreift. Diese werden im Folgenden neben anderen Maßen erläutert [RESCH 1997, S. 12 ff.].

Feuerintensität (engl. *fire intensity*): Die *Feuerintensität* gibt Auskunft über die *Flammenlänge* und die *Raten der Energiefreisetzung*. Diese Größen beeinflussen wiederum die *Konvektionsverhältnisse*. Diese haben einen Einfluss darauf, wie hoch die *gasförmigen* und *festen Verbrennungsprodukte* transportiert werden und sind für *Flugfeuer* (engl. *spotting*) von Bedeutung. Die *Feuerintensität* wirkt sich auch auf die *Art und Anzahl der eingesetzten Geräte* aus.

Ausbreitungsgeschwindigkeit (engl. *rate of spread*) Die *Ausbreitungsgeschwindigkeit* ermöglicht die *Flächen- und Umfangszunahme* des Feuers abzuleiten. Letztere sind ebenfalls wichtige Kriterien dafür, an welchen *Orten* und mit *wieviel Mannschaft und Gerät* das Feuer bekämpft werden muss.

Potential an Flugfeuer (engl. *spotting potential*) Das *Potential an Flugfeuern* ist von immensem Einfluss auf die *Ausbreitungsgeschwindigkeit*, da durch die *hochgeschleuderte Glut*, die vom *Winde* verweht wird, auch *weit vor der Feuerfront* (über 20 km) neue *Brandherde* entstehen können [vgl. WHELAN 1995, S. 36].

Verlöschzeit (engl. *burn-out time*) Die *Verlöschzeit* ist die *Zeit*, in der ein Feuer weiter brennt, nachdem der *eigentliche Brand* bzw. die *Feuerfront* darüber hinweg gefegt ist.

Verbrennungsgrad (engl. *combustion rate*) Der *Verbrennungsgrad* gibt dagegen an, wie *vollständig* das vorhandene *Brennmaterial* durch das Feuer vernichtet wurde.

Hitze pro Flächeneinheit (engl. *heat per unit area*) Sie gibt die *freiwerdende Energie* pro *Flächeneinheit* an.

5.2.2. Entstehung, Entwicklung und Ausbreitung von Feuern

Im folgenden werden *Umwelteinflüsse* behandelt, die für die *Entstehung, Entwicklung und Ausbreitung* von Feuern von Bedeutung sind. Das Verhalten eines Feuers ergibt sich dabei aus einem *Zusammenspiel* der *Umweltfaktoren*. Man kann sie in drei Kategorien einteilen: *Brennmaterial*, *Wetter* und *Topographie*. Nachdem auf die *Ursachen der Feuerentstehung* eingegangen worden ist, werden diese *Faktoren* genauer erläutert. Eine Übersicht zu diesem Thema befindet sich in *Tabelle 4*.

Die Ursachen von Feuern

Feuer können sowohl durch menschliche als auch nicht-menschliche Ursachen entstehen. Durch *Menschen* verursachte Feuer können absichtlich gelegt worden sein z. B. durch Brandstiftung, Brandrodung oder Gegenfeuer zur Bekämpfung größerer Brände. Sie können aber auch unabsichtlich entstehen, z. B. durch unvorsichtigen Umgang mit Feuer beim Grillen oder weggeworfene Zigarettenkippen. Auch *Naturphänomene* können Feuer auslösen. Blitzeinschlag ist davon sicherlich die häufigste und am weitesten verbreitete Ursache. Aber auch Steinfunken während eines Erdbebens oder Vulkanaktivität sind als Brand auslösende Faktoren zu berücksichtigen. Die Zusammenhänge zwischen Gewittern und Waldbränden sind jedoch nicht so eng, wie man vermuten könnte, da noch eine Vielzahl von anderen Faktoren mitwirkt. Diese sind ähnlich den Faktoren, die auch die Entwicklung und Ausbreitung von Feuern beeinflussen. Sie werden im nächsten Abschnitt behandelt [WHELAN 1995, S. 23 ff.].

Die Bedeutung des Brennmaterials

Zum Brennmaterial werden (zumindest theoretisch) alle organischen Stoffe im Boden (engl. *ground fuels*), auf dem Boden (engl. *surface fuels*) und über dem Boden (engl. *aerial fuels*) gezählt. Aufgrund seiner hohen Dichte und seines Feuchtegehalts verbrennt Bodenmaterial in der Regel ohne offene Flammenbildung, sondern entwickelt sich lediglich zu Schwelbränden. Aus denselben Gründen ist auch ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit mit ca. 6 cm/h äußerst gering. Das Brennmaterial auf dem Boden setzt sich im Wesentlichen aus der Streuauflage und allem brennbaren Material bis in ca. zwei Meter Höhe zusammen. Dabei muss allerdings die Verbindung zum Boden gewährleistet sein. Dieser Bereich ist deshalb besonders wichtig, weil sich die meisten Waldbrände in diesem Bereich bewegen (sog. *surface fires*). Als letzter Bereich bleibt das Brennmaterial in über zwei Meter Höhe, welches u. a. aus Laub und Ästen besteht [RESCH 1997, S. 15].

Von den verschiedenen Eigenschaften des Brennmaterials, die ein Feuer beeinflussen können, sollen einige zentrale Variablen herausgegriffen werden. Ein erster wichtiger Faktor ist die *Menge an Brennmaterial*. Dabei muss berücksichtigt werden, dass nur wenige Feuer die gesamte oberirdische Biomasse verbrennen. Daher spielt der Begriff des *available fuels* (dt. verfügbares Brennmaterial) eine wichtige Rolle, um den Einfluss dieses Faktors auf die Intensität und die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Feuers einschätzen zu können. Eine Faustregel lautet, dass sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit bei Verdopplung der Brennstoffmenge auch verdoppelt [FELLER 1992, zit. nach RESCH 1997, S. 17]. Die Menge an verfügbarem Brennmaterial wird durch die *Art der Vegetation* in verschiedener Weise beeinflusst. Neben der unterschiedlichen Entflammbarkeit verschiedener Vegetationsarten, spielen sowohl die vertikale als auch die horizontale *Verteilung des Brennmaterials* eine wichtige Rolle. So weiten sich in zweistufigen Waldbeständen Waldbrände selten auch auf die Baumkronen aus. Somit scheiden die Kronen als verfügbares Brennmaterial aus. Aber auch die unterbrechungsfreie Verteilung des Brennmaterials in der Horizontalen ist eine Voraussetzung für die Feuerausbreitung. Durch die Errichtung von Feuerschutzstreifen (engl. *fuel breaks*) kann man dies ausnutzen, um so ein Feuer einzudämmen.

Eine notwendige Voraussetzung für den Verbrennungsprozess ist die ausreichende Versorgung mit Sauerstoff. Diese wird durch Eigenschaften des Brennmaterials in zweierlei Weise beeinflusst: Je kleiner die Partikelgröße und je lockerer die Anordnung des Brennmaterials ist, desto größer ist die Oberfläche des Brennmaterials, die mit Sauerstoff in Kontakt kommen kann. Zusätzlich wird das Sauerstoffangebot auch von der Windstärke beeinflusst.

Desweiteren beeinflusst auch die chemische Zusammensetzung des Brennmaterials das Feuerverhalten in entscheidender Weise.

Der *Feuchtegehalt*, d.h. der Wasseranteil des zur Verfügung stehenden Brennmaterials, ist hierbei von besonders große Bedeutung.¹ Ähnlich wie die Partikelgröße und Anordnung des Brennmaterials beeinflusst auch die Feuchtigkeit die Menge des zur Verfügung stehenden Sauerstoffes. Tritt aufgrund der hohen Temperatur Wasserdampf aus dem verbrennenden Material aus, wird die relative Luftfeuchtigkeit in der unmittelbaren Nähe erhöht, wodurch auf der einen Seite die Temperatur der Flamme und auf der anderen Seite der Sauerstoffgehalt der Luft verringert wird. Der Feuchtegehalt des Brennmaterials bewegt sich dabei in einem weiten Bereich zwischen ca. 1.5% der Trockenmasse² bei abgestorbenem Brennmaterial und 200% der Trockenmasse bei grüner Biomasse [PYNE 1984, S. 6]. Der Feuchtegehalt wird vom Wetter (z. B. Regen, relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur) und vom Ort, an dem sich das Brennmaterial (z. B. auf offener, Südseite vs. waldbedeckter Nordseite) befindet, beeinflusst. Während bei einem Feuchtegehalt von 25% bis 30% TG Feuer von selbst erlöschen, steigt die Intensität eines Feuers bei 7% bis 9% TG rasch an [Feller 1992, zit. nach RESCH 1997, S. 20]. Bei einem Feuchtegehalt von 15% TG sind Feuer allerdings wegen ihrer geringen Intensität noch sehr gut kontrollierbar. Pflanzen, die einen hohen Anteil an flüchtigen ätherischen *Ölen und Harzen* enthalten (z. B. Koniferen und Eukalypten), sind leichter entzündlich als Pflanzen, die diese Stoffe nicht enthalten. Auf der anderen Seite bewirkt ein hoher Gehalt an *Mineralien*, dass die Entflammbarkeit verringert wird, insbesondere wenn bereits ein niedriger Feuchtegehalt vorliegt [RESCH 1997, S. 16 ff.].

Die Bedeutung des Wetters

Auch das Wetter übt einen wichtigen Einfluss auf das Verhalten eines Feuers aus. Faktoren wie *Luftfeuchtigkeit* oder *Wind* wirken auf zentrale Variablen des Verbrennungsprozesses ein, welche z. B. die Feuchtigkeit des Brennmaterials oder die Sauerstoffzufuhr betreffen. Darüberhinaus bestimmen sie auch Merkmale des Feuerverhaltens wie Intensität und Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Wind wird nicht nur durch Luftdruckunterschiede der Umwelt bedingt, sondern auch durch das Feuer selber. Durch die Konvektion heißer Gase, die über dem Feuer hoch steigen, wird ein Sog verursacht, der Luft von außen in das Feuer hineinzieht. Bei Windstille kann das dazu führen, dass sich das Feuer durch den Wind, den es selber verursacht hat als „Gegenwindfeuer“ (engl. *back fire*) selbst ausbreitet. Dieser Effekt kann zu einer dramatischen Steigerung der Ausbreitungsgeschwindigkeit führen [WHELAN 1995, S. 34]. Neben der Windstärke kann auch die Windrichtung bzw. ein Wechsel der Richtung das Feuerver-

¹Feuchtigkeit bildet die Grundlage für Systeme zur Vorhersage des Feuerrisikos und des Feuerverhaltens [RESCH 1997, S. 18]

²auch Trockengewicht = TG

halten dramatisch verändern, da die Breite der Feuerfront plötzlich ganz neue Ausmaße annehmen kann.¹

Die Bedeutung der Topographie

Die Bedeutung der *Hangneigung* für Ausbreitung eines Feuers entspricht ungefähr der des Windes. Mit zunehmender Hangneigung ergibt sich eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit und es können auch größere Lücken im Brennmaterial übersprungen werden. Gründe hierfür liegen darin, dass bei einem bergauf brennenden Feuer die Brennmaterialien einer stärkeren Hitzestrahlung und Konvektion ausgesetzt sind im Vergleich zur Ebene, da die Flammen sich relativ näher über dem Boden befinden. Bei einem bergab brennenden Feuer ergeben sich entgegengesetzte Effekte [WHELAN 1995, S. 36].

Der Einfluss der *Höhe* des Brandstätte kann unterschiedlich sein, in der Regel bewirkt eine größere Höhe eine geringere Intensität der Feuer. Gründe hierfür sind die stärkeren Niederschläge und langsameren Trocknungsraten, wobei Inversionswetterlagen und höhere Windgeschwindigkeiten jedoch die genannten Effekt auch umkehren können [RESCH 1997, S. 22].

Wie schon weiter oben angedeutet wurde, beeinflusst auch die *Lage* bzw. der Ort des Brennmaterials das Feuerverhalten. Insbesondere wirkt sich dieser Faktor an Süd- bzw. Nordhängen aus, die sich primär in der Sonneneinstrahlung bzw. Temperatur unterscheiden. Auch die Art und Dichte der Vegetation hängt somit von der Lage ab. Darüberhinaus kann eine andere Lage auch zu unterschiedlichen Winden führen [RESCH 1997, S. 23].

In Tabelle 4 sind die wichtigsten der bisher genannten Umweltfaktoren zu einer Übersicht zusammengefasst.

5.2.3. Feuerbekämpfung in der Praxis

Nach PYNE (1984, S. 351 ff.) beschreibt der Begriff der Feuerbekämpfung (engl. *fire suppression*) den Prozess, mit dem man Kontrolle über ein Feuer erlangt. Er weist daraufhin, dass trotz des Fortschritts bei der Waldbrandbekämpfung einige Prinzipien erhalten geblieben sind. Zu diesen Prinzipien zählen:

1. Alle Feuer sind am leichtesten zu kontrollieren, solange sie noch klein sind.
2. Die Feuerbekämpfung muss schnell erfolgen.
3. Das benötigte Material muss schon vorher bereit gehalten werden.
4. Jedes Feuer erfordert eine Einschätzung und Reaktion. Nicht-Handeln kann ähnlich tiefgreifende Folgen haben wie Handeln.

Die Kontrolle über ein Feuer zu erlangen ist jedoch nicht mit dem Löschen des Feuers gleichzusetzen. Vielmehr können verschiedene Arten der Kontrolle, i. e. Strategien, unter-

¹Von KOMAREK (1967, zit. nach WHELAN 1995, S. 36) wird ein Feuer berichtet, das in einer Graslandschaft in Nebraska, USA, auf einer Breite von fünf Kilometern 15 km weit nach Osten brannte, bis der Wind um 90° drehte, und es sich anschließend mit einer Feuerfront von 18 km Breite in Richtung Norden ausbreitete.

5. Waldbrandsimulation

UMWELTFAKTOR	BEEINFLUSSTE VARIABLE
Brennmaterial	-Entzündungswahrscheinlichkeit -Feuerintensität -Ausbreitungsgeschwindigkeit -Verfügbare Energiemenge
Klima	-Art und Menge an Brennmaterial (aufgrund der Vegetation)
Feuchtigkeit	-Entzündungswahrscheinlichkeit -Feuerintensität -Ausbreitungsgeschwindigkeit -Verbrennungsgrad
Wind	-Feuchtigkeit des Brennmaterials (durch Austrocknung) -Feuerintensität -Ausbreitungsgeschwindigkeit (Transport von Hitze und Glut) -Größe der Feuerfront (abhängig von Windrichtung)
Topographie	-Lokales Klima -Feuerintensität -Ausbreitungsgeschwindigkeit (z. B. natürliche Barrieren, Hangneigung)

Tabelle 4: Umweltfaktoren und ihr Einfluss auf das Feuerverhalten[nach WHELAN 1995, S. 30 ff.]

schieden werden. In den meisten Fällen werden gleichzeitig oder aufeinander die folgenden Strategien eingesetzt:

- *Direkte Kontrolle* (engl. *direct control*): Bei der einfachsten Form der Kontrolle wird das Feuer sofort und vollständig gelöscht. Sie kann aber nur auf wenige Arten von Bränden angewendet werden z. B. kleine, gerade ausgebrochene Feuer und Feuer mit einer kurzen Verweildauer (z. B. Grasbrände). Eine Variante dieses Konzepts ist der Schutz von Objekten (engl. *exposure protection*). Dabei ist das Ziel, kritische Objekte z. B. Häuser vor dem Feuer zu schützen.
- *Kontrolle durch Begrenzung* (engl. *perimeter control*): Diese häufiger eingesetzte Strategie versucht durch Begrenzung der Feuerfront Kontrolle zu erlangen z. B. durch das Anlegen von Schneisen. Flammen können dann die Angriffslinie (engl. *fireline*) nicht mehr durchbrechen. Die Betonung liegt hier auf der Verhinderung der Feuerausbreitung.
- *Kontrolle durch Rahmensetzung* (engl. *prescription control*): Hier werden Feuer als kontrolliert betrachtet, wenn sie hinsichtlich ihrer Eigenschaften (engl. *parameter*) in einem bestimmten Rahmen bleiben, also eine bestimmte Beschreibung (engl. *prescription*) einhalten. Dieser Rahmen kann durch ihre geographische Lage (z. B. unbewohntes Gebiet) oder andere Brandeigenschaften vorgegeben sein.

Weiterhin unterscheidet PYNE (1984, S. 355 ff.) verschiedene Methoden zur Feuerbekämpfung, die darauf abzielen Brennmaterial, Sauerstoff und Hitze voneinander zu trennen (engl. *fire triangle concept*). Obwohl diese sich auf einer „niedrigen“ Ebene als die verschiedenen Arten der Kontrolle, die zu Beginn dieses Abschnitts dargestellt wurden, abspielen, werden

5. Waldbrandsimulation

auch diese Methoden als Strategien bezeichnet. Die Grenzen zwischen Strategie und Taktik sind hier allerdings fließend.

Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz dieser Methoden ist der *Prozess der Ressourcenzuordnung* (engl. *size up*), der darin besteht, die verfügbaren Kapazitäten zur Feuerbekämpfung der Art des Feuers passend zuzuordnen. Wichtig ist dabei zu unterscheiden, welche Feuer unkontrollierbar sind, welche unkontrollierbar zu werden drohen und welche wenig Aufmerksamkeit verdienen. Höchste Priorität haben nach PYNE die Feuer, welche unkontrollierbar zu werden drohen (aber es noch sind).

Wenn Feuer zu groß für direkte Kontrolle sind, dann muss eine Form der Kontrolle durch Begrenzung angewendet werden. Zu diesen Formen zählen der direkte Angriff, der parallele Angriff und der indirekte Angriff, die sich jeweils auf unterschiedliche Entfernungen der Angriffslinie vom Feuer beziehen (vgl. Abbildung 7). Beim *direkten Angriff* liegt die Angriffslinie am Feuer an, während sie beim *parallelen Angriff* um eine kurze Entfernung zurückgesetzt ist, wobei die Angriffslinie der Form des Feuers angepasst wird. Hier können z. B. Schneisen in den Wald geschlagen werden. Dabei wird dem Feuer durch Abholzung und Abtransport das Brennmaterial entzogen.¹ Beim *indirekten Angriff* werden beim Zurücksetzen der Angriffslinie auch vorhandene Barrieren wie z. B. Flüsse, Straßen oder auch verbranntes Brennmaterial (engl. *cold trailing*) mit einbezogen. Feuer, die die Kapazität der FWEn überschreiten, können nur mit der indirekten Methode erfolgreich bekämpft werden. In der Praxis werden auch hier die genannten Methoden miteinander kombiniert. Die Auswahl der richtigen Strategie hängt dabei immer vom Entwicklungsstadium und der Art des Feuers (Boden, Oberfläche, Baumkrone), der Art des Brennmaterials und von der Art und Menge der verfügbaren Feuerwehreinheiten bzw. der Löschkapazität ab [PYNE 1984, S. 355, 362].

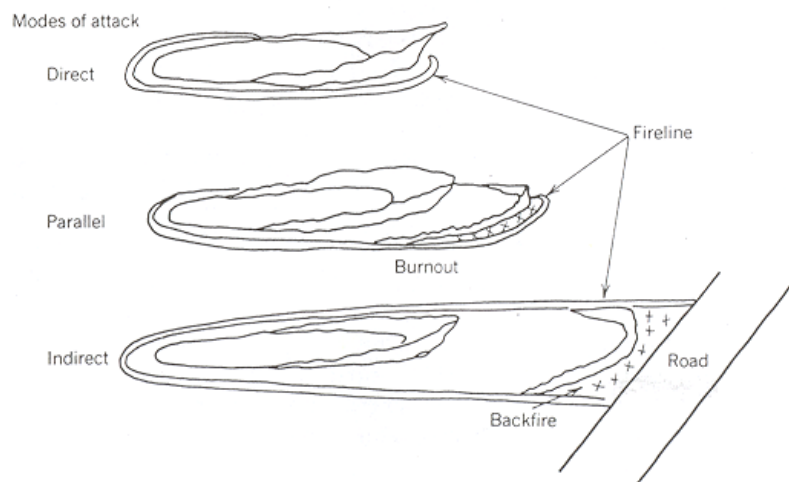


Abbildung 7: Strategien zur Kontrolle von Feuern [aus PYNE 1984, S. 356]

¹SCHOTT & RITTER (1991, S. 212) weisen darauf hin, dass solche Waldbrandriegel nur in extremen Situationen z. B. bei Großwaldbränden notwendig sind. Bei ungünstiger Wetterlage sind Schneisen von ca. 300 m Breite notwendig, um ein voll entfaltetes Feuer aufzuhalten.

5. Waldbrandsimulation

SCHOTT & RITTER (1991, S. 206 ff.) geben einige praktische Handlungsanweisungen, die als *Taktiken* zur Bekämpfung von Waldbränden zu betrachten sind. Ihnen zufolge ist bei der Bekämpfung von Waldbränden der *Feuersaum* (i. e. die Feuerfront) mit seiner vorgewölbten Spitze stets der Einsatzschwerpunkt, um eine weitere Ausbreitung des Feuers zu verhindern. Jede nachlöschende Arbeit auf der vom Feuer bereits verbrannten Fläche ist sinnlos, solange der „fressende Feuerkranz“ nicht abgelöscht ist. Das wichtigste Löschmittel für alle Waldbrände ist das Wasser. Daneben werden auch Schaum oder Feuerpatschen, mit denen man kleinere Feuer ausdrückt, verwendet.

Bei der Bekämpfung eines Waldbrands geht man folgendermaßen vor: Man versucht zuerst, den durchgehenden Feuersaum zu zerschneiden, also eine Bresche zu schlagen. Als zweiten Schritt versucht man diese Bresche zu erweitern, indem man den Feuersaum nach beiden Seiten ablöscht (vgl. Abbildung 8). Durch die Verringerung der Breite des brennenden Feuersaums lässt die Intensität und die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Brandes sofort nach. Besonders hervorgehoben wird von den Autoren, dass das „Bespritzen brennender Baumkronen und des Geländes vor dem Erscheinen des Feuersaums mit Wasser [...] Wasserverschwendung und sinnlos [ist]“ [SCHOTT & RITTER 1991, S. 209]. Wenn die Ausbreitung eines Waldbrands aufgehalten worden ist, erfolgt das Nachlöschen des Feuers vom Rand der Brandstelle her nach innen. Nach den Nachlöscharbeiten muss die gesamte Brandfläche durch eine Brandwache kontrolliert werden, um das erneute Aufflammen von Feuern zu verhindern [SCHOTT & RITTER 1991, S. 212] [PYNE 1984, S. 353].

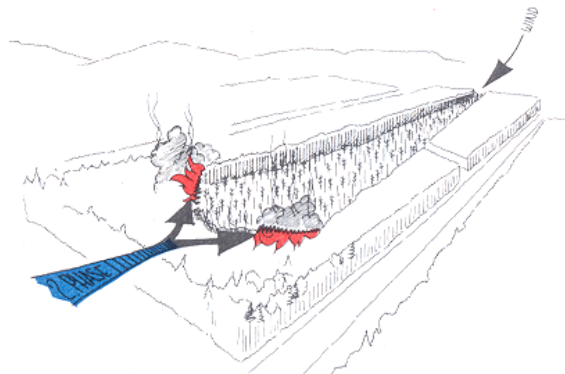


Abbildung 8: Teilung des Feuersaums als Taktik zur Feuerbekämpfung [aus SCHOTT & RITTER 1991, S. 207]

5.3. Beispiele für Waldbrandsimulationen

Unter der Vielzahl von computergestützten Simulationen stellt das „Waldbrandszenario“ eine häufig verwendete Domäne zur Untersuchung von Problemlösungsprozessen dar. Auch in dieser Arbeit wird eine Waldbrandsimulation für die empirische Untersuchung eingesetzt. Im folgenden Abschnitt werden deshalb verschiedene Beispiele von Simulationen, denen dieses Szenario zugrunde liegt, dargestellt. Neben dem Aufbau und den Eigenschaften der Simulationen werden auch Strategien berichtet, die in diesen künstlichen Umwelten zur Feuerbekämpfung eingesetzt werden können.

5.3.1. Die Waldbrandsimulation „Fire Fighting“ von Brehmer (1987)

Die Idee ein Waldbrandszenario als Umgebung für die Untersuchung von komplexen Problemlösungsprozessen zu benutzen geht auf BREHMER & ALLARD (1987 bzw. 1990) zurück. Die charakteristischen Eigenschaften dieses Szenarios werden im Folgenden berichtet.

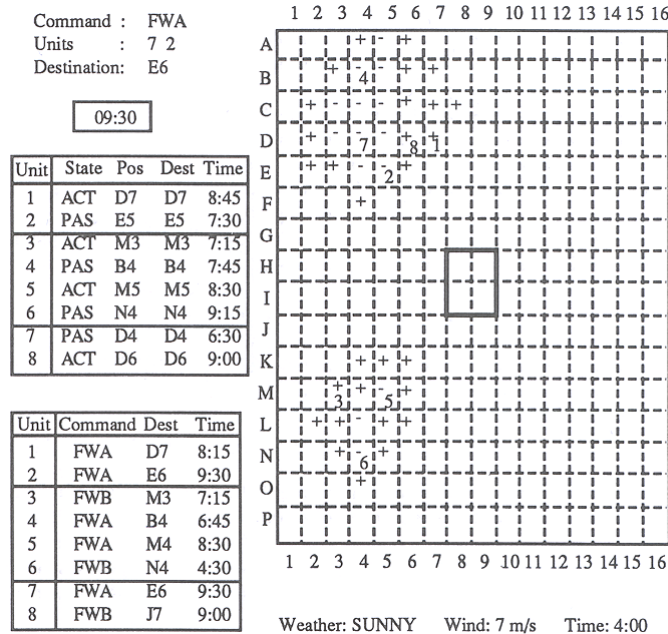


Abbildung 9: Die Benutzeroberfläche der Waldbrandsimulation *Fire Fighting* [aus BREHMER & ALLARD 1987, S. 277]

Allgemeine Aufbau Der Problemlöser übernimmt in dieser Simulation die Rolle eines Einsatzleiters einer Feuerwehrmannschaft, der von einem Aufklärungsflugzeug aus die Entwicklung des Waldbrandes verfolgt und die Bekämpfung des Waldbrandes durch die Feuerwehreinheiten (FWEn) lenkt. Wie man in Abbildung 9 erkennen kann, besteht die Benutzeroberfläche aus insgesamt fünf Displays, die unterschiedliche Informationen liefern. Das Waldgebiet ist in Form einer zweidimensionalen Karte (Vogelperspektive) aufgebaut, die in schachbrettartige Felder unterteilt ist. Die verschiedenen Objekte und deren Standorte auf der Karte werden durch Symbole dargestellt, wobei z. B. brennende Feuer durch Plus-Zeichen (+), gelöschte Feuer durch Minus-Zeichen (-) und Fahrzeuge durch eine Zahl angezeigt werden (1, 2, 3, ...). In der Mitte der Karte befindet sich die „Basis“ der Feuerwehr, welche durch einen dick umrandetes Quadrat kenntlich gemacht ist. Über das Display links oben können den FWEn Befehle zugewiesen werden z. B. einen Zielort anzufahren. Das kleine Display darunter zeigt die aktuelle Simulationszeit an. Auf dem Feld darunter sieht man den aktuellen Zustand der FWEn (z. B. aktuelle Aktivität, Position, Ziel,...). Das Feld links unten gibt eine Übersicht über die zuletzt erteilten Befehle für jede FWE. Weiterhin werden unter der Waldkarte auch Umweltinformationen über Windstärke oder Wetterlage dargeboten. Die Informationen werden pro Zeiteinheit aktualisiert, die einer

5. Waldbrandsimulation

Zeitdauer von 20 Sekunden entspricht [BREHMER 1995, S. 109 ff.].¹

Die insgesamt acht Feuerweereinheiten unterscheiden sich in ihrer Effizienz. D. h. manche Einheiten sind doppelt so leistungsfähig wie alle anderen. An Handlungsmöglichkeiten stehen dem Problemlöser zum einen ‚direkte Kontrolle‘ („FWA“-Kommando) zum anderen ‚Delegation‘ („FWB“-Kommando) zur Verfügung. Bei direkter Kontrolle löschen die FWEn nur an den angegebenen Zielorten. Bei Delegation wählen die FWEn selbst die Feuer aus, die sie löschen. Das bedeutet, dass die FWEn auch Feuer löschen, die sie auf dem Weg zu einem vorgegebenen Ziel entdecken.

Zielvorgaben Das Ziel in diesem Szenario ist erstens die „Basis“ der Feuerweereinheiten zu schützen. Zweitens sollen so schnell wie möglich alle Feuer gelöscht werden. Die Simulation endet, wenn alle Feuer gelöscht sind oder die Feuer die Basis erreicht haben.

Eigenschaften BREHMER & ALLARD (1987, S. 278) beschreiben ihr Waldbrandszenario anhand der folgenden Eigenschaften. Dabei treffen sie aber keine Aussage über die Höhe der Ausprägung für ihre Waldbrandsimulation:

- *Komplexität:*
 - Anzahl der Prozesse (i. e. Anzahl der Feuer)
 - Anzahl der Handlungsmöglichkeiten (i. e. Anzahl der FWEn)
 - Anzahl der Ziele (i. e. Basis schützen und Wald schützen)
- *Feedback-Verzögerungen*
- *Qualität der Information:* Genauigkeit und Aktualität (bzw. Verzögerung)
- *Beziehung zwischen dem kontrollierenden und dem kontrollierten Prozess:* Beziehung zwischen dem Feuer und den Handlungsmöglichkeiten der FWEn
- *Änderungsrate:* Taktdauer
- *Delegation von Entscheidungsgewalt:* Kontrolle vs. Autonomie
- *Art des Systems:* deterministisch vs. probabilistisch

Anforderungen BREHMER (1990, S. 262) hat in diesem Szenario versucht, die Anforderungen eines dynamischen Problems zu simulieren (vgl. Abschnitt 2.2). Nach BREHMER ist eine entscheidende Anforderung an einen Feuerwehrkommandanten, dass er seine Entscheidungen in Realzeit machen muss. Das bedeutet, dass der Kommandant nicht nur *richtige Entscheidungen* in der *richtigen Reihenfolge* machen muss, sondern auch zur *richtigen Zeit*. Weiterhin muss er in der Lage sein, zwischen unterschiedlichen Perspektiven zu wechseln, die z. B. bei ihm selber vorliegen oder bei einem Feuerwehrmann vor Ort, der ein bestimmtes Feuer zu löschen hat.

¹ *Newfire*, eine neuere Version des Waldbrandszenarios von LÖVBORG & BREHMER (1991) (zit. nach BREHMER 1992, S. 238) ermöglicht auch die Variation von ökonomischen Faktoren (z. B. Kosten).

Strategien An dieser Stelle soll nicht auf Strategien der allgemeinen Informationsverarbeitung im Sinne von Feedforward- und Feedback-Strategien eingegangen werden, sondern auf domänenspezifische Strategien dieses Szenarios. BREHMER (1995, S. 105) geht von drei möglichen Strategien aus. Dabei vermutet er, dass diese Strategien für alle spatio-temporalen Probleme grundlegend sind, ob es sich nun um Feuerbekämpfung oder militärische Operationen handelt. Zu diesen Strategien gehören der ‚direkte Angriff‘, z. B. durch das Löschen des Feuers, das ‚Umzingeln‘, wodurch ein Feuer von mehreren Seiten bekämpft wird, und das ‚Teilen‘, wobei z. B. ein großes Feuer in kleinere Feuer aufgespalten wird, die anschließend einzeln bekämpft werden. Ein direkter Angriff ist dabei nur bis zu einer bestimmten Größe des Waldbrands möglich, was in diesem Szenario bedeutet, dass man warten muss, bis das Feuer von alleine abgebrannt ist. BREHMER (1990, S. 272) bezeichnet auch die Delegation von Kontrolle als eine mögliche Strategie bei der Feuerbekämpfung. Weiterhin berichten BREHMER & ALLARD (1987, S. 282) aus ihren Untersuchungen zwei als Taktiken bezeichnete Vorgehensweisen, die von Versuchspersonen angewendet werden. Sie reagieren einerseits zunehmend *schneller* auf ausbrechende Feuer, aber auch zunehmend *massiver*, was die Anzahl der eingesetzten Feuerwehreinheiten betrifft. D. h. die Anzahl der Takte, in denen Feuerwehreinheiten kein Feuer löschen wird immer geringer [vgl. auch BREHMER 1990, S.272]. Nach BREHMER (1992, S. 230) hängt die Wahl der eingesetzten Strategien von der Beziehung zwischen kontrollierendem und kontrollierten Prozess ab, der in diesem Fall aus einem linearen (Feuerbekämpfung) und einem anderem linearen Prozess (Feuerausbreitung) besteht.¹ In Abbildung 10 ist die Interaktion der beiden Prozesse nochmal veranschaulicht. Danach ist der Prozess der Feuerausbreitung (vgl. *fire*) nur bis zu einem bestimmten Zeitpunkt (vgl. *time*) bzw. flächenmäßigen Ausdehnung (vgl. *area*) durch den Prozess der Feuerbekämpfung (vgl. *fire fighting process*) kontrollierbar. Danach kann das Feuer nicht mehr unter Kontrolle gebracht werden.

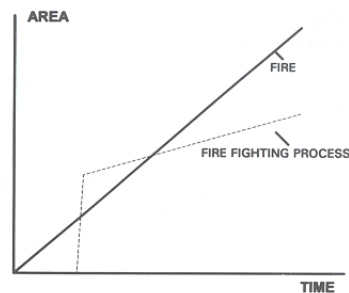


Abbildung 10: Diese Abbildung zeigt die Interaktion von Feuerausbreitung und Feuerbekämpfung als lineare Funktionen [BREHMER 1995, S. 105]

¹BREHMER beschreibt die Feuerausbreitung an verschiedenen Stellen in widersprüchlicher Weise. An manchen Stellen wird Feuer als linearer Prozess, an anderer Stelle als exponentieller Prozess beschrieben [vgl. BREHMER & ALLARD 1987, BREHMER 1992].

5.3.2. Die Waldbrandsimulation „WinFire“ von Dörner & al. (1989)

Auch die Arbeitsgruppe um Dietrich DÖRNER (1989) hat nach dem Vorbild von BREHMER & ALLARD (1987/1990) eine Waldbrandsimulation zur Untersuchung von komplexen Problemlösungsprozessen entwickelt [DÖRNER 1989, S. 140 ff.] [DÖRNER 1996] [DÖRNER, GERDES & PFEIFFER 2001]. Diese ist folgendermaßen aufgebaut:

Allgemeiner Aufbau In diesem Szenario ist der Proband ebenfalls in der Rolle eines Feuerwehrrkommandanten, der eine Reihe von Löscheinheiten befehligt. Die zweidimensionale Karte ist aus Feldern mit Wäldern, Häusern, Ödländern und Wasserstellen aufgebaut. Dabei können nicht nur Wälder und Häuser verbrennen, sondern auch Wasserstellen (!), die es deshalb besonders zu schützen gilt.

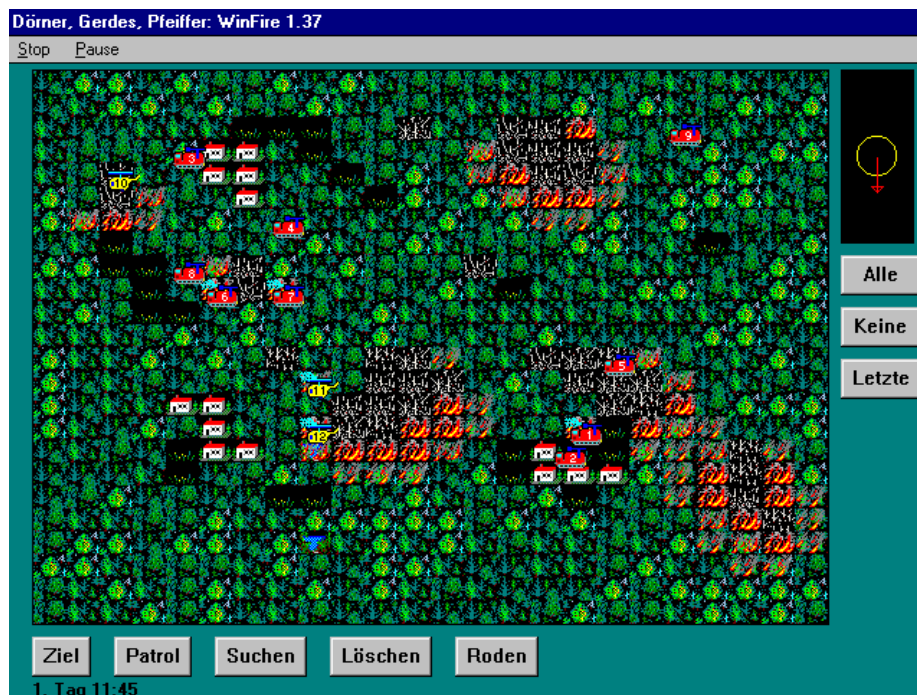


Abbildung 11: Ein Szene aus der Simulation *Winfire* von DÖRNER ET AL. (2001)

Als Löscheinheiten sind zum einen schwere Raupenfahrzeuge vorhanden, die sowohl große Mengen an Löschwasser mit sich führen, als auch Schneisen durch den Wald bahnen können. Zum anderen stehen dem Kommandanten noch Löschhubschrauber zu Verfügung, die sich zwar schnell fortbewegen, aber wenig Löschwasser mit sich führen.

Der Kommandant kann zwischen verschiedenen Befehlen wählen, die das Verhalten der Einheiten bestimmen. Mit *Bewegungsbefehlen* können Einheiten zu bestimmten Zielen geschickt werden („Ziel“) oder angewiesen werden sich nur in bestimmten Gebieten zu bewegen („Patrouillieren“). Durch *Aktionsbefehle* kann Einfluss darauf genommen werden, ob ein gesichtetes Feuer selbstständig durch die Einheiten gelöscht werden soll („Löschen-Ein“) oder ob der zusätzliche Löschbefehl des Einsatzleiters notwendig ist („Löschen-Aus“). Außerdem können die Löscheinheiten angewiesen werden, selbstständig nach Feuern zu suchen („Suchen-Ein“) und hinzufahren oder bei leerem Tank am See Wasser zu tanken.

5. Waldbrandsimulation

Zusätzlich können Raupenfahrzeuge auch zum „Roden“ eingesetzt werden. Abbildung 11 zeigt einen Ausschnitt aus einer laufenden Simulation.

Ziele In Anlehnung an BREHMER & ALLARD (1987) ist die Aufgabe, „daß möglichst viel von dem Wald und auf jeden Fall das Dorf vor Waldbränden bewahrt werden“ [DÖRNER 1989, S. 140].

Eigenschaften Dieser Simulation liegen ähnliche Eigenschaften zugrunde, wie sie bereits BREHMER & ALLARD (1987, S. 278) ausführlich beschreiben. Auch DÖRNER (1996, S. 49) charakterisiert die Bekämpfung von Waldbränden „fast als paradigmatisch für viele Formen des Handelns in komplexen Bereichen“. Die Betonung liegt hier aber weniger auf dem dynamischen Aspekt der Umgebung, da die Simulation während der Befehlseingabe der Probanden anhält [DÖRNER 1996, S. 52].

Anforderungen Problemlösen erfordert die Fähigkeit, auch unter Zeitdruck¹ richtig zu handeln. Man muss dazu einerseits die Übersicht behalten und zukünftige Entwicklungen antizipieren, aber auch schnell analysieren, entscheiden und seine Maßnahmen planen. Gegebenenfalls müssen auch Ziele und Schwerpunkte in Abhängigkeit von den vorliegenden Bedingungen verlagert werden DÖRNER (1996, S. 49 f.) .

Strategien DÖRNER & PFEIFER (1992, S. 78) heben als charakteristisches Merkmal des „Feuer“-Szenarios hervor, „daß es kaum immer richtige oder auf jeden Fall falsche Strategien gibt“. DÖRNER (1996, S. 141) berichtet trotzdem über verschiedene Strategien, die im Waldbrandszenario erfolgreich eingesetzt werden können und beschreibt sie in Form von Produktionsregeln („Wenn-Dann-Regeln“) (vgl. Tabelle 5). Er betont dabei, dass aus einer Strategie keine allgemeinen Regeln abgeleitet werden können, sondern die Gesamtkonstellation der Bedingungen berücksichtigt werden muss, um zu richtigen Entscheidungen zu gelangen. DÖRNER (1996, S. 55) unterscheidet zwischen taktischen und strategischen Befehlen, wobei taktische Befehle unmittelbar die Brandbekämpfung betreffen, d.h. auf alle Befehle zutrifft, die eine Feuerweereinheit zu einem Waldbrand hinlenken, während strategische Befehle, dann vorliegen, wenn Einheiten zu Orten geschickt werden, an denen keine Feuer brennen, die aber „strategische“ Bedeutung haben, z. B. an Engstellen.

5.3.3. Die Waldbrandsimulation „Phoenix“ von Cohen & al. (1989)

Während BREHMER & ALLARD oder DÖRNER Waldbrandsimulationen dazu benutzen, das Verhalten von Menschen in Auseinandersetzung mit komplexen Systemen zu verstehen, werden im *Phoenix*-Projekt von COHEN, GREENBERG, HART & HOWE die Anforderungen untersucht, die ein Team *künstlicher* Agenten in einer solchen Umwelt erfüllen muss.

Allgemeiner Aufbau Das *Phoenix*-System besteht aus reaktiven, planenden Agenten, die Waldbrände in einer simulierten Umgebung zu löschen versuchen. Als Umwelt wird eine

¹Dadurch dass die Simulation während der Befehlseingabe anhält, ist der Zeitdruck allerdings verringert.

5. Waldbrandsimulation

STRATEGIE	
BEDINGUNG	AKTION
kein Feuer vorhanden	Schneisen ziehen „Prävention“
-kleine Feuer -geringe Windstärke -Waldgebiet klein -viele Einheiten vorhanden	Einheiten über das Gebiet verteilen „Entstehungsbrände löschen“
-Waldgebiet ist nicht vollständig kontrollierbar -Wind zu stark	wenige Waldbrände bekämpfen „Einheiten konzentrieren“
-genügend Einheiten -genügend Löschwasser -nahe an Brandherden (treffen rechtzeitig ein)	mehrere Brände bekämpfen „Einheiten verteilen“
-nicht genügend Einheiten -lange Anfahrtswege -Barriere in Windrichtung	Feuer brennen lassen „Schaden begrenzen“
TAKTIK	
BEDINGUNG	AKTION
-genügend Feuerwehreinheiten -genügend Löschwasser -Feuer nicht zu groß -Wind nicht zu stark	Feuerfront bekämpfen „Feuer aufhalten“
-Feuer sehr groß -Wind sehr stark -wenige Einheiten	Feuerflanke bekämpfen „Feuer lenken“

Tabelle 5: Strategien und Taktiken in einem Waldbrandszenario in Form von Produktionsregeln [nach DÖRNER 1989, S. 141 ff. und DÖRNER 1996, S. 49]

detaillierte virtuelle Karte des Yellow-Stone-Nationalparks in den nördlichen Rocky Mountains der USA verwendet. Die natürlichen Einflussfaktoren auf das Feuerverhalten (z. B. Wind, Feuchtigkeit, geographischen Daten wie Hangneigung und u. a.) sowie das Verhalten des Feuers (z. B. Ausbreitungsgeschwindigkeit) oder der Feuerwehreinheiten werden sehr realistisch modelliert.

Dem Feuerwehrkommandanten (engl. *fire boss*) stehen mehrere Bulldozer zur Verfügung, die von ihm koordiniert werden. Es können unterschiedliche Organisationsstrukturen realisiert werden, da der Grad an Autonomie jedes Agenten höher oder niedriger eingestellt werden kann. So ist es z. B. möglich, den Feuerwehrkommandanten jede einzelne Aktion des Agenten regeln zu lassen. Aber auch eine verteilte Organisation, in der die Agenten ohne Beteiligung des *fire boss* ihre Pläne untereinander aushandeln, ist realisierbar. Desweiteren können über eine Benutzerschnittstelle die Bulldozer auch durch menschliche Agenten gesteuert werden [COHEN ET AL. 1989, S. 34 f.].

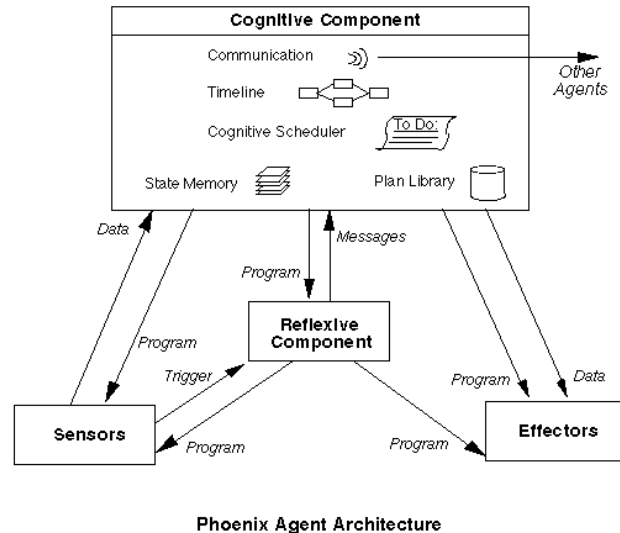


Abbildung 12: Agentenarchitektur der Waldbrandsimulation *Phoenix* nach COHEN ET AL. (1989)

Eigenschaften der Umwelt COHEN ET AL. (1989, S. 34, 37) beschreiben das Gesamtsystem von *Phoenix* als eine sich fortlaufend verändernde, dynamische und räumlich verteilte Umgebung, in der sich ein Multiagentensystem befindet. Veränderungen sind nicht vorhersagbar. Die Unbestimmtheit wird durch die lokale Sichtweise der Agenten noch erhöht. Auch dem Multiagentenplaner (der *fire boss*-Agent) stehen zwar die lokalen Informationen der Agenten zur Verfügung, die ihm berichtet werden. Darüberhinaus sind ihm allerdings keine Informationen des Systems zugänglich, weswegen er nur eine eingeschränkte globale Sicht besitzt [COHEN ET AL. 1989, S. 34, 37].

Anforderungen und Architektur der Agenten Die Agenten müssen Fähigkeiten besitzen, um die Komplexität, Dynamik und Unbestimmtheit der Umwelt bewältigen zu können. Dazu müssen sie ihr Verhalten an situationale Gegebenheiten anpassen (Reaktivität) und in Echtzeit handeln können. Die Bekämpfung von Waldbränden als konzertiertes Vorgehen erfordert darüberhinaus die (verteilte) Entwicklung und Koordination von Plänen, wozu Kommunikation notwendig ist. Informationen müssen gesammelt (u. a. durch Kommunikation) und integriert werden. Vorausschauendes Handeln und Einschätzen der „Entfernung“ bis zum Erreichen eines Ziels stellen weitere Anforderungen dar, wobei auch begrenzte Ressourcen sinnvoll zugeteilt werden müssen [COHEN ET AL. 1989, S. 33, 35, 37].

Um diese Anforderungen zu erfüllen werden hybride Agenten eingesetzt, die eine reflexiv reagierende und eine kognitive Komponente besitzen. Diese arbeiten weitgehend unabhängig von einander, wobei jede Komponente Zugang zu den Sensoren und Effektoren des Agenten hat. Die reflexive¹ Komponente dient dazu, schnelles Reagieren mit geringem Berechnungsaufwand zu ermöglichen. So kann z. B. ein Agent, der sich bei der Ausführung eines Planes

¹„Reflexiv“ wird von COHEN, GREENBERG, HART & HOWE (1989, S. 40) im Sinne von Reaktion bzw. Aktionsauswahl verstanden, bei der kaum Informationsverarbeitung stattfindet. Stattdessen lösen Sensorinformationen direkt Aktionen aus.

auf ein Feuer zubewegt, durch die reflexive Komponente umgelenkt werden, ehe der Agent Schaden nimmt. Dies kann die kognitive Komponente aufgrund ihrer Trägheit nicht leisten. Stattdessen ist sie für die Entwicklung bzw. Auswahl von Plänen aus einer Planbibliothek (engl. *plan library*) zuständig, für die Vorhersage zukünftiger Ereignisse, für die zeitliche Koordination der Aktivitäten (engl. *scheduling*) und die Kommunikation mit anderen Agenten [COHEN ET AL. 1989, S. 39 ff.]. In Abbildung 12 sind diese Zusammenhänge nochmals veranschaulicht.

Neben der Architektur der einzelnen Agenten ist auch die Organisation der Agenten wichtig. Sie besteht aus einem Feuerwehrkommandant-Agenten (engl. *fire boss*) sowie Bulldozer- und Wachturm-Agenten. Der Feuerwehrkommandant koordiniert alle Aktivitäten der Feuerwehreinheiten durch die Ausgabe von „Direktiven“ und erhält im Gegenzug Statusberichte über die aktuelle Position der Einheit, beendete Aktionen oder gesichtete Feuer. Durch die Integration dieser Informationen steht ihm eine eingeschränkte globale Sicht¹ zur Verfügung. Die ausgegebenen Direktiven werden durch die Agenten durch die Auswahl lokaler Pläne umgesetzt. Kommunikation spielt sich bei dieser Art der Organisation nur zwischen dem *fire boss* und den anderen Agenten ab, nicht aber zwischen diesen Agenten [COHEN ET AL. 1989, S. 43].

Strategien Den Agenten stehen verschiedene Strategien zur Verfügung, zu denen der *indirekte* und der *parallele Angriff* (vgl. Abschnitt 5.2.3) zählen, wobei unter Ausnutzung von natürlichen Barrieren (z. B. Flüsse), durch das Roden von Schneisen durch Bulldozer oder das Legen von Gegenfeuern, die Ausbreitung der Brände unter Kontrolle gebracht werden soll [COHEN ET AL. 1989, S. 35].

6. Empirische Befunde

Nachdem der theoretische Hintergrund dieser Arbeit ausführlich dargestellt worden ist, soll in diesem Abschnitt ein Überblick über zentrale Ergebnisse der bisherigen Forschung gegeben werden. Der Gliederung der Befunde liegt die Systematik von FUNKE (1990) zugrunde, der Merkmale des *Systems*, der *Situation* und der *Person* unterscheidet. Im letzten Abschnitt werden zusätzlich Untersuchungsergebnisse zu Gütekriterien von Maßen der Problemlöseleistung vorgestellt, da diese entscheidend für die Aussagekraft der Ergebnisse sind.

6.1. Einfluss von Systemmerkmalen

Untersuchungen zu den Einflüssen von Systemmerkmalen auf das Problemlösen werden meist in Form von Experimenten durchgeführt, bei denen einzelne Merkmale kontrolliert variiert werden. Aufgrund dabei gewonnener Ergebnisse zur Problemlöseleistung können Aussagen über die Entwicklung kognitiver Modelle und Ziele der Problemlöser aufgestellt

¹Im Gegensatz zu menschlichen Problemlösern, die meist eine globale Sicht aus der Vogelperspektive (von außen) auf das Szenario haben, sind hier die Agenten, darunter auch der Feuerwehrkommandant, in das Gesamtsystem integriert.

werden. Systemmerkmale, die schlecht oder falsch repräsentiert sind, sollten zu einer Verschlechterung der Problemlöseleistung führen [BREHMER 1992, S. 228].

Komplexität BREHMER (1992, S. 231) stellt fest, dass es trotz der zentralen Bedeutung des Konzepts *Komplexität* für das Problemlösen, kaum systematische Untersuchungen zum Einfluss von Komplexität auf die Problemlösungsgüte gibt. Möglicherweise liegt der Grund in der Trivialität der Fragestellung begründet, obwohl trotzdem interessante Fragen denkbar sind. So könnte man z. B. die Art des Zusammenhangs von Komplexität mit der Problemlösungsgüte oder das Vorliegen einer möglichen ‚kritischen Schwelle‘, ab der die Leistung plötzlich stark absinkt, untersuchen. MACKINNON & WEARING (1980) berichten beispielsweise, dass durch starke negative Feedbackschleifen ein System sehr träge und stabil wird. Das führt dazu, dass sich Variationen der Komplexität, gemessen an der Anzahl der Elemente des Systems, kaum mehr auf die Leistung der Vpn auswirken. Auch ungünstige Eingriffe der Vpn können den Zustand des Systems nicht mehr aus dem Gleichgewicht bringen. Nach Ergebnissen von HUSSY & GRANZOW (1986, zit. nach FUNKE 1988, S. 293) verringert sich mit ansteigender Zahl der verwendeten Variablen bzw. Zahl der non-linearen, interagierenden Funktionen die Problemlösungsgüte.

Dynamik FUNKE (1990, S. 150) beschreibt ein Experiment von MÜLLER, FUNKE & RASCHE (1988), in dem die Auswirkungen unterschiedlich hoher *Eigendynamik* auf das berichtete Kausalwissen und die Problemlöseleistung untersucht wird. Es zeigen sich dabei signifikante negative Effekte der wachsenden Eigendynamik auf das Kausalwissen bzw. die Güte der Systemsteuerung. BREHMER (1992, S. 235) berichtet von Experimenten mit dem Waldbrandszenario, bei denen die Änderungsrate (engl. *rate of change*) durch eine Verkürzung der Taktdauer erhöht wird, was zu einer Verschlechterung der Leistungen führt.

Konnektivität Eine besondere Schwierigkeit im Umgang mit komplexen Systemen stellt die *Konnektivität* der Variablen dar. Menschen neigen dazu in ‚Kausalketten‘ statt in ‚Kausalnetzen‘ zu denken [DÖRNER 1981, S. 167]. Das führt dazu, dass in hochgradig vernetzten Systemen die Neben- und Fernwirkungen des eigenen Handelns nicht ausreichend berücksichtigt werden [vgl. auch BREHMER & DÖRNER 1993, S. 181]. Empirische Belege dafür liefern u. a. die Untersuchungen von DÖRNER ET AL. (1994) zum System *Lohhausen*, in dem die Vp als Bürgermeister eine Kleinstadt verwalten soll. Auch die Art der Verknüpfung zwischen Variablen ist ein wichtiger Einfluss auf die Problemlöseleistung. So stellen BREHMER & DÖRNER (1993, S. 181) fest, dass non-lineare Vorgänge von Probanden typischerweise als linear wahrgenommen werden, während oszillierende Funktionen chaotisch erscheinen. Diese Befunde werden sogar soweit verallgemeinert, dass von einem Versagen des ‚linearen Denkens‘ und einer generellen kognitiven Überforderung des Menschen bei der Bewältigung von Umwelt- und Wirtschaftsproblemen gesprochen wird [FUNKE 1988, S. 279]. Obwohl vielfältige Hinweise auf die Schwierigkeiten von Menschen bei der Handhabung exponentieller Prozesse vorliegen, ist diese pauschale Aussage so nicht ganz zutreffend. THALMAIER (1979, S. 408) zeigt in seiner Simulation *Mondlandung*, dass Vpn

nicht zwangsläufig mit non-linearen Prozessen überfordert sind. Auch BREHMER (1992, S. 236) beobachtet in einem Waldbrandszenario, dass Vpn durchaus auch Prozesse, die exponentiellen Verläufen folgen, in diesem Fall die Feuerausbreitung, mit Hilfe von (linearen) Löschvorgängen kontrollieren können. BREHMER vermutet, dass hier die visuelle Darstellung der Feuerausbreitung bzw. der Aktivitäten der Feuerwehreinheiten eine wichtige Voraussetzung bildet. Generell fordert er, dass nicht nur die Art des kontrollierten Prozesses, sondern auch die des kontrollierenden Prozesses berücksichtigt werden muss.

Semantische Einbettung HESSE, SPIES & LÜER (1983) zeigen, dass die semantische Einbettung einer Problemlöseaufgabe durchaus auch Einfluss auf die Problemlösequalität haben kann. In ihrer Untersuchung mit dem System *Epidemie* ist es die Aufgabe der Vp als Leiter einer Gesundheitsbehörde, entweder eine harmlose Grippe-Epidemie oder eine gefährliche Pocken-Epidemie zu bekämpfen. Die unterschiedliche semantische Einbettung des gleichen Strukturgleichungsmodells bewirkt ein unterschiedliches Maß an Betroffenheit der Vpn. Es zeigt sich, dass Vpn bei größerer Betroffenheit im Fall der Pocken-Epidemie auch eine höhere Problemlösequalität erbringen, intensiver arbeiten und effektivere Maßnahmen ergreifen. BECKMANN (1994) kommt dagegen zu dem Ergebnis, dass bei semantischer Einbettung eines Systems von Vpn weniger über dessen Struktur gelernt wird. Es verwendet dabei das abstrakte System *Maschine*, das er dem semantisch eingebetteten, aber strukturgleichen System *Kirschbaum* gegenüberstellt. VOLLMEYER & FUNKE (1999, S. 215) stellen fest, dass insgesamt noch zu wenige kontrollierte Experimente vorliegen, um sichere Aussagen treffen zu können.

6.2. Einfluss von Situationsmerkmalen

Situationsmerkmale stellen den untersuchungstechnischen Kontext dar, in den die Bearbeitung einer Simulation eingebettet werden kann [FUNKE 1990, S. 146]. Wichtige Merkmale sind z. B. die Transparenz des System oder die Aufgabenstellung.

Transparenz PUTZ-OSTERLOH & LÜER (1981) führen mit Hilfe des Systems *Schneiderwerkstatt* ein Experiment durch, bei dem die Transparenz variiert wird. Bei ‚Transparenz‘ erhalten die Vpn im Gegensatz zur Kontrollgruppe Informationen über den Zustand und wichtige Beziehungen der Variablen. Das führt dazu, dass die Vpn der Experimentalgruppe bessere Leistungen erbringen. In Übereinstimmung mit diesem Ergebnis berichtet FUNKE (1988, S. 293) eine Untersuchung von HUSSY & GRANZOW (1986), die ebenfalls feststellen, dass eine geringe Transparenz des Problems die Problemlösungsgüte verringert.

Aufgabenstellung Der Einfluss der Aufgabenstellung auf die Problemlöseleistung wird üblicherweise dadurch untersucht, dass die Spezifität der Zielvorgabe variiert wird. Bei unspezifisch formulierten Ziele werden die Vpn dazu aufgefordert, „ihr Bestes“ zugeben, bei spezifisch formulierten Zielen sollen sie dagegen bestimmte Ziele, z. B. in Form von Werten, erreichen.

EARLEY, CONNOLLY & EKEGREN (1989) lassen Vpn den Aktienpreis von verschiedenen Firmen vorhersagen, der in der Untersuchung stets nach der gleichen Formel berechnet wird. Die Vpn der einen Gruppe sollen mit ihren Schätzung maximal \$10 vom richtigen Wert abweichen (spezifisches Ziel). Die andere Gruppe wird dagegen dazu aufgefordert, ihr Bestes zu geben (unspezifisches Ziel). Es zeigt sich, dass die Vpn mit dem spezifischen Ziel schlechtere Kursschätzungen abgeben.

Auch VOLLMEYER, BURNS & HOLYOAK (1996) variieren die Zielspezifität von Vpn bei der Bearbeitung der Simulation *Biology Lab*. Der Versuch wird dabei in eine Explorations-, Anwendungs- und Transferphase unterteilt. Während der Explorationsphase erhält die eine Gruppe ein spezifisches Ziel, die andere dagegen nicht. In der Anwendungsphase sollen beide Gruppen das System auf den gleichen Zielwert bringen, den die eine Gruppe schon während der Explorationsphase erhalten hat. Hier erbringen beide Gruppen gleich gute Leistungen. In der Transferphase soll dagegen ein für beide Gruppen neuer Zielwert hergestellt werden. Dies gelang der Gruppe, die während der Explorationsphase kein spezifisches Ziel hatte, besser. VOLLMEYER ET AL. schließen daraus, dass die Gruppe mit spezifischem Ziel in der Explorationsphase geringeres Wissen erwirbt, aber dieses Wissen genauso effektiv in der Anwendungsphase einsetzen können wie die Vergleichsgruppe. Dagegen führt der Mangel an Wissen bei der Transferaufgabe zu schlechteren Leistungen.

VOLLMEYER & FUNKE (1999, S. 216) behaupten auf der Basis dieser Ergebnisse, dass die Zielformulierung zentralen Einfluss auf die Problembearbeitung hat. Wenn ein spezifisches Ziel vorgegeben ist, versuchen die Probanden dieses Ziel zu erreichen. Dabei denken sie aber wenig über die zugrunde liegenden Systemregeln nach. Daraus ergibt sich ein geringeres Wissen und eine mangelnde Transferleistung auf andere Probleme.

Feedback und Interaktion Verschiedene Autoren weisen auf die immense Bedeutung von Feedback-Schleifen innerhalb eines simulierten Systems [vgl. MACKINNON & WEARING 1980], aber auch zwischen Simulation und Mensch hin.

BREHMER beschäftigt sich vor allem mit den Auswirkungen von *Verzögerungen des Feedbacks* (engl. *feedback delays*), die er unter Verwendung eines Waldbrandszenarios analysiert. Eines der wichtigsten Ergebnisse seiner Studien besteht darin, dass schon geringe Verzögerungen Vpn in ihrer Leistung massiv beeinträchtigen. Der Grund dafür liegt darin, dass es ihnen nicht gelingt ein vernünftiges Vorhersagemodell zu entwickeln, um diese Verzögerungen zu kompensieren. Es ist dabei unerheblich, ob die Vpn nur auf die Verzögerungen aufmerksam gemacht oder genau darüber informiert werden [BREHMER 1995, S. 128].

BREHMER (1992, S. 233) betont auch die Bedeutung der Qualität des Feedbacks. Zu beachten ist dabei, dass er unter hoher Feedback-Qualität direkte und vollständige Informationen über die Folgen des eigenen Handelns versteht. So berichtet er eine Untersuchung von HASSELROT & BREHMER (1991) zum *Moro*-Szenario. In diesem Szenario soll die Versuchsperson die Lebenssituation eines Nomadenstammes in der südlichen Sahara verbessern. Dabei ist einer der häufigsten Fehler, dass die Vpn versäumen, sich nach dem Grundwasserstand zu erkundigen, der nicht automatisch angezeigt wird.

In einer anderen Studie simulieren ROST & VENT (1985, zit. nach FUNKE 1988, S. 290) die Energieversorgung deutscher Haushalte im System *Energieversorgung*. Sie variieren dabei die Rückmeldungsformen. In der analytischen Bedingung werden die Systemdaten in numerischer Form dargeboten, in der holistischen Bedingung dagegen grafisch veranschaulicht. Das Ergebnis zeigt, dass die Entscheidungsqualität bei visueller Darstellung höher ist.

FUNKE & MÜLLER (1988, S. 176 ff.) untersuchen die Auswirkungen von reinem Beobachten vs. Eingreifen auf das Systemwissen und die Systemsteuerung der Vpn an Hand der Simulation *Sinus*. In dieser Simulation soll die Populationsgröße von verschiedenen Organismen auf dem Planeten ‚Sinus‘ durch die Vpn auf einen bestimmten Zielzustand gebracht werden. Vpn, die in das System eingreifen können, zeigen zwar bessere Leistungen bei der Systemsteuerung, besitzen aber weniger Wissen als Vpn, die die Simulation nur beobachtet haben.

6.3. Einfluss von Personmerkmalen

Die Untersuchung von Personmerkmalen, die komplexe Problemlöseprozesse beeinflussen, kann zu unterschiedlichen Zwecken dienen. Sie kann dazu eingesetzt werden, das Verhalten in komplexen Situationen vorherzusagen. Desweiteren trägt sie dazu bei, gute Problemlöser zu identifizieren und die Anforderungen, die solche Aufgaben stellen, zu bestimmen [BREHMER 1992, S. 223]. Im Hinblick auf die Modellierung psychischer Prozesse können Ergebnisse auf diesem Gebiet nicht nur Hinweise auf die Bedeutung von kognitiven Eigenschaften, sondern auch von emotionalen Vorgängen erbringen, insbesondere bei Fehlhandlungen.

6.3.1. Persönlichkeitseigenschaften

Persönlichkeitseigenschaften und Emotionen gewinnen zunehmend Interesse bei der Erforschung komplexer Problemlöseprozesse. Zu den untersuchten Konstrukten gehören u.a. Selbstvertrauen, Motivation und Selbstreflexion [FUNKE 1988, S. 286].

Selbstvertrauen Von den untersuchten Konstrukten ist besonders ‚Selbstvertrauen‘ bzw. ‚Selbstsicherheit‘ hervorzuheben, wobei ‚Selbstsicherheit‘ von DÖRNER ET AL. (1994, S. 348) als „optimistisch-realistisches, selbstkritisches Zutrauen in die eigene Handlungsfähigkeit für wesentliche Lebensbereiche“ bezeichnet wird. DÖRNER ET AL. (1994, S. 347) stellen sehr bedeutsame Korrelationen von Selbstsicherheit und Problemlöseleistung fest. Untersuchungen zur ‚Selbstwirksamkeit‘ von BANDURA & WOOD (1989), in denen Vpn als Manager einer Möbelfabrik Arbeitern Aufträge erteilen, zeigen, dass Personen mit aktuell hoher Selbstwirksamkeit¹ analytischere Strategien einsetzen und besser Leistungen aufweisen [vgl. auch DÖRNER 1981, S. 168].

Motivation VOLLMEYER, ROLLETT & RHEINBERG (1997) untersuchen die Zusammenhänge von ‚Motivation‘ und Problemlöseleistung an Hand des Systems *Biology Lab*. Sie

¹Selbstwirksamkeit ist ein zentrales Konzept der Sozial-kognitiven Lerntheorie von BANDURA (1977). Es bezeichnet ein grundlegendes Gefühl der Kompetenz und Macht [STÄDLER 1998, S. 972].

finden dabei empirische Belege, die den Zusammenhang von Motivation und Problemlöseleistung bestätigen. Aufgrund der Abhängigkeit von Motivation von Erfolg oder Misserfolg betonen sie die Erfassung der Motivation nach dem Lesen der Aufgabenbeschreibung, aber vor der Bearbeitung der eigentlichen Aufgabe.

6.3.2. Intelligenz

Eine der meist diskutierten Fragen in der Forschung zum Komplexen Problemlösen stellt sicherlich die Frage zum Zusammenhang zwischen Test-Intelligenz und der Problemlöseleistung dar [SÜSS 1999]. In zahlreichen Studien [vgl. DÖRNER ET AL. 1994, DÖRNER & PFEIFER 1992 oder PUTZ-OSTERLOH 1981], wird festgestellt, dass kaum Zusammenhänge zwischen diesen Variablen bestehen, so dass DÖRNER (1986) eine ‚operative Intelligenz‘ annimmt, die durch herkömmliche Intelligenz-Tests bzw. ‚Test-Intelligenz‘ nicht vollständig erfasst wird. Als Ursachen für diesen überraschenden Befund werden verschiedene Variablen diskutiert, die diesen Zusammenhang moderierend beeinflussen [SÜSS 1999, S. 220].

Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass signifikante Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen in Intelligenztests und Problemlöseleistungen in Komplexen Szenarien nur unter transparenten Bedingung oder bei geringer Komplexität auftreten. In einer Untersuchung von PUTZ-OSTERLOH & LÜER (1981, S. 319 ff.) wird die Transparenz der Beziehungen von Variablen des Systems *Schneiderwerkstatt* variiert, indem die Vpn in der transparenten Bedingung im Gegensatz zur intransparenten Bedingung über relevante Variablen und deren Zusammenhänge informiert werden. In derselben Veröffentlichung berichten PUTZ-OSTERLOH & LÜER, dass eine Reduktion der Variablenzahl in dem Tiefseesystem *Urgos* auf eine Zahl, die mit der von Intelligenztests vergleichbar ist, auch zu einem höheren Zusammenhang zwischen Problemlöseleistung und Leistung in einem Intelligenztest führt. HUSSY & GRANZOW (1986, zit. nach FUNKE 1988, S. 293) kommen in ihren Untersuchungen zu ähnlichen Ergebnissen.

Süss (1999, S. 221 ff.) fasst den aktuellen Forschungsstand in der Aussage zusammen, dass Intelligenz ein valider Prädiktor für komplexe Problemlöseleistungen ist. Die Höhe des Zusammenhangs wird jedoch durch eine Vielzahl von Einflussgrößen moderiert. Einzelne Komponenten des Konstrukts Intelligenz, wie die ‚Arbeitsgedächtniskapazität‘ bzw. die ‚Verarbeitungskapazität‘ stellen seiner Auffassung nach den „bedeutendsten Flaschenhals“ (S. 223) hinsichtlich der Leistung bei komplexen Problemlöseaufgaben dar. Im Gegensatz dazu ist die Komponente ‚Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit‘ in dieser Hinsicht kaum von Bedeutung (S. 225).

6.3.3. Domänenspezifisches Wissen

Während in den Anfängen der Problemlöseforschung die Rolle von allgemeinen Problemlösestrategien betont wurde, weisen aktuelle Untersuchungen auch auf die Bedeutung von domänenspezifischem Wissen hin. Berücksichtigt werden müssen dabei Befunde, die zeigen, dass durchaus eine Dissoziation zwischen Problemlöseleistung und verbalisierbarem Wissen auftreten kann [BERRY & BROADBENT 1984]. BROADBENT, FITZGERALD & BROADBENT

(1986) finden in einem Experiment mit einem simulierten ‚Transport-System‘ und einem ‚ökonomischen Modell‘ Faktoren, die den Zusammenhang zwischen explizitem, verbalisierbarem Wissen und der Steuerleistung der Vpn beeinflussen. Ein hoher Wert an verbalisierbarem Wissen tritt demnach nur auf, wenn das System wenige Variablen umfasst oder die zentralen Variablen salient¹ sind.

Süss (1999) berichtet von Untersuchungen von WITTMANN, SÜSS & OBERAUER (1996) bzw. WITTMANN & SÜSS (1999), die sich mit den Zusammenhängen zwischen Vorwissen und Steuerleistung beschäftigen. Dabei verwenden sie drei realitätsnahe Simulationen (*PowerPlant*, *Schneiderwerkstatt* und *Learn*). Sie stellen substantielle und spezifische Zusammenhänge zwischen dem bereichsspezifischen Wissen und der Problemlösequalität fest, die nicht durch andere Maße vorhersagbar sind. Süss (1996) untersucht mit dem System *Tomaten* den Zusammenhang zwischen Vorwissen, Wissen, das während des Explorierens erworben wird, und der Steuerleistung der Vpn. Er findet lediglich Zusammenhänge zwischen dem Wissen, das während des Explorierens erworben wird, und der Steuerleistung, nicht dagegen zwischen Vorwissen und Leistung.

Insgesamt ergeben sich heterogene Befunde zur Wirkung von domänenspezifischem Wissen auf die Problemlöseleistung. VOLLMEYER & FUNKE (1999, S. 217) vermuten, dass Wissen über die Zusammenhänge im System nur unter den folgenden Bedingungen die Steuerleistung voraussagt: Es sollte sich dabei um ein System ohne Zeitverzögerungen oder Nebenwirkungen handeln, wobei zusätzlich zwischen einer Explorations- und einer Anwendungsphase im Umgang mit der Simulation unterschieden wird. Bei der Explorationsphase steht der Erwerb von Wissen im Vordergrund. Bei der Anwendungsphase wird das erworbene Wissen dagegen angewendet.

6.3.4. Strategien

Es werden hier einige Befunde zu domänenunspezifischen Strategien und Fehlern betrachtet, die das Handeln von Menschen in komplexen Situationen beschreiben.

BREHMER untersucht allgemeine Problemlösestrategien, wobei er diese speziell am Beispiel der *Feedforward-* bzw. *Feedback-Strategien* (vgl. Abschnitt 3.2.6) in einem Waldbrandzenario betrachtet. Er stellt dabei einen bevorzugten Einsatz der Feedback-Strategie fest, was er an Hand der Merkmale von dynamischen Entscheidungssituationen erklärt. Die Feedback-Strategie führt im Vergleich zur Feedforward-Strategie dazu, dass geringere kognitive Ressourcen beansprucht werden bzw. ein einfacheres Modell verwendet werden kann. Desweiteren wird ein Problemlöser, wenn er mit einer einfachen Strategie ausreichend erfolgreich ist, kein Bedürfnis haben, alternative Strategien zu entwickeln [BREHMER 1990, S. 267]. Desweiteren nennt BREHMER (1992, S. 235) Bedingungen für den Einsatz unterschiedlicher Strategien. Wenn Verzögerungen im System, z. B. bei Ausführung von Befehlen oder Berichten über Feuer, erst erschlossen werden müssen, setzen Vpn bevorzugt die Feedback-Strategie ein. Sind Verzögerungen jedoch sichtbar, sind Vpn auch in der Lage Feedforward-Strategien erfolgreich einzusetzen. Indikatoren für den Einsatz der voraus-

¹auffällig

schauenden Feedforward-Strategie sieht BREHMER (1990, S. 274) darin, dass Vpn lernen auf neue Feuer massiv und schnell zu reagieren, ehe sich das Feuer unkontrollierbar ausbreitet.

Alternativ zur Feedforward-Strategie ist in dem Waldbrandszenario BREHMERS auch die Delegation der Entscheidungsverantwortung, welche Feuer gelöscht werden sollen, an die Einheiten möglich. BREHMER (1992, S. 235) stellt jedoch fest, dass Vpn Delegation auch dann nicht häufiger einsetzen, wenn sie dadurch Vorteile bei der Kompensation von Verzögerungen erlangen können. Vpn neigen auch bei schlechten Leistungen dazu, im Lauf der Simulation Delegation immer weniger einzusetzen, sondern die Entscheidungsgewalt zu zentralisieren [BREHMER 1990, S. 274]. Wenn Vpn dagegen „planen“ können, setzen sie diese Möglichkeit ausgiebig ein, wobei der Einsatz im Lauf der Simulation sogar teilweise zunimmt. Als Planen bezeichnet BREHMER, dass eine Vp einer Feuerweereinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Reihe von Kommandos erteilt, die dann von der Feuerweereinheit der Reihe nach ausgeführt werden [BREHMER 1995, S. 125].

SCHAUB & STROHSCHNEIDER (1989) führen eine Untersuchung mit der Simulation *Moro* durch, bei der sie die Problemlöseleistungen von Personen mit hoher ‚heuristischer Kompetenz‘, i. e. guten Strategien, und Vpn mit niedriger ‚heuristischer Kompetenz‘ vergleichen. Repräsentativ für diese beiden Gruppen werden Manager mit Psychologie-Studenten verglichen, wobei sich zeigt, dass die Manager deutlich bessere Ergebnisse erzielen. Diese Unterschiede sind dabei nicht durch größeres domänenspezifische Wissen bedingt, sondern durch die unterschiedliche Herangehensweise. Manager sammeln mehr Informationen ehe sie Entscheidungen treffen, wobei sie sich bei Entscheidungen zurückhaltender verhalten. Desweiteren überprüfen sie auch die Folgen ihrer Entscheidungen ehe sie neue Entscheidungen fällen. Diese Vorgehensweise deckt sich auch mit Heurismen die DÖRNER & SCHÖLKOPF (1991, S. 233) als *grandmother's know-how*, i.e. ‚Großmutterregeln‘ bezeichnen, wozu sie u. a. die folgenden „Ratschläge“ zählen:

- Entwickle eine klare Zielvorstellung!
- Konzentriere Dich auf das Wesentliche!
- Versuche immer den Überblick zu behalten!
- Handle immer vorsichtig!

Im Hinblick auf allgemeine Strategien stellen VOLLMEYER & FUNKE (1999, S. 215) fest, dass sich in einer Vielzahl von Studien zeigt, dass systematischere Strategien im allgemeinen zu besseren Leistungen führen. Auch BREHMER (1992, S. 225) berichtet, dass Vpn, die mehr Informationen auf eine systematischere Weise sammeln, sich angemessene Ziele setzen und die Wirkungen ihrer Handlungen beurteilen, tendentiell bessere Leistungen erbringen [vgl. auch DÖRNER ET AL. 1994, S. 278 ff.].

Studien zum Erwerb von heuristischer Kompetenz durch ein Strategie- und Taktiktraining werden von DÖRNER ET AL. (1994, S. 122 ff.) durchgeführt. Es stellt sich allerdings heraus, dass dieses Training nicht zu signifikanten Verbesserungen der Problemlöseleistung gegenüber einer Kontrollgruppe führt. BREHMER (1992, S. 225) vermutet, dass solche

Fähigkeiten möglicherweise nicht vermittelt werden können, sondern in der Auseinandersetzung mit dem System erworben werden müssen.

6.3.5. Handlungsfehler

Einige der interessantesten Ergebnisse der Komplexen Problemlösungsforschung beziehen sich auf die Fehler, die menschliche Problemlöser im Umgang mit komplexen Szenarios bzw. bei ihren Strategien zeigen. BREHMER (1992, S. 226) unterscheidet dabei zwischen Fehlern, die in einer *fehlerhaften Zielbildung* bestehen und Fehlern, die als *Lernverweigerung* interpretierbar sind. DÖRNER (1989, S. 265 ff.) vermutet, dass diese Fehler die Folge eines niedrigen Selbstwertgefühls sind, das wiederum durch schlechte Leistungen hervorgerufen wird.

Ein Beispiel für eine *fehlerhafte Zielbildung* ist das ‚Thematische Vagabundieren‘. Dieses äußert sich darin, dass Personen relativ schnell und häufig die Themen, mit denen sie sich beschäftigen, wechseln, ohne sie jedoch wirklich abzuschließen. Diese oberflächliche Themenbehandlung interpretiert DÖRNER als Fluchtverhalten. Ein anderes Beispiel ist die ‚Verkapselung‘ (engl. *encystment*), welche dazu führt, dass Vpn sich auf spezifische (unwichtige) Ziele oder bestimmte Methoden konzentrieren, bei denen sie ein Gefühl von Kompetenz haben und das eigentliche Ziel vernachlässigen [DÖRNER 1981, S. 170] [BREHMER 1992,S.226].

Als *Lernverweigerung* wird dagegen die ‚Exkulpationstendenz‘ gewertet. Hier versuchen Vpn äußere Gründe für ihren Misserfolg zu finden (z. B. „Die Simulation ist daran schuld!“). ‚Sinkende Entscheidungsbereitschaft‘, als ein weiteres Beispiel, äußert sich hingegen in einer Abnahme der Anzahl der Entscheidungen bzw. darin, dass sie hinausgeschoben werden. Wenn Vpn Verantwortung delegieren, die besser nicht abgegeben werden sollte oder an Personen delegieren, die dafür nicht geeignet sind, bezeichnet man dies als ‚Delegationstendenz‘ [DÖRNER 1981, S. 170] [BREHMER 1992, S. 227]. Weitere Befunde zu Fehlleistungen beim Komplexen Problemlösen finden sich in DÖRNER (1981, S. 166 ff.) , DÖRNER (1989) , BREHMER & DÖRNER (1993, S. 181) , SCHAUB (1996A) und MUCK (1999, S. 21 ff.) .

Eine Auflistung und Kategorisierung von Fehlern in ihrer Waldbrandsimulation stellen DÖRNER & PFEIFER (1992, S. 81) vor. Hier werden strategische, operative und taktische Fehler unterschieden. Während bei strategischen Fehlern überwiegend eine ungeeignete Zuordnung von Feuerwehreinheiten zu einzelnen Bränden vorliegt, liegen bei den taktischen und operativen Fehlern meist Bedienungsfehler der Vpn vor, die mit der konkreten Steuerung der Einheiten zu tun haben.

6.4. Empirische Befunde zu Testgütekriterien

In diesem Abschnitt wird auf empirische Befunde zu Gütekriterien für Maße der Problemlöseleistung eingegangen. Als Gütekriterien bezeichnet man Reliabilität, Validität und Objektivität. Diese bilden die Grundlage zur Beurteilung der Genauigkeit und Aussagekraft von Ergebnissen.

Reliabilität Die *Reliabilität* ist ein Gütekriterium eines Tests, das angibt, in welchem Maße die Messwerte durch Störeinflüsse und Fehler verfälscht sind [BORTZ & DÖRING 1995, S. 625]. Sie stellt die Genauigkeit und Zuverlässigkeit einer Messung in Form einer Korrelation dar. Die Reliabilität kann dadurch bestimmt werden, dass die Ergebnisse bei der ersten Bearbeitung eines Tests mit den Ergebnissen bei der zweiten Bearbeitung korreliert werden (Retest-Reliabilität). Eine andere Möglichkeit ist, den Zusammenhang zwischen „parallelen“ Versionen eines Tests zu bestimmen (Paralleltest-Reliabilität) [DORSCH ET AL. 1994, S. 656, 546]. Parallele Versionen eines Tests weisen verschiedene, aber inhaltlich gleiche Aufgaben zu einem bestimmten Konstrukt, z. B. Intelligenz, auf. Ein Mangel an Reliabilität ist einer der wichtigsten Vorwürfe, mit denen die Aussagekraft von Ergebnissen der Komplexen Problemlöseforschung kritisiert wird [SÜSS 1999, S. 221 ff.].

Nach FUNKE (1995, S. 224) weisen Studien zum Komplexen Problemlösen typischerweise eine Retest-Reliabilität (Stabilität) zwischen $r = 0.40$ (niedrig) und $r = 0.80$ (hoch) für unterschiedliche Szenarios und Leistungsmaße auf. PUTZ-OSTERLOH (1993, S. 299) berichtet für das Waldbrandszenario von DÖRNER Retest-Reliabilitäten von durchschnittlich ca. $r = 0.70$ für ein Leistungsmaß als auch für Maße des Organisieren und Entscheidens. Auch MUCK (1999, S. 129) kommt für das Waldbrandszenario von DÖRNER zu Paralleltest-Reliabilitäten von $r = 0.70$ bis $r = 0.90$, die er als „äußerst zufriedenstellend“ bezeichnet.

Validität Validität ist das wichtigste Gütekriterium eines psychologischen Tests, das darüber Auskunft gibt, ob die Ergebnisse eines Tests auch etwas über das Kriterium bzw. Konstrukt aussagen, das er zu messen beansprucht. Es werden verschiedene Arten von Validität unterschieden: Inhaltsvalidität, Kriteriumsvalidität und Konstruktvalidität. Die Validität wird bei psychologischen Fragestellungen üblicherweise in Form von Korrelationen berechnet. Beispielsweise wird bei der Kriteriumsvalidität eine Korrelation zwischen den manifesten (beobachtbaren) Werten eines Tests (z. B. Tastaturanschläge pro Minute) und einem manifesten Kriterium (z. B. Einkommen) berechnet. Damit soll die Validität des latenten (verborgenen) Konstrukts ‚Berufseignung‘ (z. B. als Sekretärin) zur Vorhersage des latenten Konstrukts ‚Berufserfolg‘ erfasst werden. Eine wichtige Frage ist dabei, wie die latenten Konstrukte konkret operationalisiert werden. Sind die operationalisierten Variablen invalide (z. B. Tastaturanschläge pro Minute für die Eignung als Sekretärin), so kann auch keine Aussage über die Validität der Berufseignung für den Berufserfolg getroffen werden [BORTZ & DÖRING 1995, S. 185 f.]. Fragen der Validität von Maßen der Problemlösungsgüte zur Bestimmung der Problemlösefähigkeit oder Vorhersage anderer Konstrukte, z. B. Berufserfolg, spielen auch bei der Komplexen Problemlöseforschung eine wichtige Rolle. Die Beurteilung der Validität dieser Maße gestaltet sich dabei schwierig aufgrund der Vielzahl und Heterogenität an verwendeten Szenarios, Simulationen und Operationalisierungen und Konstrukten.

Untersuchungen zur Validität von Maßen der Problemlöseleistung in Bezug auf Konstrukte der kognitiven Leistungsfähigkeit, insbesondere der Intelligenz, ergeben größtenteils schwache Korrelationen. Es gibt jedoch auch Studien, die Belege für die Validität solcher Maße erbringen. Ein Beispiel ist die Studie von SCHAUB & STROHSCHNEIDER (1989) .

Hier werden Manager (Experten), denen man eine hohe Problemlösefähigkeit unterstellt, und Psychologie-Studenten (Novizen), von denen man eine niedrigere Problemlösefähigkeit annimmt, bei der Bearbeitung des Szenarios *Moro* verglichen. Es zeigt sich, dass Experten eine bessere Leistung bei der Bearbeitung des Szenarios erbringen als Novizen. Auch neuere Untersuchungen zeigen, dass Maße der Problemlösequalität durchaus unter bestimmten Voraussetzungen mit kognitiven Merkmalen, wie z. B. der Verarbeitungskapazität korrelieren [Süss 1999]. Validitätskoeffizienten, die sich an Kriterien wie Berufserfolg in Form von Einkommen oder Hierarchieebene orientieren, ergeben, Werte von $r = 0.20$ (niedrig) bis $r = 0.30$ (hoch). FUNKE (1992, zit. nach FUNKE 1995, S. 227) kommt zu dem Ergebnis, dass bei Wissenschaftlern und Ingenieuren die Validität bei $r = 0.40$ liegt, wenn ihr Beruf hohe kognitive Anforderungen stellt bzw. bei $r = 0.0$, wenn er wenig kognitiv anstrengend war. Dieses Ergebnis zeigt, wie andere Variablen die Validität von Maßen der Problemlöseleistung zur Vorhersage von anderen Konstrukten, z. B. Berufserfolg, moderierend beeinflussen.

Objektivität *Objektivität* stellt ein allgemeines Gütekriterium wissenschaftlicher Aussagen dar, welche sich vor allem auf die intersubjektive Übereinstimmung und Replizierbarkeit von Ergebnissen bezieht. In Bezug auf psychologische Test meint Objektivität vor allem die Unabhängigkeit von der Person des Testanwenders, was Durchführung, Auswertung und Interpretation des Tests betrifft [BORTZ & DÖRING 1995, S. 622]. Die Objektivität von Maßen der Problemlösungsgüte wurde allerdings bisher noch kaum empirisch untersucht. Aus diesem Grunde können hier nur einige grundsätzliche Überlegungen zu diesem Thema angestellt werden.

Die Objektivität bei der *Durchführung* des Versuchs und der *Auswertung* der Ergebnisse bei Untersuchungen zum Komplexen Problemlösen ist grundsätzlich als hoch zu beurteilen. Da bei diesen Versuchen üblicherweise computerbasierte Simulationen verwendet werden, ist es möglich, Durchführung und Auswertung in hohem Maße zu standardisieren und zu automatisieren. Dadurch können subjektive Einflüsse durch den Versuchsleiter minimiert werden. Bei der *Interpretation* von Ergebnissen zum Komplexen Problemlösen gibt es jedoch Faktoren, die zu stärkeren subjektiven Einflüssen als bei traditionellen Experimenten führen können. Bereits bei der Festlegung von Gütekriterien zur Erfassung der Problemlöseleistung spielen subjektive Einflüsse auf Seite des Experimentators eine Rolle. Liegen Unterschiede zwischen den Bewertungskriterien des Experimentators und der Vp vor, können daraus Verzerrungen der wahren Leistung der Vp resultieren. Schwierigkeiten bei der Festlegung von plausiblen Gütekriterien sind vor allem durch die hohe Komplexität der Versuchsbedingungen bedingt. Diese stellt hohe Anforderungen an die Fähigkeiten des Experimentators zu Analyse und Abstraktion.

7. Hauptprobleme der Komplexen Problemlöseforschung

Nachdem im Lauf dieser Arbeit bereits einige Probleme in der Komplexen Problemlöseforschung angesprochen worden sind, sollen sie in diesem Abschnitt nochmal zusammengefasst werden.

Einen ersten Problembereich stellt der *Mangel an Theorien* dar. Dieser betrifft sowohl die Beschreibung komplexer Systeme als auch die Beschreibung und Erklärung des Verhaltens eines Problemlösers in solchen Umgebungen. Selbst zentrale Fragen, z. B. wie die Komplexität eines Systems erfasst werden kann, sind noch nicht befriedigend beantwortet. Ansätze, die sich nur auf die Anzahl der systeminternen Variablen beziehen, scheinen dafür nicht ausreichend zu sein. Auch der Zusammenhang zwischen der Anzahl an Variablen und Komplexität ist noch weitgehend ungeklärt. Daher kann man nicht beurteilen, ob ein System mit 100 Variablen doppelt so komplex ist wie ein System mit 50 Variablen. Das Fehlen einheitlicher Theorien zur Beschreibung von komplexen Systemen führt auch dazu, dass Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen nicht verglichen werden können. Bei der Heterogenität und Inkonsistenz der vorliegenden empirischen Befunde ist dies jedoch dringend notwendig [FUNKE 1992, S. 10].

Eine weitere Schwierigkeit wird von FUNKE (1992, S. 11 f.) als *Messproblem* bezeichnet. Um psychologische Konstrukte, wie z. B. die Problemlösefähigkeit, messen zu können, müssen diese erst in Form von beobachtbaren, i. e. messbaren Variablen operationalisiert werden. Eine Operationalisierung gestaltet sich jedoch aus verschiedenen Gründen problematisch. Erstens müssen die Indikatoren den Kriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität genügen, um genaue und aussagekräftige Ergebnisse zu liefern. Zweitens liegt aufgrund der hohen Komplexität eine Vielzahl von Variablen vor, die die Auswahl geeigneter Indikatoren für die Konstrukte erschwert. Drittens wird die Festlegung dieser Variablen durch unspezifische Zielvorgaben noch zusätzlich erschwert [vgl. HUSSY 1993, S. 148]. Das liegt daran, dass Variablen gefunden werden müssen, die als Leistungsmaße objektiv begründet werden können oder zumindest mit den subjektiven Maßstäben der Vpn übereinstimmen. Die Schwierigkeit objektive Leistungsmaße zu finden, ist dabei auch durch das Fehlen eines Normativen Modells, i. e. einer Ideallösung, für die Bearbeitung komplexer Probleme bedingt. Weichen die Maßstäbe von Experimentator und Vp voneinander ab, wird die Erfassung der „wahren“ Leistung einer Vp beeinträchtigt. Es gestaltet sich aus diesen Gründen sehr schwierig, Variablen zu finden, die es erlauben, ein psychologisches Konstrukt mit Hilfe einer komplexen Simulation genau zu erfassen.

Auch die *Interpretation der Ergebnisse* aus Untersuchungen zum Komplexen Problemlösen ist aus verschiedenen Gründen schwierig. Eine zwiespältige Rolle spielt dabei die Realitätsnähe (bzw. „ökologische Validität“) einer Simulation. Auf der einen Seite wird sie gefordert, da nur dann Aussagen über die Faktoren getroffen werden können, die auch das Verhalten der Vpn beim Lösen alltäglicher bzw. realistischer Probleme beeinflussen [HUSSY 1993, S. 149]. Auf der anderen Seite führt die Realitätsnähe aber auch dazu, dass zusätzliche Faktoren die Interpretation erschweren. Wenn eine Vp Vorerfahrungen, die es in der realen Domäne gesammelt hat, in der Simulation anwenden kann, muss der Ein-

fluss dieses Vorwissens berücksichtigt werden. Wenn diese Erfahrungen darüberhinaus auch emotionale Relevanz für die Vp besitzen, kann sich das wiederum auf Motivation und Leistung auswirken [FUNKE 1992, S. 12]. Die Interpretation von Ergebnissen ist allerdings auch noch aus anderen Gründen schwierig. THALMAIER (1979, S. 388) weist darauf hin, dass auch genaues Wissen über die Struktur des simulierten Systems notwendig sei, um die Problemlösungsgüte von Probanden beurteilen zu können. Dies ist allerdings bei komplexen Problemen nicht einfach zu leisten.

Zusammenfassend formuliert FUNKE (1992, S. 12) die genannten Probleme bei der Erforschung des Komplexen Problemlösens unter den folgenden Schlagworten bzw. Fragen:

- *Dimensionalität*: Sind Ergebnisse aus unterschiedlichen Szenarios miteinander vergleichbar?
- *Handlungsbewertung*: Wie soll die Güte von Eingriffen in ein komplexes System bewertet werden?
- *Reliabilität*: Wie zuverlässig sind die gewonnenen Daten?
- *Validität*: Welche Bedeutung haben die gemessenen Daten?
- *Vorwissen*: Wie beeinflusst das Vorwissen eines Sachbereiches die Problemlösungsprozesse?
- *Emotionale Relevanz*: Welchen Einfluss besitzt die Realitätsnähe eines Szenarios für den Problemlöser?

Es wird an dieser Stelle darauf verzichtet, genau darzulegen, wie diese Probleme gelöst werden können. Allerdings soll erwähnt werden, dass Forscher, wie FUNKE (1992) oder THALMAIER (1979), fordern, zu „einfacheren“ Problemen bzw. Systemen zurückzukehren. Sie begründen dies damit, dass solche Systeme besser verstanden und analysiert werden könnten. Dies stellt eine Annäherung an die Ansätze des Einfachen Problemlösens dar (vgl. Abschnitt 2.1.1), so dass man hier gewissermaßen von einer „Einfachen Komplexen Problemlöseforschung“ sprechen könnte.

8. Fragestellungen

In den vorangegangenen Abschnitten wurde ausführlich auf den theoretischen und empirischen Hintergrund des Komplexen Problemlösens eingegangen. Dadurch wurden die Grundlagen dafür gelegt, die Fragestellungen für die empirische Untersuchung zu formulieren. Diese werden im Folgenden dargelegt.

In bisherigen empirischen Untersuchungen zum Komplexen Problemlösen, wurde die Frage, wie Strategien von Vpn modelliert werden können, kaum behandelt oder die Untersuchungen zeigten nicht den gewünschten Erfolg [vgl. BÜTTNER 1999; HUBER 2000]. Diese Frage ist allerdings sowohl für die psychologische Theoriebildung als auch für die Übertragung und Automatisierung von Problemlöseprozessen durch künstliche intelligente Systeme von großer Bedeutung. Aus diesem Grunde soll untersucht werden, ob menschliche Problemlösestrategien in formaler Weise erfasst werden können. Zusätzlich werden noch

8. Fragestellungen

weitere Faktoren untersucht, die sich auf die formalisierten Strategien auswirken könnten. Zu diesen Faktoren zählt die Erfahrung bei der Bearbeitung des Problemlöseszenarios auf unterschiedlichen Steuerungsebenen, z. B. konkret/aktionsbasiert vs. abstrakt/strategiebasiert. Desweiteren wird auch der Einfluss domänenspezifischen Wissens auf das Problemlöseverhalten erfasst. Aus diesen Faktoren ergeben sich auch die einzelnen Fragestellungen, die im Folgenden aufgelistet und kurz erläutert werden.

Die erste Frage ist demnach, ob die Strategien der Vpn formalisiert werden können. Die Vpn sollen ihre Strategien dabei selber formulieren, da sie den direktesten Zugang zum „mental Modell“ ihrer Strategie haben. Die erste Untersuchungsfrage lautet daher:

Frage 1: Sind Vpn in der Lage Problemlösestrategien auf einer abstrakten Ebene zu formalisieren?

Eine befriedigende Antwort auf diese Frage muss dabei sowohl subjektiven als auch objektiven Kriterien genügen. Auf der *subjektiven Ebene* müssen die formalisierten Strategien bzw. die auf der Grundlage der Strategie ausgeführten konkreten Aktionen mit den Vorstellungen der Vp übereinstimmen. Dabei ist das Urteil der Vp maßgeblich, da sie – wie schon erwähnt – den direktesten Zugang zu ihrem mentalen Modell hat. Auf der *objektiven Ebene* muss untersucht werden, ob die von den Vpn generierten Strategien sich auch bei ihrer Anwendung als effektiv erweisen. Sind Vpn bei Anwendung ihrer Strategien wesentlich schlechter als bei der konkreten Steuerung einzelner Aktionen der FWEn, wird dies als unzureichende Fähigkeit der Vpn interpretiert, die Strategien zu formalisieren, die sie anwenden.

Durch die Formalisierung der Strategien in einer einheitlichen „Sprache“ ist es auch möglich, sie untereinander zu vergleichen. Auf diese Weise können Kategorien von unterschiedlichen Strategien gewonnen werden. Damit kann eine weitere Frage beantwortet werden:

Frage 2: Welche Strategien setzen Versuchspersonen bei der Problemlösung ein?

Desweiteren soll untersucht werden, welchen Einfluss die Betrachtungs- bzw. Steuerungsebene auf das Problemlöseverhalten ausübt. Dabei ist vor allem der Einfluss einer konkreten, aktionsbasierten Steuerung und einer abstrakten, strategiebasierten Steuerung von Interesse. Daraus ergibt sich die dritte Fragestellung:

Frage 3: Welchen Einfluss haben unterschiedliche Steuerungsarten auf die Problemlöseleistung bzw. die angewendeten Strategien?

Neben dem Einfluss der Steuerungsebene soll auch die Bedeutung des domänenspezifischen Wissens der Vp auf ihr Problemlöseverhalten untersucht werden. Dementsprechend lautet die vierte Frage:

Frage 4: Welchen Einfluss hat domänenspezifische Erfahrung/Wissen auf die Problemlöseleistung bzw. auf die angewendeten Strategien?

Zur Beantwortung dieser Frage werden zwei Arten von Wissen berücksichtigt, wozu das domänenspezifische Vorwissen zählt und das im Lauf der Untersuchung erworbene Wissen.

8. Fragestellungen

In diesem Zusammenhang können auch Interaktionen mit dem Einfluss der Steuerungsart auftreten. So könnten z. B. Vpn mit Erfahrungen im konkreten Umgang mit einem Szenario bei der Erschließung einer Domäne die besten Leistungen erbringen oder das meiste Wissen erwerben. Dagegen könnte mit wachsendem Wissen eine Auseinandersetzung auf einer abstrakteren Ebene von Vorteil sein. Auch diese Aspekte sollen berücksichtigt werden.

Teil II.

Empirische Untersuchung

Im zweiten Teil dieser Arbeit wird die durchgeführte empirische Untersuchung beschrieben, angefangen vom methodischen Aufbau, über die Implementierung der Simulation und die Durchführung der Untersuchung bis zur Darstellung der Ergebnisse. In der Diskussion wird die Bedeutung der Ergebnisse im Hinblick auf die Fragestellung und die weitere Forschung erörtert.

9. Methode

Im Folgenden wird die methodische Vorgehensweise zur Untersuchung der oben genannten Fragestellung erläutert. Es wird auf die Operationalisierung der Variablen, den Versuchsplan und die Auswertung der gewonnenen Daten eingegangen.

9.1. Operationalisierung der Variablen

Die Umsetzung der theoretischen Konstrukte der Fragestellung in konkrete Variablen, die einer Untersuchung zugänglich sind, wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

9.1.1. Operationalisierung der unabhängigen Variablen

Kontrolle vs. Delegation Die V_p soll das Szenario auf unterschiedlich abstrakten Ebenen steuern. Dabei soll einerseits eine lokale, aktionsbasierte, ständige¹ Steuerung einzelner FWE_n möglich sein. Die V_{pn} sollen aber andererseits auch eine globale, planende Steuerung einsetzen können, die auf Strategien basiert. Diese sollen vorgegeben sein oder von der V_p entworfen werden können. Während die aktionsbasierte Steuerung eine maximale *Kontrolle* der Feuerwehreinheiten ermöglicht, erfordert die strategiebasierte Steuerung eine *Delegation* der Aufgaben an die einzelnen FWE_n, die dabei eine maximale Autonomie besitzen. Darüber hinaus werden den V_{pn} Vorstufen der strategiebasierten Steuerung vorgegeben. In diesen können sie zwischen vorgegebenen Strategien wählen bzw. die vorgegebenen Strategien durch die Veränderung von Parameterwerten modifizieren. Diese Vorstufen sollen den V_{pn} begrenzte Möglichkeiten geben, eigene Strategien umzusetzen und zur Generierung besserer Strategien anregen. Die Veränderung der Parameter der vorgegebenen Strategien stellt eine Erweiterung der Handlungsmöglichkeiten gegenüber der bloßen Anwendung vorgegebener Strategien dar und führt auf diese Weise die V_{pn} zur freien Formulierung eigener Strategien hin. Aus diesen Überlegungen ergeben sich die folgenden Steuerungsarten:

1. Kontrolle durch aktionsbasierte Steuerung (Steuerungsart 1)
2. Delegation von vorgegebenen Strategien (Steuerungsart 2)
3. Delegation vorgegebener Strategien mit veränderlichen Parametern (Steuerung 3)
4. Delegation von eigenen Strategien (Steuerungsart 4)

¹D. h. zu jedem Zeitpunkt können Befehle erteilt werden.

Art der Vorerfahrung Die Vpn erhalten die Steuerungsarten in unterschiedlicher Reihenfolge. Dadurch soll der Einfluss der Erfahrungen, welche die Vpn im Lauf der Anwendung verschiedener Steuerungsarten sammeln, auf die Problemlöseleistung und die Art der eingesetzten Strategien untersucht werden. Man erhält dadurch Auskunft über die Interaktionen zwischen Steuerungsart und der Menge an Erfahrung im Umgang mit der Simulation (vgl. Abschnitt 8). In vier verschiedenen Gruppen sind die folgenden Steuerungsreihenfolgen realisiert:

- *Gruppe 1:* Die Vpn durchlaufen alle vier Steuerungsarten von der aktionsbasierten Steuerung über die Vorstufen hinweg bis zur Delegation eigener Strategien. Dies stellt eine langsame Hinführung an die Delegation von eigenen Strategien dar. Dabei werden der Vp über die Steuerungsarten 2 bis 4 hinweg in zunehmendem Maße Möglichkeiten eingeräumt, Eigenschaften der Waldbrände zu berücksichtigen und die Eigenschaften der Löschmannschaft darauf abzustimmen (Reihenfolge 1, 2, 3, 4).
- *Gruppe 2:* Es werden nur die aktionsbasierte Steuerung und die Steuerung durch Delegation eigener Strategien vorgegeben. Dabei entfallen die Vorstufen der Strategieeingabe, so dass die Vpn beim Entwerfen ihrer Strategien weniger von vorgegebenen Strategien beeinflusst werden (Reihenfolge 1, 4).
- *Gruppe 3:* Es werden – wie in Gruppe 2 – nur die aktionsbasierte Steuerung und die Steuerung durch Delegation eigener Strategien zur Verfügung gestellt. Die Vpn erhalten die Steuerungsarten allerdings in der umgekehrten Reihenfolge, so dass sie mit der Delegation eigener Strategien beginnen (Reihenfolge 4, 1).
- *Gruppe 4:* Die Vpn durchlaufen – wie in Gruppe 1 – alle vier Steuerungsarten einschließlich der Vorstufen der Strategieeingabe. Sie beginnen mit der Delegation vorgegebener Strategien, so dass eine allmähliche Hinführung zur Delegation anhand eigener Strategien erfolgt. Die aktionsbasierte Steuerung wird den Vpn erst, nachdem sie bereits eigene Strategien entwickelt und angewendet haben, ermöglicht (Reihenfolge 2, 3, 4, 1).

Am Ende jedes Versuchs wird erneut von den Steuerungsarten 1 und 4, die Steuerungsart dargeboten, die die Vp als erstes verwendet hat. Dadurch sollen Änderungen in Leistung oder Verhalten festgestellt werden.

Verwendete Szenarios¹ In der Untersuchung werden wiederholt zwei verschiedene Szenarios dargeboten. Diese unterscheiden sich in der räumlichen Anordnung ihrer Objekte (z. B. Bäume, Häuser, Waldbrände), als auch des unterschiedlichen zeitlichen Verlaufs der Ereignisse (z. B. Ausbruch von Waldbränden). Damit sollen unterschiedliche Schwierigkeiten realisiert werden, um Boden- und Deckeneffekte zu vermeiden, die bei zu leichten oder zu schweren Aufgaben die Erfassung der Leistung der Vpn beeinträchtigen können [BORTZ & DÖRING 1995, S. 169]. Diese Unterschieden sollen desweiteren auch etwas andere Anforderungen an die Vpn stellen. Dies betrifft z. B. die Bedeutung des Häuserschutzes oder anderer

¹Ein Szenario beschreibt im Zusammenhang dieser Simulation, eine bestimmte räumliche Konfiguration der Objekte des Systems (z. B. Feuerwehreinheiten, Bäume, Häuser, Feuer,...) als auch einen bestimmten zeitlichen Ablauf der Ereignisse (z. B. Ausbruch von Waldbränden, Windrichtungsänderungen,...).

Faktoren. Dies soll einen Anreiz zur Entwicklung verschiedener Strategien geben. Desweiteren soll dadurch, dass ein Szenario stets in der gleichen Form wiedergegeben wird bzw. ein anderes Szenario in gedrehter Form präsentiert wird, Hinweise auf Übungseffekte im Verlauf der Simulation gewonnen werden. Die wesentlichen Unterschiede (bzw. Designanforderungen) zwischen den Szenarios können folgendermaßen zusammengefasst werden und sind im Abschnitt 11.1.2 genauer erläutert:

- *Szenario 1* weist eine geringe Schwierigkeit auf und wird stets in der gleichen Form präsentiert.
- *Szenario 2* weist eine große Schwierigkeit auf und wird im Lauf des Versuchs in gedrehter Form erneut dargeboten.

In Tabelle 6 sind die unabhängigen Variablen, die in dieser Versuch variiert werden, zusammengefasst.¹ Aus diesem *Versuchsplan* ist ersichtlich, welche unabhängige Variablen als unabhängige bzw. als abhängige Versuchsbedingungen realisiert werden². Aus der *Art der Vorerfahrung* mit den Stufen *Gruppe 1*, *Gruppe 2*, *Gruppe 3* und *Gruppe 4* ergeben sich die unabhängigen Versuchsbedingungen. In den einzelnen Gruppen benutzen die Vpn die Steuerungsarten in einer festgelegten Reihenfolge. Die Versuchspersonen werden dabei zufällig auf die verschiedenen Gruppen verteilt.

Die *Steuerungsart* und die verwendeten *Szenarios* stellen dagegen die abhängigen Faktoren dar. Im Lauf des Versuchs wird den Vpn eine Auswahl aus den vier Steuerungsarten Steuerungsart 1 bis Steuerungsart 4 vorgegeben, um ihre Aufgabe im jeweiligen Szenario zu lösen. Dabei kann entweder Szenario 1, Szenario 2 oder Szenario 2' (eine gedrehte Form von Szenario 2) dargeboten werden.

9.1.2. Operationalisierung der abhängigen Variablen

In der Untersuchung werden verschiedene Daten, sog. abhängige Variablen, erhoben, mit denen Informationen über die Vpn gewonnen werden. Diese Daten lassen sich in die Bereiche *Objektive Leistungsmaße*, *Subjektive Urteile*, *Wissensmaße* und *Qualitative Daten* einordnen.

Objektive Leistung Aufgrund der Vielzahl der beteiligten Variablen und der Offenheit der Problemsituation ist die Erfassung eines reliablen und validen Gütemaßes für die Problemlöseleistung eine schwierige Angelegenheit (vgl. Abschnitt 7). Durch eine genaue Vorgabe der Aufgabe soll dieser Störfaktor, der sonst die Interpretation der Ergebnisse beeinträchtigen könnte, in dieser Untersuchung kontrolliert werden. Die Vpn erhalten daher die Instruktion Häuser und Wälder vor Feuern zu schützen, wobei Häuser zehnmal soviel wert sind wie ein Stück Wald (vgl. Anhang C, KPL-Feuer-InsAllg). Zur Bewertung der *Leistung einer Vp in einem Simulationslauf* wird daher, die am Ende noch vorhandene Energie der

¹Eine ausführlicher Versuchsplan mit Vorgabe der Instruktionen und Fragebögen ist in Tabelle 14 im Anhang A enthalten.

²Unabhängige Versuchsbedingungen bzw. Faktoren werden von unterschiedlichen Gruppen von Versuchspersonen durchlaufen. Abhängige Faktorstufen werden von jeder Versuchsperson nacheinander durchlaufen. Man beachte die unterschiedliche Bedeutung zu „unabhängigen“ bzw. „abhängigen“ Variablen.

9. Methode

Simulation	GRUPPE 1	GRUPPE 2	GRUPPE 3	GRUPPE 4
<i>Simulation 0 (Instruktion)</i>	Steuerung 1, Szenario 0	Steuerung 1, Szenario 0	Steuerung 1, Szenario 0	Steuerung 1, Szenario 0
<i>Simulation 1</i>	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 2, Szenario 1
<i>Simulation 2</i>	Steuerung 1, Szenario 2	Steuerung 1, Szenario 2	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 3, Szenario 1
<i>Simulation 3</i>	Steuerung 2, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 2	Steuerung 4, Szenario 1
<i>Simulation 4</i>	Steuerung 3, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 2
<i>Simulation 5</i>	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 2'	Steuerung 1, Szenario 1
<i>Simulation 6</i>	Steuerung 4, Szenario 2'	Steuerung 4, Szenario 2'	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 2'
<i>Simulation 7</i>	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1

Tabelle 6: Der Versuchsplan.

brennbaren Objekte aufsummiert, wobei die Energiepunkte der Häuser zehnfach gewichtet werden. Auf diese Weise entsteht eine gewichtete Gesamtwertung (ggw) pro durchlaufener Simulation, wobei *Energiepunkte* der brennbaren Objekte in *Wertpunkte* umgewandelt werden.

$$ggw_{Simulation} = \sum_{w \in \text{Wälder}} \text{Energiepunkte}(w) + 10 \cdot \sum_{h \in \text{Häuser}} \text{Energiepunkte}(h)$$

Zur Beurteilung der *Leistung bei aktionsbasierter Handsteuerung (St1)* bzw. der *Leistung bei strategiebasierter Steuerung mit eigenen Strategien (St4)* werden jeweils die Gesamtwertungen der zwei besten Simulationsläufe in Szenario 1 (Sz1) bzw. Szenario 2 (Sz2) addiert, wobei die Vorstufen der strategiebasierten Steuerung (St2 und St3) nicht berücksichtigt werden. Die so erhaltenen Wertpunkte werden weiterhin an der Gesamtsumme an Wertpunkten normiert, die zu Beginn jeder Simulation spezifisch für jedes Szenario vorhanden ist. Dadurch erhält man die mittleren restlichen Wertpunkte pro Szenario in Prozent. Diese Berechnungen können anhand der folgenden Formel durchgeführt werden:

$$ggw_{St1} = \frac{ggw_{St1Sz1} + ggw_{St1Sz2}}{ggw_{Sz1max} + ggw_{Sz2max}} \quad ; \quad ggw_{St4} = \frac{ggw_{St4Sz1} + ggw_{St4Sz2}}{ggw_{Sz1max} + ggw_{Sz2max}}$$

Zur Berechnung der *Gesamtwertung der Leistung einer Vp in der Untersuchung* werden die Leistungen bei Steuerungsart 1 und Steuerungsart 4 addiert, so dass insgesamt $2 \times 2 = 4$ Simulationen in die gewichtete Gesamtwertung der Vp eingehen. Damit die Normierung in Prozent erhalten bleibt, wird der Mittelwert der gewichteten Gesamtwertung für Steuerungsart 1 und 4 gebildet, wie man aus folgenden Formel ersehen kann:

$$ggw_{Vp} = \frac{ggw_{St1} + ggw_{St4}}{2}$$

Dieser Wert stellt damit das *zentrale Maß für die Problemlöseleistung der Vp* in dieser Untersuchung dar und dient zur Beurteilung der Auswirkungen der Variation verschiedener Untersuchungsbedingungen (z. B. Art der Steuerung, Schwierigkeit der Szenarios) auf die Problemlöseleistung. Dieses Maß gibt somit den Anteil der Wertpunkte in Prozent wieder, die im Durchschnitt nach den Simulationsläufen, erhalten geblieben sind bezogen auf den intakten Startzustand.

Subjektive Urteile Den Vpn werden verschiedene Fragebögen im Lauf der Untersuchung vorgelegt, die Urteile z. B. bezogen auf Merkmale eines Simulationslaufs, des gesamten Versuchs oder ihrer eigenen Person erfragen. Der Inhalt der Fragen betrifft z. B. die subjektive Schwierigkeit bei der Aufgabenbearbeitung, die eigene Leistung u. a. Bereiche. Die Antworten werden anhand von mehrstufigen Likert-Skalen gegeben (z. B. von „sehr leicht“ bis „sehr schwierig“). Zu den vorgelegten Fragebögen zählen ein Vorbefragungsbogen (vgl. Anhang D, Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB1_VB‘), ein allgemeiner und ein spezieller Nachbefragungsbogen für jeden Simulationslauf (Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB2_NB_St1234‘ und ‚KPL_Feuer_FB2_NB_ST4‘). In einem Delegationsfragebogen (‚FB3_Deli-R‘) gegen Ende der Untersuchung beurteilen Vpn ihr Verhalten in Situationen, „die sich dadurch auszeichnen, dass sie Entscheidungen erfordern, durch die (Arbeits-)Aufträge anderen Personen zugewiesen werden“. Ein Nachbefragungsbogen (Fragebogen KPL_Feuer_FB4_NB_Ende) erfasst zum Abschluss u. a. noch das Ausmaß der Belastung der Vpn und bietet eine Möglichkeit zu Lob und Kritik. Für eine Darstellung des Versuchs einschließlich der Vorgabe der Fragebögen wird auf die Tabelle 14 im Anhang A verwiesen.

Quantitative Erfassung des Wissens Wie bereits in Abschnitt 8 erläutert wurde, sollen auch Einflüsse von Wissen auf die Problemlöseleistung untersucht werden. Dazu beurteilen die Vpn vor dem Versuch das Ausmaß ihres *Vorwissens* bei der Feuerbekämpfung und geben Auskunft über ihre Erfahrung in Feuerwehren o. ä. Organisationen (vgl. Anhang D, Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB1_VB‘).

Um das im Verlauf der Untersuchung *erworbene Wissen* festzustellen, werden nach jedem Simulationslauf den Vpn offene Fragen gestellt, die sich auf die eingesetzten Strategien und die beachteten Aspekte des Szenarios beziehen. Dazu wird nach jedem Simulationslauf ein *allgemeiner Fragebogen* (Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB2_NB_St1234‘) vorgelegt. In einem *speziellen Fragebogen* (Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB2_NB_ST4‘) sollen die eingesetzten Strategien, Parameter und Parameterwerte nochmal im Detail begründet und ihre Effizienz beurteilt werden. Dieser Fragebogen wird jedoch nur nach dem Einsatz von strategiebasierter Steuerung mit Strategieeingabe (St4) bearbeitet. Um dieses frei berichtete Wissen zu quantifizieren, werden sämtliche Aussagen, die die Vp während Untersuchung, insbesondere während der Nachbefragung, äußert, ausgewertet. Aussagen, die sich auf einen Aspekt der Waldbrandsimulation beziehen, der für die Feuerbekämpfung von Bedeutung ist, werden dabei in Kategorien eingeordnet bzw. zusammengefasst. Zum Beispiel würde die Aussage „Wenn ein Feuer auf die Straße zu brennt, ist es nicht mehr gefährlich.“ in die Kategorie „Vp berücksichtigt Barrieren bei der Vorhersage der Feuerausbreitung.“ eingeordnet wer-

den. Die Anzahl der „belegten“ Wissenskategorien bildet dabei ein Maß für den Erwerb von Wissen über die Domäne. Ein Merkmal der Simulation gilt dabei für alle nachfolgenden Simulationen als „gewußt“ bzw. „erkannt“, sobald die Vp es einmal äußert, auch wenn es später nicht mehr berichtet wird. Entsprechend gilt ein Merkmal als „nicht gewußt“, wenn es nicht berichtet wird.

Qualitative Erfassung der angewendeten Strategien Für die Erfassung der Art und Anzahl der angewendeten Strategien werden die gleichen Fragebögen eingesetzt, die im vorherigen Absatz genannt wurden (vgl. Anhang D). Zusätzlich werden noch Notizen aus der Verhaltensbeobachtung berücksichtigt. Es ergibt sich dabei die Schwierigkeit, die Heterogenität und Entwicklung der eingesetzten Strategien der einzelnen Versuchsperson adäquat wiederzugeben. Die Anzahl der bisher durchlaufenen Simulationen, der Verlauf jeder einzelnen Simulation als Folge der Interaktion zwischen Vp und Simulation und das vorliegende Szenario und spielen dabei eine Rolle. Dieses Problem wird dadurch zu lösen versucht, dass repräsentativ für die Versuchsperson nur diejenigen Strategien bzw. das „Set“ an Strategien berichtet wird, welches auch die Grundlage für die Gesamtwertung bildet. Es werden dabei sowohl die Strategien, die bei der aktionsbasierten Steuerung eingesetzt werden, als auch die Strategien aus Simulationen mit strategiebasierter Kontrolle berichtet, um Hinweise auf möglicherweise vorliegende Unterschiede zu erhalten. Da es auch bei dieser Vorgehensweise den Rahmen sprengen würde, die Vorgehensweisen aller Vpn darzustellen, werden nur die Strategien der vier Versuchspersonen beschrieben, die in der jeweiligen Gesamtwertung (Steuerungsart 1 vs. 4) am besten bzw. am schlechtesten abschneiden. Dadurch sollen die Unterschiede zwischen „guten“ und „schlechten“ Problemlösern verdeutlicht werden.

9.2. Auswertung

In diesem Abschnitt wird auf die Aufbereitung bzw. die quantitative und qualitative Auswertung der erhobenen Daten eingegangen.

Allgemeines Die Versuch ist als Pilotstudie konzipiert mit einer Teilnehmerzahl von insgesamt 16 Vpn, so dass zur Untersuchung vergleichender Fragestellungen zwischen einzelnen Stufen, die Stichprobengröße $n = 4$ pro Bedingung beträgt. Zur Beantwortung von Fragen, die sich auf die Stichprobe als Ganzes beziehen (z. B. „Können Vpn ihre Strategien formalisieren?“) kann jedoch die gesamte Stichprobe von $n = 16$ (ohne Ausreißer) herangezogen werden. Entsprechend diesen Bedingungen werden sowohl non-parametrische als auch parametrische Verfahren eingesetzt, wobei letztere höhere Anforderungen an die verwendeten Daten stellen.

Zu den eingesetzten non-parametrischen Verfahren zählen z.B. der MANN-WHITNEY-U-Test bzw. WILCOXON-Test, KRUSKAL-WALLIS-H-Test, der SPEARMAN'scher Korrelationskoeffizient ρ u. a. In manchen Fällen werden jedoch auch gängige parametrische Tests verwendet, wie z. B. der t-Test oder die Produkt-Moment-Korrelation, die bestimmte Anforderungen an die Verteilungen der Daten stellen (z. B. Normalverteilung). Manche Daten

werden nur mit Mittelwerten und Standardabweichungen ohne weitere inferenzstatistische Auswertung zusammengefasst.

Generell wird immer auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ getestet, d. h. dass Hypothesen nur bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\leq 5\%$ beibehalten werden. Wo begründete Hypothesen bestehen, dass ein Zusammenhang bzw. Unterschied in einer bestimmten Richtung vorliegt, wird einseitig getestet, sonst zweiseitig mit entsprechender Anpassung des Signifikanzniveaus. Die berichteten p -Werte sind bereits angepasst, je nachdem ob einseitig oder zweiseitig getestet wurde, so dass immer von $\alpha = 5\%$ ausgegangen werden kann¹. Grundsätzlich werden die Wahrscheinlichkeiten für einseitige Testung berichtet, falls keine anders lautenden Hinweise vorhanden sind. Eine Anpassung des Signifikanzniveaus aufgrund der Mehrfachtestung (α -Adjustierung) wird nicht vorgenommen, da diese Vorgehensweise angesichts der „Weichheit“ der Daten nicht angemessen erscheint und die Studie eher explorativen als konfirmativen Charakter hat. Generell sollten die Tests Hinweise geben, wo sich Effekte zeigen, ohne diese im strengen experimentellen Sinne belegen zu wollen. Die Aussagekraft der Daten sollte vor diesem Hintergrund kritisch gesehen werden.

Das Skalenniveau der Daten, die während der Simulation protokolliert werden, kann als relativ hoch beurteilt werden (Intervallskala). Auch den Fragebogendaten, die auf Likert-Skalen basieren, wird Intervallniveau unterstellt. Kritisch betrachtet werden muss vor allem das post-hoc gewonnene Wissensmaß, bei dem höchstens Ordinalskalenniveau angenommen werden kann. Welche Versuchspersonen jeweils in die Auswertung miteinbezogen wurden, wird jeweils angegeben, da dies nicht immer einfach ersichtlich ist. Zur Aufbereitung der Daten wird *Microsoft Excel 97* verwendet. Ansonsten werden alle inferenzstatistischen Berechnungen mit der Statistiksoftware *SPSS* (V. 10.0.7) durchgeführt.

10. Die Simulationsumgebung *SeSAM*

Für die Realisierung des empirischen Teils dieser Arbeit wird die *Shell für Simulierte Agentensysteme*, kurz *SeSAM*² verwendet. Sie ermöglicht es, weitgehend ohne Programmierkenntnisse die Waldbrandsimulation zu erstellen, mit der die Untersuchung durchgeführt wird. Aus diesem Grunde soll *SeSAM* an dieser Stelle in seinen relevanten Aspekten vorgestellt werden.

10.1. Repräsentation von Multiagentenmodellen

Um ein Multiagentensystem, sei es nun ein Waldbrandszenario oder ein Ameisenstaat, simulieren zu können, muss erst ein Modell dieses Systems erstellt werden, das dieses System repräsentiert. Zu diesem Zweck schlägt KLÜGL (2001, S. 107 ff.) ein Repräsentationsschema für Multiagentensysteme vor. Mit diesem Schema können in strukturierter Weise Multiagentensysteme unabhängig von der jeweiligen Domäne beschrieben werden. Dies ist sowohl auf der Ebene eines einzelnen Agenten als auch auf der Ebene des Agentensystems, die die Interaktion und Organisation der Agenten betrifft, möglich. Nachdem zunächst auf die

¹Dieses Vorgehensweise wird auch von dem Statistikprogramm SPSS (V. 10.07) verwendet.

²Die Java-Version von *SeSAM* ist unter <http://www.simsesam.de> frei erhältlich.

Modellierung von Strukturen von Agent und Agentensystem mit Hilfe dieses Repräsentationsschemas eingegangen wird, folgt die Beschreibung des Verhaltens auf diesen beiden Ebenen.

10.1.1. Strukturen von Agent und Gesamtsystem

Im folgenden werden domänenspezifische Strukturen erläutert, die zur Beschreibung eines Multiagentenmodells verwendet werden können bzw. in *SeSAm* angewendet werden. Die folgenden Ausführungen sind in Abbildung 13 in einer Übersicht zusammengefasst.

Interne Struktur von Agenten

Die interne Struktur eines Agenten kann durch verschiedene sogenannte Architekturen beschrieben werden. Multiagentenmodelle, die mit *SeSAm* erstellt werden können, beruhen auf dem Schema eines *einfachen Reflexagenten mit internem Zustand* [KLÜGL 2001, S. 108]. Ein solcher Agent verfügt nicht nur über *Sensoren* und *Effektoren*, mit denen er seine Umwelt wahrnehmen und mit Aktionen verändern kann, sondern kann diese Informationen auch als *internen Zustand* speichern. Das bedeutet, dass ihm nicht nur Informationen verfügbar sind, die auf aktuellen Wahrnehmungen beruhen. Auch Informationen, die er zu einem anderen Zeitpunkt gespeichert hat, sind abrufbar. Somit stehen mehr Informationen für die Auswahl von Situation-Aktion-Regeln zur Verfügung als ohne internen Zustand [KLÜGL 2001, S. 21]. Der hier besprochenen Architektur fehlen allerdings zwei Arten von Wissen, die es dem Agenten ermöglichen würden, auch die Teile seines Zustands zu aktualisieren, die Teile der Umwelt betreffen, die er nicht wahrnehmen kann. Das ist zum einen Wissen über das Verhalten der Welt, aber auch Wissen über die (nicht wahrnehmbaren) Folgen seiner eigenen Aktionen [KLÜGL 2001, S. 108].

Zur Strukturierung des internen Zustands, der in einfacher Form als eine Menge von Zustandsvariablen vorstellbar ist, wird eine domänenunabhängige Unterteilung nach den *Wertebereichen* und der *Veränderlichkeit* der Variablen angewendet. Auf diese Weise können beispielsweise Kategorien von Variablen unterschieden werden, denen reelle Zahlen (z. B. 3,14...) vs. diskrete Werte („wahr“ oder „falsch“) zugewiesen werden oder Variablen, deren Werte konstant vs. zeitabhängig, also veränderlich, sind. Zusätzlich können noch *domänenabhängige Kategorien* eingeführt werden, was vor allem für die Spezifikation eines konkreten Modells hilfreich ist [KLÜGL 2001, S. 111].

Struktur des Gesamtsystems

KLÜGL (2001, S. 112 ff.) führt zur Strukturierung des Agentensystems die Unterscheidung zwischen *Umwelt*, *passiven Ressourcen* und *aktiven Agenten* ein, wodurch ein (in sich) „geschlossenes“ System modelliert werden kann.

Umwelt Das Modell der Umwelt wird durch folgende Merkmale beschrieben:

1. Eine Menge von globalen *Zustandsvariablen*, die den Zustand der Umwelt abbilden.
2. Eine Menge von *Ereignissen*, durch die Agenten erzeugt, gelöscht oder deren Zustand verändert werden kann.

3. Eine *Raumrepräsentation*, mit der die Positionen der Agenten und ihre Aktionsradien dargestellt werden können.

Die Ähnlichkeiten dieser Punkte (bes. 1. und 2.) zu der Beschreibung eines Agenten hat wichtige Konsequenzen für Behandlung von Agenten in dieser Umwelt. Positionsänderungen bzw. Löschen und Erzeugen von Agenten werden als Interaktionen zwischen den aktiven Agenten und dem Umweltagent gehandhabt. (Inter)Aktionen des Umweltagenten werden dabei als Ereignisse bezeichnet [KLÜGL 2001, S. 113 ff.].

Passive Ressourcen Als Passive Ressourcen werden Objekte bezeichnet, die über kein eigenes Verhalten verfügen, wie z. B. Bäume in einem Waldbrandszenario oder (tote) Futterobjekte. Die Verwendung von Ressourcen spielt nicht nur im Hinblick auf die Effizienz der Simulation eine wichtige Rolle, da deren Verhalten nicht simuliert werden muss. Auch für die Entwicklung und das Verständnis des Konzepts der Domäne, die modelliert werden soll, ist die Verwendung von Ressourcen sinnvoll. [KLÜGL 2001, S. 114].

Organisation von aktiven Agenten Die Struktur von mehreren Agenten kann durch Organisationsstrukturen oder Gruppen gebildet werden. Agenten nehmen dabei unterschiedliche „Rollen“ in der jeweiligen Organisation oder in einer Gruppe ein, mit denen bestimmte (Inter)Aktionsformen verknüpft sind. Diese werden dadurch strukturiert und überschaubar gemacht. Die Zugehörigkeit von Agenten zu bestimmten Gruppen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen.

- implizit (z. B. durch ihre Position in einem bestimmten Bereich)
- explizit (z. B. durch den gleichen Wert in einer Zustandsvariable)

Mit diesem Konzept lassen sich auch hierarchische Strukturen von Gruppen darstellen KLÜGL (2001, S. 114 ff.) .

10.1.2. Beschreibung des Verhaltens

Verhaltensbeschreibungen basieren innerhalb des vorgestellten Repräsentationsschemas auf Regeln (vgl. Abschnitt 3.2.3 zur Erläuterung des Begriffs ‚Regel‘). Regeln haben den Vorteil inhaltlich interpretierbar zu sein (im Gegensatz z. B. zu Neuronalen Netzen). KLÜGL (2001, S. 118) weist jedoch auf den Nachteil von großen Regelmengen hin, die ineffizient und kaum mehr wartbar sind. Dieses Problem kann wiederum vermieden werden, wenn die Regelmenge in der Weise strukturiert wird, dass in einer bestimmten Situation nur noch aus einer kleinen Teilmenge aller Regeln ausgewählt werden muss. KLÜGL (2001, S. 119 ff.) wendet diese Idee auf die Modellierung von Verhalten von Multiagentensystemen an.

Rollen Wie weiter oben schon erläutert wurde, können Agentensysteme als Organisationen strukturiert werden, in denen Agenten unterschiedliche „Rollen“ übernehmen. Diese Überlegung kann auch dazu dienen, die Regelmenge, die das Verhalten von Agenten bestimmt, zu strukturieren. Wenn bekannt ist, welche Rolle ein Agent im Augenblick ausführt,

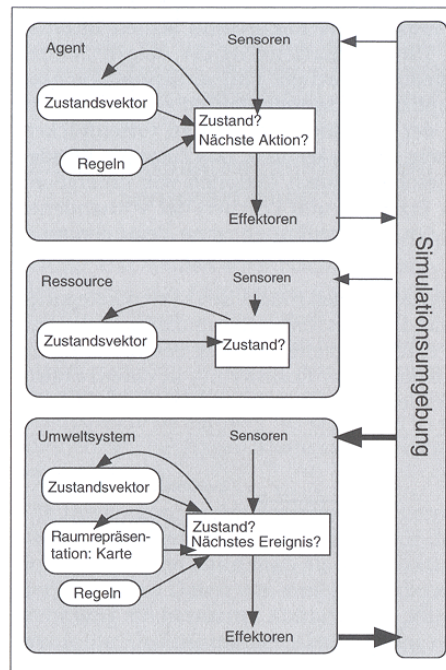


Abbildung 13: Struktur der Einheiten eines Multiagentenmodells [aus KLÜGL 2001, S. 115]

müssen nur die Regeln getestet werden, die für sein aktuelles Rollenverhalten von Bedeutung sind. Mit dem Rollenkonzept können sowohl statische Rollenverteilungen, z. B. im Sinne einer Spezialisierung auf einen Arbeitsbereich, erfasst werden, als auch dynamische Veränderungen der aktuellen Rolle z. B. im Sinne einer Beförderung eines Angestellten. Zur Vermeidung von Konflikten zwischen Regeln unterschiedlicher Rollen wird davon ausgegangen, dass ein Agent nur eine Rolle ausüben kann. Dabei ist allerdings eine hierarchische Gliederung verschiedener Rollen möglich, wobei Regeln des speziellerten Rollenverhaltens Priorität haben [KLÜGL 2001, S. 120 f.].

Aktivitäten und Aktionen Aufgrund verschiedener Überlegungen, die hier nicht weiter erläutert werden können, führt KLÜGL (2001, S. 121 f.) „Aktivitäten“ als Konzept zur Strukturierung der Verhaltensbeschreibung ein. Ein Aktivität (z. B. „Futtersuchen“) fasst alle „Aktionen“ (z. B. „Schnüffeln“), die ein Agent „gleichzeitig“ (i. e. in einem Simulationstakt) ausführen soll, in einer sinnvollen Sequenz zusammen. Solange sich ein Agent in einer bestimmten Aktivität befindet, führt er immer wieder alle in dieser Aktivität enthaltenen Aktionen aus. Auszuführende Aktivitäten werden über Regeln ausgewählt und werden nur durch die Auswahl bestimmter nachfolgender Aktivitäten beendet. Dies führt nicht nur auf der Ebene einzelner Aktionen zu einer Reduktion der Menge an Regeln, die zur Auswahl der nächsten Aktion erforderlich sind. Auch auf der Ebene der Aktivitäten verringert sich die Menge an Regeln. Ausgehend von einer aktuellen Aktivität müssen nur bestimmte Regeln zur Auswahl einer bestimmten Menge an (sinnvollen) Folgeaktivitäten getestet werden.¹ Vorteile der Einführung von Aktivitäten ergeben sich auch für die Konzeption

¹Das Testen von „Notfallregeln“ wird hier vernachlässigt.

und das Verständnis von domänenspezifischen Verhaltensmodellen, die dadurch auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen betrachtet werden können. Aufgrund der Verknüpfung von Aktivitäten mit ihren Folgeaktivitäten über Auswahlregeln können diese Strukturen als „Aktivitätsautomaten“ abgebildet werden mit „Knoten“, die den Aktivitäten entsprechen, und „Kanten“, die die Auswahlregeln darstellen. Festzuhalten bleibt, dass die Einführung von Aktivitäten ein zentrales Konzept des beschriebenen Repräsentationsschemas bildet, so dass KLÜGL (2000) auch von „Aktivitätsbasierter Verhaltensmodellierung“ spricht.

Phasen der Aktualisierung KLÜGL (2001, S. 128 ff.) berichtet weitere Möglichkeiten zur Strukturierung der Verhaltensregeln, die auf der sequentiellen bzw. vertikalen Unterscheidung der Phasen *Wahrnehmung*, *Aktivitätsauswahl* und *Aktionsausführung* beruhen. In der Phase der Wahrnehmung werden unmittelbare Wahrnehmungen und die Zustandsvariablen aufbereitet, so dass eine bestimmte Konstellation von Variablenwerten zu einer abstrakteren Wahrnehmung zusammengefasst wird (z. B. „Objekt ist wahrnehmbar“ und „Objekt ist Futter“ → „Futter in Sicht“). Die Aktivitätsauswahl greift nun auf die so generierten Wahrnehmungen beim Testen der Bedingungen für die Auswahl der nächsten Aktivität (z.B. „Futtersuchen“) zurück. Bei der Aktionsausführung werden abhängig von der gewählten Aktivität (z.B. „Futtersuchen“) und anderer Bedingungen (z. B. „Eigene Position ist nicht gleich der Position des Futterobjekts“) die passende Aktion ausgewählt (z. B. „Bewegen zur Position des Futterobjekts“). Generell soll diese Unterscheidung dazu dienen die zentrale Regelmenge so einfach und übersichtlich wie möglich zu halten.

10.2. *SeSAm* als Entwicklungs- und Simulationsumgebung

Die Formalisierung eines Multiagentenmodells mit Hilfe eines Repräsentationsschemas, wie es im Abschnitt 10.1 erläutert wurde, bietet auch die Möglichkeit dieses Modell durch einen Simulator interpretieren zu lassen, d. h. zu simulieren. Dadurch wird es möglich auch Experimente durchzuführen, die wiederum Daten liefern und die im Hinblick auf interessierende Fragestellungen ausgewertet werden können. Aufgrund des explizit formulierten Repräsentationsschemas kann weiterhin eine Modellierungsumgebung für Multiagentensysteme erstellt werden. Alle diese Möglichkeiten sind in dem Software-System *SeSAm*, i. e. *Shell für Simulierte Agentensysteme* realisiert. An dieser Stelle soll daher *SeSAm* als Entwicklungsumgebung- und Simulationsumgebung vorgestellt werden [KLÜGL 2001, S. 165].

10.2.1. *SeSAm* als Entwicklungsumgebung

Die grafische *Modellieroberfläche* in *SeSAm* erlaubt sowohl die Strukturen als auch die Verhaltensweisen von Agenten bzw. ihrer Umwelt festzulegen, die für ein Multiagentenmodell erforderlich sind. Die Programmierung erfolgt dabei visuell, wozu verschiedene grafische Bausteine, wie z. B. Formulare, Graphen zur Verfügung stehen, so dass auch in der Programmierung unerfahrene Benutzer damit Modelle entwickeln können [KLÜGL 2001, S. 167 ff.]. Wesentliche Schritte bei Erstellung eines Multiagentenmodells sind dabei:

1. *Modellierung der Systemstrukturen*: Abhängig von der Domäne werden Agenten-, Ressourcen- und Bezugssystemklassen¹ festgelegt und deren Zustandsvariablen.
2. *Verhaltensspezifikation*:
 - a) Abhängig von der Domäne werden primitive Funktionen definiert (z. B. Aktionsprimitive, Prädikatsprimitive,...).
 - b) Spezifikation der Rollen und Aktivitäten der Agenten bzw. der Ereignisse der Umwelt
 - c) Spezifikation der Zustandsvariablen von Agenten (bzw. Rollen), Ressourcen und der Umwelt
 - d) Spezifikation der Regeln zur Steuerung des Verhaltens von Agenten bzw. Umwelt
3. *Kalibrierung*: Feineinstellung der Parameterwerte des Modells

10.2.2. *SeSAm* als Simulationsumgebung

Wie oben schon erwähnt können mit *SeSAm* erstellte Modelle auch simuliert werden, wozu verschiedene Komponenten in *SeSAm* dienen, die im Folgenden beschrieben werden.

Simulator Der *Simulator* interpretiert das Multiagentenmodell schrittweise. Die Simulationszeit ist dabei in einzelne Takte² unterteilt, in denen der Simulator das gesamte Modell aktualisiert. Danach legt er Veränderungen der Modellkonfiguration in Protokolldateien ab. Der Simulator ist so konzipiert, dass nicht wenige mächtige, kognitive, planende Agenten simuliert werden können, sondern eine große Zahl von Agenten (> 500) [KLÜGL 2001, S. 142, 154 ff., 165]. Der Aktualisierungsalgorithmus des Simulators ist dabei sehr einfach gehalten, um aufwendige Konfliktlösungsstrategien zu vermeiden und geht in den folgenden Schritten vor [KLÜGL 2001, S. 158]:

1. für jedes Umweltsystem
 - a) Aktualisiere Umweltsystem
 - b) für jeden Agenten in diesem System: Aktualisiere Agenten komplett, inklusive der Ausführung seiner Aktionen
 - c) Zufälliges Permutieren der Aktualisierungsreihenfolge der Agenten innerhalb des Umweltsystems

Charakteristisch für diesen Algorithmus ist dabei die asynchrone³ Aktualisierung der Agenten mit zufälliger Veränderung der Reihenfolge, in der die Agenten im nächsten Takt aktualisiert werden [KLÜGL 2001, S. 157 f.].

¹Bezugssysteme ermöglichen die räumliche Repräsentation eines Modells und erlauben die Zusammenfassung von anderen Systemen z. B. von Agenten oder Ressourcen zu einer Gruppe.

²i. e. eine atomare Zeiteinheit

³Die Agenten werden nicht synchron (gleichzeitig), sondern nacheinander aktualisiert.

Animationskomponente Die *Animationskomponente* stellt die Daten, die der Simulator liefert, grafisch dar. Der Ablauf der Simulation ist daher nicht nur aus den Protokolldateien ersichtlich, sondern kann auch zeitgleich beobachtet werden. Dazu stehen verschiedene Sichtweisen auf die Simulation zur Verfügung. Neben der Animation des Gesamtzustands auf einer Karte, können auch Fenster mit Informationen über den Status einzelner Objekte aufgerufen werden. Sogenannte „Dämonen“ bieten zudem die Möglichkeit während der Simulation Datenabstraktionen durchzuführen, z. B. Funktionen über basale Variablenwerte zu berechnen [KLÜGL 2001, S. 166, 181 ff.]. Desweiteren bietet *SeSAM* auch verschiedene Möglichkeiten für Benutzereingriffe, die für diesen Versuch von großer Bedeutung sind. So ist z. B. die Steuerung einzelner oder mehrerer Agenten mit einem Kontrollwerkzeug (engl. *control panel*) möglich, das einem Agenten die nächste auszuführende Aktivität zuweist und so ihr Verhalten lenkt [KLÜGL 2001, S. 185].

Auswertungskomponente Die Daten in den Protokolldateien können in der *Auswertungskomponente* weiter verarbeitet werden. Einfache Statistiken und Diagramme können für eine erste Interpretation der Ergebnisse einer Simulation herangezogen werden. Dazu werden mit Datenfiltern die Werte der relevanten Variablen aus den Protokolldateien ausgelesen. Über Abstraktionsmechanismen (vgl. auch Datenabstraktion bei der Animationskomponente) können einfache Statistiken (z. B. Summe, Mittelwert, Standardabweichung,...) für die Variablen berechnet werden. Über Exportfilter können Dateien erzeugt werden, die von anderen Tabellenkalkulations- oder Statistikprogrammen eingelesen werden können und so auch aufwendigen Analysen zur Verfügung stehen [KLÜGL 2001, S. 166, 185 ff.]. Abbildung 14 zeigt eine Übersicht über die bisher erläuterten Komponenten von *SeSAM*.

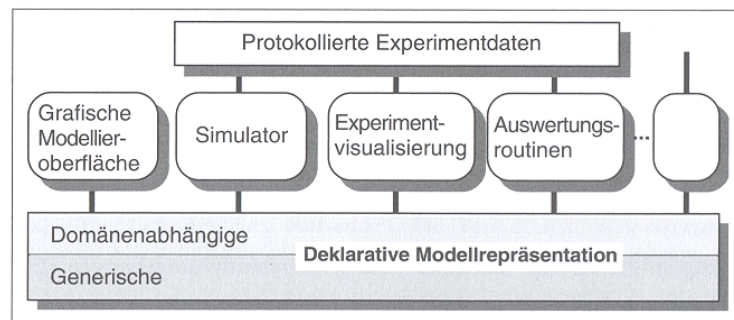


Abbildung 14: Die Bestandteile des *SeSAM*-Systems [aus KLÜGL 2001, S. 165]

10.2.3. Erstellung einer Waldbrandsimulation mit *SeSAM*

Im Folgenden sollen die wichtigsten Schritte bei der Implementierung einer Simulation in *SeSAM* nochmal an einem Beispiel erläutert werden. Dazu dient sinnvollerweise die Umsetzung eines Waldbrandszenarios.

Deklaration der Domäne Die Domäne bildet die Grundlage für das Multiagentenmodell, da hier u. a. die Klassen von Objekten, die der Simulation zugrunde liegen, festgelegt

werden. Die *Umwelt* wird z. B. als „Feuer-Welt“ bezeichnet, wobei das zugehörige Bezugssystem eine zweidimensionale, diskrete Karte für die räumliche Repräsentation des Modells enthält. Es werden die *Agenten-Klassen* für die Feuerwehreinheiten angelegt, welche in diesem Fall aus der „Löschauto-Klasse“ und „Helikopter-Klasse“ bestehen. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen [vgl. HUBER 2000] wird die Entscheidung getroffen, auch „Feuer“ als eine eigene Agenten-Klasse zu realisieren. Für die *Ressourcen* werden die Klassen „Haus-Klasse“, „Laubwald-Klasse“, „Mischwald-Klasse“ und „Nadelwald-Klasse“ angelegt, welche die brennbaren Objekte (engl. *fuels*) darstellen. Weiterhin werden auch eine „See-Klasse“ und eine „Straßen-Klasse“ geschaffen, welche wie die Feuerwehreinheiten nicht brennbar sind. Für die grafische Animation der Simulation müssen Bilder bzw. Symbole (falls noch nicht vorhanden) für die einzelnen Objekte entworfen und den Objekten zugeordnet werden.

Festlegung der Variablen und Parameter¹ Jeder simulierten Einheit des Modells (Agent, Ressource und Umwelt) werden Zustandsvariablen zugewiesen und mit bestimmten Werten (bzw. Wertebereichen) belegt. Der Umwelt „Feuer-Welt“ werden z. B. die Variablen „Windstärke“ und „Windrichtung“ zugewiesen und eine „Kartengröße“ als Parameter zugeordnet. Feuerwehreinheiten besitzen z. B. die Variablen „Aktuelle Tankfüllhöhe“ und „Geschwindigkeit“ bzw. die Parameter „Maximale Tankkapazität“ oder „Sichtweite“. Die zentrale Variable für Feuer-Agenten ist die „Intensität“.

Erstellung des Verhaltensmodells Für jede Agenten-Klasse wird ein eigenes Verhaltensmodell erstellt. Das Verhalten der Feuerwehreinheiten besteht z. B. aus den *Aktivitäten* „Zum-Feuer-fliegen“, „Feuer-löschen“, „Nach-Feuer-suchen“. Feuer-Agenten dagegen besitzen Aktivitäten wie z. B. „Schwelen“, „Brennen“, „Lodern“ und „Verlöschen“. Desweiteren müssen *Regeln* zur Steuerung der Abfolge zwischen den Aktivitäten definiert werden. Für einen Feuer-Agenten könnte so eine Regel folgendermaßen lauten: „Wenn meine Intensität größer als 40 Intensitätspunkte ist, dann ändere ich meine aktuelle Aktivität zu ‚Brennen‘“. Für einen Helikopter könnte dagegen die folgende Regel zutreffen: „Wenn mein Wassertank fast leer ist und kein Feuer brennt, dann gehe ich zur Aktivität ‚Beim-nächsten-See-Auftanken‘ über.“

Kalibrierung und andere Schwierigkeiten Nachdem dem alle bisher geschilderten Schritte erfolgreich durchgeführt worden sind, steht als letzter wichtiger Schritt die *Kalibrierung* an, d. h. die Abstimmung der Parameter der Simulation. Die Werte dieser Parameter sollten so gewählt werden, dass die Simulation aussagekräftige Ergebnisse im Hinblick auf die Fragestellung der Untersuchung liefert. Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Parameterwerten in einer Multiagentensimulation ergeben sich daraus, dass sich Werte auf eine Vielzahl von Agenten auswirken und in ihrer Wirkung potenzieren können. Es können sich dadurch sensible Schwellenwerte ergeben, an denen das Verhalten „umkippen“ kann. Im Gegensatz zu anderen Simulationsmethoden stehen bei Multiagentensimulationen mehr

¹In diesem Zusammenhang werden Zustandsvariablen, welche während einer Simulation veränderlich sind als Variablen bezeichnet, konstante Größen, die vor allem zur Kalibrierung des Modells dienen, dagegen als Parameter.

Möglichkeiten, Veränderungen vorzunehmen, zur Verfügung ¹, weswegen KLÜGL (2000, S. 73 f.) die Kalibrierung eines Multiagentenmodells als ein „aufwendiges und schwieriges Unterfangen“ bezeichnet.

KLÜGL (2000, S. 73 ff.) weist neben der Kalibrierung der Parameter noch auf andere Problembereiche beim Entwurf eines Multiagentensystems hin, die auch die Kalibrierung beeinflussen können. Dazu zählen der *Detaillierungsgrad* des Systems und die *lokalen Verhaltensweisen* der Agenten. Während bei der Modellierung eines Waldbrandszenarios die Wahl des *Detaillierungsgrades* (z. B. einzelne Löschfahrzeuge vs. Löschmannschaften) keine besonderen Schwierigkeiten verursacht, da man sich an bereits existierenden Waldbrandsimulationen orientieren kann, ist die Auswahl der Verhaltensweisen schon mit größeren Unsicherheiten verknüpft. Verfügen z. B. die Feuerwehreinheiten über die Fähigkeit, sich selbstständig zu bewegen und nach Feuern zu suchen, steigt ihre Leistungsfähigkeit bei der Feuerbekämpfung und das Ausbreitungsverhalten gegenüber einer reinen Befehlssteuerung durch einen Benutzer, weswegen die entsprechenden Parameter der Feuer-Agenten „aggressiver“ eingestellt werden müssen, um das Gleichgewicht zu erhalten. Insgesamt ergibt sich daher ein komplexes Muster von Zusammenhängen, das eine genaue Kenntnis der Simulation erfordert.

11. Implementierung der Simulation

Im Rahmen dieser Arbeit wurde vom Autor eine Simulation eines Waldbrandszenarios erstellt². Da die Implementierung dieses Modells einen nicht unerheblichen Teil der Diplomarbeit ausmachte und zur Beurteilung der Ergebnisse der Untersuchung dessen genaue Spezifikation von großer Bedeutung ist, soll im Folgenden genauer darauf eingegangen werden. Zuerst werden die Eigenschaften des Umweltmodells beschrieben, d. h. der Umwelt und der Feuerwehreinheiten. Danach werden die verschiedenen Steuerungsarten erläutert in Form der aktionsbasierten und den verschiedenen Formen der strategiebasierten Kontrolle. Am Ende des Abschnitts wird ein Vorschlag für ein Normatives Modell zur effektiven Feuerbekämpfung präsentiert.

11.1. Spezifikation der Waldbrandsimulation

In diesem Abschnitt soll die genaue Spezifikation der Waldbrandsimulation dargelegt werden, so wie sie in der Untersuchung verwendet wurde. Zunächst werden einige Anforderungen bzw. Designkriterien genannt, die es zu berücksichtigen galt. Daran schließt sich eine genaue Beschreibung der Struktur und des Verhaltens von Umwelt und Feuerwehreinheiten an.³

¹vgl. hierzu die Eigenschaften von komplexen Systemen im Abschnitt 2.2

²Erweiterungen von *SeSAM*, die für die Untersuchung erforderlich waren, wurden vor allem von Franziska KLÜGL, aber zum Teil auch von Christoph OECHSLEIN programmiert.

³Es wird hier von der technischen Unterscheidung von ‚Umwelt‘, ‚Agent‘, ‚Ressource‘ abgewichen und eine realitätsnähere Gliederung in ‚Umwelt‘ und ‚Feuerwehreinheiten‘ vorgenommen.

11.1.1. Anforderungen an die Simulation

Die folgenden Anforderungen galt es bei der Erstellung und Kalibrierung der Simulation zu beachten:

- Die erstellte Simulation soll wichtige domänenspezifische Merkmale des Waldbrandszenarios plausibel abbilden, so dass Vpn ihr vorhandenes Wissen bzw. Erwartungen auf die Simulation anwenden können bzw. sich die Simulation nicht erwartungswidrig oder unnatürlich verhält.
- Sowohl bei direkter Steuerung als auch bei Anwendung von globalen Strategien soll die Aufgabe der Feuerbekämpfung bewältigbar sein, d. h. die Waldbrände unter Kontrolle gehalten werden können.
- Es soll vermieden werden, dass durch eine zu leichte bzw. zu schwere Aufgabenstellung Boden- bzw. Deckeneffekte auftreten. Stattdessen sollen die Szenarios eine mittlere Schwierigkeit für die Vpn bieten, wobei gute Vpn nicht unterfordert und schwache Vpn nicht überfordert bzw. frustriert werden. Auch sollen während der Simulation keine „Leerlaufphasen“ auftreten, in denen sich die Situation nicht verändert (z. B. es nichts zu tun gibt, da keine Feuer ausbrechen).
- Es zeigte sich, dass auch die technischen Rahmenbedingungen einen erheblichen Einfluss auf die Gestaltung der Untersuchung nahmen, so dass als Kriterium auch die Simulationsgeschwindigkeit berücksichtigt werden musste. Die Simulation soll so gestaltet sein, dass sie in einem Experiment mit Versuchspersonen, bei dem nur begrenzte Zeit (i. e. wenige Stunden) zur Verfügung steht, eingesetzt werden kann.

11.1.2. Das Umweltmodell

Im Unterschied zu den Feuerwehreinheiten, die das menschliche Handeln repräsentieren, beschreibt das Umweltmodell den Teil der Simulation, welcher die Natur bzw. die Umwelt des Menschen darstellt. Das betrifft das Waldgebiet, Feuer, Wind und die Temperatur. Abbildung 15 zeigt einen Ausschnitt aus einer laufenden Simulation, in welchem die Objekte abgebildet sind, die im Folgenden beschrieben werden.

Die Waldbrandszenarios In der vorliegenden Simulation werden unterschiedliche Szenarios¹ verwendet, die sich zum einen in ihrer *räumlichen Struktur* als auch im *zeitlichen Verlauf* der Ereignisse unterscheiden (vgl. Abschnitt 9.1.1).

Der allgemeine Aufbau der verwendeten Waldgebiete, die als zweidimensionale Karten in der Vogelperspektive dargestellt werden, sieht folgendermaßen aus. Die Karten haben jeweils eine Ausdehnung von 35×35 Gebietseinheiten, wobei jeder Gebietseinheit (i. e. Feld) jeweils eine Ressource zugeordnet ist.²

Zu den Ressourcen zählen dabei der Wald (Laub-, Misch-, Nadelwald), Häuser, Seen und Straßen, die im nächsten Abschnitt genauer beschrieben werden. Der Wald bedeckt in

¹Synonym zum Begriff ‚Szenario‘ wird im Folgenden auch der Begriff ‚Welt‘ verwendet.

²Im Versuch wurde den Vpn mitgeteilt, dass ein Feld auf der Karte in der Realität einer Fläche von 500m x 500m entsprechen würde. Ein Symbolbild bedeutet demnach, dass sich auf einem Feld mehrere Häuser oder Bäume befinden.



Abbildung 15: Ein Ausschnitt aus einer laufenden Simulation („Welt 1“ im Takt 100). Das graue *Pop-up*-Fenster zeigt die Objekte auf einem positionsgleichen Feld.

zusammenhängenden Flächen einen Großteil der Karten. Auch die Häuser sind zu geschlossenen Dörfern zusammengefasst, so dass keine einzelnen Häuser (sozusagen ‚Einsiedlerhöfe‘) vorkommen. Dies wird in Anlehnung an die ursprüngliche Idee des Waldbrandszenarios gestaltet, da die Dörfer auf diese Weise ein Äquivalent zu der zu schützenden „Basis“ in den Untersuchungen von BREHMER bilden [vgl. BREHMER 1990, S. 271].

Durch diese „Landschaft“ zieht sich desweiteren ein zusammenhängendes Straßennetz, das die Dörfer miteinander verbindet und speziell den Löschautos auf den Straßen eine größere Geschwindigkeit verleiht, um diese in ihrer Effektivität gegenüber den Helikoptern aufzuwerten. Durch ihre fehlende Entzündlichkeit stellen Straßen ähnlich wie der Kartenrand natürliche Barrieren für die Ausbreitung des Feuers dar und erleichtern somit eine Kontrolle der Brände. Durch die Straßen und deren Kreuzungen entstehen unterschiedlich große und verschieden geformte Sektoren, die den ausbrechenden Feuern abhängig von ihrem Entstehungsort eine unterschiedliche Bedeutung verleihen, z. B. was die Gefahr einer weiteren Ausbreitung betrifft. Auf manchen Feldern, befinden sich Seen, die unterschiedlich gut zu erreichen sind (z. B. nah an der Straße oder abgelegen im Wald) und den Feuerweh-

reinheiten ein Auffüllen ihrer Lösch tanks ermöglichen.

Neben diesem räumlichen Aufbau spielte auch der zeitliche Ablauf der Ereignisse (z. B. Ausbruch eines Feuers) in den Szenarios eine wichtige Rolle. Aufgrund von Erfahrungen aus früheren Untersuchungen [BÜTTNER 1999; HUBER 2000] wird der deterministischen Festlegung der Ereignisse in den Szenarios gegenüber einer probabilistischen Steuerung der Vorzug gegeben. Auf diese Weise sollen zufallsbedingte Störfaktoren (z. B. Schwankungen der Anzahl der ausbrechenden Feuer), die die tatsächliche Leistung einer Versuchsperson „verrauschen“, minimiert werden. Dies wird dadurch realisiert, dass Ereignisse wie der Ausbruch eines Feuers (i. e. Zeit und Position), Änderung von Windstärke oder Windrichtung in einer Datei explizit festgelegt werden. Dadurch werden zwar nicht alle Zufallsfaktoren aus der Simulation entfernt (z. B. selbstständige Suchbewegungen der FWEn), aber zumindest auf ein Minimum eingeschränkt.

In der Untersuchung werden insgesamt zwei Szenarios (und ein Aufwärm szenario) verwendet. Diese sind zwar nach ähnlichen Prinzipien gestaltet, weisen aber trotzdem eine unterschiedliche Schwierigkeit bzw. andere Anforderungen, z. B. hinsichtlich der Bedeutung des Häuserschutzes, auf. Diese Szenarios werden im Verlauf der Untersuchung wiederholt dargeboten (vgl. Versuchsplan in Tabelle 6), wobei Lerneffekte zu erwarten sind. Um Hinweise auf diese Effekte zu bekommen werden nicht nur unterschiedliche Szenarios verwendet, sondern ein Szenario wird zusätzlich in verfremdeter Form erneut dargeboten, wobei die objektiven Anforderungen nahezu unverändert bleiben. Die genauen Unterschiede in der Konfiguration der Szenarios können Tabelle 7 entnommen werden. Anhang B enthält Abbildungen der verschiedenen Szenarios.

Szenario 0 (Aufwärm szenario) wird den Versuchspersonen zu Beginn der Untersuchung im Rahmen der Instruktion vorgegeben, um sie mit den grundlegenden Eigenschaften der Simulation bzw. der Simulationsumgebung vertraut zu machen. Sie bearbeiten dieses Szenario mittels aktionsbasierter Handsteuerung. Die Entzündlichkeit der brennbaren Objekte ist herabgesetzt, was die Feuerbekämpfung sehr einfach macht und Frustration und Überforderung der Vpn durch zu rasches Verbrennen des Waldes vermeidet.

Szenario 1 wird zu Beginn jedes neuen Versuchsabschnitts dargeboten, bei dem eine neue Steuerungsart eingeführt wird, da es einfacher als Szenario 2 ist und nur wenig Häuser geschützt werden müssen. Es brechen im Vergleich zu Szenario 2 weniger Feuer aus, die sich auch seltener in der Nähe der Häuser befinden.

Szenario 2 wird nur bei Steuerungsart 1 und 4, d. h. zweimal im Verlauf der Untersuchung dargeboten. Es besitzt sehr viele Häuser, die auf zwei Dörfer verteilt sind, die sich in entgegengesetzten Richtungen auf der Karte befinden, was ggf. eine Aufteilung der FWEn erfordert. Das Szenario bzw. die Karte wird bei Steuerungsart 4 im Vergleich zu Steuerungsart 1 in gedrehter Form dargeboten, wobei das Ausgangsszenario mit einem Winkel von +90 Grad im Uhrzeigersinn gedreht wird. Diese Methode wurde bereits von [DÖRNER & PFEIFER 1992] und MUCK (1999, S. 113 ff.) verwendet. Dieser Winkel wird gewählt, da die Dörfer im Szenario punktsymmetrisch verteilt sind, und bei einer Drehung um ± 180 Grad, ein Wiedererkennen des Szenarios durch die Vp provoziert werden würde, da die um 180 Grad gespiegelte Version der Ausgangsversion sehr ähnlich sieht (vgl. Anhang B).

11. Implementierung der Simulation

Die ursprüngliche Idee ein Szenario zu verwenden, dessen räumliche Struktur gleich bleibt, während nur der zeitliche Verlauf verändert wird (z. B. Ort und Zeit des Ausbruchs eines Waldbrandes, Änderungen der Windrichtung,...), konnte leider nicht mehr in die Untersuchung mit aufgenommen werden. Auch die mehrmalige Darbietung des Szenarios 2 in verschiedenen Versionen musste auf ein Minimum reduziert werden. Die Gründe hierfür liegen in der begrenzten Dauer des Versuchs bzw. in der begrenzten Belastbarkeit der Vpn.

VARIABLE	SZENARIO 0 (Instruktion)	SZENARIO 1	SZENARIO 2 (bzw. 2')
<i>Entzündlichkeit aller brennbaren Objekte</i>	0.96	0.99	0.99 (0.99)
<i>Anzahl der Häuser</i>	84	18	85 (85)
<i>Anzahl ausbrechender Feuer</i>	21	15	36 (36)
<i>Häufigkeit mit der 3 Feuer gleichzeitig ausbrechen</i>	3	1	3 (3)
<i>Windstärke</i>	m = 3.45 s = 1.24	m = 5.22 s = 0.54	m = 4.18 (4.18) s = 1.06 (1.06)
<i>Windrichtung</i>	m = N. A. s = 1.06	m = N. A. s = 1.55	m = N. A. s = 1.66 (1.68)

Tabelle 7: Parameterkonfiguration der Szenarios

Ressourcen Zu den oben bereits angesprochenen Ressourcen zählen sowohl brennbare Objekte¹, i.e. Wälder (Laub-, Misch- und Nadelwald) und Häuser, als auch nicht-brennbare Objekte wie Seen und Straßen. Die Waldstücke werden durch symbolisierte Bäume (grüne Baumkronen), die Häusern dagegen durch kleine Häuschen (weiße Wände mit braunem Dach) dargestellt. Die Seen (blau) und die Straßen (schwarz mit weißen Mittelstreifen) sind davon deutlich zu unterscheiden. Brennbare Objekte besitzen alle die gleiche *Entzündlichkeit*, welche die Zunahme der *Intensität* des Feuers beeinflusst. Jedes brennbare Objekte hat solange es noch vom Feuer unberührt geblieben ist, einen festgelegten Wert an Energie, der dadurch, dass es von einem Feuer „verbrannt“ wird, immer weiter reduziert wird. Änderungen des Zustands der brennbaren Objekte (brennbar vs. abgebrannt) werden durch entsprechende Symbolbilder angezeigt, so dass auf einen Blick abgebrannte Flächen von intakten Flächen unterschieden werden können. Unterschiede der restlichen Energie von brennbaren Objekten werden abgesehen von der Unterscheidung der Zustände ‚verbrannt‘ (Energie = 0) und ‚noch nicht ganz verbrannt‘ (Energie > 0) leider nicht visualisiert. Die relevanten Formeln und Parameterwerte werden im nächsten Abschnitt über die Spezifikation von Feuer und Waldbränden erläutert.

¹engl. *fuels*

Feuer und Waldbrände¹ Feuerverhalten muss sowohl auf der mikroskopischen Ebene eines einzelnen Feuer-Agenten als auch auf der makroskopischen Ebene von Waldbränden plausibel sein:

Feuer wird als eine eigene Agenten-Klasse realisiert. Zu vorgegebenen Zeitpunkten entzündet sich an bestimmten ebenfalls vorgegebenen Positionen einzelne Feuer, die zu Beginn auf ein Feld beschränkt sind. Die Entwicklung des Feuers bzw. das Verhaltensmodell der Agenten der Feuer-Klasse, wird durch Aktivitäten bestimmt wie z. B. ‚Schwelen‘, ‚Brennen‘, ‚Lodern‘, die eine zunehmende Intensität des Feuers ausdrücken. Die Aktivität ‚Verlöschen‘ wird zur aktuellen Aktivität, wenn das Feuer gelöscht wird oder das verbrannte Objekt keine Energie mehr besitzt. Dieses Verhaltensmodell ist in Abbildung 16 als Verhaltensautomat in einem Editorfenster von *SeSAM* dargestellt, wobei sich die zugehörigen Regeln für den Übergang zwischen den Aktivitäten bzw. der Ausbreitung eines Feuer-Agenten der Tabelle 8 entnehmen lassen.

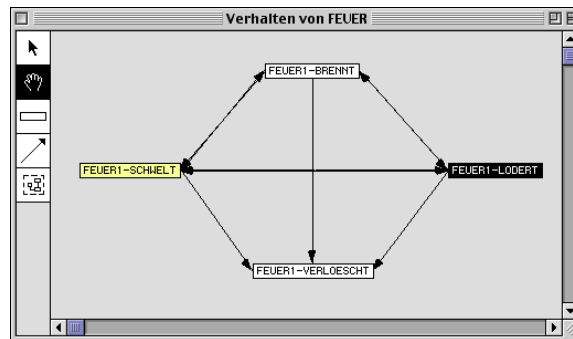


Abbildung 16: Das Verhaltensmodell der Feuer-Agenten im Verhaltenseditor

Wenn die Intensität eines Feuers ausreichend hoch ist, breitet es sich zunächst nur in Windrichtung, mit zunehmender Intensität aber auch fächerförmig auf anliegende brennbare Objekt aus und zwar auf die Objekte in Windrichtung² und in einem Winkel von 45 Grad im oder gegen den Uhrzeigersinn, so dass durch ein einzelnes Feuer höchstens drei brennbare Objekte zu einem bestimmten Zeitpunkt bedroht sind. Dadurch und im Zusammenhang mit der stets gleichen Änderung von Windstärke und Windrichtung ergibt sich ein deterministischer Verlauf für jedes Szenario, der ohne Eingreifen der Feuerwehreinheiten in stets gleicher Weise geschieht (vgl. Tabelle 8).

INTENSITÄT	0-9	11-39	40-59	60-69	70-89	90-100
<i>Aktivität</i>	Verlöschen	Schwelen	Brennen	Lodern		
<i>Ausbreitung (in Windrichtung)</i>	Nein			Ja		
<i>Ausbreitung (±45 Grad von der Windrichtung)</i>	Nein					Ja

Tabelle 8: Verhalten eines Feuer-Agenten abhängig von seiner Intensität

¹Um Verwirrung zu vermeiden wird im Folgenden eine Unterscheidung zwischen ‚Einzelfeuern‘ bzw. ‚Feuer-Agenten‘ und ‚(Wald)Bränden‘ getroffen, die aus mehreren zusammenhängenden Einzelfeuern bestehen. Der Begriff ‚Feuer‘ wird weiter verwendet und umfasst beide Bedeutungen.

²Die Windrichtung bezeichnet hier die Richtung, in die der Wind bläst.

11. Implementierung der Simulation

Die zentrale Variable des Feuers bzw. eines einzelnen Feuer-Agenten, auf der das Verhaltensmodell basiert, besteht in seiner *Intensität*. Die Intensität wird für jeden Feuer-Agenten pro Takt anhand der folgenden Formel berechnet:

$$I_t(\text{Feuer}) = \min \left\{ I_{t-1}(\text{Feuer}) \cdot \left[1 + \left(\frac{W_{s_{t-1}}}{20} \right)^2 \right] \cdot 1.1 \cdot E_{t-1}(\text{Fuel}), \quad 100 \right\}$$

I_x = die Intensität eines bestimmten Feuer-Agenten im Takt x

E_x = die Entzündlichkeit des zum Feuer-Agenten positionsgleichen, brennbaren Objekts im Takt x

W_{s_x} = die Windstärke im Takt x

x = Taktzahl zwischen 0 bis maximal 100

Aus dieser Formel ist zu entnehmen, dass die Intensität eines einzelnen Feuers von der Intensität des Feuers jeweils im vorherigen Takt, der globalen Windstärke und der Entzündlichkeit des abrennenden Objekts abhängig ist. Dazu kommt die Wirkung, die das ausgeworfene Löschwasser aller positionsgleichen Feuerwehreinheiten auf die Feuerintensität hat:

$$I_t(\text{Feuer}) = I_{t-1}(\text{Feuer}) - \sum_{F \in \text{pos.gleicher,löschender FWE}} \frac{L_{t-1}(F)}{10}$$

I_x = Intensität eines bestimmten Feuer-Agenten im Takt x

L_x = ausgeworfene Löschwassermenge einer Feuerwehreinheit im Takt x

x = Taktzahl zwischen 0 bis maximal 100

Von der Intensität hängt nicht nur ab, ob sich ein Feuer weiter ausbreitet (d. h. der Feuer-Agent weitere Feuer-Agenten generiert), sondern auch, welchen Schaden der Feuer-Agent an dem Objekt anrichtet, das er gerade verbrennt. Dieser Schaden bzw. die restliche Energie des verbrannten Objektes wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$E_t(\text{Fuel}) = E_{t-1}(\text{Fuel}) - I_{t-1}(\text{Feuer})$$

E_x = Energie des zum Feuer-Agenten positionsgleichen, brennbaren Objekts im Takt x

I_x = Intensität des Feuer-Agenten im Takt x

x = Taktzahl zwischen 0 bis maximal 100

Um das Feuerverhalten auch auf der makroskopischen Ebene der Waldbrände zu verstehen, müssen zusätzlich noch Faktoren, wie die Windrichtung und natürliche Barrieren, die in der Ausbreitungsrichtung des Waldbrandes liegen, berücksichtigt werden. In den eingesetzten Szenarios zählen Straßen, Seen und abgebrannte und somit nicht mehr entzündliche Objekte, als auch andere anliegende Feuer zu den natürlichen Barrieren. Tabelle 9 bietet nochmal eine Übersicht über die verschiedenen Faktoren, die für das Feuerverhalten in der Simulation maßgeblich sind.

Abschließend bleibt zu bemerken, dass als Information bzw. Feedback für die Vpn die An-

11. Implementierung der Simulation

BEEINFLUSSUNG DER INTENSITÄT	BEEINFLUSSUNG DER AUSBREITUNG
Intensität	Intensität
Entzündlichkeit und Energie der positionsgleichen Objekte	Entzündlichkeit und Energie der benachbarten Objekte bzw. Vorhandensein von Barrieren
Windstärke	Windrichtung
ausgeworfene Löschwassermenge	

Tabelle 9: Faktoren, die das Feuerverhalten in der Simulation beeinflussen.

zahl der aktuell brennenden Feuer(felder) und die Anzahl aller bisher gelöschten Einzelfeuer in einem Status-Fenster der Umwelt sichtbar gemacht wird.

Wind, Temperatur und Feuchtigkeit Wind ist in zweifacher Hinsicht von Bedeutung für das Feuerverhalten. Erstens beeinflusst er durch seine Stärke die Zunahme an Intensität pro Takt und bestimmt durch seine Richtung die Ausbreitungsrichtung des Feuers. Wie weiter oben schon erläutert wurde, wird sowohl Windstärke als auch Windrichtung für jedes Szenario deterministisch gesteuert.

Um das Szenario anspruchsvoll und realistisch zu gestalten, sollten auch Temperatur und Feuchtigkeit (des Waldes) in die Simulation mit aufgenommen. Im Gegensatz zu früheren Szenarios [vgl. HUBER 2000], bei denen die Entzündungswahrscheinlichkeit für Waldbrände direkt von der Umwelttemperatur abhing, sollte die Wirkung der Temperatur in diesem Szenario über die Austrocknung der Bäume, d. h. über ihre Feuchtigkeit vermittelt werden. Um jedoch eine höhere bzw. gleichbleibende Simulationsgeschwindigkeit zu erreichen, mussten die zugehörigen Berechnungsfunktionen jedoch im Zuge des Geschwindigkeitstunings ausgeschaltet und die Variablenwerte auf einen konstanten Wert gesetzt werden. Stattdessen stellen diese (jetzt) unwichtigen Parameter eine Möglichkeit dar zu untersuchen, ob Vpn relevante von irrelevanten Parametern unterscheiden können. Die Werte der Umweltparameter werden während des Versuchs im Status-Fenster der Umwelt eingeblendet (zusammen mit der Anzahl von brennenden und gelöschten Feuern).

Übersicht über die Umweltparameter Tabelle 10 fasst die Wertebereiche der bisher genannten Parameter und Variablen zusammen.

UMWELTPARAMETER	MINIMALER WERT	MAXIMALER WERT
Energie (pro brennbarem Objekt)	0 („verbrannt“)	1500 („intakt“)
Feuerintensität (pro Feuer-Agent)	0 („Feuer verlöscht“)	100 („Maximale Intensität“)
Windstärke	1 („Windstille“)	9 („Orkan“)
Windrichtung (im Uhrzeigersinn codiert)	0 („Norden“)	7 („Nord-Westen“)
Temperatur	25 Grad (const.)	
Feuchtigkeit	80% (const.)	

Tabelle 10: Übersicht über die Umweltvariablen und -parameter

11.1.3. Die Feuerwehreinheiten

Die Feuerwehreinheiten stellen die (menschlichen) Akteure im Waldbrandszenario dar. Sie sind das Instrument, mit dem die Versuchsperson in das Szenario eingreifen kann. Es werden zwei Arten von Feuerwehreinheiten verwendet, Löschautos und Helikopter, die beide durch das Auswerfen von Löschwasser Feuer bekämpfen können. D. h. Schutzrodungen oder Gegenfeuer können nicht zur Feuerbekämpfung eingesetzt werden. In der Tabelle 11 sind die wichtigsten Leistungsdaten der Feuerwehreinheiten zu einer Übersicht zusammengestellt. Diese Informationen können auch während der Simulation von der Vp durch Anklicken der jeweiligen Feuerwehreinheit und eines Info-Schalters abgerufen werden. Die Aktivitäten bzw. Befehle, die die Feuerwehreinheiten ausführen können werden in Abschnitt 11.2 genauer erläutert.

Löschautos Die Löschautos sind mobile Feuerwehreinheiten, die sich nur auf dem Boden bewegen können. Sie können dabei Straßen benutzen, aber sich auch ihren Weg durch den Wald bahnen, was allerdings ihre Geschwindigkeit stark verringert. In jedem Szenario stehen den Vpn insgesamt acht Löschautos zur Verfügung.

Da sich in früheren Untersuchungen gezeigt hat, dass die Löschautos gegenüber den Helikoptern aufgrund ihrer schwachen Leistungsdaten hinsichtlich Geschwindigkeit und Auswurfleistung wenig eingesetzt werden, wird durch verschiedene Maßnahmen die Bedeutung der Löschautos aufgewertet. Der größte Nachteil der Löschautos, ihre Geschwindigkeit, wird durch den Aufbau eines Straßennetzes in den Szenarios kompensiert. Auf der Straße können sich Löschautos mit sehr großer Geschwindigkeit bewegen, d. h. innerhalb eines Takts jeden anderen Punkt auf einer Straße erreichen. Durch ihre große Auswurfleistung und Tankkapazität sind sie in der Lage auch Feuer mit maximaler Intensität in einem Takt zu löschen, ohne danach den langen Weg zum nächsten See antreten zu müssen, um aufzutanken. Ihre niedrige Geschwindigkeit im Wald sowie ihre große Auswurfleistung und Tankkapazität prädestiniert sie für einen stationären Einsatz in gefährlichen Situationen, z. B. um Dörfer zu schützen, die akut vom Feuer bedroht werden.

Helikopter Helikopter sind mobile Feuerwehreinheiten, die sich nur in der Luft bewegen können, weswegen sie sich unabhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes stets mit der gleichen hohen Geschwindigkeit bewegen können. Dabei wird der Einfluss der Windstärke und Windrichtung vernachlässigt. Zugleich weisen sie aber nur eine verhältnismäßig geringe Tankkapazität und Auswurfleistung auf, weswegen sie besonders für kleine, wenig intensive Feuer an schwer zugänglichen Orten (z. B. mitten im Wald) geeignet sind. In jedem Szenario können insgesamt vier Helikopter eingesetzt werden, wobei die Zahl der Helikopter so dimensioniert ist, dass sie alleine das Szenario nicht unter Kontrolle bringen können.

11.2. Kontrolle einzelner Aktivitäten - Steuerungsart 1

Nachdem das Umweltmodell des Waldbrandszenarios erläutert wurde, wird in diesem Abschnitt die aktionsbasierte Steuerung der FWEn beschrieben.

11. Implementierung der Simulation

	LÖSCHAUTO	HELIKOPTER
<i>Sichtweite</i>	4 Felder	6 Felder
<i>Geschwindigkeit</i>	Wald: 1 Felder/Takt Strasse: >> 1 Feld/Takt	6 Felder/Takt
<i>Auswurfleistung</i>	1000 Liter/Takt	500 Liter/Takt
<i>Tankleistung</i>	1000 Liter	500 Liter
<i>Tankkapazität</i>	5000 Liter	500 Liter
<i>Anzahl der FWEen</i>	8 FWEen	4 FWEen

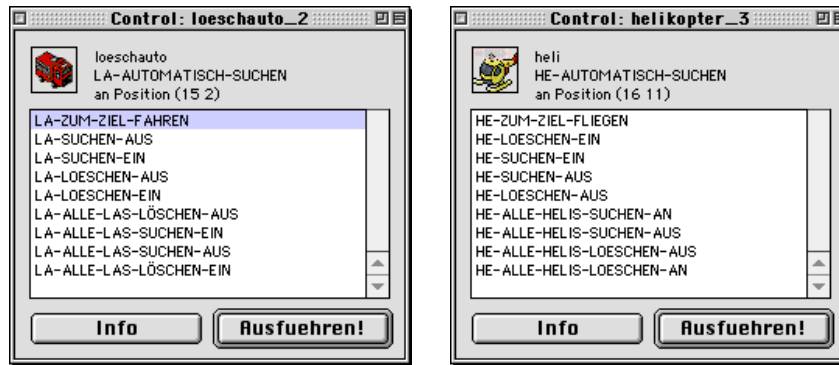
Tabelle 11: Leistungsdaten der Feuerwehreinheiten

Die Steuerungsart 1 (aktionsbasierte Handsteuerung) soll den Vpn zu jedem Zeitpunkt der Simulation eine *maximale Kontrolle* über das Verhalten der FWEen auf der *konkreten Ebene* einzelner Aktivitäten ermöglichen. Aus diesem Grunde besitzt jede FWE ein eigenes Kommando-Fenster (vgl. Abbildung 17), durch welches Befehle erteilt werden. Als konzeptionelle Vorlage dafür diente die Simulation *Winfire V1.37* von DÖRNER ET AL. (2001). Obwohl die Feuerwehreinheiten in dieser Steuerungsart nur minimale Autonomie besitzen, ist ein Teil des Verhaltens der Löschmannschaft in der Voreinstellung automatisiert. Dadurch wird der Versuchsperson die Eingabe trivialer Befehle erspart (z. B. wenn der Tank leer ist, dann zum See fahren und wieder auftanken). Das ist wichtig, da pro simulierter Zeiteinheit (i. e. Takt) nur einer FWE ein Befehl erteilt werden kann. Durch die Automatisierung von trivialen Befehlen bleiben die verschiedenen Szenarios auch bei Handsteuerung noch spielbar, ohne die Vpn durch die Vielzahl der notwendigen Einzelbefehle rein motorisch bereits zu überfordern. Teilweise ist auch eigenständiges intelligentes Verhalten der FWEen realisiert. Beispielsweise fahren die Einheiten nach dem Auftanken wieder zur Position des letzten von ihnen bekämpften Feuers zurück. Hier ist die Wahrscheinlichkeit, weitere Feuer zu finden, wesentlich höher, als ohne Nutzung „ihres Wissens“ zufallsgesteuert nach neuen Feuern zu suchen. Können die FWEen dagegen auf ihrem Weg zum letzten Feuer erkennen, dass das Feuer schon verlöscht ist, beginnen sie mit einer neuen Suche nach einem Feuer. Das Verhalten einer Feuerwehreinheit, so wie es für die Vp wahrnehmbar ist, kann durch die drei Verhaltens- bzw. Befehlskategorien *Bewegen*, *Löschen* und *Suchen* beschrieben werden.

Bewegen Nach Ausführen des Befehls ‚Zum-Ziel-fahren‘ bzw. ‚Zum-Ziel-fliegen‘ und Anklicken eines Zielfeldes auf der Karte, bewegt sich die jeweilige Feuerwehreinheit selbstständig auf dem schnellsten Weg zum Ziel. Helikopter wählen dazu den räumlich kürzesten Weg, da sie sich in der Luft mit stets gleicher Geschwindigkeit bewegen können. Löschautos können sich im Wald nur sehr langsam, auf der Straße dagegen sehr schnell fortbewegen. Sie fahren deshalb nur auf dem direkten Weg zum Ziel, wenn die Straßenbenutzung einen zu großen Umweg erfordert. In allen anderen Fällen benutzen sie dagegen die Straße.

Löschen Durch den Befehl ‚Löschen-An‘ bzw. ‚Löschen-Aus‘ kann selbstständiges Löschen von Waldbränden an- und abgeschaltet werden. In der Voreinstellung ist diese Funktion aktiviert, was bewirkt, dass Feuerwehreinheiten ein positionsgleiches Feuer löschen, wenn ihr Tank noch Löschwasser enthält, und ansonsten das Feuer ignorieren, solange sie keine

11. Implementierung der Simulation



(a) Kommandofenster eines Löschautos

(b) Kommandofenster eines Helikopters

Abbildung 17: Die Kommandofenster zur Handsteuerung der Feuerwehreinheiten

anderweitigen Befehle bekommen.

Suchen Der Befehl ‚Suchen-An‘ bzw. ‚Suchen-Aus‘ beeinflusst selbstständiges Suchen der Feuerwehreinheiten. Die Feuerwehreinheiten bewegen sich zum einen selbstständig zu einem Feuer hin, falls es in ihrer Sichtweite liegt. Zum anderen suchen sie selbstständig den nächsten See auf, wenn ihr Tank leer ist. Sie tanken dort auf und fahren wieder zum letzten Feuer zurück, das sie gelöscht haben. Diese Option ist in der Voreinstellung aktiviert.

Zusammenfassend kann man die wesentlichen Merkmale der Handsteuerung in Abgrenzung zu den anderen Steuerungsarten folgendermaßen beschreiben.

- In jedem Takt kann die Vp in die Simulation eingreifen.
- Einzelnen FWEn können konkrete Befehle erteilt werden.
- Zielangaben beziehen sich immer auf einzelne brennende Felder.
- Die Sichtweiten der FWEn sind beschränkt (i. e. lokal)

11.3. Strategisches Planen - Steuerungsart 2 bis 4

Bei Steuerungsart 1 kann eine Vp in jedem Takt einzelnen FWEn konkrete Befehle für einzelne brennende Felder erteilen. Bei den folgenden Steuerungsarten muss sie jedoch ihre Vorgehensweise bei der Waldbrandbekämpfung auf einer *abstrakten Ebene* als Strategien formalisieren. Diese werden dann an die FWEn delegiert und von ihnen selbstständig ausgeführt. Nachdem zuerst die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Steuerungsarten erläutert werden, wird danach jede strategiebasierte Steuerungsart mit ihren Besonderheiten einzeln vorgestellt.

11.3.1. Vorüberlegungen zum Aufbau der Strategien

An dieser Stelle ist es sinnvoll auf die Bedeutung des Begriffs ‚Strategie‘¹ zurückzugreifen (vgl. Abschnitt 3.2.1), wonach eine Strategie einen langfristigen und umfassenden Plan (oder Methode) darstellt, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

Das *Ziel* ist diesem Fall der Schutz der Häuser und der Wälder vor dem Feuer. Hinsichtlich des zugehörigen *Plans* bzw. der *Methode* zur Erreichung dieses Ziels wird im Rahmen dieser Waldbrandsimulation davon ausgegangen, dass bei der Feuerbekämpfung ein fester Handlungsablauf vorliegt nach dem Schema (bzw. Skript):

„Feuer bricht aus – Feuerweereinheit fährt zum Feuer – Feuer wird gelöscht“.

Dementsprechend ist die zentrale Frage nicht *wie*, sondern *welche Brände* gelöscht werden sollen. Anders formuliert könnte man auch danach fragen, welche Eigenschaften diejenigen Waldbrände aufweisen sollen, die zu löschen sind (z. B. Größe, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Abstand zu Häusern, etc.). Aus diesen Gründen müssen in Strategien zur Feuerbekämpfung die Eigenschaften der Waldbrände spezifiziert werden, die von den Feuerweereinheiten gelöscht werden sollen.

Weiterhin unterscheiden sich nicht nur die Brände, sondern auch die Feuerweereinheiten in ihren Eigenschaften, weshalb es sinnvoll ist, diese Merkmale im Hinblick auf eine effektive Feuerbekämpfung aufeinander abzustimmen. Dies betrifft sowohl die *Art* als auch die *Anzahl der Feuerweereinheiten*, die *pro Waldbrand* eingesetzt werden.

Der Aspekt der *langfristigen* Planung erfordert zudem, dass Strategien nicht zu jedem Zeitpunkt geändert werden, sondern ein Vorgehen für einen bestimmten Zeitraum im Voraus festgelegt wird. Das erfordert nicht nur über einen bestimmten Zustand eines Problems zu abstrahieren. Vielmehr muss über verschiedene Zustände bzw. Situationen geplant werden, die in der Zukunft möglicherweise auftreten und die es vorherzusagen gilt. Um *umfassend* Planen zu können, muss zudem ein breites Spektrum von (relevanten) Faktoren berücksichtigt werden können.

In Abschnitt 3 wurden verschiedene Modelle zur Repräsentation von Wissen oder Problemlöseprozessen beschrieben. Vor dem Hintergrund dieser Modelle und der eben ausgeführten Überlegungen wird zur Repräsentation der Strategien eine Kombination des Konzepts ‚Produktionsregel‘ mit dem Konzept ‚Schema‘ verwendet. Die Vorgehensweise bei der Feuerbekämpfung kann dadurch anhand von Regeln der folgenden Art beschrieben werden:

„WENN ein *Brand* ausbricht, DANN fahren *FWEn* hin und löschen den Brand.“

Desweiteren erlaubt die Anwendung des Schema-Konzepts, als „Schablone“ von Eigenschaften (*slots*), die mit bestimmten Werten belegt werden können, Waldbrände mit verschiedenen Eigenschaften zu erfassen (Bedingungsteil). Auch die Eigenschaften der ‚Löschaktion‘, d. h. der Art und Anzahl der Feuerweereinheiten, die *pro Waldbrand* eingesetzt werden bzw. auf wieviele Brände sich die Einheiten verteilen sollen, können so spezifiziert werden (Aktionsteil). In Tabelle 12 ist ein kleines Beispiel einer solchen Strategie angegeben.

¹Im Folgenden wird mit Strategie das gesamte Vorgehen einer Vp bei der Feuerbekämpfung bezeichnet, d. h. die Summe aller Teilstrategien.

WENN solche Waldbrände auftreten...		
Eigenschaften	Fläche	groß
	Intensität	mittel
	Abstand zum nächsten Haus	klein
DANN auf diese Weise löschen...		
Eigenschaften	Zahl der Helikopter	2
	Zahl der Löschautos	4
	Zahl der gleichzeitig bekämpften Feuer	2

Tabelle 12: Strategien als Kombination von Regel- und Schema-Konzept

11.3.2. Gemeinsame Voreinstellungen

Da die Vpn bei den Steuerungsarten 2 bis 4 nur auf die (globale) Strategie Einfluss nehmen sollen, wird die (lokale) *Taktik*¹ durch die Simulation vorgegeben. Von den verschiedenen möglichen Taktiken z. B. ‚Feuer-von-hinten-bekämpfen‘ oder ‚Feuer-von-vorne-bekämpfen‘ wird letztere, bei der die Feuerfront bekämpft wird, als Voreinstellung gewählt.² Diese Taktik ist so implementiert, dass die FWEn aus dem Waldbrand, dem sie durch die Strategie zugeteilt werden, ein Einzelfeuer auswählen. Dieses Feuer ist einerseits möglichst weit vorne (d. h. nah an der Feuerfront), wird aber zugleich noch von keiner anderen Feuerwehreinheit gelöscht. Damit soll eine ineffektive Konzentration der FWEn auf ein einzelnes Feuer vermieden werden.

Der Aspekt der ‚langfristigen Planung‘ wird dadurch umgesetzt, dass den Versuchspersonen nur zu bestimmten Zeitpunkten (alle 20 Takte) gestattet wird, in die Simulation einzugreifen bzw. ihre Strategien zu ändern. Falls den FWEn keine Strategie zur Ausführung zugeteilt ist oder kein Waldbrand vorhanden ist, der den aktuellen Strategien entspricht, bleiben die FWEn an den Positionen stehen, an denen sie den letzten Waldbrand bekämpft haben. Durch den Stillstand der FWEn soll die Vpn auch Rückmeldung über die Effizienz ihrer Strategien bekommen.

11.3.3. Steuerungsart 2 – reine Strategien

In der Steuerungsart 2 stehen der Vp vier verschiedene *reine Strategien* zur Auswahl, von denen sie eine auswählen kann, die dann allen Feuerwehreinheiten zugeteilt wird. Durch diese Strategien wird nur ein einziger Waldbrand anhand der folgenden Dimensionen bzw. Eigenschaften erfasst:

- *Abstand des Waldbrandes vom nächsten Haus:* Abstände ≤ 5 Felder werden als „beim Haus“ gewertet, alle größeren Abstände als „im Wald“.
- *Gesamtverzehrkraft bzw. Löscharkeit des Waldbrandes:* Dazu wird die kumulierte Intensität der einzelnen Feuer, aus denen sich der Waldbrand zusammensetzt, berechnet. Dabei sind die Gesamtverzehrkraft und Löscharkeit eines Waldbrandes zueinander indirekt proportional.

¹Taktik ist die Vorgehensweise wie ein ausgewählter Waldbrand konkret bekämpft wird („an welcher Ecke er angepackt wird“)

²Es ist noch nicht untersucht worden, ob diese Taktik in dieser Simulation wirklich die beste ist, aber sie stellt sicher eine plausible Lösung dar.

Diese Eigenschaften werden gewählt, da sie unabhängig voneinander sind und somit gut miteinander kombiniert werden können. Durch die Zuordnung von jeweils zwei entgegengesetzten Wertebelegungen zu den Eigenschaften ergeben sich die folgenden 4 *reinen Strategien* (vgl. Abbildung 18):

1. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen*
Der Waldbrand mit der kleinsten gesamten Feuerintensität, der sich in der unmittelbaren Nähe von Häusern befindet, wird bekämpft.
2. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Intensität-löschen*
Der Waldbrand mit der größten gesamten Feuer-Intensität, der sich in der unmittelbaren Nähe der Häuser befindet, wird bekämpft.
3. *Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen*
Der Waldbrand mit der kleinsten gesamten Feuer-Intensität, der sich nicht in der unmittelbaren Nähe von Häusern, d. h. im Wald befindet, wird bekämpft.
4. *Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Intensität-löschen*
Der Waldbrand mit der größten gesamten Feuer-Intensität, der sich nicht in der unmittelbaren Nähe von Häusern, d. h. im Wald befindet, wird bekämpft.

Die Verwendung von zueinander unabhängigen Eigenschaften und deren Belegung mit gegensätzlichen Werten, soll der Vp die unterschiedlichen Folgen der verschiedenen Strategien verdeutlichen. Insgesamt stellt diese Steuerungsart absichtlich nur suboptimale bzw. mittelmäßige Strategien zur Auswahl, um die Vpn auf der einen Seite zu frustrieren bzw. auf der anderen Seite zu motivieren, bessere Strategien zu finden.



Abbildung 18: Das Menü zur Auswahl von „reinen Strategien“

11.3.4. Steuerungsart 3 - kombinierte Strategien

Die Steuerungsart 3 unterscheidet sich von der Steuerungsart 2 in der Hinsicht, dass hier zusätzlich *kombinierte Strategien* zur Verfügung stehen. Das bedeutet, dass nicht mehr alle Feuerwehreinheiten die gleiche Strategie ausführen müssen. Hier können die Helikopter bzw. die Löschautos jeweils zur Hälfte (d. h. vier Löschautos und zwei Helikopter) einer *reinen (Teil)Strategie* zugeordnet werden. Diese neuen Strategien ergeben sich durch Kombination der Teilstrategien ‚Brände-bei-den-Häusern-löschen‘ bzw. ‚Brände-im-Wald-bekämpfen‘, wodurch nun insgesamt acht Strategien zur Verfügung stehen. Damit können in der Strategie nicht nur zwei Eigenschaften der Brände wie in Steuerungsart 2 berücksichtigt werden. Auch die Zusammensetzung der Löschmannschaft kann verändert werden, indem die Anzahl der Feuerwehreinheiten und die Anzahl der Brände, die gleichzeitig gelöscht werden,

11. Implementierung der Simulation

in engen Grenzen¹ verändert werden. Demzufolge stehen hier insgesamt acht Optionen zur Verfügung, die sich aus vier *reinen Strategien* und vier *kombinierten Strategien* zusammensetzen:

1. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen* wird von allen FWEn ausgeführt.
2. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Intensität-löschen* wird von allen FWEn ausgeführt.
3. *Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen* wird von allen FWEn ausgeführt.
4. *Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Intensität-löschen* wird von allen FWEn ausgeführt.
5. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen & Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen* werden von jeweils der Hälfte der FWEn ausgeführt.
6. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen & Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Intensität-löschen* werden von jeweils der Hälfte der FWEn ausgeführt.
7. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Intensität-löschen & Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Löschbarkeit-löschen* werden von jeweils der Hälfte der FWEn ausgeführt.
8. *Feuer-bei-Häusern-mit-maximaler-Intensität-löschen & Feuer-im-Wald-mit-maximaler-Intensität-löschen* werden von jeweils der Hälfte der FWEn ausgeführt.

Das Menü zur Auswahl der Strategien in Steuerungsart 3 ist analog zum Menü von Steuerungsart 2 (vgl. Abbildung 18) aufgebaut. D. h. jede Strategie bzw. Strategiekombination kann durch einen der acht Menüschalter ausgewählt werden.

11.3.5. Steuerungsart 4 - eigene Strategien

Steuerungsart 4 ermöglicht den Vpn auf einer abstrakten Ebene die Aktionen der FWEn zu steuern und darüberhinaus *eigene Strategien* einzugeben. Basierend auf den Überlegungen in Abschnitt 11.3.1 wird daher als Eingabemaske für die Feuerbekämpfungsstrategie eine *Tabelle* verwendet (vgl. Abbildung 19), welche im Folgenden erläutert wird.

Aufbau der Strategietabelle Die *Strategietabelle* erlaubt es, verschiedene Eigenschaften bzw. Parameter, die für eine Strategie zur Feuerbekämpfung von Bedeutung sind, mit Werten zu belegen. Es gibt demzufolge (fast) keine Zugriffsbeschränkung mehr auf die einzelnen Eigenschaften der Brände oder die Verteilung von Feuerwehreinheiten auf Brände. Lediglich

¹Durch die Kombination von ‚Feuer-im-Wald-Löschen‘ mit ‚Feuer-beim-Haus-Löschen‘ werden zwei Brände erfasst, im Gegensatz zur Anwendung z. B. einer ‚reinen‘ Strategie bei der max. ein Brand bekämpft wird.

11. Implementierung der Simulation

die Wertebelegung der Parameter ist durch eine vorgegebene Auswahl von relativen (z. B. „der kleinste Brand“) oder absoluten (z. B. „ein kleiner Brand“) Werten eingeschränkt. Als Hilfestellung bei der Generierung von eigenen Strategien werden die vier in Steuerungsarten 2 und 3 verfügbaren *reinen Strategien* mit ihren Wertebelegungen vorgegeben. Diese können aber beliebig verändert oder gelöscht werden.

Die Tabelle ist horizontal in zwei Teile gegliedert. Der obere Teil ermöglicht die *Beschreibung der Brände* durch Eigenschaften und Werte (Bedingungsteil). Der untere Teil betrifft die *Beschreibung der Löschmannschaft pro Brand*, d. h. die Art und Anzahl der eingesetzten FWEs (Aktionsteil). Die Zeilen entsprechen dabei den verschiedenen Parametern, mit denen die Strategien spezifiziert werden können. Die vertikale Gliederung der Tabelle (i. e. in Spalten) ergibt sich aus der Anzahl der eingesetzten Teilstrategien, welche sich durch ihre Parameter-Wert-Zuordnung voneinander unterscheiden. Jede Spalte stellt demnach eine eigene Teilstrategie dar.

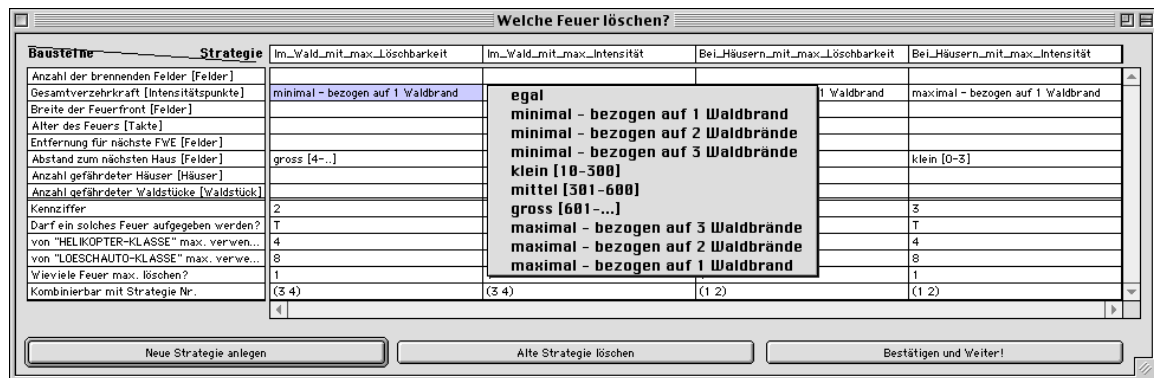


Abbildung 19: Die Tabelle zur freien Eingabe von eigenen Strategien. Hier mit den voreingestellten Werten für reine Strategien.

Brände, die bekämpft werden sollen, können anhand der folgenden Eigenschaften umschrieben werden:

- *Anzahl der brennenden Felder*: die Anzahl der einzelnen brennenden Feuerfelder, aus denen ein Brand sich zusammensetzt.
- *Gesamtverzehrkraft*: die aufsummierte Intensität der einzelnen Feuer eines Brandes.
- *Breite der Feuerfront*: ein Maß für die Anzahl an brennbaren Objekten, die unmittelbar durch den Brand bedroht werden.
- *Alter des Feuers*: die Anzahl an Takten, die der Brand schon existiert.¹
- *Abstand für nächste FWE*: die Entfernung des Brandes von der nächsten Feuerweereinheit.
- *Abstand vom nächsten Haus*: die Entfernung des Brandes vom nächsten Haus.²

¹Diese Variable stellt einen Distraktor (unwichtige Eigenschaft) dar. Sie ist zwar nicht gänzlich irrelevant, da sie z. B. mit der Gesamtverzehrkraft korreliert, sollte aber als die unwichtigere Eigenschaft von beiden nicht eingesetzt werden.

²Strecken, die von Barrieren unterbrochen sind, werden nicht berücksichtigt bzw. als unendlich gewertet werden, da sie vom Feuer nicht überwunden werden können.

11. Implementierung der Simulation

- *Anzahl der gefährdeten Häuser:* die Anzahl der Häuser, die vom Brand aus in Windrichtung liegen.
- *Anzahl der gefährdeten Wälder:* die Anzahl der Wälder, die vom Brand aus in Windrichtung liegen.

Diesen Parametern können durch ein *Drop-Down*-Menü die folgenden Werte bzw. Wert-Kategorien (z. B. „klein“, „mittel“, „groß“) zugewiesen werden, die bestimmten vorgegebenen Wertebereichen entsprechen (vgl. Abbildung 19 und Anhang B, Tabelle 15):

- *egal:* Die Eigenschaft wird bei der Auswahl der Brände nicht berücksichtigt (gleichbedeutend mit einem leeren Eintrag).
- *minimal - bezogen auf einen Waldbrand:* Der Brand mit dem kleinsten Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft wird ausgewählt.
- *minimal - bezogen auf zwei Waldbrände:* Die zwei Brände mit den zwei kleinsten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
- *minimal - bezogen auf drei Waldbrände:* Die drei Brände mit den drei kleinsten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
- *klein:* Beliebige viele Brände mit einem kleinen Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
- *mittel:* Beliebige viele Brände mit einem mittleren Wert hinsichtlich dieser Eigenschaften werden ausgewählt.
- *groß:* Beliebige viele Brände mit einem großen Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
- *maximal - bezogen auf 3 Waldbrände:* Die drei Brände mit den drei größten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
- *maximal - bezogen auf 2 Waldbrände:* Die zwei Brände mit den zwei größten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
- *maximal - bezogen auf 1 Waldbrand:* Der Brand mit dem größten Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft wird ausgewählt.

Werden relative Werte (z. B. „die drei größten Brände“ löschen) eingesetzt, liegen aber tatsächlich weniger Brände vor, dann verteilen sich die FWEn gleichmäßig auf diese Brände. Desweiteren ergibt sich die Zusammensetzung der *Löschmannschaft* aus den folgenden Angaben:

- *von „Helikopter-Klasse“ max. verwenden:* die Anzahl an Helikoptern, die zur Bekämpfung von Bränden mit den angegebenen Eigenschaften eingesetzt werden.
- *von „Loeschauto-Klasse“ max. verwenden:* die Anzahl an Löschautos, die zur Bekämpfung von Bränden mit den angegebenen Eigenschaften eingesetzt werden.
- *Wieviele Feuer maximal löschen?:* die maximale Anzahl an Bränden, die von den Feuerwehreinheiten, die diese Strategie ausführen, gleichzeitig bekämpft werden sollen. Dadurch kann gesteuert werden, von wievielen Feuerwehreinheiten ein Brand mindestens gelöscht wird.

Dabei kann jeder Teilstrategie eine beliebige Art und Anzahl an FWEn zugewiesen werden. Die Obergrenze an FWEn pro Strategie wird durch die Anzahl verfügbarer Einheiten bestimmt. Die Untergrenze pro aktiver Strategie ist eine Feuerweereinheit. Das bedeutet, dass maximal zwölf verschiedene Strategien gleichzeitig eingesetzt werden können. Ist einer Strategie keine Einheit zugeteilt, wird sie auch nicht ausgeführt. Die Angabe der Zahl der maximal zu löschenden Feuer bestimmt für jede Teilstrategie, auf wieviele Brände sich die FWEn verteilen sollen, wobei jedem Brand (möglichst) die gleiche Art und Anzahl von FWEn zugeteilt wird.

11.4. Konzept für ein Normatives Modell

Wie schon in Abschnitt 7 dargelegt wurde, ist ein häufig genannter Kritikpunkt an der komplexen Problemlöseforschung das Fehlen eines *Normativen Modells*, das zur Beurteilung der Leistungen von Vpn angewendet werden kann. Im Gegensatz dazu sollen im Folgenden zentrale Merkmale von Strategien zur Feuerbekämpfung vorgestellt werden, die nach Meinung des Autors von besonderer Bedeutung für die Effektivität der Strategien und somit Kriterien einer solchen „Ideallösung“ sind. Zum Teil können sie aufgrund logischer Überlegungen erschlossen werden, zum Teil zeigt sich ihr Wert im praktischen Umgang mit der Simulation. Diese Merkmale bilden allerdings keine scharf abgegrenzte Menge und können zueinander und zu anderen weniger wichtigen Merkmalen in einer kompensatorischen Beziehung stehen.

Entscheidende Merkmale des Szenarios Bei der Suche nach Merkmalen effektiver Strategien ist es zunächst ratsam, die Domäne bzw. die Simulation einer eingehenden Analyse zu unterziehen. Daraus können Konsequenzen für die eigenen Strategien und Handlungen im Hinblick auf besonders wichtige Zusammenhänge gezogen werden. Im Waldbrandszenario allgemein und in der vorliegenden Simulation speziell sind vor allem die folgenden Aspekte von Bedeutung:

1. Die gesamte Löschkapazität der FWEn ist begrenzt, d. h. es gibt nur eine begrenzte Zahl an FWEn, die pro Zeiteinheit eine begrenzte Menge an Löschwasser auswerfen können.
2. Die Feuerausbreitung folgt einer exponentiellen Funktion in Abhängigkeit von der Zeit, d. h. ein kleiner Waldbrand ist in wenigen Takten ein großer Waldbrand.¹
3. Jeder Waldbrand beginnt als ein einzelnes Feuer.
4. Kleine Waldbrände sind leichter zu löschen als große Waldbrände.
5. Es können mehrere Feuer gleichzeitig ausbrechen.
6. Große Waldbrände richten mehr Schaden an als kleine Waldbrände.
7. Ein Waldbrand erlischt von alleine, wenn alle zugänglichen brennbaren Objekte abgebrannt sind.

¹Genauer gesagt vergrößert sich die Fläche eines Brands exponentiell, während die Breite der Feuerfront einer linearen Funktion folgt, vorausgesetzt Stärke und Richtung des Windes ändern sich nicht und es liegen keine Barrieren vor.

8. Waldbrände können sich nur in Windrichtung ausbreiten.
9. Je mehr Einzelfeuer in der entgegengesetzten Windrichtung (oder ± 45 Grad) von einem nicht brennenden Waldstück liegen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass auf diesem Waldstück ein neues Feuer ausbricht.

Merkmale von effektiven Strategien Daraus ergeben sich einige wichtige Folgen für die Gestaltung der eigenen Taktiken und Strategien:

1. Ausbrechende Feuer sollten möglichst schnell bekämpft werden,
 - a) weil dann keine großen Waldbrände mehr bekämpft werden müssen.
 - b) weil dann auch mehrere Waldbrände unter Kontrolle gebracht werden können.
2. Es sollten stets Einheiten bereit gehalten werden, die sich um neue ausbrechende Feuer kümmern.
3. Große Waldbrände sollten bekämpft werden, falls sie so schnell gelöscht werden können, dass andere Brände, die noch unter Kontrolle gebracht werden können, in dieser Zeit nicht unkontrollierbar werden.
4. Unkontrollierbare Waldbrände sollte man nicht mehr zu löschen versuchen,
 - a) weil selbst bei Konzentration aller FWEn auf einen Waldbrand aufgrund der begrenzten gesamten Löschkapazität eine Schwelle vorhanden ist, ab der ein Waldbrand nicht mehr gelöscht werden kann
 - b) weil seine Ausbreitung zwar verlangsamt, aber nicht mehr aufgehalten werden kann.
5. Waldbrände, für die nur wenige brennbare Objekte zugänglich sind, können nur geringen Schaden anrichten. Sie sind dadurch bereits unter (gewisser) Kontrolle und sollten daher eine geringere Priorität erhalten.
6. Um die Ausbreitung eines Feuers zu verlangsamen, muss die Feuerfront bekämpft werden.
7. Feuer sollten an den Orten gelöscht werden, wo die Gefahr einer erneuten Entzündung gering ist, d. h. am Rand eines Brandes.

Die *Kernaussage* dieser Überlegungen ist, dass eine gute oder sogar *optimale Strategie* in erster Linie darauf abzielen muss, *mehrere, kleine bzw. kleinste Brände gleichzeitig zu bekämpfen*, um deren Ausbreitung zu verhindern. Zusätzlich ist es notwendig jeden Waldbrand immer wieder zu beurteilen, ob er durch die Feuerwehreinheiten kontrolliert werden kann und ob er bekämpft werden muss. Möglicherweise ist der Brand bereits durch natürliche Barrieren (z. B. Straßen) „unter Kontrolle“. Ein Vorschlag für eine sehr einfache, aber wirkungsvolle Strategie zur optimalen Feuerbekämpfung ist, z. B. die FWEn auf die drei Brände mit der geringsten Gesamtverzehrskraft zu verteilen.

12. Die Untersuchung

Die Untersuchung fand im November 2001 in den Räumen des Lehrstuhls für Künstliche Intelligenz und Angewandte Informatik (Prof. Dr. PUPPE) an der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg statt.

12.1. Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 16 Versuchspersonen teil, wobei sich die Stichprobe zu gleichen Teilen aus Männern und Frauen zusammensetzte. Das Alter der Stichprobe im Untersuchungszeitraum schwankte zwischen 20 und 30 Jahren und lag im Durchschnitt bei 23 Jahren. Es handelte sich dabei um Studierende oder ehemalige Studierende, so dass die allgemeine bzw. fachgebundene Hochschulreife vorausgesetzt werden kann. Diese Anforderung schien notwendig, da die Instruktion in der Untersuchung einen erheblichen Teil einnahm und auch viele abstrakte Konzepte (z. B. minimale Intensität, Gesamtverzehrkraft) verwendet wurden. Bei sehr unterschiedlicher Vorbildung wäre ein stärkerer Einfluss von Störfaktoren zu erwarten gewesen. Der Studiengang Pädagogik war mit fünf Vpn am stärksten vertreten gefolgt von Psychologie mit vier Vpn. Die restlichen Versuchspersonen studierten die Fächer Wirtschaftsinformatik, Mathematik/Physik, Biologie und Musikwissenschaft. Die Probanden wurden durch Aushänge oder vom Versuchsleiter aus dem eigenen Bekanntenkreis gegen Bezahlung angeworben.

12.2. Versuchsaufbau

Als Entwicklungs- und Experimentierumgebung für die Waldbrandsimulation wurde das Multi-Agenten-Simulationssystem *SeSAm* (Dump 01-09-03) [vgl. LEHRSTUHL FÜR INFORMATIK VI 2001] verwendet, das auf *MCL-Lisp 4.2* von *Digitool, Inc.* basiert. Als Betriebssystem stand *Mac OS 9.1/9.2* von *Apple Computers* zur Verfügung. Für die Implementierung und die Voruntersuchungen wurden Macintosh Computer der Serien *7300/120* bis *9500/150* verwendet. In der Hauptuntersuchung benutzten die Versuchspersonen dagegen einen *Macintosh PowerMac G4* mit 733 Mhz und 128 MB Arbeitsspeicher, um Verzögerungen des Versuchsablaufs durch die aufwendigen Berechnungen der Simulationsumgebung zu minimieren. Für die Hauptuntersuchung wurde ein 21-Zoll-Monitor verwendet und eine optische Maus mit einer einzigen, in der Mitte liegenden Taste, um die Situation für Links- und Rechtshänder gleichermaßen ergonomisch zu gestalten. Abbildung 20 zeigt den typischen Aufbau des Bildschirms, wie er sich einer Vp darbot.

12.3. Versuchsablauf

Der Versuch wurde in Einzelsitzungen durchgeführt, während denen der Versuchsleiter anwesend war, um bei Fragen und Problemen eingreifen zu können. Die Untersuchungsdauer betrug insgesamt 4 bis 4.5 Stunden pro Vp. Diese wurde durch die Leistung der Vp, der Anzahl der verwendeten Strategien und der Instruktionsdauer beeinflusst. Um die Belastung für die Versuchspersonen niedrig zu halten, war während des Versuchs ausreichend

12. Die Untersuchung

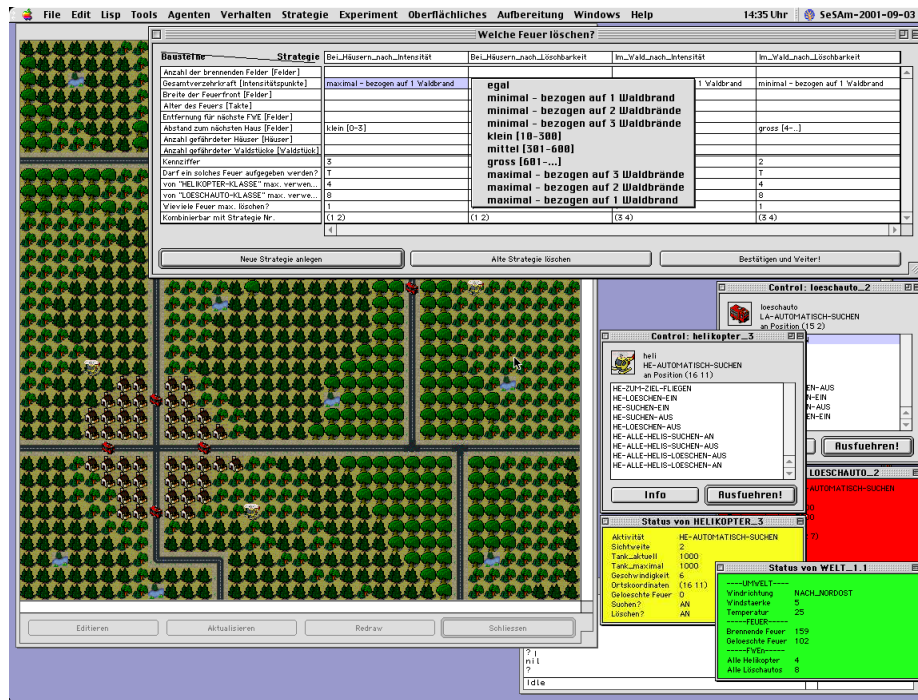


Abbildung 20: Die Benutzeroberfläche der Waldbrandsimulation. Die einzelnen Fenster können durch Anklicken in den Vordergrund geholt werden.

Gelegenheit, Muffins oder Fruchtsäfte zu sich zu nehmen. Eine Vp durchlief insgesamt 7 Simulationen und 1 Übungsszenario. Abhängig von der Gruppe, der die Vp zugeordnet wurde, standen ihr verschiedene Steuerungsarten (Steuerungsart 1 bis 4) zur Bearbeitung der Szenarios zur Verfügung. Dabei waren abwechselnd verschiedene Szenarios (Szenario 1 vs. Szenario 2) zu bearbeiten (vgl. Versuchsplan in Tabelle 6 auf Seite 79).

Zu Beginn der Untersuchung wurden die Vpn durch den Versuchsleiter begrüßt. Danach musste jede Vp einen Vorbefragungsbogen ausfüllen. In diesem wurde u. a. erfasst, welche Fähigkeiten oder Wissen die Vp schon erworben hatte, die für den Versuch bedeutsam waren (vgl. Anhang D, Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB1_VB‘). Anschließend wurde die Vp über ihre genaue Aufgabe in der Untersuchung und den groben Ablauf des Versuchs aufgeklärt. In der darauf folgenden Instruktion wurden grundlegende Eigenschaften der Simulation (z. B. Feuerverhalten, ...) (vgl. Anhang C, Instruktion ‚KPL_Feuer_InsAllg‘) erläutert und erklärt, wie die Handsteuerung zu verwenden ist (vgl. Instruktion ‚KPL_Feuer_InsSt1‘). Anhand eines kurzen einfachen Übungsszenarios (Szenario 0) wurde die Benutzung der Handsteuerung geübt, wobei die Vpn die Simulation „in Aktion“ erlebten und z. B. ausprobieren konnten, wie man Informationen über die Umwelt (z. B. Windrichtung) oder die Feuerwehreinheiten einholt. Diese allgemeine Instruktion dauert ca. 30 Minuten.

Danach begann die eigentliche Untersuchung. Vor jeder Simulation, in der eine neue Steuerungsart eingeführt wurde, wurde die Bedienung ausführlich erklärt, besonders bei Steuerungsart 4, da diese hohe Anforderung an das Verständnis der Vpn stellte. Bestandteil jeder neuen Instruktion war die genaue Beschreibung der Aufgabe mit den folgenden Worten (vgl. Instruktionen im Anhang C):

13. Ergebnisse

In dieser Simulation handelst Du in der Rolle eines/r Feuerwehrkommandanten/in, der/die ein Waldgebiet in Südeuropa vor ausbrechenden Waldbränden beschützen soll. Da es schon länger nicht mehr geregnet hat, sind die Bäume stark ausgetrocknet und die Gefahr ausbrechender Feuer ist sehr hoch. Deine Aufgabe als FeuerwehrkommandantIn besteht aus den folgenden zwei Teilaufgaben:

1. Häuser sollen vor den Feuern geschützt werden, d.h. es sollen so wenige Häuser wie möglich verbrennen.
2. Alle ausbrechenden Feuer sollen bekämpft werden, d.h. es soll so wenig Wald wie möglich verbrennen.

Dabei ist ein Feld mit Haus 10 mal so wichtig wie ein Feld mit Wald.

Ein(e) FeuerwehrkommandantIn muss seine Entscheidungen unter Zeitdruck treffen. Handle deshalb zügig, aber auch überlegt.

Grundsätzlich konnten die Vpn auch während der Simulation Fragen stellen. Diese wurden auch vom Versuchsleiter beantwortet, sofern sie sich auf grundlegende Aspekte der Simulation bzw. des Szenarios und nicht auf strategische Ratschläge bezogen. Bei der Eingabe eigener Strategien (Steuerungsart 4) leistete der Versuchsleiter, falls es erforderlich war, Hilfe bei der Umsetzung der von der Vp formulierten Strategien in die Tabelle. Er verbalisierte den Inhalt der Tabelle zur Kontrolle nochmals, ehe die Strategien in der Simulation angewendet wurden. Insgesamt beanspruchten die Instruktionen einen großen Anteil der Versuchszeit (geschätzte 1 bis 1.5 h). Detaillierte Informationen zu den Instruktionen sind dem Anhang zu entnehmen (vgl. Anhang C).

Nach jeder Simulation füllten die Versuchspersonen Fragebögen aus und wurden vom Versuchsleiter befragt. Diese Fragebögen bestanden zum einen aus einem allgemeinen Fragebogen (vgl. Anhang D, Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB2_NB_St1234‘), der nach jeder Simulation vorgegeben wurde und u.a. die Schwierigkeiten der Aufgabe in der jeweiligen Simulation erfasste. Ein spezieller Fragebogen (Fragebogen ‚KPL_Feuer_FB2_NB_ST4‘) diente dazu, die benutzten Strategien und deren Begründung genau zu erfassen. Dieser wurde nur nach Verwendung der Steuerungsart 4 vorgelegt. Am Ende der Untersuchung beantworteten die Vpn noch einen Fragebogen zur Delegationsfähigkeit (‚Delegationsfragebogen‘), sowie einen Nachbefragungsbogen (‚KPL_Feuer_FB4_NB_Ende‘). Im Nachbefragungsbogen konnte beurteilt werden, wie anstrengend der Versuch war, und Kritik und Verbesserungsvorschläge geäußert werden (vgl. auch den ausführlichen Versuchsplan in Anhang A, Tabelle 14). Abschließend erhielt jede Vp 40 DM als Bezahlung für die Teilnahme am Versuch, die durch den Versuchsleiter ausgehändigt wurden.

13. Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchung berichtet, wobei objektive Leistungsmaße und subjektive Urteile der Vpn über sich oder Merkmale der Simulation berichtet werden. Maße zur Erfassung ihres domänenspezifischen Wissens und qualitative Beschreibungen ihres Verhaltens in der Simulation ergänzen diese Angaben. Die Rohdaten können, soweit sie nicht im Anhang E enthalten sind, auf dem beiliegenden Datenträger (CD-ROM) eingesehen werden.

13.1. Leistungen der Versuchspersonen

Die Rangreihenfolge der Versuchspersonen entsprechend ihrer Problemlöseleistung ist aus Tabelle 13 ersichtlich. Die Leistungen werden anhand der gewichteten Wertung der Energiepunkte (i. e. Wertpunkte) für den gesamten Versuch, für Steuerungsart 1 (Handsteuerung) und Steuerungsart 4 (Strategieeingabe) getrennt voneinander betrachtet.

VPN	GRUPPE	GGW(VP)	GGW(ST1)	GGW(ST4)
ss170715	2	1 (97.5%)	2	3
ge220707	3	2 (96.8%)	1	6
ga270513	2	3 (95.9%)	3	7
ba081003	1	4 (95.7%)	10	2
ss110504	2	5 (95.1%)	11	4
ng250508	1	6 (95.0%)	4	10
sm310514	3	7 (94.7%)	6	9
sd170406	3	8 (94.7%)	12	5
jk161112	4	9 (94.2%)	16	1
wb080301	1	10 (93.0%)	5	12
sc230505	4	11 (92.8%)	7	11
na090109	3	12 (92.3%)	15	8
ma261016	2	13 (90.5%)	8	14
ss311002	1	14 (89.9%)	14	13
bj190910	4	15 (89.5%)	9	15
mm100611	4	16 (81.5%)	13	16

Tabelle 13: Ränge der Versuchspersonen bezogen auf die gewichtete Gesamtwertung der Vp, Steuerungsart 1 und Steuerungsart 4. Die durchschnittlich erhalten gebliebenen Wertpunkte der brennbaren Objekte sind in Klammern angegeben (in Prozent).

Eine Auswertung¹ der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Arten der Bewertung der Leistungen ergab signifikante Korrelationen für die *Gesamtwertung(Vp)* und die *Gesamtwertung(St1)* ($\rho = 0.575$, $p = 0.012^*$) bzw. die *Gesamtwertung(Vp)* und die *Gesamtwertung(St4)* ($\rho = 0.721$, $p = 0.001^{**}$). Die *Gesamtwertung(St1)* und die *Gesamtwertung(St4)* erweisen sich dabei als voneinander unabhängig ($\rho = -0.104$, $p = 0.357$). Die Verteilungen dieser Variablen sind aus den Abbildungen² 21 und 22 ersichtlich. Auffällig ist, dass bei der Verteilung der Gesamtwertung für Steuerungsart 4 und der Gesamtwertung der Vp ein Ausreißerwert (mm100611) auftritt, der für die weiteren Auswertungen, bei denen auf eines dieser beiden Maße zurückgegriffen wird, ausgeschlossen wird. Desweiteren ist zur Berechnung der Leistung der Vp ss311002 bei Steuerungsart 4 ein Schätzwert verwendet worden. Die Leistung in einem Szenario, das aufgrund von Zeitmangel nicht mehr bearbeitet werden konnte, wurde mittels linearer Regression aus dem unmittelbar vorher bearbeiteten Szenario ermittelt, um einen bestmöglichen Schätzwert zu erhalten.

¹ohne Ausreißer mit $n = 15$

²Neben den Balkendiagrammen werden auch ‚Box-plots‘ verwendet. Bei dieser Art der Darstellung von Daten entspricht der eingezeichnete Rahmen den mittleren 50% der Daten (Interquartilbereich), wobei der mittlere Querstrich den Median darstellt. Die außerhalb dieser ‚Box‘ liegenden Querstriche zeigen den 1.5fachen Abstand vom Median an, und dienen dazu, Ausreißerwerte leichter erkennbar zu machen.

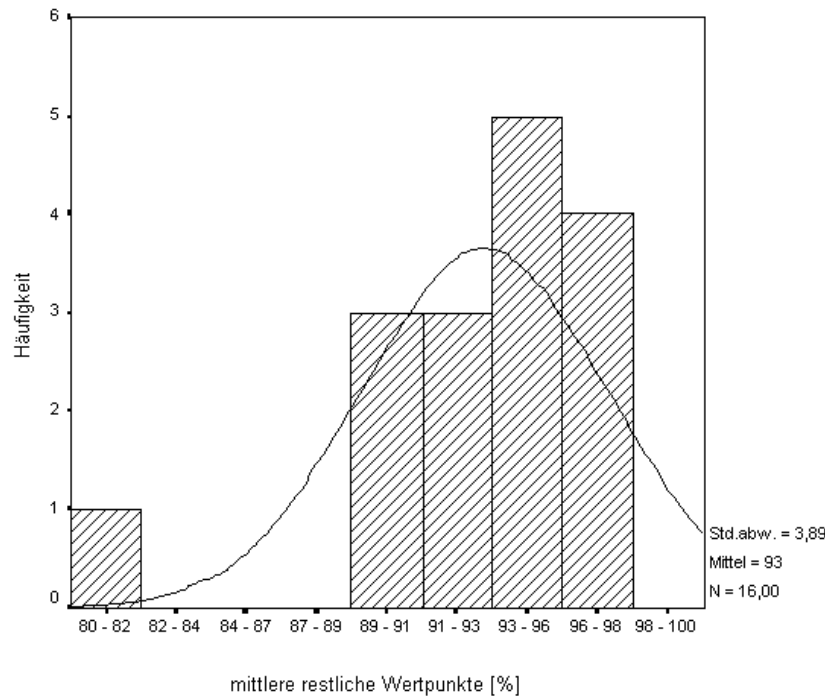


Abbildung 21: Verteilung der Gesamtwertung der Vpn. Zum Vergleich ist eine Normalverteilungskurve mit gleichem Mittelwert und Standardabweichung eingezeichnet.

13.2. Zusammenhang von Leistung und Wissen

Vorwissen Durch die Verwendung einer real existierende Domäne („ein Waldbrandszenario“), wurde die Anwendung des vorhandenen Wissen auf die Simulation provoziert. Zusammenhänge der Faktoren der Simulation (z. B. Feuer, Wind, brennbare Objekte) dürfen zum allgemeinen Weltwissen gezählt werden. Beispielsweise fragte eine Vpn (ss311002), ob man die Wälder auch schon vorher mit Wasser besprühen könne, um sie vor Feuer zu schützen (was in der Simulation nicht vorgesehen war). Aus diesem Grunde wird ausgewertet, wie hoch die Vpn ihr eigenes Wissen bzgl. der Bekämpfung von Waldbränden vor dem Versuch einschätzen (vgl. Anhang D, FB1_Vorbefragung, Frage 5) und in welchem Zusammenhang diese Kenntnisse zu den Gesamtwertungen stehen.¹

Der nicht signifikante Zusammenhang zwischen *Vorwissen* und der *Gesamtwertung der Vp* beträgt $\rho = 0.123$ ($p = 0.332$), wobei es praktisch keine Unterschiede zum Zusammenhang zwischen *Vorwissen* und der *Gesamtwertung (St1)* ($\rho = 0.158$, $p = 0.287$) bzw. mit der *Gesamtwertung (St4)* ($\rho = 0.051$, $p = 0.429$) gibt. Insgesamt zeigen sich daher keine bedeutsamen Zusammenhänge zwischen der Beurteilung der eigenen Vorkenntnisse bzgl. der Feuerbekämpfung und den anderen Ergebnissen.

Unter den Versuchspersonen befinden sich unter anderem auch zwei Männer (ss170715, sc230505) und eine Frau (ss110504) mit sieben bis zwölf Jahren Erfahrung in der Freiwilligen Feuerwehr. Diese belegen in der Gesamtwertung der Leistung der Versuchspersonen die Ränge 1, 5 und 11 von insgesamt 16 Vpn. Bei der Handsteuerung erhielten sie die Plätze 2,

¹Es wurde einseitig getestet unter Ausschluss von Ausreißern ($n = 15$).

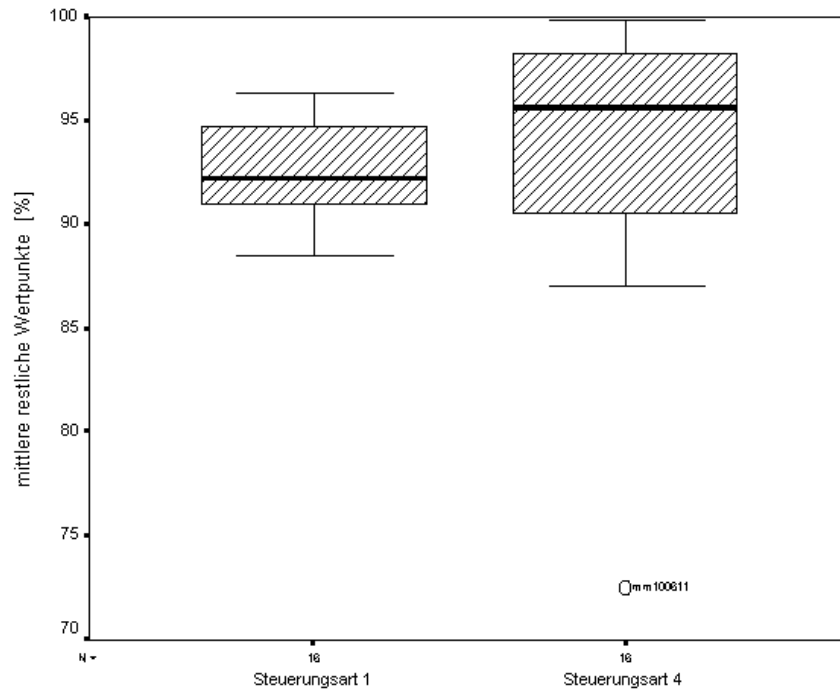


Abbildung 22: Lage und Verteilung der Gesamtwertung für Steuerungsart 1 und 4

7 und 11 und bei der Strategieeingabe die Ränge 3, 4 und 11, was insgesamt auf ein stabiles Ergebnis hindeutet. Stabil bedeutet dabei, dass sich die durchschnittliche Rangbelegung der Feuerwehrmitglieder im Vergleich zum Rest der Stichprobe nicht wesentlich ändert, bei Betrachtung unterschiedlicher Problemlösungsmaße. Hervorzuheben ist, dass der erste Platz in der Gesamtwertung der Vpn von einem Feuerwehrmann belegt wird. Insgesamt erlaubt die Feuerwehrerfahrung einer Vp jedoch keine bedeutsame Vorhersage ihrer Gesamtwertung ($\rho = 0.270$, $p = 0.165$).

Die Kommentare dieser drei Versuchspersonen zur Simulation sind gemischt. Einerseits wird von einer Vpn (ss110504) während der Untersuchung geäußert, dass ihr das Wissen, das sie in der Feuerwehr erworben hat, in der Untersuchung nicht helfe. Sie begründet dies damit, dass die Feuerwehr als „Gruppe mit System“ löschen würde, und hier (d. h. während der Handsteuerung) alle FWen machen würden, „was sie wollen“. Allerdings berichtet dieselbe Vp nach der gesamten Untersuchung, dass man durchaus in der Realität bei der Waldbrandbekämpfung so vorgehen würde: Entstehungsbrände verhindern und große Brände kontrolliert abbrennen lassen. Eine Strategie, die auch in der verwendeten Simulation zentrale Bedeutung hat. Eine weitere Vp, die in der Gesamtwertung den ersten Platz belegt, bemerkt dagegen, dass sie die Simulation „total realistisch“ finde (ss170715).

Erworbenes Wissen Es ergeben sich entsprechend der Auswertung der Aussagen der Vpn für die Variable *erworbenes Wissen* insgesamt 21 Wissenskategorien, d. h. für die Feuerbekämpfung relevante und berichtete Aspekte der Simulation (vgl. Abschnitt 9.1.2). Dabei kann ein Merkmal über alle Simulationen und Vpn hinweg maximal 16 Vpn ×

7 Simulationen = 112 Mal genannt werden, was einer Nennungshäufigkeit von 100% entspricht. Diese Zahl wird als Kriterium für die Häufigkeit der Nennung herangezogen. In der folgenden Übersicht¹ werden von den 21 Kategorien nur 14 Merkmale aufgelistet, die allerdings das Spektrum von sehr wenig bis sehr häufig genannten Merkmalen repräsentieren:

- | | |
|--|---|
| 1. Häuser sind wichtiger als Wald (94.6%). | 8. Ein Kartenrand in Windrichtung verhindert die Ausbreitung eines Feuers (47.3%). |
| 2. Je kleiner der Abstand eines Feuers zum Haus ist desto gefährlicher ist es (84.8%). | 9. Ein See in der Nähe eines Feuers erleichtert das Löschen (40.2%). |
| 3. Straßen in Windrichtung verhindern die Ausbreitung eines Feuers (78.6%). | 10. Feuer müssen von außen nach innen gelöscht werden (39.3%). |
| 4. Kleine Feuer müssen gelöscht werden (78.6%). | 11. Löschautos haben eine größere Löschkapazität als Helikopter (30.4%). |
| 5. Brennbare Objekte, die in Windrichtung eines Feuers liegen, sind besonders gefährdet (75.0%). | 12. Große Feuer sollte man nicht mehr bekämpfen (26.8%). |
| 6. Es müssen mehrere Feuer gleichzeitig bekämpft werden (60.7%). | 13. Die maximale Löschkapazität der FWen ist begrenzt (15.2%). |
| 7. Es ist besser Feuer in der Nähe der FWen zu bekämpfen (59.8%). | 14. Verbrannte Objekte in Windrichtung verhindern die Ausbreitung eines Feuers (10.7%). |

Über die verschiedenen Versuchspersonen² hinweg, ergibt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem *maximalen Wissen* am Ende der Untersuchung und der *Gesamtwertung der Vp* ($\rho = 0.334$, $p = 0.112$). Die Korrelation zwischen dem *maximalen Wissen* und der *Gesamtwertung bei Handsteuerung* beträgt allerdings $\rho = 0.510$ ($p = 0.026^*$), was auf einen bedeutsamen Zusammenhang hinweist. Im Gegensatz dazu zeigt die *Gesamtwertung bei Strategieeingabe* keinen Zusammenhang mit dem *maximalen Wissen* ($\rho = 0.000$, $p = 0.500$). Um statistische Nachteile, die auf den Einfluss der geringen Versuchspersonenzahl zurückzuführen sind, gegenzuprüfen, wird auch der Zusammenhang zwischen dem *berichteten Wissen nach der jeweiligen Simulation* und der *Gesamtwertung pro Simulation* berechnet, da hier eine größere Anzahl an Fällen ausgewertet werden kann ($n = 105$). Dieser Zusammenhang erweist sich als hoch signifikant mit $\rho = 0.236$ ($p = 0.008^{**}$). Zu welchem Anteil dieser Zusammenhang jedoch tatsächlich durch wachsendes Wissen über die Domäne und dessen Anwendung verursacht wird, ist nicht eindeutig geklärt.

13.3. Unterschiede zwischen den Gruppen

In den verschiedenen Gruppen werden die Steuerungsarten in verschiedenen Reihenfolgen dargeboten, so dass die Vpn über unterschiedliche Vorerfahrungen mit der Steuerung der Simulation verfügen. Weder für die *Gesamtwertung der Vpn* ($\chi_3^2 = 3.429$, $p = 0.330$) noch für die *Gesamtwertung der Handsteuerung* ($\chi_3^2 = 1.629$, $p = 0.653$) oder der *Strategieeingabe* ($\chi_3^2 = 0.863$, $p = 0.834$) ergeben sich jedoch bedeutsame Unterschiede³ zwischen den

¹Eine vollständige Übersicht befindet sich in Anhang E.2.

²ohne Ausreißer ($n = 15$).

³Die Auswertung erfolgte mit dem Kruskal-Wallis-H-Test für unabhängige Stichproben (hier: Gruppe 1, 2, 3, 4 mit einem $n = 4$ (3) pro Zelle).

Gruppen. Auch auf das *maximale Wissen* am Ende der Untersuchung hat die Zugehörigkeit zur Gruppe keinen Einfluss ($\chi^2_3 = 3.653, p = 0.301$). In den Abbildungen 23 und 24 sind jedoch tendenzielle Unterschiede zu erkennen, die aber aufgrund der großen Streuungen kaum interpretiert werden können. Die genauen Statistiken für die einzelnen Gruppen können der Tabelle 20 im Anhang E.4 entnommen werden.

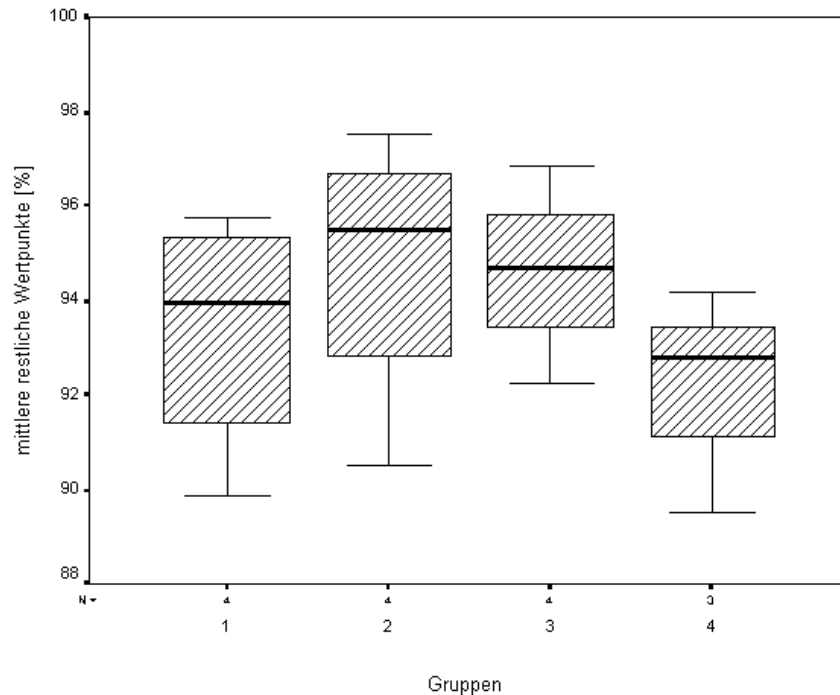


Abbildung 23: Lage und Verteilung der Gesamtwertung (Vp) abhängig von ihrer Gruppe

13.4. Schwierigkeit der Szenarios

Urteile der Vpn Zur Beurteilung ihrer Schwierigkeit werden die Szenarios 1 und 2 über alle Steuerungsarten hinweg hinsichtlich der Beurteilung durch die Versuchspersonen in der Nachbefragung miteinander verglichen. Auf die Frage nach der gesamten *Schwierigkeit der Aufgabenstellung*¹ (i. e. die Häuser zu schützen und alle Feuer zu löschen) beurteilen die Vpn Szenario 1 mit $m(\text{schw_ges}) = 2.77$ als tendenziell leichter als Szenario 2 mit $m(\text{schw_ges}) = 3.10$. Beide liegen aber im Bereich mittlerer Schwierigkeit. Deutlicher wird dieser Unterschied bei der Beurteilung der *Schwierigkeit, die Häuser zu schützen*, die bei Szenario 1 mit $m(\text{schw_hau}) = 1.84$ („leicht“) beantwortet wird gegenüber $m(\text{schw_hau}) = 2.65$ („durchschnittlich“) bei Szenario 2. Die *Aufgabe, alle Feuer zu löschen* erscheint den Vpn sowohl bei Szenario 1 ($m(\text{schw_feu}) = 3.59$) als auch bei Szenario 2 ($m(\text{schw_feu}) = 4.06$) als „schwierig“, mit einer tendenziell größeren Schwierigkeit beim zweiten Szenario.

Leistungen der Vpn Die Beurteilung der Schwierigkeit der Szenarios aufgrund der Leistungen der Vpn kann auf zwei Arten erfolgen. Zunächst soll auf die durchschnittlich ver-

¹vgl. Anhang D, FB1-VB, Frage 1

brannten Energiepunkte (als Schätzwert für die verbrannte Fläche) pro Szenario eingegangen werden. Danach werden die durchschnittlich vernichteten Wertpunkte (i. e. gewichtete Energiepunkte) betrachtet (vgl. Abschnitt 9.1.2). Der Mittelwert an verbrannten *Energiepunkten* beträgt in Szenario 1 über alle bearbeiteten Simulationen¹ hinweg ca. 13,1% ($s = 9.5\%$). In Szenario 2 verbrennen durchschnittlich ca. 11.5% ($s = 8.26\%$). Diese Werte sollen jedoch nur darüber Auskunft geben, welchen Schaden die Feuer in den Szenarios anrichten. Reihenfolgeeffekte (Szenario 2 wird meist erst nach Szenario 1 dargeboten) und Einflüsse der wenig effektiven Steuerungsarten 2 und 3, die nur zusammen mit Szenario 1 vorgegeben wurden, bleiben unberücksichtigt. Das bedeutet, dass trotz der geringeren verbrannten Energiemenge in Szenario 2, dieses Szenario nicht leichter als Szenario 1 sein muss.

Eine differenziertere Analyse² bei der die *Wertpunkte* betrachtet werden, zeigt jedoch deutliche Unterschiede. Sowohl bei Handsteuerung (St1) als auch bei Strategieeingabe (St4) werden durch die ausbrechenden Feuer im Durchschnitt sehr viel größere Schäden in Szenario 2 angerichtet als in Szenario 1. Bei Handsteuerung werden in Szenario 2 ca. 53% ($p = 0.007^{**}$) und bei Strategieeingabe sogar um 108% ($p = 0.031^*$) mehr Wertpunkte vernichtet. Leider können bei dieser Auswertung Reihenfolgeeffekte nicht vollständig kontrolliert werden, da Szenario 2 in den meisten Fällen nach Szenario 1 bearbeitet wurde.

13.5. Anwendung der Steuerungsarten

In diesem Abschnitt wird sowohl über die Eignung der Steuerungsarten im Umgang mit der Simulation (i. e. Benutzerfreundlichkeit) berichtet als auch über den Einfluss der verschiedenen Steuerungsarten auf die Leistung der Vpn.

13.5.1. Eignung zur Steuerung des Szenarios

Beurteilung der Handsteuerung durch die Vpn Die Vpn³ beurteilen in der Befragung nach jedem Simulationslauf (vgl. Anhang D, FB2_NB_St1234, Frage 2) die Schwierigkeit der Bedienung als „durchschnittlich“ ($m(schw_ste) = 2.933$), nachdem sie die Handsteuerung zum ersten Mal in der Untersuchung (abgesehen vom Übungsszenario) eingesetzt haben. Nach der zweiten Benutzung wird die Handsteuerung eher als „leicht“ beurteilt ($m(schw_ste) = 2.467$). Während sich dieses Urteil bei der ersten Benutzung noch nicht signifikant von „schwierig“ unterschied, trifft dies bei der zweiten Benutzung zu ($p = 0.000^{***}$).

Schwierigkeiten und Fehler bei der Verwendung der Handsteuerung Im Allgemeinen fällt den Vpn der Umgang mit der Handsteuerung leichter als die Verwendung der Strategietabelle. Während den Vpn bei der Verwendung der Strategietabelle die Komplexität der Tabelle Probleme bereitet, ist bei der Handsteuerung die Komplexität und Dynamik des Szenarios und der Fahrzeugaktivitäten Ursache für Schwierigkeiten. Es mangelt z. B.

¹Auswertung mit Ausreißern mit $n(\text{Szenario1}) = 74$ und $n(\text{Szenario2}) = 31$

²Auswertung mit Wilcoxon-Test ohne Ausreißer ($n = 15$)

³mit Ausreißern ($n = 16$)

oft an Übersicht, welche FWEn bereits einen Befehl ausführen oder ziellos umherfahren. Viele Vpn verwenden die Statusanzeigen der FWEn nicht im notwendigen Ausmaß, so dass teilweise auch ineffektive Befehle gegeben werden, z. B. wenn ein Löschauto mit leerem Tank zu einem Feuer geschickt wird.

Beurteilung der Strategietabelle durch die Vpn Die Vpn¹ berichten, nachdem sie eine einzige Simulation mit Hilfe der Strategietabelle bearbeitet haben, dass sie die Strategien, die sie ausführen wollen „durchschnittlich“ ($m = 3.00$) gut mit Hilfe der Strategietabelle eingeben können (vgl. Anhang D, FB2_NB_St4, Frage 1 und 3). Dieses Ergebnis ist als signifikant „besser“ zu beurteilen als das Urteil „schlecht“ (entspricht Bewertung „2“) ($p = 0.006^{**}$). Auf die Frage, in welchem Maße die Strategien, die sie eingegeben haben, den Strategien entsprechen, die sie einsetzen wollen, antworten die Vpn mit „gut“ ($m = 3.75$). Dieses Urteil unterscheidet sich signifikant vom Urteil „durchschnittlich“ gut ($p = 0.003$). Sowohl hinsichtlich der Schwierigkeiten bei der Strategieeingabe als auch hinsichtlich der Entsprechung zwischen eingegebener und beabsichtigter Strategie zeigen sich keine bedeutsamen Veränderungen vom ersten Simulationslauf, in der die Strategietabelle verwendet wird, zum zweiten Lauf.

Schwierigkeiten und Fehler bei der Verwendung der Strategietabelle Bei der Benutzung der Strategietabelle durch die Vpn treten nur vereinzelt Fehler im Sinne von Eingabe- oder Verständnisfehlern auf. Dies kann auch auf die Hilfe des Versuchsleiters zurückgeführt werden. Das größte Problem scheint es zu sein zu verstehen bzw. vorherzusagen, wie sich die Eingaben (Parameter und Werte) auf das (gesamte) Verhalten der Feuerwehreinheiten auswirken. Bei der ersten Benutzung der Strategietabelle bereitet das Verständnis der vielen, verschiedenen Begriffe (z. B. Energiepunkte, Gesamtverzehrkraft, minimale Intensität,...) Schwierigkeiten. Aufgrund der Komplexität der Tabelle übersehen Vpn manchmal Inkonsistenzen in ihren Strategien, auch wenn deren inhaltliche Bedeutung durch den Versuchsleiter verbalisiert wird. In manchen Fällen werden daher die festgelegten Eigenschaften für eine zu löschende Art von Waldbränden (i. e. Strategie) nicht integriert, sondern isoliert Werte gewählt, die für sich genommen plausibel sind. In Kombination mit den anderen Eigenschaften erweisen sie sich jedoch als ineffektiv (vgl. mm100611). Speziell das Verständnis von relativen Wertangaben z. B. „die drei kleinsten Waldbrände“ fällt oft schwer und führt zu Verwechslungen mit absoluten Wertangaben wie z. B. „kleine Waldbrände“ löschen. So benutzen manche Vpn relative Parameterwerte z. B. „die drei größten Waldbrände“, wenn die Waldbrände groß sind bzw. „die drei kleinsten Waldbrände“, wenn die Waldbrände klein sind. Anscheinend ist ihnen nicht ganz klar, dass durch diese Parameterwerte unabhängig von ihrer absoluten Gesamtverzehrkraft die angegebene Zahl von Waldbränden erfasst wird. Manche Versuchspersonen neigen dazu, zu viele Parameter zu verwenden, d. h. zu viele Eigenschaften der zu löschenden Waldbrände festzulegen. Das kann dazu führen, dass kein Waldbrand gelöscht wird, obwohl viele Brände lodern. Dadurch wird außerdem das Erkennen der wichtigen Parameter im Sinne einer Kausalattribution erschwert (vgl. mm100611).

¹Auswertung mit Ausreißern ($n = 16$)

Manche Strategiewünsche der Vpn können mit der Strategietabelle nicht erfüllt werden. Dazu zählen z. B. die Grenzen der Wertebereiche selbst festzulegen oder das Zu-Ende-Löschen von Waldbränden, auch wenn sie nicht mehr den festgelegten Wertebereichen, d. h. der Strategie, entsprechen.

13.5.2. Effektivität der Steuerungsarten

Zum Vergleich der Effektivität der Steuerungsarten 1 (St1) und 4 (St4) werden die Mittelwerte der *Gesamtwertungen für Steuerungsart 1* bzw. *4* über die Vpn¹ berechnet (vgl. Abschnitt 9.1.2). Die Mittelwerte betragen $m(ggw_{St1}) = 92.61\%$ und $m(ggw_{St4}) = 95.07\%$, was tendenziell für eine größere Effektivität von Steuerungsart 4 spricht ($p = 0.061$). Allerdings werden bei dieser Art der Auswertung Reihenfolgeeffekte nicht vollständig kontrolliert. Weitere Vergleiche zwischen Gruppe 2 und 3 unter Kontrolle der Reihenfolgeeffekte liefern mehrheitlich ähnliche, aber nicht signifikante Ergebnisse. Bemerkenswert ist, dass sich die Varianzen der beiden Gesamtwertungen für die Steuerungsarten 1 und 4 sehr stark unterscheiden (vgl. Abbildung 25), was ein Aufdecken von Mittelwertsunterschieden erschwert.

Wenn die Vpn² nur unter *reinen Strategien* (Steuerungsart 2) auswählen können, so zeigen sie schlechtere Leistungen als wenn sie zwischen *reinen* und *kombinierten Strategien* (Steuerungsart 3) entscheiden können ($m(ggw_{St2}) = 78.37\%$, $m(ggw_{St3}) = 82.56\%$). Bessere Leistungen als beim Einsatz von *kombinierten Strategien* erbringen sie, wenn sie *eigene Strategien* (Steuerungsart 4) an Hand der Tabelle eingeben ($m(ggw_{St4}) = 89.97\%$). Im Gegensatz zu den Unterschieden zwischen den Steuerungsarten 2 und 3 bzw. 3 und 4, erweist sich der Unterschied zwischen 2 und 4 als signifikant ($p = 0.05$). Zu berücksichtigen ist jedoch, dass Übungseffekte nicht kontrolliert sind. Ein Vergleich der Steuerungsarten 2 bzw. 3 (Gruppe 4, $n = 4$) mit Steuerungsart 4 (Gruppe 3, $n = 4$) unter Kontrolle der Reihenfolge zeigt zwar das gleiche Muster an Unterschieden, von denen sich aber keiner als bedeutsam erweist ($p(St2St4) = 0.057$ bzw. $p(St3St4) = 0.343$).

In Abbildung 25 sind die Mittelwerte der Leistungen in den einzelnen Steuerungsarten bzw. für die Gesamtwertung der Vp nochmals veranschaulicht. Die abhängige Variable stellt die gewichtete Gesamtwertung (d. h. die mittleren restlichen Wertpunkte pro Szenario in Prozent) dar. Zu beachten ist, dass in die Gesamtwertungen von Steuerungsart 1 bzw. 4 und der Gesamtwertung der Vp mehrere verschiedene Szenarios eingehen im Vergleich zu Steuerungsart 2 und 3, mit denen ausschließlich Szenario 1 bearbeitet wurde.

13.6. Verwendete Strategien

Nachdem bisher vor allem auf die quantitativen Ergebnisse eingegangen worden ist, werden im folgenden Abschnitt die qualitativen Ergebnisse berichtet, d. h. welche Anzahl und Arten von Strategien die Versuchspersonen in der Untersuchung eingesetzt haben. Zuerst werden die Strategien beschrieben, die bei der aktionsbasierten Steuerung (St1) eingesetzt werden, danach die Strategien bei der strategiebasierten Steuerung (St4). Den Ausführungen

¹ $n = 15$ ohne Ausreißer

²Die Auswertung erfolgt über die Gruppen 1 und 4 ($n = 8$) und bezieht sich nur auf Szenario 1.

13. Ergebnisse

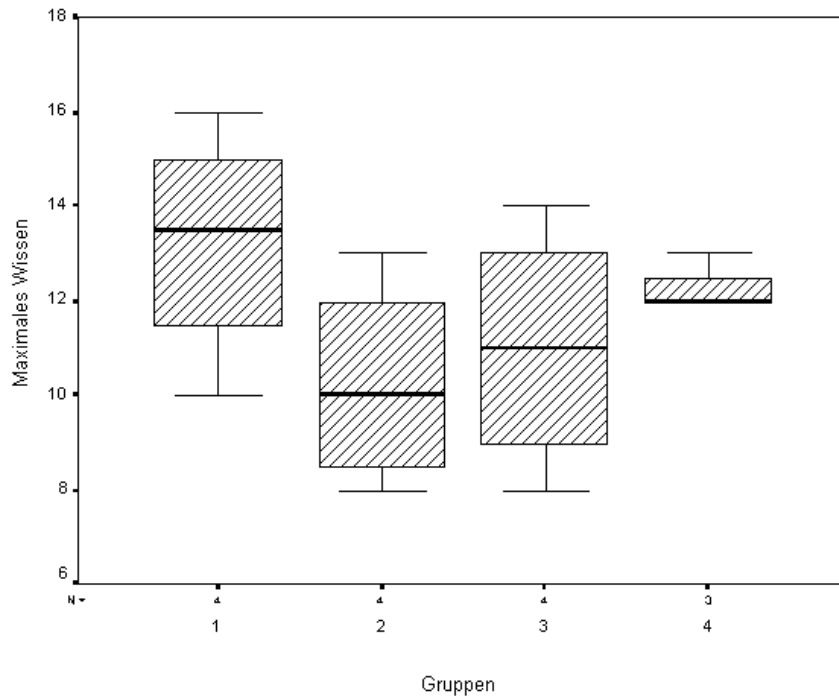


Abbildung 24: Lage und Verteilung des maximalen Wissens der Vpn abhängig von ihrer Gruppe

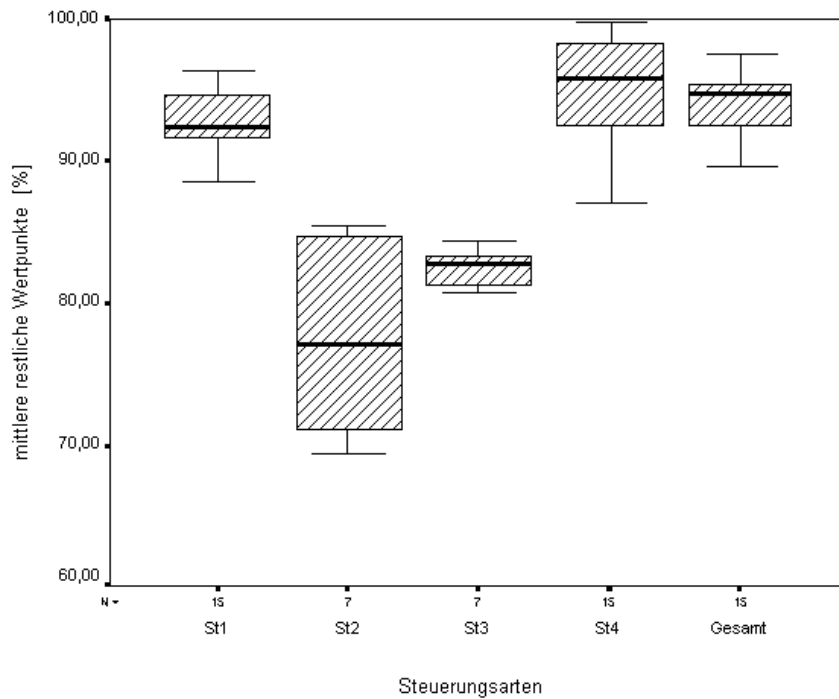


Abbildung 25: Lage und Verteilung der Gesamtwertung (in %) für Steuerungsart 1 bis 4 und den gesamten Versuch

liegen die gleichen Simulationsläufe zugrunde, auf denen auch die Berechnung der Gesamtwertung nach Steuerungsart 1 bzw. Steuerungsart 4 basiert. Desweiteren konzentriert sich die Darstellung auf die jeweils „besten“ und „schlechtesten“ vier Vpn, um so Hinweise auf unterschiedliche Vorgehensweisen erhalten. Den dargestellten Strategien aus Steuerungsart 4 liegen die genauen Einträge aus der Strategietabelle zugrunde. Dagegen stützen sich die Beschreibungen der Strategien aus Steuerungsart 1 auf die „freien“ Antworten aus der Nachbefragung, die weniger exakt und eher unvollständig sind.

13.6.1. Aktionsbasierte Steuerung – Die vier besten Vpn

ge220707 *Simulation 5, Szenario 2:* Es werden Feuer gelöscht, die die Häuser unmittelbar bedrohen oder in der Nähe der FWEn sind. Die Vp schickt erst Helikopter zum Feuer und dann Löschautos hinterher. Als gefährlich werden vor allem Feuer aufgefasst, die Häuser bedrohen oder in großer Entfernung von den FWEn entfachen. Die Windrichtung wird nicht berücksichtigt. Die Vp versucht, die Feuer schnell einzudämmen und die Häuser zu schützen, da sie wertvoller sind als die Bäume.

Simulation 6, Szenario 1: Die Vp hat nicht alle FWEn eingesetzt, sondern zwei Einheiten bei den Häusern gelassen. Ein Helikopter wird „prophylaktisch woanders hingeschickt“. Gelöscht werden Brände mit breiter Feuerfront oder Brände, die nicht durch natürliche Barrieren eingedämmt werden. Die Vp gibt an, dass sie auch schnell reagiert und Einheiten von einem Waldbrand abgezogen habe, wenn er bei einem Wechsel der Windrichtung stattdessen durch eine Straße an seiner Ausbreitung behindert wurde. Die Windrichtung wird im Simulationslauf berücksichtigt und daher die Feuerfront gelöscht.

ss170715 *Simulation 2, Szenario 2:* Während die Vpn am Anfang versucht, möglichst viele Feuer zu löschen, bekämpft sie später vor allem Feuer in Dorfnähe. Außerdem werden Feuer gelöscht, die gut erreichbar sind oder in Straßennähe liegen. Schwelende Feuer, Feuer in Straßennähe oder Brände, die „abgegrenzt“ sind, werden als ungefährlich beurteilt. Die Windrichtung wird berücksichtigt. Insgesamt versucht die Vp, schnell auf die Brände zu reagieren und Schaden zu vermeiden.

Simulation 3, Szenario 1: Die Vp greift aufgrund des (zufällig) effektiven automatischen Suchverhaltens der FWEn nur selten in die Simulation ein.

ga270513 *Simulation 2, Szenario 2:* Die Vp berichtet, vor allem die Häuser geschützt und große Waldbrände bekämpft zu haben, um eine weitere Ausbreitung zu verhindern. Unzugängliche, kleine Brände werden konsequent mit Helikoptern gelöscht.

Simulation 7, Szenario 1: Es werden vor allem Helikopter eingesetzt, um kleine Feuer zu bekämpfen. Großbrände, denen die meisten FWEn zugeordnet sind, werden dagegen eher mit Löschautos bekämpft. Der Vp fällt auf, dass Löschautos, obwohl sie langsam sind, viel Wasser mit sich führen. und Helikopter bei Großbränden weniger effektiv sind, da das Tanken lange braucht.

ng250508 *Simulation 1, Szenario 1:* Die Vp versucht alle Feuer zu löschen, wobei sie die größeren Feuer zuerst bekämpft. Die kleinen Feuer werden gelöscht, ehe sie größer werden. Dabei geht sie so vor, dass sie Löschautos, die nahe zur nächsten Straße fahren, bis in Sichtweite der zu löschenden Feuer bringt, von wo aus sie selbstständig das Feuer anfahren und löschen. Die Einheiten werden entsprechend der Größe des Feuers zugeteilt. Ein paar FWEn werden auch bei der „Stadt“ gelassen.

Simulation 2, Szenario 2: Auch hier versucht die Vp alle Feuer zu löschen und verteilt dazu die FWEn auf verschiedene „Bezirke“. Die Helikopter werden eingesetzt, um kleine, anfangende Brände zu löschen, Löschautos werden dagegen eher zu großen Bränden geschickt. Außerdem „vernichtet“ die Vp Brände in der Nähe der Häuser. Die Vp achtet darauf, dass sich die Löschautos in der Nähe zur nächsten Straße befinden. Als ungefährlich werden Feuer beurteilt, die klein oder in großer Entfernung zum nächsten Haus sind, bei denen sich FWEn in der Nähe befinden oder durch eine Barriere (Karte, Straße) begrenzt sind. Insgesamt soll durch diese Maßnahmen erreicht werden, dass die Feuer nicht größer und die Häuser geschützt werden.

13.6.2. Aktionsbasierte Steuerung – Die vier schlechtesten Vpn

sd170406 *Simulation 4, Szenario 1:* Die Vp bekämpft Waldbrände, „die ein großes Potential hatten, anliegende Waldgebiete anzustecken“. Sie konzentriert sich vor allem auf ein kleines Feuer (umgeben von Wald), das sich auszubreiten droht. Als gefährlich werden Feuer beurteilt, die sich in einem Waldbereich sehr schnell ausbreiten. Die Vp setzt ihre Kräfte eher „punktuell“ ein. Generell soll „am meisten Unglück“ verhindert werden.

Simulation 5, Szenario 2: Die Vp versucht vor allem bei den Häusern „präsent“ zu sein und verteilt die FWEn auf die Dörfer. Sie löscht keine weit entfernten Feuer mehr, wenn sie von Straßen umgrenzt sind. Auch schwelende Feuer in der Nähe der Häuser werden als gefährlich beurteilt und gelöscht. Allgemein ist die Vp mehr an Schadensbegrenzung interessiert und geht weniger systematisch vor.

ss31002 *Simulation 1, Szenario 1:* Die Vp hat Schwierigkeiten ihre Strategie zu formulieren („weiß nicht“) und kann nur sagen, dass sie versucht, „alle Feuer zu löschen“. Feuer mit „kleiner Flamme“ oder welche, die sich langsam ausbreiten, werden als „am Anfang ungefährlich“ beurteilt. Sie habe gehofft, dass die Feuer durch die Straßen von alleine ausgehen.

Simulation 2, Szenario 2: Hier versucht die Vpn kleine Feuer (ein bis zwei Felder) oder Feuer in Dorfnähe zu löschen, um die Dörfer zu schützen, da sie wertvoller sind als der Wald. Helikopter schickt sie an „wichtige Stellen, wo noch keine Löscheinheiten sind“, da nur Feuer in der Nähe der FWEn von ihnen selbstständig entdeckt werden. Große Feuer lässt sie brennen. Feuer „in der Ecke“ oder „die von alleine ausgegangen sind“ werden als ungefährlich beurteilt.

na090109 *Simulation 4, Szenario 1:* Während die Vp am Anfang vor allem die kleinen Feuer löscht, teilt sie später den großen Waldbränden mehr Feuerwehreinheiten zu. Wald-

brände werden als umso gefährlicher beurteilt, je größer ihre Fläche ist oder je näher sie an der Siedlung brennen. Allgemein soll erreicht werden, dass die Feuer sich nicht weiter ausbreiten und der Schaden begrenzt wird.

Simulation 5, Szenario 2: In diesem Szenario wird die gleiche Strategie angewendet wie im vorherigen Szenario, obwohl die Vp bemerkt, dass es „hier nicht so toll geklappt hat“.

jk16112 *Simulation 5, Szenario 1:* Die Vp berichtet, dass sie „kleine Brandherde“ mit Helikoptern löscht. Große Brände habe sie dagegen mit Löschautos zu löschen versucht oder aber abbrennen lassen unter Berücksichtigung von Barrieren. Bei großen Waldbränden habe sie die Löschautos „am Rand ein bisschen löschen lassen“. Sie berichtet Schwierigkeiten während der Simulation, die Übersicht zu behalten z. B. darüber welche FWEn schon beschäftigt sind.

Simulation 6, Szenario 2: Hier berichtet sie, dass sie die gleichen Strategien eingesetzt, aber mehr Aufmerksamkeit auf die Häuser verwendet habe. Als ungefährlich beurteilt sie Feuer „in den kleinen Ecken“ oder Feuer, die nicht beim Dorf sind.

13.6.3. Strategiebasierte Steuerung – Die vier besten Vpn

jk161112 *Simulation 4, Szenario 2* und *Simulation 7, Szenario 1:* Bis zu fünf Waldbrände mit einer kleinen Anzahl an brennenden Feldern werden von drei Helikoptern und allen acht Löschautos bekämpft (Teilstrategie¹ 1). Nur ein Helikopter soll von den Waldbränden in einem kleinem Abstand zum nächsten Haus denjenigen bekämpfen, der die kleinste Gesamtverzehrkraft besitzt (Teilstrategie 2).

ba081003 *Simulation 5, Szenario 1* und *Simulation 6, Szenario 2:* Während sechs Löschautos die drei Brände mit der größten Anzahl an brennenden Feldern² von den Bränden mit einem großen Abstand zum nächsten Haus löschen (Teilstrategie 1), bekämpfen drei Helikopter die drei Brände mit der kleinsten Anzahl an brennenden Felder (zeitweise eingeschränkt durch „in einem großen Abstand zum nächsten Haus“) (Teilstrategie 2). Ein Helikopter und zwei Löschautos werden schließlich noch für maximal drei Brände in einem kleinen Abstand zum nächsten Haus eingesetzt, die die größte Anzahl an Häusern gefährden (Teilstrategie 3).

ss170715 *Simulation 5, Szenario 1* und *Simulation 6, Szenario 2:* Diese Vp löscht die drei Waldbrände mit der größten Anzahl an brennenden Felder mit vier Helikoptern und sechs Löschautos (Teilstrategie 1). Mit den verbleibenden zwei Löschautos werden die zwei Brände mit dem kleinsten Abstand zum nächsten Haus bekämpft (Teilstrategie 2).

ss110504 *Simulation 5, Szenario 1* und *Simulation 6, Szenario 2:* Die Vp setzt alle vier Helikopter ein, um von Bränden mit einer kleinen Anzahl an brennenden Felder in einem

¹Eine Teilstrategie bezieht sich auf die Angaben in einer Spalte der Strategietabelle.

²Beachte: Da in keinem Szenario mehr als drei Brände gleichzeitig ausbrechen, sind die drei größten Brände mit den drei kleinsten Bränden identisch, falls sie schnell gelöscht werden.

großen Abstand vom nächsten Haus, die zwei mit der kleinsten Gesamtverzehrskraft zu löschen (Teilstrategie 1). Die Löschautos teilt sie in zwei Strategien auf mit jeweils vier Löschautos. Die eine Gruppe bekämpft von den drei Bränden mit der größten Anzahl der brennenden Felder, die zwei mit der größten Gesamtverzehrskraft (Teilstrategie 2). Die andere Gruppe geht nur gegen Waldbrände in einem mittleren Abstand vom nächsten Haus vor, von denen sie wieder von den drei Bränden mit der größten Anzahl der brennenden Felder, die zwei mit der größten Gesamtverzehrskraft unter Kontrolle zu bringen versucht (Teilstrategie 3). Die drei Strategien sollen „Schutzringe“ um die Häuser bilden.

13.6.4. Strategiebasierte Steuerung – Die vier schlechtesten Vpn

ss311002 *Simulation 5, Szenario 1:* Ein Helikopter und sechs Löschautos sollen den Waldbrand mit der kleinsten Gesamtverzehrskraft löschen, der in einem großen Abstand zum nächsten Haus loderte (Teilstrategie 1). Die restlichen drei Helikopter und zwei Löschautos bekämpfen dagegen den Waldbrand mit der größten Gesamtverzehrskraft von den Feuern, die in einem großen Abstand zum nächsten Haus brennen (Teilstrategie 2).

Simulation 5, Szenario 2: Die Vp kann aufgrund von Zeitmangel das Szenario nicht mehr bearbeiten, so dass zum Szenario 2 keine Strategien berichtet werden können.¹

ma261016 *Simulation 5, Szenario 1:* Zwei Helikopter und drei Löschautos setzt die Vp für das Löschen der zwei Waldbrände mit der größten Gesamtverzehrskraft ein (Teilstrategie 1). Das gleiche Kontingent an FWEn bekämpft von den Bränden in einem kleinen Abstand zum nächsten Haus den Waldbrand, der die größte Anzahl an Häuser gefährdet (Teilstrategie 2). Die zwei restlichen Löschautos gehen gegen die größten Waldbrände vor, die in einem kleinen Abstand zum nächsten Haus brennen (Strategie 3).

Simulation 6, Szenario 2: Die Vp teilt ihre FWEn in vier Gruppen auf, die jeweils aus einem Helikopter und zwei Löschautos bestehen. Drei Gruppen bekämpfen Waldbrände mit der größten Gesamtverzehrskraft, wobei eine Gruppe sich ausschließlich um den größten Waldbrand kümmert (Teilstrategie 1). Die zweite Gruppe bekämpft die zwei größten Brände (Teilstrategie 2) und die dritte Gruppe löscht die zwei größten Waldbrände von den Bränden in einem kleinen Abstand zum nächsten Haus (Teilstrategie 3). Die verbleibende vierte Gruppe wird ähnlich wie die dritte Gruppe zum Schutz der Häuser eingesetzt und löscht die zwei Waldbrände mit dem kleinsten Abstand zum nächsten Haus (Teilstrategie 4).

bj190910 *Simulation 4, Szenario 2:* Drei Helikopter und fünf Löschautos bekämpfen Brände in einem kleinen Abstand vom nächsten Haus, kümmern sich aber nur um solche mit großer Gesamtverzehrskraft (Teilstrategie 1). Bis Takt 20 setzt die Vp noch drei Helikopter und vier Löschautos ein, um bis zu drei Brände mit einer kleinen Gesamtverzehrskraft zu löschen, die sich in einem großen Abstand vom nächsten Haus befinden (Teilstrategie 2). Danach verwendet sie einen Helikopter und drei Löschautos, um maximal zwei Brände mit mittlerer Gesamtverzehrskraft zu beseitigen, die in einem kleinen Abstand vom nächsten

¹In der Auswertung wird die Leistung in diesem Szenario mittels linearer Regression aus dem vorherigen Szenario geschätzt, so dass sich ihr Rangplatz durch den fehlenden Simulationslauf nicht verschlechtert.

Haus brennen (Teilstrategie 3).

Simulation 7, Szenario 1: Drei Helikopter und fünf Löschautos löschen bis zu drei Brände mit kleiner Gesamtverzehrskraft in einem großen Abstand zum nächsten Haus (Teilstrategie 1). Ein Helikopter und drei Löschautos bekämpfen bis zu zwei Brände mit kleinem Abstand zum nächsten Haus (Teilstrategie 2).

mm100611 *Simulation 3, Szenario 1:* Drei Helikopter und fünf Löschautos bekämpfen bis Takt 20 einen Waldbrand mit mittlerer Gesamtverzehrskraft und großem Abstand zum nächsten Haus (Teilstrategie 1). Zugleich löschen ein Helikopter und drei Löschautos Brände mit einer kleinen Anzahl an brennenden Feldern, in einer mittleren Entfernung für die nächste FWE, die außerdem noch in einer großen Abstand zum nächsten Haus brennen. Von diesen Bränden wählen sie den mit der größten Gesamtverzehrskraft aus (Teilstrategie 2). Im Takt 20 bis 40 versucht sie dann bis zu zwei Brände mit großer Gesamtverzehrskraft in großem Abstand zum nächsten Haus zu löschen und setzt dazu alle FWE ein (Teilstrategie 2). Zum Schluss des Szenarios konzentriert sie alle FWE auf bis zu zwei Brände mit mittlerer Anzahl an brennenden Felder, die auch eine große Gesamtverzehrkraft besitzen (Teilstrategie 3).

Simulation 4, Szenario 2: Es werden maximal zwei Waldbrände gelöscht, die in kürzester Entfernung zur nächsten FWE liegen (Teilstrategie 1). Außerdem bekämpfen die FWE einen Brand mit kleinem Abstand zum nächsten Haus (Teilstrategie 2). Nachdem zunächst alle Feuerwehreinheiten für die Strategie 1 eingesetzt werden, werden sukzessive die Einheiten zu Strategie 2 verlagert, bis zum Schluss alle Einheiten Strategie 2 ausführen.

13.7. Selbstbeurteilung des Delegationsverhaltens

Die Urteile der Vpn zur Einschätzung ihrer Delegationsfähigkeit werden mit anderen Kriterien z. B. Gesamtwertung nach Handsteuerung, Gesamtwertung nach Strategieeingabe oder Geschlecht korreliert. Eine positive Korrelation zwischen Gesamtwertung und dem Item¹ drückt einen Zusammenhang zwischen der Leistung und der Zustimmung zur jeweiligen Aussage aus. Für die *Gesamtwertung(Steuerungsart 1)* liegen signifikante Ergebnisse für die folgenden Items vor:

- 2.) „Fehlender Erfolg der Anderen ist durch ungünstige, nicht vorhersehbare Umstände bedingt.“ ($\rho = -0.454$, $p = 0.039^*$)
- 11.) „Es gelingt mir nicht mich so auszudrücken, dass die Anderen verstehen, was ich meine.“ ($\rho = 0.495$, $p = 0.026^*$).
- 16.) „Ich denke, dass ich kompetenter bin als die Anderen in meinem Umfeld.“ ($\rho = 0.530$, $p = 0.017^*$)

Problemlöser, die die Handsteuerung erfolgreich anwenden, führen demnach fehlenden Erfolg von anderen Personen weniger auf äußere Umstände zurück als Problemlöser, die weniger erfolgreich sind (Frage 2). Desweiteren geben sie größere Schwierigkeiten an, sich

¹Einzelne Fragen in einem Fragebogen werden als Items bezeichnet.

verständlich auszudrücken (Frage 11), denken aber, dass sie kompetenter als sind als andere Personen in ihrem Umfeld (Frage 16).

Die Korrelationen für den Zusammenhang für die *Gesamtwertung*(*Steuerungsart 4*) erlangen für die folgenden Items Signifikanz:

4.) „Ich denke, dass ich die Fähigkeiten Anderer einschätzen kann.“

($\rho = 0.442$, $p = 0.043^*$)

14.) „Die Anderen wissen, in welchen Situationen sie nachfragen sollen und wann nicht.“

($\rho = 0.496$, $p = 0.025^*$)

Problemlöser, die erfolgreich eigene Strategien formalisieren und delegieren, sind demnach stärker davon überzeugt, dass sie die Fähigkeiten anderer Personen einschätzen können im Vergleich zu Problemlösern, denen das weniger gut gelingt (Frage 4). Sie glauben auch eher, dass Personen, denen sie Aufträge erteilen, schon wissen werden, wann sie nachfragen müssen (Frage 14).

Im Hinblick auf das Geschlecht der Versuchspersonen (0= weiblich, 1= männlich) ergibt sich nur hinsichtlich des 11.) Items eine signifikante Korrelation:

11.) „Es gelingt mir nicht, mich so auszudrücken, dass die Anderen verstehen, was ich meine.“ ($\rho = 0.585$, $p = 0.009^{**}$)

Danach schreiben Männer sich selbst eine geringere Fähigkeit zu, sich verständlich auszudrücken, als Frauen (Frage 11).

Die Berechnung der Zusammenhänge der Items des Delegationsfragebogens mit der Mitgliedschaft bei der Feuerwehr bzw. der Selbstbeurteilung der Vorkenntnisse hinsichtlich der Bekämpfung von Waldbränden (vgl. Anhang D, FB1_VB, Item 5 u. 7) erbringt folgende Ergebnisse:

9.) „Die Anderen sind meistens zu doof, um zu kapieren, was ich meine.“

($\rho_{ffw*i9} = -0.445$, $p = 0.042^*$) ($\rho_{vork*i9} = -0.427$, $p = 0.050^*$)

18.) „Die Anderen sind unfähig.“

($\rho_{ffw*i18} = -0.513$, $p = 0.021^*$) ($\rho_{vork*i18} = -0.708$, $p = 0.001^{**}$)

Vpn, die Mitglied in einer Feuerwehr sind bzw. waren, glauben daher weniger, dass das, was sie sagen, nicht verstanden wird, weil ihre Gesprächspartner nicht intelligent genug sind (Frage 9). Sie schreiben generell anderen Personen größere Fähigkeiten zu (Frage 18).

13.8. Belastung der Versuchspersonen

Die durchgeführte Untersuchung stellte aufgrund einer Versuchsdauer von 4 bis 4.5 Stunden nicht nur zeitlich hohe Anforderungen an die Vpn. Im Folgenden werden daher Störfaktoren untersucht, die durch die Versuchsdauer bedingt sind. Zu diesem Zweck werden die Urteile untersucht, die nach jeder Simulation erfassen, wie gut sich die Vp während der Simulation konzentrieren konnte. Desweiteren liegen Aussagen der Vpn dazu vor, wie viel Spaß ihnen die Teilnahme an der Untersuchung machte und wie anstrengend der Versuch für sie war (vgl. Anhang D, FB4_NB_Ende).

Für die Konzentrationsfähigkeit ergibt sich keine bedeutsame Korrelation zur Anzahl der durchlaufenen Simulationen¹ ($\rho = 0.004$, $p = 0.483$). Vielmehr beurteilen die Vpn den Versuch als nur „durchschnittlich“ ($m = 2.8$, $s = 0.91$) anstrengend. Die Urteile schwanken dabei zwischen „sehr wenig anstrengend“ („1“) und „ziemlich anstrengend“ („4“). Desweiteren erklären sie, dass ihnen die Untersuchung „ziemlich viel“ Spaß ($m = 3.9$, $s = 0.50$) machte, wobei sich die Urteile zwischen „wenig“ („2“) und „sehr viel“ („5“) Spaß bewegen.

13.9. Sonstige Beobachtungen

Aufgrund der Anwesenheit des Versuchsleiters während der gesamten Untersuchung, konnten auch spontane Kommentare oder Verhaltensweisen der Versuchspersonen erfasst und protokolliert werden. Diese eher unsystematischen Aufzeichnungen liefern jedoch zusätzlich zu den bisherigen Daten einige aufschlussreiche Informationen.

Auch nach der ersten oder zweiten Simulation kommen Vpn bei Fragen, wie z. B. welche Feuer sie zu löschen versucht haben oder was sie im Vergleich zur letzten Simulation an ihrer Strategie verändert haben, ins Nachdenken („Hm, das ist eine gute Frage ...“). Im Gegensatz dazu berichten einige Vpn schon nach geringer Erfahrung im Umgang mit der Simulation wichtige Merkmale der Simulation, z. B. dass kleine Feuer später zu großen Bränden werden (jk161112). Eine Vp (Studium Physik/Mathematik) kann sogar nach nur zwei Simulationen die Art der Feuerausbreitung als einen „nicht-linearen“ Prozess beschreiben, der einer „Kettenreaktion“ unterliegt (sc230505).

Während der ersten Simulationsläufe fehlt jedoch noch die Integration bzw. Umsetzung dieser Erkenntnisse in praktisches Handeln. Eine Vp (wb030801) erkennt z. B. schon während der ersten Simulation, dass kleine Feuer leichter löscher sind. Sie löscht aber trotzdem weiterhin die „großen, gefährlichen Feuer“, weil diese den größeren Schaden anrichten. Manche Vpn betreiben auch eine „Schaukelpolitik“, in der sie sich nicht zwischen zwei Strategien entscheiden können, z. B. ob sie in erster Linie die kleinen oder die großen Waldbrände löschen sollen (sc230505).

Einige Vpn (z. B. ge220707, wb030801) berichten bzw. zeigen, dass sie während der ersten Simulationen eher hektisch und impulsiv vorgehen. Im Lauf der Untersuchung werden sie jedoch zunehmend ruhiger und gehen überlegter und planender vor. Während der Simulation treten gelegentlich spontane Kommentare der Vpn auf wie „Der arme Wald!“ „So ein Mist!“ oder „Hilfe!“ oder Verhaltensweisen wie Sich-an-die-Stirn-fassen oder etwas ähnliches.

Es zeigt sich in Steuerungsart 1, dass bereits bei einfachen Aktionen, wie ein Löschauto zu einem Feuer schicken, individuelle Vorgehensweisen gewählt werden. Einige Vpn wählen z. B. das Feuer, das sie einer FWE als Ziel vorgeben wollen, direkt aus. Andere klicken nur auf das Straßenfeld, das am nächsten zum Feuer liegt, so dass das Löschauto selber zu diesem Feuer hinfährt, wenn es in seine Sichtweite kommt.

Die Strategien, die Vpn in Steuerungsart 4 verwenden, sind häufig so aufgebaut, dass sie ihre FWEs unterschiedlichen Gebieten zuweisen (meist anhand des Parameters „Abstand

¹ausgewertet wurden alle Simulationen ($n = 106$)

vom nächsten Haus“). Sie gehen so vor, obwohl in der Simulation die Position einer FWEn nur eine untergeordnete Rolle spielt, da sowohl Helikopter als auch Löschautos sich (zumindest auf der Straße) sehr schnell fortbewegen können. Oft werden vorhandene Strategien an die aktuelle Situation angepasst, besonders was die Zuweisung der Art und Anzahl an FWEn betrifft. Es wird auf diese Weise zum Teil vermieden, sich auf einer abstrakten Ebene mit den Eigenschaften der Feuer auseinanderzusetzen, die gelöscht werden sollen. Vielmehr hat man hier den Eindruck, dass die Vpn wissen, wie sie praktisch handeln würden und versuchen durch die Schnittstelle „Strategietabelle“ eine Handsteuerung nachzuahmen.

14. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden komplexe Problemlöseprozesse anhand eines computersimulierten Waldbrandszenarios untersucht. Die Versuchspersonen hatten dabei die Aufgabe, Wald und besonders Häuser vor ausbrechenden und sich ausbreitenden Feuern zu schützen. Es wurde untersucht, ob Vpn in der Lage sind auf einer abstrakten Ebene effektive Strategien zu formalisieren und anschließend an Feuerwehreinheiten zu delegieren. Eine Strategie bestand dabei aus den Eigenschaften derjenigen Waldbrände (z. B. Größe, Intensität, Abstand zum nächsten Haus,...), die von den Feuerwehreinheiten gelöscht werden sollten, sowie der Zusammensetzung der Löschmannschaft (z. B. Anzahl der Helikopter oder Löschautos). Damit sollten die folgenden Fragen beantwortet werden, die bisherige Studien nicht befriedigend klären konnten: Sind Vpn in der Lage Problemlösestrategien auf einer abstrakten Ebene zu formalisieren? Welche Strategien setzen sie ein? Welchen Einfluss hat eine konkrete bzw. abstrakte Betrachtungs- und Steuerungsebene? Welchen Einfluss hat Wissen bzw. Erfahrung auf die Strategien?

Im Folgenden werden die erhaltenen Ergebnisse im Hinblick auf diese Fragen hin interpretiert und diskutiert. Zuerst wird jedoch darauf eingegangen, ob es gelungen ist, die konzeptionellen Anforderungen an die Simulation umzusetzen. Dies soll zeigen, inwieweit die Ergebnisse aussagekräftig sind.

14.1. Konzeption und Validität der Simulation

Das Waldbrandszenario, das als eine der klassischen Domänen zur Untersuchung von komplexen Problemlösungsprozessen gelten darf, hat sich meiner Meinung nach auch in der vorliegenden Implementierung als Problemlöseumgebung bewährt. Dafür gibt es mehrere Gründe, die im Folgenden genannt werden. Anschließend wird auch auf die Kritikpunkte eingegangen.

Die oft genannte Kritik an Untersuchungen zu Komplexen Problemlösungsprozessen, dass kein *Normatives Modell* vorliegt, anhand dessen die individuellen Leistungen beurteilt werden könnte ist – denke ich – im Fall des Waldbrandszenarios nicht gerechtfertigt. Erstens ist durch den Ausgangszustand des unberührten Waldgebiets, der zugleich auch der Zielzustand ist, ein eindeutiges Kriterium gegeben, das zur Evaluation der Vpn herangezogen werden kann. Zweitens sind einige zentrale Merkmale formulierbar, die eine effektive Strategie zur Feuerbekämpfung aufweisen sollte.

Die Umsetzung der konzeptionellen Vorgaben ist insgesamt auch als gelungen zu bezeichnen. Die Szenarios unterscheiden sich in ihrer Schwierigkeit und stellen auch etwas andere und unterschiedlich hohe Anforderungen, so dass die Entwicklung allgemeiner Strategien zur Feuerbekämpfung notwendig ist. Die Realisierung der Steuerungsarten ist trotz kleiner Mängel hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit und technischer Eigenheiten als mindestens zufriedenstellend zu bezeichnen, was die aktionsbasierte Steuerungsart 1 und die strategiebasierten Steuerungsarten 2 und 3 betrifft. Die Steuerungsart 4 ist in Anbetracht der Tatsache, dass diese Methode zum ersten Mal in diesem Szenario bzw. zur Delegation von Strategien an künstliche Agenten eingesetzt worden ist, als besonders gelungen zu bewerten. Eine wichtige konzeptionelle Entscheidung war dabei die Kombination von ‚Produktionsregeln‘ und ‚Schemata‘ zur Formalisierung der Strategien.

Die vorliegende Simulation scheint eine plausibel zu sein im Vergleich zu einem realen Waldbrand. Dies zeigt nicht nur die Übereinstimmung der Strategien, die die Vpn anwenden, mit denen, die auch in Fachliteratur zur Waldbrandbekämpfung (vgl. Abschnitt 5.2.3) vorgestellt werden. Auch Vpn, insbesondere diejenigen mit Feuerwehrerfahrung, bescheinigen der Simulation Plausibilität. Desweiteren zeigen die positiven und teilweise hochsignifikanten Zusammenhänge zwischen dem erworbenen Wissen und der Problemlöseleistung, dass mit wachsender Übung, Erfahrung oder Wissen Vpn die Simulation immer besser kontrollieren. Ohne Aussagen über die Plausibilität der Simulation im Hinblick auf reale Waldbrände treffen zu wollen, spricht dies meiner Meinung zumindest für die „innere Konsistenz“ der Simulation.

Kritisch hinterfragt werden muss, welche Anteile des Zusammenhangs zwischen dem erworbenen Wissen und der Gesamtleistung tatsächlich auf den Erwerb domänenspezifischen Wissens zurückzuführen sind und nicht auf andere, nicht kontrollierte Variablen. Dies könnte z. B. die Übung im Umgang mit dem Computer bzw. der Maus oder erworbenes Wissen über die Eigenheiten der Simulationsumgebung sein.

Weiterhin ist die Tatsache, dass zwischen dem erworbenen Wissen und der Leistung bei Eingabe eigener Strategien kein Zusammenhang vorliegt, nicht unmittelbar einsichtig. Stattdessen wäre zu erwarten, dass ein höheres Maß an explizitem Wissen einer abstrakteren Formalisierung von effektiven Strategien förderlich ist. Im Gegensatz zur strategiebasierten Steuerung zeigt sich bei aktionsbasierter Steuerung ein signifikanter Zusammenhang zwischen erworbenem Wissen und Problemlöseleistung. Möglicherweise kann sich das erworbene Wissen in der manuellen Steuerung, in der die Vp in jedem Takt in das Geschehen eingreifen kann, stärker in der Leistung manifestieren im Gegensatz zur strategiebasierten Steuerung, in der nur fünf Eingriffsmöglichkeiten zu bestimmten Zeitpunkten möglich sind. Hier könnte es sein, dass eine Vp zwar eine bessere Strategie „weiß“, sie aber nicht einsetzen kann, da sie bis zum nächsten Eingriffszeitpunkt warten muss.

Ein weiterer Grund könnte sein, dass die Umsetzung des Wissens in der strategiebasierten Steuerung mit einem gewissen Vorhersagerisiko einhergeht. Es könnte sein, dass eine gut durchdachte Strategie fehlschlägt, da ein Faktor nicht berücksichtigt worden ist und die begangenen Fehler nicht mehr korrigiert werden können. Die große Variabilität der Leistungen mit sehr guten, aber auch schlechten Leistungen bei Eingabe eigener Strategien könnte

Hinweise darauf geben. Möglicherweise sollte man aber auch diese Ergebnisse aufgrund des relativ niedrigen Qualitätsmaßes und der geringen Stichprobengröße, bei der einzelne abweichende Fälle großen Einfluss haben können, nicht überbewerten.

Der nicht bedeutsame Zusammenhang zwischen der Selbstbeurteilung des eigenen Vorwissens bzw. der Mitgliedschaft in einer Feuerwehr und der späteren Leistung kann einerseits als Hinweis auf die mangelnde Validität und Realitätsnähe interpretiert werden, kann aber auch durch die egalisierende Wirkung der relativ ausführlichen Instruktion bedingt sein, die alle Vpn mit dem notwendigen Grundwissen zum Waldbrandszenario bzw. die Simulation ausstattete.

14.2. Formalisierung von Strategien

Die zentrale Frage der Untersuchung, die die Formalisierung von Strategien betrifft, kann man aufgrund der vorliegenden Ergebnisse positiv beantworten. Das bedeutet, dass Personen auch ohne eine besondere Vorbildung hinsichtlich abstrakt-formalen Denkens ihre Problemlösungsstrategien formalisieren können. Dabei erweist sich zumindest für die Domäne der Waldbrandbekämpfung eine Kombination von Produktionsregeln und Schemata als eine adäquate Formalisierungsmethode.

Auf der subjektiven Ebene zeigen sich insgesamt sehr zufriedenstellende Beurteilungen der Vpn sowohl was die Handhabung der Formalisierungsmethode als auch die resultierenden, ausgeführten Strategien betrifft. Eine wichtige Rolle spielt dabei der Versuchsleiter als „menschliches Interface“. Er bot bei der Übertragung der Strategien der Vpn in das vorgegebene Schema Hilfestellung und verbalisierte die Strategien nach der Eingabe zur Kontrolle für die Vp. Ohne diese Unterstützung wäre es wahrscheinlich für die Vpn sehr viel schwieriger gewesen, ihre Strategien unter Berücksichtigung der Eigenheiten der Eingabemaske zu formalisieren.

Auch auf der objektiven Seite bestätigen die Leistungen der Vpn in Steuerungsart 1 und 4 diese Ergebnisse. Die Leistungen bei der Eingabe eigener Strategien (St4) sind vergleichbar hoch (wenn nicht besser) wie bei aktionsbasierter Steuerung (St1), so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Vpn ihre Strategien ähnlich gut umsetzen können (vgl. Abbildung 25 auf S. 120). Auch Unterschiede zwischen den strategiebasierten Steuerungsarten 2 bis 4 weisen darauf hin, dass Vpn durchaus die Eingriffsmöglichkeiten (z. B. Veränderung von Parametern), die ihnen zur Verfügung stehen, effektiv einsetzen können. Die fehlende Signifikanz mancher Ergebnisse sollte aufgrund der wenigen Versuchspersonen, die in die Auswertung eingingen, nicht zu großes Gewicht erhalten.

Man kann die subjektiven Urteile der Vpn hinterfragen. Da sie erst nach den Simulationsläufen erhoben wurden, könnten die Urteile durch die Leistung im jeweiligen Szenario beeinflusst sein. In diesem Fall sind Verzerrungen ihres Urteils denkbar. Diese können dazu führen, dass sie bei einer guten Leistung die Eingabe der Strategie als einfach beurteilen und auch die Übereinstimmung der ausgeführten mit der beabsichtigten Strategie höher beurteilen. Entsprechend können schlechte Ergebnisse dazu führen, dass sie ihren Misserfolg nicht auf ihre Strategie, sondern auf Probleme bei Eingabe oder der Umsetzung durch

die Feuerwehreinheiten schieben nach dem Motto „So eine schlechte Strategie kann nicht von mir stammen!“. Diese Behauptung lässt sich jedoch durch die Urteile der Vpn nicht belegen, da diese auch bei schlechter Leistung noch eine zufriedenstellende Bewertung der Handhabung der Tabelle geben.

Die Aussagekraft der objektiven Ergebnisse könnte durch die beschränkte Sichtweite der FWEn bei aktionsbasierter Steuerung vermindert sein. Obwohl eine Vp eine globale Sicht auf die Situation hat, kann sie bei aktionsbasierter Steuerung nur einer FWE einen Befehl erteilen. Das bedeutet, dass bei aktionsbasierter Steuerung manche Feuer nicht gelöscht werden, wenn sie von den FWEn nicht wahrgenommen werden und die Vp es übersieht oder lieber ein anderes Feuer löscht. Bei den strategiebasierten Steuerungsarten haben die FWEn dagegen eine „globale“ Sicht, so dass ihrer „Aufmerksamkeit“ kein Feuer entgeht. Auf diese Weise könnte ein grundlegender Vorteil für die strategiebasierten Steuerungsarten entstehen, der darüber hinwegtäuscht, dass die Vpn ihre Strategien schlecht formalisieren können. Die Leistungen bei Steuerungsart 4 zeigen jedoch eine weitaus größere Variabilität und teilweise sehr viel schlechtere Leistungen als in Steuerungsart 1, so dass nicht von einem generellen Vorteil der strategiebasierten Steuerungsarten gesprochen werden kann. Vielmehr weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass die Formalisierung der Strategien der „Prüfstein“ ist, an dem sich zeigt, ob die Vpn effektive Strategien benutzen. Er gibt über die individuelle Leistung genauer Auskunft als bei der Handsteuerung, bei der die Vpn nur auf einen kleineren Teil des Gesamtverhaltens der FWEn Einfluss nehmen können. Das liegt daran, dass pro Takt nur einer FWE ein Befehl erteilt werden kann.

14.3. Verwendete Strategien

14.3.1. Allgemeine Problemlösestrategien

Die Strategien zur Feuerbekämpfung als Operationalisierung von allgemeinen Problemlösestrategien weisen einige Merkmale auf, wie sie auch in anderen Domänen Verwendung finden können. So zeigen einige Vpn die Tendenz, ihre Aufgabe zu zerlegen, indem sie die Feuerwehreinheiten unterschiedlichen Gebieten zuordnen oder nur für bestimmte Aufgaben (z. B. Löschen von mittelgroßen Bränden) einsetzen. Dies kann man als Arbeitsteilung bzw. Spezialisierung bezeichnen. DÖRNER & PFEIFER (1992, S. 83) verwenden für dieses Phänomen den Begriff ‚Dekompositionstendenz‘.

Hier ergeben sich auch Ähnlichkeiten zum Problemlösealgorithmus *Divide-and-Conquer*, der ein Problem löst, indem er es in kleinere Unter-Probleme aufteilt, diese separat löst und zu einer Lösung zusammenfügt [RUSSELL & NORVIG 1995, S. 341, 379]. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise stellt sicher auch der Aspekt dar, dass das Szenario dadurch an Komplexität verliert und die Vp mehr Übersicht erhält.

Auf der Suche nach der besten Strategie zur Bewältigung des Szenarios wenden manche Vpn das ‚Prinzip der isolierenden Variation‘ an, indem sie nur wenige bzw. einen Faktor der Strategie (z. B. Gesamtverzehrskraft) variieren und die Auswirkungen beobachten [DORSCH ET AL. 1994, S. 368]. Die Versuchspersonen gingen dabei meinem Eindruck nach allerdings weniger hypothesengeleitet, sondern mehr nach ‚Versuch-und-Irrtum‘ vor. Dies war auch bei

Personen beobachtbar, die aufgrund ihres Vorwissens (z. B. Erfahrung aus der Feuerwehr) dazu in der Lage gewesen wären, Hypothesen aufzustellen.

14.3.2. Domänenspezifische Strategien

Merkmale effektiver Strategien Neben diesen allgemeinen Merkmalen lassen sich auch einige charakteristischen Merkmale der domänenspezifischen Strategien zur Waldbrandbekämpfung beschreiben. Diese gelten sowohl für die aktionsbasierte Steuerung als auch für die strategiebasierte Steuerung.

Bei strategiebasierter Steuerung sind die folgenden Strategiemerkmale entscheidend für den Erfolg, wie die Ergebnisse der Untersuchung zeigen (vgl. Abschnitt 13.6):

1. Brände, die Häuser bedrohen, werden intensiver bekämpft als Brände, die Wälder bedrohen.
2. Es werden mehrere Waldbrände (mindestens zwei bis drei) gleichzeitig bekämpft.
3. Es werden auch kleine Waldbrände gelöscht.
4. Die Anzahl der FWEn richtet sich nach der Größe der Waldbrände.

Wurde eines dieser Prinzipien von den Vpn missachtet, so waren die Waldbrände nur schwer kontrollierbar. Desweiteren erweist sich eine Aufgabenteilung der FWEn als sinnvoll, so dass Helikopter für kleine Brände mitten im Wald eingesetzt werden und Löschautos für größere Waldbrände, die durch Straßen einfach zu erreichen sind.

Für die *aktionsbasierte Steuerung* sind diese Merkmale zwar auch relevant, besitzen aber eine geringere Bedeutung. Dies kann einerseits durch die vielfältigeren Handlungsmöglichkeiten bedingt sein. Im Gegensatz zur strategiebasierten Steuerung kann hier auch die Taktik, d. h. wie ein Waldbrand gelöscht wird, beeinflusst werden. Ein anderer Grund ist die weniger systematische, „offene“ Erfassung der Strategie. Aufgrund der „offenen“ Befragung nennen die Vpn meinem subjektiven Eindruck nach eine größere Anzahl verschiedener, einzelner Aspekte, die sie während der Simulation beachten im Vergleich zur strategiebasierten Steuerung. Die Vpn neigen dazu, nicht nach jeder Simulation alle Faktoren zu nennen, die für sie in diesem Szenario handlungsleitend waren. Dies gilt vor allem, wenn sie diese Faktoren im Lauf der Untersuchung schon einmal genannt haben. Abgesehen davon haben sehr wahrscheinlich auch domänenunspezifische Faktoren, wie manuelle Geschicklichkeit, Aufmerksamkeit und Reaktionsvermögen, bei der manuellen Steuerung einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Leistungen. Daraus ergeben sich einige Verzerrungen, die zum Teil die Unterschiede in den Strategien zwischen der strategiebasierten und der aktionsbasierten Steuerung erklären können.

Insgesamt zeigt sich, dass es abgesehen von diesen wenigen, aber wichtigen Merkmalen es noch weitere relevante Faktoren im Szenario bzw. in der Simulation gibt. Die Faktoren bzw. Merkmale stehen dabei zueinander in einer kompensatorischen Beziehung, so dass Vpn mit verschiedenen Strategien gleich gute Leistungen erbringen können.

Ursachen ineffektiver Strategien Für die schwachen Leistungen mancher Versuchspersonen gibt es verschiedene mögliche Erklärungen, die größtenteils spekulativer Art sind. So ist es z. B. möglich, dass diese Vpn die wichtigen Zusammenhänge aufgrund fehlender *Intelligenz, Wissen oder Motivation* nicht erkennen. Davon abgesehen ist die mangelhafte Umsetzung dieses Wissens in adäquate *Operationen bzw. Aktionen* von noch größerer Bedeutung. Diese Faktoren werden im Folgenden genauer betrachtet.

Die Frage, welche Rolle *Intelligenz* bei der vorliegenden Untersuchung gespielt hat, kann empirisch nicht beantwortet werden, da keine Intelligenzmaße erhoben wurden. Auch andere Untersuchungen zu diesem Thema ergeben ein sehr heterogenes Bild. Aus diesen Gründen soll diese Frage unbeantwortet bleiben.

Der Einfluss des *Wissens* bzw. der Erfahrung ist dagegen eindeutiger zu beantworten. In dieser Untersuchung spielte z. B. praktische Erfahrung aus der Feuerwehr oder erlernte abstrakte Denkschemata, z. B. Kenntnisse über „nicht-lineare Prozesse“ oder „Kettenreaktionen“ aus dem Studium, eine Rolle. Grundsätzlich sollte Wissen zumindest niemals schaden.

Obwohl die Rolle der *Motivation* bzw. Emotion bei Komplexem Problemlösen nicht Gegenstand dieser Untersuchung ist, liegen vereinzelt Hinweise auf die Beteiligung von Emotionen an Problemlösungsprozessen vor. Bestimmte Äußerungen der Vpn können als Indikatoren für die emotionale Beteiligung der jeweiligen Versuchsperson am (simulierten) Geschehen interpretiert werden. Beispiele für solche Aussagen, die nicht immer ganz ernst gemeint waren, sind: „Der arme Wald!“, „So ein Mist!“ oder „Gott sei Dank sind keine Menschen mehr in den Häusern!“. Speziell Äußerungen wie „Der arme Wald!“ können auch im Zusammenhang zu animistischen Denkweisen¹ gesehen werden, wie sie auch bei Kindern auftreten. Diese Aussagen sind insofern von Bedeutung, weil sie dazu führen können, dass suboptimale Strategien gewählt werden. Wer einem Wald Gefühle zuschreibt wird eher seine FWEn darauf konzentrieren, einen großen Waldbrand zu bekämpfen, der gerade dem Wald viele „Schmerzen“ bzw. Schaden zufügt. Die langfristig effizientere Strategie wäre es jedoch, weiterhin kleine neu ausbrechende Feuer zu bekämpfen. Dies gilt vor allem, wenn der große Waldbrand nicht mehr unter Kontrolle gebracht werden kann, sondern nur noch Feuerwehreinheiten „bindet“. Aus diesem Grunde kann man meiner Meinung nach nicht nur von einer *kognitiven* Barriere des Problemlösens sprechen, sondern auch von einer *emotionalen* Barriere.

Bei der *Auswahl konkreter Operationen* ist es notwendig, die zur Verfügung stehenden Informationen bzw. Wissen über die Struktur des Systems nach ihrer Priorität zu gewichten. Eine große Menge an Informationen kann nutzlos oder sogar lähmend sein, wenn nicht bekannt ist, aufgrund welcher Informationen eine Entscheidung getroffen muss. Eine Integration und Gewichtung von Informationen ist spätestens dann vonnöten, wenn es darum geht, begrenzte Kapazitäten (z. B. Feuerwehreinheiten) einer Strategie zuzuordnen. Da die einzelnen Zusammenhänge in diesem Szenario als nicht besonders komplex oder schwer entdeckbar gelten dürfen, ist zu vermuten, dass die Hauptschwierigkeit in der Integration

¹Animismus: Dinge werden von Kindern nicht als vom Ich getrennt aufgefasst, weswegen sie mit Eigenschaften des Ich ausgestattet werden z. B. Empfindungen, Absichten, u.a. [STÄDLER 1998, S.383]

und Gewichtung dieser Zusammenhänge zu suchen ist. So können an sich gute Strategien durch eine falsche Parametrisierung bzw. Auswahl ungeeigneter Parameterwerte unbrauchbar werden. Ein Waldbrand könnte z. B. unkontrollierbar werden, wenn ihm eine FWE zu wenig zugeordnet worden ist. Dadurch könnten auch die Löschaktivitäten der anderen FWEn in ihrer Effizienz deutlich beeinträchtigt werden.

14.4. Einfluss der Steuerungsarten

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass durch die Delegation von eigenen Strategien (Steuerungsart 4) ähnlich gute Leistungen erzielt werden, wie bei aktionsbasierter Kontrolle (Steuerungsart 1). Die Variabilität der Leistungen unterscheidet sich dagegen deutlich.

Die geringen Unterschiede der Leistungsniveaus sind möglicherweise dadurch bedingt, dass das Verhalten der FWEn bei einer effektiven strategiebasierter Steuerung und bei aktionsbasierter Steuerung ähnliche Effekte zeigt. Eine effektive Strategie besteht z. B. darin, alle Feuer zu löschen, solange sie noch klein sind. Das automatische Such- und Löschverhalten der FWEn bei aktionsbasierter Steuerung führt dazu, dass die FWEn sich zufällig verteilen und jedes ausbrechende Feuer in ihrer Sichtweite löschen. Die Ergebnisse der beiden Steuerungsarten sind dabei sehr ähnlich.

Während bei der aktionsbasierten Kontrolle die Leistungen der Vpn relativ schwach variieren, zeigen die Leistungen bei der Anwendung eigener Strategien (Steuerungsart 4) sehr viel größere Unterschiede. Dies liegt möglicherweise daran, dass die Vpn bei aktionsbasierter Steuerung nur auf einen Teil des Gesamtverhaltens der FWEn beeinflussen können, da sie pro Takt nur einer FWE einen Befehl erteilen können. Dagegen können sich die eingegebenen Strategien bei strategiebasierter Steuerung auf das Verhalten aller FWEn auswirken. Dadurch können gute Strategien bei Handsteuerung zu sehr guten Strategien bei strategiebasierter Steuerung werden und umgekehrt schlechte Strategien zu sehr schlechten.

In den anderen strategiebasierten Steuerungsarten 2 und 3, die auf vorgegebenen Strategien basieren, deren Parameter nur teilweise beeinflussbar sind, zeigen die Vpn schlechtere Leistungen als in Steuerungsart 1 oder 4. Dies ist einerseits bereits konzeptionell so vorgesehen. Die schlechtere Leistung in den Steuerungsarten 2 und 3 soll die Vpn motivieren durch geschickte Auswahl von Parametern und Werten bessere Strategien zu formulieren. Andererseits können diese Ergebnisse aber auch auf Schwierigkeiten bei der Umstellung von aktionsbasierter zu strategiebasierter Steuerung hinweisen.

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert wurde, ergeben sich aus der Steuerungsart Unterschiede in den eingesetzten Strategien. Obwohl hier keine objektiven Kriterien angelegt werden können, werden meiner Meinung nach in den Strategien in der aktionsbasierten Steuerung eine größere Anzahl einzelner Merkmale des Szenarios miteinbezogen, wobei die Strategien auch zeitlich weniger stabil sind, d. h. öfter geändert werden. Auf diese Weise ergibt sich bei der aktionsbasierten Steuerung eine größere Heterogenität der Strategien.

14.5. Einfluss von Wissen und Erfahrung

Da bereits im Abschnitt 14.1 auf die Korrelationen zwischen Wissen und Leistung der Vpn eingegangen wurde, werden diese Ergebnisse hier nicht mehr weiter erörtert. Stattdessen soll diskutiert werden, inwiefern die Art der Erfahrung (konkret vs. abstrakt) den Erwerb von Wissen und die Leistung beeinflusst. Dazu wird die Leistung und das erworbene Wissen der verschiedenen Gruppen mit unterschiedlicher Reihenfolge der Steuerungsarten genauer betrachtet.

Insgesamt haben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ergeben weder hinsichtlich der Leistung noch hinsichtlich des erworbenen Wissens. Man kann jedoch vermuten, dass sich die tendenziell besseren Leistungen in den Gruppen 2 und 3 daraus ergeben, dass diese Gruppen jeweils ein Szenario mehr zur Verfügung hatten, um den Umgang mit der Handsteuerung (Steuerungsart 1) bzw. der Strategieeingabe (Steuerungsart 4) zu üben (vgl. Tabelle 6 auf S. 79). Dadurch dass nur die besten zwei Simulationsläufe für Handsteuerung bzw. Strategieeingabe in die Gesamtwertung eingingen, ergibt sich ein Vorteil für die Gruppen 2 und 3.

Das Profil der Ergebnisse für das erworbene Wissen ist allerdings damit inkonsistent (vgl. Abbildung 24 auf S. 120). Die Gruppen 2 und 3 schneiden hier tendenziell schlechter ab. Möglicherweise übt die Anzahl der durchlaufenen Steuerungsarten einen Einfluss auf den Wissenserwerb aus. Dadurch dass die Gruppen 1 und 4 die Simulation aus der Sicht von vier verschiedenen Steuerungsarten kennenlernen, nehmen sie möglicherweise eine größere Zahl verschiedener Aspekte der Simulation wahr, die sie dann in den Nachbefragungen berichten können.

14.6. Zusammenhang von Problemlöse- und Delegationsfähigkeit

Abschließend soll noch auf die Zusammenhänge zwischen den Maßen der Problemlöseleistung und der Selbstbeurteilung der Delegationsfähigkeit im Delegationsfragebogen eingegangen werden. Der Fragebogen kann jedoch nur auf der Ebene einzelner Items interpretiert werden, da ihm keine ausreichend fundierten theoretischen Konstrukte zugrundeliegen.

Es zeigen sich einige interessante Zusammenhänge zur Leistung bei *Handsteuerung* der Feuerwehreinheiten. Erfolgreiche Problemlöser führen demnach mangelnden Erfolg von Anderen weniger auf „ungünstige, nicht vorhersehbare Umstände“ (Frage 2) zurück. Vielmehr dürfte bei diesen Vpn eine Attribution von (Fehl)leistung auf intrapersonale Faktoren (z. B. die Leistungsfähigkeit der Person) vorliegen, die in der verwendeten Simulation bei Handsteuerung positiv zur Leistung korreliert. Eine kausale Interpretation dieses Zusammenhangs kann allerdings nur unter Vorbehalt angewendet werden. Weiterhin steht die Fähigkeit „auszudrücken, was man meint“ (Frage 11) in einem deutlichen, negativen Zusammenhang zur Leistung bei der Handsteuerung. Vpn, die sich selbst geringere Ausdrucksfähigkeit zuschreiben, zeigen demnach bei der Lösung von Problemen, die diese Fähigkeit nicht erfordern, d. h. es in erster Linie auf das Handeln ankommt, die besseren Leistungen. Die häufig berichtete Bedeutung von Selbstvertrauen oder Selbstsicherheit (vgl. Abschnitt 6.3.1) wird auch in dieser Studie in der Form repliziert, dass Vpn, die sich sel-

ber als „kompetenter als die Anderen in meinem Umfeld“ (Frage 16) beschreiben, höhere Leistungen erbringen.

Die Problemlöseleistung bei *Eingabe und Delegation eigener Strategien* zeigt einen deutlichen positiven Zusammenhang mit dem Urteil, „die Fähigkeit anderer einschätzen zu können“ (Frage 4). Es zeigt sich daher, dass auch bei der Delegation an simulierte Agenten, die Fähigkeit andere Menschen beurteilen und verstehen zu können von Vorteil ist. Das ist als ein Indiz für die wechselseitige Übertragbarkeit zwischen den in der Simulation gewonnenen Ergebnisse und der Realität zu werten. Die Aussage, dass „die Anderen wissen in welchen Situationen sie nachfragen sollen und wann nicht“ (Frage 14), soll prüfen, ob es der Person in der Realität gelingt, Prioritäten zu vermitteln. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass z. B. ein vielbeschäftigter Abteilungsleiter, der Aufgaben an Mitarbeiter delegiert, nicht mit unwichtigen Fragen behelligt werden möchte. Er muss deshalb in der Lage sein, deutlich zu machen, was ihm wichtig ist und was nicht. Auch in dieser Simulation scheinen Vpn, die sich diese Fähigkeit selbst in höherem Maße zuschreiben, bessere Leistungen bei der Eingabe und Delegation eigener Strategien zu erbringen.

Die Urteile zur eigenen Delegationsfähigkeit zeigen abhängig vom *Geschlecht* nur in einer Frage deutliche Unterschiede. Die Fähigkeit, sich so auszudrücken, „dass die Anderen verstehen, was ich meine“ (Frage 11) zeigt einen sehr bedeutsamen Zusammenhang zum Geschlecht in der Hinsicht, dass Männer sich eine geringere Ausdrucksfähigkeit zuschreiben als Frauen. Im Hinblick auf die (ehemalige) Mitgliedschaft in einer *Feuerwehr* zeigen sich bedeutsame negative Zusammenhänge zu den Aussagen, „dass die anderen zu doof sind, um zu kapieren, was ich meine“ (Frage 9) bzw. „Die Anderen sind unfähig.“. Ich denke, dass sich darin vor allem die prosoziale Orientierung dieser Vpn ausdrückt, die sich schon als Jugendliche in einer Organisation engagiert haben, die in erster Linie dazu dient, anderen Menschen zu helfen und auch ein Gefühl von Gemeinschaft vermittelt.

14.7. Schlussbetrachtung

Die vorliegende Untersuchung liefert einige spannende Ergebnisse. Das wichtigste Ergebnis dürfte sicherlich darin bestehen, dass Problemlösungsstrategien keine „transzendenten Bewusstseinsphänomene“ sind, sondern durchaus in formaler Weise darstellbar sind. Dieser Erfolg hängt sicher auch mit der Wahl einer geeigneten Problemlösungsumgebung zusammen, wie in diesem Fall dem Waldbrandszenario. Es zeigte sich, dass diese Domäne über einige Eigenschaften verfügt, die es sowohl hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an spezielle Untersuchungsfragen als auch der Evaluation der Problemlösequalität der Problemlöser als besonders geeignet erscheinen lassen.

Weiteren Studien bleibt vorbehalten zu untersuchen, mit welchen Methoden in anderen Domänen Denk- bzw. Problemlösestrategien formalisiert werden können und welche Merkmale erfolgreiche Strategien dort haben. Aber natürlich gäbe es auch im Waldbrandszenario noch genügend offene Fragen, die einer genaueren Analyse bedürften als im Rahmen dieser Diplomarbeit möglich war. Insbesondere die Rolle von Emotionen bei Problemlösungsprozessen, könnte aufgrund der stark emotional besetzten Elemente dieses Szenarios (z. B.

Feuer, Häuser, Menschen) gut zu untersuchen sein.

Derartige Studien, die zur Formalisierung von komplexen Problemlöseprozessen dienen, tragen dazu bei, dass diese Prozesse weiter automatisiert und auch von anderen, künstlichen Agenten ausgeführt werden können. Dabei sollte man jedoch kritisch überdenken, ob und in welchen Bereichen dies wünschenswert ist. Gründe, die gegen eine zunehmende Automatisierung sprechen, sind nicht nur, dass Menschen dadurch in Abhängigkeit von anderen „Agenten“ geraten. Wichtig erscheint mir auch, dass ein Verlust an Lebensqualität damit verbunden sein könnte. Menschen könnten immer seltener die Freude erfahren, ein Problem selber gelöst oder etwas verstanden zu haben. Doch auch wenn man diese Kritikpunkte berücksichtigt, glaube ich, dass dieses Forschungsgebiet einen großen Gewinn für die Zukunft der Gesellschaft bedeuten kann. Schließlich können die gewonnenen Ergebnisse nicht nur dazu verwendet werden „Denken“ auf andere Agenten zu „externalisieren“. Sie können auch dazu dienen, die vorhandenen kognitiven Fähigkeiten des Menschen besser zu nutzen oder sogar zu steigern. Dadurch könnte er den vielfältigen Anforderungen seiner materiellen als auch sozialen Umwelt kompetenter entgegenzutreten.

Literatur

Das folgende Verzeichnis enthält Literaturangaben zu Quellen, die im Text direkt oder indirekt zitiert werden.

- ALTFELDER, K. (Hrsg.) (1973). *Lexikon der Unternehmensführung*. Ludwigshafen: F.-Kiehl-Verlag.
- ANDERSON, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ATKINSON, R. C. & SHIFFRIN, R. M. (1968). Human Memory: A proposed system and its control processes. In *Advances in the Psychology of Learning and Motivation*, Band 2, S. 89–195. New York: Academic Press.
- BANDURA, A. & WOOD, R. E. (1989). Effect of perceived controllability and performance standards on self-regulation of complex decision making. *Journal of Personality and Social Psychology* 56, 805–814.
- BARBER, B. (1983). *The Logic and Limits of Trust*. New Brunswick: Rutgers University Press.
- BARTLETT, F. C. (1932). *Remembering: An Experimental and Social Study*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- BECKMANN, J. (1994). *Lernen und komplexes Problemlösen*. Bonn: Holos.
- BERRY, D. C. & BROADBENT, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalisable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 36A, 209–231.
- BORTZ, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5., vollst. überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- BORTZ, J. & DÖRING, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation* (2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.
- BREHMER, B. (1990). Strategies in real-time, dynamic decision making. In R. M. Hogarth (Hrsg.), *Insights in decision making – a tribute to Hillel J. Einhorn*, S. 262–279. Chicago: Chicago Univ. Press.
- BREHMER, B. (1992). Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychologica* 81, 211–241.
- BREHMER, B. (1995). Feedback Delays in Complex Dynamic Decision Tasks. In P.-A. Frensch & J. Funke (Hrsg.), *Complex Problem Solving: The European Perspective*, S. 103–130. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- BREHMER, B. & ALLARD, R. (1990/1987). Learning to Control a Dynamic Task. In E. DeCorte & M. Carretero (Hrsg.), *Learning and Instruction: European research in an international context*, Band 2,2: Analysis of complex skills and complex knowledge domains aus *Studia paedagogica / New series*, S. 275–284. Oxford [u.a.]: Leuven Univ. Press [u.a.].

- BREHMER, B. & DÖRNER, D. (1993). Experiments With Computer-Simulated Micro-worlds: Escaping Both the Narrow Straits of the Laboratory and the Deep Blue Sea of the Field Study. *Computers in Human Behavior* 9, 171–84.
- BROADBENT, D. E., FITZGERALD, P., & BROADBENT, M. H. P. (1986). Implicit and explicit knowledge in the control of complex systems. *British Journal of Psychology* 77, 33–50.
- BURKHARD, H.-D. (2000). Software-Agenten. In G. Görz, C.-R. Rollinger & J. Schneeberger (Hrsg.), *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (3., vollst. überarbeitete Aufl.), S. 941–1018. München: Oldenbourg Verlag.
- BÜTTNER, E. (1999). *Kann man Strategien programmieren? – Über den Nutzen des Begriffes „Strategie“ sowie über den Nutzen der allgemeinen Simulationsumgebung SeSAM als Expertensystem für die psychologische Forschung*. Diplomarbeit, Fakultät Pädagogik, Philosophie, Psychologie; Otto-Friedrich-Universität, Bamberg.
- CHI, M. T. H., GLASER, R., & FARR, M. J. (Hrsg.) (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale, NY: Erlbaum.
- COHEN, P. R., GREENBERG, M. L., HART, D. M., & HOWE, A. E. (1989). Trial by Fire – Understanding the Design Requirements for Agents in Complex Environments. *AI Magazine Fall*, 32–48. <http://eks1-www.cs.umass.edu/research/phoenix.html>.
- COLLINS, A. M. & LOFTUS, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review* 82, 407–428.
- COLLINS, A. M. & QUILLIAN, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 8, 240–247.
- CORSTEN, H. (1995). *Lexikon der Betriebswirtschaftslehre* (3., überarb. und erw. Aufl.). München: Oldenbourg.
- DÖRNER, D. (1975). Wie Menschen eine Welt verbessern wollten ... *Bild der Wissenschaft* 12(2), 48–53.
- DÖRNER, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- DÖRNER, D. (1981). Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität. *Psychologische Rundschau* 32(3), 163–179.
- DÖRNER, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. *Diagnostica* 32, 290–308.
- DÖRNER, D. (1989). *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Hamburg: Rowohlt Verlag.
- DÖRNER, D. (1996). Waldbrand: Handeln in Krisensituationen. In S. Strohschneider (Hrsg.), *Denken in Deutschland*, Huber: Psychologie Forschung, S. 49–58. Bern: Verlag Hans Huber.
- DÖRNER, D. (1998). *Bauplan für eine Seele*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag.
- DÖRNER, D., GERDES, J., & PFEIFFER, E. (2001). WinFire V1.37. Lehrstuhl Psychologie II; Otto-Friedrich-Universität, Bamberg.

- DÖRNER, D., KREUZIG, H. W., REITHER, F., & STÄUDEL, T. (Hrsg.) (1983/1994). *Lohhausen – Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität* (Unveränderter Nachdruck der 1. Aufl.). Bern: Verlag Hans Huber.
- DÖRNER, D. & PFEIFER, E. (1992). Strategisches Denken, Strategische Fehler, Streß und Intelligenz. *Sprache & Kognition* 11(2), 75–90.
- DÖRNER, D. & SCHAUB, H. (1998). Das Leben von Ψ - Über das Zusammenspiel von Kognition, Emotion und Motivation. Memorandum 27, Lehrstuhl für Psychologie II; Otto-Friedrich-Universität, Bamberg. <http://www.uni-bamberg.de/~ba2dp1/home.html>.
- DÖRNER, D., SCHAUB, H., & STROHSCHNEIDER, S. (1999). Komplexes Problemlösen – Königsweg der Theoretischen Psychologie. *Psychologische Rundschau* 50(4), 198–205.
- DÖRNER, D. & SCHÖLKOPF, J. (1991). Controlling complex systems; or, Expertise as „grandmother’s know-how“. In K. A. Ericsson & J. Smith (Hrsg.), *Toward a general theory of expertise. Prospects and limits*, S. 218–239. Cambridge: University Press.
- DORSCH, F., HÄCKER, H., & STAPF, K. H. (Hrsg.) (1994). *Psychologisches Wörterbuch* (12., überarb. und erw. Aufl.). Bern: Verlag Hans Huber.
- DUDEN (Hrsg.) (2001). *Duden - Deutsches Universalwörterbuch* (4., neu bearb. u. erw. Aufl.). Mannheim: Dudenverlag.
- DUNCKER, K. (1935). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin: Julius Springer.
- EARLEY, P. C., CONNOLLY, T., & EKEGREN, G. (1989). Goals, strategy development, and task performance: Some limits on the efficacy of goal setting. *Journal of Applied Psychology* 74, 24–33.
- EBBINGHAUS, H. (1971/1885). *Über das Gedächtnis*. Leipzig: Duncker. Neuauflage: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- EWERT, P. H. & LAMBERT, J. F. (1932). Part II: The effect of verbal instructions upon the formation of a concept. *Journal of General Psychology* 6, 400–411.
- FELLER, M. C. (1992). *Forest Fire Science and Management. Course Manual*, Faculty of Forestry, University of British Columbia.
- FLEXNER, S. B. & AL. (Hrsg.) (1996). *Random House Compact Unabridged Dictionary* (special second Aufl.). New York: Random House.
- FRANKLIN, S. & GRAESSER, A. (1997). Is it an agent, or just a program? A taxonomy for autonomous agents. In N. Jennings & M. Wooldridge (Hrsg.), *Intelligent Agents*, Band 3, S. 21–35. Berlin: Springer.
- FRENSCH, P.-A. & FUNKE, J. (Hrsg.) (1995). *Complex Problem Solving: The European Perspective*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- FUNKE, J. (1988). Using Simulations to Study Complex Problem Solving. *Simulation & Games* 19(3), 277–303.

- FUNKE, J. (1990). Systemmerkmale als Determinanten des Umgangs mit dynamischen Systemen. *Sprache & Kognition* 9(3), 143–154.
- FUNKE, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Lehr- und Forschungstexte Psychologie. Berlin: Springer. <http://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/mitarb/jf/wissen.htm>.
- FUNKE, J. & MÜLLER, H. (1988). Eingreifen und Prognostizieren als Determinanten von Systemidentifikation und Systemsteuerung. *Sprache & Kognition* 7(3), 176–186.
- FUNKE, U. (1995). Using Complex Problem Solving Tasks in Personnel Selection and Training. In P. A. Frensch & J. Funke (Hrsg.), *Complex Problem Solving: A European Perspective*, S. 219–240. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- GÖRZ, G., ROLLINGER, C.-R., & SCHNEEBERGER, J. (Hrsg.) (2000). *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (3., vollst. überarb. Aufl.). München: Oldenbourg.
- GRUBER, H. & MANDL, H. (1996). Das Entstehen von Expertise. In H. Hoffmann & W. Kintsch (Hrsg.), *Lernen*, Band 7 aus *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Theorie und Forschung, Serie II, Kognition*, S. 583–615. Göttingen: Hogrefe.
- HEISE, E. (2000). Sind Frauen mitgemeint? Eine empirische Untersuchung zum Verständnis des generischen Maskulinums und seiner Alternativen. *Sprache & Kognition* 19(1/2), 3–13.
- HESSE, F. W., SPIES, K., & LÜER, G. (1983). Einfluss motivationaler Faktoren auf Problemlöseverhalten im Umgang mit komplexen Problemen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie* 30, 400–424.
- HOFFMANN, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- HUBER, P. (2000). *Formalisierung von Strategien beim komplexen Problemlösen unter Zuhilfenahme einer Multiagenten-Simulation*. Diplomarbeit, Institut für Informatik VI; Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- HUSSY, W. (1989). Strategien zur Bewältigung umfänglicher, problemrelevanter Informationsangebote im Altervergleich. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 21, 24–39.
- HUSSY, W. (1993). *Denken und Problemlösen*, Band 8 aus *Grundriß der Psychologie*. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- HUSSY, W. & GRANZOW, S. (1986). Determinanten komplexen Problemlösens I: Einfluss von Transparenz, externem Geächtnis und Rückmeldung. *Trierer Psychologische Berichte* 13(1).
- JENKS, J. M. & KELLY, J. M. (1985). *Don't Do, Delegate!* New York: Franklin Watts.
- KLÜGL, F. (2000). *Aktivitätsbasierte Verhaltensmodellierung und ihre Unterstützung bei Multiagentensimulationen*. Dissertation, Lehrstuhl für Informatik VI, Bayerische Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.

- KLÜGL, F. (2001). *Multiagentensimulation: Konzepte, Werkzeuge, Anwendung*. München: Addison-Wesley Verlag.
- KLUWE, R. & REIMANN, H. (1983). Problemlösen bei vernetzten komplexen Problemen: Effekte des Verbalisierens auf die Problemlöseleistung. Bericht, Fachbereich Pädagogik; Hochschule der Bundeswehr, Hamburg.
- LAIRD, J. E., NEWELL, A., & ROSENBLUM, P. S. (1987). SOAR: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence* 33, 1–64.
- LEHRSTUHL FÜR INFORMATIK VI (2001). SeSAM – Shell für Simulierte Agentensysteme. Institut für Informatik VI; Julius-Maximilians-Universität, Würzburg. <http://www.simsesam.de>.
- LÖSSL, E. (1970). Die betriebliche Personalorganisation und ihre psychologischen Probleme. In K. Gottschaldt (Hrsg.), *Betriebspsychologie* (2., neubearb. Aufl.), Band 9 aus *Handbuch der Psychologie in 12 Bänden*, S. 451–454. Göttingen: Verlag für Psychologie, Hogrefe.
- MACKINNON, A. J. & WEARING, A. J. (1980). Complexity and decision making. *Behavioral Science* 25, 285–396.
- MAIER, N. R. F. (1931). The reasoning in humans: II. The solution of a problem and its appearance in consciousness. *Journal of Comparative Psychology* 12, 181–194.
- MILEWSKI, A. E. & LEWIS, S. H. (1997). Delegating to software agents. *International Journal of Human-Computer Studies* 46, 485–500. <http://citeseer.nj.nec.com/cs>.
- MINSKY, M. (1975). A Framework for representing knowledge. In P. H. Winston (Hrsg.), *The Psychology of Computer Vision*, S. 211–277. New York: McGraw-Hill.
- MUCK, P. M. (1999). Persönlichkeit und Intelligenz als Determinanten von Maßen der Problemlösungsgüte in dynamischen Systemen. Diplomarbeit, Fakultät Pädagogik, Philosophie, Psychologie; Otto-Friedrich-Universität, Bamberg.
- NEWELL, A., SHAW, J. C., & SIMON, H. A. (1960). Report on a general problem-solving program for a computer. In *Proceedings on the International Conference on Information Processing*, Paris, S. 256–264.
- NEWELL, A. & SIMON, H. A. (1976). Computer Science as empirical enquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM* 19, 113–126.
- OPWIS, K. (1992). *Kognitive Modellierung: zur Verwendung wissensbasierter Systeme in der psychologischen Theoriebildung*. Göttingen: Verlag Hans Huber.
- OWSNICKI-KLEWE, B., v. LUCK, K., & NEBEL, B. (2000). Wissensrepräsentation und Logik. In G. Görz, C.-R. Rollinger & J. Schneeberger (Hrsg.), *Handbuch der künstlichen Intelligenz* (3., vollst. überarb. Aufl.), S. 153–197. München: Oldenbourg.

- PUPPE, F., STOYAN, H., & STUDER, R. (2000). Knowledge Engineering. In G. Görz, C.-R. Rollinger & J. Schneeberger (Hrsg.), *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (3., vollst. überarb. Aufl.), S. 599–641. München: Oldenbourg.
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1981). Über die Beziehung zwischen Testintelligenz und Problemlöseerfolg. *Zeitschrift für Psychologie* 189(II.1), 79–100.
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1993). Complex Problem Solving as a Diagnostic Tool. In H. Schuler, J. Farr & M. Smith (Hrsg.), *Individual and organisational aspects of selection*, S. 289–301. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- PUTZ-OSTERLOH, W. & LÜER, G. (1981). Über die Vorhersagbarkeit komplexer Problemlöseleistungen durch Ergebnisse in einem Intelligenztest. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* XXVIII(2), 309–334.
- PUTZ-OSTERLOH, W. & SCHROIFF, M. (1987). Komplexe Verhaltensmaße zur Erfassung von Hochbegabung. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie* 8(3), 207–216.
- PYNE, S. J. (1984). *Introduction to Wildland Fire*. New York: John Wiley & Sons.
- RESCH, F. (1997). Modellierung des Feuerverhaltens mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems und BEHAVE für die Sithonia-Halbinsel in Nordgriechenland. Diplomarbeit, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Universität Freiburg.
- RIPS, L. J., SHOBEN, E. J., & SMITH, E. E. (1973). Semantic distance and the verification of semantic relations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 12, 1–20.
- ROST, J. & VENT, U. (1985). Der Einfluss zweier Arten der Wissensrepräsentation und Verhaltensrückmeldung auf die Problemlöseleistung in komplexen Situationen. präsentiert beim 27th Meeting of Experimental Psychologists, Wuppertal.
- RUMELHART, D. E. & NORMAN, D. A. (1988). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein & G. L. R. D. Luce (Hrsg.), *Steven's handbook of experimental psychology* (2. Aufl.), Band 2 aus *Learning and cognition*, S. 511–587. New York: Wiley.
- RUSSELL, S. J. & NORVIG, P. (1995). *Artificial Intelligence – A Modern Approach*. New Jersey: Prentice Hall.
- SCHAEFER, R. E. (1985). *Denken: Informationsverarbeitung, mathematische Modelle und Computersimulation*. Berlin: Springer.
- SCHAUB, H. (1996a). „Exception error“: Über Fehler und deren Ursachen beim Handeln in Unbestimmtheit und Komplexität. Entwurf, Lehrstuhl Psychologie II, Otto-Friedrich-Universität, Bamberg. <http://www.uni-bamberg.de/~ba2dp1/home.html>.
- SCHAUB, H. (1996b). Selbstorganisation in konnektionistischen und hybriden Modellen von Wahrnehmung und Handeln. Memorandum 15, Lehrstuhl für Psychologie II; Otto-Friedrich-Universität, Bamberg. <http://www.uni-bamberg.de/~ba2dp1/home.html>.

- SCHAUB, H. (1998). *Persönlichkeit und Problemlösen: Personenspezifische Faktoren beim Handeln in komplexen Situationen*. Habilitation, Otto-Friedrich-Universität, Bamberg.
- SCHAUB, H. & STROHSCHNEIDER, S. (1989). Die Rolle heuristischen Wissens beim Umgang mit einem komplexen Problem oder: Können Manager wirklich besser managen? Memorandum 71, Lehrstuhl für Psychologie II; Otto-Friedrich-Universität, Bamberg.
- SCHMID, U. & KINDSMÜLLER, M. C. (1996). *Kognitive Modellierung: Eine Einführung in logische und algorithmische Grundlagen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- SCHOTT, L. & RITTER, M. (1991). *Feuerwehr-Grundlehrgang FwDV 2/2* (7. Aufl.). Marburg: Wenzel-Verlag.
- STÄDLER, T. (1998). *Lexikon der Psychologie*. Stuttgart: Alfred Kröner Verlag.
- STEIN, H. & MÜLLER, L. R. (1974). *Organisation und Delegation in Kompetenzsystemen*. München: Wirtschaftsverlag Langen-Müller/Herbig.
- STRUBE, G., HABEL, C., KONIECZNY, L., & HEMFORTH, B. (2000). Kognition. In G. Görz, C.-R. Rollinger & J. Schneeberger (Hrsg.), *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (3., vollst. überarb. Aufl.), S. 19–72. München: Oldenbourg.
- SÜSS, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- SÜSS, H.-M. (1999). Intelligenz und komplexes Problemlösen: Perspektiven für eine Kooperation zwischen differentiell-psychometrischer und kognitionspsychologischer Forschung. *Psychologische Rundschau* 50(4), 220–228.
- THALMAIER, A. (1979). Zur kognitiven Bewältigung der optimalen Steuerung eines dynamischen Systems. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie* 26, 388–421.
- VANLEHN, K. (1993). Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition. In M. I. Posner (Hrsg.), *Foundations of cognitive science*, S. 527–579. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- VOLLMMEYER, R., BURNS, B. D., & HOLYOAK, K. J. (1996). The impact of goal on strategy use and the acquisition of problem structure. *Cognitive Science* 20, 75–100.
- VOLLMMEYER, R. & FUNKE, J. (1999). Personen- und Aufgabenmerkmale beim komplexen Problemlösen. *Psychologische Rundschau* 50(4), 213–219.
- VOLLMMEYER, R., ROLLETT, W., & RHEINBERG, F. (1997). *How emotions affect learning*, S. 796–801. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- WHELAN, R. J. (1995). *The Ecology of Fire*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge: Cambridge University Press.
- WITTMANN, W. W. & SÜSS, H.-M. (1999). Investigating the paths between working memory, intelligence, knowledge, and complex problem solving performances via Brunswik-symmetry. In *Learning and individual differences: Process, trait and content*, S. 77–108. Washington: American Psychological Association.

Literatur

WITTMANN, W. W., SÜSS, H.-M., & OBERAUER, K. (1996). Determinanten komplexen Problemlösens. Bericht 9, Lehrstuhl II Psychologie, Universität Mannheim.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Wilmar Igl, geb. am 05.02.1976 in Regensburg, dass ich die vorliegende Arbeit in allen nicht anders gekennzeichneten Teilen selbstständig verfasst habe und die verwendeten Hilfsmittel angegeben habe.

Würzburg, den 20. Mai 2002

Wilmar Igl

Teil III.

Anhang

A. Methodik

	GRUPPE 1	GRUPPE 2	GRUPPE 3	GRUPPE 4
<i>Vorbefragung</i>	Vorbefragungsbogen (FB1_VB)			
<i>Instruktion</i>	InsAllg und InsSt1			
<i>Simulation 0</i>	Steuerung 1, Szenario 0	Steuerung 1, Szenario 0	Steuerung 1, Szenario 0	Steuerung 1, Szenario 0
<i>Instruktion</i>			InsSt4	InsSt2
<i>Simulation 1</i>	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 2, Szenario 1
<i>Fragebogen</i>	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234
<i>Instruktion</i>				InsSt3
<i>Simulation 2</i>	Steuerung 1, Szenario 2	Steuerung 1, Szenario 2	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 3, Szenario 1
<i>Fragebogen</i>	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234
<i>Instruktion</i>	InsSt2			InsSt4
<i>Simulation 3</i>	Steuerung 2, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 2	Steuerung 4, Szenario 1
<i>Fragebogen</i>	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4
<i>Instruktion</i>	InsSt3	InsSt4	InsSt1	
<i>Simulation 4</i>	Steuerung 3, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 2
<i>Fragebogen</i>	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4
<i>Instruktion</i>	InsSt4			InsSt1
<i>Simulation 5</i>	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 2'	Steuerung 1, Szenario 1
<i>Fragebogen</i>	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234
<i>Instruktion</i>				
<i>Simulation 6</i>	Steuerung 4, Szenario 2'	Steuerung 4, Szenario 2'	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 2'
<i>Fragebogen</i>	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234
<i>Instruktion</i>				
<i>Simulation 7</i>	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 1, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1	Steuerung 4, Szenario 1
<i>Fragebogen</i>	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4	FB2_NB_St1234 FB2_NB_ST4
<i>Nachbefragung</i>	Delegationsfragebogen (FB3_Deli-R) Nachbefragungsbogen (FB4_NB.Ende)			

Tabelle 14: Der ausführliche Versuchsplan (mit Fragebögen).

B. Simulation

B.1. Die verwendeten Szenarios



Abbildung 26: Szenario 0: Das Aufwärmzenario



Abbildung 27: Szenario 1: Ein einfaches Szenario mit einem kleinen Dorf



Abbildung 28: Szenario 2: Ein schwieriges Szenario mit zwei großen Dörfern



Abbildung 29: Szenario 2': Eine gedrehte Version von Szenario 2 (-90 Grad)

B.2. Spezifikation der Strategietabelle

PARAMETER	MINIMAL (1-3 Brände)	KLEIN	MITTEL	GROSS	MAXIMAL (1-3 Brände)
Anzahl der brennenden Felder [Felder]		1-5	6-15	16-..	
Gesamtverzehrkraft [Intensitätspunkte]		10-300	301-600	601-...	
Breite der Feuerfront [Felder]		1-3	4-8	9-..	
Alter des Feuers [Takte]		1-3	4-10	11-..	
Entfernung für nächste FWE [Felder]		1-3	4-10	11-..	
Abstand zum nächsten Haus [Felder]		0-3	2-5	4-..	
Anzahl gefährdeter Häuser [Häuser]		1-3	4-10	11-..	
Anzahl gefährdeter Waldstücke [Waldstücke]		1-5	6-12	13-..	
von "Helikopter-Klasse" max. verwenden	0-4 Helikopter				
von "Löschauto-Klasse" max. verwenden	0-8 Löschautos				
Wieviele Feuer max. löschen?	0-12 Brände				

Tabelle 15: Die Spezifikation der Strategietabelle (Zuordnung von Wertebereichen zu den Kategorien)

C. Instruktionen

Übersicht über die verwendeten Instruktionen:

- Allgemeine Instruktion: ‚KPL_Feuer_InsAllg‘
- Instruktion für Steuerungsart 1: ‚KPL_Feuer_InsSt1‘
- Instruktion für Steuerungsart 2: ‚KPL_Feuer_InsSt2‘
- Instruktion für Steuerungsart 3: ‚KPL_Feuer_InsSt3‘
- Instruktion für Steuerungsart 4: ‚KPL_Feuer_InsSt4‘

Instruktion

Liebe Versuchsperson!

In dieser Simulation handelst Du in der Rolle eines/r **Feuerwehrkommandanten/in**, der/die ein Waldgebiet in Südeuropa vor ausbrechenden Waldbränden beschützen soll. Da es schon länger nicht mehr geregnet hat, sind die Bäume stark ausgetrocknet und die Gefahr ausbrechender Feuer ist sehr hoch.

Deine Aufgabe als Feuerwehrkommandant/in besteht aus den folgenden zwei Teilaufgaben:

1. Häuser sollen vor den Feuern geschützt werden, d.h. es sollen so wenige Häuser wie möglich verbrennen.
2. Alle ausbrechenden Feuer sollen bekämpft werden, d.h. es soll so wenig Wald wie möglich verbrennen.

Dabei ist ein Feld mit Haus 10 mal so wichtig wie ein Feld mit Wald.

Ein(e) FeuerwehrkommandantIn muss ihre Entscheidungen unter Zeitdruck treffen. Handle deshalb zügig, aber auch überlegt.

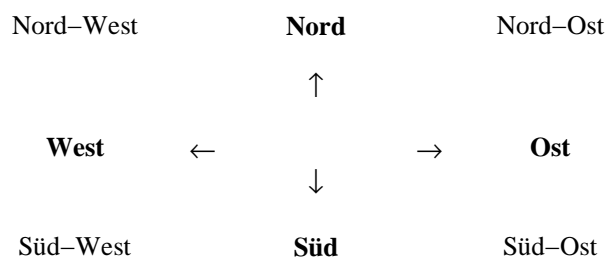
Im **Verlauf des Versuchs** wirst Du verschiedene Möglichkeiten erhalten, in das Geschehen einzugreifen. Diese Möglichkeiten werden jedoch später noch im einzelnen erklärt werden.

Zuerst folgen jedoch noch einige **grundlegende Informationen über die Simulation:**

Das **Waldgebiet**, für das Du zuständig bist, ist in Form einer Karte dargestellt und vollständig sichtbar. Diese Karte ist in einzelne Felder unterteilt, wobei durch Symbole in Form von Bäumen, Häusern, Seen oder Strassen angezeigt wird, was sich in dem jeweiligen Feld befindet. Von den genannten Objekten sind *nur Felder mit Bäumen (d.h. Wald) oder mit Häusern* brennbar und vom Feuer gefährdet. Die Einwohner wurden rechtzeitig evakuiert, d. h. es befinden sich keine Menschen mehr in den Häusern. Alle brennbaren Objekte (Wälder, Häuser) haben die gleiche Brennbarkeit und besitzen jeweils 1500 Energiepunkte, allerdings kann Feuer nur im Wald ausbrechen. Seen oder Strassen sind nicht entzündlich und werden auch nicht durch angrenzende Feuer beeinträchtigt. Ein Feld auf der Karte würde dabei in der Realität einer Fläche von 500m x 500m entsprechen.

Die **Zeit** ist in Takte von Takt 1 bis Takt 100 eingeteilt. In jedem Takt wird der aktuelle Zustand der Simulation angezeigt. Wenn Du in einem Takt Befehle gibst, werden diese erst im nächsten Takt ausgeführt, d.h. die Ergebnisse Deiner Befehle sind erst im nächsten Takt sichtbar. Zwischen den Takten werden die Auswirkungen Deiner Befehle berechnet. Ein Takt in der Simulation entspricht einer Zeitdauer von 5–10 Minuten in der Realität.

Der **Wind** ändert sich im Lauf des Geschehens hinsichtlich seiner *Stärke* und seiner *Richtung*. Die Windstärke kann dabei zwischen 0 (= Windstille) und 9 (= Orkan) schwanken und beeinflusst dementsprechend die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Feuers. Die Richtung des Windes kann 8 verschiedene Himmelsrichtungen annehmen (Nord, Süd, Ost, West, Nordost, Nordwest, Südost und Südwest) und wirkt so auf die Ausbreitungsrichtung des Feuers ein.



Das **Feuer** kann an beliebigen Stellen des Waldes, aber nicht in einem Dorf, ausbrechen. Die Intensität des Feuers nimmt dabei mit der Zeit zu, von anfangs 10 Intensitäts-Punkten bis maximal 100 Punkten. Je intensiver ein Feuer brennt, desto größeren Schaden richtet es bei dem verbrannten Waldstück oder Haus an. Wenn das Feuer ein Objekt verbrennt, werden die Intensitätspunkte des Feuers von den Energiepunkten des brennbaren Objektes abgezogen. Es kann dabei die Zustände "Schwelen", "Brennen" und "Lodern" (vgl. grafische Darstellung) annehmen, die eine zunehmende Intensität des Feuers ausdrücken. Die Ausbreitungsrichtung des Feuers ist die Richtung, in die der Wind weht, aber auch 45 Grad links und rechts von der Windrichtung. Die Ausbreitung des Feuers in seitlicher Richtung (+– 45 Grad) geschieht allerdings langsamer. Ein Feuer kann sich immer nur auf angrenzende brennbare Objekte ausbreiten.

Es stehen Dir mehrere **Feuerwehreinheiten (=FWEn)** zur Verfügung, um Deine Aufgabe zu erfüllen. Zu diesen FWEn gehören erstens Helikopter (Abkürzung: "Heli"), die Tanks mit Löschwasser mit sich führen und diese über brennenden Gebieten abwerfen können. Zweitens gibt es auch Löschautos (Abkürzung: "LA"), die ihr Löschwasser mit Hilfe von Pumpen in brennenden Gebieten auswerfen können. Die Feuerwehreinheiten werden dabei durch die brennenden Feuer nicht beschädigt, da die Helikopter hoch genug über die Flammen hinweg fliegen und die Löschautos feuerfest gebaut sind. Je mehr Löschwasser auf ein Feuer ausgeworfen wird, desto schneller verlöscht es. Als Faustregel gilt, dass 500 Liter ausgeworfenes Löschwasser (vgl. Auswurfleistung) die Intensität des Feuers um 50 Intensitätspunkte verringern.

Insgesamt beträgt die **Dauer der Simulation** 100 Takte. Die aktuelle Taktzahl (von 1–100) kannst Du der Titelleiste der Karte (siehe weiter unten) entnehmen. An der Taktzahl siehst Du auch ob ein neuer Takt beginnt.

In der folgenden **Abbildung** siehst Du nochmal alle wichtigen Elemente des Szenarios abgebildet:


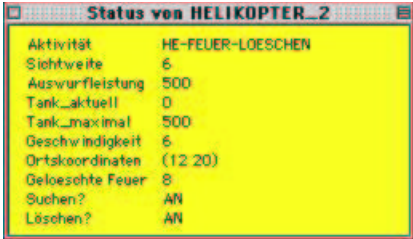

- **Häuser:** Wenn die Häuser abgebrannt sind, werden sie durch eine schwarze Ruine dargestellt.
- **Wald** (Laub, Misch- und Nadelwald):
Wenn ein Stück Wald abgebrannt ist, wird er durch einen schwarzen, verkohlten Baum dargestellt.
- **Strassen**
- **Seen**
- **Feuerwehreinheiten (FWen):** *Helikopter* (gelb) und *Löschautos* (rot).
Die FWen zeigen eine kleine blaue Wasserfontäne, wenn Sie gerade löschen.
- **Feuer:** (Zustände: schwelend > brennend > lodernd > verlöscht)
Je nachdem wie intensiv ein einzelnes Feuer brennt, sind die gelben Flammen kleiner oder größer
- **Objektanzeige** (grau): Diese erscheint wenn Du auf die Karte klickst. Dann kannst Du ein Objekt auswählen, dem Du einen Befehl geben willst oder über das Du weitere Informationen haben möchtest.



Du kannst auch verschiedene **Informationen** abfragen, mit denen Du Dich über den aktuellen Zustand der gesamten Situation oder einzelner Objekte (z.B. einer FWE, eines Hauses oder Feuers) informieren kannst. Diese Informationen werden in einem kleinen Statusfenster dargeboten, welches Du aufrufen kannst, wenn Du zweimal auf das Objekt klickst, über welches Du gerne Informationen erhalten möchtest. Informationen über die Umwelt z.B. Windrichtung und Windstärke werden in einem (grünen) Statusfenster angezeigt.

Diese *Statusfenster* sehen folgendermaßen aus:

Diesen Fenstern kannst Du verschiedene *Informationen* entnehmen...

<p>.... über die Umwelt (grün)</p> 	<p>... eine Feuerwehreinheit (FWE) (hier: ein (gelber) Helikopter)</p> 	<p>... oder ein anderes Objekt deiner Wahl z.B. ein Waldstück (braun), ein Feuer (orange) oder ein See (blau).</p> 
<p>Diesem Fenster kannst Du Infos entnehmen, die sich auf die ganze Karte beziehen z.B. ...</p> <ul style="list-style-type: none"> wieviele Feuer im Augenblick brennen . wieviele bereits gelöscht wurden. . wieviele Helikopter oder Löschautos insgesamt unter Deinem Kommando stehen. 	<p>Diese Fenster gibt Dir darüber Auskunft z.B. ...</p> <ul style="list-style-type: none"> welche Aktivität die FWE gerade ausführt ob die FWE automatisch nach einem Feuer sucht. ob die FWE automatisch ein Feuer löscht. 	<p>In diesen Fenstern steht z.B. ...</p> <ul style="list-style-type: none"> wieviel Energie ein Waldstück noch besitzt wie intensiv ein Feuer brennt.

Die **Fenster** kannst Du verschieben, wenn Du auf die Titelleiste des Fensters klickst und bei gedrückter Maustaste zu einer anderen Position ziehst. Du kannst die Fenster auch kleiner oder größer machen, indem Du auf das kleine Rechteck rechts oben in der Ecke klickst. Falls ein Fenster verdeckt worden ist, kannst Du es durch Anklicken wieder in den Vordergrund holen.

Beachte bitte, dass keine **Eingaben** möglich sind, während der Computer rechnet oder während der kurzen Unterbrechungen, die auftreten, wenn Informationen über die Simulation gespeichert werden. In diesen Fällen musst Du mit Deinen Eingaben kurz warten bzw. sie wiederholen, wenn wieder Eingaben möglich sind.

Falls Du noch **Fragen** hast, dann stelle sie bitte jetzt. Du kannst aber auch während der Simulation weitere Fragen stellen, falls Dir etwas unklar ist.

Instruktion

Liebe Versuchsperson!

In dieser Simulation handelst Du in der Rolle eines/r **Feuerwehrkommandanten/in**, der/die ein Waldgebiet in Südeuropa vor ausbrechenden Waldbränden beschützen soll. Da es schon länger nicht mehr geregnet hat, sind die Bäume stark ausgetrocknet und die Gefahr ausbrechender Feuer ist sehr hoch.

Deine Aufgabe als Feuerwehrkommandant/in besteht aus den folgenden zwei Teilaufgaben:

1. Häuser sollen vor den Feuern geschützt werden, d.h. es sollen so wenige Häuser wie möglich verbrennen.
2. Alle ausbrechenden Feuer sollen bekämpft werden, d.h. es soll so wenig Wald wie möglich verbrennen.

Dabei ist ein Feld mit Haus 10 mal so wichtig wie ein Feld mit Wald.

Ein(e) FeuerwehrkommandantIn muss ihre Entscheidungen unter Zeitdruck treffen. Handle deshalb zügig, aber auch überlegt.

Die **Feuerwehreinheiten** suchen und löschen selbständig Feuer, die jeweils in Ihrer Sichtweite sind. Auch wenn sie ein Feuer gelöscht haben und wieder auftanken müssen, geschieht das Auftanken automatisch. Die FWEn merken sich dabei das letzte Feuer, das sie gelöscht haben und kehren nach dem Auftanken wieder dahin zurück.

Du kannst aber das Geschehen beeinflussen, indem Du den einzelnen Feuerwehreinheiten Befehle gibst z.B. indem Du Ziele (einzelne Felder) angibst, die sie löschen sollen.

Beachte: Auf diese Befehle kannst Du zugreifen, indem Du zweimal auf die FWE klickst, der Du einen Befehl geben willst. Daraufhin öffnet sich ein Kommando-Fenster, in dem die Befehle aufgelistet werden. Durch Anklicken des Befehls und des "Ausführen!" Schalters wird der Befehl umgesetzt. Wenn Du z.B. "Zum-Ziel-fahren" ausführen willst, klickst du erst auf den Befehl, dann auf "Ausführen!" und nachdem das Kommando-Fenster rot geworden ist, wählst Du durch Anklicken ein Ziel auf der Karte aus.

Hier siehst Du ein solches **Kommando-Fenster** für ein Löschauto, mit den Befehlen, die Dir zur Verfügung stehen:



Hier noch einige **Erläuterungen zu den Befehlen** im einzelnen:

BEWEGEN

- “*Zum-Ziel-fliegen*” bzw. “*Zum-Ziel-Fahren*”:
Die ausgewählte FWE bewegt sich zu einem Ziel, welches von Dir ausgewählt wird. Zur Auswahl eines Ziels "klickst" Du mit dem Mauszeiger auf das entsprechende Feld auf der Karte, nachdem das Kommandofenster “rot” geworden ist.

LÖSCHEN

- “*Feuer-löschen-An*”:
Die ausgewählte FWE löscht automatisch das Feuer, welches sich auf dem gleichen Feld befindet.
- “*Feuer-löschen-Aus*”
Dieser Befehl bewirkt das Gegenteil von “Feuer-löschen-An”, d.h. Feuer werden nicht gelöscht.
- “*Alle-Helis-löschen-An*” bzw. “*Alle-LAs-löschen-An*”
Alle Helikopter bzw. alle Löschautos löschen automatisch das Feuer, welches sich auf dem gleichen Feld befindet.
- “*Alle-Helis-löschen-Aus*” bzw. “*Alle-LAs-löschen-Aus*”
Dieser Befehl bewirkt das Gegenteil von “Alle-Helis-Feuer-löschen-An” bzw. “Alle-LAs-Feuer-löschen-An”.

SUCHEN

- “*Suchen-An*”
Die ausgewählte FWE sucht automatisch das nächste Feuer, das in Sichtweite ist. Es wird aber durch diesen Befehl nicht automatisch gelöscht. Die FWE tankt auch selbstständig wieder am nächsten See auf, falls das Löschwasser verbraucht worden ist.
- “*Suchen-Aus*”
Dieser Befehl bewirkt das Gegenteil von “Suchen-An”, d.h. die FWE bewegt sich nicht mehr automatisch, sucht keine Feuer und tankt auch nicht automatisch wieder auf.
- “*Alle-Helis-suchen-An*” bzw. “*Alle-LAs-suchen-An*”
Alle Helikopter bzw. alle Löschautos suchen automatisch das nächste Feuer, das in Sichtweite ist (vgl. “Suchen-An”)
- “*Alle-Helis-suchen-Aus*” bzw. “*Alle-LAs-suchen-Aus*”
Dieser Befehl bewirkt das Gegenteil von “Alle-Helis-Feuer-suchen-An” bzw. “Alle-LAs-Feuer-suchen-An”.

Das Kommando-Fenster zeigt aber auch wichtige **Informationen** an, z.B. welche *Aktivität* die FWE gerade ausführt und an welcher *Position* sie sich befindet. In diesem Beispiel führt das Löschauto gerade die Aktivität “AUTOMATISCH-SUCHEN” aus, d.h. es sucht selbstständig nach dem nächsten Feuer. Die aktuelle Position (hier: (20 17)) gibt die Koordinaten des Fahrzeugs wieder. Beachte: Diese Koordinaten werden von links oben nach rechts unten gemessen (vgl. Beispiel):

z.B. Position (3 1)

(0 0)	(1 0)	(2 0)	(3 0)
(0 1)	(1 1)	(2 1)	(3 1)
(0 2)	(1 2)	(2 2)	(3 2)
(0 3)	(1 3)	(2 3)	(3 3)

Durch Klicken auf den ‘Info’-Schalter kannst du noch weitere Infomationen erhalten, die in einem solchen ‘Info’-Fenster angezeigt werden.



Dieses Info-Fenster enthält eine Reihe von **wichtigen Eigenschaften**, die über die Leistungsfähigkeit und das Verhalten der FWE Auskunft geben.:

	Helikopter	Löschauto
Farbe	Gelb	Rot
Sichtweite	6 Felder	4 Felder
Geschwindigkeit	6 Felder /Takt	Im Wald: 1 Feld / Takt Auf der Strasse: >>1 Feld /Takt
Auswurfleistung	500 Liter / Takt	1000 Liter / Takt
Tankleistung	500 Liter/Takt	1000 Liter/Takt
Tankkapazität	500 Liter	5000 Liter
Suchen?	AN/AUS <u>Anm.:</u> Sucht der Helikopter selbstständig das nächste Feuer bzw. sucht er den nächsten See auf zum Tanken, wenn sein Tank leer ist?	AN/AUS <u>Anm.:</u> Sucht das Loeschauto selbstständig das nächste Feuer bzw. sucht er den nächsten See auf zum Tanken, wenn sein Tank leer ist?
Löschen?	AN/AUS <u>Anm.:</u> Löscht der Helikopter ein Feuer das er gefunden hat selbstständig?	AN/AUS <u>Anm.:</u> Löscht der Helikopter ein Feuer das er gefunden hat selbstständig?

Falls Du noch **Fragen** hast, dann stelle sie bitte jetzt. Du kannst aber auch während der Simulation weitere Fragen stellen, falls Dir etwas unklar ist.

Viel Erfolg !

Instruktion

Liebe Versuchsperson!

In dieser Simulation handelst Du in der Rolle eines/r **Feuerwehrkommandanten/in**, der/die ein Waldgebiet in Südeuropa vor ausbrechenden Waldbränden beschützen soll. Da es schon länger nicht mehr geregnet hat, sind die Bäume stark ausgetrocknet und die Gefahr ausbrechender Feuer ist sehr hoch.

Deine Aufgabe als Feuerwehrkommandant/in besteht aus den folgenden zwei Teilaufgaben:

1. Häuser sollen vor den Feuern geschützt werden, d.h. es sollen so wenige Häuser wie möglich verbrennen.
2. Alle ausbrechenden Feuer sollen bekämpft werden, d.h. es soll so wenig Wald wie möglich verbrennen.

Dabei ist ein Feld mit Haus 10 mal so wichtig wie ein Feld mit Wald.

Ein(e) FeuerwehrkommandantIn muss ihre Entscheidungen unter Zeitdruck treffen. Handle deshalb zügig, aber auch überlegt.

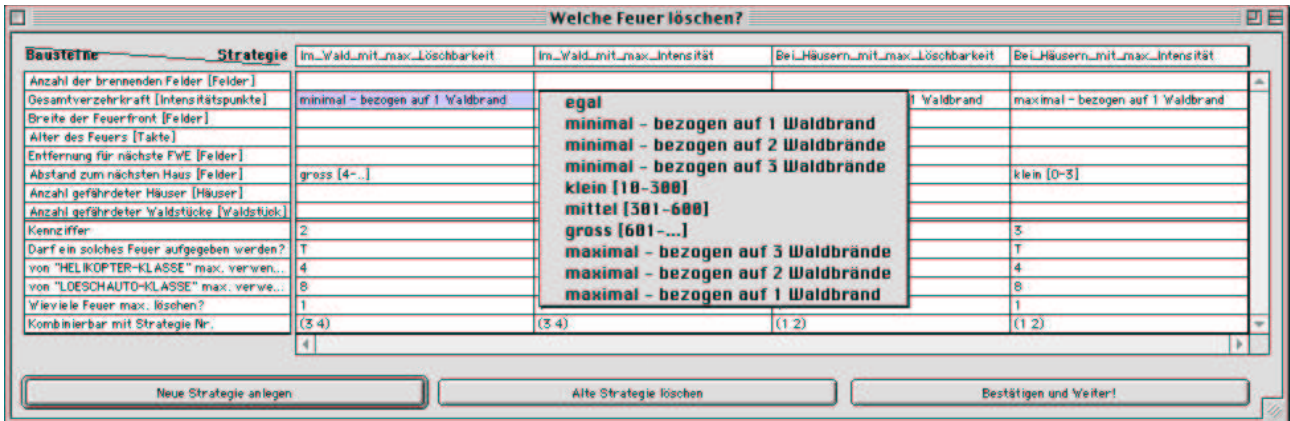
In diesem Szenario hast Du die **Möglichkeit eine Strategie auszuwählen**, nach welcher die Feuerwehreinheiten vorgehen sollen, um die oben genannten Ziele zu erreichen. Diese Strategien enthalten dabei eine **Beschreibung der Waldbrände**, die gelöscht werden sollen. Ein Waldbrand besteht dabei aus allen zusammenhängenden, d.h. benachbarten brennenden Feldern, wobei grundsätzlich jeder Waldbrand für alle Feuerwehreinheiten „sichtbar“ ist. Nachdem Du Deine Strategie ausgewählt hast, wird diese Strategie dann von allen Feuerwehreinheiten (d.h. Helikoptern und Löschautos) ausgeführt, und kann nur zu festgesetzten Zeitpunkten geändert werden: zu Beginn der Simulation und danach alle 20 Takte (Takt 0, 20, 40, 60, 80) bis zum Ende des Szenarios im Takt 100. D.h. Du musst bei der Auswahl und beim Entwerfen Deiner Strategien mindestens 20 Takte vorausplanen.

Dir stehen dabei vier verschiedene, vorgegebene **Strategien** zur Auswahl der Waldbrände zur Verfügung, die gelöscht werden sollen:

1. FEUER–BEI–HÄUSERN–MIT–MAXIMALER–LÖSCHBARKEIT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der kleinsten gesamten Feuer–Intensität, der sich in der unmittelbaren Nähe von Häusern befindet, wird gelöscht.
2. FEUER–BEI–HÄUSERN–MIT–MAXIMALER–INTENSITÄT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der größten gesamter Feuer–Intensität, der sich in der unmittelbaren Nähe von Häusern befindet, wird gelöscht.
3. FEUER–IM–WALD–MIT–MAXIMALER–LÖSCHBARKEIT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der kleinsten gesamten Feuer–Intensität, der sich nicht in der unmittelbaren Nähe von Häusern – d.h. im Wald – befindet, wird gelöscht.
4. FEUER–IM–WALD–MIT–MAXIMALER–INTENSITÄT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der größten gesamten Feuer–Intensität, der sich nicht in der unmittelbaren Nähe von Häusern – d.h. im Wald – befindet, wird gelöscht.

Die Feuerwehreinheiten löschen unabhängig von der ausgeführten Strategie alle Feuer von vorne, d.h. die **Feuerfront wird als erstes gelöscht**. Dabei werden auch alle einzelnen Aktivitäten wie z.B. "Zum–Ziel–fahren", "Feuer–löschen", "Wasser tanken" usw. selbstständig ausgeführt.

In der Tabelle "Welche Feuer löschen?" siehst Du nochmal die **Eigenschaften der Waldbrände**, die gelöscht werden sollen..



Die Strategien kannst Du mit der folgenden **Menü-Leiste** aktivieren:



Falls Du noch **Fragen** hast, dann stelle sie bitte jetzt. Du kannst aber auch während der Simulation weitere Fragen stellen, falls Dir etwas unklar ist.

Viel Erfolg!

Instruktion

Liebe Versuchsperson!

In dieser Simulation handelst Du in der Rolle eines/r **Feuerwehrkommandanten/in**, der/die ein Waldgebiet in Südeuropa vor ausbrechenden Waldbränden beschützen soll. Da es schon länger nicht mehr geregnet hat, sind die Bäume stark ausgetrocknet und die Gefahr ausbrechender Feuer ist sehr hoch.

Deine Aufgabe als Feuerwehrkommandant/in besteht aus den folgenden zwei Teilaufgaben:

1. Häuser sollen vor den Feuern geschützt werden, d.h. es sollen so wenige Häuser wie möglich verbrennen.
2. Alle ausbrechenden Feuer sollen bekämpft werden, d.h. es soll so wenig Wald wie möglich verbrennen.

Dabei ist ein Feld mit Haus 10 mal so wichtig wie ein Feld mit Wald.

Ein(e) FeuerwehrkommandantIn muss ihre Entscheidungen unter Zeitdruck treffen. Handle deshalb zügig, aber auch überlegt.

In diesem Szenario hast Du die **Möglichkeit eine Strategie auszuwählen**, nach welcher die Feuerwehreinheiten vorgehen sollen, um die oben genannten Ziele zu erreichen. Diese Strategien enthalten dabei eine **Beschreibung der Waldbrände**, die gelöscht werden sollen. Ein Waldbrand besteht dabei aus allen zusammenhängenden, d.h. benachbarten brennenden Feldern, wobei grundsätzlich jeder Waldbrand für alle Feuerwehreinheiten „sichtbar“ ist. Nachdem Du Deine Strategie ausgewählt hast, wird diese Strategie dann von allen Feuerwehreinheiten (d.h. Helikoptern und Löschautos) ausgeführt, und kann nur zu festgesetzten Zeitpunkten geändert werden: zu Beginn der Simulation und danach alle 20 Takte (Takt 0, 20, 40, 60, 80) bis zum Ende des Szenarios im Takt 100, d.h. Du musst bei der Auswahl und beim Entwerfen Deiner Strategien mindestens 20 Takte vorausplanen.

Dir stehen dabei vier verschiedene, vorgegebene **Strategien** zur Auswahl der Waldbrände zur Verfügung, die gelöscht werden sollen:

1. FEUER–BEI–HÄUSERN–MIT–MAXIMALER–LÖSCHBARKEIT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der kleinsten gesamten Feuer–Intensität, der sich in der unmittelbaren Nähe von Häusern befindet, wird gelöscht.
2. FEUER–BEI–HÄUSERN–MIT–MAXIMALER–INTENSITÄT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der größten gesamter Feuer–Intensität, der sich in der unmittelbaren Nähe von Häusern befindet, wird gelöscht.
3. FEUER–IM–WALD–MIT–MAXIMALER–LÖSCHBARKEIT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der kleinsten gesamten Feuer–Intensität, der sich nicht in der unmittelbaren Nähe von Häusern – d.h. im Wald – befindet, wird gelöscht.
4. FEUER–IM–WALD–MIT–MAXIMALER–INTENSITÄT–LÖSCHEN
Der Waldbrand mit der größten gesamten Feuer–Intensität, der sich nicht in der unmittelbaren Nähe von Häusern – d.h. im Wald – befindet, wird gelöscht.

Darüberhinaus hast Du jetzt aber auch die Möglichkeit **Misch–Strategien** einzusetzen, die sich aus den vorher genannten Strategien zusammensetzen. Es können dadurch zwei Strategien zur gleichen Zeit eingesetzt werden, wobei **jeweils die Hälfte der Helikopter bzw. die Hälfte der Löschautos**, eine der beiden Strategien ausführt.

4. FEUER-BEI-HÄUSER-MIT-MAXIMALER-LÖSCHBARKEIT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos) & FEUER-IM-WALD-MIT-MAXIMALER-INTENSITÄT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos)
5. FEUER-BEI-HÄUSER-MIT-MAXIMALER-LÖSCHBARKEIT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos) & FEUER-IM-WALD-MIT-MAXIMALER-LÖSCHBARKEIT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos)
6. FEUER-BEI-HÄUSER-MIT-MAXIMALER-INTENSITÄT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos) & FEUER-IM-WALD-MIT-MAXIMALER-LÖSCHBARKEIT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos)
7. FEUER-BEI-HÄUSER-MIT-MAXIMALER-INTENSITÄT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos) & FEUER-IM-WALD-MIT-MAXIMALER-INTENSITÄT-LÖSCHEN (2 Helikopter, 4 Löschautos)

Die Feuerweereinheiten löschen unabhängig von der ausgeführten Strategie alle Feuer von vorne, d.h. die **Feuerfront wird als erstes gelöscht**. Dabei werden auch alle einzelnen Aktivitäten wie z.B. "Zum-Ziel-fahren", "Feuer-löschen", "Wasser tanken" usw. selbstständig ausgeführt.

In der Tabelle "Welche Feuer löschen?" siehst Du nochmal die **Eigenschaften der Waldbrände**, die von Feuerweereinheiten gelöscht werden. Die Mischstrategien sind hier nicht dargestellt, aber indirekt enthalten.

Besteuernde Strategie	Im_Wald_mit_max_Löschbarkeit	Im_Wald_mit_max_Intensität	Bei_Häusern_mit_max_Löschbarkeit	Bei_Häusern_mit_max_Intensität
Anzahl der brennenden Felder [Felder]	minimal - bezogen auf 1 Waldbrand	egal	1 Waldbrand	maximal - bezogen auf 1 Waldbrand
Gesamtverzehrkraft [Intensitätspunkte]		minimal - bezogen auf 1 Waldbrand		
Breite der Feuerfront [Felder]		minimal - bezogen auf 2 Waldbrände		
Alter des Feuers [Takte]		minimal - bezogen auf 3 Waldbrände		
Entfernung für nächste FWE [Felder]		klein [10-300]		klein [0-5]
Abstand zum nächsten Haus [Felder]	gross [4-...]	mittel [301-600]		
Anzahl gefährdeter Häuser [Häuser]		gross [601-...]		5
Anzahl gefährdeter Waldstücke [Waldstück]		maximal - bezogen auf 3 Waldbrände		1
Kennziffer	2	maximal - bezogen auf 2 Waldbrände		4
Darf ein solches Feuer aufgegeben werden?	1	maximal - bezogen auf 1 Waldbrand		8
Von "HELIKOPTER-KLASSE" max. verwenden	4			1
Von "LÖSCHAUTO-KLASSE" max. verwenden	8			(1 2)
Wieviele Feuer max. löschen?	1			
Kombinierbar mit Strategie Nr.	(3 4)	(3 4)	(1 2)	(1 2)

Alle genannten Strategien kannst Du mit der folgenden **Menü-Leiste** aktivieren:



Falls Du noch **Fragen** hast, dann stelle sie bitte jetzt. Du kannst aber auch während der Simulation weitere Fragen stellen, falls Dir etwas unklar ist.

Viel Erfolg!

Instruktion

Liebe Versuchsperson!

In dieser Simulation handelst Du in der Rolle eines/r **Feuerwehrkommandanten/in**, der/die ein Waldgebiet in Südeuropa vor ausbrechenden Waldbränden beschützen soll. Da es schon länger nicht mehr geregnet hat, sind die Bäume stark ausgetrocknet und die Gefahr ausbrechender Feuer ist sehr hoch.

Deine Aufgabe als Feuerwehrkommandant/in besteht aus den folgenden zwei Teilaufgaben:

1. Häuser sollen vor den Feuern geschützt werden, d.h. es sollen so wenige Häuser wie möglich verbrennen.
2. Alle ausbrechenden Feuer sollen bekämpft werden, d.h. es soll so wenig Wald wie möglich verbrennen.

Dabei ist ein Feld mit Haus 10 mal so wichtig wie ein Feld mit Wald.

Ein(e) FeuerwehrkommandantIn muss ihre Entscheidungen unter Zeitdruck treffen. Handle deshalb zügig, aber auch überlegt.

In diesem Szenario hast Du die **Möglichkeit eine oder mehrere Strategien selber zu entwerfen**. Nach diesen Strategien werden die Feuerwehreinheiten vorgehen, um die oben genannten Ziele zu erreichen. Du kannst dabei die vorgegebenen Strategien verbessern oder auch ganz neue Strategien entwickeln. Diese Strategien enthalten erstens eine **Beschreibung der Waldbrände**, die gelöscht werden sollen. Ein Waldbrand besteht dabei aus allen zusammenhängenden, d.h. benachbarten brennenden Feldern, wobei grundsätzlich jeder Waldbrand für alle Feuerwehreinheiten „sichtbar“ ist. Zweitens enthalten die Strategien auch eine **Beschreibung der "Behandlung" der beschriebenen Waldbrände** (z. B. Wieviele Feuerwehreinheiten einsetzen? Wieviele Feuer maximal gleichzeitig löschen?). Die Strategien können dabei von Dir nur zu festgesetzten Zeitpunkten geändert werden: zu Beginn der Simulation und danach alle 20 Takte (Takt 0, 20, 40, 60, 80) bis zum Ende des Szenarios im Takt 100. D.h. Du musst bei der Auswahl und beim Entwerfen Deiner Strategien mindestens 20 Takte vorausplanen.

Du kannst die Strategien aus verschiedenen **Komponenten** zusammenstellen, die Du anhand der folgenden Tabelle eingeben kannst.

Bausteine	Strategie	Im_Wald_mit_max_Löschbarkeit	Im_Wald_mit_max_Intensität	Bei_Häusern_mit_max_Löschbarkeit	Bei_Häusern_mit_max_Intensität
Anzahl der brennenden Felder [Felder]					
Gesamtverzehrskraft [Intensitätspunkte]	minimal - bezogen auf 1 Waldbrand		egal	1 Waldbrand	maximal - bezogen auf 1 Waldbrand
Breite der Feuerfront [Felder]			minimal - bezogen auf 1 Waldbrand		
Alter des Feuers [Takte]			minimal - bezogen auf 2 Waldbrände		
Entfernung für nächste FWE [Felder]			minimal - bezogen auf 3 Waldbrände		
Abstand zum nächsten Haus [Felder]	gross [4-...]		klein [10-300]		klein [0-3]
Anzahl gefährdeter Häuser [Häuser]			mittel [301-600]		
Anzahl gefährdeter Waldstücke [Waldstück]			gross [601-...]		
Kennziffer	2		maximal - bezogen auf 3 Waldbrände	3	
Darf ein solches Feuer aufgegeben werden?	T		maximal - bezogen auf 2 Waldbrände	T	
von "HELIKOPTER-KLASSE" max. verwen...	4		maximal - bezogen auf 1 Waldbrand	4	
von "LOESCHAUTO-KLASSE" max. verwe...	8			8	
Wieviele Feuer max. löschen?	1			1	
Kombinierbar mit Strategie Nr.	(3 4)	(3 4)		(1 2)	(1 2)
	4				

Neue Strategie anlegen Alte Strategie löschen Bestätigen und Weiter!

1. Beschreibung der Waldbrände

Du kannst Eigenschaften der Waldbrände bestimmen, die gelöscht werden sollen. Dabei stehen Dir folgende Merkmale bzw. Parameter zu Verfügung:

Eigenschaft	Beschreibung
Anzahl der brennenden Felder	Wieviele einzelne brennende Feuer enthält ein Waldbrand?
Gesamtverzehrkraft	Wie hoch ist aufsummierte Intensität der Feuer eines Waldbrandes
Breite der Feuerfront	Wieviele brennbare Objekte werden durch das Feuer bedroht?
Alter des Feuers	Wie lange dauert der Waldbrand schon?
Abstand für nächste FWE	Wie weit ist die nächste FWE entfernt?
Abstand vom nächsten Haus (ohne Barriere)	Wie weit ist das nächste Haus vom Feuer entfernt?
Anzahl der gefährdeten Häuser	Wieviele Felder mit Häusern liegen in Windrichtung?
Anzahl der gefährdeten Wälder	Wieviele Felder mit Wald liegen in Windrichtung?

2. Beschreibung der "Behandlung" der Waldbrände

Du kannst auch festlegen, wie intensiv diejenigen Brände bekämpft werden sollen, die Du beschrieben hast:

Eigenschaft	Beschreibung
von "HELIKOPTER-KLASSE" max. verwenden:	Wieviele Helikopter führen die Strategie aus?
von "LOESCHAUTO-KLASSE2 max. verwenden:	Wieviele Löschautos führen die Strategie aus?
Wieviele Feuer maximal löschen?	Auf wieviele Feuer sollen sich die angegebenen FWEn verteilen? <i>Anm.:</i> Wenn Du hier "0" eingibst wird die Strategie nicht ausgeführt!

Beachte: Die Zeilen "Kennziffer", "Kombinierbar mit Strategie Nr." und „Darf ein solches Feuer aufgegeben werden?“ können von Dir nicht verändert werden.

3. Eingabe von Werten

Die **Eigenschaften der Strategie** kannst Du anhand einer Tabelle eingeben, wobei die einzelnen Werte für die jeweilige Eigenschaft durch ein Menü vorgegeben sind. Dieses Menü enthält folgende Punkte:

Werte	Beschreibung
egal (oder kein Eintrag " "):	Die Eigenschaft wird bei der Auswahl der Waldbrände nicht berücksichtigt.
minimal – bezogen auf 1 Waldbrand	Derjenige Waldbrand mit dem kleinsten Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft wird ausgewählt
minimal – bezogen auf 2 Waldbrände	Bis zu zwei Waldbrände mit den zwei kleinsten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
minimal – bezogen auf 3 Waldbrände	Bis zu drei Waldbrände mit den drei kleinsten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
klein	Beliebig viele Waldbrände mit einem kleinen Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
mittel	Beliebig viele Waldbrände mit einem mittleren Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
gross	Beliebig viele Waldbrände mit einem grossen Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
maximal – bezogen auf 3 Waldbrände	Bis zu drei Waldbrände mit den drei grössten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
maximal – bezogen auf 2 Waldbrände	Bis zu zwei Waldbrände mit den zwei grössten Werten hinsichtlich dieser Eigenschaft werden ausgewählt.
maximal –bezogen auf 1 Waldbrand	Derjenige Waldbrand mit dem grössten Wert hinsichtlich dieser Eigenschaft wird ausgewählt

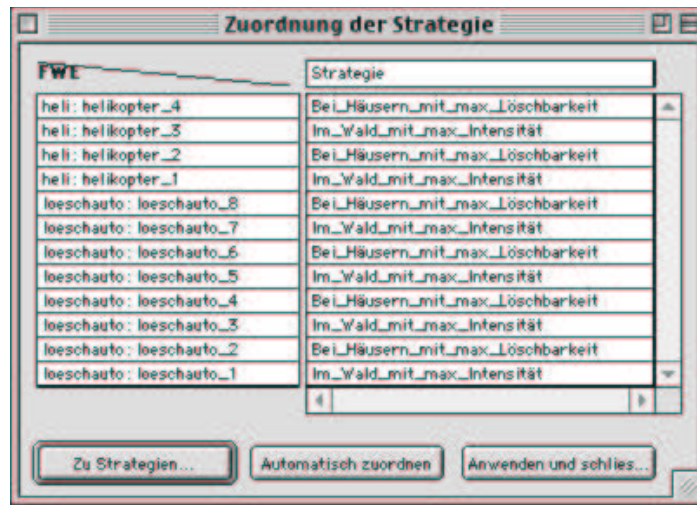
Beachte: Je mehr Merkmale Du verwendest, um einen Waldbrand zu beschreiben, desto "enger" werden die Kriterien, da der Waldbrand *Eigenschaft 1* und *Eigenschaft 2* haben muss.

Die Feuerwehreinheiten löschen unabhängig von der ausgeführten Strategie alle Feuer von vorne, d.h. die **Feuerfront wird als erstes gelöscht**. Dabei werden auch alle einzelnen Aktivitäten wie z.B. "Zum-Ziel-fahren", "Feuer-löschen" "Wasser tanken usw. selbstständig ausgeführt.

Es soll nochmal betont werden, dass mehrere Strategien gleichzeitig eingesetzt werden können und die **Art und Anzahl der Strategien von Dir weitgehend frei bestimmt** werden kann.

Die ausgewählte **Strategie kann nur zu gesetzten Zeitpunkten geändert werden:** Zu Beginn des Szenarios und danach alle 20 Takte (Takt 0, 20, 40, 60, 80) bis zum Ende des Szenarios im Takt 100. Du hast dazu maximal 5 Minuten Zeit in der Du Deine Strategie(n) verändern kannst.

Zum **Übertragen Deiner neuen Strategien** (zu den bestimmten Zeitpunkten) auf Deine Feuerwehreinheiten, klicke auf "Bestätigen und Weiter!". Wähle dann das "Strategie" => "Strategie einzeln zuordnen" und drücke auf automatisch zuordnen. Danach führen alle Feuerwehreinheiten Deine neuen Strategien aus.



Falls Du noch **Fragen** hast, dann stelle sie bitte jetzt. Du kannst aber auch während der Simulation weitere Fragen stellen, falls Dir etwas unklar ist.

Viel Erfolg!

D. Fragebögen

Übersicht über die verwendeten Fragebögen:

- Vorbefragungsbogen: ‚KPL_Feuer_FB1_VB‘
- Allgemeiner Nachbefragungsbogen: ‚KPL_Feuer_FB2_NB_St1234‘
- Spezieller Nachbefragungsbogen: ‚KPL_Feuer_FB2_NB_ST4‘
- Delegationsfragebogen: ‚FB3_DELI-R‘
- Nachbefragungsbogen der Untersuchung: ‚KPL_Feuer_FB4_NB_Ende‘

Fragebogen

Datenschutz	<i>Liebe Versuchsperson!</i>	Datenschutz
<p><i>Im Lauf der Untersuchung werden verschiedene Daten erhoben werden, welche aber nur in anonymisierter Form weiterverarbeitet werden, d.h. es werden keine Rückschlüsse von den Daten auf die Identität der jeweiligen Versuchsperson (abgesehen von den Versuchsleitern) möglich sein. Darüber hinaus werden von der Versuchsleitung bzw. allen anderen an der Versuchsdurchführung beteiligten Personen die Bestimmungen des Datenschutzes eingehalten. Aus diesem Grunde und im Hinblick auf den Erfolg der Untersuchung möchte ich Dich bitten, die <u>Fragen und Aufgaben entsprechend den gegebenen Anweisungen der wahrheitsgemaess zu beantworten bzw. entsprechend den eigenen Fähigkeiten zu bearbeiten!</u></i></p>		
<p><i>Vielen Dank für Deine Teilnahme,</i></p>		
<p><i>Wilmar Igl (Versuchsleitung)</i></p>		<p><i>Würzburg, den 01. Oktober 2001</i></p>

Vp-Code:	Datum:
Geschlecht (m/w):	Uhrzeit:
Studienfach(Semesterzahl)/Beruf:	Geburtsdatum:
Versuchsleiter(in)/Aufsicht:	Gruppe:

Kreuze bitte die zutreffenden Antworten mit einem Kreuz (X) an! Entscheide Dich dabei für die Lösung die am ehesten zutrifft! Zwischenantworten (z.B. 2-3) sind dabei nicht möglich!

1. Hast Du schon mal an einer Untersuchung im Bereich "Problemlösen am Computer" teilgenommen?

<input type="radio"/> Nein	<input type="radio"/> Ja
----------------------------	--------------------------

Wenn Ja, ... -Wann hast Du an dem Versuch teilgenommen? _____

-Was wurde untersucht bzw. was musstest Du tun?

Vorerfahrung mit Computern

2. Wie würdest Du Deine Erfahrung im Umgang mit Computern einschätzen?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

3. Mit welchen Computern bzw. Betriebssystemen hast Du schon mal gearbeitet ?

Windows-PCs Linux/Unix Apple Macintosh andere Systeme

4. Wieviel Übung hast Du im Umgang mit einer Computermaus?

1	2	3	4	5
sehr wenig	wenig	durchschnittlich	viel	sehr viel

4.1 Wie groß sind Deine Erfahrungen im Umgang mit Computerspielen?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

4.2 Falls Erfahrungen im Umgang mit Computerspielen vorhanden sind: Welches Spiel spielst Du am häufigsten?

Vorwissen bzgl. des Szenarios

5. Wie groß schätzt Du Deine Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Feuerbekämpfung im Allgemeinen ein?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

6. Falls Du bei der Frage 5.) angegeben hast, dass Du überdurchschnittliche (d.h. "4" oder "5") Vorkenntnisse bei der Feuerbekämpfung hast, dann schildere mit einigen Stichworten, welcher Art diese Vorkenntnisse sind (z. B. 5 Jahre Erfahrung bei der örtlichen Feuerwehr).

7. Hast du schon mal bei der Feuerwehr oder anderen ähnlichen Organisationen z. B. dem Katastrophenschutz, dem Technischen Hilfswerk gearbeitet?

Nein

Ja Wenn ja, welche Organisation? _____

Vielen Dank!

Fragebogen

Vp-Code:	Datum:
Beginn:	Ende:
Bedingung:	
Modell:	Welt:

Kreuze bitte die zutreffenden Antworten mit einem Kreuz (X) an! Entscheide Dich dabei für die Lösung die am ehesten zutrifft! Zwischenantworten (z.B. 2-3) sind dabei nicht möglich!

1. Wie schwierig war für Dich die Umsetzung der Ziele ?

- Insgesamt:

1	2	3	4	5
sehr leicht	leicht	durchschnittlich	schwierig	sehr schwierig

- Ziel 1: Häuser schützen

1	2	3	4	5
sehr leicht	leicht	durchschnittlich	schwierig	sehr schwierig

- Ziel 2: alle Feuer löschen

1	2	3	4	5
sehr leicht	leicht	durchschnittlich	schwierig	sehr schwierig

2. Wie schwierig war die Bedienung der Steuerung?

1	2	3	4	5
sehr leicht	leicht	durchschnittlich	schwierig	sehr schwierig

3. Worin lagen die Schwierigkeiten während der Simulation?

3. Wie schätzt Du Deine eigene Leistung ein ?

1	2	3	4	5
sehr schlecht	schlecht	durchschnittlich	Gut	sehr gut

4. Wie gut konntest Du Dich während der letzten Simulation konzentrieren?

1	2	3	4	5
sehr schlecht	schlecht	durchschnittlich	gut	sehr gut

5. Wie oft hast Du dieses Waldbrandszenario bzw. diese Karte schon bearbeitet (einschließlich der letzten Simulation)? _____

5. Beschreibe die Art und Weise, wie Du versucht hast, Deine Ziel erreichen und warum Du so vorgegangen bist:

5.1 a) Welche Strategie(n) hast Du eingesetzt?

b) Warum hast Du diese Strategien eingesetzt?

5.2 a) Welche Eigenschaften hatten gefährliche Feuer?

b) Warum waren diese Feuer gefährlich?

5.3 a) Welche Eigenschaften hatten ungefährliche Feuer?

b) Warum waren diese Feuer ungefährlich?

5.4 a) Welche Eigenschaften hatten Feuer, die Du zu löschen versucht hast?

b) Warum hast Du diese Feuer zu löschen versucht?

5.5 a) Wie hast Du Dein Verhalten im Vergleich zu vorherigen Simulation (falls vorhanden) geändert?

b) Warum hast Du Dein Verhalten geändert?

4. Sonstige Anmerkungen:

Fragebogen

Vp-Code:	Datum:
Beginn:	Ende:
Bedingung:	
Modell:	Welt:

Kreuze bitte bei vorgegebenen Antworten die zutreffende Möglichkeit mit einem Kreuz (X) an! Entscheide Dich dabei für die Lösung die am ehesten zutrifft! Zwischenantworten (z.B. 2-3) sind dabei nicht möglich!

1. Wie gut konntest Du Strategien, die Du ausführen wolltest, mit Hilfe der Strategietabelle eingeben?

1	2	3	4	5
sehr schlecht	schlecht	durchschnittlich	gut	sehr gut

2. Wo lagen die Schwierigkeiten bei der Eingabe der Strategien mit Hilfe der Strategietabelle

3. In welchem Maße entsprach(en) die Strategie(n), die in der Simulation eingesetzt wurden (gegebenfalls auch mit Hilfe des Versuchsleiters) , den Strategien, die Du einsetzen wolltest.

1	2	3	4	5
sehr schlecht	schlecht	durchschnittlich	gut	sehr gut

4. Du hast in der letzten Simulation eine oder mehrere Strategien angewendet, die Du anhand der folgenden Tabelle verändert oder auch neu entworfen hast. Trage die einzelnen Strategien mit ihren Eigenschaften und Werten hier in entsprechenden Tabelle ein (pro Tabelle eine Strategie) und begründe, warum Du für welche Eigenschaft welchen Wert eingetragen hast.

4.1 Strategie 1

a) Beschreibung der Strategie

Du kannst für die Werte der Eigenschaften, die Werte aus der Strategietabelle benutzen (z.B. klein, gross, minimal,...). Bei Eigenschaften jedoch, die für die jeweilige Strategie ohne Bedeutung sind, trage einen Strich "-" (= egal) ein!

Strategiename:		
Beschreibung der zu löschenden Waldbrände		
Eigenschaft	Wert	Begründung
Anzahl der brennenden Felder		
Gesamtverzehrkraft		
Breite der Feuerfront		
Alter des Feuers		
Entfernung für nächste FWE		
Abstand zum nächsten Haus		
Anzahl gefährdeter Häuser		
Anzahl gefährdeter Waldstücke		
Behandlung der Feuer		
Von Helikopter-Klasse maximal verwenden [1-4]		
Von "Löschauto-Klasse" maximal verwenden [1-8]		
Wieviele Feuer maximal löschen?		

b) Beurteilung der Strategie

Mit der gerade beschriebenen Strategie werden Waldbrände mit bestimmten Eigenschaften erfasst.

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn nicht "behandelt" wird?

1 2 3 4 5
 sehr gering gering durchschnittlich groß sehr groß

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn "behandelt" wird?

1 2 3 4 5
sehr gering gering durchschnittlich groß sehr groß

Wie schätzt Du die gesamte Effektivität dieser Strategie ein?

1 2 3 4 5
sehr gering gering Durchschnittlich groß sehr groß

4.2 Strategie 2

a) Beschreibung der Strategie

Du kannst für die Werte der Eigenschaften, die Werte aus der Strategietabelle benutzen (z.B. klein, gross, minimal,...). Bei Eigenschaften jedoch, die für die jeweilige Strategie ohne Bedeutung sind, trage einen Strich "-" (= egal) ein!

Strategiename:		
Beschreibung der zu löschenden Waldbrände		
Eigenschaft	Wert	Begründung
Anzahl der brennenden Felder		
Gesamtverzehrkraft		
Breite der Feuerfront		
Alter des Feuers		
Entfernung für nächste FWE		
Abstand zum nächsten Haus		
Anzahl gefährdeter Häuser		
Anzahl gefährdeter Waldstücke		
Behandlung der Feuer		
Von Helikopter-Klasse maximal verwenden [1-4]		
Von "Löschauto-Klasse" maximal verwenden [1-8]		
Wieviele Feuer maximal löschen?		

b) Beurteilung der Strategie

Mit der gerade beschriebenen Strategie werden Waldbrände mit bestimmten Eigenschaften erfasst.

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn nicht "behandelt" wird?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn "behandelt" wird?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

Wie schätzt Du die gesamte Effektivität dieser Strategie ein?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

4.3 Strategie 3

a) Beschreibung der Strategie

Du kannst für die Werte der Eigenschaften, die Werte aus der Strategietabelle benutzen (z.B. klein, gross, minimal,...). Bei Eigenschaften jedoch, die für die jeweilige Strategie ohne Bedeutung sind, trage einen Strich "-" (= egal) ein!

Strategienname:		
Beschreibung der zu löschenden Waldbrände		
Eigenschaft	Wert	Begründung
Anzahl der brennenden Felder		
Gesamtverzehrkraft		
Breite der Feuerfront		
Alter des Feuers		
Entfernung für nächste FWE		
Abstand zum nächsten Haus		
Anzahl gefährdeter Häuser		
Anzahl gefährdeter Waldstücke		
Behandlung der Feuer		
Von Helikopter-Klasse maximal verwenden [1-4]		
Von "Löschauto-Klasse" maximal verwenden [1-8]		
Wieviele Feuer maximal löschen?		

b) Beurteilung der Strategie

Mit der gerade beschriebenen Strategie werden Waldbrände mit bestimmten Eigenschaften erfasst.

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn nicht "behandelt" wird?

1 2 3 4 5
 sehr gering gering durchschnittlich groß sehr groß

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn "behandelt" wird?

1 2 3 4 5
 sehr gering gering durchschnittlich groß sehr groß

Wie schätzt Du die gesamte Effektivität dieser Strategie ein?

1 2 3 4 5
 sehr gering gering durchschnittlich groß sehr groß

4.4 Strategie 4

a) Beschreibung der Strategie

Du kannst für die Werte der Eigenschaften, die Werte aus der Strategietabelle benutzen (z.B. klein, gross, minimal,...). Bei Eigenschaften jedoch, die für die jeweilige Strategie ohne Bedeutung sind, trage einen Strich "-" (= egal) ein!

Strategiename:		
Beschreibung der zu löschenden Waldbrände		
Eigenschaft	Wert	Begründung
Anzahl der brennenden Felder		
Gesamtverzehrkraft		
Breite der Feuerfront		
Alter des Feuers		
Entfernung für nächste FWE		
Abstand zum nächsten Haus		
Anzahl gefährdeter Häuser		
Anzahl gefährdeter Waldstücke		
Behandlung der Feuer		
Von Helikopter-Klasse maximal verwenden [1-4]		
Von "Löschauto-Klasse" maximal verwenden [1-8]		
Wieviele Feuer maximal löschen?		

b) Beurteilung der Strategie

Mit der gerade beschriebenen Strategie werden Waldbrände mit bestimmten Eigenschaften erfasst.

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn nicht "behandelt" wird?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn "behandelt" wird?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

Wie schätzt Du die gesamte Effektivität dieser Strategie ein?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

4.5 Strategie 5

a) Beschreibung der Strategie

Du kannst für die Werte der Eigenschaften, die Werte aus der Strategietabelle benutzen (z.B. klein, gross, minimal,...). Bei Eigenschaften jedoch, die für die jeweilige Strategie ohne Bedeutung sind, trage einen Strich "-" (= egal) ein!

Strategienname:		
Beschreibung der zu löschenden Waldbrände		
Eigenschaft	Wert	Begründung
Anzahl der brennenden Felder		
Gesamtverzehrkraft		
Breite der Feuerfront		
Alter des Feuers		
Entfernung für nächste FWE		
Abstand zum nächsten Haus		
Anzahl gefährdeter Häuser		
Anzahl gefährdeter Waldstücke		
Behandlung der Feuer		
Von Helikopter-Klasse maximal verwenden [1-4]		
Von "Löschauto-Klasse" maximal verwenden [1-8]		
Wieviele Feuer maximal löschen?		

b) Beurteilung der Strategie

Mit der gerade beschriebenen Strategie werden Waldbrände mit bestimmten Eigenschaften erfasst.

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn nicht "behandelt" wird?

1 2 3 4 5
 sehr gering gering durchschnittlich groß sehr groß

Wie schätzt Du die Gefährlichkeit eines solchen Waldbrandes ein, falls er von den FWEn "behandelt" wird?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

Wie schätzt Du die gesamte Effektivität dieser Strategie ein?

1	2	3	4	5
sehr gering	gering	durchschnittlich	groß	sehr groß

5. Anmerkungen

Delegationsfragebogen

Kennung:	
Nachname:	Datum:
Vorname:	Geburtstag:
Geschlecht (m/w)	Geburtsort:
Beruf/Studium/Schule:	

Anweisung

Im vorliegenden Fragebogen werden verschiedene Aussagen gemacht, die in Form von Ich–Aussagen (z.B. "Ich mache am liebsten alles selber.") beschreiben, welche Einstellungen und Verhaltensweisen eine Person zeigen kann, die sich in verschiedenen Situationen befindet. Diese **Situationen** zeichnen sich dadurch aus, dass sie **Entscheidungen erfordern, durch die (Arbeits–) Aufträge anderen Personen zugewiesen werden**. Ihre Aufgabe ist es zu beurteilen, in welchem Maße diese Aussagen auf Sie selber zutreffen bzw. nicht zutreffen. Sie haben dabei die Möglichkeit mit einem Kreuz (x) auf einer Skala von (1) bis (6) zu kennzeichnen, inwieweit diese Aussagen für ihre Person gelten. Bewerten Sie die Aussagen *zügig aber auch sorgfältig*. Jeder Kennziffer (1–6) ist eine Aussage zugeordnet, die Sie folgender Tabelle entnehmen können.

<i>Skala</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Aussage	Diese Aussage trifft <u>in keiner Weise</u> zu	Diese Aussage trifft <u>kaum</u> zu.	Diese Aussage trifft <u>eher nicht</u> zu .	Diese Aussage trifft <u>eher</u> zu.	Diese Aussage trifft <u>ziemlich</u> zu.	Diese Aussage trifft <u>sehr</u> zu.
	<i>und/oder</i>	<i>und/oder</i>	<i>und/oder</i>	<i>und/oder</i>	<i>und/oder</i>	<i>und/oder</i>
	Diese Aussage trifft <u>nie</u> zu.	Diese Aussage trifft <u>selten</u> zu.	Diese Aussage trifft <u>gelegentlich</u> zu	Diese Aussage trifft <u>öfters</u> zu.	Diese Aussage trifft <u>oft</u> zu.	Diese Aussage trifft <u>immer</u> zu.

Geben Sie bitte eine oder mehrerer Situationen an, auf welche Sie die folgenden Aussagen beziehen wollen:

<i>Situation</i>	<i>Beteiligte Personen*</i> <i>Ich > Die Anderen</i>	<i>Bitte ankreuzen!</i>	<i>Reihenfolge**</i> <i>(optional)</i>
Allgemein	Auftraggeber(r) > Ausführende(r)		
Arbeit/Beruf	Chef > Untergebene		
Familie	Elternteil > Kind		
Sport	Trainer > Spieler		

*Der Pfeil ">" soll die Richtung signalisieren, in der Aufträge vergeben werden.

** Die Reihenfolge bitte in Zahlen eingeben. (1,2,3,4...), wobei Zahlen auch doppelt vergeben werden dürfen.

In den folgenden Aussagen sollen Sie Ihre Person anstelle von "ich" einsetzen bzw. an die Stelle von "die Anderen", die Personen, denen Sie in den eben genannten Situationen Aufträge erteilen bzw. erteilt haben..

1) Ich bin im allgemeinen mit den Ergebnissen der Anderen zufrieden.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

2) Fehlender Erfolg der Anderen ist durch ungünstige, nicht vorhersehbare Umstände bedingt.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

3) Ich denke, dass meine Erwartungen unrealistisch sind..

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

4) Ich denke, dass ich die Fähigkeiten der Anderen einschätzen kann.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

5) Die Anderen sind meistens zu dumm, um irgend etwas anständig zu machen.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

6) Die Anweisungen, die ich Anderen gebe sind genau.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

7) Die Kompetenz der Anderen, ist tatsächlich so groß wie sie einem mitteilen..

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/eher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/eher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

8) Die Anweisungen, die ich gebe, sind ausreichend, um den Auftrag erfolgreich auszuführen.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/eher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/eher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

9) Die Anderen sind meistens zu doof, um zu kapieren, was ich meine.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/eher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/eher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

10) Ich denke, dass ich die jeweilige Situation gut beurteilen kann.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/eher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/eher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

11) Es gelingt mir nicht mich so auszudrücken, dass die Anderen verstehen was ich meine.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/eher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/eher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

12) Ich erhalte oft unnötige Rückfragen.

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/eher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/eher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

13) *Meine Erwartungen sind realistisch.*

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

14) *Die Anderen wissen, in welchen Situationen sie nachfragen sollen und wann nicht.*

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

15) *Die Anderen liefern meistens schlechtere Arbeit als sie tatsächlich erbringen könnten.*

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

16) *Ich denke, dass ich kompetenter bin als die Anderen in meinem Umfeld.**
(*bezieht sich auf die jeweilige Situation)

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

17) *Die Anderen haben nicht genügend Motivation, um meine Aufträge erfolgreich auszuführen..*

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

18) *Die Anderen sind unfähig.*

1	2	3	4	5	6
Diese Aussage trifft in keiner Weise zu <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft nie zu.	Diese Aussage trifft kaum zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft selten zu.	Diese Aussage trifft etwas/cher nicht zu . <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft gelegentlich zu	Diese Aussage trifft etwas/cher zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft öfters zu.	Diese Aussage trifft ziemlich zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft oft zu.	Diese Aussage trifft sehr zu. <i>und/oder</i> Diese Aussage trifft immer zu.

Sie sind am **Ende diese Fragebogens** angelangt. Bitte überprüfen Sie noch mal, ob Sie tatsächlich die gemachten Aussagen auf die Situation(en) beziehen wollen, die sie zu Beginn angegeben haben. Falls das nicht der Fall ist, dann verändern sie bitte Liste so, wie sie es für notwendig halten.

Fragebogen

Vp-Code:	Datum:
Beginn:	Ende:
Bedingung:	
Modell:	Welt:

Kreuze bitte bei vorgegebenen Antworten die zutreffende Möglichkeit mit einem Kreuz (X) an! Entscheide Dich dabei für die Lösung die am ehesten zutrifft! Zwischenantworten (z.B. 2-3) sind dabei nicht möglich!

1. In diesem Versuch musstest Du Waldgebiete (bzw. Karten) vor Waldbränden schützen. Wieviele verschiedene Waldgebiete/Karten wurden in der Untersuchung verwendet (ohne das Übungsszenario) ? _____

2. a) Wie anstrengend war diese Untersuchung insgesamt für Dich?

1 2 3 4 5
 sehr wenig anstrengend wenig anstrengend durchschnittlich ziemlich anstrengend sehr anstrengend

b) Was hast Du als anstrengend empfunden?

3. a) Wieviel Spass hat Dir diese Untersuchung gemacht?

1 2 3 4 5
 sehr wenig wenig durchschnittlich ziemlich viel sehr viel

b) Was hat Dir Spass gemacht?

4. Welche Verbesserungsvorschläge, Anregungen oder Bemerkungen möchtest Du zu dieser Untersuchung machen?

Vielen Dank für die Teilnahme an dieser Untersuchung!

E. Daten

E.1. Leistungen der Vpn

Vp-Code	Sex	Gruppe	ggw(Vp) [WP]	ggw(Vp) [%]	ggw(St1) [WP]	ggw(St1) [%]	ggw(St4) [WP]	ggw(St4) [%]
ba081003	1	1	8835189	95,743	4229969	91,677	4605220	99,810
ng250508	1	1	8764167	94,974	4379490	94,917	4384677	95,030
ss311002	0	1	8294030	89,879	4168147	90,337	4125883	89,421
wb080301	0	1	8579931	92,977	4355910	94,406	4224021	91,548
ga270513	1	2	8846614	95,867	4380588	94,941	4466026	96,793
ma261016	0	2	8355363	90,544	4256350	92,249	4099013	88,839
ss110504	0	2	8777591	95,119	4227102	91,615	4550489	98,624
ss170715	1	2	8997306	97,500	4418397	95,761	4578909	99,239
ge220707	0	3	8936249	96,838	4445702	96,352	4490547	97,324
na090109	1	3	8514535	92,268	4088981	88,621	4425554	95,916
sd170406	1	3	8737550	94,685	4222105	91,506	4515445	97,864
sm310514	0	3	8743417	94,749	4339560	94,052	4403857	95,446
bj190910	1	4	8261624	89,528	4244379	91,989	4017245	87,066
jk1161112	0	4	8689469	94,164	4083413	88,500	4606056	99,828
mm100611	0	4	7522891	81,522	4177760	90,545	3345131	72,500
sc230505	1	4	8560772	92,770	4256359	92,249	4304413	93,290

Tabelle 16: Gesamtwertungen in Wertpunkten [WP] und als Prozentanteile [%] für Gesamtwertung der Vp, der Steuerungsart 1 und der Steuerungsart 4

Vp-Code	Sex	Gruppe	ggw(Sim0) [WP]	ggw(Sim1) [WP]	ggw(Sim2) [WP]	ggw(Sim3) [WP]	ggw(Sim4) [WP]	ggw(Sim5) [WP]	ggw(Sim6) [WP]	ggw(Sim7) [WP]
ba081003	1	1	2812187	1620520	2674969	1577140	1502588	1888028	2871692	1707459
ng250508	1	1	2866399	1782207	2750083	1593259	1573800	1770395	2768782	1696813
ss311002	0	1	2804956	1586933	2735714	1435872	1555520	1599512	,	,
wb080301	0	1	2866352	1736831	2773579	1579246	1506590	1705389	2673031	1726301
ga270513	1	2	2796541	1714693	2710706	1739665	1747605	1696579	2872591	1824088
ma261016	0	2	2840427	1532010	2687604	1588560	1476300	1617617	2635896	1723246
ss110504	0	2	2865144	1615705	2555958	1825305	1888377	1888561	2816612	1691907
ss170715	1	2	2818851	1633433	2700426	1871700	1447952	1888566	2844843	1738300
ge220707	0	3	2800741	1669440	1698956	2756934	1676326	2816729	1781533	1888113
na090109	1	3	2867123	1691383	1469713	2692272	1628566	2613042	,	1887782
sd170406	1	3	2814338	1465931	1887427	2782518	1731638	2644967	1717610	,
sm310514	0	3	2808375	1888323	1887366	2669471	1722881	2670773	1823287	,
bj190910	1	4	2862389	1309618	1541456	1888313	2263045	1648604	2750275	1888318
jk161112	0	4	2865640	1337884	1523690	1275105	2872384	1677163	2559149	1888172
mm100611	0	4	2801304	1553886	1556639	1393651	2085389	1826926	2499946	,
sc230505	1	4	2847071	1294037	1545019	1888343	2559055	1872860	2537224	,

Tabelle 17: Die gewichteten Gesamtwertungen für Simulationsläufe 0 bis 7 in Wertpunkten [WP]

E.2. Wissen der Vpn

Vp-Code	Sex [w=0/m=1]	Gruppe [1-4]	FFW [Ja=1/Nein=0]	Vorwiss [Rating 1-6]	MaxWiss [Genannte Items]
ba081003	1	1	0	2	13
ng250508	1	1	0	1	16
ss311002	0	1	0	1	10
wb080301	0	1	0	2	14
ga270513	1	2	0	1	13
ma261016	0	2	0	1	8
ss110504	0	2	1	5	11
ss170715	1	2	1	4	9
ge220707	0	3	0	1	14
na090109	1	3	0	1	8
sd170406	1	3	0	1	10
sm310514	0	3	0	2	12
bj190910	1	4	0	3	12
jk161112	0	4	0	1	12
mm100611	0	4	0	2	11
sc230505	1	4	1	4	13

Tabelle 18: Feuerwehrmitgliedschaft, Vorwissen und erworbenes Wissen am Ende der Untersuchung der Vpn. Die unterschiedlichen Einheiten der Maße sind zu beachten.

Diese Übersicht enthält die Kategorien mit denen das *erworbene Wissen* erfasst wurde (in Klammern steht die Häufigkeit mit der dieses Merkmale berichtet wurde in %):

1. Häuser sind wichtiger als Wald (94.6%).
2. Je kleiner der Abstand eines Feuers zum Haus ist desto gefährlicher ist es (84.8%).
3. Straßen in Windrichtung verhindern die Ausbreitung eines Feuers (78.6%).
4. Kleine Feuer müssen gelöscht werden (78.6%).
5. Brennbare Objekte, die in Windrichtung eines Feuers liegen, sind besonders gefährdet (75%).
6. Helikopter sind schneller als Löschautos (63.4%).
7. Es müssen mehrere Feuer gleichzeitig bekämpft werden (60,7%).
8. Es ist besser Feuer in der Nähe der Löschautos zu bekämpfen (59.8%).
9. Ein Kartenrand in Windrichtung verhindert die Ausbreitung eines Feuers (47.3%).
10. Ein See in der Nähe eines Feuers erleichtert das Löschen (40.2%).
11. Feuer müssen von außen nach innen gelöscht werden (39.3%).
12. Man sollte die Entwicklung der einzelnen Brände vorausplanen (38.4%).
13. Löschautos haben aber eine größere Löschkapazität als Helikopter (30.4%).
14. Je größer ein Waldbrand ist, desto mehr FWE sind notwendig, um ihn zu bekämpfen (30.4%).
15. Große Feuer sollte man nicht mehr bekämpfen (26,8%).
16. Die gesamte Löschkapazität der FWE sollte ausgeschöpft werden (21.4%).
17. Die maximale Löschkapazität der FWE ist begrenzt (15.2%).
18. Feuer an der Straße können gut mit Löschautos bekämpft werden (14.3%).
19. Feuer können schnell gefährlich werden¹ (12.5%).
20. Verbrannte Objekte in Windrichtung verhindern die Ausbreitung eines Feuers (10.7%).
21. Kleine Feuer im Wald können besser mit dem Helikopter gelöscht werden (9.8%).

¹damit ist die exponentielle Ausbreitung gemeint

E.3. Delegationsfähigkeit

Vp-Code	Gruppe	Sex	Fr1	Fr2	Fr3	Fr4	Fr5	Fr6	Fr7	Fr8	Fr9	Fr10	Fr11	Fr12	Fr13	Fr14	Fr15	Fr16	Fr17	Fr18
ba081003	1	1	4	4	3	4	2	4	4	4	2	4	4	2	4	4	2	3	2	1
ng250508	1	1	4	3	5	4	4	4	4	4	3	5	2	2	4	4	3	4	4	2
ss311002	1	0	4	3	2	4	2	3	3	3	2	4	2	3	5	3	2	3	3	2
wb080301	1	0	5	5	2	3	1	5	3	5	2	5	2	2	5	6	3	4	2	2
ga270513	2	1	3	2	2	5	2	4	3	5	2	5	5	3	5	5	3	3	2	3
ma261016	2	0	3	3	4	5	3	5	3	5	3	5	3	3	5	4	2	4	2	2
ss110504	2	0	4	4	1	5	2	5	1	4	1	5	2	2	4	5	4	4	3	1
ss170715	2	1	5	3	2	5	1	5	4	5	2	5	5	2	6	4	2	4	2	1
ge220707	3	0	3	2	4	5	2	5	3	4	2	5	3	3	3	4	3	4	3	4
na090109	3	1	4	4	3	5	2	5	4	5	1	5	2	3	5	5	3	3	3	2
sd170406	3	1	5	3	2	4	3	5	3	4	2	5	3	2	4	4	1	4	5	2
sm310514	3	0	5	3	4	5	3	5	3	5	4	5	2	2	5	4	4	4	4	2
bj190910	4	1	4	5	3	4	1	5	3	4	1	5	3	3	4	3	3	3	2	1
jk161112	4	0	5	4	2	5	1	4	3	5	2	6	2	3	5	5	3	3	3	1
mm100611	4	0	5	3	2	4	2	5	4	5	2	4	2	2	5	3	2	2	2	1
sc230505	4	1	4	2	3	4	2	3	2	4	1	4	4	3	4	4	2	3	3	1

Tabelle 19: Selbstbeurteilungen der Delegationsfähigkeit der Vpn (vgl. Delegationsfragebogen)

E.4. Gruppenunterschiede

GRUPPE	STATISTIK	GGW(VP) [%]	GGW(St1) [%]	GGW(St4) [%]	MAX. WISSEN
1	Mittelwert	93,39325	92,83440	93,95211	13,25
	N	4	4	4	4
	Standardabweichung	2,61684	2,18992	4,53815	2,50
	Median	93,97539	93,04160	93,28888	13,50
2	Mittelwert	94,75746	93,64129	95,87363	10,25
	N	4	4	4	4
	Standardabweichung	2,97997	2,01893	4,80373	2,22
	Median	95,49309	93,59491	97,70822	10,00
3	Mittelwert	94,63522	92,63301	96,63742	11,00
	N	4	4	4	4
	Standardabweichung	1,86824	3,32726	1,14277	2,58
	Median	94,71699	92,77920	96,62008	11,00
4	Mittelwert	89,49598	90,82093	88,17103	12,00
	N	4	4	4	4
	Standardabweichung	5,65940	1,71890	11,67478	,82
	Median	91,14866	91,26722	90,17835	12,00
Insgesamt	Mittelwert	93,07048	92,48241	93,65855	11,63
	N	16	16	16	16
	Standardabweichung	3,88539	2,39014	6,92699	2,25
	Median	94,42468	92,11887	95,68066	12,00

Tabelle 20: Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Gesamtwertung der Vp, der Handsteuerung (St1), der Strategieeingabe(St4) und dem erworbenen Wissen am Ende der Untersuchung (Max. Wissen) (mit Ausreißern)

F. Beiliegender Datenträger (CD-ROM)

Inhalte der beiliegenden CD-ROM:

- Das Manuskript der Diplomarbeit im PDF-Format
- Die Simulationsumgebung *SeSAM*(Dump 01-09-03)
- Die Waldbrandsimulation
- Instruktionen und Fragebögen
- Rohdaten
- Auswertungen