



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Informatik

Emotionen in der Mensch-Maschine-Interaktion
„EmoControl“ - Ein Framework zur Steuerung affektiver Systeme

Diplomarbeit
zur Erlangung des Grades eines
Diplom-Ingenieurs der Computervisualistik

vorgelegt von
Christian Graf

Abgabe 29. Dezember 2005 / Version vom 6. Februar 2006

Betreuerin:	Dr. Karina Oertel Fraunhofer-Institut Graphische Datenverarbeitung, Rostock
Erstgutachter:	Prof. Bodo Urban Fraunhofer-Institut Graphische Datenverarbeitung, Rostock
Zweitgutachter:	Dr. Knut Hartmann Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Institut für Simulation und Grafik

Graf, Christian:

EMOTIONEN IN DER MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION

EmoControl - Ein Framework zur Steuerung affektiver Systeme

Diplomarbeit

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2005.

Zusammenfassung: Diese Diplomarbeit setzt sich mit der Frage auseinander, wie ein System konzipiert und umgesetzt werden muss, um eine Endanwendung auf den emotionalen Zustand des Benutzers anzupassen. Solche adaptiven Benutzungsschnittstellen könnten potentiell vielen Computeranwendungen zu Gute kommen und für beide Seiten nützlich sein: für den Anwender durch eine erhöhte Bedienfreude und Erlebensqualität; für den Fortschritt der zu erledigenden Aufgabe durch kontinuierliches und weniger frustrierendes Arbeiten.

Ergebnis dieser Arbeit ist eine Prozessarchitektur aus Anwendung, Emotionserkennung und Steuerungseinheit, die eine Umgebung mit motivational und emotional günstigen Bedingungen für die gerade ausgeführte Beschäftigung schafft. Die Durchführung der Tätigkeit soll für den Benutzer erleichtert und in einen motivational vorteilhaften Gesamtzusammenhang gestellt werden. Durch die modulare Prozessarchitektur wird die konzeptionelle Übersicht gewahrt, die Wiederverwendung der Komponenten möglich gemacht und die systematische Konzeption neuer Anwendung erleichtert.

Abstract: This thesis focuses on the question, how a computer system has to be designed and to be implemented to control an application according to the emotional state of the user. Adaptive interfaces hold potential for numerous types of computer application and they could be advantageous for both sides of the screen: the user experiences a new quality of interaction, and the task is executed smoothly and with less frustration.

Aim of this work is to lay the foundation for a network constituting from application, emotion recognition and control unit. Through providing an emotionally beneficial environment, the user should feel eased during the execution of the task at hand. Thus his willingness, disposition, and perseverance to further engage with the task will be fostered.

Danksagung

Gewöhnlich sieht man die Diplomarbeit als Einstieg in das „richtige Leben“ - gemeinhin ist damit das Arbeitsleben gemeint. Meinen Eltern, die auf diesen Moment gewartet haben, sei an dieser Stelle dafür gedankt, dass sie mich in jeder Situation nach Kräften unterstützt haben. Dass ich nach einem einschneidenden Ereignis erfolgreich den universitären Ausbildungsweg nicht nur einschlagen, sondern auch erfolgreich beenden konnte, ist zum großen Teil ihrem aufopferungsvollen Einsatz geschuldet.

Auch andere Personen haben mich auf meinem Weg durch die Uni bis zu diesem Abschluss begleitet und waren das eine oder andere entscheidende Stück im Puzzle meines Lebens. Ihnen allen sei namenlos gedankt, auch jenen, zu denen der Kontakt abgebrochen ist, denn sie haben mich in einem wichtigen Abschnitt meines Lebensweges geprägt. Explizit nennen möchte ich dennoch einige, die mich besonders gestützt haben und denen ich dafür meinen aufrichtigen Dank aussprechen möchte: meiner Freundin Daniela für ihre bezaubernde Art; meinen besten Freunden Marc und Björn, die mich auf den Boden der Tatsachen zurückholen, wenn ich Hirngespinnsten nach sehne; und den anderen lieb gewonnenen Menschen auf der Welt, die mir immer wieder zeigen, dass Freundschaft sich nicht in Zeitaufwand oder Briefhäufigkeit misst, sondern eine Verwandtschaft im Geiste ist, die auch nach Jahren der Funkstille ein Wiedersehen zur hellen Freude macht.

Diese Diplomarbeit ist nicht vom Himmel gefallen, sondern entstand vor allem durch gute Zusammenarbeit verschiedener Kräfte. Zuallererst möchte ich Dr. Karina Oertel vom Fraunhofer Institut in Rostock nennen, die mir während der kompletten Zeit mit profundem Kenntnis, kollegialem Umgang und einem immer erfrischenden Lächeln zur Seite gestanden hat. Rigorose Unterstützung habe ich auch von Stefan Morgenstern erhalten - vielen Dank dafür an dieser Stelle. Des weiteren sei Dr. Knut Hartmann vom Institut für Simulation und Grafik der Universität Magdeburg genannt, der mich schon in meiner Studienarbeit betreut und auch meine Abschlussarbeit als Gutachter einem kritischen Blick unterzogen hat. Beide Betreuer und ich selbst haben die wissenschaftliche Qualität dieser Arbeit als ihr oberstes Ziel gesehen. Ich bin zuversichtlich, dies erreicht zu haben.

Nicht unerwähnt lassen möchte ich die gute Arbeitsatmosphäre im IGD Rostock, die eine fruchtbare Arbeit einfacher, wenn nicht überhaupt erst möglich machte. Durch die offene und nahezu hierarchielose Unternehmenskultur, durch den konstruktiven Austausch untereinander und durch viele hilfreiche Kontakte zu anderen Stätten der Forschung, Entwicklung und Produktion verhilft das IGD mit seinem besonderen Flair den Mitarbeitern und Gastwissenschaftlern zu innovativen Ideen. An diesem beispielhaften Unternehmen teilhaben zu dürfen, war eine großartige Erfahrung. Stellvertretend für alle gilt mein Dank hier Prof. Dr. Urban, Leiter des IGD Rostock. Ihm persönlich danke ich für sein konstruktive Kritik an meiner Arbeit und seiner Bereitschaft, sich als Gutachter zur Verfügung zu stellen.

Anmerkungen und Kritik zu dieser Arbeit bitte an Christian.Graf@student.uni-magdeburg.de.
Viel Spaß beim Lesen!

Rostock, 6. Februar 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	4
1.3	Grundlagen, Fragestellung und Abgrenzung	5
1.4	Aufbau der Arbeit	7
2	Theoretische Grundlagen	9
2.1	Mensch-Maschine Interaktion (MMI)	9
2.1.1	Soziologische Aspekte	9
2.1.2	Interaktion in der Informatik	10
2.1.3	Interaktionale & ökologische Aspekte	10
2.1.4	Aspekte der Gebrauchstauglichkeit	11
2.2	Emotionen in der MMI	13
2.2.1	Vielfältige Begrifflichkeit: Emotion	13
2.2.2	Emotionsmodelle für die MMI	14
2.2.3	Zusammenhang von Fühlen und Denken	18
2.2.4	Emotionen in der Interaktion	19
2.3	Adaptive Benutzungsschnittstellen	21
2.3.1	Gründe für Adaption	22
2.3.2	Ziel der Adaption	22
2.3.3	Arten der Adaption	25
2.3.4	Designprozess	25

3	Vorüberlegungen	27
3.1	Vorläuferarbeiten	27
3.1.1	Affektive Daten und ihre Nutzung	27
3.1.2	Einsatzgebiete affektiver UI	28
3.1.3	Integration des Affekts	29
3.2	Designabwägungen	30
3.2.1	Adaptionsmodell	31
3.2.2	Softwaretechnik	32
3.3	Adaptive Interaktion als Lernprozess	33
3.3.1	Induktives Lernen	34
3.3.2	Entscheidungsbäume	35
3.3.3	Neuronale Netze	37
3.3.4	Bayessche Netze	39
4	Lösungsansatz	43
4.1	Emotionsinduktion, -messung und -darstellung	43
4.1.1	Computerspiel zur Emotionsinduktion	43
4.1.2	Sensorik und Vorverarbeitung	45
4.1.3	Maschinelles Lernen	47
4.1.4	Visualisierung	48
4.1.5	Konfiguration, Synchronisation und Datentransport	49
4.2	Das „EmoControl“ Framework	49
4.2.1	Komponenten des Frameworks	50
4.2.2	Adaptionspotential der Anwendung	52
5	Implementierung	55
5.1	Schnittstellen	56
5.1.1	Anbindung EmoTetris	56
5.1.2	Datensynchronisation	56
5.1.3	Anbindung Interaktionsagent	57
5.2	Interaktionsagent	59

5.2.1	Funktionsweise	59
5.2.2	Bewertungsfunktion	59
5.2.3	Maßnahmenkatalog	62
5.2.4	Inferenzmechanismus	67
5.3	Integration der Komponenten	68
6	Diskussion	70
6.1	Emotionsmodelle	70
6.1.1	Ergänzung zum Circumplexmodell	70
6.1.2	Einsatz anderer Emotionsmodelle	71
6.2	Interaktionsagent	72
6.2.1	Andere Lernalgorithmen	72
6.2.2	Generalisierungsfähigkeit des Maßnahmenkatalogs	72
6.2.3	Adaptionsziel hinterfragt	72
6.3	Allgemeines	73
6.3.1	Anwendung der Architektur	73
6.3.2	Datenerfassung	73
6.3.3	Ethische Abwägung	74
7	Fazit	75
	Nachwort	vii
	Selbständigkeitserklärung	viii
	Abbildungsverzeichnis	xi
	Tabellenverzeichnis	xii
	Verzeichnis der Abkürzungen	xiii
	Literaturverzeichnis	xiii
	Anhang	xxix

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Zukunftsszenario

Eine hypothetische Situation: Montag morgens im Büro. Nach dem verregneten Wochenende scheint jetzt natürlich die Sonne. Die Nacht war viel zu kurz, die Stimmung ist dementsprechend am Boden. Und dann trudelt da bestimmt gleich noch der Arbeitskollege mit einer seiner unangebrachten Bemerkungen ein... Aber bevor die Laune noch weiter in den Keller rutscht, bemerkt der Computer beim Betreten des Büros die Anspannung, dämmt das grelle Licht von außen und macht im Hintergrund Musik an, um die Stimmung ein wenig abzufedern. Auch mittags nach dem Krach mit der Chefin versucht er, das Selbstbewusstsein seines Gegenübers wieder aufzubauen. Den ganzen Tag lang wird „Kollege“ Computer nicht nur zur Arbeit genutzt, sondern steuert auch die Arbeitsumgebung von Klimaanlage bis Textverarbeitung, damit der Mensch sich in dieser Umgebung wohl fühlt und seine Aufgaben möglichst zufrieden stellend erledigen kann.

Computer sind in diesem Szenario nicht einfach nur reaktive Maschinen, sondern aktiver Beteiligte, die sich darauf verstehen, den emotionalen Kontext, der eine Handlung begleitet oder sogar deren Ursache ist, zu erkennen und (pro-)aktiv einzuwirken. Dies bedeutet insbesondere, dass sie kein stupides Regelschema nach dem Aktion-Reaktions-Prinzip abarbeiten, sondern aus dem Auftreten bestimmter Merkmale auf den inneren Zustand der Person und mögliche Folgehandlungen schließen und diese möglichst positiv zu beeinflussen zu versuchen. Es bedeutet aber nicht, dass Computer in irgendeiner Art „intelligent“ oder dem Menschen, der selbst kleinste Hinweise über den emotionalen Zustand eines Gegenübers (oft unbewusst) wahrnimmt, ebenbürtig wäre. Er könnte nur flexibel und adaptiv reagieren - doch das wäre schon wesentlich mehr, als die derzeitige Computertechnologie vermag.

Relevanz und Problematik

Maschinen sollen dem Menschen nutzen, ihm Arbeit abnehmen oder Freude bereiten. Eine notwendige Bedingung dafür ist, dass der Mensch unbelastet mit Technologie umgehen kann. Dazu muss Technologie dem Menschen möglichst nahe gebracht werden und für ihn ohne Belastung bedienbar sein. *Ultima ratio* in diesem Sinne wäre es, die natürliche, soziale Interaktion, wie sie gewöhnlicherweise unter Menschen stattfindet (WikimediaFoundation a, Einträge „(Soziale) Interaktion“, „Kommunikation“), möglich zu

machen.

Vor einigen Jahren wurde klar, dass die klassische Künstliche Intelligenz (KI) zwar leistungsfähige Computerprogramme hervorbringt, jedoch zum Scheitern verurteilt ist, wenn sie die menschliche Intelligenz in allen Aspekten simulieren will. Die KI und die interdisziplinäre Variante Kognitionswissenschaft setzen in der Regel voraus, das Phänomen „Intelligenz“ unabhängig von den jeweiligen körperlichen Gegebenheiten zu betrachten, ganz im Einklang mit der von Descartes begründeten Sichtweise des Menschen als Dualismus von Körper und Geist¹. Höhere, kognitive Funktionen würden nach dieser Lesart des menschlichen Daseins höchstens durch niedere, körperliche Funktionen beeinträchtigt - das Denken sei unabhängig von den Gefühlen.

Ganz in diesem Sinne könnte man Computer als die perfekte Umsetzung der einen Seite des Descartesschen Dualismus sehen: „Denkmaschinen“, die Nullen und Einsen hin- und herschieben. Dies gilt gemeinhin als Paradebeispiel für berechenbares Handeln. Wenn Computer einmal nicht nachvollziehbar und zuverlässig funktionieren, meint der Benutzer meist schnell, er selbst habe durch Nachlässigkeit oder Bedienfehler eine Fehlfunktion verursacht. Als vom unvollkommenen Menschen geschaffene Technologie versagt Soft- oder Hardware natürlich auch. Aber niemand würde sagen: „Nun ja, dein Computer kann dich nicht leiden und will dir eins auswaschen.“ Gerade mit dieser Verlässlichkeit und Unbestechlichkeit zieht Computertechnologie in ihren Bann. Zuschauer bewundern Commander Data vom Raumschiff Enterprise, den humanoiden Roboter, weil sein Handeln stets logisch und von menschlichen Gefühlswallungen wie Angst, Gier oder Eifersucht unbeeinträchtigt ist - er behält stets einen „klaren Kopf“. Doch erstaunlicherweise leiden die Zuschauer mit dem Androiden, der ob seiner Logik eigentlich so perfekt zu sein scheint, der sich aber trotzdem verzweifelt nach einem Gefühls-Chip sehnt, um endlich wirklich menschlich zu werden. Als Menschen verstehen die Zuschauer seinen Wunsch nach mehr Gefühl und emotionaler Wärme - aus ihrem eigenen Mitgefühl heraus.

Das Beispiel deutet an, dass es offensichtlich einen Widerspruch zwischen dem menschlichen Erleben und dem Descartesschen Dualismus, der Emotionen als unnützes Beiwerk nicht weiter betrachtet, geben muss. Die Geringschätzung von Emotionen und Descartes' Postulat werden durch Forschungserkenntnisse aus der modernen Neurobiologie bezweifelt. Sie legen eine enge Kopplung von Rationalität und Emotionalität nahe. Die höchsten Geistestätigkeiten ließen sich demnach nicht vom Aufbau und der Arbeitsweise des biologischen Organismus trennen, sondern bezögen diesen explizit mit ein (vgl. Damasio 1994).

Die Existenz von Emotionen und Kognition als zwei interagierende Systeme mit gewichtiger Rolle bei der Entscheidungsfindung ist durch neurophysiologische Untersuchungen noch unterstrichen worden (LeDoux 1996). Dieser Diktion folgend geht ein Großteil der Forschungsgemeinschaft davon aus, dass Emotionen Teil eines adaptiven Mechanismus seien, der dazu dient, sowohl externes als auch internes Geschehen zu bewältigen. Sie spielen eine Hauptrolle in der Motivation und Lenkung von Handlungen. Im einfachsten Fall bewirke die Einordnung von Ereignissen in Kategorien wie „angenehm“/„unangenehm“ oder „hilfreich“/„schädlich“, dass anfangs neutrale Stimuli ei-

¹Descartes formulierte die prägnante These eines Dualismus von Körper und Geist bzw. Leib und Seele, die nebeneinander existierten, ohne sich zu beeinflussen. Indem man das Wesen des Menschen derart aus dem Naturzusammenhang riss, konnte man ihn auch außerhalb theologischer Zirkel noch als „Krone der Schöpfung“ begreifen.

ne emotionale Färbung bekommen und dementsprechend entweder verfolgt oder vermieden werden. Dies könne für das einzelne Individuum das (Über-)Leben erleichtern. Demnach scheinen Emotionen eine wesentliche, wenn nicht gar entscheidende Rolle zu spielen (LeDoux 1996; Roth 2001, vgl.).

Aber nicht nur auf der Ebene des Überlebens scheinen Emotionen für den Menschen bedeutsam zu sein. Nutzer eines Computers können dies am eigenen Leib erfahren: z.B. wenn sie ob der empfundenen Unzulänglichkeit ihres Computers das Gerät beschimpfen, sogar Tastatur oder Monitor malträtieren. Hintergrund dieser „Vermenschlichung“ der Technik ist, dass Menschen die sie umgebenden Maschinen in gewissem Rahmen genauso behandeln, als ob sie es mit anderen Menschen zu tun hätten (Reeves u. Nass 1996). Die Mensch-Maschine Interaktion (MMI) folgt damit ähnlichen Regeln wie die interpersonelle Kommunikation. Wenn der Nutzer, seine Eigenarten und seine Bedürfnisse im Mittelpunkt der Bemühungen der MMI stehen soll (sog. „Human Centered Interaction“), müssen diese Erkenntnisse beachtet werden. Dass dieses Thema durchaus Ernst zu nehmen ist und immer stärker erforscht wird, beweist u.a. auch die Tatsache, dass sich Wissenschaftler, z.B. die Gruppe um Clifford Nass und Byron Reeves am MIT, mit der Thematik „Social Responses to Communication Technologies“ (SRCT) (zu Deutsch etwa „Soziale Antworten auf Kommunikationstechnologie“) beschäftigt.

Menschen behandeln also Computer z.T. wie ihresgleichen. Weiterhin habe Experimente gezeigt, dass Effizienz und subjektives Wohlergehen beim Gebrauch von Computern, die Persönlichkeit und Emotionalität vorgeben, gesteigert werden. Deshalb ist es an der Zeit, den Maschinen und Programmen wirklich etwas „Feinfühligkeit“ mitzugeben, so dass sie tatsächlich auf menschlichen Emotionen eingehen können. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine soll verbessert werden, indem die Interaktion in einem vertrauter Stil stattfindet. Dadurch wird dem Menschen kognitive Arbeit, die sonst bei einer Anpassung auf ein gemeinsames Kommunikationsprotokoll anfiel, abgenommen und er kann mehr Energie auf die eigentliche Aufgabe verwenden.

Affektive² EDV könnte ihren Nutzen im Bereich der computer-basierten Lernsysteme (engl. *computer based learning*), bei den kreativen Künsten, in der Unterhaltungsbranche, in der Präventionsmedizin und zur medizinischen Behandlung zeigen und dort Anwendung finden (Picard 1997, S.3). Beispiele solcher affektiven Systemen sind vielfach vorstellbar:

Lernen Elektronische Tutoren, die auf die Bedürfnisse und Möglichkeiten der Lernenden eingehen und je nach kognitiver Leistung und emotionalem Zustand die Aufbereitung des Lerninhalts anpassen.

Autismusbehandlung Menschen, die meist kein ausgeprägtes Gefühlsempfinden haben und denen es schwer fällt, erlerntes Verhalten in einer Situation auf eine nur leicht abgewandelte zu transferieren, könnten durch Interaktion mit einem affektiven Trainingssystem auf kommende Situationen vorbereitet werden.

Leistungsoptimierung Der emotional sensitive Computer könnte versuchen, den Nutzer immer am optimalen Motivationspunkt zu halten, bei dem er seine maximale Leistung entfalten kann oder z.B. das subjektive Zufriedenheitsgefühl am stärksten ist.

² „affektiv“ (vgl. Scholze-Stubenrecht et al. 2005): <aus lat. affectivus: ergreifend, rührend>: gefühls-, affektbetont, durch Gefühlsäußerungen gekennzeichnet

Unterhaltungselektronik eine Anpassung der Stereo- oder Videoanlage auf den eigenen Gemütszustand könnte Stress abbauen. In kritischen Augenblicken wirkte sie unterstützend, z.B. wenn man nach einer miserablen Nacht zermüht am Arbeitsplatz erscheint und der Computer daraufhin aufmunternde Musik spielt (entsprechend dem Zukunftsszenario in Kapitel 1.1).

Diese Vielfalt zeigt, dass emotional fähige Computer offenbar in vielerlei Hinsicht einen Vorteil bieten können. Unter einem anderen Blickwinkel, der im nachfolgenden Kapitel erläutert wird, erscheint diese Thematik noch interessanter.

1.2 Zielsetzung

Die neueren Erkenntnisse über den Zusammenhang von Fühlen und Denken (Kapitel 2.2.3) will sich auch der Bereich in der Informatik, der sich mit Künstlichen Intelligenz beschäftigt, zu Nutze machen. Wenn Gefühle tatsächlich eine so große Rolle beim Menschen spielen, wie die Hirnforscher behaupten, dann liegt es nahe, diesen Kommunikationsweg auch für die Interaktion zwischen Mensch und Computer zu nutzen.

Technologie soll zu einem persönlichen Begleiter werden, die auf die Stimmung des Menschen eingeht und seine Bedürfnisse bestmöglich erfüllt. Das könnte zum Beispiel ein emotionsgesteuerter CD-Player sein, der genau die Musik spielt, die zur Stimmung des Zuhörers passt, oder Videogeräte, die ahnen, welchen Film sie gerade spielen sollen, damit der Mensch zufrieden ist. Affektive Computer, die einen Bezug zu den Emotionen des Menschen herstellen, aus diesem Wissen Informationen generieren, sie nutzen und Emotionen beeinflussen, können einen großen Fortschritt in der Mensch-Maschine Interaktion darstellen (vgl. Picard 1997). Dies ist Ziel des Forschungsgebiets „Affektive EDV“ (engl. *affective computing*³).

Neue Technologie hat ihren Nutzen darin, dem Menschen ihm Arbeit abzunehmen, ein bequemerer Umfeld zu schaffen oder auch ihn mit Spiel und Spaß seine Freizeit auskosten zu lassen. Technische Geräte werden im Rahmen von allgegenwärtiger EDV (engl. *ubiquitous computing*⁴) immer kleiner und leistungsfähiger. Inzwischen beginnt die Zukunft von unsichtbar in Kleidung integrierter Technologie („wearables“: versteckte, tragbare Elektronik). Dabei sind Sensoren, Speichermodule und Recheneinheit verbaut und verschwinden vor dem Auge des Betrachters.

Computertechnologie, die dauerhaft wie Kleidung tragen wird, stellt die ideale Plattform für affektive EDV dar, die darauf angewiesen ist, kontinuierlich Messdaten über physiologische Reaktionen des Menschens zu erheben, um auf seinen Zustand zu reagieren. Auf

³nach Picard (1997, S.3):

„Affective Computing is computing that relates to, arises from, or deliberately influences emotions“

⁴nach Weiser (1993):

„Long-term the PC and workstation will wither because computing access will be everywhere: in the walls, on wrists, and in „scrap computers“ (like scrap paper) lying about to be grabbed as needed. This is called „ubiquitous computing“, or „ubicom“. Ubiquitous computing has as its goal the enhancing computer use by making many computers available throughout the physical environment, but making them effectively invisible to the user.“

Grundlage dieser Daten und ihres zeitlichen Verlaufs können Rückschlüsse auf das emotionale Erleben gezogen werden. Mit dieser Kenntnis kann der Computer dem Menschen aufgaben-, situations- und vor allem emotionsadäquat zur Seite stehen.

Um eine Architektur zu entwerfen, die die Umsetzung der Idee der emotionssensitiven Rechnern in handhabbare Systeme erlaubt, muss der Systemdesigner viele unterschiedliche Disziplinen und Fachgebiete, u.a. Informatik (Künstliche Intelligenz, die Robotik, Datamining etc.), Psychologie (Wahrnehmung, Kognition, interpersonelle Psychologie etc.), Ergonomie und Philosophie betrachten. Sie alle sind involviert, wenn ein so komplexes Thema wie emotionale Benutzungsschnittstellen ergiebig und ausführlich betrachtet werden soll. Ein erstes Ziel dieser Arbeit ist daher, die beteiligten Disziplinen auf Empfehlungen zu durchleuchten, die sie für das Thema Affektive EDV geben können.

Bei der Betrachtung der fächerübergreifenden Thematik im Hinblick auf verwirklichte Lösungen wird festzustellen sein, dass die einzelnen Disziplinen jeweils hochspezialisierte Lösungen für ihre spezifischen Problemstellung schaffen. Nur selten wird einen integrativen Ansatz über mehrere Fachgebiete verfolgen. Es gibt zwar einige Forschungsarbeiten (siehe Kapitel 3.1), wenige für wissenschaftliche Zwecke entwickelte Prototypen und sogar kommerzielle Produkte wie den Aibo von Sony. Doch decken diese nicht den in dieser Arbeit entwickelten Ansatz einer Systemarchitektur zur adaptiven Steuerung von Anwendungsprogrammen, die auf der Messung des realen physiologischen Zustands des Nutzers basiert, ab. Zweites Ziel dieser Diplomarbeit ist demnach, eine Architektur für die Beeinflussung von Anwendungssoftware auf Grundlage des gemessenen physiologischen Zustands zu entwerfen.

1.3 Grundlagen, Fragestellung und Abgrenzung

Die fundierten Erkenntnisse zum Stellenwert der Emotionen in der Interaktion zwischen Mensch und Computer sind Grundlage dieser Arbeit. Des weiteren gründet sie in den Fortschritten, die in der Erkennung von Emotionen auf Grund von Körperreaktionen gemacht wurden (Picard 2001; Axelrod 2004). Insgesamt befindet sich die Forschung zu interaktionsbegleitenden, emotionsadaptiven Rechnern in den Anfängen; eine zufriedenstellende, allgemeine Architektur für diese Aufgabe ist noch nicht in Sicht. Dies liegt unter anderem auch daran, dass wichtige grundsätzliche Fragen noch zu klären bleiben, z.B. welches Verständnis von Emotionen zu Grunde gelegt wird. Die hohe Interdisziplinarität bei der Erforschung dieses Gebiets erfordert eine relativ breite Betrachtung unterschiedlicher und auf den ersten Blick nicht zusammenhängender Gebiete. Die passende Grenze zwischen einem Zuviel und Zuwenig der Vertiefung in einzelne Disziplinen zu finden, ist eine Herausforderung an diese Arbeit.

In den letzten Jahren hat die Forschung auf dem Gebiet der Emotionserkennung gute Fortschritte gemacht, obwohl immer noch harte Probleme zu lösen sind, z.B. die Ambivalenz bei der Interpretation physiologischer Daten. Um die Emotionen des Nutzers nicht nur zu erkennen, sondern diese Informationen auch aktiv zu nutzen, legt die Forschung langsam das Augenmerk auf die Nutzung erkannter emotionaler Zustände. Dabei spielen sehr unterschiedliche Aspekte eine Rolle:

- Fragen der Psychologie, etwa wie und wann Emotionen überhaupt entstehen, damit man diese Prozesse nachbilden kann;

- Fragen zur Benutzbarkeit adaptiver und emotional gesteuerter Anwendungen, die ganz anders als vormals benutzte Programme nicht nur auf die menschliche Eingabe reagieren;
- Fragen zur Softwaretechnik, etwa wie das Zusammenwirken einzelner Komponenten am aufgabenadäquatesten erledigt werden kann;
- Fragen zu Möglichkeiten des Schlussfolgerns mit Computern und wie zuverlässig diese Schlussfolgerungen sind; und
- Fragen zur Ethik, etwa worauf man achten sollte, wenn Menschen sehr persönliche Daten von sich Preis geben.

Diese Diplomarbeit möchte ein wenig dazu beitragen, die Idee der Nutzung von Emotionen weiterzutreiben und möchte auf einige der eben erwähnten Fragen Antworten finden. Die erste Leitfrage dieser lautet:

„Wie können die Empfehlungen und Notwendigkeiten aus einzelnen Disziplinen wie z.B. Psychologie, Informatik und Pädagogik in eine Architektur integriert werden, so dass die Integration eine Anpassung von Computeranwendungen an den emotionalen Zustand des Menschen ermöglicht?“

Diese Frage eröffnet Antworten aus potentiell vielen Forschungsfeldern eine Einflussmöglichkeit. Dahinter steht, dass kein Konzept nur für eine Anwendung gefunden werden soll. Die Erörterung ist allgemeiner angelegt und soll verhindern, dass schon in der theoretischen Überlegung Lösungen entwickelt werden, die nur schwer auf andere Probleme übertragbar sind. Es ist eine möglichst allgemeine Lösung zu entwerfen. Um jedoch den generellen Überlegungen der ersten Forschungsfrage eine reale Umsetzung anbei zustellen und die Funktionsweise der Architektur nachweisen zu können, ist die zweite Leitfrage eher praktisch orientiert:

„Wie muss eine Architektur zur emotionsbasierten Adaption spezialisiert sein, damit sie als Grundlage für ein Spiel dienen kann, das sich dem emotionalen Zustand des Menschen anpassen soll?“

Als Antwort auf die zweite Frage wird in dieser Arbeit exemplarisch ein Vertreter aus dem Bereich computerbasierte Geschicklichkeitsspiele herangezogen, der in die Architektur integriert werden soll. Dazu wird die generell vorgestellte Architektur so spezialisiert, dass die Anwendung auf die emotionalen Zustände des Spielers reagiert. Diese Implementation wird zeigen, wie eine emotionsbasierte Interaktionssteuerung mit der entworfenen Architektur möglich ist.

Abgrenzung

Picard (1997) argumentiert dahingehend, dass Maschinen selbst Emotionen zeigen können sollen, um dem menschlichen Gegenüber einen den sozialen Erwartungen entsprechenden Partner abzugeben. Dazu wäre von Nöten, dass eine solche Technik die den Emotionen inhärenten Prozesse nachbildet, quasi „Emotionen hat“ oder diese für den Menschen glaubhaft imitiert. Dieser Aspekt affektiver EDV wird in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet. Sie konzentriert sich vielmehr darauf, solide Grundlagen zu schaffen und darauf eine Architektur zur emotionsadaptiven Interaktionssteuerung zu entwerfen.

Die aus dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse insbesondere zur Frage der Integration von Wissen aus adjazenten aber bisher meist getrennt betrachteten Fachgebieten könnten für alle Bereiche der Mensch-Maschine Interaktion interessant sein. Sie zeigen möglicherweise neue Wege, wie z.B. mit Frustration und Missverständnissen, die in der Mensch-Maschine-Interaktion entstehen, umgegangen werden kann. Für Telefonauskunft und -bestellservice, die heute vielfach schon durch Maschinen erledigt werden, wäre eine solche Funktion sehr wünschenswert, um auf den Kunden angemessen zu reagieren, ein Zusammenbrechen der Kommunikation zu verhindern und den Kunden zufrieden zu stellen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich wie folgt: Nach der Einführung erschließt das Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit. Es wird die Natur der Mensch-Computer Interaktion aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchten (Kapitel 2.1), die Einbeziehung von Emotionen in die Mensch-Maschine Interaktion motivieren und eine Übersicht über Erklärungs- und Funktionstheorien von Emotionen geben (Kapitel 2.2). In den darauf folgenden Überlegungen in Kapitel 2.3 wird der Begriff der affektiven Benutzungsschnittstelle eingeführt. Danach erläutert es Grundlagen der Emotionserkennung als Voraussetzung der adaptiven Steuerung von Benutzungsschnittstellen.

Das darauf folgende Kapitel 3 stellt Überlegungen zum Entwurf einer Architektur zur Verbindung von Informationen um den emotionalen Zustand eines Person und der ihr dargebotenen Benutzungsschnittstelle vor. Es erläutert Vorläuferarbeiten zum Thema der Nutzung affektiver Daten und gibt einen Einblick in Systemarchitekturen, die explizit den Affekt in ihrem Ansatz integrieren (Kapitel 3.1). Die folgenden Kapiteln 3.2 und 3.3 beschäftigen sich mit den Anforderungen an ein solches System und wie diese umgesetzt werden können.

Nach den generellen Überlegungen zu den Eigenschaften der Architektur soll in den folgenden Abschnitten gezeigt werden, wie eine solche umzusetzen ist und welche Vorteile sie bringen kann. Dazu erarbeitet die Arbeit in Kapitel 4 einen Lösungsansatz, der, geleitet durch die Überlegungen im vorherigen Kapitel, die motivierte Architektur konkretisiert. Dazu werden praktischen Grundlagen vorgestellt, insbesondere wird eine Beispielanwendung definiert (Kapitel 4.1). Weiterhin wird erläutert, welche Möglichkeit gefunden wurde, eine den Anforderungen entsprechende Zusammenarbeit zwischen Komponenten sicherzustellen (Kapitel 4.1.5). Schließlich wird die exemplarische Umsetzung der Architektur in ihrer Gesamtheit vorgestellt, wie die einzelnen Komponenten dieser Lösung den Anforderungen gemäß zusammenarbeiten und welche konkreten Adaptionsmöglichkeiten bei der vorher aufgezeigten Anwendung auf den Gemütszustand des Nutzers bestehen (Kapitel 4.2). Die in Kapitel 3.3 potentiell aufgezeigten Möglichkeiten der Adaption werden in diesem Teil der Arbeit auf die für das Szenario relevanten herunter gebrochen und ihre Auswahl begründet.

Das Kapitel 5 zeigt, wie die theoretisch und praktisch motivierte Planung in Softwarekomponenten umgesetzt wurde. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Implementierung der Schnittstellen zwischen den in Kapitel 3.3 aufgezeigten Komponenten gelegt.

Im vorletzten Kapitel 6 werden kritische Punkte, die bei der Bearbeitung des Themas aufgefallen sind, behandelt. Dabei werden zukünftige Forschungsfragen im Bereich der

emotionsbasierten Steuerung von Software thematisiert, die sich aus ihr ergeben. Im abschließenden Kapitel 7 zieht die Arbeit ein konstruktives Fazit.

Kapitel 2

Theoretische Grundlagen

Damit die Arbeit auf fundierten Grundlagen beruht, sollen in diesem Kapitel Theorien und Arbeiten aufgezeigt werden, die für die weiterführende Umsetzung integral oder für das Verständnis der Thematik nötig sind.

2.1 Mensch-Maschine Interaktion (MMI)

Definition „Interaktion“: „*aufeinander bezogenes Handeln zweier oder mehrerer Personen*“ bzw. die „*Wechselbeziehung zwischen Handlungspartnern*“ (Scholze-Stubenrecht et al. 2005)

2.1.1 Soziologische Aspekte

Allgemein ist Interaktion im weitesten Sinne das aufeinander Einwirken von Akteuren (von lat. „inter“: zwischen und lat. „agere“: handeln, tun); sie existiert nur für den Moment des Handelns und hat eine soziale Dimension: die wechselseitige Beeinflussung von Individuen.

Aus dem aufeinander bezogenen Verhalten von Anwesenden entsteht nach Niklas Luhmann (Luhmann 2002) ein Interaktionssystem. Voraussetzung dafür sei die wechselseitige Beobachtbarkeit. Unter dieser Bedingung könne man nicht verhindern, dass (der oder die) andere(n) das eigene Verhalten als Kommunikation verstehe. Es geschähe genau dann, wenn dem Verhalten eines Akteurs von einem Interaktionspartner eine Information abgewonnen werde. Der Partner interpretiere in die (Nicht-)Handlung des anderen eine Mitteilung hinein.

Es kommt also nicht darauf an, was der Akteur selber mitteilen möchte, sondern was der Empfänger wie versteht. Der Empfänger wird das Verhalten des Akteurs auf dem eigenen Erfahrungshorizont interpretieren und dem Akteur diese Interpretation zuschreiben. Dafür ist es unerheblich, ob der Akteur wirklich etwas tut oder nicht. Mit Paul Watzlawicks Worten gesprochen: „Man kann nicht nicht kommunizieren“ (1. Metakommunikatives Axiom aus (Beavin et al. 1967, S.53)). Damit ist soziale Interaktion eine Form der Kommunikation (WikimediaFoundation a, Eintrag „Soziale Interaktion“). Diese Interpretation von Interaktion als Kommunikation wird sich diese Arbeit zu eigen machen. Da sie sich speziell mit der Interaktion zwischen Computertechnologie und Menschen

beschäftigt, wird dieses Thema im Folgenden kurz aus verschiedenen Perspektiven erörtert.

2.1.2 Interaktion in der Informatik

In der Informatik bedeutet Interaktion generell, dass sich einzelne Akteure eines Systems gegenseitig beeinflussen (WikimediaFoundation a, Eintrag „Interaktion“). Diese autonomen Akteure können menschliche als auch nicht-menschliche Entitäten sein, die durch ihr Verhalten die Umwelt verändern. Sie werden *Autonome Agenten* genannt. Das spezielle Augenmerk der Informatik liegt auf künstlichen Agenten, in dieser Arbeit insbesondere auf Softwareagenten. Dies entspricht dem Verständnis und der Taxonomie von Pfeifer u. Scheier (1999, S.25ff) (besonders für einen Einstieg in die verhaltensbasierte KI (engl. *behaviour-based AI*) zu empfehlen).

Interaktion findet also auch zwischen Mensch und Maschine statt. Daher spricht man von Mensch-Maschine Interaktion (MMI). Weil heute in nahezu jeder Maschine ein Rechner verbaut ist, der die Reaktionen des Systems regelt, wurde aus der MMI die Mensch-Computer Interaktion (MCI) (engl. *Human-Computer Interaction* (HCI)). Dabei wird der Begriff der Interaktion im Allgemeinen mit Kommunikation gleichgesetzt (WikimediaFoundation a, Eintrag „Interaktion“).

Bei der technischen Sichtweise von Agenten werden allerdings einige interessante Aspekte der Kommunikation nicht erfasst, vor allem was die emotionale und soziale Dimension angeht.

2.1.3 Interaktionale & ökologische Aspekte

Reeves u. Nass (1996) konnten in mehreren Studien zeigen, dass die Mensch-Computer Interaktion den gleichen Prinzipien wie die Mensch-Mensch Interaktion folgt. Nutzer gingen demnach mit Medien und technischen Systeme tendenziell so um, wie es üblich unter Menschen sei - der Computer wird wie ein sozialer Akteur behandelt. Dieses Verhalten fände selbst dann statt, wenn der Computer sehr einfach gehalten sei. Es äußert sich vor allem darin, dass die Nutzer

1. höflicher in der Bewertung der Arbeit mit ihrem Computer seien, wenn sie an ihm sitzen als wenn sie nicht mit seiner physikalischen Existenz konfrontiert sind (beispielsweise bei der Kommunikation über das Internet)
2. auf Komplimente und Lob vom Computer ansprechen, obwohl sie wussten, dass diese zufällig gestreut und somit beliebig waren
3. Computer, der eine gewisse Personalität zeigt, als angenehmer empfänden als solche ohne
4. Computer als Gruppenmitglieder ansähen und die von ihnen gelieferten Informationen als hilfreicher einschätzten als wenn er nicht zur Gruppe gehört
5. Computer „typische“ männliche oder weibliche Merkmale zusprechen, je nachdem, wie diese kommunizieren

Diese Phänomene träten auch auf, wenn die Testpersonen um den Versuchsaufbau wüssten und ihnen damit explizit bekannt sei, dass sie mit einem Computer interagieren (Reeves u. Nass 1996).

Mit dieser Erkenntnis und auf dem Hintergrund der Luhmannschen Systemtheorie (siehe Kapitel 2.1.1) folgt aus dem Watzlawickschen Postulat (siehe Kapitel 2.1.1), dass der Mensch seiner Umwelt ständig die Möglichkeit zur Kommunikation und Interaktion gibt. Im Sinne der ökologischen Psychologie nach Gibson (1979) (engl. *ecological psychology*)¹ liegt nahe, dass der menschliche Interakteur von seinem Gegenüber verstanden werden will bzw. dieses geradezu erwartet. Eine solche Erwartungskonformität in Benutzungsschnittstellen umzusetzen ist ein zentraler Bestandteil anerkannter Richtlinien für Gebrauchstauglichkeit (Nielsen 1993; Shneiderman 2005).

Das Interaktionspotential wird in der heutigen Technik nicht genügend genutzt, die Erwartungskonformität nicht befriedigt. Beim Festhalten an bisher bewährten Interaktionsstilen wie „Direkte Manipulation“² wird es ungenutzt bleiben.

2.1.4 Aspekte der Gebrauchstauglichkeit

Forschungen zur Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit (engl. *usability*) von Interaktionsmedien konzentrieren sich überwiegend auf perzeptive und kognitive Aspekte der Verarbeitung der dem Nutzer dargebotener Information. Die Erörterung motivationaler, sozialer und insbesondere emotionaler Aspekte (als Kontextfaktoren der übrigen Prozesse) tritt im Vergleich dazu eher in den Hintergrund.

Die Ausrichtung auf kognitive Prozesse tritt deutlich in der Softwareergonomie zu Tage. Die Forschung über benutzungsfreundlichen Bedienungsflächen von Softwaresystemen ist als Verbund von Informatik, Arbeitspsychologie und Kognitionspsychologie konzipiert (Maaß 1993). Emotion kommt als Stichwort in Büchern über Softwareergonomie aber dennoch gar nicht oder nur am Rande vor (siehe z.B. Herczeg 1994; Preim 1998; Shneiderman 2005). Die darin zum Ausdruck kommende Vernachlässigung emotionaler Zustände als relevante Design- und Nutzungsfaktoren überrascht schon deshalb, weil Computerhardware oder -software, die nicht zufrieden stellend funktioniert, bisweilen heftige Gefühls- bzw. Wutausbrüche der Computernutzer (engl. *computer rage*) auslösen kann (MORI 1999).

Reagiert ein System nicht wie erwartet, hindert es den Anwender darin, sein Handlungsziel zu erreichen, denn er muss seinen eigentlichen Handlungsplan aussetzen, den Fehler korrigieren und nach der Korrektur wieder den früheren Handlungsplan aufnehmen. Dies kostet nicht nur Zeit, sondern auch erhöhte kognitive Leistung. Durch eine solche Störung einer Zielhandlung tritt Frustration ein (Dollard u. Doob 1939). Sie kann eine Ursache für Aggressionen sein.

Zwar wird in der Ergonomie- und Usability-Forschung keinesfalls bezweifelt, dass - wie im erwähnten Beispiel - beim Umgang mit medialen Informationsangeboten neben kognitiven auch emotionale Zustände auftreten können, jedoch scheint allgemein eher nicht

¹Im englischen Sprachraum wird unter diesem Begriff auch die Lehre von Roger Barker (Barker 1968) gefasst, während sie im deutschen unter dem Namen „Umweltpsychologie“ firmiert (WikimediaFoundation b, Eintrag „Ecological psychology“).

²Für eine genauere Darstellung mit Hintergrundinformationen um die Entwicklung von Interaktionsstilen siehe Graf (2004, S.8ff) und die dort referenzierte Literatur.

davon ausgegangen zu werden, dass diese emotionalen Zustände für die Verarbeitung der medial dargebotenen Informationen von großer Bedeutung wären. Das heißt, Emotionen werden überwiegend als Begleiterscheinungen der bei der Verarbeitung durchlaufenen kognitiven Zustände angesehen (vgl. Abbildung 2.1).

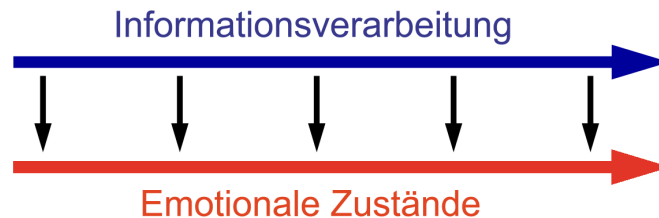


Abbildung 2.1: Emotionen als Begleiterscheinung der (kognitiven) Verarbeitung von Informationsangeboten

Einem anderen Ansatz zufolge besteht jedoch eine Wechselwirkung zwischen beiden Arten von psychischen Vorgängen (vgl. Abbildung 2.2): kognitive Zustände ziehen (auch) Wirkungen im emotionalen Bereich nach sich, und emotionale Zustände beeinflussen wiederum kognitive Prozesse.



Abbildung 2.2: Permanente Wechselwirkung zwischen kognitiver und emotionaler Verarbeitung

Beachtete man demnach im Designprozess explizit die emotionale Wirkung der Interaktion und modelliert diese in den Interaktionsprozess hinein, würden die Systeme dem Menschen möglicherweise näher gebracht werden können und die Gebrauchstauglichkeit der Technik zunehmen.

Die Einbeziehung der Empfindungen in die Interaktion findet jüngst größere Beachtung, z.B. mit dem Ziel, dass Produkte einfach Spaß machen sollen, sie zu benutzen (Norman 2004b, vgl.). Viel überzeugender wäre es allerdings, wenn Emotionen ein Teil der Interaktion wären, nicht nur ein wünschenswertes Endergebnis. Selbst wenn man davon ausgeht, dass der Benutzer keine (unbewusste) Erwartungshaltung hegt (dagegen sprechen jedoch die schon diskutierten Ergebnisse von Reeves u. Nass und die Erkenntnisse der ökologischen Psychologie), könnte man die vom Kommunikationspartner Mensch (unbewusst) angebotenen Informationen nutzen, um die Interaktion zu verbessern. Nichtsprachliche Hinweise wie Mimik, Gestik, Sprache und Körperhaltung lassen z.B. darauf schließen, ob jemand nervös, freudig, wütend etc. ist. Hat man Zugriff auf physiologische Daten, lassen sich auch daraus wertvolle Informationen gewinnen (Vyzas 1999; Polzin u. Waibel 2000) und mit ihnen Rückschlüsse auf den Gemütszustand des Probanden ziehen (Herbon et al. 2005).

Sollen nun Emotionen für die Interaktion genutzt werden, muss bekannt sein, was Emotionen eigentlich sind, wie man sie modellieren kann oder zumindest wie deren Wirkmechanismen funktionieren. Dazu ist es nötig, das Wesen und die Struktur von Emotionen zu erörtern.

2.2 Emotionen in der MMI

2.2.1 Vielfältige Begrifflichkeit: Emotion

Wissenschaftler beschäftigen sich seit circa 110 Jahren mit dem Phänomen der Emotionen. Auf der Suche nach einer eindeutigen Definition des Begriffs „Emotion“ trifft man auf mannigfaltige Begriffsbestimmungen. An dieser Stelle soll eine Einführung in die unterschiedlichen Sichtweisen zur Rolle der Emotionen in der Mensch-Mensch-Interaktion gegeben werden, soweit sie für das Verständnis dieser Arbeit nötig sind oder nötiges Hintergrundwissen einbringen.

Darwin erklärte zum ersten Mal, wie Emotionen und Reaktionen möglicherweise zusammenhängen könnten - als Überlebensmechanismus (Darwin 1872). Darauf aufbauend schrieben andere Autoren zu Beginn der Forschung Emotionen eine Funktion zu. Sie erweiterten Darwins Modell vom rein körperlichen Aspekt um die Komponente der Kognition, allerdings ohne ein Modell des Zusammenwirkens von Körper und Geist zu entwickeln (Lange 1887; James 1894).

McDougall (1908); Watson (1919); Marañon (1924); Plutchik (1984) gehen von diskreten, biologisch und psychologisch grundlegenden Emotionen bestimmter Stärke aus, die für das Überleben in der Natur notwendig seien. Weiner (Weiner 1982) verfiert erstmals in Abgrenzung diesen Modellen einen mehrdimensionalen Ansatz.

„Ich definiere eine Emotion als ein komplexes Syndrom oder einen Verbund vieler sich wechselseitig beeinflussender Faktoren. Es wird angenommen, daß Emotionen

- eine positive oder negative Qualität von
- einer bestimmten Intensität haben, daß ihnen
- häufig eine Einschätzung einer Situation vorangeht, und daß sie
- zu einer Vielzahl von Handlungen Anlaß geben.“

(Weiner 1982, S.119)

Weiner nimmt keinen Alleingeltungsgrundsatz in Anspruch und koppelt erstmals Emotionen nicht mehr zwingend mit physiologischen Phänomenen. Weiners Interpretation von Emotionen deutet mehrheitlich auf eine Sichtweise als Motivator und Instrument zur Entscheidungsfindung hin, nicht primär als direkte Überlebenshilfe in einer potentiell (lebens-)gefährlichen Umgebung. Unterstützung in der Sichtweise von Emotionen als Motivator erhält er u.a. von Mandler:

Es sei „nützlich, einen Mechanismus zu besitzen, der nicht nur automatisch auf Veränderungen in der Umgebung reagiert, sondern der den Organismus auch für angemessene Handlungen und Reaktionen vorbereitet.“ (Mandler 1992, S.106f)

Andere Autoren haben Erklärungsmuster in diesen Ansatz eingebracht, die Emotionen im speziellen Kontext des Menschen als soziales Wesen sehen. Demnach hülfe Emotionen, in einer Gemeinschaft adäquat auf die sozialen Erwartungen zu (re-)agieren:

„Emotionen sind Signale, die unsere Richtung in einer gegebenen sozialen Interaktion zu erkennen geben, das heißt, dasjenige, was wir in der vorliegenden Situation tun werden oder was wir möchten, daß die anderen tun.“
(Fridlund 1994, S.130)

Problematisch im Erkenntnisprozeß in der Erforschung von Emotionen ist dabei, dass die wahre Natur von Emotionen nur durch Hypothesen und Versuche, die die hypothesierten Ergebnisse bestenfalls erzeugen, erforscht werden können. Damit ist aber nicht zwingend gezeigt, dass die Ergebnisse auf dem durch die Theorie aufgezeigten Wirkmechanismus zustande kamen. Sie könnten auch anders entstanden sein.

Zwar kann die Natur der Emotionen nicht eindeutig bestimmt werden, aber sie spielt eine wichtige Rolle in Entscheidungsprozessen und bei der sozialen Interaktion. Da sich bis heute keine der vielfältigen Definitionen von Emotionen in der Wissenschaft als vorherrschend durchsetzen konnte, ist es nicht zwingend notwendig, auf einer speziellen Theorie aufzusetzen. Ein breites Spektrum nach dem für die jeweiligen Belange am besten geeignete Modell steht zur Verfügung. Das nächste Kapitel stellt Überlegungen dazu vor.

2.2.2 Emotionsmodelle für die MMI

Die im vorangegangenen Kapitel 2.2.1 genannten Interpretationen von Emotionen, ihrer Systematisierung und ihrer Wirkweise stammen aus den Sozial- und Geisteswissenschaften, vor allem aus der Psychologie. Bei der Anwendung solcher aus einem anderen Gebiet der Wissenschaft stammenden Modelle für informatische Fragestellungen gibt es zumeist eine gewisse Unverträglichkeit. Sie entsteht durch die Schwierigkeit, zwei Systeme - in diesem Fall die Anwendung (Informationstechnik) und das Modell (Psychologische Grundlagen) - zu verbinden, die unterschiedliche konzeptuelle Grundlagen haben (WikimediaFoundation b, Eintrag „impedance mismatch“). Die Anforderungen an ein Emotionsmodell, das als Grundlage dieser Arbeit dient, sind:

1. etablierter Stand im Fach der Psychologie
2. ausreichend feine Granularität zur Unterscheidung der Emotionen
3. möglichst einfacher konzeptioneller Transfer in digitale Systeme
4. Aussagen nicht nur zu Ausdruck, sondern auch zur Erkennung von Emotionen möglicherweise unter Einbeziehung von quantitativen Messgrößen
5. vorhandene Vergleichsimplementation(en) als Umsetzungsnachweis.

Dabei sollte eine ausgewogene Gewichtung der Anforderungen angestrebt werden, um die Implementation einerseits überhaupt möglich zu machen, andererseits aber die Ergebnisse auch im Einklang mit bestehenden theoretischen Modellen interpretieren zu

können. Nachfolgend werden drei Modelle auf ihre Tauglichkeit als Basis für die Entwicklung affektiver Benutzungsschnittstellen untersucht.

Basisemotionen nach Ekman

Die Theorie von Ekman geht von prototypischen Basisemotionen aus (Ekman 1992). Basisemotionen sind als Gefühlsausprägungen zu verstehen, die entweder bestehen oder nicht und jeweils nur einzeln auftreten. Dieser Ansatz verneint Mischungen von Emotionen und Ausprägungen in der Intensität. Eine Vielzahl von Autoren hat diese Diktion aufgenommen und dabei je nach Versuchsaufbau und Interpretation zwischen zwei und mehr als zehn Basisemotionen ausmachen können. Wut, Ekel, Angst, Freude, Traurigkeit und Überraschung sind dabei die am weitesten akzeptierten (Picard 1997, S.195ff). Zusätzlich gibt es neben Computermodellen, die das menschliche Gesicht in seinen für die Kommunikation wichtigen Details nachbilden (Waters 1987; Waters u. Levergood 1993), gültige und zuverlässige Erkenntnisse zur Darstellung aller Basisemotionen als Gesichtsausdrücke (ein Ergebnis ist z.B. die animierte Figur von Perlin (2003)). Sie können von jedem Menschen unabhängig von seinem ethnischen oder kulturellen Hintergrund erkannt und produziert werden (Ekman 1982).

Es scheinen gute Voraussetzungen für den Einsatz dieses Modells im Bereich der affektiven Benutzungsschnittstellen gegeben zu sein, weil hier die Emotionen über Gesichter einfach „sichtbar“ gemacht werden können. Leider gibt es neben dem Kriterium eines bestimmten Gesichtsausdrucks keine weiteren Aussagen zu phänomelogischen Begleiterscheinungen. Damit fällt es schwer, auf den emotionalen Zustand der beobachteten Person zu schließen, ohne das Gesicht zu analysieren. Gesichtsausdrücke als Interpretationsgrundlage sind jedoch nicht frei von willentlicher Beeinflussung auf Seiten des Untersuchten (z.B. das sog. „Pokerface“). Hinzu kommt, dass Gesichtsausdrücke sehr feine Unterschiede aufweisen, die auf eine Mischung von Emotionen hinweisen. Solche „Zwischenstufen“ sind aber in Modellen der Basisemotionen nicht angelegt und können nicht interpretiert werden.

Ekman's Ansatz der Basisemotionen ist zwar sehr anschaulich und der Transfer in die Informatik erscheint nicht so kompliziert. Er ist jedoch mit einigen grundsätzlichen Problemen behaftet, die gegen die Verwendung in dieser Arbeit sprechen.

OCC-Modell

Ein einflussreiches Modell im Umfeld der maschinellen Informationsverarbeitung ist das von Ortony, Glore und Collins (Ortony et al. 1988), weil es mit dem Ziel geschaffen wurde, Emotionen in KI-Systemen zu modellieren. Emotionen sind demnach mit Valenz versehene Reaktionen auf Ereignisse und Objekte im Hinblick auf die Ziele, Standards und Einstellungen eines Agenten (Gratch et al. 2002). Demnach werden Emotionen als Funktionen verstanden, die Ereignisse nach ihrem Grad der Annehmlichkeit für die Person in einer Situation strukturieren. Emotionen können mit dem OCC gut für digitale Systeme synthetisiert werden, und es ist daher dort vielfach im Einsatz.

Das „kognitiv-strukturelle“ OCC-Modell (engl. *cognitive-structural model*) basiert auf einem Regelsystem, genauso wie das darauf aufbauende „kognitiv-wertschätzende“ Modell (engl. *cognitive-appraisal model*) nach Roseman (Roseman et al. 1996). Diese Weiterentwicklung des OCC Modells sieht die Wertschätzung einer Person gegenüber eines Geschehens als Ursache von Emotionen. Die Modellierung der Emotionen eines Menschen in einer bestimmten Situation hängt davon ab, wie er diese Situation einschätzt bzw. wertschätzt. Beiden kognitiven Modellen gemein ist, dass sie keine Aussagen zu

Emotionen in Situationen mit mehreren oder schnell hintereinander folgenden Ereignissen zulassen. In der Computernutzung kommt dies jedoch recht häufig vor. Unklar bleibt auch, wie gemischte Gefühle modelliert werden könnten, ebenso wie es sich mir nicht erschlossen hat, wie Beobachtungsdaten in diesen Systemen eingebracht werden könnten, z.B. um errechnete Vorhersagen zu validieren bzw. zu korrigieren.

Circumplexmodell

Russell (1980) schlug ein mehrdimensionales Modell für die Kategorisierung von Emotionen vor, nach dem sich die Repräsentanten in ein zweidimensionales Raum einordnen lassen. Über die zwei Dimensionen Valenz und Erregung sind die Emotionen mit ihrem spezifischen Anteil von Valenz (das Maß der Wertzuweisung als Kontinuum zwischen sehr positiv und sehr negativ) und Erregung (als Kontinuum zwischen ganz ruhig und sehr erregt) beschrieben und dadurch spezifiziert. In Russells Modell sind die Repräsentanten der wichtigsten Emotion wie Wut, Trauer und Freude nahezu kreisförmig im Valenz-Erregungsraum angeordnet (siehe Abbildung 2.3), daher nannte Russell es auch „Circumplexmodell“.

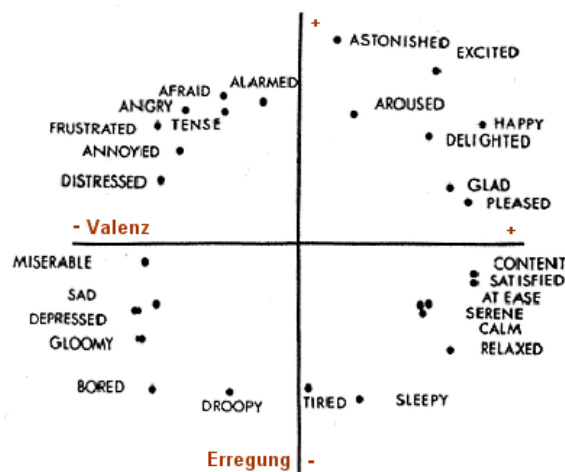


Abbildung 2.3: Circumplexmodell der Emotionen (Russell 1980) (Achsenbeschriftung vom Autor hinzugefügt)

Als Erweiterung zu Russell haben andere Autoren weitere Dimensionen zur Einordnung von Emotionsqualitäten vorgeschlagen (siehe Izard 1994; Picard 1997). Häufig wird dabei Kontrolle oder Stärke als Ergänzung hinzugenommen und damit neue Emotionsqualitäten definiert (siehe Abbildung 2.4).

Der Vorteil der mehrdimensionalen Modelle ist, dass die emotionalen Zustände nicht benannt werden müssen, sondern allein durch ihre Lage im flächigen oder räumlichen Repräsentantenraum definiert sind. Dadurch werden Verständnisschwierigkeiten, die bei benannten Emotionszuständen leicht auftreten, vermieden, denn sie haben eine unverwechselbare Position im Raum. Ausserdem kommt es mit diesen Modellen zu keiner Kategorisierung und der damit verbundenen potentiellen Einschränkung auf die definierten Kategorien. Gemischte Emotionen und vielfältige Nuancen sind damit möglich. Jede in ihrer räumlichen Lage festzulegen, ist nicht unumstritten, wie die Metastudie von Scherer (2000) zeigt (siehe Abbildung 2.5). Aber allein die Möglichkeit, durch eine visuelle Bestimmung einen emotionalen Zustand auszudrücken ist ein großer Vorteil gegenüber anderen Modellen. Dadurch ist eine Validierung durch den Menschen und die

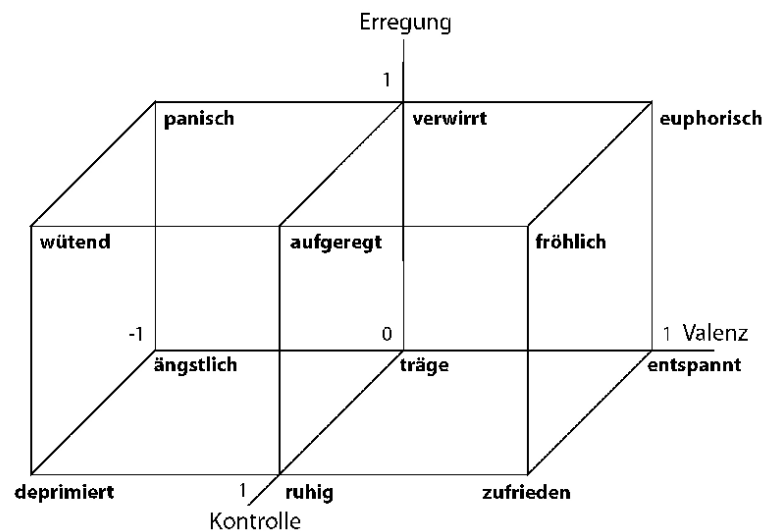


Abbildung 2.4: Erweitertes Emotionsmodell: Kontrolle als dritte Dimension (aus Schuster 2004)

Einbeziehung von psychologischen Messdaten, die sich relativ einfach auf die Dimensionen Erregung und Valenz abbilden lassen, garantiert (siehe Kapitel 4.1).

Abwägung

Aufgrund einer Evaluation entlang der am Anfang aufgeworfenen Anforderungen an ein Modell, das als Hintergrund dieser Arbeit fungieren könnte, lässt sich feststellen: Sowohl das OCC-Modell als auch das Circumplexmodell erscheinen geeignet.

Beide haben einen etablierten Stand im Fach Psychologie und bieten eine ausreichend feine Granularität zur Beschreibung und Differenzierung der Emotionen (sowohl intra- wie auch interkategorial). Beide werden von anderen Forschern in diesem Umfeld erfolgreich eingesetzt. Zwar werfen Herbon et al. (2005) einen kritischen Blick vor dem Hintergrund der Mensch-Computer-Interaktion auf das Modell von Russell, heben jedoch hervor, dass es sich durchaus dienlich zur Beschreibung von emotionalen Zuständen erwiesen und bewährt hat.

Das OCC-Modell bietet den Vorteil, speziell für die computertechnische Verwendung konzipiert worden zu sein und gut mit KI-Systemen zusammen zu arbeiten. Die Konzipierung eines digitalen Systems erscheint damit ohne große Verluste möglich. Dagegen erlaubt das Modell von Russell eine einfachere Interpretation und Veranschaulichung der emotionalen Zustände (über den Valenz-Erregungsraum). Es kann damit einfach nachvollzogen und geprüft werden. Obwohl es nicht für die Implementierung in digitale Systeme konzipiert wurde, erscheint es auch angesichts des erfolgreichen Einsatzes in anderen Forschungsvorhaben (z.B. Herbon et al. 2005) als realistisch, es einzusetzen. Im Unterschied zum Modell von Russell ist das OCC Modell primär dazu ausgelegt, die Synthese von Emotionen zu modellieren, nicht etwaige gemessene physiopsychische Signale zu kategorisieren. Damit hat das Modell von Russell für die angestrebte Architektur einen großen Vorteil und wird als eine Grundlage dieser Arbeit dienen.

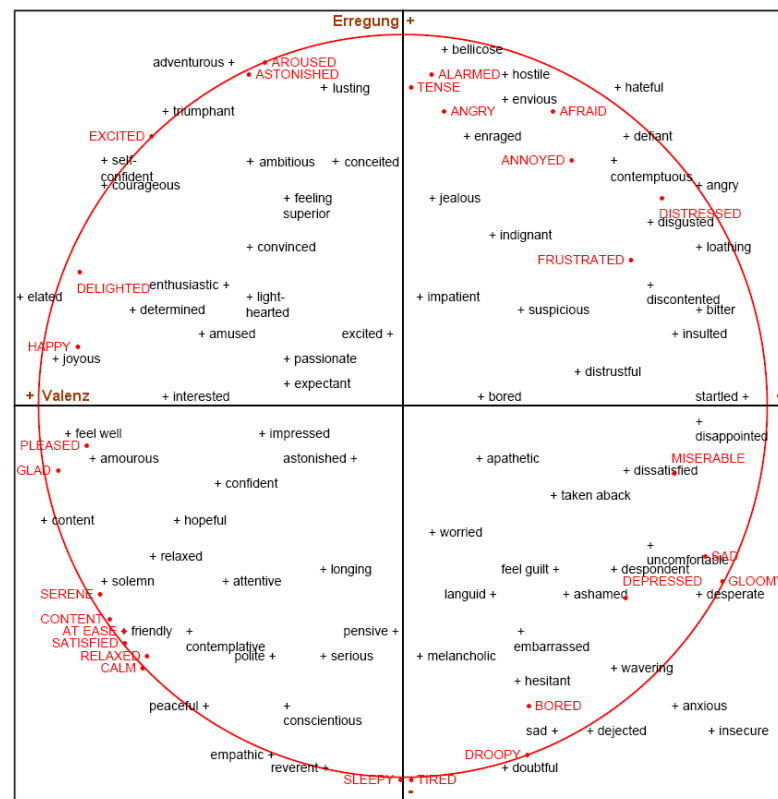


Abbildung 2.5: Ergebnis einer Metastudie zur Verortung von Emotionsbeschreibungen im Valenz-Erregungsraum (aus Scherer 2000)

2.2.3 Zusammenhang von Fühlen und Denken

Die von Rene Descartes prägnant formulierte These eines Dualismus von Körper und Geist bzw. von *res extensa* und *res cognita* erwies sich im Rahmen der abendländischen Kulturentwicklung als außerordentlich fruchtbares Konzept. Mit Hilfe der Descartesschen Unterscheidung von Leib und Seele versuchte der Rationalismus zu erklären, warum der Körper zwar älter werde und auch sonst den Naturgesetzen ausgeliefert sei, der Geist des Menschen davon jedoch unberührt bliebe.

Heute legen die Erkenntnisse der modernen Neurobiologie nahe, dass es sich beim Descartesschen Dualismus um eine Fehlinterpretation der Verarbeitungsleistung im menschlichen Gehirn handelte. Die höheren Geistestätigkeiten lassen sich nicht vom Aufbau und der Arbeitsweise des biologischen Organismus trennen, so wie von Descartes postuliert. Dafür gibt es mehrere Hinweise, z.B. dass Menschen mit defektem emotionalen Zentrum, nicht mehr in der Lage sind, Entscheidungen zu treffen, auch wenn die kognitiven Areale intakt sind (Damasio 1994).

Weitere Untersuchungen bestätigten, dass das limbische System in viel stärkerem Maße als ursprünglich angenommen an den wesentlichen kognitiven Prozessen beteiligt sei. Es müsse demnach ein enger Zusammenhang zwischen rationalem Denken und den Gefühlen und Instinkten bestehen.

Dieser Diktion und der anderer Autoren (Frijda 1986; de Sousa 1990; Oatley 1992) folgend, spielt die emotionelle Neigung eine wichtige Rolle bei der Entscheidungsfindung.

In die gleiche Richtung deuten Ergebnisse anderer Studien, die belegen, dass die Unfähigkeit von Soziopathen, Straftaten zu vermeiden, damit zusammenhängt, dass sie nicht fähig sind, emotional die Konsequenzen ihres Verhaltens zu erfassen (vgl. Damasio et al. 1990).

So komplex die Theorien der Emotionen auch im Details sein mögen, ein wichtiger Punkt ist für diese Arbeit ausschlaggebend: Emotionen spielen eine entscheidende Rolle in der Interaktion des Menschen mit seiner Umwelt. Im Zusammenhang mit der Erkenntnis von Reeves u. Nass, dass Menschen ihre technischen Interaktionsobjekte so behandeln, als seien es soziale Wesen ergibt sich leicht der Gedanke, dass die Integration von emotionalen Wirkmechanismen in die Interaktion ein weiterer Weg für die Anpassung der Maschinen an den Menschen sein könnten.

Die unterschiedlichen theoretischen Modelle zur Erklärung und Wirkungsweise von Emotionen, ihre Bedeutung, Ansätze und Zusammenhänge sind in Schachter u. Singer (1962) erstmals dargestellt. Für eine neuere Zusammenfassung siehe Scherer (1990); Cornelius (2000); Schuster (2004). Die biologische Grundlagen und Konzepte von Emotionen werden z.B. in Cannon (1927); Zajonc (1980); Lange (1887); Lazarus (1991) behandelt. Für weitergehende Informationen und Erkenntnisse rund um die Entwicklungen in der Hirnforschung sei dem interessierten Leser z.B. MacLean (1975); Eysenck (1967); Boucsein (1995); LeDoux (1994); Calvin (2004) empfohlen.

2.2.4 Emotionen in der Interaktion

Als Ergebnis der bisherigen Ausführungen kann festgehalten werden, dass bei der Gestaltung von Nutzungsschnittstellen mögliche Stimmungen und Emotionen der Nutzer bei der Interaktion beachtenswert sind.

Zunächst wird man davon ausgehen, dass eine positive, konstruktive Stimmung für die Aufgabenbewältigung generell günstiger sein dürfte als eine negative, destruktive. Im Rahmen der Gestaltung einer Benutzungsschnittstelle sollte demnach alles getan werden, eine positive Stimmung der Nutzer herbeizuführen bzw. aufrecht zu erhalten. Eine negative Stimmung würde dann in eine positive überführt.

In der Interaktion mit Maschinen kommt es häufig zu Frustration auf Seite der Benutzer. Diese entsteht u.a. dadurch, dass in den Worten der Betroffenen „irgendetwas nicht so funktioniert wie es soll“. Dahinter steckt meist die Verhinderung eines Handlungsziels im Aufgabenplan durch eine Misskonzeption der Benutzungsschnittstelle oder die Notwendigkeit, mühselig eine Abfolge von „unsinnigen“ Arbeitsschritten zu befolgen, um eine augenscheinlich einfache Aufgabe zu erledigen. Hinzu kommt bei vielen von außen (extrinsisch) motivierten Aufgaben noch ein Arbeits- und Zeitdruck, der meist nicht zu vermeiden ist. Es entsteht Streß und Frustration.

Literatur über die Ursachen von Frustration und über Gebrauchstauglichkeit (engl. „usability“) geben Hinweise darauf, welche Mittel man einsetzen sollte, um dem Benutzer Freude am Arbeiten mit dem Rechner zu machen bzw. welche Fehler es auf jeden Fall zu vermeiden gilt. Das junge Gebiet der spielbasierten Schnittstellen (engl. *Game Based Interfaces* (GBI)) zeigt auf, wie man den Nutzer beim Interagieren helfen und ihm dabei Freude bereiten kann (Diener u. Schumacher 2001; Encarnação u. Diener 2004). So unterstützte Personen bleiben länger am Computer und haben mehr Freude in der Interaktion als nicht unterstützte (amberlight human computer interactions 2005). Mit diesen

Erkenntnissen setzt sich langsam die Einsicht durch, dass Gebrauchstauglichkeit mehr umfasst als Technologie, die Handlungen schneller, effizienter und genauer ausführen lässt. Die „Lust am Bedienen“ (engl. *joy of use*), die positive Emotion der Bedienfreude, ist als Faktor hinzugekommen (Norman 2005). Sie wurde z.B. von Jordan (2002); Norman (2004a) in ihren Einflussgrößen kategorisiert.

Leider ergeben sich aus der Theorie keine praktischen Gestaltungsprinzipien für den Entwurf von emotionaler Technologie, sondern nur ein Satz von Verfahrensweisen zum Testen und Designmustern. Damit erstreckt sich die Anwendbarkeit der Erkenntnisse aus der Theorie vorwiegend auf die der Entwicklung nachgelagerte Evaluierung. Festgestellt werden kann dennoch, dass wichtig ist, mehrere Sinneskanäle bei der Vermittlung von emotionalen Inhalten anzusprechen. Multimedialität spielt eine wichtige Rolle in dieser Hinsicht. An vorderster Front beim Einsatz verschiedener Medien (Grafik, Musik und Geräusche, „Force-Feedback“ Geräte) zu Stimulierung der unterschiedlichen Sinneskanäle (visuell, auditiv, haptisch etc.) stehen beispielhaft Computerspiele. Ihr Ziel es ist, dem Spieler Unterhaltung und Freude zu bereiten. Ein Weg ist die möglichst vollständige Involvierung in das Geschehen, so dass sie im Zustand des sog. „Flows“ verweilen (Csikszentmihalyi 1992).

Dabei geht der Spieler völlig im Geschehen auf, d.h. er vergisst vielfach das Geschehen und die Zeit um sich herum, ist höchstkonzentriert, fokussiert auf die Aufgabe und nur durch die Herausforderung motiviert (sog. intrinsische Motivation). Die Erfahrungen in solchen Phasen werden zumeist mit zufrieden und sehr produktiv wiedergegeben. Der Mensch soll also möglichst in dem für die Tätigkeit günstigsten Zustand des „Flows“ verbleiben, denn dann ist er zufrieden und die Arbeit geht leicht von der Hand. Um diesen Verbleib zu sichern, müssen dafür die richtigen Mittel und Wege gefunden werden (siehe Kapitel 3.3), damit der Spieler nicht in ungünstigere Zustände abgelenkt (siehe Abbildung 2.6).

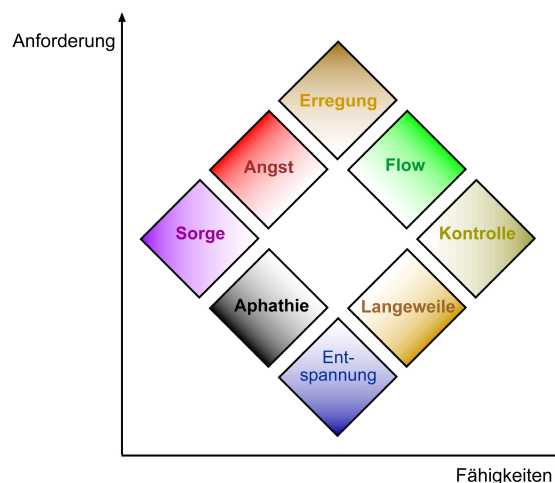


Abbildung 2.6: Acht-Kanal-Modell des Flows nach Massimini (1991) (Abbildung aus Fischer 2005)

Eine andere These ist ebenfalls nützlich, wenn es um die Gestaltung von Emotionen in der Interaktionen geht. Das Yerkes-Dodson-Prinzip besagt, dass Erregung bis zu einem bestimmten Punkt für die Leistung nützlich, davor und danach jedoch abträglich sei (Yerkes u. Dodson 1908) (schematisch dargestellt in Abbildung 2.7). Dieser Zusammen-

hang zwischen Stress und anderen Größen erstreckt sich nicht nur auf Leistung, sondern auch auf Gesundheit und Wohlbefinden. Für eine optimale Aufgabenerfüllung sollte der Mensch also auf einem optimalen Erregungsniveau gehalten werden (im Diagramm 2.7 als Sattelpunkt der Kurve zu erkennen). Der durch diese Parameter beschriebene Zustand bietet die besten Voraussetzungen für eine produktive, nicht langweilige aber auch nicht überfordernde Tätigkeit.

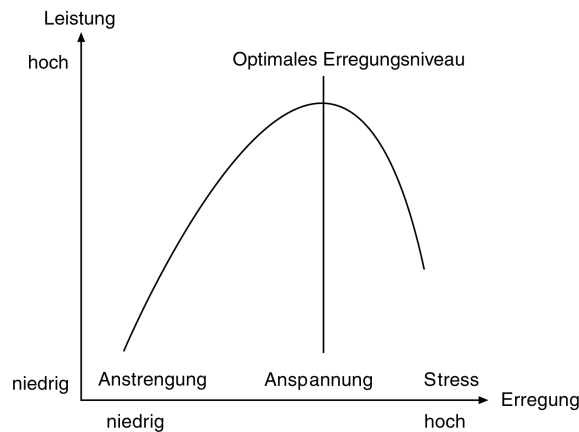


Abbildung 2.7: Yerkes-Dodson Kurve: Bis zu einem bestimmten Punkt steigert Erregung die Leistung, davor und danach ist sie suboptimal.

Flow-Modell und das Yerkes-Dodson-Prinzip, geben Hinweise darauf, welches Ziel eine Interaktionsführung verfolgen sollte: Interaktion auf dem optimalen Erregungsniveau möglich zu machen. Um eine solche individuelle Anpassung überhaupt durchzuführen, darf die zu Grunde liegende Benutzungsschnittstelle nicht statisch sein, sondern muss sich automatisch an das emotionale Befinden des Benutzers anpassen.

2.3 Adaptive Benutzungsschnittstellen

„Adaptiv“ bedeutet laut Scholze-Stubenrecht et al. (2005) „auf Adaption beruhend“ wobei „Adaption“ im Allgemeinen jegliche Form der Anpassung eines Individuums an die gegebenen Umweltbedingungen bezeichnet. Im Kontext der Informationstechnik ist Adaption die Anpassung von Hardware, Software oder Daten und Informationen an veränderte Gegebenheiten und Umgebungen. Adaption im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion bedeutet die Anpassung der Benutzungsschnittstellen an die besondere Bedürfnisse des Nutzers.

Benutzungsschnittstellen werden oft über grafische Anzeige- und einfache Eingabegeräte sogenannter *WIMP* Oberflächen (benannt nach den sie kennzeichnenden Elementen Fenster, Piktogramm, Maus und Zeiger - engl. *Windows, Icon, Mouse und Pointer*) realisiert. Weil die Elemente auf Bildschirmen wie auf der Oberfläche eines Schreibtischs angeordnet sind und der Nutzer Aktionen ähnlich derer, die er am Schreibtisch tätigen müsste, ausführt, spricht man auch von *Benutzungsoberflächen*.

2.3.1 Gründe für Adaption

Nutzer unterscheiden sich nach Benyon et al. (1994) z.B. in ihren Präferenzen, Erfahrungen, Zielen und kognitiven Fähigkeiten wie Auffassungsgabe oder Lernfähigkeit. Die aus den individuellen Unterschieden resultierende Benutzervariabilität beeinflusst die Benutzbarkeit der Bedienoberflächen und Anwendungen entscheidend, besonders weil sie immer komplexer werden.

Das Grundkonzept einer sich anpassenden Benutzungsschnittstelle ist, dass sich die Benutzungsoberfläche je nach Charakteristik des Benutzers ändert (Trumbley et al. 1994). Adaptive Bedienoberflächen versprechen, Probleme des Benutzers auszuräumen, indem sie die Oberfläche auf Grund von Wissen über den momentanen Status, das Ziel und die Umgebung des individuellen Nutzers dynamisch anpassen. Von diesem interaktiven Ansatz wird geglaubt, dass er großes Potential hat, die Effektivität der Mensch-Computer-Interaktion zu verbessern (Langley 1997). Durch eine Angleichung der Bedienoberfläche an die Eigenschaften und Fähigkeiten des Benutzer kann dessen Leistung gesteigert werden (Trumbley et al. 1994).

Die Anpassung an den Anwender geschieht heute vielfach, indem er einer bestimmten Benutzergruppe zugeordnet wird (oder dies selbst tun kann), für die es Erfahrungswerte oder Annahmen zu bestimmten Merkmalen gibt. Die Einordnung in solche Gruppen ist zwar als Technik für die Modellierung der Benutzer (engl. *user-modeling*) verbreitet, aber für eine individuelle Anpassung nicht adäquat. Individuelle Unterschiede in Erfahrungshorizont, Lern- und Arbeitsstil, kognitiven Fähigkeiten, Interessen, Zielen und Motivation können in diesem Ansatz nur unzureichend beachtet werden.

Diese Arbeit legt den Fokus klar auf das Individuum - im Speziellen auf seine Gefühlswelt - und beschäftigt sich deshalb mit Adaption des Typs A. Für sie ist es vor allem wichtig, dass Menschen emotional unterschiedlich erleben. Sowohl intraindividuell als auch interindividuell reagieren Menschen auf Situationen anders, teils aus rationalen Gründen, teils emotional motiviert. Reagiert jemand eher gelangweilt und hat keine Lust mehr, sich mit einem unüberwindbar scheinenden Problem auseinanderzusetzen, mag ein anderer unhaltsam und ärgerlich werden. Aber auch ein und derselbe Mensch reagiert nicht immer gleich, sondern je nach Kontext und Vorgeschichte mitunter völlig verschieden: Ist man in Eile und muss z.B. „nur ganz schnell etwas ausdrucken“ kann ein nicht funktionierendes Programm eine viel heftige Unmutsreaktion auslösen als zu einem Moment, in dem man Zeit und Muße hat, dem Problem auf den Grund zu gehen. Der Kontext spielt eine wichtige Rolle.

An dieser Stelle sei noch einmal explizit hervorgehoben, dass alle weiteren Betrachtungen zu affektiver Adaption sich vor allem auf Mensch-Maschine-Schnittstellen (engl. *human-computer interfaces*, allgemein als Gebrauchsschnittstellen (engl. *user interfaces*) im Bereich Computertechnik beziehen. Eine Übertragbarkeit der Aussagen auf andere Gebiete ist nicht zwingend gegeben, sie kann aber möglich sein. Dies zu untersuchen, ist allerdings Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

2.3.2 Ziel der Adaption

Adaption ist kein Selbstzweck. Sie dient vielmehr als Mittel zum Zweck. Dieser Zweck soll im Folgenden kurz generell und dann im Speziellen betrachtet werden.

Generell: Human Factors

Waren frühere Bedienoberflächen noch auf die reine Funktionserfüllung ausgerichtet und nur von Fachexperten zu bedienen, kam mit der Einführung der Computer für jeden (engl. *Personal Computer* (PC)) die Notwendigkeit auf, die Bedienung auch für jeden Menschen verständlich und handhabbar zu gestalten. Die sog. menschlichen Faktoren (engl. *human factors*) wurden immer wichtiger, sowohl für die Nutzer als Entscheidungskriterium bei der Anschaffung eines Rechners, als auch für die Hersteller der Hard- und Software als Verkaufsargument. Apple hat diesen Trend früh erkannt und sowohl seine Rechner als auch die Anwendungen zielgerichtet auf die Bedürfnisse der Nutzer entworfen - hier stand der Mensch im Mittelpunkt, sowohl mit seinen Fähigkeiten als auch mit seinem ästhetischen Empfinden. Zu den menschlichen Faktoren, nach denen sich Design richten sollte, gehören:

- Lernaufwand: Minimierung der Einarbeitungszeit in eine neue Anwendung oder für eine neue Funktion einer bestehenden Anwendung
- Ausführungsgeschwindigkeit: Minimierung der Bedienzeit zur Realisierung einer bestimmten Funktion oder der Abfolge von Bedienhandlungen
- Fehlerrate: Minimierung der Fehlerhäufigkeit bei der Bedienung
- Wissensbewahrung über die Zeit: Maximierung der Merkfähigkeit des Bedienkonzepts und der hierüber zur Verfügung stehenden Funktionalität
- Subjektive Zufriedenstellung: Maximierung der Zufriedenheit oder Glücksgefühle bei der Bedienung der Anwendung

Diese Faktoren sind nicht unabhängig voneinander. Als Beispiel seien Tastaturkürzel zur Aktivierung von Makros (kleine Befehlsfolgen zur aufeinander folgenden Realisierung von Funktionen), genannt: Sie beschleunigen zwar die Ausführung und senken die Fehlerrate, sind aber relativ schwer zu lernen und zu behalten. Eine Maximierung über alle Dimensionen wird durch die Interpendenz der Faktoren nicht gelingen. Der Designer muss zwischen ihnen abwägen bzw. diese Aufgabe an den Nutzer delegieren, der für sich entscheiden muss, was ihm wichtig ist. Adaptive Benutzungsschnittstellen sind dafür eine Grundvoraussetzung.

Für manche Nutzer ist die subjektive Zufriedenstellung das entscheidende Ziel - wer möchte schon ständig frustriert an seine Arbeit gehen, vor allem wenn diese Gefühl durch den Rechner noch verstärkt wird. Subjektive Zufriedenstellung hat lange Zeit wenig Beachtung im Designprozess von Computeranwendungen gefunden, weil kognitive Tätigkeiten wie Informationsverarbeitung unbeeinflusst von Emotionen gesehen wurden. In den letzten Jahren hat sie vermehrt Aufmerksamkeit bekommen - Apple hat Nachahmer gefunden. Die neuen Erkenntnisse zum Zusammenhang von Fühlen und Denken (siehe Kapitel 2.2) unterstützen diese Entwicklung. Einige Forscher beschäftigen sich speziell mit den Zusammenhängen von Ästhetik, Glücksempfinden und Gebrauchstauglichkeit (Frohlich 2004; Hassenzahl 2004; Norman 2004b; Overbeeke u. Wensveen 2004; Tractinsky 2004). Zur affektiven Adaption fähige Benutzungsschnittstellen können hier einen bedeutenden praktischen Beitrag leisten, die Benutzerzufriedenheit zu verbessern und dadurch die ausgeführte Tätigkeit zu unterstützen. Dies soll am Beispiel des menschlichen Lernens verdeutlicht werden.

Speziell: Lernen

Neurodidaktiker haben herausgefunden, welche Rolle Glücksgefühle beim Lernen spielen. Beispielsweise forscht das Leibniz-Institut für Neurobiologie in Magdeburg über den Einfluss verschiedener Faktoren auf den Lernprozess, unter anderem auch des körpereigenen Belohnungssystems (Scheich 2001, 2002, 2003a). Es gibt demnach einen funktionellen Zusammenhang, der das Lernen fördert: Bei einem Aha-Erlebnis schüttet das limbische System im Gehirn u.a. die Hormone Endorphin und Dopamin aus. Endorphin ist ein körpereigenes Opiat, das einerseits betäubend, entspannend aber auch euphorisierend wirken kann, und durch Hypothalamus und Hypophyse ausgeschüttet wird. Dopamin wirkt als Motivator zu Handlungen, die Glück und Zufriedenheit versprechen, reizt Hirnareale, die das Gefühl des Wollens, des Antriebs und der Zuversicht auslösen, und wirkt mitunter euphorisierend. Ein Mangel an Dopamin bewirkt Lust- und Antriebslosigkeit (z.B. bei Parkinsonpatienten).

Durch die beiden Botenstoffe Dopamin und Endorphin hat der Mensch ein Glücksgefühl. Das durch Dopamin angeregte Belohnungszentrum im Gehirn (*Nucleus accumbens*) honoriert Aktionen mit einem angenehmen Gefühl. Das Glücksgefühl bestärkt den Menschen in der Weiterverfolgung der Strategie. Die Person hat die Motivation, die auslösende bzw. begleitende Handlung zu wiederholen. Gleichzeitig ist die Dopaminausschüttung ein wichtiger Faktor, die momentane Erfahrung im Langzeitgedächtnis zu speichern (Scheich 2003b).

„Die neurobiologische Forschung zeigt ganz klar, wie wichtig Aufmerksamkeit, Motivation und „affektives Mitschwingen“ sind. Wenn Schüler nicht im positiven Sinn „affektiv geneigt“ sind, dann bringen auch die tollsten Inhalte nichts. Es ist heute zum Beispiel ganz gut durch Experimente belegt, dass die Erweiterungsfähigkeit unserer neuronalen Areale ganz entscheidend mit einer positiven affektiven Beteiligung des Lernenden zusammenhängt.“ (Spitzer 2001)

Der Bremer Gehirnforscher Roth fasst es kondensiert zusammen: „Entscheidend ist die Lust am Lernen“ (in Wolschner 2003). Es gibt zwar stellenweise Kritik an der Sichtweise der Neurodidaktiker (z.B. Paulus 2003; Stern 2003), doch wird diese genauso häufig zurückgewiesen (z.B. Friedrich 2003; Spitzer 2003).

Um die Lust am Lernen nicht abflauen zu lassen und den Lernprozess voranzutreiben, werden oft spielbasierte Lernprogramme (engl. *edutainment*) eingesetzt. Diese Programme verknüpfen Wissen mit Erlebnissen und sind spielerisch zu handhaben. Dabei sind sie wahre Motivationskünstler: Sie stellen interessante Ziele in Aussicht, bieten spannende Wege zu diesen Zielen an und ermöglichen eine flexible Aufgabenbearbeitung (Garneau 2001; Blythe u. Hassenzahl 2003). Das Motivationspotential von Spielen ist hoch, ganz im Gegensatz zu Anwendungssoftware. Trotzdem haben Spiele und ernsthafte Software viele Gemeinsamkeiten, z.B. wollen beide den Benutzer zu einem Ziel führen. Daher sei ein Transfer der Konzepte auch möglich: „Erfolgreiche Spiele können als Modell für attraktive Software dienen, denn sie machen Spaß und schaffen es, Benutzer stundenlang zu motivieren“ (Hassenzahl 2003).

Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit

Ein vorteilhaftes Anwendungsgebiet von emotions-adaptiven Systemen wäre das Computergestützten Lernens (engl. *Computer Based Learning*). Die Unterstützung eines Lernen-

den durch eine emotionsadäquate Anpassung zur Steigerung des Lernerfolgs erscheint viel versprechend. Das von konventionellen Systemen nur auf Vermutungen basierten Wissen zum emotionalen Zustand des Nutzers könnte explizit in Lernsystem einbezogen werden, um die Adaption zu steuern. Der Weg wäre weg vom *User-Modelling* hin zum *User-Sensing*.

Lernunterstützung bietet auch spielbasierte Lernsoftware. Sie hat den Vorteil, Emotionen und Kognition im Sinne der in dieser Arbeit vertretenen Diktion nicht trennen zu wollen, und macht sich die positiven Gefühlen beim Spielen zu Nutze. Spiele sind darüber hinaus eine willkommene Testumgebung für neuartige Interaktionskonzepte, weil sie aus sich heraus eine große Motivationskraft haben. Konzepte zur Interaktion in Spielen können ein Vorbild für die Interaktion auch mit Standardsoftware sein. Ein Spiel wird auch in dieser Arbeit als Testanwendung zum Einsatz kommen, um die Architektur zur emotionssensitiven Kontrolle von Anwendungen prototypisch zu testen.

2.3.3 Arten der Adaption

Die Individualisierbarkeit der Benutzeroberflächen ist Voraussetzung für jegliche Form der Adaption. Sich an Merkmale und Aufgaben des Nutzers anpassende Schnittstellen hat Schlungbaum "individuelle Benutzungsoberflächen" (engl. *individual user interfaces*) genannt (Schlungbaum 1997). Solche Oberflächen unterscheiden sich (I) nach Zeitpunkt der und (II) nach Akteur bei der Adaption. Die Adaption kann entweder (Ia) beim Design durch den Entwickler oder (Ib) zur Laufzeit durch das System erfolgen. Als zweites Unterscheidungsmerkmal ist maßgeblich, ob (IIa) der Nutzer das System selbst an seine Bedürfnisse, oder (IIb) das System sich selbstständig an den Nutzer anpasst. Die Adaptionsfähigkeit von Benutzungsoberflächen kann danach in drei Klassen eingeteilt werden:

- **Adaptierte** Benutzungsschnittstellen: werden schon zur Entwicklungszeit an die zukünftige Benutzergruppe angepasst
- **Adaptierbare** Benutzungsschnittstellen: kann der Benutzer nach seinen Bedürfnisse zur Laufzeit selbst anpassen
- **Adaptive** Benutzungsschnittstellen: dynamische, autonome Anpassung des Systems an den Benutzer zur Laufzeit

Die in dieser Arbeit vorgestellte Architektur ordnet sich in die Gruppe der adaptiven Benutzungsschnittstellen ein. Die mit dieser Architektur gestalteten Anwendungen soll dynamisch auf Grund des aktuellen Gefühlszustands des Computernutzer und ohne dessen Zutun das System anpassen, so dass er weiter motiviert bleibt, mit ihm zu arbeiten.

Beim Design adaptiver Systeme drängen sich Entwurfsfragen auf, die im Folgenden kurz betrachtet und mit einem Blick auf die später beschriebenen praktischen Designprozess konkretisiert werden sollen.

2.3.4 Designprozess

Für adaptives Verhalten sind einige Fragen im Designprozess entscheidend: Wer soll adaptieren können? Welche Rolle soll der Adaptionsprozess spielen? Was soll adaptiert

werden? Auf welcher Funktionsebene soll adaptiert werden (Präsentation oder Funktionalität)? Welche Informationen über Nutzer, Applikationen, Aufgaben stehen zur Verfügung? Zu welchem Zeitpunkt soll Adaption stattfinden (Entwicklungszeit oder Ausführungszeit)?

Das Ziel des Entwurfsprozesses ist es, für spezifizierte Benutzergruppe(n) und spezifizierte Aufgabe(n) das optimale Design zu finden. Ein effizientes Design für alle möglichen Zielgruppen ist genauso schwer wie nahezu unmöglich, geht man von einer gewissen Diversität unter den Anwendern aus. Im Designprozess werden Benutzer(gruppen) und Aufgaben identifiziert, wobei die Oberfläche Medium zwischen Mensch und Maschine ist, über die die Aufgaben ausgeführt werden. Da oft der individuelle Benutzer nicht bekannt ist, versucht der Designer in der Regel, gewisse Benutzergruppen mit bestimmten Benutzerprofilen zu identifizieren. Genauso kann man mit der Vielzahl der möglichen Aufgaben verfahren - aus den bekannten werden Aufgabenprofile generiert. Zentral im Entwurfsprozess ist die Abwägung zwischen den Zielen adaptiver Benutzungsoberflächen (siehe Kapitel 2.3.2). Hier muss der Designer eine für die Aufgabe und die zukünftigen Nutzer passende Abwägung finden.

Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit

Dieses Kapitel hat eine breite theoretische Grundlage über kognitive und emotionale Prozesse, ihr Zusammenspiel bei der Informationsverarbeitung und die Rolle von Adaption in diesem Zusammenhang aufgezeigt. Für diese Arbeit wichtige Aspekte und Hintergrundinformationen konnten eingebracht werden, die im weiteren Verlauf Hinweise und Richtlinien für Entscheidungen geben werden. Einige den Rahmen für die weitere Entwicklung vorgebende Punkte besonders aus dem letzten Kapitel können hier festgehalten werden: Bisher können keine klaren Benutzergruppen und damit auch keine Benutzerprofile spezifiziert werden - individuelle Nutzer und ihre individuellen Reaktionen stehen im Fokus der Arbeit. Eine Generalisierung wird im besten Fall erst nach vielen lang andauernden Versuchsreihen möglich sein. Die zu tätige Aufgabe ist klar umrissen: es geht darum, ein Spiel mit klaren Regeln und klarem Spielverlauf zu spielen. Das Ziel, das diese Arbeit mit der Adaption verfolgt, ist vorerst einen moderaten Zustand der Freude hervorzurufen.

Kapitel 3

Vorüberlegungen

3.1 Vorläuferarbeiten

3.1.1 Affektive Daten und ihre Nutzung

Vorbedingung für die Erkennung von Emotionen in der Interaktion mit dem Computer sind Daten, die auf den Gemütszustand der Person schließen lassen. Emotionale Zustände kommen auf mehreren voneinander abgrenzbaren Ebenen auch unter Beteiligung körperlicher Zustände zum Ausdruck (Izard 1994) und können dort gemessen werden. So werden bei Emotionen im allgemeinen

1. eine Ebene der subjektiven Empfindung,
2. eine Ebene der körperlichen bzw. physiologischen Erregung und
3. eine Ebene des Ausdrucks im Verhalten

voneinander abgegrenzt. Auf allen drei Ebenen können Emotionen durch die Registrierung von Daten beobachtet und erfasst werden (Schmidt-Atzert 1996):

1. durch verbale Berichte einer Person zu ihrem emotionalen Empfinden (z.B. durch Ankreuzen einer Bewertungsskala, die das Maß an „Angst“ repräsentiert),
2. durch die Registrierung von Aktivierungszuständen von Endorganen des autonomen vegetativen Nervensystems (z.B. durch Messung von Veränderungen der Hautleitfähigkeit an der Handinnenfläche) und
3. durch die Analyse äußerer Merkmale wie Verhalten, Körpersprache oder Gesichtsmimik (z.B. bei der Identifikation von Freude oder Traurigkeit über die Beobachtung ausgewählter Muskelpartien im Gesicht - siehe auch Waters (1987); Waters u. Levergood (1993)).

In der Interaktion zwischen Mensch und Computer können zusätzlich zu den hier genannten Quellen noch jene Daten als Grundlage dienen, die bei der Interaktion direkt erfasst werden können, etwa Eingabehäufigkeit, Geschwindigkeit der Eingabe, Eingabeerfolg, Fehlerbehebungsrate und Gesamtdauer der Interaktion. Diese Arbeit wird auf Mittel zur Ergründung des menschlichen Affekts zurückgreifen, die unter Punkt (2) fallen:

physiologische Veränderungen, die sich u.a. auch durch die Psychologie des Menschen ändern. Daher werden sie auch als *physiopsychologische* Kenngrößen bezeichnet (Andreassi 2000).

Zu Beginn dieses jungen Forschungsgebiets lag die Herausforderung darin, die vorhergesagten, positiven Effekte einer Einbeziehung von Gefühlen in die Interaktion mit dem Computer nachzuweisen. Als Standardwerk und Beginn der akademischen Beschäftigung gilt das Werk von Rosalinde Picard (Picard 1997), die auch weiterhin federführend in diesem Bereich tätig ist (Klein 1999; Picard et al. 2001; Scheirer et al. 2002). Ein Experiment verdeutlicht den vielfach verfolgten Ansatz:

Ein Computerprogramm wird so verändert, dass es durch technische Probleme wie Verzögerungen Frustrationen beim Benutzer erzeugt. In einer Versuchsgruppe interveniert das System nicht, in einer zweiten Versuchsgruppe reagiert ein computergesteuerter Agent, der die Person durch das Spiel begleitet, durch Äußerungen des Verständnisses, des Mitfühlens und der Zuwendung auf die Frustrationen. In der zweiten Experimentalgruppe ist daraufhin die Bereitschaft der Versuchspersonen, freiwillig länger mit dem Programm zu spielen und sich länger der Frustration auszusetzen, signifikant größer. Auf diese Weise kann erfasst werden, welche Aktionen welche Wirkung entfalten.

Allerdings setzt ein solches Vorgehen voraus, dass während der Interaktion auftretende emotionale Zustände ohne Verzögerung entdeckt und identifiziert werden können (Picard 1998). Eine technische Lösung beruht auf der Tatsache, dass Emotionen von physiologischen Erregungszuständen begleitet sind, die sich etwa in Hautleitfähigkeitsveränderungen niederschlagen (Vyzas 1999). Diese Veränderungen könnten beispielsweise durch Sensoren auf der Oberfläche der Maus (vgl. die „Emotion Mouse“ von Ark et al. (1999)) oder mittels eines Handschuhs (Beikirch et al. 2005) erfasst und mit dem Rechner ausgewertet werden. Eine weitere zur Identifikation emotionaler Zustände geeignete Methode ist die automatische Analyse des Gesichtsausdrucks. Beispielsweise wird von Bartlett et al. (1999) ein Programm zur Mustererkennung vorgestellt, das Videoaufzeichnungen eines Gesichts mit guter Trefferquote auf emotionale Zustände hin analysiert.

Bis war es jedoch sehr schwer, vom Verlauf physiologischer Kennwerte auf die Art der aufgetretenen emotionalen Empfindung zu schließen. Jüngere Forschungsergebnisse mit einer Trefferquote von bis zu 80% zeigen, dass der Rückschluss über körperlichen Reaktionen auf emotionale Zustände eine vielversprechende Forschungsrichtung ist (Herbon et al. 2005; Herbort 2004b; Morgenstern 2005; Oertel et al. 2004; Picard 2001). Diese Arbeit setzt bei derart gewonnenen Erkenntnissen an. Das nächste Kapitel gibt Antworten zu der Abwägung, wie man die so gewonnenen Informationen einsetzen kann, will und soll.

3.1.2 Einsatzgebiete affektiver UI

Es wirft sich die Frage auf, in welchem Maße und in welcher Art die neuen Möglichkeiten der Abschätzung der Gefühlslage des Menschen nutzbar gemacht werden können. Bisher bleibt festzustellen, dass sich das Forschungsgebiet noch in einem sehr frühen Stadium befindet und es vor allen Dingen jetzt darauf ankommt, gesicherte Erkenntnisse für weitergehende Entwicklungen zu schaffen. Erst eine breite Grundlagenforschung

bildet die Basis für spezielle Anwendungen. Im Fall der affektiven Computer ist besondere Bedacht zu empfehlen, weil viele Menschen das Schreckgespenst einer sie manipulierenden Maschine fürchten und diese Ängste ernst genommen werden müssen. Ein gesellschaftlicher Prozess zur Akzeptanz dieser Technologie wird durch Diskussionen begleitet sein, die als korrektives Mittel mitbestimmen können, wozu die Technologie letztendlich vorteilhaft eingesetzt werden wird. Nichts desto trotz soll in dieser Arbeit schon eruiert werden, welche potentielle Rolle rezeptions- bzw. interaktionsbegleitend auftretenden affektiven Zuständen zukommen könnte (nach Mangold 2001):

- Es kann angestrebt werden, durch die Gestaltung des Informationsangebotes eine solche Stimmung bei den Nutzern zu bewirken, die für die Aufgabenbearbeitung günstige Bedingungen schafft (= Stimmungsoptimierung).
- Die bei der Aufgabenbearbeitung auftretenden emotionalen Zustände können als Hinweise bzw. Leitlinien für die Überarbeitung und Optimierung der Aufgabe eingesetzt werden (= Offline-Angebotsoptimierung).
- Die Umgebung der Aufgabenbearbeitung kann interaktionsbegleitend an die affektiven Zustände angepasst werden, die während der Interaktion auftreten (= Online-Angebotsoptimierung).

Durch diese Art der Interaktion können Maschinen auf den Menschen adäquat eingehen und ihn in seiner Aufgabenbearbeitung unterstützen. Neben diesem Bereich der Mensch-Maschine Interaktion wird Technologie im zunehmenden Maße auch dazu eingesetzt, die interpersonelle Kommunikation zu unterstützen (Nakatsu 1998) - man denke z.B. an tragbare Kommunikationscenter oder sog. „wearables“¹.

Die schon in Kapitel 2.2.4 angesprochene Computerfrustration wäre ein gutes Einsatzfeld für affektive Nutzungsschnittstellen. Die Informationsverarbeitungsfähigkeit des Individuums ist bei einem solchen Vorfall offensichtlich herabgesetzt, es kann sich nicht mehr auf die eigentliche Aufgabe konzentrieren, ganz abgesehen davon, dass (starke) Emotionen den Effekt haben, komplexe Denkvorgänge zu blockieren (vgl. Hänze 1998). Ein emotional sensibler Computer könnte hier vorbeugend agieren. Ein solches Gerät wäre auch bei der in Kapitel 1.2 erwähnte Technophobie von Vorteil und könnte dabei helfen möglicherweise Vorurteile zu überwinden oder ein gewisses Vertrauen zu erwecken.

3.1.3 Integration des Affekts

Die von anderen Wissenschaftlern betriebene Forschung zum Thema Computer und Emotionen teilt sich grob in zwei Interessengebiete: (1) Künstliche Emotionen zu modellieren und (2) Emotionsdarstellung für die Steigerung der Glaubwürdigkeit zu nutzen. Beide sind in Agenten zu finden, die meisten von ihnen real verkörpert durch einen Roboter oder als Programm mit Oberfläche.

¹Bezeichnung für ein mobiles Rechnersystem, dass sich am Körper tragen lässt. Am ehesten lassen sich Wearables dadurch eingrenzen, dass sie ohne Benutzung der Hände dauerhaft am Nutzer getragen und verwendet werden können. Der Grundgedanke dabei ist eine neue Form der Unterstützung und Begleitung. Die Systeme können und sollen selbstverständlich keine menschlichen Aufnahmemechanismen ersetzen oder beeinflussen, wohl aber diese unterstützen (Randell 2003; Cinotti 2004).

Im ersten Fall geht es darum, mittels der Möglichkeiten eines Computers, das Entstehen, Verändern und Abflauen von Emotionen und Stimmungen nachzuvollziehen. Dabei beeinflussen diese künstlichen Emotionen den Agent in seinen Aktionen: diese werden gefördert oder unterdrückt, je nach dem wie sein spezifischer emotionaler Status für diese Zielhandlung ist. Beispiele für Architekturen, die Emotionen modellieren sind: Emile (Gratch 2000) und das schon in dieser Arbeit erwähnte OCC (Ortony et al. 1988).

Im zweiten Fall wird nur so getan, als ob wirklich Emotionen im Spiel seien, indem die Repräsentation des Agenten Signale nachahmt, die vom menschlichen Betrachter als typisch für eine bestimmte Emotion angesehen werden. Bei diesem Ansatz wird der Mensch bewusst getäuscht. Er wird z.B. in Anwendungen benutzt, in denen es ausreicht, den Eindruck zu erwecken, als habe der Agent Emotionen (z.B. Cassell u. Vilhjálmsón 2001).

Die vorgestellten Ansätze haben einen Nachteil: sie sind pure Modellierungsplattformen für künstliche Emotionen und nicht dazu geeignet, Sensordaten über den emotionalen Status des Benutzers aufzunehmen.

Neben den beiden verbreiteten Ansätze für digitale Emotionen gibt es noch die eher auf umfassende Forschung ausgerichteten Plattformen - dazu gehören z.B. EMAI (Baillie 2002; Baillie u. Lukose 2002) und die „*new affective agent platform*“ (Burleson 2004; Burleson et al. 2004). Beide sind von ihrem Ansatz her sehr generell gehalten und können auch Sensordaten verarbeiten. Gegen eine Verwendung dieser existierenden Architekturen spricht, dass sie erstens nicht frei verfügbar sind und zweitens viel zu komplex für die in dieser Arbeit motivierte Anwendung.

3.2 Designabwägungen für emotionsadaptive Systeme

Die konzeptionelle Herausforderung bei der Entwicklung einer solchen Architektur ist, verschiedene Programme mit unterschiedlichen Aufgaben und unterschiedlichen Schnittstellen so aufeinander abzustimmen, dass sie letztendlich in einem heterogenen Verbund transparent zusammenarbeiten und die erwünschte Aufgabe erfüllen, in diesem Fall die Adaption der Benutzungsschnittstelle. „Heterogen“ heißt in diesem Zusammenhang, dass die eingesetzten Komponenten nicht unbedingt dafür gedacht waren, in einem solchen Applikationsnetzwerk mitzuarbeiten, aber durch die neue Architektur dazu befähigt werden, ihren spezifischen Beitrag zur Gesamtlösung beitragen zu können. „Transparent“ bedeutet hier die klare Definition von Schnittstellen und die offene Übergabe von Parametern und Daten über standardisierte Protokolle in Abgrenzung zu proprietären Kommunikationswegen, die von außen nicht einsehbar sind.

Es soll eine Architektur entstehen, die verschiedene Programmkomponenten so miteinander verbindet, dass erst durch dieses Zusammenspiel die Adaption einer Anwendung auf Grund des gemessenen Gemütszustandes des Nutzers möglich ist. Eine Sensorikkomponente liefert dazu aktuelle Daten zu physiopsychologischen Kennwerten beim Umgang mit der Anwendung, mit der der Gemütszustand des Interaktionspartners evaluiert wird. Die interaktive Anwendung, mit der der Nutzer gerade arbeitet, soll daraufhin adaptiert werden und der Nutzer in seinem emotionalen Zustand zielgesteuert beeinflusst werden.

Um eine Umgebung zu schaffen, in der eine Anwendung adäquat auf den emotiona-

len Zustand des Benutzers eingehen soll, ist zu definieren, welches Interaktionsziel diese Steuerung anstrebt und welche Mittel geeignet sind, dies zu erreichen. Dann ist zu entscheiden, wie man diese verschiedenen Interaktionsmittel für die Verbesserung der Interaktion, im Sinne dieser Arbeit durch die Anpassung an den emotionalen Zustand des Menschen, nutzen kann. Letzendlich muss man sich auch Gedanken darüber machen, wie dies alles technisch umzusetzen ist.

3.2.1 Adaptionmodell

Adaptionsziel

In den Überlegungen in Kapitel 2.2.4 hat diese Arbeit dargelegt, dass ein moderater Erregungszustand und moderate Valenz eine optimale Interaktionsgrundlage bilden kann. Diese Feststellung ist konform mit der Erkenntnis der Motivationsfaktoren in (Computer-)Spielen: Sie sollten u.a. nicht zu leicht und nicht zu schwer sein, eine beständige Herausforderung sein und dem Spieler immer den Eindruck vermitteln, dass er die Aufgabe bewältigen kann (Lepper u. Malone 1987; Malone 1981; Malone u. Lepper 1987).

Transferiert auf die der Arbeit zu Grunde liegende theoretische Basis bedeutet die Anforderung, dass ungünstige Zustände im Valenz-Erregungsdiagramm nach Russell über die Dimension Erregung als Langeweile oder großer Aufregung bzw. über die Dimension Valenz als Desinteresse oder höchste Involvierung gemessen werden. Der günstigste Gemütszustand kann daher im zentralen Bereich des Valenz-Erregungsdiagramms verortet werden. Diese Festlegung umfasst jedoch immer noch ein sehr breites Spektrum von emotionalen Zuständen, sowohl oberhalb als auch unterhalb der Mittelwerte beider Verteilungen. Es erscheint günstig, bei der Festlegung des angestrebten Zustands noch spezifischer zu sein, um für die angestrebte Spielbeeinflussung ein Adaptionziel und gleichzeitig Evaluationsmaß zu definieren.

Die Flow-Theorie geht davon aus, dass Flow als das Optimum der psychologischen Befindlichkeit für die Tätigkeitsausführung nicht bei 100% Belastung auftritt, sondern bei einem etwas moderateren Level (Csikszentmihalyi 1992). Aus dieser Erkenntnis ergibt sich, dass das Erregungsniveau oberhalb des Mittelwerts seiner negativen bzw. positiven Maximalwerte liegen sollte, nicht darunter (dies wäre nach der o.g. Einschränkung durchaus möglich). Die Spielbeeinflussung muss also mit den zur Verfügung stehenden Mitteln dafür sorgen, dass die Valenz moderat ist und die Erregung möglichst auf einem hohen, aber nicht höchsten Stand, verbleibt.

Um die in diesem Unterkapitel vorgestellten Überlegungen verlangen nach der Klärung, mit welchen Mitteln die Adaption arbeiten soll, um den Benutzer zum Adaptionziel zu führen.

Adaptionsmittel

Diese Arbeit geht davon aus, dass die Anwendung ein Vertreter der Klasse der modernen, mit visuellen und möglicherweise multimedialen Oberflächen ausgestatteten Programme ist. Die Mittel zur Veränderung der Anwendung und damit zur Beeinflussung des Nutzers hängen letztendlich von den Beeinflussungsmöglichkeiten über die Interaktionskanäle dieser Anwendung ab. Die Gesamtheit der durch die Interaktionskanäle gegebenen Beeinflussungsmöglichkeiten wird in dieser Arbeit als *Interaktionspotential* bezeichnet. Das größte Interaktionspotential in diesem Sinne haben heute wohl Computerspiele: sie bieten Multimodalität durch die Möglichkeit der Grafik-, Film-, Musik-

und Geräuschwiedergabe sowie Tastatur-, Maus- und z.T. auch Spracheingabe. Mathematisch ist das Interaktionspotential das Kreuzprodukt aus allen möglichen Veränderlichen in der Steuerung, der Grafikdarstellung und der Tonwiedergabe. Es spannt einen n-dimensionalen Raum auf, der mit der Vielfalt der Interaktionskanäle größer und heterogen wird.

Eine Teilmenge des Interaktionspotential, die dafür genutzt werden kann, den emotionalen Zustand des Spielers zu beeinflussen, heißt in dieser Arbeit *Adaptionspotential*. Interaktionspotential und Adaptionspotential sind nicht notwendigerweise gleich mächtig, ganz so, wie nicht alle Muskeln des Gesichts gebraucht werden, um bedeutungsvolle Gesichtsausdrücke zu produzieren (Waters 1987; Waters u. Levergood 1993).

Als *Adaptionskomponente* bezeichnet diese Arbeit die Teilmenge des theoretisch gegebenen Adaptionspotentials, die bei der praktischen Adaption an den affektiven Zustand des Nutzers eingesetzt wird. Auch hier gilt: Adaptionskomponente und Adaptionspotential sind nicht notwendigerweise gleich mächtig. Um bei der Analogie zu Gesichtern zu bleiben: nicht jeder möglicher Gesichtsausdruck hat auch eine über die Zeit und den Kontext stabile Wirkung auf den Interaktionspartner, daher würden im Fall von Gesichtsausdrücken nur solche als Adaptionskomponente in Frage kommen, die eine vergleichsweise kontextunspezifische Wirkung haben.

3.2.2 Softwaretechnik

Das Problem der Adaption auf emotionale Zustände muss softwaretechnisch auch umgesetzt werden. Daher stellt dieses Unterkapitel einige grundlegende Ansätze vor, wie ein Programm gestaltet werden kann. Es wird sich noch zeigen, dass die Beschäftigung mit diesem Thema vor

Im Sinne von (vgl. Kelter 2003, S.17ff) kann ein Programm auf verschiedene Weise implementiert sein: beispielsweise als Bibliothek, als monolithisches Konstrukt oder als Framework. Eine Bibliothek ist dabei ein einzelner, nicht selbst lauffähiger Programmteil, dessen Funktionalität von eigenständigen Programmen genutzt wird. Eine monolithische Anwendung ist aus „einem Guss“, d.h. alle für die Funktionalität notwendigen Bestandteile sind fest integriert und können nur in diesem Zusammenschluss benutzt werden. Ein Framework ist dagegen ein Rahmen, in dem definierte Funktionen ermöglicht werden (daher auch zu Deutsch etwa „Rahmenwerk“). Andere Programme oder Programmteile können nach Maßgabe des Rahmens integriert werden und so auf Funktionalität zugreifen, die sie selbst nicht haben. Ein Framework ist dabei auf eine spezielle Anwendung, sondern auf einen Anwendungsbereich und damit auf eine Klasse von Applikationen zugeschnitten.

Intern können diese unterschiedlichen Programmtypen verschiedenen konzeptionellen Modellen folgen: entweder dem Pipelinemodell oder dem Schichtenmodell. Letzteres definiert unterschiedlichen Ebenen der Verarbeitung, die aufeinander aufbauen, d.h. jede Schicht arbeitet auf dem Ergebnis der unter ihr liegenden und gibt das Ergebnis an darüber liegende Schichten weiter. Die unteren Schichten sind oft dafür zuständig, grundlegende Operationen durchzuführen, die höheren Schichten erledigen die komplexeren Aufgaben, müssen sich aber um die einfachen Arbeiten nicht kümmern. Es eignet sich sehr gut, hierarchisch aufeinander aufbauende Verarbeitung zu modellieren, hat aber den Nachteil, ob seiner starren Struktur unflexibel zu sein. Ein Beispiel für ein Schichten-

modell ist die OSI-Architektur für den Datenverkehr in Netzwerken (Black 1991; Rose 1990).

In einem Programm nach dem Pipeline-Modell (zu Deutsch etwa „Reihen- o. Schlangenmodell“) arbeiten die unterschiedlichen Verarbeitungsschritte hintereinander. Dies ist etwa vergleichbar mit einer Menschenschlange, durch die ein Paket von vorne nach hinten durch gereicht wird und jeder kann mit dem Paket machen, was er will und es dann weitergeben. Im Pipelinemodell kann die Anordnung der Verarbeitungsschritte relativ flexibel erfolgen. Es eignet sich sehr gut, um in ihrer Struktur gleich bleibende Datenpakete zu verarbeiten oder flexible Verarbeitungslinien zu gestalten. Ein Beispiel für ein Pipeline-Modell ist die Implementation der Grafikverarbeitung in OpenGL (Richard et al. 2004; Neider et al. 1994).

Auf einer anderen Ebene aber nach dem gleichen Prinzip arbeiten Prozessarchitekturen. Hier arbeiten verschiedene Prozesse sequentiell hintereinander zusammen. Ein maßgebliches Merkmal einer Prozessarchitektur ist, dass die verschiedenen Prozesse zur gleichmäßigen Auslastung auf mehreren Rechnern ausgeführt werden können.

Eine Lastverteilung sollte auch bei der angedachten Lösung durch eine transparente Kommunikation über Netzwerkschnittstellen möglich sein, damit die Last der Verarbeitung verschiedener Funktionskomponenten gegebenenfalls auf mehrere Rechner verteilt werden kann. Weiterhin soll die nur festlegen, welche Komponenten notwendig sind, was sie verrichten, über welche Schnittstellen sie Daten in welchem Format austauschen und wie die einzelnen Komponenten zusammenarbeiten.

Nach den Überlegungen zu den Designaspekten einer Architektur für die Verarbeitung und Reaktion auf den emotionalen Zustand des Menschen, wirft die Arbeit einen Blick auf die Umsetzungsmöglichkeiten von Adaption.

3.3 Adaptive Interaktion als Lernprozess

In der Interaktion zwischen Nutzer und Anwendung können sich die Gegebenheiten immer wieder ändern, sowohl beim Nutzer (sein Plan ändert sich, er will etwas anderes machen), als auch im System. Daraufhin soll das System angemessen reagieren und entscheiden, welche Maßnahmen für die Veränderung der Benutzungsoberfläche und ihres Verhaltens ausgewählt werden. Auf Grund des dynamischen Charakters der Umgebung und weil man letztendlich an einer Generalisierung der Erkenntnisse über den Adaptionserfolg interessiert ist, hilft es wenig, einen starren Mechanismus nach dem „Wenn... , dann...“ Muster zu entwerfen. Für solche dynamischen Probleme ist ein Ansatz erforderlich, der lernfähig ist und autonom agieren kann - ein Agent.

Lernen wird als eine Verallgemeinerung aus speziellen Beispielen auf die generellen Eigenschaften des untersuchten Konzeptes verstanden. Dies geschieht in zwei Schritten: Zuerst wird aus den Trainingsdaten, in denen Eigenschaften des Konzeptes und seine Zuordnung zu einer Klasse bekannt sind, gelernt. Danach werden Testdaten, die nur noch die Eigenschaften enthalten, durch den Lernalgorithmus klassifiziert. Es geht darum, den Fehler bei der Zuordnung von Testdaten möglichst zu minimieren. Dabei spielen beim Lernen (auch beim maschinellen) Vorwissen und Annahmen eine wichtige Rolle. Sie legen den Hypothesenraum fest, in dem nach einer passenden Erklärung für die beim Training verarbeiteten Daten gesucht wird. Da Vorwissen und Annahmen auch falsch

sein können, ist nicht sicher, ob der Hypothesenraum richtig gewählt wurde und zu den Testdaten passt. Es können also durchaus neue Beispiele falsch klassifiziert werden. In jedem Fall geht es darum, einen Lernalgorithmus zu finden, der eine Hypothese findet, die dem Klassifizierungsproblem bestmöglich angemessen ist und idealerweise gut generalisiert. Potentiell stehen beim Lernen verschiedene klassische Verfahren zur Disposition: z.B. Entscheidungsbäume, Neuronale Netze, Bayessche Netze, *Support Vektor Machines* und andere (für eine ausführliche Abhandlung des Themas siehe Russell u. Norvig (1995)). Es gibt kein Lernsystem, das generell besser oder schlechter als andere wäre. Ein gutes Lernsystem für ein Problem mag ein schlechtes für ein anderes Problem sein (sog. „No free lunch theorem“). Die Entscheidung für oder wider eines Lernsystems wird im Anwendungsfall besonders durch die speziellen Eigenschaften der Eingabegrößen bestimmt, die im Folgenden kurz für das in dieser Arbeit vorliegende Problem dargelegt werden:

1. Die Annahme, dass der Metabolismus des Nutzers, der Größen wie Herzschlagrate und Hautfeuchte verändert, nur durch die Spielsituation beeinflusst wird, ist idealisiert und entspricht nur selten der Realität. Die wirklichen Einflussfaktoren zu separieren und so eine gültigen Ursache-Folge Relation zu definieren, ist nahezu unmöglich. Die Sensordaten als Eingabegrößen für die Emotionsklassifikation sind daher mit einem Rauschen behaftet, das nicht quantifiziert werden kann. Folglich kann die daraus errechnete Klassifikation keinen Anspruch auf absolute Unfehlbarkeit erheben.
2. Die Klassifizierung selbst ist praktisch unsicher, weil die Erhebung der Sensordaten auch mit Unsicherheit belegt sind. Die Sensoren sind auf den stetigen Hautkontakt angewiesen, der von verschiedenen, praktisch nicht kontrollierbaren Faktoren beeinflusst werden kann. So können die Sensordaten verfälscht werden, womit keine fehlerfreie Datenbasis für die Klassifizierung mehr gegeben ist.
3. Die Klassifizierung ist auch potentiell unsicher, weil die für die Klassifizierung eingesetzten Verfahren nicht mit absoluter Genauigkeit feststellen können, ob eine bestimmte Sensordatenkonfiguration einen Emotionszustand widerspiegelt. Sie geben als Abschätzung einen Wahrscheinlichkeitswert zurück, der mit den eingesetzten Verfahren durchaus variieren kann.
4. Vorkenntnisse, die auf gleiche Art in Versuchen mit einer Klassifikation gewonnen wurde und die ebenfalls die unter 2. und 3. genannten Eigenschaften aufweisen, müssen daher ebenfalls als unsicher gelten.

An dieser Stelle soll anfangs das induktive Lernen (engl. *concept learning*) als Einstieg in das Thema maschinelles Lernen vorgestellt werden, um danach Lösungsmöglichkeit für die adaptive Aktionsauswahl zu entwickeln und ihre Eignung auf dem Hintergrund der o.g. Eigenschaften zu evaluieren.

3.3.1 Induktives Lernen

Die Idee des induktiven Lernens ist, eine Funktion aus Beispielen zu lernen. Die Annahme ist, dass eine Hypothese, die für eine hinreichend große Beispielmenge die Zielfunktion gut annähert, die Funktion auch gut für unbekannte Beispiele annähern wird.

Induktion bedeutet, aus gegebenen Fakten neue Fakten zu mutmaßen, z.B. sei bekannt $\text{Fliegt}(\text{Amsel})$, $\text{Fliegt}(\text{Storch})$ und $\text{Vogel}(\text{Amsel})$, $\text{Vogel}(\text{Storch})$ so folgt daraus $\text{Fliegt}(\text{Vogel})$ - es wird vom Speziellen zum Allgemeinen gefolgert.

Formell bedeutet dies: Mit Hilfe einer Menge D von vorliegenden Trainingsbeispielen soll eine passende Hypothese h aus der Menge H aller Hypothesen extrahiert werden. Dazu liegen die Beispiele der Form $\langle x, f(x) \rangle$ einer unbekannten Funktion $f(x) = y$ vor, die mittels eines überwachten Lernprozesses zu einer guten Approximation von f führen sollen (h ist damit ein Vorschlag für eine Funktion, die mutmaßlich ähnlich zu f ist). Das induktive Lernen kann z.B. bei der Diagnose von Krankheiten (x entspräche dabei einem Eingabevektor mit Patientendaten, f der vorliegenden Krankheit) und der Risikoeinschätzung von Versicherungsnehmern (x entspräche dem Eingabevektor mit Eigenschaften des Kunden, f der Risikoeinschätzung) eingesetzt werden.

Beschränkt man den Hypothesenraum (Menge aller möglichen Hypothesen, die das Lernsystem erlaubt) nicht, besteht die Menge aller möglichen Funktionen F^* aus dem Kreuzprodukt aller Eingangsgrößen, deren Mächtigkeit gegeben ist durch $|X \rightarrow Y| = |B|^{|A|}$

Ausgehend vom Fall einer Booleschen Logik wären bei vier Attributen schon $2^{(2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2)} = 65536$ mögliche Kombinationen zwischen den Attributen zu betrachten. Mit jedem Beispiel werden dann nicht passende Hypothesen aus der Menge H gestrichen. Diese Vorgehensweise ist noch kein Lernansatz, da hier nur die Klassifizierung von vorher „Gesehenem“ durch die Speicherung aller hypothesenkonformen Beispiele, mit denen ein zu testendes Element x verglichen werden kann, möglich ist.

Um die beabsichtige Generalisierung möglich zu machen, muss man bestimmten Thesen durch strukturelle Einschränkungen bevorzugen. Der sog. „induktive Bias“ beschreibt alle Grundannahmen, die in dem Lern- und Klassifikationsverfahren stecken. Die Menge der möglichen Hypothesen wird durch den induktiven Bias enorm verkleinert. Der Suchraum schrumpft und beschränkt die möglichen Lösungen h , die f annähern können. Erst durch die Festlegung vorgegebener Annahmen über das zu beschreibende Konzept wird es möglich, nicht nur bekannte Beispiele einzuordnen, sondern mit den im Training erlernten Konzepten neue Daten zu bewerten. Erst Generalisierung zeichnet Lernen aus.

Das induktive Lernen entspricht dem Suchen und Finden der richtigen Hypothese h im Hypothesenraum H . Dabei wird angenommen, dass keine Daten im Trainingsdatensatz fehlen, dass die Daten nicht widersprüchlich oder verrauscht sind und dass es eine Hypothese h in H gibt, die konsistent mit D ist (also f annähert). Diese Annahmen sind in der Praxis nur selten anzutreffen und können als idealisiert gelten. Im zu Grunde gelegten Szenario handelt es sich um Daten von der Sensorik zu tun, die häufig verrauscht, nicht unbedingt kalibriert sind und manchmal ausfallen - schlechte Voraussetzungen für den Einsatz des induktiven Lernens.

3.3.2 Entscheidungsbäume

Ein Entscheidungsbaum ist seiner Form nach ein gerichteter azyklischer Graph (DAG). Dabei steht jeder Knoten für eine mit einer Wahrscheinlichkeit behafteten Variable, während die Kanten die Abhängigkeiten zwischen den Variablen modellieren. Es gibt einen Wurzelknoten, innere Knoten und Blätter. Wurzelknoten und innere Knoten korrespondiert zum Test einer Eigenschaft. Sie sind die Entscheidungsstellen. Blätter geben die Klassen wieder, in die eingeordnet werden kann. Die von den Knoten abgehenden Kan-

ten sind mit möglichen Antworten auf die im Entscheidungsknoten spezifizierten Testkriterien belegt. Sie repräsentieren den Übergang zur nächsten Ebene in der Baumhierarchie. Voraussetzung für die Überführung einer Hypothese in einen Entscheidungsbaum ist, dass sie als disjunktive Normalform darstellbar ist. Aus ihr wird dann der DAG konstruiert.

Ihrer Funktion nach ordnen Entscheidungsbäume Instanzen eines Klassifikationsproblems anhand der in den inneren Knoten spezifizierten Testkriterien genau einem Blatt / einer Klasse zu. Entscheidungsbäume werden z.B. in der medizinischen oder technischen Diagnose und der Risikoanalyse bei Krediten und Versicherungen angewendet.

Entscheidungsbäume sind immer dann gut, wenn die Instanzen mit nominalen oder quantifizierbaren Attribut-Wert-Paaren beschreibbar sind, z.B. die eindeutige Zuordnung „Gewicht : >20kg (schwer)“ oder „Gewicht : <5kg (leicht)“, und die Zielfunktion diskrete Werte zulässt. Will man eine kontinuierliche Funktion mit einem Entscheidungsbaum auswerten, muss diese zuvor diskretisiert werden. Entscheidungsbäume sind vorteilhaft, falls große Mengen an Beispielen effizient verarbeitet werden müssen, aber nachteilig, wenn sehr viele Attribute vorhanden sind. Bei sehr vielen Attributen fällt es immer schwerer, zu bestimmen, welches als nächster Entscheidungsknoten in den Baum aufgenommen wird. Ziel ist, die Trainingsdaten in Mengen aufzuteilen, die manche Attribut-Wert-Paarung nur selten besitzen. Dadurch wird der Baum flacher und kann schneller abgearbeitet werden. Doch die Bestimmung des optimalen Baums (möglichst flach - sog. „Occam's Razor“ Kriterium), der mit den Trainingsdaten konsistent ist, ist NP-schwer und nicht mehr in polynomialer Laufzeit optimal zu lösen. Als Approximation wird daher meist eine Heuristik benutzt, die ähnlich einem Greedy-Algorithmus nach der nächstbesten Lösung sucht. Nachteilig ist an diesem z.B. auch im ID3-Algorithmus eingesetzten Verfahren, dass es zwar robust gegenüber mit Fehler besetzten Daten ist, aber sich bei neuen Daten nicht anpasst, sondern komplett neu lernen muss. Weiterhin ist das Verfahren nicht ausgewogen, sondern birgt eine Neigung (engl *bias*), die sich auf das Klassifikationsergebnis auswirken kann. Erstens kann das Verfahren das Wissen (die Hypothesen) nur in Form von Konjunktionen repräsentieren (sog. Sprachbias). Zweitens bevorzugt der Lernalgorithmus spezielle Hypothesen (sog. Präferenzbias): Durch die Suchheuristik werden kurze Hypothesen (entspricht flachen Bäumen, s.o. „Occam's Razor“) eher bevorzugt als lange. Dieser Nachteil ist mehr von theoretischer denn von praktischer Relevanz, weil in der Praxis kurze Hypothesen sowieso bevorzugt werden, denn lange Hypothesen können mit einer höheren Wahrscheinlichkeit Daten nur zufällig vorhersagen. Der Zufall soll jedoch ausgeschlossen werden. Auch bedeuten lange Hypothesen eine unnötige Spezialisierung, die später nicht gebraucht wird. Eine zu hohe Spezialisierung würde nur eine Überangepasstheit an die Trainingsdaten bedeuten (quasi ein Auswendiglernen) und die Vorhersagegenauigkeit für unbekannte Testdaten mindern, weil die Generalisierung erschwert wird. Einen beispielhaften Vergleich von Netzen niedriger und hoher Komplexität anhand der Vorhersagequalität und der Übereinstimmung mit den Trainingsdaten zeigt Abbildung 3.1.

Die Eigenschaften der Eingabegrößen müssen (siehe Abschnitt 3.3) bei der Implementierung des Interaktionsagenten, der bisher immer nur als Black-Box gesehen wurde, beachtet werden. Mit der klassischen Sichtweise der Booleschen Logik können Probleme, die auf mit Unsicherheit behafteten Daten beruhen, nur schwer zufriedenstellend gelöst werden, weil sie immer davon ausgehen, dass eine Aussage entweder wahr oder falsch ist. Die Aussage: „Zu 80% wahr, aber es könnte auch anders sein“ macht in der Booleschen

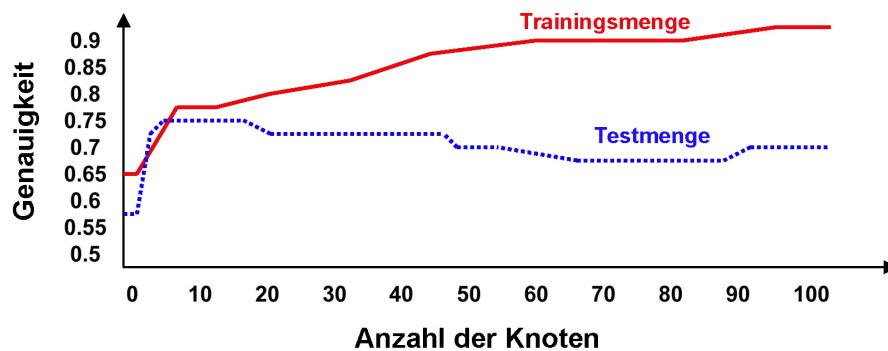


Abbildung 3.1: Bei zunehmender Komplexität passt das erlernte Netz immer besser zu den Trainingsdaten, wird aber gleichzeitig schlechter bei der Vorhersage unbekannter Testdaten: es ist überangepasst (engl. *overfitting*).

Algebra keinen Sinn und ist dort auch nicht abbildbar. Doch mit eben gerade solchen Ausgangsdaten müsste das Verfahren arbeiten. Zur Verwirklichung der gewünschten Funktionalität sind Entscheidungsbäume daher nur eingeschränkt geeignet.

3.3.3 Neuronale Netze

Künstliche Neuronale Netze (KNN) zeichnen sich durch ihre Lernfähigkeit aus. Anhand von Trainingsbeispielen können sie bestimmte Sachverhalte lernen, ohne dafür explizit programmiert werden zu müssen. Sie bestehen aus idealisierten, künstlichen Neuronen (auch Perzeptron genannt), die sich dem biologischen Vorbild entsprechend aus den Teilen Input, Verarbeitung und Output zusammensetzen. Jedes Perzeptron kombiniert die Signale, die es von anderen Neuronen übermittelt bekommt mittels einer Aktivierungsfunktion. Mit Hilfe einer Übertragungsfunktion (in der Regel eine Sigmoidalfunktion) wird festgelegt, welcher Wert an das nächste Perzeptron weitergegeben wird. Die Stärke der Verbindungen (sie entsprechen den Synapsen) wird durch einen numerischen Wert, dem Kantengewicht dargestellt. Ein einzelnes Perzeptron kann nur einfache, linear trennbare Probleme lösen. Ein Verbund von Perzeptronen ist jedoch in der Lage, jede Funktion $y = f(x)$ beliebig zu approximieren.

Die Struktur eines Neuronalen Netzes ist durch die Anzahl der Elemente, durch die besondere Topologie und durch die Art der Aktivierungs-Funktion definiert. Das „Wissen“ eines Neuronalen Netzes (langzeitiger Speicher, Programm) sitzt in der Gesamtheit und in der Aktivierungsschwelle der Elemente. Dieses Wissen hat keine deutliche symbolische Form, sondern ist eine Verkettung von Faktoren, Konstanten und Gewichten, deren Zusammenhang im Vergleich zum Modell einer multiplen Regression nicht einfach zu erkennen ist. Die „Daten“ eines Neuronalen Netzes (d. h. die Informationen über ein einzelnes Beispiel, kurzzeitiges Gedächtnis) sitzen in den Aktivierungswerten, die die Elemente nach einem Eingangssignal annehmen.

Wichtig in allen Ansätzen zu künstlichen neuronalen Netzen ist, dass sie das „Neuron“ als kleinste eigenständige Recheneinheit vorsehen und dies in seinem Aufbau relativ einfach ist. KNN arbeiten theoretisch massiv parallel, können diesen Vorteil aber bei der gegenwärtigen Rechnerarchitektur nur schwer zur Geltung bringen (da heutige Standardcomputer größtenteils seriell arbeiten). Das Lernen mittels KNN erfolgt durch das

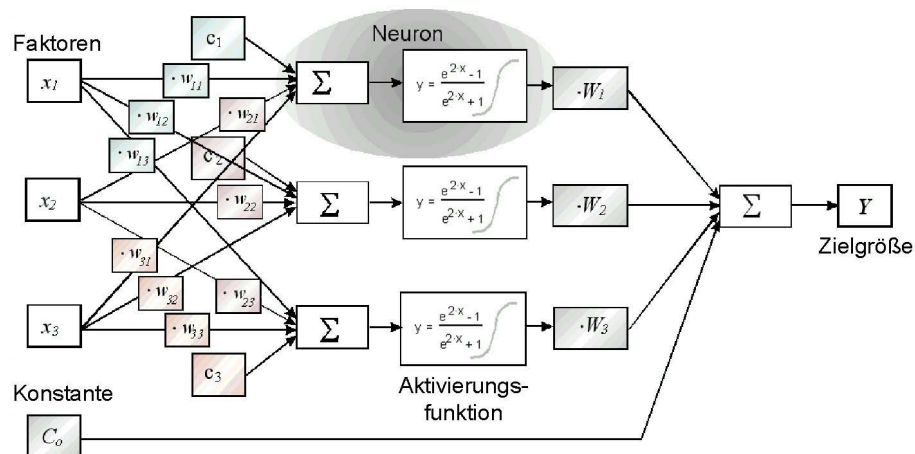
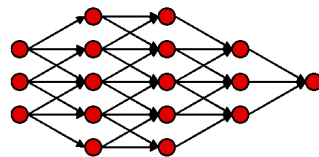


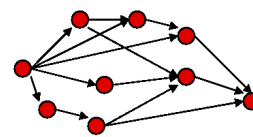
Abbildung 3.2: Prinzipieller Aufbau eines Neuronalen Netzes

Einstellen der Gewichte an den Ausgängen der Neuronen. Eine Einteilung der Modelle ist nach Neuronentyp, Lernregel oder Netzstruktur möglich. So gibt es mehrschichtige (engl. *multi-layer*), vorwärtsgerichtete (engl. *feedforward*), symmetrisch und asymmetrisch rückgekoppelte (engl. *backpropagation*) Netze (siehe Abbildung 3.3).

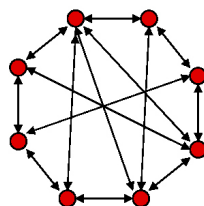
Multilayer



Feed-Forward



Rückgekoppelt (Relaxation), symmetrisch



Rückgekoppelt (Relaxation), asymmetrisch

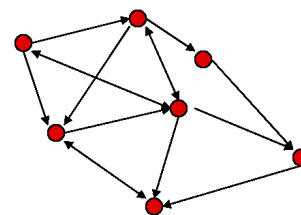


Abbildung 3.3: Arten von Neuronalen Netzen (aus Malaka (2004))

Ein wichtiges „generisches“ Lernverfahren für KNN ist die Rückkopplung. Dabei sind für jede zu lernende Eingabe die Ziel-Ausgaben bekannt, die im Lernvorgang zur Anpassung der Gewichte im neuronalen Netz verwendet werden. Das Verfahren erfordert einige Handarbeit, weil die Eingaben bewertet werden müssen (sog. überwachtes Lernen), kommt jedoch schnell zu guten Ergebnissen. Grundsätzlich lassen sich mit Rückkopplung trainierbare Netze für dreierlei Problemtypen verwenden, die sich zum Teil überschneiden: Klassifizierung, Funktions-Approximierung und Vorhersage. Ein Klassifizierungsproblem wäre beispielsweise die Einordnung eines Bankkunden als kredit-

würdig bzw. nicht kreditwürdig anhand der über ihn gespeicherten Daten. Zum Bereich der Funktions-Approximierung zählt die Regelung der Temperatur in industriellen Härtingsöfen. Die Prognose des DAX-Standes von morgen anhand der Werte der letzten fünf Wochen stellt ein Vorhersage-Problem dar.

Aus dem Aufbau und der Funktionsweise eines Künstlichen Neuronalen Netzes ergibt sich, dass es zwar viele Eingänge verarbeiten kann, aber immer nur einen Wert zurückgibt. Dies ist möglicherweise eine gewollte Dimensionsreduktion, kann aber auch Nachteile haben, z.B. wenn eine abgestufte Auswertung über mehrere Kriterien erforderlich ist. Im Falle des hier gegebenen Problems der Aktionsauswahl wäre dies eine hinderliche Beschränkung. Es könnte zwar eine Empfehlung für eine vorher festgelegte Kombination von Maßnahmen gegeben werden, nicht jedoch eine differenzierte Empfehlung, inwiefern jede einzelne Maßnahme zur Verbesserung des Spiels beitragen könnte. Die differenzierte Aktionsauswahl über mehrere Dimensionen ist mit neuronalen Netzen nicht so einfach möglich.

3.3.4 Bayessche Netze

Ein Bayessches Netzwerk (BN) - auf englisch auch „belief network“ genannt - besteht aus zwei Teilen: einer meist grafisch dargestellten Struktur und einer dahinter liegenden mathematischen Semantik. Die Struktur ist ein gerichteter azyklischer Graph (DAG). Jeder Knoten steht für eine mit einer Wahrscheinlichkeit behafteten Variable, während die Kanten die Abhängigkeiten zwischen den Variablen modellieren. Klassische Bayessche Netzwerke enthalten nur diskrete Variablen. Das bedeutet (wenn man einen Knoten mit einer Variable identifiziert), dass jeder Knoten eine Menge an Zuständen besitzt, die er einnehmen kann. Jedem der Wahrscheinlichkeitsknoten ist weiterhin eine Tabelle zugeordnet, in der zu jeder Kombination der Zustände seiner Elternknoten im Netz die bedingten Wahrscheinlichkeiten dafür, dass der Knoten einen seiner Zustände annimmt, angegeben sind. Diese Tabelle heißt Wahrscheinlichkeitstabelle (engl. *Conditional Probability Table* (CPT)). Sie kann für einen Knoten X auch als Funktion $\psi : \text{parents}(X) \cup X \rightarrow [0, 1]$ angesehen werden. Durch die Struktur des Netzwerks und die Wahrscheinlichkeitstabelle ist das Bayessche Netzwerk komplett bestimmt.

Einfache und komplexe Bayessche Netze

Abbildung 3.4 zeigt beispielhaft ein Bayessches Netz mit fünf Knoten (aus Russell u. Norvig (1995)). Es modelliert, ob eine Alarmanlage in einem Haus aktiv wird, während der Besitzer verreist ist, und ob dann einer seiner Nachbarn (Mary und John) den Besitzer anruft, um ihn davon zu informieren. In diesem Netzwerk sind nur boolsche Variablen enthalten, jeder Knoten hat also genau zwei Zustände (wahr/true oder falsch/false). In den CPTs sind die Wahrscheinlichkeiten für den Zustand *false* jeweils der Übersicht wegen weggelassen, da stets $P(X = \text{false} | \text{parents}(X)) = 1 - P(X = \text{true} | \text{parents}(X))$ gilt. Zur Interpretation des Netzwerks und der CPTs einige Beispiele:

- Ein Erdbeben (Earthquake, E) tritt mit Wahrscheinlichkeit von 0,002 und ein Einbruch (Burglary, B) mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,001 auf.
- Ob der Alarm losgeht, hängt davon ab, ob es einen Einbruch oder ein Erdbeben gab. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit für einen Alarm nur auf Grund eines Einbruchs wesentlich höher (0,94) als nur auf Grund eines Erdbebens (0,29). Falls nur

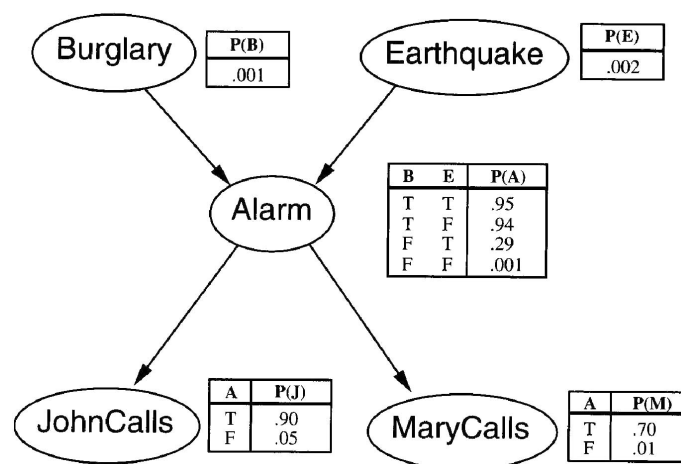


Abbildung 3.4: Beispiel eines einfachen Bayesschen Netzwerks (aus Russell u. Norvig (1995))

ein Erdbeben stattfand, wird der Alarm also mit einer Wahrscheinlichkeit von 71% nicht losgehen. Nur in äußerst seltenen Fällen tritt ein Fehlalarm ohne Erdbeben oder Einbruch auf (0,001).

- John ruft bei einem Alarm mit einer höheren Wahrscheinlichkeit an (JohnCalls: 0,9) als Mary (MaryCalls: 0,7). Er ruft aber fünfmal so oft an, auch wenn es keinen Alarm gab.

Falls der Zustand eines oder mehrerer Knoten bekannt ist (dies wird als Evidenz bezeichnet), so kann man daraus auf die Wahrscheinlichkeiten für die Zustände der anderen Knoten schließen. Diesen Vorgang nennt man Inferenz. Bezogen auf das obige Beispiel bedeutet dies, dass man berechnen kann, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Einbruch stattgefunden hat, wenn Mary anruft. Diese Eigenschaft ist für den Erkenntnisgewinn über Fälle unabdingbar, bei denen die Evidenz des Endknoten bekannt ist und zu dieser Evidenz die erklärenden Gewichtungen (engl. *explanation*) der anderen Knoten berechnet werden sollen.

Komplexe BN können vielfach besser klassifizieren als einfache. Dies geht einher mit der Eigenschaft, dass im Lernprozess eine signifikante Änderung in den Eingangsdaten durch die vielfache Bearbeitung nur noch eine unbedeutende Änderung in den einzelnen Knotengewichten bewirkt - das Lernen geht langsam. Nach der Trainingsphase kann es im schlechtesten Fall dazu kommen, dass BN so „gut“ sind, dass sie als übertrainiert gelten müssen: die Klassifizierungsqualität für Testdaten nimmt ab, während sie für die Trainingsdaten weiter zunimmt (vgl. Abbildung 3.1). Dies kann als Auswendiglernen aufgefasst werden, die Generalisierungsfähigkeit nimmt ab. Dieser „Fehler“ ist durch die unterschiedliche Struktur bei einfachen Netzen schneller zu beheben als bei komplexen.

Egal, ob es sich um einfache oder komplexe Netze handelt (zuma es für deren Unterscheidung keine objektive Grenze gibt) - die Vorteile Bayesscher Netze sind:

- Inhärente Modellierung der Unsicherheiten und Wahrscheinlichkeiten, die von im Anwendungsgebiet erfahrenen Experten auch gut zu bewältigen ist
- Modellierung von Kausalbeziehungen und probabilistischer Unabhängigkeit

- Strukturierung komplexer Zusammenhänge
- Einfache Modellierung von nicht idealen Sensoren
- Möglichkeit des Schlussfolgerns/der Interferenz (nicht nur kausal, sondern auch diagnostisch und interkausal) unter stetiger Einbeziehung von Wahrscheinlichkeiten
- Kompakte und verständliche Repräsentation von komplexen Wahrscheinlichkeitsfunktionen - dadurch sind BN von Menschen relativ einfach nachzuvollziehen und zu überprüfen
- Möglichkeit des automatischen Lernens anhand von Beispielen, mit einigen Verfahren auch Verstärkungslernen
- üblicherweise ausreichend schnelle Verarbeitung, dadurch sind BN für das Online-Lernen geeignet

Aufgrund dieser Vorteile sind Bayessche Netze seit vielen Jahren ein etabliertes Mittel, um Zusammenhänge zwischen mit Wahrscheinlichkeiten behafteten Variablen zu modellieren und zu berechnen. Sie eignen sich, um Schlüsse aus unsicheren Daten zu ziehen und Entscheidungen zu treffen. Als weiterführende Literatur, die sich eingehend mit Bayesschen Netzen beschäftigt und zum Beispiel Inferenzalgorithmen vorstellt, um das Lernen mit BN zu ermöglichen, seien Pearl (1988); Russell u. Norvig (1995) empfohlen. Eine gute Einführung zur Modellierung von Bayesschen Netzen unter Einbeziehung von weiterführenden Netzelementen bietet Jensen (2001).

Vergleich zwischen Bayesschen und Neuronalen Netzen

Die mathematische Methode und die graphische Struktur Bayesscher und Neuronaler Netze erscheinen recht ähnlich. Dennoch bestehen große Unterschiede zwischen den beiden (u.a. besprochen in Russell u. Norvig (1995)):

- Bayessche Netze sind eine lokale Repräsentation der Wahrscheinlichkeitsfunktion. Das bedeutet, dass man in sie „hineinschauen“ kann: Man kann die CPTs der einzelnen Knoten betrachten und überlegen, ob die Werte sinnvoll sind. Weiterhin kann man erkennen, durch welche Werte bestimmte Ausgaben erzeugt werden. Neuronale Netze dagegen repräsentieren ihre Funktion als Ganzes, und die Werte der einzelnen Neuronen sind für sich genommen bedeutungslos.
- Inferenz bei Bayesschen Netzen ist deutlich langsamer und ist im allgemeinen Fall sogar NP-hart. Andererseits können Bayessche Netze kleiner sein als die entsprechenden Neuronalen Netze.
- Vor dem Training lassen sich in Bayesschen Netzen sinnvolle Vorgaben für die Wahrscheinlichkeitstabellen machen und so Startwerte festlegen, die die Anzahl der benötigten Beispiele stark reduzieren. Hinsichtlich des Verstärkungslernens kann ein Bayessches Netz so auch im untrainierten Zustand schon vernünftige Ergebnisse liefern und von diesem Stand aus weiter lernen.
- Bayessche Netze können Inferenz in jede Richtung durchführen, während bei Neuronalen Netzen Ein- und Ausgabevariablen festgelegt sind.

- Bayessche Netze haben eine zweidimensionale Ausgabe über ggf. mehrere Knoten: Einerseits die Zustände, andererseits die Wahrscheinlichkeiten für jeden Zustand. Dadurch können BN eine feiner strukturierte Ausgabe erzeugen als Neuronale Netze, die in jedem Fall nur einen Ausgangsknoten haben.

Die Vorteile der Bayesschen Netze sind insbesondere dann groß, wenn sich schon die Problemstellung in kleinere Fragestellungen aufteilen lässt. Dies ist z.B. häufig beim automatischen Schlussfolgern und Entscheiden der Fall. Neuronale Netze dagegen sind besser für Probleme geeignet, die als Ganzes betrachtet werden müssen, wie beispielsweise Bilderkennung und -verstehen, und für Probleme mit sehr vielen Eingabevariablen. Andere Forscher haben Bayessche Netze erfolgreich zum Thema Emotionen eingesetzt und beispielsweise mit ihnen modellieren können, wie sich Gestik und Körperhaltung unter ihrem Einfluss ändern (Ball u. Breese 2000). Younes (1998) haben die generelle Eignung Bayesscher Netze in Echtzeit-Anwendungen hinsichtlich ihrer Inferenzgeschwindigkeit untersucht und für gegeben erachtet.

Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit

Aus der Betrachtung der Vorläuferarbeiten ist zu erkennen, dass bisher wenig versucht wurde, eine Architektur zu entwickeln, die nur darauf spezialisiert ist, physiopsychologische Daten aus der Interaktion zwischen Mensch und Maschine für eine Adaption der Benutzungsschnittstelle nutzbar zu machen.

Das Adaptionziel ist, den Benutzer in einem für die Arbeitsausführung günstigen Zustand zu halten. Die generell günstigen Zustände sind im Valenz-Erregungsdiagramm in einem zentraler Bereich zu finden. Die besonders günstigen treten vermehrt im Quadranten mit positiver Valenz und positiver Erregung (siehe Abbildung 2.3).

Um eine Applikation im Framework beeinflussen zu können, muss von ihr bekannt sein, welche Adaptionewege sie bedienen kann und wie diese angesteuert werden. Außerdem muß sie eine entsprechende Schnittstelle zur Verfügung stellen, über die sie Steuerkommandos empfangen kann.

Der Zusammenhang zwischen Manipulationen und Reaktionen und der Zusammenhang zwischen Emotionen und physiologischen Daten lässt sich gut durch Bayessche Netze darstellen. Die zu verarbeitenden Daten haben Eigenschaften (siehe 3.3), für die BN vorteilhaft sind. Aus ihnen sollen Schlüsse, die ebenfalls eine gewisse Wahrscheinlichkeit haben, gezogen werden. Mit BN können diese Wahrscheinlichkeiten während des gesamten Verarbeitungsprozesses beibehalten und je nach Situation flexibel gehandhabt werden. Vor allem geht beim probabilistischen Schließen keine Information verloren: Schwellwerte werden nicht am Anfang eingesetzt, sodass die ursprünglichen Wahrscheinlichkeiten stets in der Rechnung erhalten bleiben. Schwellwerte müssen erst am Ende, wenn eine Aktion ausgewählt werden soll, zum Einsatz kommen. Sie sind zudem leichter zu überprüfen als neuronale Netze und lassen Aussagen über mehrere Dimensionen (Knoten) gleichzeitig zu. Diese werden gebraucht, um nicht nur eine Maßnahme zu steuern, sondern in jeder Situation eine aggregierte Maßnahme, bestehend aus verschiedenen Einzelmaßnahmen, als Steuersequenz zusammenzustellen.

Kapitel 4

Lösungsansatz

Nach der Klärung der theoretischen Grundlagen in Kapitel 2 und den Vorüberlegungen zu der in dieser Arbeit aufgestellten Fragestellung in Kapitel 3 wird in diesem Kapitel vorgestellt, wie die bisher definierten Rahmenbedingungen und Anforderungen praktisch umgesetzt werden können. Es beschäftigt sich erstens mit den Grundlagen der Umsetzung, um dann zweitens die im vorhergehenden Kapitel geäußerten Vorüberlegungen in eine spezielle, exemplarische Lösung einfließen zu lassen: das sog. „EmoControl“-Framework.

4.1 „(D)EmoKoffer“ - Ein System zur Emotionsinduktion, Messung und Darstellung von Emotionen

Der „(D)EmoKoffer“ der Abteilung AR2 „Human Centered Technologies“ des Fraunhofer Instituts Graphische Datenverarbeitung in Rostock ist ein Experimentalsystem zur Erforschung des emotionalen Verhaltens von Personen bei der Interaktion mit dem Computer. Dabei wurden in einem Computerspiel absichtlich Spielsituationen geschaffen, die körperliche und emotionale Reaktionen bei den Spielern hervorrufen. Durch eine nachgelagerte Auswertung der Korrelation zwischen Spielsituation, körperlicher Reaktion und emotionalem Zustand konnte herausgefunden werden, welche Spielsteinkombinationen oder physiologischen Muster typisch für welchen Gemütszustand sind.

Der „(D)EmoKoffer“ fasst alle notwendigen Komponenten zur Emotionsinduktion, Messung der physiologischen Reaktionen, Verarbeitung dieser Daten und Darstellung des Ergebnisses zusammen. Eine schematische Darstellung des „(D)EmoKoffers“ befindet sich in Abbildung 4.1. In den folgenden Unterkapiteln geht die Arbeit auf die einzelnen Komponenten ein.

4.1.1 „EmoTetris“ - Ein Computerspiel zur Emotionsinduktion

Oertel et al. (2004); Fischer (2004) konnten mittels verschiedener Computerapplikationen unterschiedliche Emotionen erzeugen. Eine Weiterentwicklung dieser Arbeiten ist das Computerspiel „EmoTetris“ (Herbort 2004a). EmoTetris lehnt sich an das Spielprinzip des populären Spiels „Tetris“ (siehe Abbildung 4.2) an und erweitert es so, dass die Emotionen Ärger, Langeweile, Freude und Zufriedenheit absichtlich hervorgerufen werden

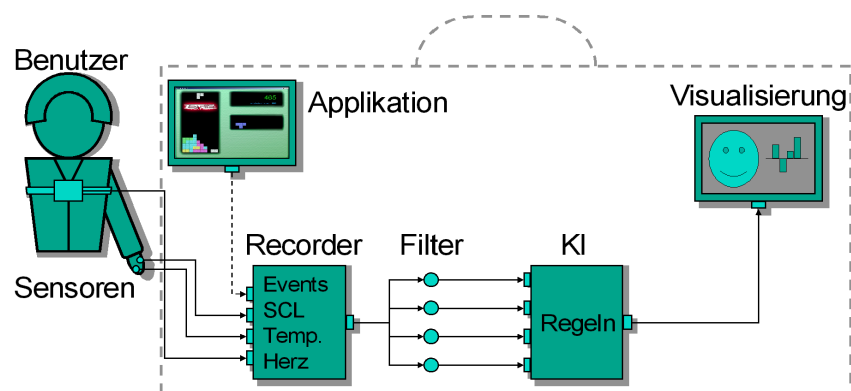


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung der Komponenten des „(D)EmoKoffers“ (rechts) mit dem ihn bedienenden Benutzer (links) (Herbort 2004b)

können (Herbort 2004b). Dies wird durch verschiedene Manipulationen hervorgerufen: Veränderungen in der Häufigkeit der unterschiedlichen Spielsteine, Spielsteine mit speziellem Verhalten, Anpassungen der Oberfläche in Grafik und Ton und die Auslösung von fördernden oder hindernden Ereignissen. Für eine genauere Darstellung Manipulationen sei auf die im Anhang dieser Arbeit befindliche detaillierte Beschreibung verwiesen.

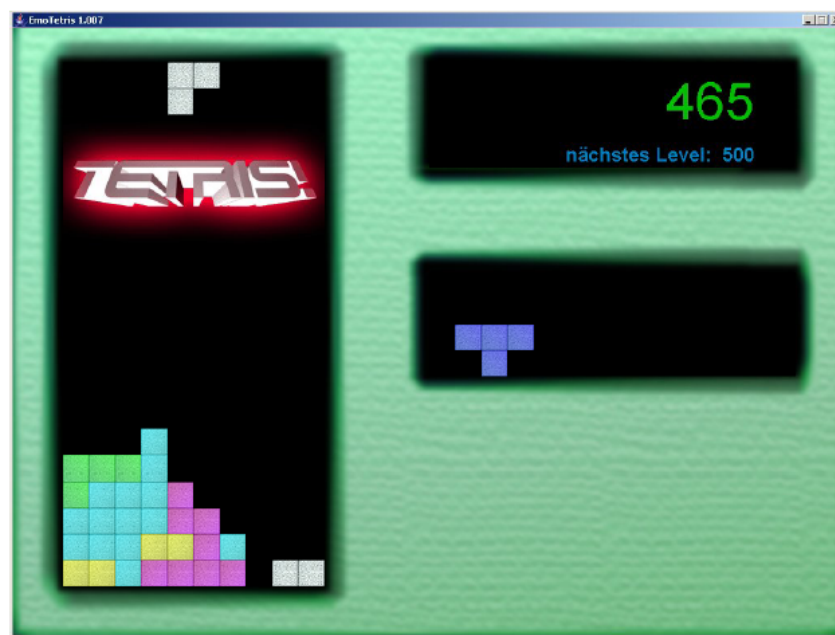


Abbildung 4.2: Spielbildschirm von EmoTetris mit Spielfläche (links) und dem sich darin auftürmenden Spielsteinestapel, Informationsbereich (rechts oben) und Spielsteinvorschau (rechts Mitte)

Da der psychologische Zustands des Spielers beim Auftreten der Manipulationen ermittelt und später mit den gemessenen physiologischen Daten korreliert werden soll, muss der Spieler etwa alle 100 Sekunden einen Fragebogen zu seinem Befinden ausfüllen. Um den emotionalen Zustand des Nutzers feiner bestimmen und nicht nur Aussagen treffen zu können, DASS sondern auch WIE STARK ein Gefühl war, wurden die Spieler dazu

aufgefordert, eine Frage nach ihrem Befinden bzw. auch nach ihrer Selbsteinschätzung auf einer kontinuierlichen Skala anzugeben, wie sie sich in dem Moment fühlten (siehe Abbildung 4.3).

Im Moment fühle ich ...

Freude		
überhaupt nicht		sehr stark

Ärger		
überhaupt nicht		sehr stark

Hilflosigkeit		
überhaupt nicht		sehr stark

Angst		
überhaupt nicht		sehr stark

Abbildung 4.3: Ausschnitt aus einem Fragebogen mit Antwortskalen

Für nähere Informationen zum Spiel EmoTetris, dessen Hintergründe und psychologischen Grundlagen sei auf den Anhang, die Arbeiten von Herbort (2004a, b) und der dort zitierten Literatur verwiesen. Anwendung hat dieser Ansatz zum Beispiel in Fischer (2005); Herbon et al. (2005) gefunden.

Erkenntnis für diese Arbeit

Die aus den Untersuchungen mit dem Spiel „EmoTetris“ gewonnenen Erkenntnisse zur Emotionsinduktion stellen für diese Arbeit eine wesentliche Grundlage dar. „EmoTetris“ wird in dieser Arbeit jedoch darüberhinaus als Testanwendung für die emotionssensitive Steuerung genutzt, da durch Voruntersuchungen bekannt ist, wie die unterschiedlichen Manipulationen ungefähr wirken. Die Steuerung kann in vier Richtungen (jede entspricht einer Emotionen) wirken: Freude, Zufriedenheit, Langeweile und Ärger. Sie wurden gewählt, weil sie untereinander im Emotionsmodell von Russell (siehe Kapitel 2.2.2) sehr gut diskriminierbar und im Raum des Emotionsmodell gleichmäßig verteilt sind. Daher können diese Emotionen als Repräsentanten eines jeden der vier Quadranten im Russellschen Modell gelten (siehe Abbildung 4.4).

4.1.2 „EmoBoard“ - Sensorik und Vorverarbeitung

Diese Arbeit stützt sich auf die in Kapitel 3.1.1 unter Punkt (2) aufgezeigten Möglichkeiten: Erkenntnisse um die Veränderung der persönlichen, körperlichen Reaktionen auf emotionserzeugende Ereignisse. Motiviert ist diese Entscheidung durch die leichte Verfügbarkeit der Daten, da sie keine teure Sensorik benötigen, wie dies z.B. bei der Analyse der Mimik der Fall wäre. Außerdem stehen diese physiopsychologischen Messgrößen in einem relativ stabilen und unbeeinflussbaren Zusammenhang mit den emotionalen Variablen Valenz und Erregung. Umgangssprachlich heißt es z.B. „Das Herz schlug ihm bis zum Halse“ - was landläufig meint, dass der Protagonist sehr erregt war und dabei eine hohe Herzfrequenz hatte. Subjektive Berichte und indirekte Beobachtungen des Verhaltens sind leichter durch den Probanden (gewollt oder ungewollt) manipulierbar.

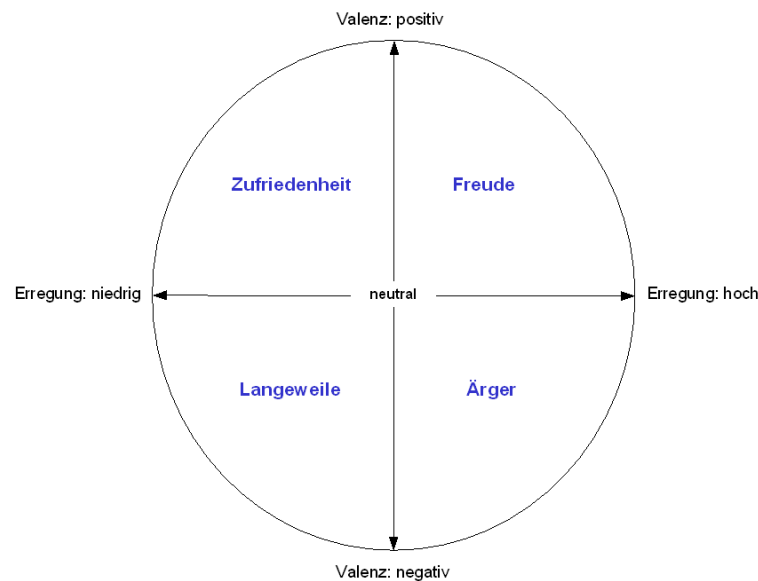


Abbildung 4.4: Vier Emotionen, die durch die Manipulation von EmoTetris erzeugt können, repräsentiert im Circumplexmodell

Mit solchen Daten bestände die Gefahr, dass sie über mehrere Versuche hinweg in dem Sinne nicht konsistent wären, dass z.B. Reaktionen unterschiedlich ausfallen und dann nicht mehr eindeutig sind. Das vegetative Nervensystem, welches die Reaktion der Ebene (2) steuert, ist dagegen nicht so leicht beeinflussbar. Die Korrelation zwischen physiologischen Variablen und den psychologischen Größen Valenz und Erregung (die den Emotionsraum im Circumplexmodell von Russell aufspannen, siehe 2.2.2) wurde durch mehrere Untersuchungen nachgewiesen (Zimmermann et al. 2003).

Die physiologischen Reaktionsmuster des Probanden werden anhand dreier Variablen erfasst: der Hautleitwiderstand, die Herzfrequenz und die Hauttemperatur. Die weite Verbreitung der Messgrößen in der Experimentalforschung im Bereich HCI und deren Nutzung in vergleichbaren Studien (z.B. auch in Picard (1997)) haben diese Entscheidung getragen. Alle Sensoren sind an ein Steuergerät (das „EmoBoard“, siehe Abbildung 4.5) angeschlossen, das die elektrischen Sensordaten sammelt, evaluiert, in ein für den Computer verständliches Format umwandelt und über einen seriellen Port verfügbar macht bzw. speichert. Die Daten werden nach der Digitalisierung im „EmoBoard“ an einen PC geschickt, der dann Meß-, Verhaltens- und Systemdaten synchronisiert und gleich für die Spielsteuerung verarbeitet oder für eine spätere Auswertung (z.B. eine Lernphase) abspeichert (siehe nächstes Kapitel).

Für mehr Informationen zu diesem Teil der Signalverarbeitung sei auf den Anhang, die Diplomarbeit von Eric Ebert (Ebert 2005) und andere dazu erschienene Arbeiten (Beikirch et al. 2005; Peter et al. 2005) verwiesen.

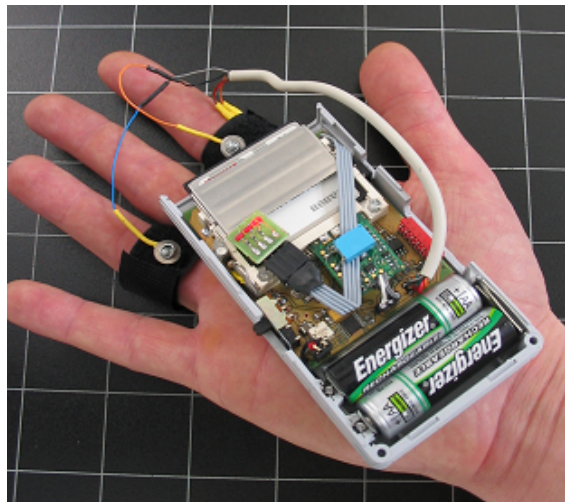


Abbildung 4.5: Sensorik und Steuergerät zur Erfassung der physiologischen Größen Puls, Hautwiderstand und Hauttemperatur

4.1.3 Maschinelles Lernen: Lern- und Abrufphase

Die von der Sensorik gelieferten Daten nutzt ein System der Künstlichen Intelligenz, um zu analysieren, welche Muster von physiopsychologischen Signalen auf die Aktivierung einer bestimmten Bedingung folgen. Eine Bedingung ist dabei - wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben - durch eine Kombination von bestimmten Grafiken, Tönen, Spielsteinen, Vorschaulänge definiert. Da der Spieler sein emotionales Befinden während des Spielens in festen zeitlichen Abständen mittels eines Fragebogens selbst bewertet, kann das System aus diesen Selbsteinschätzungen und den aufgezeichneten Sensordaten nach einer Vielzahl Wiederholungen lernen, welche Signalmuster mit welchen emotionalen Zuständen korrelieren. Im Anhang befindet sich eine genauere Beschreibung der Vorgänge beim maschinellen Lernen.

In der Abrufphase, wenn vorher schon gelernt wurde und nun das Gelernte auf ein unbekanntes Signalmuster angewandt wird, können bekannte Muster mit neuen verglichen und ein Ähnlichkeitswert zwischen ihnen bestimmt werden. Dieser Ähnlichkeitswert kann dann so interpretiert werden, dass die Situation, in der das Signal gemessen wurde in diesem Maße mit den vorher in der Lernphase bearbeiteten Situationen, die in ihrer emotionalen Wirkung bewertet wurde, übereinstimmt. So ist es möglich, einem Signalmuster eine wahrscheinliche Bedeutung zuzuschreiben.

Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit

Mit einigen Verbesserungen auf den Daten (Glättung, Beseitigung von Ausreißern, Fisher Projektion) und mit einer veränderten Klassifizierung (äquiwahrscheinliche Intervalle statt äquidistante Intervallgrenzen) können die Ergebnisse der Online-Abfrage bis auf 75% Trefferwahrscheinlichkeit verbessert werden. Die ist allerdings nicht für alle Emotionen möglich, manche haben weiterhin nur eine Trefferquote von ca. 50%, manche sogar noch darunter. Im Vergleich zur Trefferwahrscheinlichkeit beim Raten (bei fünf Klassen wäre das 20%) stellt dies noch ein Verbesserung dar. Allein unter der Betrachtung, dass die Hälfte aller Klassifizierungen trotzdem noch falsch ist, trübt diesen Erfolg. Eine Verbesserung der Klassifikationsergebnisse ist sehr zu wünschen, eine Evaluierung

der Möglichkeiten kann aber als Teil dieser Arbeit nicht geleistet werden.

Einschränkend sollte gesagt werden, dass die Grundmenge an Daten, aus denen diese Erkenntnisse gewonnen wurden, sehr klein (2 Probanden) ist und zumindest nach soziologischen Maßstäben keine Generalisierung auf die Allgemeinheit oder auf die Gruppe, aus der die Probanden stammen, zulässt. Doch die psychologischen Wirkmechanismen, auf die sich der Entwurf des Versuchsaufbaus stützt, sind belegt (Scherer 2004; Wingrove u. Bond 1998; Klein et al. 2002; Krone et al. 2002; Johnson u. Wiles 2003).

4.1.4 Visualisierung zur Repräsentation der Ergebnisqualität

Um die Ergebnisqualität des Klassifizierungsprozesses beurteilen zu können, wurde eine visuelle Repräsentation für die Klassifikationsergebnisse geschaffen. Die Klassifikationsergebnisse jeder Emotionsdimension sind dabei auf drei Arten parallel nebeneinander sichtbar.

Erstens als reine Textdarstellung, so dass die absolute Klassifikation über jede der Dimensionen direkt abgelesen werden kann. Zweitens in einem Valenz-Erregungs-Diagramm, das die Realisierung in jeder Emotionsqualität auf verschiedene Weise darstellt. Um die Interpretation des Klassifikationsergebnissen zu vereinfachen, wurde eine dritte Möglichkeit der Darstellung realisiert: Sehr stilisierte, comic-hafte Gesichtsausdrücke. Wenn die Klassifikation der physiologischen Daten ergibt, dass eine bestimmte Emotion vorherrschend ist, wird der entsprechende Gesichtsausdruck visualisiert: entweder Angst, Wut, Freude, Langeweile, Überraschung oder Neutralität.

Die vollständige Visualisierung ist in Abbildung 4.6 als integrierte Version in EmoTetris dargestellt. Mit der Visualisierung schloss bisher die Verarbeitungskette der physiologischen Daten im (D)EmoKoffer ab.

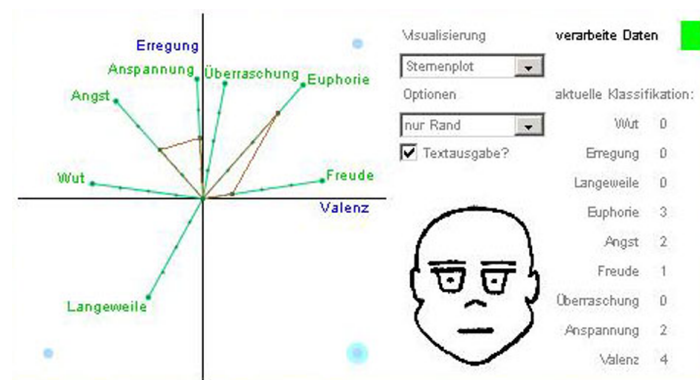


Abbildung 4.6: Komplettierte Visualisierung mit mehreren redundanten Möglichkeiten, den geschätzten emotionalen Zustand des Spielers abzulesen

Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit

Mit dem genutzten Verfahren zum maschinellen Lernen (Kapitel 4.1.3) ist das Konzept einer „vorherrschenden Emotion“ prinzipiell schwer umzusetzen. In den erlernten Bayesschen Netzen arbeiten alle Ausgangsknoten (jeder repräsentiert die Realisierung einer bestimmten Emotion) parallel, d.h. sie sind unabhängig von einander. Dies widerspricht dem Verständnis einer vorherrschenden Emotion, die jede andere unterdrückt. Will man dennoch eine *prima inter pares* Emotion extrahieren, muss man auf eine Vorgehensweise

zurückgreifen, die nicht im Bayesschen Netz selbst angelegt ist. Ein solche Nachverarbeitung wurde auch bei der Entscheidung, welchen Gesichtsausdruck es anzuzeigen gilt, angewandt. Dabei stellt sich heraus, dass oftmals keine klare Tendenz in den Klassifikationsergebnissen zu erkennen war.

Hinzu kommt, dass es scheinbar unmöglichen Konstellationen (z.B. Anspannung und Langeweile gleichzeitig) gab, die mit gesundem Menschenverstand schwer nachzuvollziehen sind. Ein Wechsel auf andere Klassifikationsalgorithmen ist jedoch vorerst nicht in Sicht, vor allem dann nicht, wenn diese nicht bessere Ergebnisse hervorbringen. Weitere Verbesserungsmöglichkeiten werden zur Zeit in der Arbeitsgruppe evaluiert und würden dem Ergebnis dieser Arbeit direkt zu Gute kommen, selbst wenn sie erst später umgesetzt werden sollten.

4.1.5 „OmniRoute“ - Konfiguration, Synchronisation und Datentransport in Echtzeit

Die Erfassung und Analyse emotionsbezogener Daten bringt eigene Herausforderungen mit sich, z.B. müssen verschiedene Sensoren installiert und für die Anwendung optimal konfiguriert werden. Daten dieser Sensoren sollen über Netzwerke übertragen und zusammengeführt werden. Diverse Analysetools erwarten Daten in vorgeschriebenen Formaten und müssen typischerweise ebenfalls an die Aufgabe angepasst werden. Es sind also komplexe und aufwändige Arbeiten, die mit jedem neuen Szenario abermals durchgeführt werden müssen. Wünschenswert wäre die Möglichkeit, den Einrichtungsaufwand für solche Experimentalstrecken stark zu reduzieren.

OmniRoute (Mader 2004) kann als ein Konstruktionsset für das Versenden von Daten zwischen Teilen einer Software verstanden werden, in dem alle Komponenten so gestaltet sind, dass sie frei angeordnet werden können und immer wieder zusammenpassen - ähnlich einem Klötzchenbaukasten, der für alle möglichen Bauten benutzt werden kann (für eine schematische Darstellung siehe Abbildung 4.7).

OmniRoute bietet sich für eine breite Palette von Experimenten an. Die Elemente innerhalb eines OmniRoute-Netzwerkes werden entsprechend ihrer Rolle in Bezug zu den zu verarbeiteten Daten in Quellen, Filter und Senken unterschieden, zwischen denen Daten in Form von Ereignissen ausgetauscht werden. Nähere Details dazu befindet sich im Anhang.

4.2 Das „EmoControl“ Framework

Die Gedanken anderer in diesem Gebiet arbeitender Wissenschaftler wurden bewusst vor diesem Kapitel präsentiert. Hier beginnt die Realisierung der Architektur zur Adaption einer Anwendung auf Grund des emotionalen Zustands des Benutzers. Auf den im Kapitel 2 genannten Grundlagen, den im Kapitel 3 aufgezeigten Ideen und mit den schon vorhandenen Teillösungen (siehe Kapitel 4.1) wird die Beispielimplementation „EmoControl“ des entworfenen Frameworks entwickelt. Sie ist eine exemplarische Umsetzung der Abwägungen zur Steuerung einer Anwendung basierend auf der Erkenntnisse zum Affekt des Menschen.

Auf Grundlage der in Kapitel 3.2 formulierten Anforderungen wird das „EmoControl“

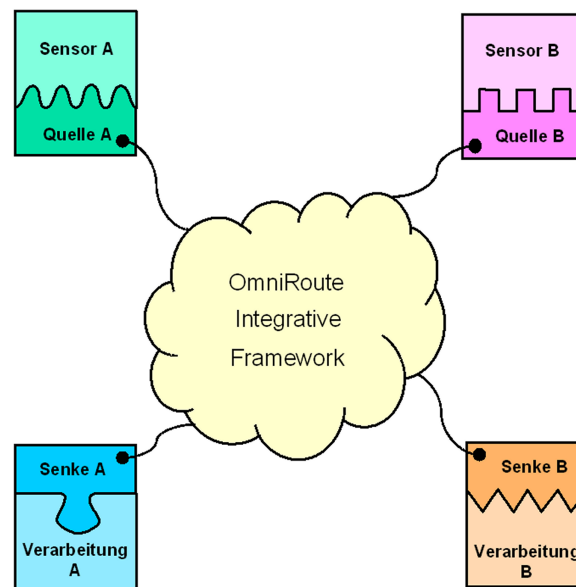


Abbildung 4.7: OmniRoute als Framework hinter EmoControl: Synchronisation und Weiterleiten der Daten (Darstellung angelehnt an Mader 2004)

als ein Framework mit prozessorientierter Verarbeitung realisiert. Andere Konzepte sind nicht adäquat, die Anforderungen zu erfüllen. Die Forderung nach flexibler Zusammenarbeit der Komponenten auf möglicherweise verschiedenen Rechnern macht eine Implementation als monolithisches Konstrukt oder als Bibliothek unmöglich. Eine monolithische Anwendung entspräche weiterhin nicht der Idee einer (möglichst einfachen und umfassenden) Wiederverwendbarkeit der einzelnen Komponenten. Eine prozessorientierte Verarbeitung scheint am besten geeignet zu sein, die unterschiedlichen Komponenten und eigenständigen Programme abzubilden. Solch eine Prozessarchitektur kann deren Abhängigkeiten modellieren, zugleich aber garantieren, dass jeder Prozess eigenständig bleibt und z.B. unabhängig von den anderen weiterentwickelt werden kann, solange er die definierten Ein- und Ausgabeschnittstellen bedient.

Wie in Kapitel 3.2 dargestellt, ist ein Framework immer für einen bestimmten Anwendungsbereich vorgesehen. So auch bei „EmoControl“: Anwendungsbereich ist die affektive Adaption eines Computerspiels, in diesem Fall ein (Geschicklichkeits)Spiel, vorgestellt als „EmoTetris“ in Kapitel 4.1.1.

Nachfolgend werden die Komponenten der zu entwickelnden Architektur entworfen und ihr Zusammenspiel aufgezeigt.

4.2.1 Komponenten des Frameworks

Um auf den emotionalen Zustand des Benutzers reagieren zu können, muss dieser bekannt sein. Hier macht sich die Arbeit die Funktionalität des „(D)EmoKoffers“ zu Nutze, der, wie im Kapitel 4.1 dargestellt, eine einigermaßen hohe Vorsagegenauigkeit für den aktuellen Emotionszustand erreicht. Diese Information reicht jedoch für die Adaption des Spiels an den emotionalen Zustand des Nutzers nicht aus, denn es fehlt die Betrachtung des dynamischen Zusammenspiels zwischen Spiel und Spieler.

Im ursprünglichen „(D)EmoKoffer“ wurden die Bedingungen, die die Steuerung der Veränderungen in der GUI auslösten, über zeitlich determinierte Skripte gesteuert. Der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz geht aber von einer Dynamisierung dieser festen Abfolgen aus und möchte so deren Beschränkung aufheben. Dabei helfen drei Erweiterungen:

Kommunikation Der neue Ansatz sieht eine dynamische Steuerung vor. Ohne die Steuerung über ein Ereignisskript ist nicht mehr implizit bekannt, in welchem Zustand sich die Anwendung befindet. Er muss explizit zurückgemeldet werden. Die Emo-Anwendung hat nicht mehr nur die GUI bereitzustellen, sie muss zusätzlich darüber Auskunft geben, welcher Aktivitätszustand gerade herrscht. So kann in einem späteren Lernprozess nicht nur auf den emotionalen Zustand des Benutzers adaptiert werden können, sondern dies auch mit Rücksicht auf den Zustand der Anwendung. So wird konzeptionell die Chance gewahrt, aus der Kombination beider Daten noch nützliche Informationen zu gewinnen.

Interaktionsagent Damit die Interaktion mit dem Nutzer überhaupt dynamisch gesteuert werden kann (seinem mutmaßlichen Gemütszustand entsprechend), braucht das Framework eine Steuerzentrale. Sie wählt aus dem in Kapitel 3.3 vorgestellten Adaptionspotential der Anwendung diejenige Maßnahme aus dem Maßnahmenkatalog aus, die auf Grund des emotionalen Zustands des Benutzer als nächstes eingesetzt werden soll, um ihn dem Zielzustand näher zu bringen.

Maßnahmenkatalog Im Maßnahmenkatalog ist die Kenntnis zusammengefasst, welche Maßnahme wie auf den Benutzer wirkt. Diese Kenntnis wird entweder durch vorheriges Lernen des Zusammenhangs von Maßnahme und Wirkung gelernt. Oder während der Interaktion durch die Assoziation von Maßnahme und von Aktivitätszustand der Anwendung mit dem Emotionszustand der nächsten Schritte. Diese Verzögerung beruht auf der Tatsache, dass es beim online-Lernen einige Zeit dauern wird, bis die Maßnahme ihre Wirkung entfaltet. Der Maßnahmenkatalog dient dazu Wissen darüber zu speichern, welche Maßnahme ergriffen werden sollte, um den emotionalen Zustand des Nutzers in einer bestimmten Situation in die gewünschte Richtung zu beeinflussen. Die Idee ist, aus dem Lernerfolg über viele Spiele dann zu generalisieren und dies als festes Wissen in das Framework eingebettet und auf andere, vergleichbare Anwendungen übertragen werden. Der Maßnahmenkatalog ist im Interaktionsagenten enthalten und ist daher auf Abbildung 4.8 nicht explizit dargestellt.

Die Komponenten des Frameworks und ihr Zusammenhang sind in Abbildung 4.8 verdeutlicht. Die bereits vorhandenen Komponenten sind in Schwarz gehalten, die durch diese Arbeit neu konzipierten in Rot.

Nicht zu den Komponenten des Frameworks zählt dabei das Beispielprogramm, die laut Konzept nicht fest eingebunden ist, sondern den variablen Teil darstellt. In der vorliegenden Arbeit ist besonders zu beachten, dass dies Programm vorher schon dazu gedient hat, die Reaktionen der Benutzer auf bestimmte Manipulationen zu testen. Aus diesen Testdaten wurden dann für diese Arbeit z.B. Erkenntnisse zum Zusammenhang von Emotion und Physiologie und zum Wirkungsgrad gezogen. Mit den Erkenntnissen aus den Vorversuchen könnte man möglicherweise auch andere, nach dem gleichen Prinzipien laufende Programme adaptieren. Dieser Transfer ist jedoch keinesfalls sicher. Daher wurde in dieser Arbeit die Chance genutzt, die Anwendung „EmoTetris“, die schon

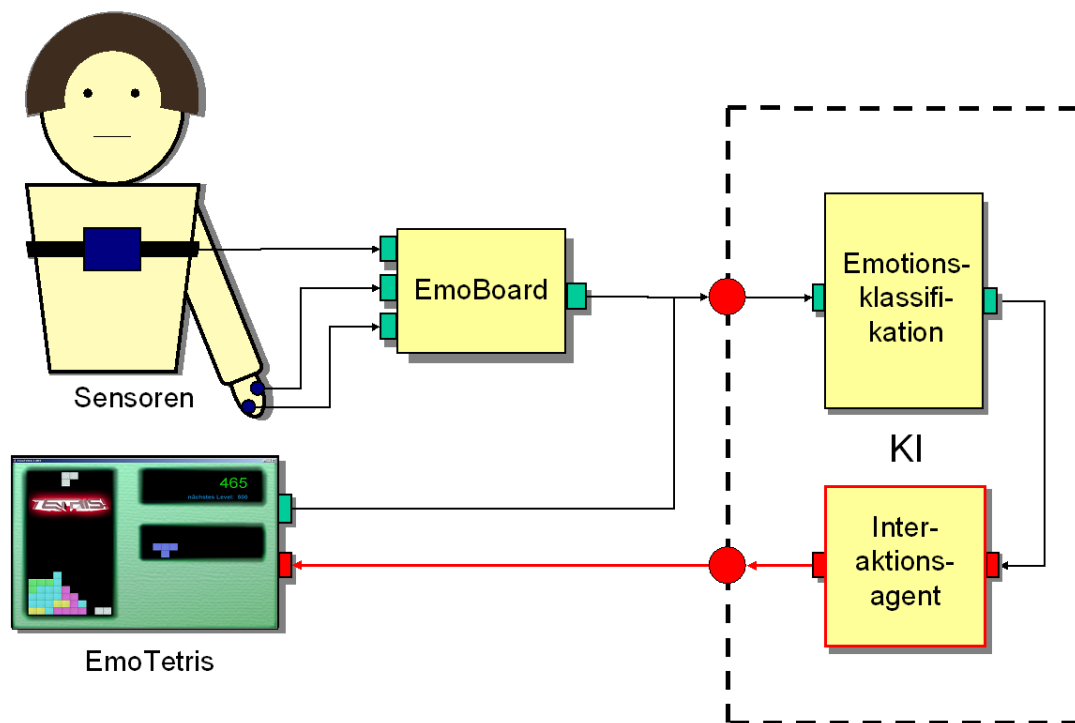


Abbildung 4.8: Komponenten des EmoFrameworks: schwarz die vorhandenen, rot die neuen

beim Erkenntnisgewinn um Zusammenhang von Manipulationen und Emotionen genutzt wurde, auch für die Anwendung dieses Wissens zu nutzen.

4.2.2 Adaptionspotential der Anwendung

Um die Zeit bis zum Einsatz, der praktischen Erprobung, und dem nachfolgenden Benutzertest zu verkürzen, postuliert diese Arbeit anfangs eine Reihe von Maßnahmen, die auf Grund von Hinweisen und Erkenntnissen aus entsprechender Literatur aus dem Bereich der Psychologie und der affektiven EDV als geeignet erscheinen, die angestrebten emotionalen Zustände im Menschen zu erzeugen (siehe dazu auch Kapitel 3.1). Diese Maßnahmen orientieren sich entlang des Interaktionspotentials von EmoTetris, also welche Ein- und Ausgabemodalitäten es in der Interaktion unterstützt, die potentiell für die Beeinflussung des Spielverlaufs benutzt werden kann.

Hinsichtlich der Interaktionsmöglichkeiten kann in EmoTetris ein klar begrenzter Rahmen gezogen werden. In dieser Anwendung sind nur Benutzereingabe, Spielgeschwindigkeit und Feedback als Veränderliche zu beachten, genauer die Grafik, die Töne, die Art der Spielsteine und die Spielkontrolle über dieselben. Eine geringe Anzahl von Variablen hat den potentiellen Nachteil, dass die Variationsmöglichkeiten der Veränderlichen möglicherweise zu klein sind, um Konfigurationen zur Erzeugung von eindeutig voneinander abgrenzbaren Emotionen zu finden. Auf der anderen Seite hilft diese Begrenzung

der Möglichkeiten, den Überblick zu wahren und einzelnen Veränderlichen klare Funktionen zuzuschreiben. Es gilt also, einen Mittelwert für die Anzahl der Veränderlichen zu finden, bei dem sich Vor- und Nachteile in etwa aufwiegen.

Diese Ansprüche gelten auch für das in Kapitel 4.1.1 vorgestellte EmoTetris. Tetris, das Original, hat durch seinen tausendfachen Verkauf und seine Popularität auch noch im Zeitalter der hochkomplexen Strategie- und Aktionspiele gezeigt, dass sein Spielkonzept offensichtlich immer noch aktuell ist und die Bedürfnisse der Spieler trifft. Da dieses in EmoTetris nicht verändert wurde, ist davon auszugehen, dass es, genau wie das Original, die oben formulierten Ansprüche erfüllt und diese in der Implementierung nicht noch einmal explizit modelliert werden müssen. Sie muss dafür die Umsetzung der Adaptionskomponenten für die Steuerung der Benutzungsoberfläche leisten.

Das ohne Veränderungen oder Ergänzungen vorhandene Interaktionspotential in EmoTetris ist in Kapitel 4.1.1 dargestellt. Es waren: Tastaturzuverlässigkeit, Geschwindigkeit des Spiels, hilfreiche Ereignisse und hinderliche Ereignisse. Alle Adaptionskomponenten werden auch bei der Implementation der EmoAnwendung berücksichtigt werden.

Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit

Viele der in dieser Arbeit diskutierten Komponenten sind aus der Theorie des Emotionsraumes nach Russell (1980) entstanden. Diese Tatsache, die in Kapitel 3 aufgezeigten Gründe und die vorhandene Expertise bei Kollegen haben den Autor davon überzeugt, sich in der vorliegenden Arbeit auch nach diesem Modell zu richten.

Weiterhin lässt sich feststellen, dass zentrale Komponenten wie die EmoAnwendung schon existieren, jedoch noch angepasst werden müssen, um den Spezifikationen des Frameworks zu genügen. Der Maßnahmenkatalog muss komplett neu entwickelt werden. Dazu böte sich eine Vorgehensweise mit einer Lernphase wie in Kapitel 4.1.3 skizziert an, um herauszufinden, welche Wirkung eine Manipulation auf den Benutzer hat. Im Vorfeld dieser Arbeit sind solche Versuche unternommen worden. Aus ihnen wird der Maßnahmenkatalog entwickelt.

Die Wahl von „EmoTetris“ als Testanwendung ist durch den Umstand begründet, dass es nur ein kleines Interaktionsspektrum besitzt und sich mit einer solchen Beschränkung neue Interaktionskonzepte besonders gut entwerfen und testen lassen. Bei der Auswertung und Zuschreibung von Effekten gibt es weniger Unbekannte und die Interpretation störende Einflüsse. „EmoTetris“ ist besonders geeignet, weil mit dieser Anwendung auch die Erkenntnisse der Wirkung

Das „(D)EmoKoffer“-System kann in der Abrufphase mit einer Wahrscheinlichkeit von bisher max. 75% feststellen, wie stark der Benutzer die betreffenden Emotionen zu einem spezifischen Zeitpunkt in welchem Maße empfindet (Herbon et al. 2005). Dazu benutzt es einfache Bayessche Netze, sog. Naive Bayes Klassifikatoren.

OmniRoute wird die Handhabung aller Daten übernehmen und eine Schnittstelle von und zu EmoTetris bereitstellen (siehe 4.9). Begründet ist dies durch die Notwendigkeit einer Echtzeitübertragung von Sensordaten zu anderen Verarbeitungsprozessen und die Beibehaltung der zeitliche Reihenfolge. Diese spielt eine zentrale Rolle, sonst könnte das angestrebte System nicht ohne Verzögerung auf die Aktionen und emotionalen Zustände des Spielers eingehen.

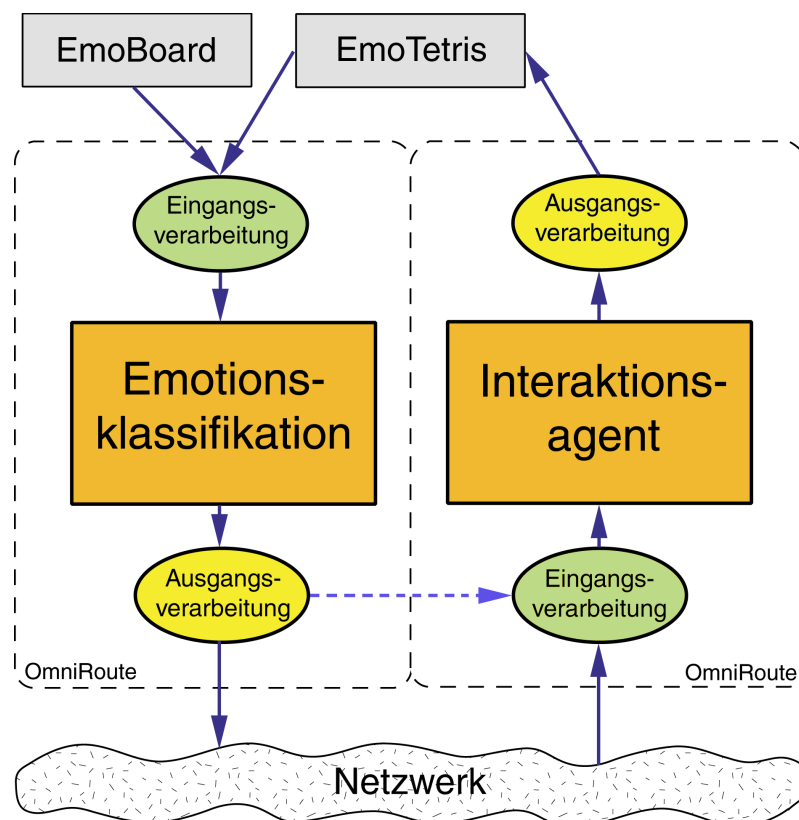


Abbildung 4.9: Schematischer Aufbau des EmoControl-Frameworks mit seinen Komponenten und der Verarbeitungsabfolge: OmniRoute synchronisiert die Daten und leitet sie weiter

Kapitel 5

Implementierung

Die in Kapitel 4 aufgezeigte Systemarchitektur soll in diesem Kapitel mit Schnittstellen, Funktionalität und Implementierungsdetails konkretisiert werden.

Funktionsweise

Der Unterbau der EmoControl-Architektur wird durch OmniRoute (siehe Kapitel 4.1.5) bereitgestellt. Alle Softwarekomponenten sind als Quellen, Filter oder Senken realisiert, einzig das EmoBoard und die EmoAnwendung sind autark und müssen durch geeignete Schnittstellen angebunden werden. In Abbildung 4.9 wurden die Komponenten und die Verarbeitungsweise schon dargestellt.

Jede Hauptverarbeitungseinheit (verdeutlicht durch Rechtecke in der Farbe Orange) besitzt jeweils eine vor- und eine nach gelagerte Verarbeitungseinheit. Diese stellen Funktionalitäten zur Verfügung, die aus konzeptionellen oder praktischen Überlegungen nicht in den Hauptverarbeitungseinheiten angesiedelt werden sollen, z.B. die Filterung von Daten, deren Synchronisation oder die Konvertierung in ein anderes Datenformat. Diese Aspekte werden in Kapitel 5.1 näher behandelt.

Das in Abbildung 4.9 skizzierte Verarbeitungsmodell ist zur Verdeutlichung der einzelnen Verarbeitungsschritte und zur konzeptionellen Trennung von Emotionserkennung und Interaktionsagent in zwei Teile geteilt, die jeweils mit ihren Komponenten ein eigenständiges OmniRoute-Netzwerk darstellen. Die Weiterleitung der Daten aus dem einen Teil des Schemas in den anderen erfolgt über Netzwerkverbindungen. Mit dieser Konfiguration ist es möglich, beide Verarbeitungsschritte auf unterschiedlichen Rechnern laufen zu lassen, um leistungsspezifische Probleme vorzubeugen. Da keine Probleme mit der Ausführungsgeschwindigkeit im Setup zu erkennen waren, wurde auf diese Trennung der Verarbeitungsschritte verzichtet und beide Netzwerke direkt miteinander gekoppelt (in Abbildung 4.9 durch einen gestrichelten, helleren Pfeil zwischen Ausgangsknoten links und Eingangsknoten rechts verdeutlicht).

Im Folgenden betrachtet die Arbeit die Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten genauer und geht auf ihre Funktionsweise und den Verlauf der Verarbeitung ein. Vorausgesetzt werden beim Leser Kenntnisse im Umgang mit Konzepten der objektorientierten Programmierung (OOP). Eine grundlegende Einführung in OOP in C++ und Java bieten beispielsweise Kirch-Prinz u. Prinz (2002); Küchlin u. Weber (2005)

5.1 Schnittstellen

Über die Festlegung definierter Eingabe- und Ausgabeschnittstellen ist gewährleistet, dass jede Komponente, die den festgelegten Standards folgt, in dieser Architektur arbeiten kann. Die Darstellung der Schnittstellen zwischen den Komponenten und nach außen hin soll an dieser Stelle in der Abfolge ihres Auftretens im EmoControl-Framework erfolgen, angefangen mit der Verarbeitung der Anwendungs- und physiologischen Daten im Spielverlauf bis hin zur Einspeisung der Maßnahmen aus dem Interaktionsagenten zurück in die Anwendung.

Die hier vorgestellten Komponenten (jeweils Client-Server-Paarungen) bilden die Schnittstellen für den Datenaustausch zwischen den externen eigenständigen Komponenten und dem OmniRoute-Framework, in dem alle anderen Komponenten eingebettet sind.

5.1.1 Anbindung EmoTetris

Die Anwendungs- und physiologischen Daten werden im Spielverlauf von EmoTetris selbst bzw. vom EmoBoard geliefert. Die Übernahme physiologischer Daten vom EmoBoard war schon im (D)EmoKoffer realisiert, konnte demzufolge ohne Modifikationen übernommen werden. Auch Teile der Ausgabe der Anwendungsdaten von EmoTetris waren vorhanden, mussten aber erweitert und angepasst werden. Sie basiert auf einem einfachen Client-Server Prinzip: „EmoTetris“ verbindet sich dabei mit einem Server, der als eigenständige Klasse implementiert ist und die ankommenden Daten in einer Klassenvariable speichert. Andere Klassen, die die Daten weiterverarbeiten wollen, müssen den Server aktiv über eine `get()`-Methode ansprechen, um die Klassenvariable auszulesen.

Ein weiterer Server ist dafür verantwortlich, die Steuersequenzen, die der Interaktionsagent generiert, zur EmoAnwendung zu übertragen (in Abbildung 4.9 als Teil der Ausgangsverarbeitung des Interaktionsagenten). Die Server- und die Client-Funktionalität von EmoTetris wurden komplett neu geschrieben. „EmoTetris“ als EmoAnwendung verfügt damit über zwei getrennte Client-Prozesse, für die zwei getrennte Server auf der Seite des EmoFrameworks zur Verfügung stehen. Die Trennung in zwei separate Kommunikationskanäle ist durch die konzeptionell unterschiedliche Ansiedlung der Übertragungswege im Framework begründet: Während die eingehenden Daten in erster Linie für die EmoKlassifikation wichtig sind, kommen die ausgehenden Daten vom Interaktionsagenten. Durch eine Aufteilung der Kommunikationswege lassen sich die beiden Hälften von EmoControl leichter konzeptionell trennen. Diese Trennung trägt auch dazu bei, die beiden Verarbeitungsschritte praktisch unabhängig voneinander auszuführen, z.B. wenn sie auf verschiedenen Rechnern ausgeführt werden. Dies könnte z.B. auf Grund einer zu hohen Belastung eines einzelnen Computers mit beiden Prozessen nötig sein. Durch die konzeptionelle Trennung ist die Übertragung und Verarbeitung der Daten auch zukünftig noch gesichert.

5.1.2 Datensynchronisation

Diese Arbeit geht davon aus, dass Emotionen, die mittels der KI abgeschätzt wurden, unmittelbar auf Veränderungen der Anwendung erfolgen. Um Erkenntnisse für die Steue-

rung der Interaktion zu erhalten, muss der kausale Zusammenhang zwischen Manipulation und Beobachtung erkennbar sein. Daher ist eine Koppelung der Beobachtungsdaten (aus der Emotionserkennung) und der Manipulationsdaten (aus der Anwendung) erforderlich, bevor ein Erkenntnisgewinn möglich ist. Die Verbindung der kausal zusammenhängenden Daten geschieht in der Datensynchronisation. Vom Ablauf her ist sie Teil der Eingabeverarbeitung (siehe Abbildung 5.1).

Die Datensynchronisation erfolgt beim Eintreffen der vom EmoBoard gelieferten physiologischen Daten, beim Eintreffen der von der EmoAnwendung gelieferten Statusdaten zum Spielstand in die OmniRoute-Umgebung und wenn nötig vor der Weiterverarbeitung durch den Interaktionsagenten. Die Daten werden über zwei unterschiedliche Kanäle in OmniRoute eingelesen: Einerseits über eine serielle COM-Schnittstelle (die Daten der Sensorik), andererseits über eine Netzwerkverbindung (alle anderen Daten). Für alle Fälle wurden Klassen implementiert, die als aktive Empfänger Daten entgegennehmen. Nach dem Client-Server-Prinzip stellen sie als Server die Möglichkeit bereit, dass sich andere Prozesse mit ihnen verbinden und dann ein bidirektionaler Datenaustausch möglich ist (im hier vorliegenden Fall wird jedoch nur ein unidirektionaler Transfer genutzt, die Server der Eingangsverarbeitung nehmen nur Daten an, geben aber selbst keine weiter). Bei Eintreffen neuer Daten von externen Quellen wandeln sie diese in OmniRoute-eigene Objekte um, fügen ihnen einen Zeitstempel hinzu und schicken sie mit den in ihnen enthaltenden Daten zu einer Filterklasse, die die Synchronisation der eintreffenden Daten auf Basis der Zeitstempel vollzieht. Sind die Zeitstempel nicht identisch oder überschreitet ihre Differenz einen Grenzwert, der in der Größenordnung der Frequenz der Datengenerierung liegt (das EmoBoard liest die Sensoren mit 20Hz aus, die EmoKlassifikation arbeitet mit ca. 2Hz), wird so lange auf dem Eingabekanal mit dem ältesten Zeitstempel auf das nächste Datenpaket gewartet, bis die Zeitstempel aller Objekte zusammenpassen. Zusammengehörige Pakete werden über den Synchronisationsknoten zu einem Paket verbunden und zu Senken weiter gesandt. Diese stellen die Ergebnisdaten über verschiedene Ausgabekanäle nachgelagerten Anwendungen oder OmniRoute-Knoten zur Verfügung (z.B. einem Logger, der den Datenverkehr aufzeichnet, oder auch eine Netzwerkschnittstelle). Die direkte Kopplung an nachgelagerte OmniRoute-Objekte ist natürlich auch möglich. Der schematische Aufbau der Verarbeitung mit Knoten, Filtern und Empfängerklassen für die Synchronisation eintreffender Daten ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

5.1.3 Anbindung Interaktionsagent

Die Daten aus der Emotionsklassifikation und die aktuellen Statusdaten aus EmoTetris sind durch die anfängliche Synchronisation der für die Klassifikation verwendeten Sensordaten mit den Statusdaten immer noch synchron, wenn sie beim Interaktionsagenten eintreffen. Dies ist begründet durch die Vererbung des ursprünglichen Zeitstempels an alle Ergebnisse in der Emotionsklassifikation. Waren also die Basisdaten synchron, sind auch alle Ergebnisse synchron. Für den allgemeinen Fall ist es trotzdem sinnvoll, die Synchronisation der Daten beim Eintreffen im zweiten OmniRoute-Netz nochmal explizit zu prüfen und bei Bedarf zu berichtigen.

Ein Eingangsfiler ist noch aus einem anderen Grund empfehlenswert: Heute mag die Emotionsklassifikation noch genau die Daten liefern, die der Interaktionsagent verarbeiten kann, aber in Zukunft kann es durchaus sein, dass Daten in einem anderen Format

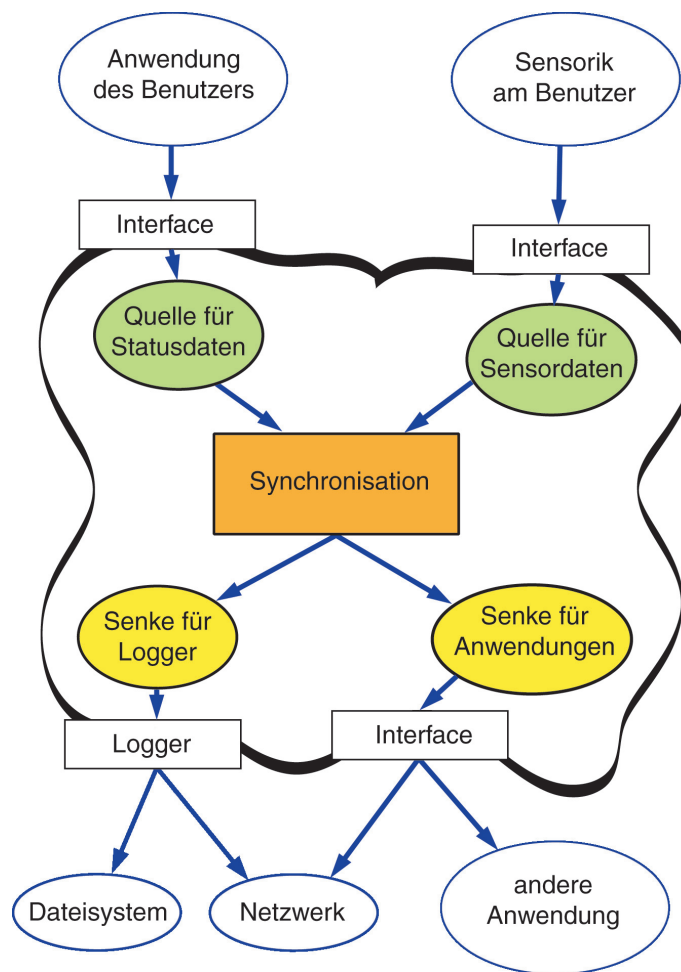


Abbildung 5.1: Synchronisation der physiologischen Daten von der Sensorik und der Statusdaten der Anwendung

eintreffen. Entweder kann dann ein solcher Eingangsfilter die ankommenden Daten auf ein Spektrum eingrenzen, das der Agent verarbeiten kann, oder er kann frühzeitig auf Fehler reagieren, die durch fehlende Daten auftreten. Eine Vorverarbeitung ist eine zukunftsichere Lösung, denn so wird eine potentielle Eingrenzung der Daten erst vor dem unmittelbaren Verarbeitungsschritt vorgenommen, ohne dass deren potentieller Nutzen in früheren Arbeitsschritten verloren geht (zum Beispiel in der Emotionsklassifikation). Vom Eingangsfilter gelangen die notwendigen Daten (in diesem Fall Statusdaten von der EmoAnwendung und der Emotionsklassifikationen) zum Interaktionsagenten.

Der Interaktionsagent wird an dieser Stelle genauso wie die Emotionsklassifikation als sog. Blackbox gesehen. Es interessiert bei der Darstellung der Schnittstellen vorläufig nicht, wie er intern funktioniert. Dies zu klären, bleibt dem nächsten Kapitel 5.2 vorbehalten. Hat der Interaktionsagent seine Verarbeitung abgewickelt, gibt er sein Evaluationsergebnis weiter, indem er einen in ein Ereignis gekapselten Wert an seinen Ausgangsknoten übergibt. Dieser Knoten dient dazu, Daten an Programme außerhalb des OmniRoute-Netzwerkes weiter zugeben. Die Ausgabe kann über eine Netzwerkverbindung oder eine Datei erfolgen. Beides ist in der Ausgangsverarbeitung angelegt. Über diesen expliziten Ausgangsknoten ist es auch möglich, eine Transformation der Daten

vorzunehmen, damit die weiterverarbeitende Applikation die Daten in einer definierten Form übergeben bekommt, die unabhängig von der Form der Daten im Interaktionsagenten ist. Über den Ausgangsknoten wird auch EmoTetris angesteuert. Dafür wird eine Sequenz von Steuerbefehlen, die angeben, welche Aktion durch EmoTetris ausgeführt werden soll (die Steuersequenz), auf ein Netzwerkport geschrieben. Dabei ist der Ausgangsknoten genauso wie der Eingangsknoten als Netzwerkservers umgesetzt, mit dem sich EmoTetris verbinden kann (wie in Kapitel 5.1.1 dargestellt).

5.2 Interaktionsagent

Der Interaktionsagent hat die Aufgabe, aus dem Katalog von möglichen Veränderungen der EmoAnwendung eine auszuwählen, die verspricht, die aktuelle emotionalen Verfassung des Probanden zielführend zu beeinflussen. Ein Ziel ist hierbei, dass der Nutzer nie in einen Zustand gerät, dessen Repräsentation im Valenz-Erregungs-Diagramm (siehe Abbildung 2.3) an der Peripherie angesiedelt ist. Denn dies bedeutete dass die Person nur noch damit beschäftigt ist, auf den Reiz zu reagieren, und sich nicht mehr auf den ihn auslösenden Moment konzentrieren kann. Gleichzeitig ist es das Ziel, einen moderaten Erregungszustand mit positiver Valenz zu erreichen. Dafür ist eine Steuerungsmechanismus nötig, der die Interaktion so steuert, dass die eingesetzten Maßnahmen den Benutzer in einen solchen handlungsfördernden Zustand versetzen. Zudem soll diese Steuerung dafür sorgen, dass die Maßnahmen so aufeinander abgestimmt werden, dass sie in ihrer Wirkung weder gegensätzlich sind noch dass ein zu schneller Wechsel zwischen ihnen erfolgt. Diese Aufgaben übernimmt der Interaktionsagenten.

5.2.1 Funktionsweise

Der Interaktionsagent besteht aus drei Teilen: Zum einen aus einer Bewertungsfunktion, die feststellt, inwiefern der bestehende emotionale Zustand des Nutzers als günstig eingestuft wird. Dieses Evaluationsergebnis ist Grundlage für die weitere Steuerung der Anwendung (siehe Kapitel 5.2.2). Zweiter Teil ist eine Inferenzfunktion, die aus dem Bayesschen Netz bei gegebener Evidenz der Klassenvariablen (entweder Freude, Zufriedenheit, Langeweile oder Ärger) die „Erklärung“ über die Maßnahmen ausrechnet. Sie berechnet zu jeder Maßnahme, inwieweit diese zur Realisierung der gegebenen Evidenz beiträgt (für näheres siehe Kapitel 5.2.4). Dritter Teil ist der Maßnahmenkatalog, in dem persistent gespeichert wird, welche Maßnahmen zur Veränderung der Benutzungsschnittstelle viel versprechend sind, um den emotionalen Zustand des Benutzers zu beeinflussen (für näheres siehe Kapitel 5.2.3). Mit diesen drei Teillösungen lässt sich der Interaktionsagent vollständig beschreiben und in seiner Funktionalität umsetzen.

5.2.2 Bewertungsfunktion

Die Bewertungsfunktion soll feststellen, wie günstig der aktuelle emotionale Zustand des Nutzers für die Interaktion ist und das Maß bestimmen, wie stark eine Beeinflussung nötig ist, um ihn wahrscheinlich in einen solchen zu bringen. Dazu werden die von der Emotionsklassifikation kommenden Eingangsgrößen folgendermaßen ausgewertet:

Nur die Größen Valenz und Erregung werden betrachtet. Mit ihnen kann nach dem Circumplexmodell eingeschätzt werden, in welchem emotionalen Zustand sich eine Person befindet, weil sie den Valenz-Erregungs-Raum aufspannen, in den sich alle anderen Emotionen einordnen lassen. Jedem Quadranten dieses zweidimensionalen Raums ist nach der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Interpretation (siehe Kapitel 2.2.2) durch ein eindeutiges Tupel beschrieben:

$$T = \{v, e\} \text{ mit } v, e \in \{-1, +1\} \quad (5.1)$$

Die Valenz v und die Erregung e beschreiben jedes Tupel vollständig. Der Raum der möglichen Zustände ist die Potenzmenge T^* . Jedem der vier Tupel aus T^* ist genau eine sprachliche Umschreibung i des Zustands v, e zugeordnet $f(v, e) \rightarrow i$ wobei

$$i \in \{\text{Freude, Zufriedenheit, Langeweile, Ärger}\} \quad (5.2)$$

und es gilt $f(+1, +1) = \text{Freude}$, $f(+1, -1) = \text{Zufriedenheit}$, $f(-1, -1) = \text{Langeweile}$ und $f(-1, +1) = \text{Ärger}$.

Als günstig für die Beschäftigung mit der EmoAnwendung hat diese Arbeit den Bereich in $T = \{+1, +1\}$ ausgemacht (siehe Kapitel 3.2), dem die grobe sprachliche Umschreibung „Freude“ zugeordnet ist. Wenn sich nach der Einschätzung der Emotionsklassifikation ergibt, dass der Gefühlszustand des Nutzers nicht in diesen Bereich einzuordnen ist, werden Maßnahmen ergriffen, ihn so zu beeinflussen, dass er voraussichtlich in den als vorteilhaft angesehenen Bereich T gelangt.

Die direkte Transformation eines Startzustand in einen Zielzustand ist angestrebt. Es soll von einem Zustand t_i direkt auf einen Zustand t_{i+1} hingewirkt werden (siehe Abbildung 5.2 links). Es wäre ein einfaches Verfahren, das eine Adaption an den Nutzer nur eingeschränkt umsetzen kann: Erstens ist die Klassifikation, auf der die weitere Verarbeitung beruht, nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit richtig. Im schlechtesten Fall wird also eine Maßnahme angewendet, die überhaupt nicht zum emotionalen Status des Benutzers passt. So eine Fehlentscheidung könnte den nun mit einer nicht passenden Maßnahme konfrontierten Benutzer gerade falsch beeinflussen.

Zweitens bestände bei einem avisierten direkten Übergang von t_i auf t_{i+1} die Gefahr, dass der Nutzer anders reagiert, als erwartet. Der Algorithmus kann darauf nicht abgestuft, sondern nur mit einer nächsten vollen Maßnahmenrealisierung reagieren. Dem Spielverlauf wäre dies nicht zuträglich, weil die Maßnahmen immer wieder kurz hintereinander abrupt wechseln würden und möglicherweise völlig konträr wären. Es besteht dann die Gefahr, dass schnell Frustration eintritt, wenn der Benutzer das Gefühl hat, die Software entzieht sich seiner Kontrolle. Diese Gefahr besteht bei Spiel EmoTetris nicht so stark, da dem Spieler verborgen bleibt, wieso bestimmte Steinetyphen oder bestimmte Ereignisse häufiger vorkommen als ein andere: er braucht die „Intention“ der Spielsteuerung (vielmehr die des Designers der Steuerung) nicht kennen.

Die direkte Transformation ist erweiterbar: Durch eine Abstufung kann bewirkt werden, dass ein allmählicher und kein abrupter Übergang zwischen den Stati stattfindet (siehe Abbildung 5.2 rechts). Bei einer abgestuften Realisierung der Maßnahmen kann in jedem Schritt überprüft werden, inwieweit die bisher angewendete Maßnahme den emotionalen Zustand verändert hat. Diese Daten lassen sich nutzen, um zu lernen, welche Maßnahmen bei welcher Konstellation von Statusdaten und physiologischen Daten welchen Einfluss haben. Ein solches Vorgehen verbesserte zum einen die Qualität der

Interaktion. Zum anderen ließe es eine Überprüfung der beabsichtigten Änderung zu (Ist-Soll-Vergleich). Entspricht der neue emotionale Zustand nicht dem erwarteten Ergebnis, können die Maßnahmen noch einmal nachjustiert werden, wozu kleine Änderungen wahrscheinlich ausreichend sind. Im Gegensatz zu dem o.g. ersten Verfahren kann auf Abweichungen des gemessenen vom erwarteten Emotionszustand dynamisch mit einer Anpassung reagiert werden.

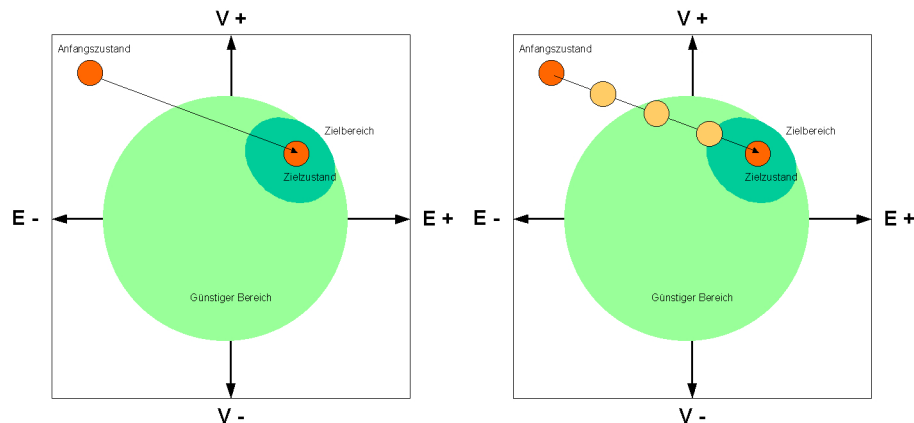


Abbildung 5.2: Angestrebter Übergang vom vermuteten Startzustand direkt zum Zielzustand (links dargestellt als „Sprung“, rechts in abgestuften Schritten)

Um die Dringlichkeit einer Transformation zu modellieren, wurden verschiedene Distanzmaße eingeführt: die erste modelliert die Anforderung, dass die Randbereiche ungünstige Zustände darstellen. Sie bekommen hohes Gewicht (siehe Abbildung 5.3).

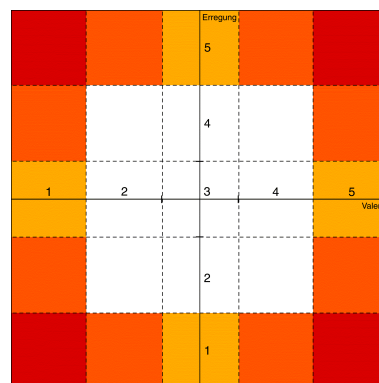


Abbildung 5.3: Eine Kostenfunktion: Randbereiche sind nicht günstig für die Aufgabenerfüllung - sie werden mit hohen „Strafen“ belegt

Das zweite Distanzmaß modelliert, wie weit der aktuelle Status vom Zielstatus entfernt ist (siehe Abbildung 5.4). Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Entfernung wird entweder mit dem euklidischen Abstand oder mit dem Manhattan-Block-Abstand gemessen. Die Varianz besonders bei letzterem relativ groß ist, wurden dort die Klassen aggregiert. Für die Aggregation wurden unterschiedliche Klassen zusammengefasst, immer unter der Maßgabe, dass die wesentlichen Eigenschaften der Verteilung ähnlich blieben (z.B. dass die entfernte Bereiche im Vergleich zu benachbarten Bereichen nicht an Gewicht verlieren). Die Aggregation in wenige Klassen ist sinnvoll, weil sie später für

die Festlegung der Stärke jeder Manipulation verwendet wird, die nur in zwei, maximal drei Abstufungen erfolgt.



Abbildung 5.4: Verschiedene Distanzmaße gegenübergestellt: (1) Randlagen (2) euklidischer Abstand (3) Manhattanabstand (4) aggregiert (v.l.n.r)

Nach dieser generellen Betrachtung der Zielgerichtetheit soll nun eine anwendungsnahe, praktische Betrachtung der Mittel, mit denen man den Nutzer beeinflussen kann, erfolgen.

5.2.3 Maßnahmenkatalog

Im sog. Maßnahmenkatalog ist festgehalten, welche Manipulationen dazu geeignet sind, den Nutzer in seinem emotionalen Befinden zielgerichtet zu steuern. Psychologische Untersuchungen haben gezeigt, dass bestimmte Veränderungen in der Interaktion einen Einfluss auf die Befindlichkeit des Menschen, speziell im Umgang mit Computern, haben (Scherer 2004; Wingrove u. Bond 1998; Klein et al. 2002; Krone et al. 2002; Johnson u. Wiles 2003). Dabei unterscheidet diese Arbeit zwei Kategorien der Manipulationen, um den Transfer der Erkenntnisse auf andere Anwendungen möglichst einfach zu machen:

Applikationsunspezifische Manipulationen Diese Manipulationen können gezielt, unabhängig von einer speziellen Anwendung, eingesetzt werden. Die Anwendung muss die Manipulationsbefehle natürlich umsetzen können, sie betreffen aber keine anwendungsinhärente Funktionalität, z.B. das Verändern der Reaktionsgeschwindigkeit des Programms.

Applikationsspezifische Manipulationen Dadurch, dass die Anwendung spezielle Möglichkeiten der Veränderung seiner Oberfläche und seines Verhaltens bietet, eröffnet sich mit jeder Anwendung spezielles Manipulationspotential, das sich nutzen lässt. Diese Manipulationen beruhen auf in der jeweiligen Anwendung angelegten Veränderungsmöglichkeiten wie etwa die Häufigkeit einzelner Spielsteintypen in der Beispielanwendung Tetris.

Zu den applikationsunspezifischen, generellen Manipulationsmöglichkeiten gehört neben der Interaktionsgeschwindigkeit z.B. die Eingabekontrolle (Tastaturzuverlässigkeit, Mausgeschwindigkeit) oder die Änderung der Helligkeit und des Kontrasts der Anzeige. Weiterhin kann beeinflusst werden, wie viel Rückmeldung der Nutzer vom Programm erfährt, damit er weiß, was gerade in der Anwendung passiert. Dazu gehören z.B. die Begrüßung zu Beginn eines neuen Levels und die Abschlussmeldung, wenn das Spiel verloren ist.

Zur weiteren Strukturierung wird jeder Manipulation eine Kategorie zugeordnet, die erkennen lässt, über welche Kanäle der Interaktion sie ihre Wirkung entfaltet. Ihrer Natur

nach sind die applikationsunspezifischen Manipulationen in die Kategorien „Allgemein“ einzuordnen. Alle allgemeinen, veränderlichen Größen von EmoTetris sind zusammen in der Tabelle 5.1 aufgeführt.

Kategorie	Veränderung	Eigenschaft	Wirkungsdimension
Allgemein	Interaktionsgeschwindigkeit	„ganz langsam“ bis „ganz schnell“	Freude
	Tastaturzuverlässigkeit	„unzuverlässig“ bis „zuverlässig“	Ärger

Tabelle 5.1: Übersicht der applikationsunspezifische Manipulationen

Neben den allgemeinen, applikationsunspezifischen Manipulationsmöglichkeiten gibt es von der benutzten Anwendung abhängige Veränderungsmöglichkeiten. Für das Spiel EmoTetris lässt sich ein solch applikationsabhängiges Manipulationspotential in den folgenden Kategorien angeben: „Feedback“ (Veränderungen in der Darstellung/Rückmeldung zum Spieler), „Interaktion“ (Manipulationen an interaktiven Elementen) und „Ereignisse“ (im Spielverlauf plötzlich, unvermittelt eintretende Ereignisse). Im Spiel „EmoTetris“ sind die applikationsspezifischen, speziellen Manipulationen eng an die Spielsteine (z.B. die Lava) und Ereignisse (z.B. der Steindieb) gekoppelt, die im ursprünglichen Tetris nicht vorkommen. Hinzu kommt z.B. die Veränderung der Länge der Vorschau. Sie macht die nächsten Steine sichtbar und erlaubt dem Spieler, seine Packstrategie anzupassen. Ist sie ausgeschaltet, kann er dies nicht tun. Eine Liste der applikationsspezifischen Manipulationen in den jeweiligen Kategorien ist in Tabelle 5.2 aufgeführt.

Kategorie	Veränderung	Eigenschaft	Wirkungsdimension
Feedback	Vorschaulänge	„ganz kurz“ bis „lang“	Freude
	Anzeigedauer	„gar nicht“ bis „lang“	Ärger - Freude
	Begrüßung im neuen Level	„freudig“, „neutral“ o. „hämisches“	Freude/Zufriedenheit - Ärger/Langeweile
	„Game-Over“-Nachricht	„freudig“, „neutral“ o. „hämisches“	Freude/Zufriedenheit - Ärger/Langeweile
Interaktion	Lavastein	zerfließt in Lücken	Freude
	Meteorit	schnell fallend, nicht drehbar	Ärger
	Ballon	langsam fallend, drehbar	Zufriedenheit
	Fallschirm	langsam fallend, nicht drehbar	Langeweile
Ereignisse	Spielsteindieb	nimmt Stein aus Vorschau	Ärger
	Punktediebstahl	zieht Spielpunkte ab	Ärger
	Punktegeschenk	schenkt Spielpunkte	Freude

Tabelle 5.2: Übersicht der applikationsspezifischen Manipulationen

Die Gesamtheit der hier aufgeführten Maßnahmen zur Manipulation des Spiels stellt das Adaptionspotential von EmoTetris dar. Aus dem Adaptionspotential werden die Maßnahmen der Adaptionskomponente isoliert. Das sind jene Maßnahmen, die bei der Inter-

aktion am effektivsten ihre Wirkung entfalten. Vorteilhaft wäre dabei, wenn für jede der hervorzurufenden Emotion Freude, Zufriedenheit, Langeweile und Ärger jeweils eine Maßnahme aus jeder der Kategorien identifiziert werden könnte. Dann wäre sichergestellt, dass die Beeinflussung des Spielers auf einem breiten Spektrum der Kommunikationskanäle geschieht. Hinzu kommt, dass sich die einzelnen Maßnahmen dann nicht so leicht gegenseitig beeinflussen könnten. Die Korrelation zwischen Manipulationen und Effekten wird dadurch einfacher.

Zur Beurteilung der einzelnen Maßnahmen und ihres Zusammenwirkens wurden die Daten, die aus unabhängig von dieser Arbeit durchgeführten Tests gewonnen wurden, analysiert. Bei den Daten handelt es sich um Aufzeichnungen zur Selbsteinschätzung zweier Probanden, seien sie A und B genannt, die während des Spiels mit EmoTetris immer wieder ihren persönlichen emotionalen Zustand beurteilen sollten (siehe Kapitel 4.1.1). Diese Einschätzungen wurden mit den Ereignissen (z.B. Häufigkeit der Steindiebstähle), den Eigenschaften des gerade laufenden Spiels (z.B. die Spielgeschwindigkeit) und den physiologischen Daten (siehe Kapitel 4.1.2) abgespeichert. Die Rohdaten waren vorverarbeitet (z.B. Ermittlung des häufigsten Spielsteins der letzten Spieleinheit) und vorselektiert (für jede Emotion waren nur die Daten abgespeichert, die höchstwahrscheinlich interessant für die Auswertung sein könnten) gewesen. Mit den vorverarbeiteten Daten wurde dann eine Analyse zur Wirksamkeit jeder einzelnen Maßnahme für diese Arbeit durchgeführt. Grundlegend war dabei die in Morgenstern (2005) vorgenommene Auswertungsstrategie.

Mit Weka (Witten u. Frank 2005) und den dort implementierten Verfahren (Entscheidungsbäume und Bayessche Netze - siehe dazu Kapitel 4.1.3) wurden Modelle über die Daten aufgestellt und diese Modelle anschließend entweder in Weka direkt oder mit einem Werkzeug zur Visualisierung, Manipulation und Abfrage von Bayesschen Netzen (Cozman) analysiert. So konnte die Güte einzelner Manipulationsmaßnahmen bzgl. ihrer tatsächlichen Wirkung bei den Probanden beurteilt werden (siehe auch in den Anlagen).

Da in den vorverarbeiteten Daten nicht zu allen in Tabelle 5.2 aufgeführten Größen Informationen vorhanden waren, konnte der Einfluß von „Begrüßung im neuen Level“, „Game-Over“-Nachricht und „Anzeigedauer“ nicht analysiert werden. Die Veränderung dieser Variablen scheint jedoch im Hinblick auf der verfolgten Idee der Manipulation direkt im Spiel nicht erheblich, da diese Veränderungen nur den Anfang bzw. das Ende eines Spiels beeinflussen, nicht die aktive Interaktionssequenz. Bei den restlichen Maßnahmen zeigte sich, dass einige wie vorausgesagt, andere nur marginal und wieder andere sehr ambivalent, d.h. von Situation zu Situation verschieden und im Vergleich zwischen den Testpersonen nicht einheitlich, wirkten. Daraufhin wurde eine Metaanalyse, die zum Ziel hatte, die wirksamsten Maßnahmen der Beeinflussung zu identifizieren, durchgeführt. Pro Proband, pro Zielemotion und pro Maßnahme lautete die Frage,

1. ob die Maßnahme für sich genommen einen wesentlichen Beitrag zur Ausprägung der Emotion leistet,
2. ob die Maßnahme als Teil einer aggregierten Maßnahme eine Wirkung in der gewünschten Dimension hat, und
3. ob vorhergesagt werden kann, dass die Maßnahme eine wesentliche Rolle spielen würde, wenn eine Emotion ihre maximale Ausprägung erreicht (also z.B. der

Spieler sehr ärgerlich werden soll.)

Die drei Kriterien wurden gleichgewichtet in die Metaanalyse aufgenommen, wobei sich die Gewichtung danach richtete, bei wie vielen der Kriterien jede Maßnahme Einfluss auf die Zielemotion zugesprochen bekam. Als Ausschlusskriterium für die Einbeziehung einer Maßnahme in den endgültigen Maßnahmenkatalog galt dabei, dass keine der Analysen von Proband A und B gegensätzlich sein dürfen. Für jede Zielemotion war von Interesse, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Manipulation vorkommt. „Vermehrt häufig“ wird dabei als positive Wirkung auf die Emotion interpretiert, während „normal häufig“ keine richtungsgebende, neutrale Wirkung zugeschrieben wird. „Weniger häufig“ Maßnahmen begünstigen die Erreichung der Zielemotion durch ihre Abwesenheit.

Bei den betrachteten Ergebnissen der zwei Probanden A und B ist die einzig ambivalente Kombination jene, dass eine Manipulation bei einem sehr häufig und beim anderen weniger häufig vorkommen soll. Dies lässt keine eindeutige generalisierte Interpretation zu. Daher wird jede Kombinationen der Form „vermehrt häufig - weniger häufig“ als ambivalent (in der Tabelle 5.3 mit einem „A“ gekennzeichnet) eingeschätzt. Sie sollten wegen der fraglichen Wirkung nicht verwendet werden.

Insgesamt ergaben sich für die einzelnen Maßnahmen die in Tabelle 5.3 dargestellten Ergebnisse, die in ausführlicher Form noch einmal in den Anlagen zu finden sind. „+“ kennzeichnet Maßnahmen, die für die Emotion förderlich durch Anwesenheit sind und daher häufig vorkommen sollen, wenn eine Beeinflussung in der Richtung gewünscht ist. „-“ markiert Maßnahmen, die förderlich durch Abwesenheit sind und daher selten vorkommen sollen und „0“ Maßnahmen mit mittlerer Wirkung, die normal häufig vorkommen können. Sie können eine einheitliche Tendenz anzeigen (bei beiden Probanden wirken sie in gleicher Weise) oder zumindest bei einem von beiden eine erhöhte Wirkung gezeigt haben, beim anderen normal häufig vertreten sein (z.B. „+/0“). Leere Stellen bedeuten, dass kein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Maßnahme und der Emotion erkannt wurde, weder positiv, noch negativ.

Kategorie	Manipulation	Freude	Ärger	Langeweile	Zufriedenheit
Allgemein	Geschwindigkeit	+	+	-	+
	Tastaturzuverlässigkeit	+	-	A	+
Feedback	Vorschaulänge	+/0	-	-/0	0
Interaktion	Lavastein	+			+
	Meteorit	-	+	-	
	Balloon			+	
	Fallschirm				A
Ereignisse	Steindiebstahl	-	A	-	A
	Punktdiebstahl	-	+/0	+	A
	Punktgeschenk	0	A	+/0	-/0

Tabelle 5.3: Ergebnis der Wirksamkeit einzelner Maßnahmen bei der Emotionsinduktion
(Erklärung zur Notation im Text)

Alle Maßnahmen, deren Analyseergebnisse nicht ambivalent sind, werden für die weitere Anwendung als gezielte Manipulation in EmoTetris vorgemerkt. Um die Maßnahmen

abgestuft einsetzen zu können, muss bekannt sein, wie stark zu voraussichtlich wirken, nicht nur ob sie wirken oder nicht. Um für jede Emotion eine Rangfolge der wirksamen Maßnahmen aufzustellen, wurde zusätzlich analysiert, welche Bewertung und Voraussagen einfache und komplexe Bayessche Netze zu den vorhandenen Daten machen können. Wie in Tabelle 5.4 zu erkennen, ist laut der Analysen und Voraussagen die überwiegende Anzahl der Manipulationen nur leicht wirksam. Vor allen Dingen gibt es für die Emotionen Freude und Langeweile anscheinend keine hochwirksame Maßnahme. Diese Tatsache zwingt dazu, Alternativen zu suchen.

Eine erste denkbare Alternative wäre, höchstwirksame Maßnahmen durch die Kombinationen von mittelwirksamen Maßnahmen in ihrer Wirkung nachzubilden. Ob dies Erfolg hat, ist aus der Theorie nicht abzulesen. Eine zweite Alternative könnte sein, die Maßnahmen nicht in drei, sondern nur in zwei Wirksamkeitsgrade einzustufen, etwa derart, dass die Klassen „höchstwirksam“ und „mittelwirksam“ zusammenfallen. Problematisch daran ist nur, dass auf diese Weise eine Abstufung verloren geht, die im späteren Einsatz u.U. benötigt wird. An dieser Stelle erscheint im Lichte der Ergebnisse die explizite Reduktion auf zwei Wirksamkeitsklassen als die bessere Wahl. Die erste Alternative würde nämlich bedeuten, dass für die Emotionen Freude und Langeweile die höchstwirksame Maßnahme nur emuliert werden könnte, wenn überhaupt. Das ergibt Probleme in der Vergleichbarkeit der Effekte wenn sie Emotionsmanipulationen gegenübergestellt werden, für die es eine bekannte höchstwirksame Maßnahme gibt. Dann würden Effekte einer emulierten und einer wirklich bekannten höchstwirksamen Maßnahme verglichen werden - methodisch ist dies mglw. problematisch.

Wirksamkeit	hoch	moderat	schwach	k.A.
Freude		3	5	2
Ärger	1	3	3	3
Langeweile		2	6	2
Zufriedenheit	1	3	4	2

Tabelle 5.4: Anzahl der Maßnahmen pro Emotion ihrer Wirksamkeit nach geordnet

Neben der Analyse der Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen, erscheint wichtig zu untersuchen, inwieweit jede typisch für eine Emotion ist. Es nützt wenig zu wissen, dass eine häufig auftretende Maßnahme eine Emotionsreaktion auslöst, wenn sie ihre Wirkung gleichzeitig auch auf andere Emotionen entfaltet. Dann ist nicht sichergestellt, dass beim Einsatz dieser Maßnahme (d.h. sie wird häufiger eingesetzt als normal) auch die Emotion ausgelöst wird, auf die man es abgesehen hat. Das Ergebnis der zweiten Analyse ist in Tabelle 5.5 dargestellt.

Sollte sich die Anzahl der Bewertungen nicht auf vier (=Anzahl der in dieser Arbeit unterschiedenen Emotionen) summieren, sind die fehlenden Fälle als neutral anzusehen. Ein optimales Ergebnis für eine Maßnahme wäre, dass sie nie ambivalent und höchstens einmal positiv oder negativ bewertet ist. Unter dieser Voraussetzung kann ein Wirkzusammenhang zwischen Maßnahme und Emotionsinduktion leicht erklärt werden. Wie man in Tabelle 5.5 feststellen kann, muss die Maßnahme Punktediebstahl für zwei Emotionen häufiger eingesetzt werden als in einer vergleichbaren Normalsituation. Sie wirkt aber auch auf eine andere Emotion, indem sie nicht so häufig angewandt wird. Auf eine dritte Emotion hat sie ambivalenten Einfluss. Die Maßnahme Punktediebstahl eignet sich damit nicht so stark, um eine bestimmte Emotion auszulösen. Hingegen ist der Ballon-

Auftreten	häufig	selten	ambivalent
Geschwindigkeit	3	1	0
Tastaturzuverlässigkeit	2	1	0
Vorschaulänge	1	2	0
Lavastein	2	0	0
Meteorit	1	2	0
Ballon	1	0	0
Fallschirm	0	0	1
Steindiebstahl	0	2	2
Punktdiebstahl	2	1	1
Punktgeschenk	1	1	1

Tabelle 5.5: Häufigkeit der Korrelation der Maßnahme mit den vier Emotionen

stein ein sehr guter Diskriminator. Er löst nur eine Reaktion aus: Langeweile (vergleiche mit Tabelle 5.3) und wirkt nie ambivalent.

Der Maßnahmenkatalog für die Adaption der allgemeinen Eigenschaften, der Ereignisse, des Feedback und der Interaktion in EmoTetris kann für jede Emotion aufgestellt werden. Das wichtigste Adaptionsziel ist dabei die positive Beeinflussung. In Tabelle 5.6 gibt an, mit welcher Priorität die Maßnahmen eingesetzt werden. Die Priorität ergibt sich aus dem jeweiligen Diskrimanzvermögen für die Emotion und der Wirksamkeit der Maßnahme. Sie bestimmt, welche Maßnahme als Einzelmaßnahme eingesetzt werden sollte, wenn keine aggregierte Maßnahme gewünscht ist.

Maßnahme	Priorität
Vorschaulänge	16
Tastaturzuverlässigkeit	14
Lava	14
Meteorit	8
Punktgeschenk	8
Geschwindigkeit	7
Punktdiebstahl	7
Steindiebstahl	5

Tabelle 5.6: Abgestufte Maßnahmen für Freude

5.2.4 Inferenzmechanismus

Eine ganze Reihe von Bibliotheken für Bayessche Netze sind frei verfügbar (einen Überblick gibt z.B. Murphy (2005)). Jedoch sind die meisten wie beispielsweise „Pulcinella“ (Umkehrer et al.) oder „smile“ (smi) nur für andere Programmiersprachen als Java verfügbar. Testversionen kommerzieller Systeme wie „Netica“ (software corporation) sind eingeschränkt bezüglich Benutzungsdauer oder Anzahl verwendbarer Knoten. Es existiert eine Implementierung für Java, genannt „JavaBayes“ (Cozman), die alle bisher ausgearbeiteten Anforderungen erfüllt. Sie ist Grundlage für die weitere Implementierung.

Mittels der Klassen ist es möglich, ein Netz (das über WEKA (Witten u. Frank 2005) aus vorherigen Interaktionen mit EmoTetris gelernt wurde) zu laden und abzufragen. Die Netze waren jeweils einfache Bayesschen Netze, die den Zusammenhang einer Emotionen mit den Maßnahmen abbildeten. Für jede der Emotionen Freude, Zufriedenheit, Langeweile und Wut gab es ein Netz. Die Abfrage läuft dann folgendermaßen: Nachdem über die Bewertungsfunktion festgestellt worden ist, wie weit der aktuellen Emotionszustand vom Optimum entfernt ist (entweder 1,2 oder 3, siehe Unterkapitel 5.2.2) wird dieses Maß genommen und damit die Evidenz des Emotionsknoten festgelegt. Nun lassen sich alle anderen Knoten abfragen und geben jeweils Werte zurück: ihre „Erklärung“ (engl. *explanation*). Nun gibt es also für jede Maßnahme einen Wahrscheinlichkeitswert dafür, dass diese Maßnahme stark, mittel oder schwach auftreten muss, um die Emotion zu realisieren. Daraufhin wird wieder nach der „Entfernung“ zum Optimum eine der drei Realisierungen jeder Maßnahme gewählt (hier kommt es auch darauf an, ob man die abgestufte Variante wählt oder nicht). Wenn für alle Maßnahmen bekannt ist, in welcher Stärke sie realisiert werden sollen, wird noch ein Schwellwert angelegt, um zu gering ausfallende Gewichte und damit unbedeutende Maßnahme herauszufiltern. Die übrig gebliebenen Maßnahmen sind dann die aggregierte Maßnahme, die als Kommando an EmoTetris geschickt wird.

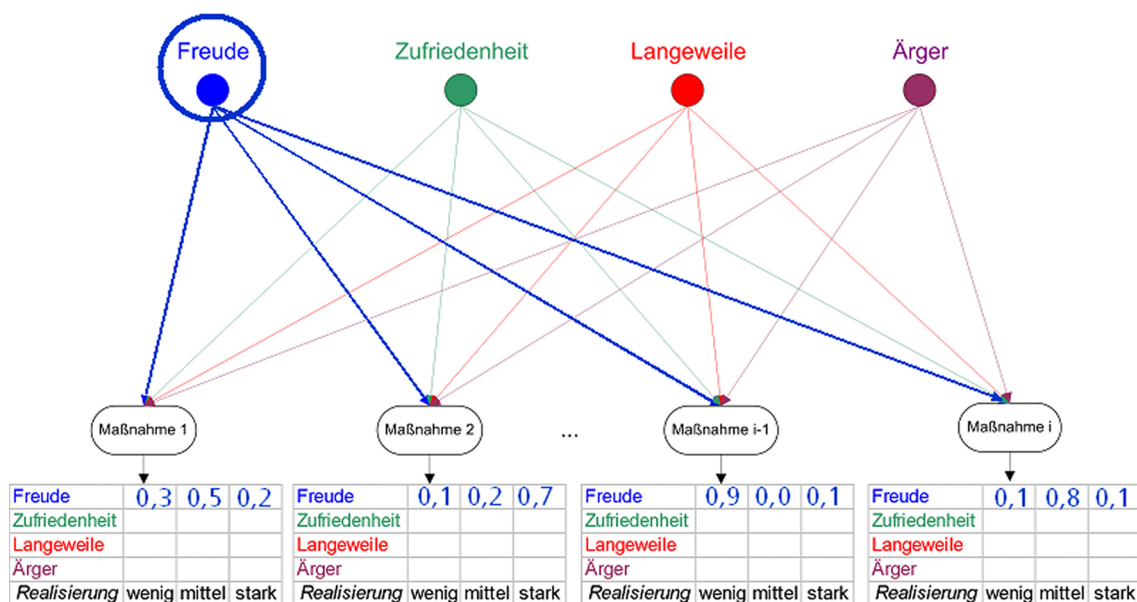


Abbildung 5.5: Schematische Darstellung der Funktionsweise bei der Abfrage Bayesscher Netze

Die hier präsentierte Lösung ist nur eine von mehreren Möglichkeiten, wie man die bekannten Daten zum emotionalen Status verwenden kann. Andere Überlegung zu Gewichtungen wurden im Text vorgestellt.

5.3 Integration der Komponenten

Fester Bestandteile der vorgeschlagenen Architektur ist eine Sensorik zur Erfassung der physischen Messgrößen, die Eingangsverarbeitung, der Inferenzmechanismus, der Maßnahmenkatalog und die Ausgangsverarbeitung. Zusätzlich wurde noch eine Schnittstel-

le in der Beispielanwendung, in diesem Fall EmoTetris, definiert, die Steuerkommandos annimmt und daraufhin Manipulationen an den Spielbedingungen vornimmt.

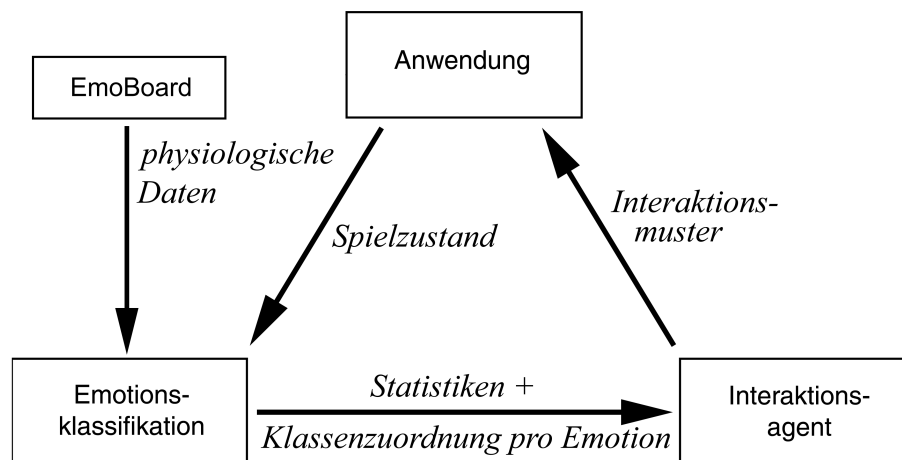


Abbildung 5.6: Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten und der Fluss der Daten zwischen ihnen

Zusammenfassung des Kapitels 5

Das EmoControl Framework wurde entworfen, in seinen Komponenten und die zwischen ihnen Zusammenarbeit vorgestellt. Besonderes Augenmerk lag dabei auf dem Maßnahmenkatalog und dem Interaktionsagenten, den beiden zentralen Bestandteilen der Architektur. Dazu wurde ein Verfahren präsentiert, das aus den Erkenntnisse zum emotionalen Zustand des Benutzers eine aggregierte Maßnahme zusammenstellt, die dann durch die EmoAnwendung ausgeführt wird. So soll der Benutzer möglichst in einen günstigen emotionalen Zustand gebracht werden.

Kapitel 6

Diskussion

6.1 Emotionsmodelle

6.1.1 Ergänzung zum Circumplexmodell

Anders als die in dieser Arbeit präsentierte Auslegung gibt es Hinweise darauf, dass Valenz und Erregung nicht unabhängig voneinander sind. Diese Interpretation legt nahe, dass bestimmte Kombinationen von Erregungs- und Valenzwerte in der menschlichen Gefühlswelt nur sehr selten vorkommen - so z.B. hohe Erregung bei neutraler Valenz oder hohe Valenz (positiv oder negativ) und niedrige Erregung (siehe Abbildung 6.1).

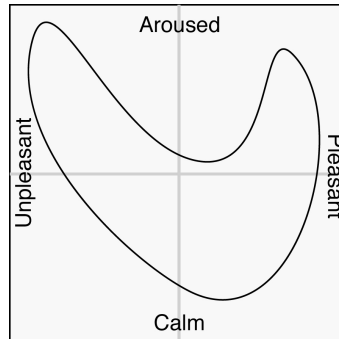


Abbildung 6.1: Eingeschränkter Erregungs-Valenz-Raum (adaptiert von Lang et al. (1999) und Bradley u. Lang (1991) wie in Dietz (1999) veröffentlicht).

Folgt man dieser Interpretation, muss der Interaktionsagent ein wenig abgewandelt werden: Ein direkten Übergang von einem zum anderen Zustand wäre nicht in jedem Fall möglich, weil dann Kombinationen von Erregung und Valenz eingenommen werden müssten, die laut Modell nicht vorkommen (siehe Abbildung 6.1). Um dieses Problem zu lösen müsste die Transformation von einem in den anderen Zustand über einen Zwischenschritt, der von jedem Zustandsrepräsentanten erreicht werden kann (*auf direktem Weg*), verlaufen. Der Einfachheit halber wäre so ein Punkt zentral gelegen, damit Transformationen zu ihm und von ihm weg so kurz wie möglich ausfallen. Da er alle Voraussetzungen erfüllt, bietet sich der Koordinatenursprung des VA-Diagramms als Interimszustand an. Die Transformation vom mutmaßlichen Emotions- zum Interimszustand und von diesem zum Zielzustand erfolgt nach den gleichen Prinzipien wie im ersten Ansatz

beschrieben. Sie kann wie auch das erste Verfahren entweder sprunghaft oder abgestuft erfolgen (siehe Abbildung 6.2), was mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen behaftet ist.

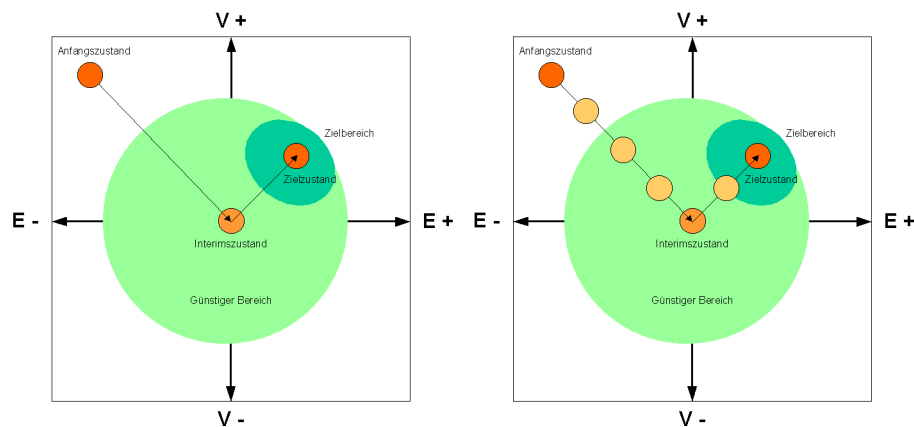


Abbildung 6.2: Angestrebter Übergang vom vermuteten Startzustand zum Zielzustand über einen Interimszustand im Ursprung (links dargestellt als „Sprung“, rechts in abgestuften Schritten)

6.1.2 Einsatz anderer Emotionsmodelle

Es wäre interessant, der Architektur für die Interpretation nicht nur ein Modell sondern auch andere Theorien zur Beschreibung affektiver Zustände zu Grunde zu legen. Hier sind die Einschätzungs- und Bewertungstheorie (engl. *appraisal theory* (Ortony et al. 1988)) zu nennen. Beschreibungen in diesem Modell würden es auch erlauben, einen bisher unbeachteten Einflussfaktor zu modellieren: die Persönlichkeit. Der emotionale Zustand ist in den erweiterten Modellen nur eine Einflussgröße auf das Handeln (z.B. wie der Nutzer EmoTetris spielt, was für Handlungen er dabei realisiert, aber auch verbale Äußerungen). In den erweiterten Modellen ergänzen die Größen Persönlichkeit und Stimmung als dynamischer Vermittler zwischen Persönlichkeit und emotionalem Zustand die Betrachtungsweise. Eine zweite im Circumplexmodell nicht weiter differenzierte Größe ist die aktuelle Belastung des Menschen. Beispielsweise Stress, Ermüdung und Arbeitsbelastung beeinflussen das Erleben und die körperliche Reaktion möglicherweise mehr als eine kurzzeitige Stimulierung durch Manipulationen. Persönlichkeit, Stimmung und Belastung beeinflussen den Menschen, sind aber mit dem bisherigen Ansatz nicht aus den Messdaten zu extrahieren. So entgehen möglicherweise interessante Informationen. Diese Informationen würden vor allem der notwendigen, vorgeschalteten Lernphase zu Gute kommen, um die Emotionen des Benutzers besser klassifizieren zu können.

Neue Modelle bieten die Chance, eine bessere Adaptivität der Anwendung hervorbringen. Allerdings erfordern neue Modelle auch eine grundlegende neue Konzeption und theoretische Fundierung dieser Konzepte, z.B. wie das Ziel der Adaption theoretisch fundiert ist.

6.2 Interaktionsagent

6.2.1 Andere Lernalgorithmen

Diese Arbeit hat Bayesschen Netzen den Vorzug vor anderen Verfahren gegeben und dies auch begründet. Im Laufe der Entwicklung traten jedoch einige Probleme auf, die direkt aus den Eigenschaften Bayesscher Netze resultierten - es sei nur die Problematik der vorherrschenden Emotion genannt. Hier hätte der Einsatz eines Neuronalen Netzes möglicherweise weiterhelfen können, doch diese waren in Tests nicht so erfolgreich in der Klassifizierung wie einfachere Verfahren wie z.B. Naive Bayes mit Datenvorverarbeitung. Support Vektor Maschinen kamen auch nicht an die Qualität der bisher eingesetzten Variante heran, obwohl sie in anderen Untersuchungen durchaus gute Ergebnisse erzielten (z.B.: bei der Vorhersage von Erregung und Valenz aus der Änderung der Pupillenweite).

Von der Güte der Lernalgorithmen und ihrer Fähigkeit, die physiologischen Daten korrekt zu klassifizieren, hängt auch die Qualität des Interaktionsagenten ab. Ist anfangs die Klassifikation schon falsch (dies kann man bisher nicht validieren, weil keine anderen Daten als die physiologischen vorliegen), sind automatisch auch die Maßnahmen, die getroffen werden falsch bzw. treffen auf eine andere Situation als auf die, für die sie geschaffen wurden. Daher ist jede Verbesserung in Sensorik oder Wissensverarbeitung auch eine Verbesserung des Interaktionsagenten.

6.2.2 Generalisierungsfähigkeit des Maßnahmenkatalogs

Der bestehende Maßnahmenkatalog basiert auf Erkenntnisse zur emotionalen Reaktion zweier Benutzer auf bestimmte Ereignisse. Dies ist keine ausreichende Grundlage, um darauf eine allgemeine Aussage für eine Gruppe oder generell „den Benutzer“ zu tätigen. Umfangreiche Vortests mit vielen Personen über einen längeren Zeitraum wären von Nöten, um einen Maßnahmenkatalog aufstellen zu können, der einen Querschnitt an effektiven Maßnahmen für die emotionale Beeinflussung eines Durchschnittsbenutzers enthält. Es könnte passieren, dass die interindividuellen Unterschiede in der Bewertung und Reaktion auf Manipulationen so unterschiedlich ist, dass keine oder nur eine sehr kleine Schnittmenge zurückbleibt.

Ein anderes Problem dieser Lösung: Die Einteilung in Benutzergruppen kollidiert mit dem Anspruch des „Affective Computing“, jeden Benutzer seiner emotionalen Andersartigkeit angemessen zu behandeln. Verfolgt man diesen Anspruch, wäre beim derzeitigen Stand der Forschung die Folge, dass die persönlichen, emotionssensitiven Begleiter lange trainiert werden müssten, damit sie adäquat reagieren. Zur Zeit werden am Fraunhofer-Institut in Rostock Datensätze von ca. 70 Probanden aufwändig ausgewertet, die möglicherweise auf die Frage eine Antwort geben, ob es typische Muster in der physiologischen Reaktion gibt. Auf der Seite der Reaktionsauslöser wäre interessant, ob sich Erkenntnisse generalisieren lassen und welche der von der Psychologie postulierten Wirkmechanismen auch in HCI bestätigt werden können.

6.2.3 Adaptionziel hinterfragt

Die aus der Literatur motivierte Konzentration auf die Schaffung oder Hinführung zu einem positiven affektiven Zustand, bedarf einer Differenzierung (Mangold 2001). Nicht

in jedem Fall ist es vorteilhaft, kognitive Aufgaben in einer unterhaltsamen und durch eine angenehme Stimmung ausgezeichneten Situation durchzuführen. In Situationen, „bei denen es eher auf kreative Assoziationen und weniger eingenge Kategorien ankommt, sollte eine positive Stimmung günstiger sein; stehen jedoch Präzision und Logik im Vordergrund, dann könnte eine (zu) positive Stimmung dem Resultat eher abträglich sein.“ (Mangold 2001)

Das Adaptionsziel ist aus noch einem anderen Grund zu hinterfragen: bisher geht der Ansatz dieser Arbeit davon aus, dass der Benutzer durch äußere Einflüsse in einen ungünstigen emotionalen Zustand gerät. Daraufhin werden Maßnahmen eingeleitet, die ihn positiv beeinflussen sollen. Unter der Annahme, dass keine Störung eintritt, wäre der Benutzer in dem als optimal angesehenem Erregungsniveau. Verweilt er zu lange dort, könnte er sich langweilen und die Interaktion beenden, noch bevor diese Emotion bemerkt wird. Absichtlich ein wenig Abwechslung in die Interaktion zu modellieren, wäre ein Ansatz gegen das Aufkommen von Langeweile, um z.B. ungewolltes Beenden der Interaktion vorzubeugen. Ein solches Abweichen vom ursprünglichen Ziel könnte z.B. in Fällen geschehen, die dem Zielzustand schon sehr nahe sind. Dann könnte per Zufall eine Maßnahme aus dem Katalog gewählt werden, um ein wenig Abwechslung in die Interaktion zu bringen.

6.3 Allgemeines

6.3.1 Anwendung der Architektur

In der prototypischen Umsetzung der Architektur hat diese Arbeit sich ein System zu eigen gemacht, das schon existierte und bestimmte physiologische Daten verarbeiten konnte. Will man die aufgezeigte Architektur in einem anderen Kontext übernehmen, müssen dort alle das Framework konstituierenden Komponenten vorhanden und in der aufgezeigte Weise gekoppelt sein. Vor allen Dingen muss der Maßnahmenkatalog an die Anwendung angepasst und die Schnittstellen zwischen den Komponenten geschaffen werden. Sollte nur die Anwendung gewechselt werden und das Framework an sich bestehen bleiben, müssen die notwendigen Schnittstellen in der Anwendung geschaffen und ein zu der Anwendung passender Maßnahmenkatalog deklariert werden. Diese Vorarbeiten können aufwendig und zeitraubend sein, denn ein effektiver Maßnahmenkatalog erfordert Vortest. Allgemein sollte beachtet werden, dass es bei der Anwendung adaptiver Verfahren Hinweise darauf gibt, dass Adaptivität nicht in allen Bereichen von Vorteil ist, obwohl die Theorie dies voraussagen würde (Jettmar 2000).

6.3.2 Datenerfassung

Die derzeitige Form der Datenerfassung ist auf wenige Sensoren beschränkt: Herzfrequenz, Hauttemperatur und Hautleitfähigkeit. Andere Messvariablen wie Muskelspannung, Pupillenbewegung oder EEG sind noch nicht analysiert worden. Inwiefern diese neue Erkenntnisse bringen und nicht nur dazu beitragen, die Interpretation der schon vorliegenden Daten noch zu erschweren, kann hier nicht vorhergesagt werden.

Bei der Erfassung physiologischer Daten sollten die Sensoren so benutzt werden, dass die Menschen damit komfortabel umgehen können. Die Entwicklung im IGD Rostock

hat gezeigt, dass die Handhabungsqualität unterschiedlich ausgereifter Prototypen für den (D)EmoKoffer mit der Einfachheit ihrer äußeren Form zunahm. Waren anfangs noch einzelne Sensoren mit Klettband an jeden Finger zu binden, gibt es mittlerweile eine komfortable Version in Form eines Handschuhs, der Daten mittels Funk überträgt (Beikirch et al. 2005). Die berührungslose Erfassung physiologischer Größen mit z.B. Infrarotkameras ist angedacht.

Die Erfassung relevanter Daten wird begünstigt durch Entwicklungen wie *ubiquitous computing* (Weiser 1991, 1993), die dazu führen könnten, dass eine breite Infrastruktur an rechnergestützten, untereinander kommunizierenden Systemen in unserer Umwelt existiert. Vorausgesetzt, es ist gewollt und die technischen Möglichkeiten sind vorhanden, könnte diese Infrastruktur mit Bio-Sensoren ausgestattet werden, die permanent und unauffällig ihre Umgebung abtasten (z.B. auch kontaktlos über Infrarotsensoren). Datensicherheit und Datenschutz sind in einer solchen Umgebung wichtige, zu beachtende Themen (Langheinrich 2005).

6.3.3 Ethische Abwägung

Es stellt sich die grundlegende Frage, ob man einer Maschine Einblick in die emotionale Intimsphäre erlauben will, die anschließend gar nicht mehr so intim ist. Die Diskussion über Computersicherheit kreiste bisher hauptsächlich um wirtschaftlich oder militärisch bedeutsame Daten, die in Gefahr stehen, ausspioniert zu werden. „Fühlcomputer“ könnten der erste Schritt in eine Gesellschaft sein, die Menschen aufgrund ihrer Gefühle manipuliert und unterdrückt, weil Big Brother eben nicht nur Gehaltszettel, Einkaufskorb und private E-Mails kennt. Neben der Arbeit an den „Fühlcomputern“ sollte ebensoviel Kraft in die Entwicklung von Schutzmaßnahmen fließen, damit die Daten wirklich nur den Programmen oder Menschen zugänglich sind, für die sie bestimmt sind. Jedes System sollte z.B. seinen eigenen Firewall bekommen, um es ausreichend nach innen und außen zu schützen.

Erkenntnisse für die vorliegende Arbeit

In diesem Kapitel sind Anregungen und Überlegungen zu Fragen der affektiven Systeme besonders im Hinblick auf die in dieser Arbeit entworfenen Architektur zu finden. Neuen Möglichkeiten bei der Wahl des zu Grunde liegenden Emotionsmodells werden vorgeschlagen und der Interaktionsagent und das Adaptionmodell werden kritisch hinterfragt. Abschließend werden eher allgemeine Fragen erörtert, z.B. die nach der ethischen Dimension der emotionalen EDV. Anhand der in diesem Abschnitt aufgeworfenen neuen Fragen lassen sich zukünftige Themen zur Bearbeitung im Gebiet der emotionalen Benutzungsschnittstellen identifizieren.

Kapitel 7

Fazit

An den vielfältigen Diskussionspunkte in Abschnitt 6 ist schon zu erkennen, dass dieses Gebiet noch jung ist und die Suche nach neuen Erkenntnis stetig voranschreitet. Die Forschung zu interaktionsbegleitenden, emotionsadaptiven Informationsangeboten befindet sich noch in den Anfängen. Es scheint wichtig, aus diesem Thema, das so mannigfaltige Fragestellungen aufwirft, besonders interessante zu identifizieren:

- Ein generelle Maßnahmenkatalog für eine Klasse von Anwendungen wäre von großem Vorteil. Allerdings bedarf es einiges Aufwandes, so einen zu extrahieren.
- Die Aspekte des Persönlichkeitsschutzes sollten nicht zu leicht genommen werden. Hier bedarf es einer breiten Diskussion.

Das Forschungsarbeiten, die in letzter Zeit in diesem Gebiet erschienen sind, markieren eine Entwicklung, die in wenigen Jahren zu Angeboten führen könnte, mit denen den Nutzern hoffentlich ein signifikant zufriedenstellenderes Arbeiten möglich sein wird.

Das EmoControl Framework, wie es in dieser Arbeit exemplarisch entworfen wurde, ist nicht ohne weiteres auf beliebige andere Anwendungen übertragbar. Die Prinzipien mögen die gleichen sein, aber die Anwendung muss erstens gewisse Vorbedingungen erfüllen und zweitens eine Schnittstelle für die Anbindung bereitstellen.

Das dringendste Anliegen nach Abschluss der Konzeption und Umsetzung wird sein, Tests mit dem Framework zu starten. Sie sollen Funktionalität und Validität der Maßnahmen zeigen, um die praktische Relevanz der verschiedenen Abwägungen und Adaptionsstrategien auszuprobieren.

Nachwort

Das Studium der Computervisualistik (CV)¹ ist dazu gedacht, die Kompetenzen zu vermitteln, als Ansoolvent eine Schnittstellenposition zwischen unterschiedlichen Disziplinen wie Medizin, Maschinenbau, Design oder Pädagogik auf der einen und der klassischen Informatik oder Informationstechnologie auf der anderen Seite einzunehmen. Zum Zeitpunkt meines Beginns gab es noch keine Absolventen, die mir hätten praktisch vor Augen führen können, was ich mit dem Abschluss machen könne.

Als ich mich entschloss, CV zu studieren, habe ich dies in erster Linie getan, weil das Fach versprach, ein breites Spektrum meiner Interessengebiete abzudecken. Durch mehrere „Nebenfächern“ aus dem Bereich der Geistes- und Ingenieurwissenschaften kam ich nicht nur mit den harten Fakten der Technik, sondern auch auf die „weichen“ Faktoren z.B. der Pädagogik in Berührung. Ein Seminar über Computerspiele und deren Wirkmechanismen gab mir den Anstoß, mich intensiver mit Computern als Medien auseinanderzusetzen, z.B. als Lerninstrument oder Lehrhilfe. So entdeckte ich die „sanfte Seite“ der Rechner und mein Interesse an Fragen der Mensch-Maschine Interaktion.

Während meines Berufspraktikum am Human Technology Laboratory konnte ich dieses Interesse weiter vertiefen. Dort habe ich mit Hilfe der Angereicherten Realität (engl.: *Augmented Reality*) eine Schnittstelle zwischen Mensch und Computer geschaffen, um Lernanwendungen benutzerfreundlich zu machen (Graf 2004). Mein Hintergrundwissen aus dem CV-Studium war mir dabei besonders hilfreich, weil ich aus meinen Nebenfächern Psychologie und Pädagogik das Hintergrundwissen mitbrachte und aus der Informatik die Fertigkeiten, mein Vorhaben umzusetzen. Der Themenbereich Benutzungsschnittstellen und Usability ist seither mein favorisiertes Beschäftigungsgebiet.

Die Idee zu dieser Arbeit entstand durch meine Beschäftigung mit dem Thema affektive Benutzungsschnittstellen während eines Praktikums am Fraunhofer IGD in Rostock. Dort ergab sich die Möglichkeit eines Diploms in „meinem“ Wunschgebiet HCI. Durch die am IGD laufende Forschung hatte ich die einmalige Möglichkeit, direkt an neuen Erkenntnisgewinnen mitzuwirken, was eine zusätzliche Motivation darstellte. Ergebnisse daraus sind auch Graf (2005a); Graf u. Oertel.

Mit dieser Diplomarbeit möchte ich zeigen, was ich im Studium gelernt habe und wie man es umsetzen kann. Sie zeigt als Schlusspunkt meines Werdegangs als CVist auch, was für mich Computervisualistik in der Praxis heißt.

Rostock, 6. Februar 2006

¹Informationen dazu unter auf der Webseite des Studiengangs: <http://www.computervisualistik.de>

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet.

Rostock, den 6. Februar 2006

Abbildungsverzeichnis

2.1	Emotionen als Begleiterscheinung der (kognitiven) Verarbeitung von Informationsangeboten	12
2.2	Permanente Wechselwirkung zwischen kognitiver und emotionaler Verarbeitung	12
2.3	Circumplexmodell der Emotionen (Russell 1980) (Achsenbeschriftung vom Autor hinzugefügt)	16
2.4	Erweitertes Emotionsmodell: Kontrolle als dritte Dimension (aus Schuster 2004)	17
2.5	Ergebnis einer Metastudie zur Verortung von Emotionsbeschreibungen im Valenz-Erregungsraum(aus Scherer 2000)	18
2.6	Acht-Kanal-Modell des Flows nach Massimini (1991) (Abbildung aus Fischer 2005)	20
2.7	Yerkes-Dodson Kurve: Bis zu einem bestimmten Punkt steigert Erregung die Leistung, davor und danach ist sie suboptimal.	21
3.1	Bei zunehmender Komplexität passt das erlernte Netz immer besser zu den Trainingsdaten, wird aber gleichzeitig schlechter bei der Vorhersage unbekannter Testdaten: es ist überangepasst (engl. <i>overfitting</i>).	37
3.2	Prinzipieller Aufbau eines Neuronalen Netzes	38
3.3	Arten von Neuronalen Netzen (aus Malaka (2004))	38
3.4	Beispiel eines einfachen Bayesschen Netzwerks (aus Russell u. Norvig (1995))	40
4.1	Schematische Darstellung der Komponenten des „(D)EmoKoffers“ (rechts) mit dem ihn bedienenden Benutzer (links) (Herbort 2004b)	44

4.2	Spielbildschirm von EmoTetris mit Spielfläche (links) und dem sich darin auftürmenden Spielsteinstapel, Informationsbereich (rechts oben) und Spielsteinvorschau (rechts Mitte)	44
4.3	Ausschnitt aus einem Fragebogen mit Antwortskalen	45
4.4	Vier Emotionen, die durch die Manipulation von EmoTetris erzeugt können, repräsentiert im Circumplexmodell	46
4.5	Sensorik und Steuergerät zur Erfassung der physiologischen Größen Puls, Hautwiderstand und Hauttemperatur	47
4.6	Komplette Visualisierung mit mehreren redundanten Möglichkeiten, den geschätzten emotionalen Zustand des Spieler abzulesen	48
4.7	OmniRoute als Framework hinter EmoControl: Synchronisation und Weiterleiten der Daten (Darstellung angelehnt an Mader 2004)	50
4.8	Komponenten des EmoFrameworks: schwarz die vorhandenen, rot die neuen	52
4.9	Schematischer Aufbau des EmoControl-Frameworks mit seinen Komponenten und der Verarbeitungsabfolge: OmniRoute synchronisiert die Daten und leitet sie weiter	54
5.1	Synchronisation der physiologischen Daten von der Sensorik und der Statusdaten der Anwendung	58
5.2	Angestrebter Übergang vom vermuteten Startzustand direkt zum Zielzustand (links dargestellt als „Sprung“, rechts in abgestuften Schritten) . . .	61
5.3	Eine Kostenfunktion: Randbereiche sind nicht günstig für die Aufgabenerfüllung - sie werden mit hohen „Strafen“ belegt	61
5.4	Verschiedene Distanzmaße gegenübergestellt: (1) Randlagen (2) euklidischer Abstand (3) Manhattanabstand (4) aggregiert (v.l.n.r)	62
5.5	Schematische Darstellung der Funktionsweise bei der Abfrage Bayesscher Netze	68
5.6	Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten und der Fluss der Daten zwischen ihnen	69
6.1	Eingeschränkter Erregungs-Valenz-Raum (adaptiert von Lang et al. (1999) und Bradley u. Lang (1991) wie in Dietz (1999) veröffentlicht).	70

6.2	Angestrebter Übergang vom vermuteten Startzustand zum Zielzustand über einen Interimszustand im Ursprung (links dargestellt als „Sprung“, rechts in abgestuften Schritten)	71
1	Verschiedene Typen der Spielsteine: normal, Meteorit, Fallschirm, Ballon, Lava (v.l.n.r.)	xxx
2	Wirkungsbereich der unterschiedlichen Steintypen im Russelschem Valenz-Erregungsdiagramm interpretiert	xxxi
3	Ausschnitt des Verlaufs der Hauttemperatur während einer Testung . . .	xxxiii
4	Einfache Visualisierung des emotionalen Zustands in EmoTetris	xxxv
5	Zwei Beispiele der Ereignisverarbeitung in OmniRoute mit Quellen, Filter und Senken: Links aus unterschiedlichen Sensoren gespeist (<i>online</i> Verarbeitung), rechts aus einer Sitzungsaufnahme (<i>offline</i> Verarbeitung) (aus Mader 2004)	xxxviii

Tabellenverzeichnis

5.1	Übersicht der applikationsunspezifische Manipulationen	63
5.2	Übersicht der applikationsspezifischen Manipulationen	63
5.3	Ergebnis der Wirksamkeit einzelner Maßnahmen bei der Emotionsinduktion (Erklärung zur Notation im Text)	65
5.4	Anzahl der Maßnahmen pro Emotion ihrer Wirksamkeit nach geordnet .	66
5.5	Häufigkeit der Korrelation der Maßnahme mit den vier Emotionen	67
5.6	Abgestufte Maßnahmen für Freude	67

Verzeichnis der Abkürzungen

EDV	Elektronische Datenverarbeitung
GUI	engl. <i>Graphical User Interface</i> : Graphische Benutzungsschnittstelle
HCI	engl. <i>Human-Computer Interaction</i> : siehe MCI
ITS	Intelligente Tutoresysteme
KI	Künstliche Intelligenz
MCI	Mensch-Computer Interaktion
MMI	Mensch-Maschine Interaktion
OOP	Objekt-orientierte Programmierung
SRCT	engl. <i>Social Responses to Communication Technologies</i> : (soziale Reaktionen auf Kommunikationstechnologien)
UI	engl. <i>User Interface</i> : Benutzungsschnittstelle

Literaturverzeichnis

smi

SMILE (*Structural Modeling, Inference, and Learning Engine*). <http://genie.sis.pitt.edu/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Andreassi 2000

ANDREASSI, J.L.: *Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response*. 4. Auflage. Hillsdale, New Jersey : Earlbaum, 2000

Ark et al. 1999

ARK, Wendy S. ; DRYER, D. C. ; LU, Davia J.: The Emotion Mouse. In: *Proceedings of HCI International (the 8th International Conference on Human-Computer Interaction) on Human-Computer Interaction: Ergonomics and User Interfaces-Volume I*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.. – ISBN 0-8058-3391-9, 818-823

Axelrod 2004

AXELROD, Lesley: The affective connection: how and when users communicate emotion. In: *CHI '04: CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, 2004. – ISBN 1-58113-703-6, S. 1033-1034

Baillie 2002

BAILLIE, Penny: An Agent with a Passion for Decision Making. In: *Proceedings of Agents in Simulation 2002, Passau, Germany, 2002*, S. S. 7-12

Baillie u. Lukose 2002

BAILLIE, Penny ; LUKOSE, Dickson: *An Affective Decision Making Agent Architecture using Emotion Appraisals*. <http://www.sci.usq.edu.au/staff/bailliep>. Version: 2002

Ball u. Breese 2000

BALL, G. ; BREESE, J.: Emotions and personality in a conversational character. In: CASSELL, Justine (Hrsg.) ; SULLIVAN, J. (Hrsg.) ; PREVOST, S. (Hrsg.) ; CHURCHILL, E. (Hrsg.): *Embodien Conversational Agents*. Cambridge MA, USA : MIT Press, 2000, S. 189-219

Barker 1968

BARKER, R.G.: *Ecological psychology. Concepts and methods for studying the environment of human behavior*. Stanford, CA, USA : University of California Press, 1968

Bartlett et al. 1999

BARTLETT, M.S. ; HAGER, J.C. ; EKMAN, P. ; SEJNOWSKI, J.J.: Measuring facial expression by computer image analysis. In: *Psychophysiology* 36 (1999), S. 253-263

Beavin et al. 1967

BEAVIN, Janet H. ; JACKSON, Don D. ; WATZLAWICK, Paul: *Pragmatics of Human Communication - A Study of Interactional Patterns, Pathologies, and Paradoxes*. New York, NY, USA : Norton, 1967

Beikirch et al. 2005

BEIKIRCH, Helmut ; PETER, Christian ; EBERT, Eric: Funkgestützte robuste Erfassung physiologischer Signale mit mobiler Sensorik. Version: 2005. https://ini.igd.fraunhofer.de/bibcd/INI_Science/papers/2005/05p158.pdf. In: *Tagungsdokumentation Wireless Technologies Kongress - aktuelles und praxisnahes Wissen kompakt*. Mesago Messe Frankfurt, 10. – Online-Ressource

Benyon et al. 1994

BENYON, D. ; KÜHME, T. ; MALINOWSKI, U. ; SUKAVIRIYA, P.: Computer-aided Adaption of User Interfaces. In: *SIGCHI Bulletin* (1994), January

Black 1991

BLACK, Uyless: *OSI: A Model for Computer Communications Standards*. Facsimile Edition. Prentice Hall, 1991

Blythe u. Hassenzahl 2003

BLYTHE, M. ; HASSENZAHL, M.: The semantics of fun: Differentiating enjoyable experiences. In: BLYTHE, M. (Hrsg.) ; OVERBEEKE, C. (Hrsg.) ; MONK, A. F. (Hrsg.) ; WRIGHT, P. C. (Hrsg.): *Funology: From Usability to Enjoyment*. Dordrecht : Kluwer, 2003, S. S. 31–42

Boucsein 1995

BOUCSEIN, Wolfram: Die elektrodermale Aktivität als Emotionsindikator. In: G. DEBUS, G. E. (Hrsg.) ; KALLUS, K.W. (Hrsg.): *Biopsychologie von Stress und emotionalen Reaktionen - Ansätze interdisziplinärer Forschung*. Göttingen : Hogrefe, 1995, S. 143–161

Bradley u. Lang 1991

BRADLEY, M.M. ; LANG, P.J.: *International affective digitized sounds (IADS): technical manual and affective ratings*. University of Florida: Gainesville, FL: The Center for Research in Psychophysiology, 1991

Burleson et al. 2004

BURLESON, W. ; PICARD, R.W. ; PERLIN, K. ; LIPPINCOTT, J.: *A Platform for Affective Agent Research*. Workshop on Empathetic Agents, International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Columbia University, New York, NY. <http://affect.media.mit.edu/publications.php>. Version: Juli 2004

Burleson 2004

BURLESON, Win: *Affective Learning Companions*. Maceio - Alagoas, Brasil, Doctoral Consortium in conjunction with the 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Diss., 30. August 2004. <http://affect.media.mit.edu/publications.php>. – Elektronische Ressource

Calvin 2004

CALVIN, William H.: *A Brief History of the Mind: From Apes to Intellect and Beyond*. Cambridge, MA : Oxford University Press, 2004. – ISBN 0-19-515907-1

Cannon 1927

CANNON, W.B.: The James-Lange theory of emotion: A critical examination and an alternative theory. In: *American Journal of Psychology* (1927), Nr. 39, S. 106–124

Cassell u. Vilhjálmsen 2001

CASELL, J. ; VILHJÁLMSSEN, H.: BEAT: The Behavioural Expression Animation Toolkit. In: *SIGGRAPH '01, Los Angeles, CA, USA* (2001)

Cinotti 2004

CINOTTI, T.S.: WHYRE: a context-aware wearable computer for museums and archaeological sites. In: *Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, IEEE, 2004

Cornelius 2000

CORNELIUS, R.R.: Theoretical Approaches to Emotion / ISCA Workshop on Speech and Emotion: A conceptual framework for research. Belfast, Northern Ireland, 2000. – Forschungsbericht

software corporation

CORPORATION, Norsys software *Netica - Bayesian Network Software*. <http://www.norsys.com/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Cozman

COZMAN, Fabio G.: *Javabayes - Bayesian Networks in Java*. <http://www-2.cs.cmu.edu/~7ejavabayes/Home/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Csikszentmihalyi 1992

CSIKSZENTMIHALYI, M.: *Flow - Das Geheimnis des Glücks*. Stuttgart : Klett-Cotta, 1992

Damasio 1994

DAMASIO, Antonio: *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. New York, NY, USA : Gosset/Putnam Press, 1994

Damasio et al. 1990

DAMASIO, A.R. ; TRANEL, D. ; DAMASIO, H.: Individuals with sociopathic behavior caused by frontal damage fail to respond autonomically to social stimuli. In: *Behavioural brain research* 41 (1990), S. 81–94

Darwin 1872

DARWIN, Charles: *Expression of the emotions in man and animals*. London : John Murray, 1872

Diener u. Schumacher 2001

DIENER, Holger ; SCHUMACHER, Hagen: Game Based Interfaces. In: *European Association for Computer Graphics (Eurographics): Eurographics 2001. CD-ROM : Full Papers, Short Presentations, STAR's, Tutorials (incl. Multimedia)* (2001), 6. https://ini.igd.fraunhofer.de/bibcd/INI_Science/papers/2001/01p073.pdf

Dietz 1999

DIETZ, A.: Affective agents: Effects of agent affect on arousal, attention, liking and learning. In: *Proceedings of International Cognitive '99*. San Francisco, CA, USA, 1999

Dollard u. Doob 1939

DOLLARD, J. ; DOOB, L.-W.: *Frustration und Aggression*. Yale University Press, 1939

Ebert 2005

EBERT, Eric: *Weiterentwicklung und Verifikation eines Messsystems zur Erfassung humanphysiologischer Sensordaten unter Berücksichtigung des SEVA-Konzepts*, Hochschule Wismar, Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, Diplomarbeit, 2005

Ekman 1982

EKMAN, Paul: *Emotion in the Human Face*. Cambridge : Cambridge University Press, 1982

Ekman 1992

EKMAN, Paul: An Argument for Basic Emotion. In: *Cognition and Emotion* 6 (1992)

Encarnação u. Diener 2004

ENCARNAÇÃO, José L. ; DIENER, Holger: Edutainment : Graphische Datenverarbeitung als Basistechnologie. In: *Informatik Spektrum* 27 (2004), Nr. 6, S. 512–515

Eysenck 1967

EYSENCK, Hans: *The Biological Basis of Personality*. Springfield, IL : CC Thomas, 1967

Fischer 2004

FISCHER, Gösta: *Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Nutzertests im Kontext Mensch-Maschine-Interaktion*. 2004. – Fraunhoferinstitut für graphische Datenverarbeitung Institutsteil Rostock

Fischer 2005

FISCHER, Gösta: *Emotionale Veränderungen von Spielenden in Abhängigkeit vom Feedback und der Steuerbarkeit eines Computerspiels*, Institut für Psychologie, Technische Universität Darmstadt, Diplomarbeit, Februar 2005

Fridlund 1994

FRIDLUND, A.: *Human Facial Expression: An Evolutionary View*. NY : Academic, 1994

Friedrich 2003

FRIEDRICH, Gerhard: Im Land der märchenhaften Zahlen. Die Neurodidaktik wird die Pädagogik nicht umwälzen - dennoch kann sie vieles leisten. In: *DIE ZEIT* (2003), Nr. 40

Frijda 1986

FRIJDA, N.H.: *The Emotions*. Cambridge, MA : Cambridge University Press, 1986

Frohlich 2004

FROHLICH, David M.: Beauty as a Design Prize. In: *Human-Computer Interaction* 19 (2004), Nr. 4, 359-366. http://www.leaonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1904_4

Garneau 2001

GARNEAU, P.-A.: *Forteen forms of fun*. Version: 2001. http://www.gamasutra.com/features/20011012/garneau_01.htm. WWW. – Online-Ressource

Gibson 1979

GIBSON, J.J.: *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston : Houghton Mifflin, 1979

Graf 2004

GRAF, Christian: Digital Characters in the Real World - A review of embodied agents and augmented reality / Otto-von-Guericke Universität Magdeburg. Version: 2004. <http://www.cs.uni-magdeburg.de/~cgraf/Praktika/HITLab2003/>. Universitätsplatz 2, 39104 Magdeburg, 2004. – Studienarbeit. – Elektronische Ressource

Graf 2005a

GRAF, Christian: *Digital Characters as Affective Interfaces*. Präsentation auf der HCI2005 in Edinburgh, Workshop „The Role of Emotion in Human-Computer Interaction“. <http://www.igd-r.fraunhofer.de/private/graf/HCI2005/>. Version: 5.-9. September 2005

Graf 2005b

GRAF, Christian: Visualisierung im Projekt Demokoffer / Fraunhofer-Institut Graphische Datenverarbeitung, Institutsteil Rostock: AR2 Human-Centered Interaction Technologies. Version: März 2005. <http://www.igd-r.fraunhofer.de/private/graf/Praktikum>. Joachim-Jungius-Straße 11, 18059 Rostock, März 2005. – Praktikumsbericht. – Elektronische Ressource

Graf u. Oertel

GRAF, Christian ; OERTEL, Karina: *Motivation in der Interaktion: Ansätze zur Emotionserkennung und -expression*. – Workshopband „Game Based Learning“ der GMW / DelFI 2005, im Erscheinen

Gratch 2000

GRATCH, Jonathan: Émile: Marshalling passions in training and education. In: *AGENTS '00: Proceedings of the fourth international conference on Autonomous agents*. New York, NY, USA : ACM Press, 2000. – ISBN 1-58113-230-1, S. 325–332

Gratch et al. 2002

GRATCH, Jonathan ; RICKEL, Jeff ; ANDRÉ, Elisabeth ; CASSELL, Justine ; PETAJAN, Eric ; BADLER, Norman: Creating Interactive Virtual Humans: Some Assembly Required. In: *IEEE Intelligent Systems* 17 (2002), Nr. 4, S. 54–63. <http://dx.doi.org/10.1109/MIS.2002.1024753>. – DOI 10.1109/MIS.2002.1024753. – ISSN 1094-7167

Hassenzahl 2003

HASSENZAHL, Marc: *Spielend arbeiten? Computerspiele und 'ernsthafte' Software*. Version: Juli 2003. http://www.playability.de/1/hassenzahl_p.htm. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Hassenzahl 2004

HASSENZAHL, Marc: The Interplay of Beauty, Goodness, and Usability in Interactive Products. In: *Human-Computer Interaction* 19 (2004), Nr. 4, 319-349. http://www.leaonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1904_2

Herbon et al. 2005

HERBON, A. ; PETER, C. ; MARKERT, L. ; VAN DER MEER, E. ; VOSKAMP, J.: Emotion Studies in HCI - a New Approach. In: *Proceedings of the HCI International Conference, Las Vegas*, 2005

Herbort 2004a

HERBORT, Oliver: *EmoTetris 1.009 - Benutzerhandbuch*. Endversion. Joachim-Jungius-Straße 11 18059 Rostock: Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung Institutsteil Rostock, Abteilung AR2 Human-Centered Interaction Technologies, September 2004

Herbort 2004b

HERBORT, Oliver: Emotionsinduktion und automatische Emotionsklassifikation anhand physiologischer Daten bei Benutzern eines Computerspiels / Fraunhofer Institut Graphische Datenverarbeitung Rostock. Joachim-Jungius-Straße 11 18059 Rostock, Oktober 2004. – Forschungsbericht

Herczeg 1994

HERCZEG, M.: *Software-Ergonomie. Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation*. Bonn : Addison Wesley, 1994

Hänze 1998

HÄNZE, M.: *Denken und Gefühl. Wechselwirkung von Emotion und Kognition im Unterricht*. Neuwied : Luchterhand, 1998

amberlight human computer interactions 2005

HUMAN COMPUTER INTERACTIONS amberlight: *HCI Briefings - Enjoyment and emotion in technology design*. Version:2005. http://www.amber-light.co.uk/resources/primer_emotion.htm. WWW. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Izard 1994

IZARD, Carroll E.: *Die Emotionen des Menschen: eine Einführung in die Grundlagen der Emotionspsychologie*. 2.Auflage. Weinheim : Beltz Psychologie Verlags Union, 1994

James 1894

JAMES, W.: The physical basis of emotion. In: *Psychological Review* (1894), Nr. 1, S. 516–529

Jensen 2001

JENSEN, Finn V.: *Bayesian Networks and Decision Graphs*. Springer Springer, 2001

Jettmar 2000

JETTMAR, Eva: *Adaptive Interfaces: Effects on Performance*. Oktober 2000. – Unveröffentlichtes Manuskript

Johnson u. Wiles 2003

JOHNSON, Daniel ; WILES, Janet: Effective affective user interface design in game. In: *Ergonomics* 46 (2003), Nr. 13/14, S. 1332–1345

Jordan 2002

JORDAN, P.: *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. CRC Press, 2002

Küchlin u. Weber 2005

KÜCHLIN, Wolfgang ; WEBER, Andreas: *Einführung in die Informatik : objektorientiert mit Java*. 3. überarb. Auflage. Berlin : Springer, 2005 (eXamen.press)

Kelter 2003

KELTER, Udo: *Software-Architekturen*. Version: August 2003. http://pi.informatik.uni-siegen.de/kelter/lehre/04w/lm/lm_sar_20030318_tty. WWW. – Online-Ressource

Kirch-Prinz u. Prinz 2002

KIRCH-PRINZ, Ulla ; PRINZ, Peter: *OOP mit C++*. Limitierte Studienausg., 1. Aufl. Bonn : Galileo Press, 2002 (Galileo computing)

Klein 1999

KLEIN, J.: *Computer Response to User Frustration*, Massachusetts Institute of Technology, Technical Report No 480, 1999

Klein et al. 2002

KLEIN, J. ; MOON, Y. ; PICARD, R.W.: This computer responds to user frustration: Theory, design, and results. In: *Interacting with Computers* 14 (2002), Nr. 2, S. 119–140

Krone et al. 2002

KRONE, Alexandra ; HAMBORG, Kai-Christoph ; GEDIGA, Günther: Zur emotionalen Reaktion bei Fehlern in der Mensch-Computer-Interaktion. In: *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie* 46 (2002), Nr. 4, S. 185–200

Lang et al. 1999

LANG, P.J. ; BRADLEY, M.M. ; CUTHBERT, B.N.: *International affective picture system (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings*. University of Florida: Gainesville, FL: The Center for Research in Psychophysiology, 1999

Lange 1887

LANGE, C.G.: *Über Gemüthsbewegungen*. Leipzig : Theodor Thomas, 1887

Langheinrich 2005

LANGHEINRICH, Marc: Die Privatsphäre im Ubiquitous Computing - Datenschutzaspekte der RFID-Technologie. Version: 2005. <http://beat.doebe.li/bibliothek/t05125.html>. In: *Das Internet der Dinge*. Springer, Seite 329- 362. – Online-Ressource

Langley 1997

LANGLEY, P.: User modeling in adaptive interfaces. In: *Proceedings of the Seventh International Conference on User Modeling*. Banff, Alberta : Springer, 1997, S. S. 357–370

Lazarus 1991

LAZARUS, R.S.: *Emotion and adaption*. London : Oxford University Press, 1991

LeDoux 1994

LEDoux, J.E.: Emotion, Memory and the Brain. In: *Scientific American* (1994), Nr. 270, 32-39. <http://www.cns.nyu.edu/home/ledoux/overview.htm>

LeDoux 1996

LEDoux, J.E.: *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. New York, NY, USA : Simon & Schuster, 1996

Lepper u. Malone 1987

LEPPER, M. R. ; MALONE, T. W.: Intrinsic motivation and instructional effectiveness in computer-based education. In: SNOW, R. E. (Hrsg.) ; FARR, M. J. (Hrsg.): *Aptitude, learning, and instruction, III: Conative and affective process analysis*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1987, S. 255–286

Luhmann 2002

LUHMANN, Niklas ; BAECKER, Dirk (Hrsg.): *Einführung in die Systemtheorie*. Carl Auer Verlag, 2002

Maaß 1993

MAASS, S.: Software-Ergonomie. Benutzer- und aufgabenorientierte Systemgestaltung. In: *Informatik Spektrum* 16 (1993), S. 191–205

MacLean 1975

MACLEAN, P.D.: Sensory and Perceptive Factors in Emotional Functions of the Triune Brain. In: LEVI, L. (Hrsg.): *Emotions - Their Parameters and Measurement*. New York : Raven Press, 1975, S. 71–92

Mader 2004

MADER, Steffen: A Freely Configurable, Multi-modal Sensor System for Affective Computing. Version: 2004. <http://fhgonline.fhg.de/cgi-bin/starfinder/15761/bibliotheken.txt>. In: ANDRÉ, Elisabeth et a. (Hrsg.): *Affective Dialogue Systems: Tutorial and Research Workshop*. Springer Verlag (Lecture Notes in Artificial Intelligence 3068), 313–318. – Online-Ressource

Malaka 2004

MALAKA, Rainer: *Mustererkennung und Maschinelles Lernen*. <http://www.cl.uni-heidelberg.de/kurs/ws04/ml/>. Version: 2004. – Vorlesungsfolien Wintersemester 2004/05

Malone 1981

MALONE, T.: Toward a theory of intrinsically motivating instruction. In: *Cognitive Science* 5 (1981), Nr. 4, S. 333–369

Malone u. Lepper 1987

MALONE, T. W. ; LEPPER, M. R.: Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. In: SNOW, R. E. (Hrsg.) ; FARR, M. J. (Hrsg.): *Aptitude, learning, and instruction, III: Conative and affective process analysis*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1987

Mandler 1992

MANDLER, G.: Memory, arousal and mood: a theoretical integration. In: CHRISTIANSON, Sven ake (Hrsg.): *The handbook of emotion and memory: research and theory*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates, 1992

Mangold 2001

MANGOLD, Roland: Digitale Emotionen - Wo bleiben die Gefühle bei medialen Informationsangeboten? In: HALMA. *Hallische Medienarbeiten* (2001), Nr. 14. <http://www.medienkomm.uni-halle.de/forschung/publikationen/halma14.shtml>

Marañón 1924

MARAÑÓN: Contribution à l'étude de l'action émotive de l'adrenaline. In: *Revue Francaise d'Endocrinologie* (1924), Nr. 2, S. 301–325

Massimini 1991

MASSIMINI, M.: Die systematische Erfassung des Flow-Erlebens im Alltag. In: CSIKSZENTMIHALYI, I. S. (Hrsg.): *Die außergewöhnliche Erfahrung im Alltag*. Stuttgart : Klett-Cotta, 1991

McDougall 1908

MCDUGALL, William: *An Introduction to Social Psychology*. London : Methuen, 1908

Morgenstern 2005

MORGENSTERN, Stefan: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung bzgl. der Zusammenhänge zwischen den Einstellungen des Tetrisspiels und der vom Benutzer angegebenen Emotionsausprägungen / Fraunhofer-Institut Graphische Datenverarbeitung, Institutsteil Rostock. 2005. – Interner Bericht

MORI 1999

MORI: *Employees Get 'It' Out Of Their Systems*. Version: May 1999. <http://www.mori.com/polls/1999/rage.shtml>. WWW. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Murphy 2005

MURPHY, Kevin: *Software Packages for Graphical Models / Bayesian Networks*. Version: November 2005. <http://www.ai.mit.edu/%7emurphyk/Bayes/bnsoft.html>. WWW. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Nakatsu 1998

NAKATSU, Rhyohei: Nonverbal information recognition and its application to communications. In: *MULTIMEDIA '98: Proceedings of the sixth ACM international conference on Multimedia*. New York, NY, USA : ACM Press, 1998. – ISBN 1-58113-163-1, S. 2–9

Neider et al. 1994

NEIDER, Jackie ; DAVIS, Tom ; WOO, Mason ; FULLAGAR, Joanne C. (Hrsg.) ; ROGELBERG, David (Hrsg.): *The OpenGL Programming Guide - The Redbook*. Originalauflage. Addison Wesley http://www.opengl.org/documentation/red_book_1.0/

Nielsen 1993

NIELSEN, Jakob: *Usability Engineering*. Academic Press <http://www.useit.com/jakob/useengbook.html>

Norman 2004a

NORMAN, Donald A.: *Emotional Design: Why We Love (Or Hate) Everyday Things*. Basic Books, 2004

Norman 2004b

NORMAN, Donald A.: Introduction to This Special Section on Beauty, Goodness, and Usability. In: *Human-Computer Interaction* 19 (2004), Nr. 4, 311-318. http://www.leaonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1904_1

Norman 2005

NORMAN, Donald A.: Human-centered design considered harmful. In: *interactions* 12 (2005), Nr. 4, S. 14-19. <http://dx.doi.org/10.1145/1070960.1070976>. – DOI 10.1145/1070960.1070976. – ISSN 1072-5520

Oatley 1992

OATLEY, K.: *Best laid schemes: The psychology of emotions*. Cambridge, MA : Cambridge University Press, 1992

Oertel et al. 2004

OERTEL, Karina ; FISCHER, Gösta ; DIENER, Holger: Physiological Response to Games and Non-games: A Contrastive Study. In: RAUTERBERG, Matthias (Hrsg.): *Entertainment Computing – ICEC 2004: Third International Conference, Eindhoven, The Netherlands, September 1-3*. Bd. 3166, 2004, S. 402-405

Ortony et al. 1988

ORTONY, Andrew ; CLORE, Gerald ; COLLINS, Allan: *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge : Cambridge University Press, 1988

Overbeeke u. Wensveen 2004

OVERBEEKE, Kees ; WENSVEEN, Stephan: Beauty in Use. In: *Human-Computer Interaction* 19 (2004), Nr. 4, 367-369. http://www.leaonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1904_5

Paulus 2003

PAULUS, Jochen: Lernrezepte aus dem Hirnlabor. Mithilfe der Neurobiologie wollen Wissenschaftler die Pädagogik revolutionieren. Die Beweise für ihre Thesen sind dürftig. In: *DIE ZEIT* (2003), Nr. 38. <http://www.zeit.de/2003/38/B-Neurodidaktik?page=all>

Pearl 1988

PEARL, Judea: *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. Morgan Kaufmann, 1988

Perlin 2003

PERLIN, K.: *Responsive Face*. Version: 2003. <http://www.mrl.nyu.edu/perlin/facedemo/>. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005. – Facial animation demo

Peter et al. 2005

PETER, C. ; EBERT, E. ; BEIKIRCH, H.: A Wearable Multi-Sensor System for Mobile Acquisition of Emotion-Related Physiological Data. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, Beijing 2005*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer Verlag, 2005

Pfeifer u. Scheier 1999

PFEIFER, Rolf ; SCHEIER, Christian: *Understanding Intelligence*. MIT Press <http://mitpress.mit.edu/catalog/item/default.asp?ttype=2&tid=3701>

Picard 1997

PICARD, Rosalind W.: *Affective computing*. Cambridge, MA, USA : MIT Press, 1997. ISSN 0-262-16170-2

Picard et al. 2001

PICARD, Rosalind W. ; VYZAS, Elias ; HEALEY, Jennifer: Toward Machine Emotional Intelligence: Analysis of Affective Physiological State. In: *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 23 (2001), Nr. 10, S. 1175–1191. <http://dx.doi.org/10.1109/34.954607>. – DOI 10.1109/34.954607. – ISSN 0162-8828

Picard 1998

PICARD, R.W.: Toward agents that recognize emotion / Massachusetts Institute of Technology. Boston, 1998 (Nr. 515). – Vision and Modeling Technical Reports

Picard 2001

PICARD, R.W.: Building HAL: Computers that sense, recognize, and respond to human emotion / Boston: Massachusetts Institute of Technology. Boston, 2001 (532). – Vision and Modeling Technical Reports

Plutchik 1984

PLUTCHIK, R.: Emotions: A general psychoevolutionary theory. In: SCHERER, K.R. (Hrsg.) ; EKMAN, P. (Hrsg.): *Approaches to emotion*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1984, S. 197–219

Polzin u. Waibel 2000

POLZIN, T. S. ; WAIBEL, A.: Emotion-sensitive human-computer interfaces. In: *Proceedings of the ISCA ITRW on Speech and Emotion, Newcastle, 5-7 September 2000*. Belfsat : Textflow, 2000, S. 53–59

Preim 1998

PREIM, Bernhardt: *Entwicklung interaktiver Systeme*. Berlin : Springer-Verlag, 1998

Randell 2003

RANDELL, C.: Ambient Wood: Demonstration of a Digitally Enhanced Field Trip for Schoolchildren. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Ubiquitous Computing*, IEEE, 2003

Reeves u. Nass 1996

REEVES, Byron ; NASS, Clifford I.: *The Media Equation : How People Treat Computers, Televisions, and New Media Like Real People and Places*. Stanford, Calif., New York; Cambridge : Cambridge University Press, 1996 (CSLI Publications)

Richard et al. 2004

RICHARD, S. ; WRIGHT, Jr. ; LIPCHAK, Benjamin: *Open GL Super Bible*. 3.Auflage. Macmillan Computer Publishing, 2004

Rose 1990

ROSE, Marshall T.: *The Open Book: A Practical Perspective on Osi*. Prentice Hall, 1990

Roseman et al. 1996

ROSEMAN, I.J. ; ANTONIOU, A.A. ; JOSE, P.E.: Appraisal determinants of emotions: Constructing a more accurate and comprehensive theory. In: *Cognition and Emotion* 10 (1996), Nr. 3, S. 241–277

Roth 2001

ROTH, Gerhard: *Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert*. Frankfurt/Main : Suhrkamp Verlag, 2001. – ISBN 3–518–58313–1

Russell 1980

RUSSELL, James A.: A Circumplex Model of Affect. In: *Journal of Personality and Social Psychology* 39 (1980), Nr. 6, S. 1161–1178

Russell u. Norvig 1995

RUSSELL, Stuart J. ; NORVIG, Peter: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. London : Prentice Hall, 1995

Schachter u. Singer 1962

SCHACHTER, S. ; SINGER, J.E.: Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. In: *Psychological Review* 69 (1962), Nr. 5, S. 379–399

Scheich 2001

SCHEICH, Henning: Lernprozesse in verschiedenen Lebensaltern. Version: 2001. http://www.ifn-magdeburg.de/en/organization/public_relations/press_releases/index.jsp. In: *Lernen – ein Leben lang. Vorläufige Empfehlungen und Expertenberichte* Bd. 10. Forum Bildung, 181-188. – Online-Ressource

Scheich 2002

SCHEICH, Henning: Motor für Lernprozesse - Thesen zum optimalen Lernen aus der Neurobiologie. In: *Erziehung & Wissenschaft* (2002), Nr. 6. http://www.ifn-magdeburg.de/en/organization/public_relations/press_releases/index.jsp

Scheich 2003a

SCHEICH, Henning: Jahresbericht Abteilung Akustik, Lernen, Sprache. Version: 2003. http://www.ifn-magdeburg.de/de/abteilungen/akustik_lernen_sprache/index.jsp. In: *Forschungsbericht 2002/2003*. Leibniz-Institute for Neurobiology - Center for Learning and Memory Research. – Online-Ressource

Scheich 2003b

SCHEICH, Henning: Lernen unter der Dopamindusche. In: *Die Zeit* (2003), 18.09.2003, Nr. 39. http://www.zeit.de/2003/39/Neurodidaktik_2

Scheirer et al. 2002

SCHEIRER, Jocelyn ; FERNANDEZ, Paul ; KLEIN, Jonathan ; PICARD, Rosalind W.: Frustrating the user on purpose: A step toward building an affective computer. In: *Interacting with computers* 14 (2002), S. 93–118

Scherer 2004

SCHERER, Carien M. van Reekum Tom Johnstone Rainer Banse Alexandre Etter Thomas Wehrle Klaus R.: Psychophysiological responses to appraisal dimensions in a computer game. In: *Cognition and Emotion* 18 (2004), Nr. 5, S. 663–688

Scherer 2000

SCHERER, K. R.: Emotion. In: STROEBE, M. Hewstone & W. (Hrsg.): *Introduction to Social Psychology: A European perspective*. 3.Auflage. Oxford: Blackwell, 2000, S. 151–191

Scherer 1990

SCHERER, K.R.: Theorien und aktuelle Probleme der Emotionspsychologie. In: SCHERER, K.R. (Hrsg.): *Psychologie der Emotion*. Göttingen : Hogrefe, 1990

Schlunbaum 1997

SCHLUNGBAUM, Egbert: Individual User Interfaces and Model-Based User Interface Software Tools. In: *Intelligent User Interfaces*, 1997, S. 229–232

Schmidt-Atzert 1996

SCHMIDT-ATZERT, L.: *Lehrbuch der Emotionspsychologie*. Stuttgart : Kohlhammer, 1996

Scholze-Stubenrecht et al. 2005

SCHOLZE-STUBENRECHT, Werner ; EICKHOFF, Birgit ; MANG, Dieter: *Duden - Das Große Fremdwörterbuch*. Mannheim, Deutschland : Bibliographisches Institut, 2005. – ISBN 3–411–04058–0

Schuster 2004

SCHUSTER, Grit: *Persönlichkeitsgesteuerte Charaktere in Interaktiven Welten*. Universitätsplatz 1, 39106 Magdeburg, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, Institut für Simulation und Grafik, Diplomarbeit, September 2004

Shneiderman 2005

SHNEIDERMAN, Ben: *Designing the user interface : strategies for effective human-computer-interaction*. 4.Auflage. Reading, Mass. : Addison Wesley Longman, 2005

de Sousa 1990

SOSA, R. de: *The rationality of emotion*. Cambridge, MA : MIT Press, 1990

Spitzer 2001

SPITZER, Manfred: Wie unser Gehirn lernt. In: *Forum Schule* (2001), April, Nr. 3. <http://www.forumschule.de/archiv/04/fs04/magang.html>

Spitzer 2003

SPITZER, Manfred: Medizin für die Pädagogik. In: *DIE ZEIT* (2003), Nr. 39. <http://www.zeit.de/2003/39/Neurodidaktik?page=all>

Stern 2003

STERN, Elsbeth: Rezepte statt Rezeptoren - Lernen lässt sich nicht auf Hirnfunktionen reduzieren. Das Wissen um die Biochemie des Hippocampus nützt den Lehrern im Klassenzimmer wenig. In: *DIE ZEIT* (2003), Nr. 40

Tractinsky 2004

TRACTINSKY, Noam: A Few Notes on the Study of Beauty in HCI. In: *Human-Computer Interaction* 19 (2004), Nr. 4, 351-357. http://www.leaonline.com/doi/abs/10.1207/s15327051hci1904_3

Trumbley et al. 1994

TRUMBLEY, J.E. ; ARNETT, K.P. ; JOHNSON, P.C.: Productivity Gains via an Adaptive User Interface. In: *Journla of human-computer studies* 40 (1994), S. 63–81

Umkehrer et al.

UMKEHRER, Elisabeth ; XU, Hong ; SAFFIOTTI, Alessandro: *Pulcinella - Propagating Uncertainty through Local Computations*. <http://iridia.ulb.ac.be/pulcinella/Welcome.html>. Internet. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Vyzas 1999

VYZAS, E.: Recognition of emotional and cognitive states using physiological data / Massachusetts Institute of Technology. Boston, 1999 (510). – Vision and Modeling Technical Reports

Waters u. Levergood 1993

WATERS, K. ; LEVERGOOD, T. M.: DECface: an automatic lip synchronization algorithm for synthetic faces / DEC Cambridge Research Laboratory. Cambridge, MA, 1993 (CRL 93/4). – Technical Report

Waters 1987

WATERS, Keith: A muscle model for animating three-dimensional facial expression. In: *Computer Graphics* 21 (1987), Nr. 4, S. 17–24

Watson 1919

WATSON, John B.: *Psychology from the standpoint of a Behaviorist*. 1919

Weiner 1982

WEINER, B.: The emotional consequences of causal attributions. In: M.S. CLARK, S.T. F. (Hrsg.): *Affect and cognition*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1982, S. 185–209

Weiser 1991

WEISER, Mark: The computer for the 21st century. In: *Scientific America* 3 (1991), Nr. 265, 66–75. <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/SciAmDraft3.html>
<http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>

Weiser 1993

WEISER, Mark: Ubiquitous Computing. In: *IEEE Computer 'Hot Topics'* (1993). <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiCompHotTopics.html>
<http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>

WikimediaFoundation a

WIKIMEDIAFOUNDATION: *Wikipedia - Die freie Enzyklopädie*. <http://de.wikipedia.org>. WWW. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

WikimediaFoundation b

WIKIMEDIAFOUNDATION: *Wikipedia - The free Encyclopedia*. <http://en.wikipedia.org>. WWW. – Online-Ressource, Abruf: 01.12.2005

Wingrove u. Bond 1998

WINGROVE, Janet ; BOND, Alyson J.: Angry Reactions to Failure on a Cooperative Computer Game: The Effect of Trait Hostility, Behavioural Inhibition, and Behavioural Activation. In: *Aggressive Behaviour* 24 (1998), S. 27–36

Witten u. Frank 2005

WITTEN, Ian H. ; FRANK, Eibe: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 2.Auflage. Morgan Kaufmann. – ISBN 0-12-088407-0. <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/book.html>

Wolschner 2003

WOLSCHNER, Klaus: Von Rennmäusen und Menschen. In: *die tageszeitung* (2003), Nr. 6958, 22. <http://www.taz.de/pt/2003/01/20/a0015.nf/text>

Yerkes u. Dodson 1908

YERKES, R.M. ; DODSON, J.D.: The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. In: *Journal of Comparative Neurology and Psychology* 18 (1908), S. 459–484

Younes 1998

YOUNES, Håkan L.: *Current Tools for Assisting Intelligent Agents in Real-time Decision Making*. Stockholm, Sweden, Department of Computer and Systems Sciences, Royal Institute of Technology and Stockholm University, Masterarbeit, Dezember 1998. citeseer.ist.psu.edu/younes98current.html. – Elektronische Ressource. – No. 98-x-073

Zajonc 1980

ZAJONC, R.B.: Feeling and Thinking. Preferences need no Inferences. In: *American Psychologist* 35 (1980), Nr. 2, S. 151–175

Zimmermann et al. 2003

ZIMMERMANN, P. ; GUTTORMSEN, S. ; DANUSER, B. ; GOMEZ, P.: Affective Computing - A rationale for measuring mood with mouse and keyboard. In: *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 9 (2003), Nr. 4, S. 539–551

Anhang

- A Ergänzende Beschreibung: „EmoTetris“ - Ein Computerspiel zur Emotionsinduktion
- B Ergänzende Beschreibung: „EmoBoard“ - Sensorik und Vorverarbeitung
- C Ergänzende Beschreibung: Maschinelles Lernen, Lernphase
- D Ergänzende Beschreibung: Visualisierung zur Repräsentation der Ergebnisqualität
- E Ergänzende Beschreibung: „OmniRoute“ - Konfiguration, Synchronisation und Datentransport in Echtzeit
- F Auszug aus Morgenstern (2005): Maßnahmen zur Emotionsinduktion
- G Analyse der Wirksamkeit der Maßnahmen zur Emotionsinduktion
- H Analyse der Abhängigkeit der Klassifikationsgüte von der Klassenanzahl der Dimensionen Valenz und Erregung
- I Analyse unterschiedlicher Abstandsmaße und der Aggregation von Klassen
- J Statistische Auswertung: Klassifikationsergebnisse unterschiedlicher Datamining-Verfahren ohne und mit unterschiedlicher Aggregation der Klassen

A Ergänzende Beschreibung: „EmoTetris“ - Ein Computerspiel zur Emotionsinduktion

Die Aufgabe des Spielers bei Tetris wie auch EmoTetris besteht darin, nacheinander herunterfallende Steine durch Verschieben und Drehen so auf- und nebeneinander zu platzieren, dass komplette Reihen der Spielfläche gefüllt sind. Diese vollständigen Reihen werden danach aufgelöst und die darüber liegenden Steine rutschen nach unten. Das Auflösen von Reihen bringt Punkte, je nach dem, wie viele Reihen gleichzeitig aufgelöst werden. Ab bestimmten Punktegrenzen, gelangt der Spieler in ein höheres Level, in dem die Steine schneller herabfallen und das Stapeln schwieriger zu meistern ist. Ziel des Spiels ist, möglichst viele Punkte zu sammeln, ohne dass sich die Spielfläche völlig füllt. Hat der Stapel von Steinen die Spielfläche gefüllt, ist das Spiel zu Ende.

Im folgenden sind die Mittel zur Emotionsinduktion genauer aufgeführt, zusammen mit ihrer beabsichtigten Wirkung auf die Dimensionen Valenz und Erregung (nach Herbort 2004b, S.12ff).

Steine: Im ursprünglichen Tetris gibt es nur Spielsteine, die aus vier zusammenhängenden Blöcken bestehen und kein besonderes Verhalten zeigen. In EmoTetris gibt es zusätzlich zu diesen Steinen vier weitere Steinsorten (siehe Abbildung 1), die so in ihrem Verhalten (durch ihre Optik verdeutlicht) gestaltet sind, dass sie die o.g. Emotionen Ärger, Langeweile, Freude und Zufriedenheit hervorrufen können (siehe Abbildung 2):

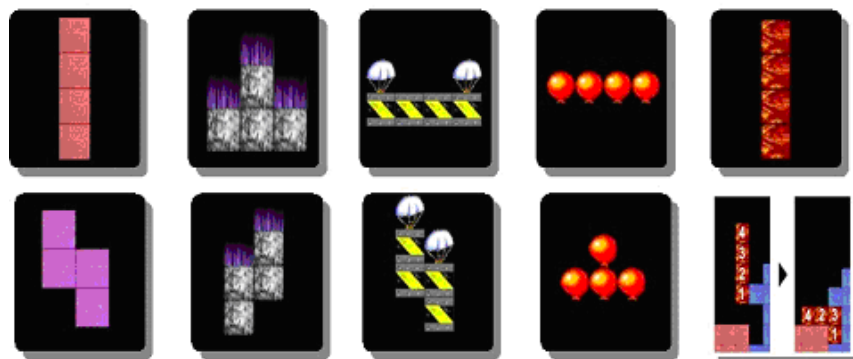


Abbildung 1: Verschiedene Typen der Spielsteine: normal, Meteorit, Fallschirm, Ballon, Lava (v.l.n.r.)

1. Es gibt Steine, die unabhängig vom Level schnell oder langsam fallen und gegebenenfalls eingeschränkt manipulierbar sind, zum Beispiel nicht drehbar. Hierzu gehören die im Spiel auftretenden **Meteoritensteine** (schnell, nicht drehbar), **Fallschirmsteine** (langsam, nicht drehbar) und **Ballonsteine** (langsam, drehbar). Die schnellen, nicht manipulierbaren Meteoritensteine sollen den Nutzer in seiner Zielhandlung hindern, ihn so erregen und ein negatives Gefühl hervorrufen. Fallschirmsteine können zwar auch nicht gedreht werden, fallen dafür aber langsam, so dass genug Zeit bleibt, sie zu positionieren. Sie sollen den Spieler wenig erregen, haben aber auch keine besondere Valenz für ihn. Ballonsteine sind auch langsam, der Spieler kann sie aber voll manipulieren und soll dadurch positiv beeinflusst werden, obwohl seine Erregung ebenfalls niedrig bleibt.
2. Daneben gibt es Steine, die voll manipulierbar sind und in normaler Geschwindig-

keit fallen, aber am Boden zerfließen. Diese **Lavasteine** füllen Lücken rechts und links unterhalb des aufsetzenden Blocks und verteilen sich solange, bis kein Block mehr zu positionieren ist. Diese Art Steine soll den Spieler zufrieden machen und z.B. aus einer schwierig erscheinenden Steinkonstellation doch noch einen günstigen Abschluss finden lassen. Die Wirkung des Steins wird mit positiver Valenz und relativ hoher Erregung postuliert.

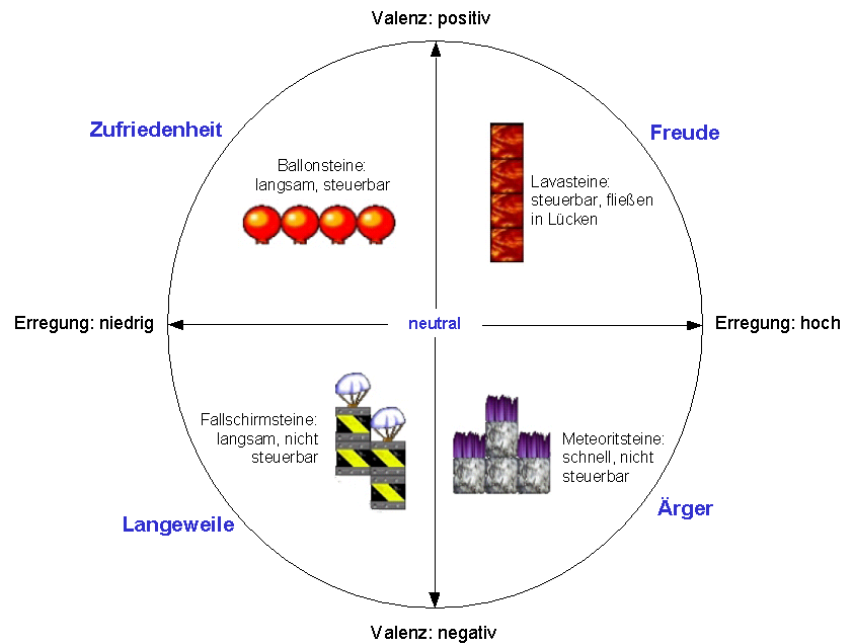


Abbildung 2: Wirkungsbereich der unterschiedlichen Steintypen im Russelschem Valenz-Erregungsdiagramm interpretiert

Ereignisse: In EmoTetris können während des gesamten Spielablaufs Ereignisse auftreten, die von visuellen (eine Hintergrundgrafik oder -animation im Spielfeld) und auditiven Repräsentanten (ein kurzes Geräusch) begleitet werden. Manche Ereignisse richten sich nach dem gegenwärtigen Punktestand des Spielers, andere sind davon unbeeinflusst und treten somit für den Spieler unvorhersehbar auf. Alle möglichen Ereignissen sind im folgenden erklärt (vgl. Herbort 2004a, S.12):

1. Der **Level-Magier** (d.h. das Level-Magier-Ereignis tritt auf) erscheint nur als Mittel einer Bedingung, also nicht im normalen Spielverlauf. Es versetzt den Spieler in ein anderes Level, entweder in ein höheres, schwereres oder in ein niedrigeres, leichteres. Der Level-Magier wird dementsprechend dargestellt: böse oder freundlich. So soll der Level-Magier dem Spieler beim Spiel behindern oder hindern und mittelbar seinen emotionalen Zustand beeinflussen. Vorversuche haben gezeigt, dass die Spielgeschwindigkeit (die bei höheren Leveln steigt) massgeblich mit dem Erregungszustand korreliert (vgl. Herbort 2004a).
2. Das **Neues-Level**-Ereignis kann durch Erreichen einer bestimmten Punktzahl ausgelöst werden. Die Spielgeschwindigkeit erhöht sich, der Anspruch an den Spieler steigt. Damit soll sich auch der Erregungszustand erhöhen.

3. Das **Punktegeschenk**-Ereignis kann nur als Mittel einer Bedingung ausgelöst werden. Es kann ein Geschenk oder einen Diebstahl sein, die jeweils durch entsprechende Grafiken visualisiert werden. Beide sollen v.a. die Valenz des Spielers beeinflussen (positiv und negativ).
4. Das **Stein-Dieb**-Ereignis ist ebenfalls Manipulationsmittel. Es sorgt dafür, dass der Stein in der Vorschau nicht das Spielfeld erreicht. Ein anderer als der erwartete Stein fällt dann herab. Die Meldung an den Nutzer erfolgt visuell durch eine Hintergrundgrafik. Der Diebstahl soll v.a. die Valenz des Spielers negativ beeinflussen.
5. Die **Vorschau** auf die kommenden Spielsteine kann ebenfalls durch Ereignisse beeinflusst werden. Sie ist im schlechtesten Falle komplett leer, im besten Fall kann der Spieler die nächsten drei Steine sehen. Längere Vorschau soll ein besseres Kontrollgefühl erzeugen und trägt damit zum Abbau der Erregung und höherer Valenz bei.
6. Ein **Tetris**-Ereignis tritt beim Auflösen von vier Reihen auf, wenn dies nur durch das Absetzen eines einzigen Steins erreicht wird. Es ist durch eine Grafik und eine kurze Tonfolge begleitet. Es soll die Erregung dämpfen und die Valenz steigern.

Die Spielsteine lassen sich über die Pfeiltasten auf der Tastatur steuern, falls der Stein noch frei fällt. Für jede Spielbedingung ist dabei einstellbar, mit welcher Wahrscheinlichkeit überhaupt Tastendrucke verarbeitet und an die Spielsteinkontrolle weitergegeben werden. So kann die Kontrollmöglichkeit des Spielers manipuliert werden.

B Ergänzende Beschreibung: „EmoBoard“ - Sensorik und Vorverarbeitung

Die Herzfrequenz wurde mittels eines Brustgurtes abgenommen. Er funkte seine Daten an einen Empfänger, der die Daten zur Weiterverarbeitung aufbereitete. Zwei Elektroden an den mittleren Segmenten des Zeige- und Mittelfingers der linken Hand der Versuchsperson maßen die Hautleitfähigkeit. Ein Temperatursensor am inneren Segment des Ringfingers der linken Hand maß die Hauttemperatur.

Zwar sind weder der Hautleitfähigkeits- noch der Temperatursensor geeicht, doch für die Suche nach Zusammenhängen genügen auch Daten mit unbekannten Einheiten und unsicherer Linearität, da nicht die absoluten Werte interessieren, sondern Korrelationen von immer wieder gleich auftretenden physiologischen Veränderungen und emotionalen Zuständen. Abbildung 3 gibt einen Eindruck davon, wie die Daten einer solchen Messung im Verlauf aussehen könnten.

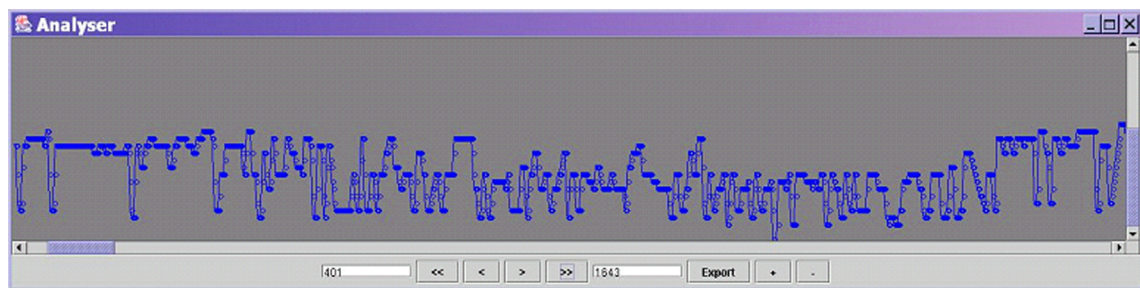


Abbildung 3: Ausschnitt des Verlaufs der Hauttemperatur während einer Testung

Die Sensoren arbeiten alle mit einer Abtastrate von 20Hz, d.h. die Änderungen der Messgrößen werden alle 50ms erfasst. Diese Zeitspanne scheint ausreichend, zumal die Herzfrequenz selbst bei sehr großer Anstrengung nur im Bereich von 180-210 Schlägen pro Minute liegen wird und damit die Auflösung von 1200 Abtastschritten pro Minute völlig ausreicht.

C Ergänzende Beschreibung: Maschinelles Lernen, Lernphase

Um die Einschätzung nicht nur auf den drei gemessenen physiologischen Variablen Herzfrequenz, Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur beruhen zu lassen, werden aus dem Verlauf der Sensordaten weitere Kenngrößen extrahiert. Insgesamt 21 sog. Filter berechnen diese durch verschiedenartige Kombination und statische Informationen der Variablen Herzfrequenz, Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur. Die Spezifikationen dazu stammen aus grundlegenden Arbeiten aus der Forschungsgruppe von Roz Picard am MIT: Picard (1997, 2001); Picard et al. (2001).

Für die Korrelation der Messwerte bzw. der weiteren statistischen Kenngrößen mit dem Befinden der Personen, wurden die Eigenbewertungen der Nutzer aus allen Versuchen zusammengefasst. Die Daten wurden nicht in ihrer ursprünglichen Form verarbeitet, sondern jeweils einer Klasse² zugeordnet. Diese Klassenzuteilung wird dann weiterarbeitet. Die Daten wurden bei dieser Transformation von diskreten in nominale Werte in gleich breite, nicht gleichwahrscheinliche Intervalle eingeteilt. Jedes Intervall entsprach dabei einer Klasse. Insgesamt gab es in jeder Bewertungsdimension fünf Klassen. Die Dimensionen waren der Konzeption hinter EmoTetris (siehe Kapitel 4.1.1) folgend u.a. auch die für diese Arbeit interessanten Größen Freude, Ärger, Langeweile und Zufriedenheit.

Aus den physiologischen Daten und den Bewertungen der Nutzer wurden Klassifikationsmodelle mittels Entscheidungsbäumen und *Naive Bayes*-Klassifikatoren erstellt³. Sie haben die emotionalen Zustände bei einer Überprüfung mittels Kreuzvalidierung mit folgenden Trefferwahrscheinlichkeiten richtig erkannt: Langeweile: 36%, Ärger: 39%, Freude: 45% und Angst 84%. Dabei stellte sich der *Naive Bayes*-Klassifikator das beste Instrument heraus, wenn vorher eine Vorverarbeitung durchgeführt wurde (Fischer Projektion).

²typischerweise umfasst eine Klasse einen diskret abgegrenzten Wertebereich (ein Intervall); die Wertebereiche unterschiedlicher Klassen sind dabei paarweise disjunkt

³Die Festlegung auf Entscheidungsbäume und *Naive Bayes*-Klassifikatoren beruhte auf Erfahrungswerten bzw. Testläufen mit verschiedenen anderen Klassifikatoren (z.B. auch *Support Vektor Machines*), die bei den vorliegenden Daten keine vergleichbar hohen Erkennungsraten erzielten

D Ergänzende Beschreibung: Visualisierung zur Repräsentation der Ergebnisqualität

Die Visualisierung ist ins Spiel integriert. Sie liegt in einem Bereich der Spieloberfläche, der keine anderen Information enthält. Somit ist die Darstellung beim Spiel nicht störend. Es ist ebenfalls problemlos möglich, den Darstellungsbereich aus dem Spielbereich herauszunehmen bzw. zu verstecken oder auf einem anderen Bildschirm darzustellen. So kann entschieden werden, ob der Spieler seine eigene Einschätzung sieht und dadurch möglicherweise abgelenkt wird, oder ob er diesem Einfluss nicht ausgesetzt werden soll und eine andere Person z.B. der Versuchsleiter sie für seine Zwecke nutzt.

Hintergrund der statischen Darstellung von Emotionsausdrücken ist die Theorie der Basisemotionen (siehe Kapitel 2.2.2). Da im (D)EmoKoffer bislang keine fein differenzierten oder gemischten Emotionen betrachtet wurden, konnte die Idee der Basisemotionen aufgegriffen werden. Die Festlegung der Emotionsrepräsentanten im Circumplexmodell nach Russell (1980) wurde aus einschlägiger Literatur gewonnen (für Näheres siehe Graf 2005b). Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt.

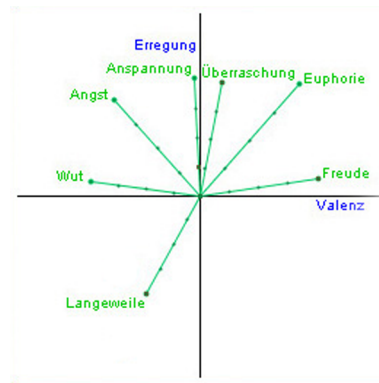


Abbildung 4: Einfache Visualisierung des emotionalen Zustands in EmoTetris

Da man die Bedeutung der Darstellung im Valenz-Erregungs-Diagramm nicht auf einem Blick erfassen kann, erfordert die Interpretation jedoch eine hohe kognitive Leistung. Dies kann zu Missinterpretationen führen (genauer dazu siehe (Graf 2005b)).

Um die Missinterpretation einer speziellen visuellen Darstellung jedoch möglichst zu vermeiden, bietet die Visualisierung mehrere Darstellungsmöglichkeiten, zwischen denen der Betrachter wählen kann. Angefangen von einer einfachen Punktdarstellung über eine Liniendarstellung bis hin zu einem Kaviplot, gibt es vielfältige Möglichkeiten, das Klassifikationsergebnis auf Basis der vorgenannten Technik der Lokalisierung der Emotionsklassifikation visuell darzustellen. Der Betrachter kann zwischen verschiedenen Visualisierungsmodi wählen und so möglicherweise besser erkennen, wie der Gemütszustand des Spielers sich gerade verhält. Zusätzlich wird mittels eines Comicgesichtern angezeigt, wenn ein sicher erkannter Gefühlsausdruck vorliegt. Die drei Darstellungstechniken für die Emotionsklassifikation sind in Abbildung 4.6 auf Seite 48 dargestellt.

In der Visualisierung über das Valenz-Erregungs-Diagramm sind nicht nur die einzelnen Emotionsklassifikationen der speziellen Emotion eingezeichnet, sondern auch die Valenz und die Erregung, weil diese Dimensionen grundlegend für die Einordnung von Emotionen nach Russell sind. Die autarke Darstellung von Valenz und Erregung erlaubt nicht

nur die Beobachtung des aktuellen Klassifikationsergebnisses, sondern macht auch den zeitlichen Verlauf des Valenz- und Erregungszustandes durch gleichzeitige Darstellung der letzten Klassifikationen klar. Die Visualisierung hält neben den Informationen zur Einordnung der Emotion auch Information bereit, die darüber Auskunft geben, ob die Sensorik funktioniert und Daten aus der Emotionsklassifikation ankommen.

Die Visualisierung mittels Comicgesichtern stellt eine starke Vereinfachung dar. Sie kommuniziert gewisse emotionale Zustände sehr effektiv, verhindert aber die Erkennung von Nuancen und Abstufungen. Sie ist somit auch nur komplementär zu den anderen Darstellungsarten sinnvoll. Die Darstellung der Gesichter ist bewusst statisch gehalten, d.h. die Intensität des Ausdrucks ändert sich nicht und es werden keine Übergänge zwischen verschiedenen Emotionsausdrücken dargestellt. Die Forschung hat immer noch nicht zweifelsfrei geklärt, ob z.B. eine Interpolation zwischen neutralem und sehr freudigem Ausdruck vom Menschen genauso erkannt wird.

Die Visualisierung ist darauf spezialisiert, das momentane Ergebnis - nicht den Verlauf - der Vorverarbeitung in der KI zu präsentieren. Sie gibt so einen Eindruck des aktuellen Zustands des Benutzers wider, keinen Gesamtüberblick über sein Befinden während des Spiels. Sie läuft parallel zum Spiel in Echtzeit und hat eine zu vernachlässigende Latenz.

Die präsentierte Visualisierung stellt eine Mischung aus leicht verständlicher, intuitiver aber quantitativ nicht sehr aussagekräftiger Visualisierung (das Comic-Gesicht) und einer quantitativ aussagekräftigen, aber nicht auf einen Blick erfassbaren Visualisierung (der Kaviatgraph) dar. Keine der Darstellungsarten ist für sich gesehen optimal, weil jede Artefakte in die Interpretation induzieren, die in den Daten möglicherweise nicht vorhanden sind.

E „OmniRoute“ - Konfiguration, Synchronisation und Datentransport in Echtzeit

Nach Mader (2004) sind Quellen, Filter und Senken in OmniRoute folgendermaßen charakterisiert:

Quellen stellen die Eintrittspunkte für Daten in das Framework dar. Sie sind auf externe Anwendungen oder Sensoren zugeschnitten und gewährleisten z.B. durch proprietäre Treiber, dass Daten in das Framework gelangen oder auch die Konfiguration desselben vornehmen. Neue Daten z.B. von einem Sensor werden in Ereignisse umgewandelt, um sie dem logischen Aufbau anzupassen, und dann in OmniRoute weitergereicht.

Filter führen unterstützende Grundoperationen auf den zu transferierenden Daten aus, z.B. Vorfilterung, Maskieren bestimmter Daten, Komposition und Dekomposition von Datenströmen, statistische Auswertung usw.. Mehrere Filter können hintereinandergeschaltet werden, was die Schaffung komplexer Filterreihen aus einfachen Basisfiltern erlaubt.

Senken stellen die Austrittspunkte aus dem Framework dar. In umgekehrter Logik zu den Quellen sind sie dafür zuständig, dass die nicht mehr im Framework eingebundene, weiterverarbeitende Anwendung (z.B. ein Analyseprogramm) die Daten in der geforderten Form erhält. Dazu implementieren sie eine Schnittstelle, die Ereignisse aus dem Framework erhält, die in den Ereignissen enthaltenen Daten extrahiert, in das gewünschte Format der Zielapplikation konvertiert und sie schließlich auf Anfrage weiterreicht.

Quellen, Filter und Senken können in einem Flussdiagramm als Knoten, die durch gerichtete Kanten verbunden sind, verstanden werden. Dieses Diagramm stellt die Verarbeitung der Daten entlang eines Weges von Quellen durch Filter zu(r) Senke(n) dar (siehe Abbildung 5). Daten werden in der speziellen Form eines uniformen Ereignisses weitergegeben. Beim Durchlaufen der Filter werden sie entsprechend der Filterfunktionalität und -parameterisierung verändert. Neben einem Satz von Standardknoten können eigene leicht programmiert und hinzugefügt werden, z.B. um dedizierte Datenformate zu verarbeiten oder auch um generelle Aufgaben wie eine Konsolenausgabe, Datenbankzugriffe oder Netzwerkzugriffe zu erfüllen. Neben den Nutzdaten enthält jedes Ereignis einen eindeutigen Zeitstempel, der angibt, wann die Daten in das Framework über eine Quelle gelangt sind. Dies ist für Synchronisationszwecke nötig.

Das OmniRoute leistet mit seiner Architektur folgende, zentrale Punkte (vgl. Mader 2004):

1. Integration der Daten aus verschiedenen Quellen, indem sie in einer sinnhaften Art zusammengebracht werden.
2. Alle Daten werden in einer einheitlichen Art dargestellt, so dass das System sie in ähnlicher Art behandeln kann.
3. Speicherung und Weiterleitung der Daten erfolgt in einer standardisierten Weise, insbesondere wird die zeitliche Reihenfolge beibehalten.

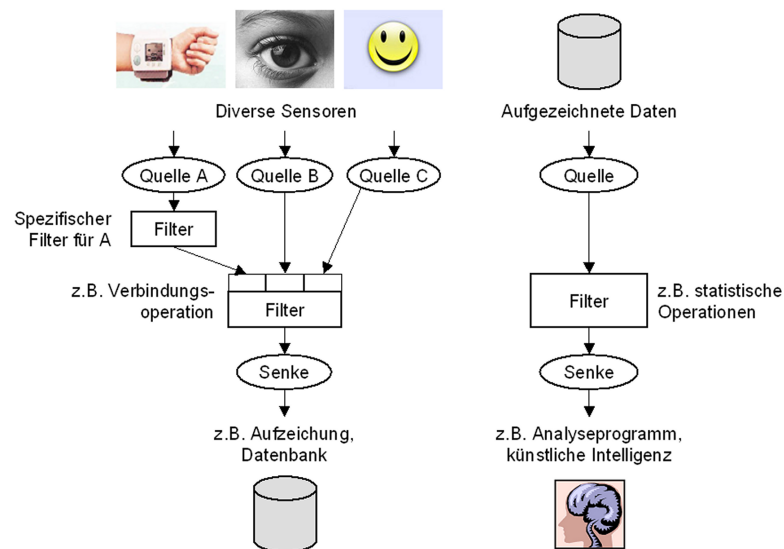


Abbildung 5: Zwei Beispiele der Ereignisverarbeitung in OmniRoute mit Quellen, Filter und Senken: Links aus unterschiedlichen Sensoren gespeist (*online* Verarbeitung), rechts aus einer Sitzungsaufnahme (*offline* Verarbeitung) (aus Mader 2004)

4. Es bietet eine Infrastruktur für die Verbindung der Komponenten, einen einfach zu nutzenden Konfigurationsmechanismus und ein integriertes Datenmodell und Methoden, die in Echtzeit funktionieren.
5. Eine einheitliche Konfiguration bietet zentrale Kontrolle und Übersicht.

F Maßnahmen zur Emotionsinduktion

- Auszug aus Morgenstern (2005) -

Voreinstellungen / Vorhersagen:

condition	Baseline	Joy	Anger	Boredom	Contentment
game speed	medium	High	high	low	low
keyboard reliability	100%	100%	100%	100%	100%
feedback	neutral	Positive	negative	negative	positive
Score increase/reduction	1/1	2/0	0/2	0/0	2/0
preview invalid/event	1	0	1	1	0
piece characteristics	normal	Rather useful	rather hindering	rather hindering	rather useful
most frequent piece	---	Lava	meteors	parachutes	balloons
preview	1	2	1	1	2
animations and sounds	normal	Normal	normal	normal	normal

Tabelle 1: Einstellungen im Tetrispiel (aus KSB05, gekürzt)

Ergebnis der Interaktionsauswertung:

	Proband 1	Proband 2
Verärgerung	Geschwindigkeit erhöhen Tastaturverlässigkeit verringern Häufigere Punktegeschenke mehr Meteorteile	Tastaturverlässigkeit verringern Vorschaulänge verringern Geschwindigkeit erhöhen
Langeweile	Vorschaulänge verringern mehr Punktegeschenke häufiger Punkte Stehlen mehr Ballonsteine weniger Meteorsteine	Geschwindigkeit verringern weniger Meteorsteine bessere Tastaturzuverlässigkeit
Zufriedenheit	Geschwindigkeit erhöhen Vorschaulänge erhöhen gute Tastaturzuverlässigkeit viele Tetrissteine weniger Ballonsteine weniger Fallschirmsteine mehr Lavasteine	Geschwindigkeit erhöhen viele Tetrissteine weniger Meteorsteine mehr Fallschirmsteine mehr Lavasteine
Hilflosigkeit	Geschwindigkeit erhöhen mehr Punktegeschenke häufiger Punkte Stehlen weniger Tetrissteine weniger Lavasteine mehr Meteorsteine	Geschwindigkeit erhöhen weniger Punktegeschenke häufiger Punkte Stehlen
Freude	Vorschaulänge vergrößern seltener Punkte Stehlen Tastaturzuverlässigkeit verbessern mehr Lavasteine weniger Ballonsteine	Geschwindigkeit erhöhen Vorschaulänge vergrößern Tastaturzuverlässigkeit verbessern weniger Meteorsteine mehr Lavasteine

F Maßnahmen zur Emotionsinduktion

- Auszug aus Morgenstern (2005) -

Ergebnis der Vorhersagen über angelernte Netze

In der folgende Tabelle sind alle Faktoren aufgelistet, die dazu führen, dass die Ausprägung der entsprechenden Emotion verstärkt wird. Dabei wurden nur die Ergebnisse der Netze des Typs A berücksichtigt, da nur in diesen Netzen wirklich deutliche und eindeutige Zusammenhänge erkennbar waren. Wenn man nun diese Tabelle mit der vergleicht, die nur aufgrund der Balkendiagramme, die tatsächliche Zusammenhänge darstellen, und den Regeln erstellt wurde, dann erkennt man durchaus einige Parallelen. Falls Zusammenhänge für ein Attribut in beiden Varianten erkannt wurde, so ist dies derselbe Zusammenhang. Jedoch zeigt sich auch, dass an einigen Stellen die zuvor in den Diagrammen erkannten Zusammenhänge im Bayesschen Netz nicht auftauchen oder gar neue zuvor nicht erkannte Zusammenhänge auftreten. Vor allem für Zufriedenheit, Hilflosigkeit und Freude ist die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Diagramme und denen der Bayesschen Netze vom Typ A sehr groß bzw. teilweise diese auch identisch. Daher zeigt sich, dass diese Bayeschen Netze gut geeignet sind, um die Zusammenhänge zwischen den Einstellungen und den vom Nutzer angegebenen emotionalen Zuständen zu beschreiben.

	Proband 1	Proband 2
Verärgerung	höhere Geschwindigkeit häufigeres Punkte Stehlen häufigeres Punkte Schenken schlechtere Tastaturzuverlässigkeit mehr Tetrissteine kürzere Vorschau mehr Meteorsteine	höhere Geschwindigkeit häufigeres Punkte Stehlen schlechtere Tastaturzuverlässigkeit mehr Tetrissteine mehr Meteorsteine
Langeweile	häufigeres Punkte Stehlen mehr Ballonsteine	mehr Ballonsteine geringere Geschwindigkeit mittlere Vorschaulänge häufigeres Punkte Stehlen
Zufriedenheit	längere Vorschau bessere Tastaturzuverlässigkeit mehr Lavasteine höhere Geschwindigkeit weniger Ballonsteine weniger Fallschirmsteine viele Tetrissteine	mehr Lavasteine mehr Fallschirmsteine weniger Meteorsteine höhere Geschwindigkeit bessere Tastaturzuverlässigkeit viele Tetrissteine
Hilflosigkeit	höhere Geschwindigkeit häufigeres Punkte Stehlen weniger Lavasteine häufigeres Punkte Schenken schlechte Tastaturzuverlässigkeit mehr Meteorsteine weniger Fallschirmsteine	höhere Geschwindigkeit selteneres Punkte Schenken häufigeres Punkte Schenken
Freude	längere Vorschau selteneres Punkte Stehlen mehr Tetrissteine mehr Lavasteine bessere Tastaturzuverlässigkeit weniger Meteorsteine	bessere Tastaturzuverlässigkeit weniger Meteorsteine höhere Geschwindigkeiten mehr Lavasteine mehr Fallschirmsteine

F Maßnahmen zur Emotionsinduktion

- Auszug aus Morgenstern (2005) -

Attributwerte für ein stärkeres Auslösen der Emotionen

In der folgenden Tabelle sind die Attributwerte aufgelistet, wie sie nach den Bayesschen Netzen vom Typ A zu einer stärkeren vielleicht auch stärksten Auslösung der Emotion führen. Diese Werte der Attribute sind nur nach Ansicht der Tabellen zur Auswertung ausgewählt worden. Diese Varianten führen auf alle Fälle zu einer Steigerung der Stärke der Emotion, jedoch ist nicht gesagt, ob diese Variante die einzige mögliche oder beste ist. Jedoch erkennt man auch hier wiederum Unterschiede zwischen den Probanden.

	Proband 1	Proband 2
Verärgerung	hohe Geschwindigkeit keine Vorschau häufiges Punkte Schenken häufiges Punkte Stehlen häufiges Teil Stehlen schlechte Tastaturzuverlässigkeit normal viele Tetrissteine viele Meteorsteine	mittlere Geschwindigkeit keine Vorschau seltenes Punkte Schenken normal häufiges Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen schlechte Tastaturzuverlässigkeit viele Tetrissteine viele Meteorsteine
Langeweile	geringe Geschwindigkeit keine Vorschau häufiges Punkte Schenken häufiges Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen schlechte Tastaturzuverlässigkeit viele Tetrissteine viele Ballonsteine	geringe Geschwindigkeit mittlere Vorschau normal häufiges Punkte Schenken häufiges Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen gute Tastaturzuverlässigkeit normal viele Tetrissteine viele Ballonsteine
Zufriedenheit	hohe Geschwindigkeit mittlere Vorschau normal häufiges Punkte Schenken seltenes Punkte Stehlen häufiges Teil Stehlen gute Tastaturzuverlässigkeit viele Tetrissteine viele Lavasteine	hohe Geschwindigkeit mittlere Vorschau seltenes Punkte Schenken häufiges Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen gute Tastaturzuverlässigkeit viele Tetrissteine viele Fallschirmsteine
Hilflosigkeit	hohe Geschwindigkeit keine Vorschau seltenes Punkte Schenken normal häufiges Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen schlechte Tastaturzuverlässigkeit normal viele Tetrissteine viele Meteorsteine	hohe Geschwindigkeit keine Vorschau seltenes Punkte Schenken normal häufiges Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen gute Tastaturzuverlässigkeit normal viele Tetrissteine viele Meteorsteine
Freude	hohe Geschwindigkeit viel Vorschau normal häufiges Punkte Schenken seltenes Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen gute Tastaturzuverlässigkeit viele Tetrissteine viele Lavasteine	hohe Geschwindigkeit mittlere Vorschau normal häufiges Punkte Schenken seltenes Punkte Stehlen seltenes Teil Stehlen gute Tastaturzuverlässigkeit normal viele Tetrissteine viele Fallschirmsteine

G Analyse der Wirksamkeit der Maßnahmen zur Emotionsinduktion

Zielemotion	allgemeine Maßnahmen	Spielsteine	Ereignisse	Anzeige / Feedback	Maßnahme wirksam laut Analyse der...			Gewicht
					Eigenbewertung	Lernetze	Vorhersagen	
Freude	+ Tastaturzuverlässigkeit				X		X	2
	+ Geschwindigkeit					X		1
		- Meteoriten					X	1
		+ Lava			X		X	2
		0/+ Tetris				X		1
			0 Punktgeschenk			X		1
			- Punktdiebstahl			X		1
			- Teildiebstahl			X		1
				+/-0 Vorschaulänge	X	X		2
Verärgerung	+ Geschwindigkeit				X		X	2
	- Tastaturzuverlässigkeit				X	X	X	3
		0/+ Tetris				X	X	2
		+ Meteoriten				X	X	2
			0/+ Punktdiebstahl			X	X	2
			Punktgeschenk			X		1
			Teildiebstahl			X		1
				- Vorschau		X		1
						X		1
						X		1
Langeweile	- Geschwindigkeit					X		1
	Tastaturzuverlässigkeit					X		1
		+ Ballons				X	X	2
		- Meteoriten			X			1
		0/+ Tetris				X		1
			+ Punktdiebstahl			X	X	2
			0/+ Punktgeschenk			X		1
			- Teildiebstahl			X		1
				-/-0 Vorschau		X		1
Zufriedenheit	+ Tastaturzuverlässigkeit					X	X	2
	+ Geschwindigkeit				X	X	X	3
		+ Lava			X		X	2
		+ Tetris			X	X	X	3
		Fallschirm			X		X	2
			-/-0 Punktgeschenk			X		1
			Teildiebstahl			X		1
			Punktdiebstahl			X		1
				0 Vorschau		X		1

- : weniger häufig 0 : normal häufig + : vermehrt häufig xyzabe : Wirkung ambivalent (interpersoneller Unterschied mehr als eine Klasse), Verwendung abgeraten

H Analyse der Abhängigkeit der Klassifikationsgüte von der Klassenanzahl der Dimensionen Valenz und Erregung

	Klassifikationsergebnis			Abfall gegenüber bester Klassifikation			
	Valenz	Erregung	Durchschnitt	Valenz	Erregung	Durchschnitt	
2 Klassen	65,49%	69,84%	67,66%	-	-	-	<i>beste Klassifikation</i>
4 Klassen	39,13%	42,39%	40,76%	40,25%	39,30%	39,78%	
5 Klassen	34,78%	33,15%	33,97%	11,11%	21,79%	16,45%	
6 Klassen	32,07%	26,90%	29,48%	7,81%	18,85%	13,33%	

Datenbasis: Vossi Daten bereinigt

NaiveBayes Klassifikation nach Diskretisierung und Fischer Projektion

Zufallswahrscheinlichkeit		Besserung gegenüber Zufall			Abfall gegenüber bester Kl.		
pro Dimension	zusammen	Valenz	Erregung	Durchschnitt	zusammen	Durchschnitt	zusammen
50,00%	25,00%	130,98%	139,67%	135,33%	182,94%	83,00%	68,93%
25,00%	6,25%	156,52%	169,56%	163,04%	265,40%	96,00%	92,06%
20,00%	4,00%	173,91%	165,76%	169,84%	288,28%	96,01%	92,83%
16,67%	2,78%	192,39%	161,41%	176,90%	310,54%	-	-
							<i>beste Klassifikation</i>

I Analyse unterschiedlicher Abstandsmaße und der Aggregation von Klassen

Untersuchungsziel:

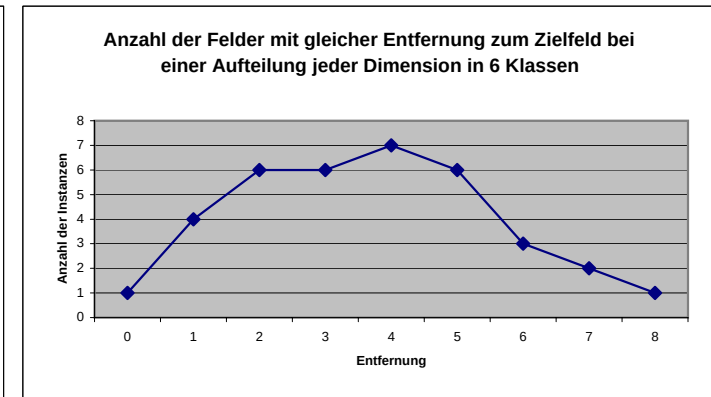
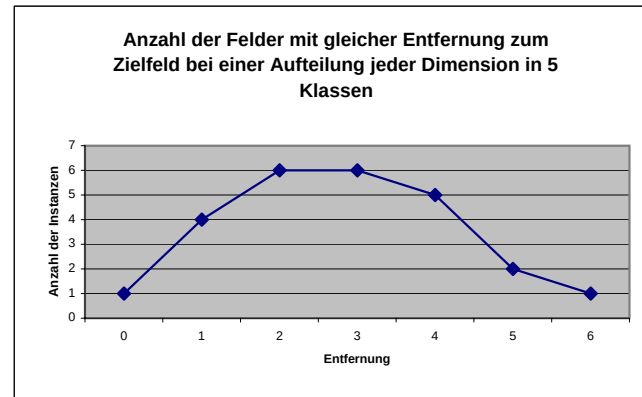
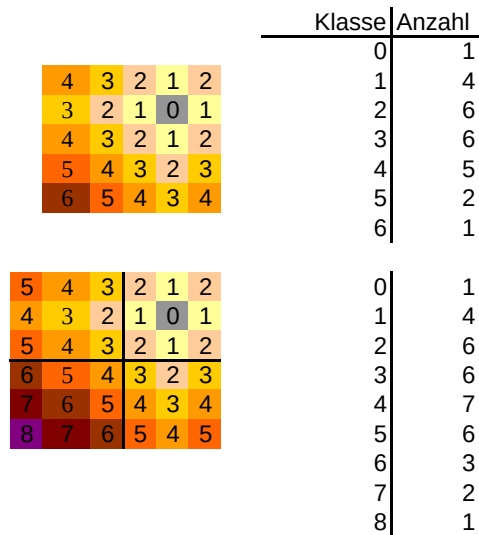
Es geht darum festzustellen, welche Abstandsfunktion bei der Berechnung zur Aktivierung der Maßnahmen als Grundlage für die Intensität der Maßnahme gelten soll und wie diese Abstandsmaße ggf. zu aggregieren sind damit eine möglicherweise hilfreiche oder notwendige Dimensionsreduktion praktikabel wird.

Die Evaluierungsfunktion zur Abschätzung des emotionalen Zustandes auf Grundlage der Größen Valenz und Erregung gibt bisher fünf Klassen zurück, d.h. der gesamte VA-Raum kann in 25 Klassen eingeteilt werden kann. Bei einer Evaluation nicht über die VA-Relation, sondern über die vier Quadranten zu Freude, Zufriedenheit, Langeweile und Ärger würden $4 \times (3 \times 3) = 36$ Klassen zur Verfügung stehen, eine Verfeinerung von über 40%. Die Arbeit an der Visualisierung der Emotionsklassifikationen hat jedoch einen entscheidenden Nachteil dieses Ansatzes offengelegt: Es besteht das Problem, dass die KI die vier Aussagen unabhängig voneinander ermittelt und sie so widersprüchlich sein können (z.B. gleichzeitig "sehr ärgerlich" und "sehr zufrieden"). Diese Widersprüche kann man nur durch Zusatzwissen auflösen, das aber aus den Daten selbst nicht gewonnen werden kann. Eine andere Möglichkeit wäre, auf Grund von früheren Erfahrungen implizit zu schließen, dass ein Zustand in nach einer Folge bestimmter Spielelemente eher wahrscheinlich ist als ein anderer. Dazu müsste jedoch ein ganz eigenes Lernproblem mit den Spielelementen als zentrale Elemente und der Zusammenhang zwischen ihrer Häufigkeit und den Benutzerreaktionen gelöst werden. Dies kann in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht geleistet werden.

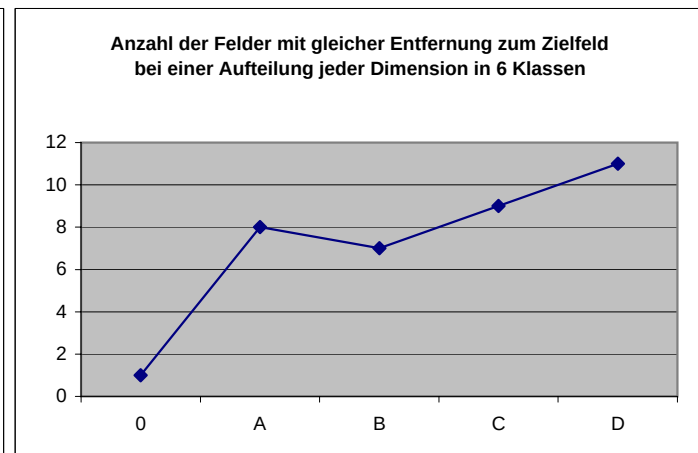
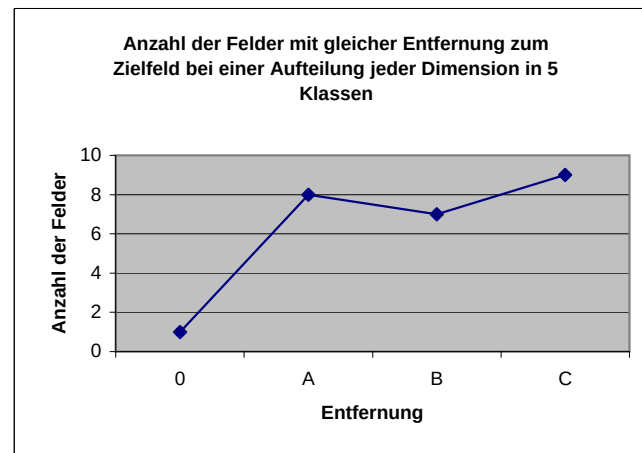
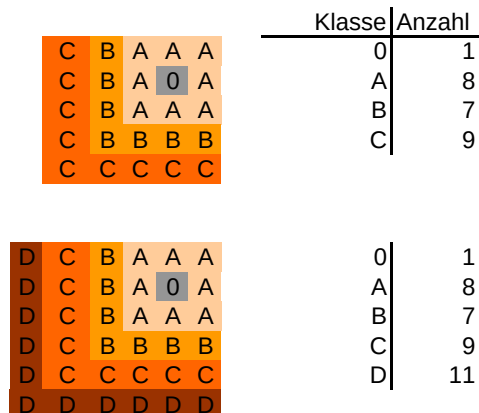
I Analyse unterschiedlicher Abstandsmaße und der Aggregation von Klassen

Vergleich unterschiedlicher Abstandsmaße und Unterteilungen der Dimensionen auf die Klassenverteilung

Vierer-Nachbarschaft



Achter Nachbarschaft



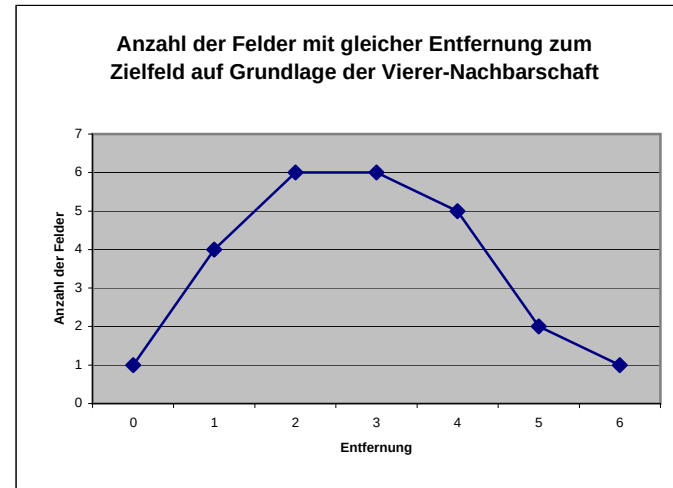
I Analyse unterschiedlicher Abstandsmaße und der Aggregation von Klassen

Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Abstandsmaße auf die Klassenverteilung

Vierer-Nachbarschaft

4	3	2	1	2
3	2	1	0	1
4	3	2	1	2
5	4	3	2	3
6	5	4	3	4

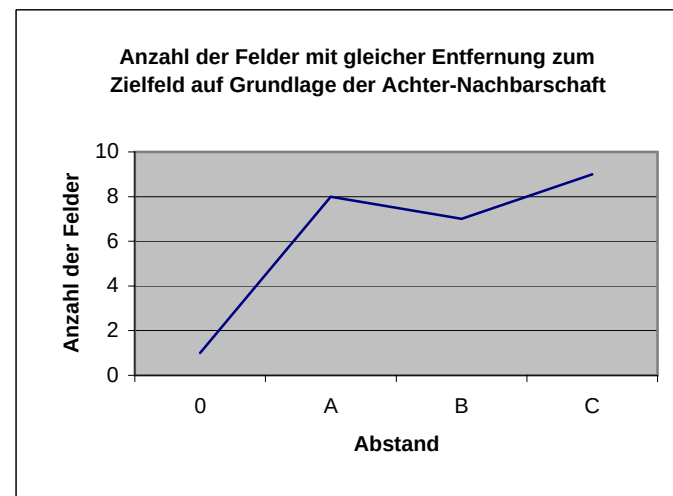
Klasse	Anzahl
0	1
1	4
2	6
3	6
4	5
5	2
6	1



Achter-Nachbarschaft

C	B	A	A	A
C	B	A	0	A
C	B	A	A	A
C	B	B	B	B
C	C	C	C	C

Klasse	Anzahl
0	1
A	8
B	7
C	9



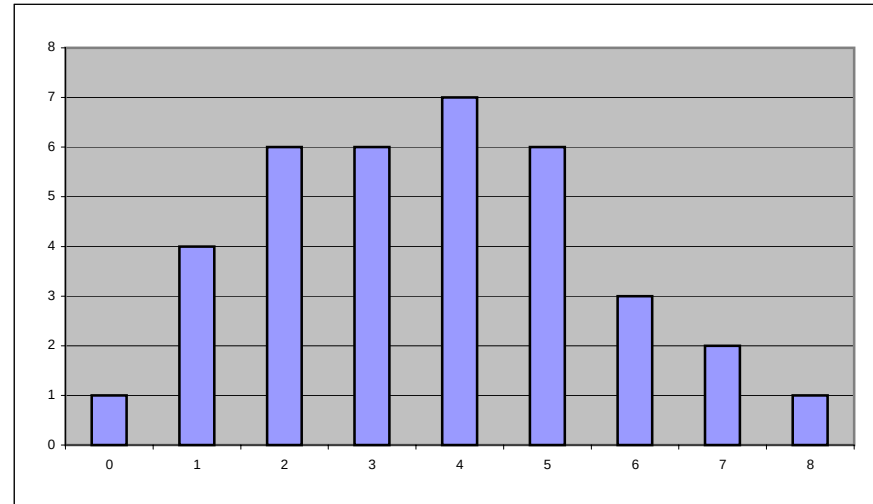
I Analyse unterschiedlicher Abstandsmaße und der Aggregation von Klassen

Vergleich zwischen der Originalverteilung und der Verteilung nach Aggregation

Vierernachbarschaft original

5	4	3	2	1	2
4	3	2	1	0	1
5	4	3	2	1	2
6	5	4	3	2	3
7	6	5	4	3	4
8	7	6	5	4	5

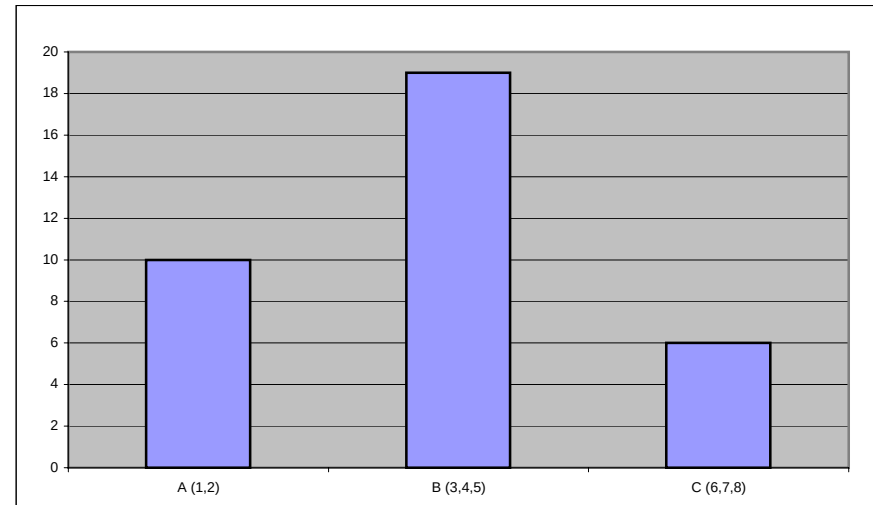
Klasse	Anzahl
0	1
1	4
2	6
3	6
4	7
5	6
6	3
7	2
8	1



Aggregation / Klassenzusammenfassung

B	B	B	A	A	A
B	B	A	A	0	A
B	B	B	A	A	A
C	B	B	B	A	B
C	C	B	B	B	B
C	C	C	B	B	B

j	f(x[j])
A (1,2)	10
B (3,4,5)	19
C (6,7,8)	6



Dimensionsreduktion auf ≤ 3 :

- vorteilhaft, weil feinere Granulいた bei der Abstufung praktisch nicht gewährleistet werden kann
- für die Erprobungsphase ist grobe Einteilung ausreichend im Nachhinein kann sie wieder verfeinert werden
- Eigenschaften der Verteilung werden erhalten: Extremum an der gleichen Stelle & Anstieg bis zum Extrem flacher als Abfall danach (siehe Rechnung auf nächster Seite)

I Analyse unterschiedlicher Abstandsmaße und der Aggregation von Klassen

Vergleich zwischen der Originalverteilung und der Verteilung nach Aggregation

original: Kummulierter Gewinn ist 4 f(1)
 (Anstieg bis Maximum) 6 .
 6 .
 7 f(4)
23

Kummulierter Verlust ist 7 f(4)
 (Abfall vom Maximum) 6 .
 3 .
 2 .
 1 f(8)
19

Gewinn / Verlust Relation 1,21

aggregier Kummulierter Gewinn ist 10 f(A)
 (Anstieg bis Maximum) 19 f(B)
29

Kummulierter Verlust ist 19 f(B)
 (Abfall vom Maximum) 6 f(C)
25

Gewinn / Verlust Relation 1,16

FAZIT: Die transformierten Daten haben ähnliche Eigenschaften wie die Originaldaten, zumindest was ihre Verteilung nach Klassenzugehörigkeit angeht. Es gibt mehr Klassen niedriger Ordnungsnummer (dicht an der Zielklasse gelegen) als solche, die weit entfernt sind. Dieses Merkmal geht auch nach der Transformation nicht verloren und die Verhältnisse im Umfang zwischen nahen und fernen Klassenrepräsentanten sind in etwa gleich. Der Dimensionsreduktion steht nichts im Wege.

Auswertung für Bedingung "Zufriedenheit"

(Seite 1 von 2)

Naive Bayes

Correctly Classified Instances 48

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
10	1	1	5	1	a	55,56	55,56
5	8	2	1	2	b	44,44	44,44
1	2	8	5	2	c	44,44	44,44
0	4	3	10	2	d	52,63	55,56
0	0	1	4	12	e	70,59	66,67
Mittelwert						53,53	53,33
Standardabweichung						10,74	9,30

a'	b'	c'			
12	1,5	4,5	a'	66,67	66,67
3	8	7	b'	44,44	44,44
2	2	14	c'	77,78	77,78
Mittelwert				62,96	62,96
Standardabweichung				16,97	16,97

a'	b'	c'			
12	4,5	1,5	a'	66,67	67,29
3,5	13	2	b''	70,27	72,90
0	5	12	c''	70,59	67,29
Mittelwert				69,18	69,16
Standardabweichung				2,18	3,24

K2

Correctly Classified Instances 46

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
11	1	3	1	2	a	61,11	61,11
5	8	1	2	2	b	44,44	44,44
1	3	8	3	3	c	44,44	44,44
3	2	3	7	4	d	36,84	38,89
2	0	1	2	12	e	70,59	66,67
Mittelwert						51,49	51,11
Standardabweichung						13,88	12,04

a'	b'	c'			
12,5	2	3,5	a'	69,44	69,44
4	8	6	b'	44,44	44,44
3,5	2	12,5	c'	69,44	69,44
Mittelwert				61,11	61,11
Standardabweichung				14,43	14,43

a'	b'	c'			
12,5	3,5	2	a'	69,44	70,09
4,5	10,5	3,5	b''	56,76	58,88
2	3	12	c''	70,59	67,29
Mittelwert				65,60	65,42
Standardabweichung				7,68	5,84

Auswertung für Bedingung "Zufriedenheit"

(Seite 2 von 2)

TAN

Correctly Classified Instances 62

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
11	2	1	3	1	a	61,11	61,11
1	13	0	2	2	b	72,22	72,22
2	2	12	1	1	c	66,67	66,67
2	2	2	12	1	d	63,16	66,67
3	0	0	0	14	e	82,35	77,78
Mittelwert						69,10	68,89
Standardabweichung						8,52	6,33

a'	b'	c'			
13,5	0,5	4	a'	75,00	75,00
4	12	2	b'	66,67	66,67
3,5	1	13,5	c'	75,00	75,00
Mittelwert				72,22	72,22
Standardabweichung				4,81	4,81

a'	b'	c'			
13,5	3	1,5	a'	75,00	75,70
4	13,5	1	b''	72,97	75,70
3	0	14	c''	82,35	78,50
Mittelwert				76,78	76,64
Standardabweichung				4,94	1,62

Auswertung für Bedingung "Langeweile"

(Seite 1 von 2)

Naive Bayes

Correctly Classified Instances 121

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
34	11	3	3	3	a	62,96	56,86
13	27	8	5	4	b	47,37	45,15
9	16	22	8	8	c	34,92	36,79
17	12	6	15	13	d	23,81	25,08
12	8	9	10	23	e	37,10	38,46
Mittelwert						41,23	40,47
Standardabweichung						14,75	11,67

a'	b'	c'			
42,5	5,5	7,5	a'	76,58	70,44
25	22	16	b'	34,92	36,46
24,5	7,5	30,5	c'	48,80	50,55
Mittelwert				53,43	52,49
Standardabweichung				21,21	17,07

a'	b'	c'			
42,5	9,5	3,5	a'	76,58	70,64
27	25,5	10,5	b''	40,48	42,38
20	19	23	c''	37,10	38,23
Mittelwert				51,38	50,42
Standardabweichung				21,88	17,64

K2

Correctly Classified Instances 119

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
35	10	4	2	3	a	64,81	58,53
18	20	11	4	4	b	35,09	33,44
13	5	29	6	10	c	46,03	48,49
15	10	9	11	18	d	17,46	18,39
10	9	15	4	24	e	38,71	40,13
Mittelwert						40,42	39,80
Standardabweichung						17,21	15,21

a'	b'	c'			
41,5	7,5	6,5	a'	74,77	68,78
18	29	16	b'	46,03	48,07
22	12	28,5	c'	45,60	47,24
Mittelwert				55,47	54,70
Standardabweichung				16,72	12,21

a'	b'	c'			
41,5	10,5	3,5	a'	74,77	68,98
21,5	27,5	14	b''	43,65	45,71
19	19	24	c''	38,71	39,89
Mittelwert				52,38	51,52
Standardabweichung				19,55	15,39

Auswertung für Bedingung "Langeweile"

(Seite 2 von 2)

Simulated Annealing

Correctly Classified Instances 186

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
38	9	2	0	5	a	70,37	63,55
12	39	5	0	1	b	68,42	65,22
6	9	40	2	6	c	63,49	66,89
13	7	7	28	8	d	44,44	46,82
4	4	8	5	41	e	66,13	68,56
Mittelwert						62,57	62,21
Standardabweichung						109,28	77,46

a'	b'	c'					
49	3,5	3	a'		88,29		81,22
15	40	8	b'		63,49		66,30
14	7,5	41	c'		65,60		67,96
Mittelwert						72,46	71,82
Standardabweichung						189,01	66,85

a'	b'	c'					
49	3,5	3	a'		88,29		81,44
17,5	38,5	7	b''		61,11		63,99
8	13	41	c''		66,13		68,14
Mittelwert						71,84	71,19
Standardabweichung						209,14	83,10

Auswertung für Bedingung "Angst"

(Seite 1 von 2)

Naive Bayes

Correctly Classified Instances **120**

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
35	14	6	5	3	a	55,56	56,09
14	21	9	11	8	b	33,33	33,65
16	8	26	7	6	c	41,27	41,67
16	10	11	20	5	d	32,26	32,05
11	11	7	14	18	e	29,51	28,85
Mittelwert						38,38	38,46
Standardabweichung						10,55	10,93

a'	b'	c'			
42	7,5	13,5	a'	66,67	67,20
24	26	13	b'	41,27	41,60
24	9	28,5	c'	46,34	45,60
Mittelwert				51,43	51,47
Standardabweichung				13,44	13,77

a'	b'	c'			
42	15,5	5,5	a'	66,67	67,56
25	32	5,5	b''	51,20	51,47
22	21	18	c''	29,51	28,95
Mittelwert				49,12	49,33
Standardabweichung				18,67	19,39

K2

Correctly Classified Instances **119**

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
35	10	4	2	3	a	64,81	58,53
18	20	11	4	4	b	35,09	33,44
13	5	29	6	10	c	46,03	48,49
15	10	9	11	18	d	17,46	18,39
10	9	15	4	24	e	38,71	40,13
Mittelwert						40,42	39,80
Standardabweichung						17,21	15,21

a'	b'	c'			
41,5	7,5	6,5	a'	74,77	68,78
18	29	16	b'	46,03	48,07
22	12	28,5	c'	45,60	47,24
Mittelwert				55,47	54,70
Standardabweichung				16,72	12,21

a'	b'	c'			
41,5	10,5	3,5	a'	74,77	68,98
21,5	27,5	14	b''	43,65	45,71
19	19	24	c''	38,71	39,89
Mittelwert				52,38	51,52
Standardabweichung				19,55	15,39

Auswertung für Bedingung "Angst"

(Seite 2 von 2)

Simulated Annealing

Correctly Classified Instances 186

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
38	9	2	0	5	a	70,37	63,55
12	39	5	0	1	b	68,42	65,22
6	9	40	2	6	c	63,49	66,89
13	7	7	28	8	d	44,44	46,82
4	4	8	5	41	e	66,13	68,56
Mittelwert						62,57	62,21
Standardabweichung						10,45	8,80

a'	b'	c'					
49	3,5	3	a'		88,29		81,22
15	40	8	b'		63,49		66,30
14	7,5	41	c'		65,60		67,96
Mittelwert						72,46	71,82
Standardabweichung						13,75	8,18

a'	b'	c'					
49	3,5	3	a'		88,29		81,44
17,5	38,5	7	b''		61,11		63,99
8	13	41	c''		66,13		68,14
Mittelwert						71,84	71,19
Standardabweichung						14,46	9,12

Auswertung für Bedingung "Freude"

(Seite 1 von 2)

Naive Bayes

Correctly Classified Instances 120

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
23	14	6	9	9	a	37,70	37,46
4	26	6	16	12	b	40,63	42,35
4	12	17	12	15	c	28,33	27,69
1	12	9	26	14	d	41,94	42,35
0	8	8	16	28	e	46,67	45,60
Mittelwert						39,05	39,09
Standardabweichung						6,81	7,01

a'	b'	c'			
33,5	6	23	a'	53,60	54,77
16	17	27	b'	28,33	27,79
10,5	8,5	42	c'	68,85	68,66
Mittelwert				50,26	50,41
Standardabweichung				20,46	20,78

a'	b''	c''			
33,5	18,5	10,5	a'	53,60	54,77
14,5	32	14,5	b''	52,46	52,32
8	24	28	c''	46,67	45,78
Mittelwert				50,91	50,95
Standardabweichung				3,72	4,65

K2

Correctly Classified Instances 126

a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
24	15	6	8	8	a	39,34	39,09
4	30	3	16	11	b	46,88	48,86
3	11	15	16	15	c	25,00	24,43
1	9	9	28	15	d	45,16	45,60
1	7	7	16	29	e	48,33	47,23
Mittelwert						40,94	41,04
Standardabweichung						9,54	10,00

a'	b'	c'			
36,5	4,5	21,5	a'	58,40	59,67
14	15	31	b'	25,00	24,52
9	8	44	c'	72,13	71,93
Mittelwert				51,84	52,04
Standardabweichung				24,24	24,61

a'	b''	c''			
36,5	16,5	9,5	a'	58,40	59,67
12	34	15	b''	55,74	55,59
8	23	29	c''	48,33	47,41
Mittelwert				54,16	54,22
Standardabweichung				5,22	6,24

Auswertung für Bedingung "Freude"

(Seite 2 von 2)

TAN

Correctly Classified Instances 127

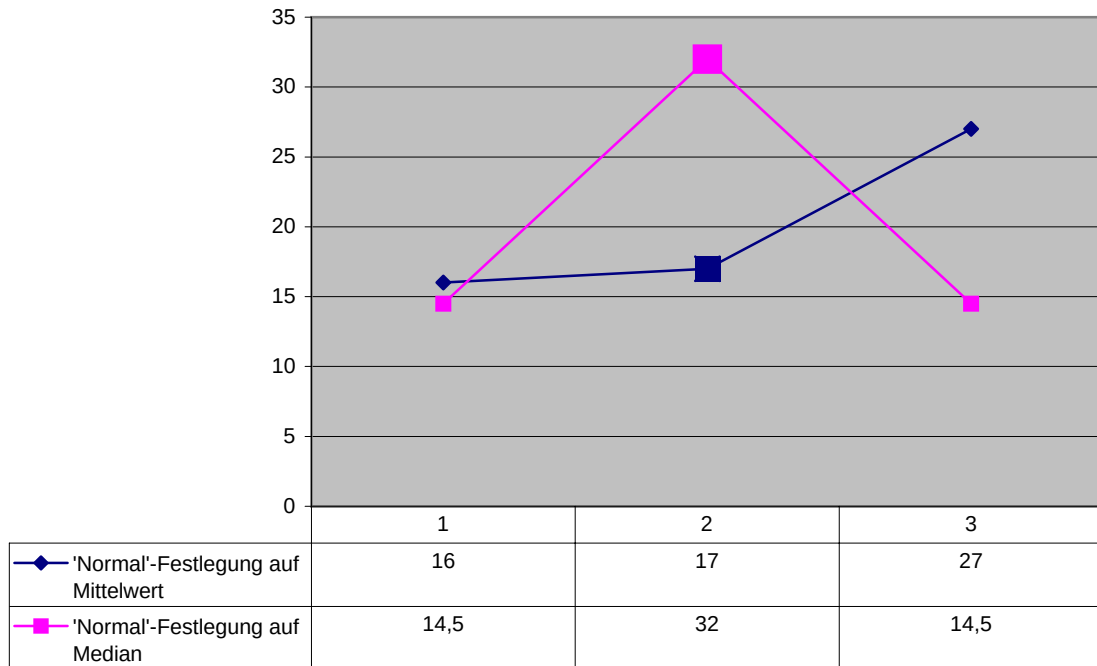
a	b	c	d	e	<-- classified as	% korrekt	gew. korrekt
28	14	6	8	5	a	45,90	45,60
6	30	4	14	10	b	46,88	48,86
3	11	19	16	11	c	31,67	30,94
4	8	12	24	14	d	38,71	39,09
5	6	9	14	26	e	43,33	42,35
Mittelwert						41,30	41,37
Standardabweichung						6,24	6,87

a'	b'	c'	
39	5	18,5	a'
14	19	27	b'
11,5	10,5	39	c'
Mittelwert			52,67
Standardabweichung			18,20

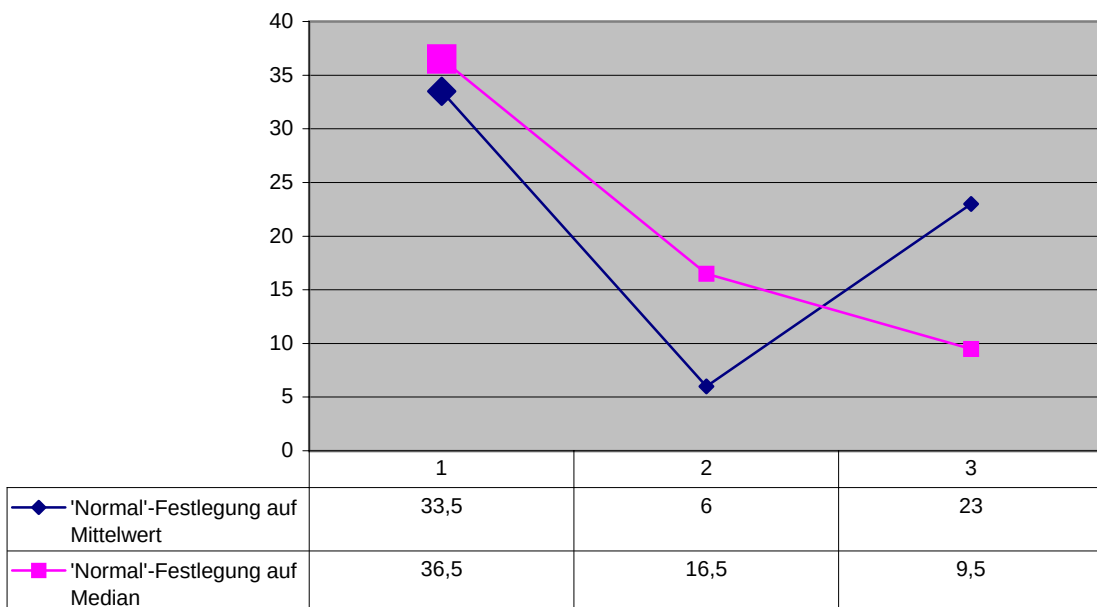
a'	b''	c''	
39	16	7,5	a'
13	35,5	12,5	b''
11	23	26	c''
Mittelwert			54,64
Standardabweichung			10,02

Auswirkung unterschiedlicher Mittendefinition (Mittelwert vs. Median)

**Vergleich der Klassenstärken unterschiedlicher Mittendefinition
(Maßnahme "Freude" - Klasse b'/b")**



**Vergleich der Klassenstärken bei unterschiedlichen Mittendefinition
(Maßnahme "Freude" - Klasse a'/a")**



Zusammenfassung der statistischen Auswertung

Es fällt auf, daß die Bewertung der Korrektheit über das gewichtete Maß nur mit wenigen Ausnahmen schlechter ausfällt als die ungewichtete Bewertung. Dies deutet darauf hin, daß 'gute' Ergebnisse im Sinne der Bewertungsmetrik in Klassen mit wenigen Instanzen vorkommen. Anders gesprochen: man könnte sagen, daß Klassen mit wenigen Instanzen unangemessen gut bewertet werden. Folgt man dem hier vorgezeigten Trend, so bleibt nur zu schließen, daß die Klassifikationsgüte bei zunehmender Zahl der Instanzen wohl unter dem Niveau der hier errechneten Wahrscheinlichkeiten liegen werden.

Vorgeschrittenere Verfahren als Naive Bayes ergeben zumeist auch bessere Ergebnisse. Dies wird erkauft mit einer längeren Verarbeitungszeit (hier nicht extra ausgewertet) und mit komplexeren Zusammenhängen zwischen den Knoten der Netze. Dies macht eine Interpretation schwieriger, wenn nicht unmöglich. Einfache Bayessche Netze sind dagegen einfach zu interpretieren, stellen klare Beziehungen zwischen Knoten dar und sind nicht überangepaßt.

Da die Einflußmöglichkeiten im Spiel begrenzt sind und in der Arbeit nur prinzipiell gezeigt werden soll, daß so eine emotionale Steuerung funktioniert, reicht eine grobe Einteilung in förderlich, gleichbleibende und abbremsende Maßnahmen aus. Auf Grund dieser Überlegung wurden die anfangs fünf Einteilungen pro Emotionswirkung auf drei projiziert. Die ersten beiden und die letzten beiden Klassen sind mittels Durchschnittsbildung zusammengefaßt worden. Dadurch ergeben sich in den meisten Fällen deutlich bessere Werte. Die Interpretation der Zusammenlegung der Klassen fällt leicht: wir wollen, daß eine Bedingung mit ihren Maßnahmen wirkt, wie gut oder schlecht, ist nicht von Interesse. Daher brauchen wir auch keine Abstufungen, eine Definition eines Normal-Levels reicht aus, um daran 'bessere' und 'schlechtere' Wirkung zu messen.

An der Verteilung der Instanzen über die Klassen (1-5) erkennt man, daß es eine Tendenz des Vorkommens zu den höheren Klassen gibt (siehe beispielhaft Joy - NB und Joy - K2). Dies deutet darauf hin, daß die Maßnahmen für hohe Klassen besser 'greifen' als jene für niedrige. Um einen Gleichgewicht zwischen den Einflußmöglichkeiten zu schaffen, sollte das 'Normal'-Niveau so definiert sein, daß zur einen wie zur anderen Seite gleich viele und gleich effektive Maßnahmen ergriffen werden können. Dazu wurde untersucht, wo dieses Normal-Niveau liegen müßte. Bei der ersten Aggregation der Klassen a, b zu a' und d, e zu c' stellt die Klasse c=c' das Normal-Niveau dar. Ein Versuch der Verschiebung des Normalniveaus hin zu den übergewichtigen Klassen d und e erfolgte durch die Definition eines b" aus dem Mittelwert von c und d, so daß die Mittelklasse jetzt etwas weiter Richtung Klasse d und e verlagert ist. Klasse e ist in dieser Anordnung die einzige Klasse, die Werte für die neue höchste Klasse c" beisteuert. Mit dieser neuen Projektion der erfaßten Klassen a,b,c,d und e auf die errechneten Klassen a", b" und c" gelingt die Interpretation der vorliegenden Daten gemessen an dem Maß der Korrektheit zum Teil besser, zum Teil schlechter. Auf jeden Fall werden mit dieser Interpretation der Daten auffällige und ungünstige Zustände vermieden, die kaum in ein konsistentes Bild passen würden: als Beispiel sei die Klasse Joy genannt. Die Mittenfestlegung über die Realisation c führt dazu, daß mit allen drei Klassifizierungsverfahren die in der aggregierte Realisation b' wirkenden Maßnahmen wesentlich mehr in anderen Klassen wirken als für das, was sie eigentlich bewirken sollen, nämlich eine 'normale' Spielumgebung. Stattdessen wirken sie fast immer stark positiv (c'). Nach der Transformation und der impliziten Verlagerung des Normal-Zustands etwas mehr in Richtung der positiven Maßnahmen ('normal' wird also als etwas mehr freudig aufgefaßt als vorher), erkennt man, daß die Normalbedingung sich wieder gut von den anderen beiden Zuständen abgrenzt, auch wenn das Maß der Korrektheit nicht signifikant zugenommen hat.

Ein weiterer Vorteil der vorgeschlagenen Transformation ist, daß die Wirkung der Maßnahmen vorwiegend in der beabsichtigten Klasse oder der danebenliegenden Klasse geschieht. Mit der einfachen Transformation war es zum Teil noch so, daß eine Maßnahme in der entgegengesetzten Klasse wirkte (z.B. sehr erfreuend statt beruhigend, siehe Joy, Klasse a'). Die Verschiebung des Normal-Levels bringt auch hier voraussichtlich einen Vorteil.