

Fortschritt-Berichte pak

**Band 7**  
Mensch-Maschine-  
Interaktion

Dipl.-Ing. Lutz Krauß

**Entwicklung und Evaluation einer Methodik zur  
Untersuchung von Interaktionsgeräten für Ma-  
schinen- und Prozessbediensysteme mit grafi-  
schen Benutzungsoberflächen**



Krauß, Lutz

**Entwicklung und Evaluation einer Methodik zur Untersuchung von Interaktionsgeräten für Maschinen- und Prozessbediensysteme mit grafischen Benutzungsoberflächen**

Fortschritt-Berichte pak Band 7 Kaiserslautern: Verlag Universität Kaiserslautern, 2003

Hrsg. Prof. Dr.-Ing. Detlef Zühlke

306 Seiten, 111 Abbildungen, 52 Tabellen

**Für die Dokumentation:**

Mensch-Maschine-System, Ergonomie, Anthropotechnik, Bediensystem, Hand-Arm-System, Sensorik, Motorik, Koordinatengeber, Interaktionsgerät, Computermaus, taktile und haptische Wahrnehmung, Interaktionsmodell, Fitts Law, DEVICE, Pointing-Device-Index (PDI)

Immer häufiger werden auch im industriellen Umfeld die im Bürobereich gebräuchlichen grafischen, fensterorientierten Benutzungsoberflächen als Interaktionsschnittstelle eingesetzt. Die Interaktion erfolgt bei solchen fensterorientierten Bediensystemen mittels koordinatengebender Interaktionsgeräte. Im Bürobereich wird dabei als Interaktionsgerät überwiegend eine Computermaus eingesetzt. Mit der Computermaus verbietet sich jedoch ein industrieller Einsatz in rauer Umgebung, sofern sie nicht gegen Verschmutzung abgesichert wird. Weitere Probleme entstehen aus den industriellen Umgebungsbedingungen wie z.B. der häufig nicht vorhandenen Ablagefläche bei Tafelbenutzung und den Maschinenschwingungen bei nicht entkoppelten Bediensystem. Unter anderem wird zwar zur Lösung dieser Probleme eine Vielzahl von alternativen Interaktionsgeräten (wie z.B. Trackballs, Touchscreens, Joysticks, Mousepads, Mousebuttons, etc.) eingesetzt, allerdings ist deren Gebrauchstauglichkeit für die Benutzer nicht geklärt bzw. fragwürdig. In dieser Arbeit wird eine Methode vorgestellt, welche es Entwicklern und Nutzern von Interaktionsgeräten erlaubt, die Gebrauchstauglichkeit von unterschiedlichsten Interaktionstechniken qualitativ und quantitativ bewerten und vergleichen zu können.

© Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, Universität Kaiserslautern 2003

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Gesamtherstellung: Abteilung Foto-Repro-Druck der Universität Kaiserslautern  
Verlag Universität Kaiserslautern

ISBN: 3-936890-03-X

ISSN: 1439-8109

# **Entwicklung und Evaluation einer Methodik zur Untersuchung von Interaktionsgeräten für Maschinen- und Prozessbediensysteme mit grafischen Benutzungsoberflächen**

Vom Fachbereich Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik der Universität Kaiserslautern  
zur Verleihung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

Vorgelegt von  
**Diplom-Ingenieur Lutz Krauß**  
aus Heidelberg

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Januar 2003

Dekan: Professor Dr. tech. H.-J. Bart

**Promotionskommission:**

Vorsitzender: Professor Dr.-Ing. J. C. Aurich  
1. Berichterstatter: Professor Dr.-Ing. D. Zühlke  
2. Berichterstatter: Professor Dr.-Ing. G. Geiser

D386





## Zur wissenschaftlichen Vorgehensweise

„Unsere wahre Absicht ist sichtbar zu machen die Dinge, die sind, wie sie sind.“

KAISER FRIEDRICH II VON STAUFEN, (13. Jahrhundert)

„Von mehreren Theorien ist diejenige die beste, die mit den wenigsten Annahmen auskommt.“ Dieses Axiom ist auch als „Occams Rasiermesser“ bekannt.

WILLIAM OF OCCAM (14. Jahrhundert)

„Mach Dir nie ein Bild von dem, was Du nicht kennst, wenn Du es kennen lernen willst.“

ANSELM SPRING (2002)

„Das Ergebnis jahrelanger Arbeit ist nur für einen Moment ein befriedigender Augenblick. Danach ist es wie immer: Wenn man endlich das erreicht hat, was man erreichen wollte, ist es nicht mehr das, was man erreichen wollte, sondern nur noch das, was man erreicht hat.“

HARRY MULISCH (1995)

## Zur Mensch-Maschine-Interaktion

"... it is the accuracy of a movement that makes it careful and purposive. While some few movements require only brute force of a comparatively ungoverned sort, in most cases there must be a considerable degree of control and adaptation to a particular end."

R. S. WOODWORTH (1899)

„... Hände sind schon ein komplizierter Organismus, ein Delta, in dem viel fernherkommendes Leben zusammenfließt, um sich in den großen Strom der Tat zu ergießen.“

RAINER MARIA RILKE (1908)

“The goal of technology is to serve human needs.“

LEWIS MUMFORD (1934)

"Versetzen Sie sich zurück in das Jahr 1905 und sehen Sie sich an, wie die Menschen damals Spiegel benutzten. Niemand hätte es für möglich gehalten, sein Leben so einem kleinen Ding anzuvertrauen. Doch heute tun wir das ganz selbstverständlich, wenn wir mit mehr als 100 Stundenkilometern auf der Autobahn fahren."

DOUGLAS C. ENGELBART (1999)



## Vorwort

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe „Mensch-Maschine-Interaktion“ des Zentrums für Mensch-Maschine-Interaktion (ZMMI) am Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung (pak) des Fachbereichs Maschinenbau und Verfahrenstechnik der Universität Kaiserslautern.

Auslöser für diese Arbeit war ein von Stiftung Rheinland-Pfalz gefördertes Projekt, welches die menschengerechte Gestaltung von Maschinen-/Produktionssystemen auf Windows-Basis zum Ziel hatte. In diesem Projekt wurden Leitlinien erarbeitet, die den Entwicklern von Maschinen- bzw. Prozesssteuerungen Werkzeuge für die Gestaltung der Oberflächen, der Navigationsstruktur und für die Auswahl geeigneter Eingabeelemente an die Hand geben. Die durch dieses Projekt betroffene Thematik von Interaktionsgeräten im industriellen Umfeld erwies sich als ein sehr interessantes Forschungsfeld, dem ich mein Aufmerksamkeit widmete. Dass dieses Thema nicht nur von akademischen Interesse ist, zeigten mir auch die Versuchspersonen, die mir durch Ihre Mitarbeit und bei zahlreichen Gesprächen verdeutlichten, das für sie die Probleme bei der Benutzung von Interaktionsgeräten von wachsender Bedeutung sind. Ihnen und allen anderen Benutzern von Interaktionsgeräten eine Perspektive eröffnet zu haben, wäre allein schon Grund genug gewesen, sich mit dem Thema der Bewertung von Interaktionsgeräten zu beschäftigen.

Diese Arbeit hätte ohne mannigfaltige Unterstützung nicht zum Abschluss gebracht werden können. Mein Dank gilt deshalb allen, die durch Diskussion und konstruktive Kritik meine Forschungsaktivitäten mitgelenkt haben und mir auf Ihre Art geholfen haben, zu den vorliegenden Ergebnissen zu kommen.

An erster Stelle möchte ich Herrn Professor Zühlke danken. Er hat mich nicht nur in der Überzeugung von der wissenschaftlichen Relevanz des Themas bestärkt, sondern die Arbeit während ihres gesamten Entstehens mit seinem fachlichen Rat und Hinweisen zur Verständlichkeit der Darstellung begleitet, betreut und schließlich auch begutachtet. Herrn Professor Dr.-Ing. G. Geiser danke ich sehr für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und für die Erstellung des Zweitgutachtens. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. J. C. Aurich für die Übernahme des Vorsitzes der Promotionskommission.

Mein Dank gilt weiterhin allen Kollegen und ehemaligen Kollegen für das angenehme Arbeitsklima und die produktive Zusammenarbeit. Besonders möchte ich hier die Zusammenarbeit mit Herrn Dr.-Wirtsch.-Ing. Ralf Eissler und Dipl.-Wirtsch.-Ing. Holger Oortmann erwähnen. Weiterhin gilt mein Dank meiner Freundin Frau Dr.-Ing. Ute Lichtfers, Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Holger Oortmann, Herrn Dipl.-Ing. Achim Reuther für das inhaltliche Interesse an der Arbeit, die kritische Durchsicht des Manuskripts und die wertvollen Hinweise zur Fertigstellung der schriftlichen Fassung. Frau Dagmar Greilach danke ich neben der strukturellen Durchsicht ganz besonders für die orthografische und grammatikalische Überarbeitung des Manuskripts. Allen an der Erstellung der Arbeit involvierten Freunde und Kollegen danke ich dafür, dass sie dieses Manuskript gründlich durchgearbeitet haben und die Dissertation damit besser gemacht haben.

Die Geduld meiner Versuchspersonen verpflichten mich ebenso zu großem Dank wie die tatkräftige Unterstützung durch Kollegen und Studenten bei den Versuchen. Ich bedanke

mich bei allen meinen studentischen Mitarbeitern, Studienarbeitern und Diplomanden, die zur Realisierung meiner Ideen beigetragen haben. In erster Linie ist hier Herr Sascha Mayer zu nennen, der mich mit hoher Einsatzbereitschaft bei der Auswertung der umfassenden Datenmengen unterstützt hat. Beim Prototypenbau der Interaktionsgeräte und der Versuchsdurchführung überzeugten Herr Michael Rahn und Herr Dominik Becks durch ihr hohes Engagement.

Nicht zuletzt gebührt mein Dank allen anderen Mitarbeitern am Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, die bei der Bewältigung der kleinen und großen Probleme des Alltags kollegial geholfen haben, hier insbesondere dem Sekretariat, vertreten durch Frau Elke Stecher und Frau Isabell Rheinheimer.

Wenn die Arbeit trotz ihrer fachwissenschaftlichen Zielsetzung dennoch für Nicht-Ingenieure einigermaßen lesbar ist, hat der Rat meiner Eltern dazu beigetragen. Ihnen schulde ich Dank dafür, dass sie mich gelehrt haben, Menschen einen höheren Stellenwert als Dingen einzuräumen und die Künste ebenso genießen wie die Wissenschaften und das Leben generell – Interessen, die direkt mit dieser Arbeit zusammenhängen.

Ohne Zuspruch, Verständnis und Unterstützung meiner Freundin Ute Lichtfers auch in schwierigen Phasen wäre die vorliegende Dissertation nicht zustande gekommen. Ihre Aufmerksamkeit gegenüber den Ideen, Stoßrichtungen und Details dieser Arbeit hat viel zu deren Verbesserung beigetragen. Ich danke Ihr von ganzem Herzen.

Kaiserslautern, 24. Januar 2003

Lutz Krauß

### **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne unerlaubte, fremde Hilfe angefertigt habe. Textabschnitte oder Bilder, denen fremde Quellen zu Grunde liegen, enthalten Hinweise und sind im Literaturverzeichnis kenntlich gemacht. Die vorliegende Dissertation oder Teile davon wurden von mir in keiner Form als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder wissenschaftliche Prüfung eingereicht.

Kaiserslautern, den 24. Januar 2003



## Abstract

The commonly used windows-orientated user interfaces in offices are more and more often applied in the field of industry. The interaction in these windows-orientated operating systems, as they have been developed for the operation system Windows of the market leader Microsoft, occurs by means of co-ordinate determining interaction devices. In the field of offices a computer mouse is mostly used as interaction device. However an industrial application in a rough environment is not feasible unless it is protected against pollution. Further problems e.g. the non-available surface when a board is used and the machine vibrations in case of a non-coupled operating system are resulting from the industrial environment. Numerous alternative interaction devices are used to solve these problems, however their usability for the user could not be clarified and is rather questionable.

Hence the aim is to be able to evaluate the usability of interaction devices. The evaluation of interaction devices must take into account the whole human being as user with its capabilities and capacities in order to avoid an excessive and one-sided demand during the work process. The necessary psycho-motorical basics for the somatosensorial, sensorimotorical and cognitive performance of the human being are presented in this work. They are the starting point for the design of the interaction devices and determine the circumstances for modelling a systematic method in order to evaluate interaction devices. The presented qualitative Elementary Interaction Model (EIM) provides the first approach. It visualizes the verbalization of elementary interaction operations in a graph and reflects the user's point of view.

The model of FITTS (1954) has so far been used for the quantitative evaluation of interaction devices. It describes the performance of the human being in a mathematical way. An interrelation between target-orientated movement, speed and exactness is derived from this evaluation. In literature several variations of FITTS method of investigation for testing the efficiency of pointing devices can be found. Elementary operating tasks with clear, discrete start and target objects can be investigated, but it is difficult to apply the law for complex task sequences as they occur at the operation of a windows-system. A comparison of different experiments can not be achieved due to the difference in tasks, in properties of the used pointing devices, size of the test population and set-up of the experiment. Since different test methods are applied it is understandable that the conclusions can not automatically be drawn as to which input device is the fastest and the most simple one to learn. Firstly the FITTS-evaluation method must be questioned because of system-immanent weaknesses and secondly because of non-practical tasks, which are especially not suitable for an industrial application in order to evaluate the usability of various interaction devices for the human being.

The difficulty in comparing the indices and the non-uniformity of the test design, especially due to the various definitions of the basic formula in case of FITTS, have led to the development of the DEVICE-test method of investigation for quantitative and qualitative statements. This test method focuses on evaluating the usability of pointing devices under practical conditions in Human-Machine-Interaction (HMI), e.g. the industrial suitability in window-orientated systems for example Microsoft Windows. The test set-up is orientated to typical industrial conditions. The DEVICE test tasks realized in the general test method

are orientated to typical activities of users of graphical dialogue systems. These tasks are separated into CLICK and DRAG&DROP tasks. The evaluation features speed, completeness and exactness, which are relevant for the evaluation of the usability, result from the psycho-motorical capabilities. The subjective evaluation of the user in terms of satisfaction and comfort is investigated by means of an individual instrument that includes questionnaires and observations.

A comparative investigation was carried out for alternative pointing devices to determine the usability of pointing devices for humans and their industrial suitability. The test set-up is orientated to typical conditions of an industrial environment. The testing stand consists of an operating panel mounted to a bracket system. In total (since 1998) 26 interaction devices of different manufacturers have been tested from 46 participants. In order to be able to compare the different studies the test persons must carry out various test tasks under identical conditions according to FITTS' law model that is termed FITTS in the following, and according to the test method DEVICE. The tasks for FITTS and DEVICE were fulfilled in a test program. The test system records all data necessary for the evaluation of the tests in a logfile.

The applicability and validity of the test methods are evaluated by determining the influence of various identification features such as experience of the user, operating position of the user, position of the interaction device and device design. In addition to the DEVICE-test task, the devices of the test series 2001 are tested with tasks based upon the model of FITTS in order to evaluate the validity of this method.

The obtained results of the individual test instruments are evaluated independently from each other. A Pointing-Device-Index (pak-PDI, Pointing-Device-Index of the Institute for Production Automation, pak, Germany, Kaiserslautern) is derived from the measured feature values of the DEVICE test tasks in order to simplify the evaluation of the usability and the comparability. The index shows the usability (quality and suitability) of interaction devices compared to a standard mouse. The standard mouse is chosen as reference because it is considered as a de-facto standard for directly manipulated user surfaces. The pak-PDI is referenced to a group of tested individuals; i.e. it can be either adapted to the whole group of tested persons or only alone to the beginners or the experienced group. Due to the modular set-up of the index, characteristic values can be easily determined for the different tasks which put varying demands on the pointing device. The extension of the Elementary Interaction Model (EIM) to the Industrial Elementary Interaction Model (I-EIM) enables the user to make qualitative statements about possible industrial applications of interaction devices. By interpretation of the PDI reasons for the assessment can be found.

The investigation results of the general and individual test method are compared with each other by means of statistical methods. The correlation analysis between the test series 1998 and 2001 results in reproducible values. With the high correlation between the pak-PDI and the voting of the users turns out that the pak-PDI investigated with DEVICE is user-oriented and performs the evaluation of specific issues of specific types of pointing devices. Thus the reliability of the DEVICE test method is shown. The comparison between the DEVICE test tasks and the ranking of interaction devices set up by the users show a clear correlation in opposition to the FITTS method. This correlation shows the validity of the DEVICE method. Furthermore DEVICE is more realistic in the experimental set-up. Task presentation and task scope are more interesting and more diverse for the test person than the monotonous tasks of the FITTS test. FITTS eliminated with that reciprocal tapping set-up perception and cognitive processing, leaving the isolated capacity of



the motor system to be measured. DEVICE considers the cognitive users intentions and complex processes of perception in direct manipulative environments. We suggest a distinction between FITTS Law used for FITTS test and a Fitts effect that states that movement time is inversely proportional to target size, and proportional to movement length.

Additionally the DEVICE method requires one tenth of the time needed by the FITTS method. The test persons were able to solve the test tasks of the DEVICE test within approximately 30 minutes (one person, twelve devices). Test times of up to 4.5 hours were observed for the FITTS test due to the large number of repetitions (14 actions) and because of six different distance-width constellations. The probably biggest advantage of the DEVICE test compared to the FITTS test is the possibility to evaluate the pak-PDI clearly. Whereas the FITTS test results in two solution parameters (IP and movement time) the pak-PDI only determines the result of the DEVICE test. The DEVICE test method consisting of test tasks, questionnaires and observation protocol can be used for the evaluation of the usability of co-ordinate-determining interaction devices.

If window-based software systems are applied during the development of a new control system, the techniques of mouse operation, DRAG&DROP etc., which are known from office applications, can not always be adapted. New generations of control systems will demand new solutions in the field of user interaction. The presented techniques with their specific advantages and disadvantages may provide first assistance for a selection. Further investigations are to follow providing specific design guidelines for control system engineers. A final decision should only be based on comparative tests carried out with several test persons under realistic process conditions for the specific application.

Co-ordinate determining interaction devices will not lose their importance during the first decades of the 21<sup>st</sup> century. They constitute the easiest way to process visual information and to carry out interactions by hand without delay. The positioning symbol or mouse pointer is the virtual arm of the human being in order to control machines or production sites. If co-ordinate determining devices are replaced by alternative forms of interaction, the principles of the DEVICE-method, which have been presented in this thesis, can still be used for the evaluation of future interaction techniques.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Interaktion mit Koordinatengebern.....</b>	<b>4</b>
2.1	Übersicht.....	4
2.2	Fähigkeiten des Menschen .....	5
2.2.1	Somatosensorik.....	5
2.2.2	Sensomotorik .....	7
2.2.3	Ergonomische Betrachtung des Hand-Arm-Systems .....	10
2.2.4	Einschränkungen menschlicher Fähigkeiten.....	13
2.3	Interaktion mit grafischen Benutzungsoberflächen .....	16
2.3.1	Historische Entwicklung von koordinatengebenden Interaktionsgeräten.....	16
2.3.2	Merkmale von grafischen Benutzungsoberflächen.....	17
2.3.3	Elementare Interaktionsoperationen .....	18
2.3.4	Einteilung der Interaktionsgeräte .....	20
2.3.5	Gebrauch von Interaktionsgeräten.....	22
2.3.6	Industrielle Interaktionssysteme.....	25
2.4	Interaktionsmodelle .....	31
2.4.1	Übersicht .....	31
2.4.2	Kognitive Modelle .....	32
2.4.3	Psychomotorische Modelle .....	33
2.4.4	Qualitative Gerätemodelle .....	36
2.4.5	Quantitative Gerätemodelle .....	37
<b>3</b>	<b>Problemstellung und Zielsetzung .....</b>	<b>42</b>
3.1	Problemstellung .....	42
3.2	Zielsetzung.....	43
<b>4</b>	<b>Gestaltung der Untersuchungsmethode .....</b>	<b>45</b>
4.1	Versuchsgestaltung.....	45
4.1.1	Entwicklung des Versuchsinstrumentariums.....	45
4.1.2	Konzeption der DEVICE-Versuchsaufgaben.....	46

4.1.3	Realisierung der DEVICE-Versuchsaufgaben .....	50
4.1.4	Realisierung der FITTS-Versuchsaufgaben .....	56
4.1.5	Individuelles Instrumentarium.....	59
4.1.6	Testgütekriterien .....	61
4.2	Versuchsdurchführung.....	63
4.2.1	Auswahl von Interaktionsgeräten .....	63
4.2.2	Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen .....	66
4.2.3	Versuchsaufbau .....	69
4.2.4	Versuchsbeschreibung.....	70
4.3	Versuchsauswertung .....	71
4.3.1	DEVICE .....	71
4.3.2	FITTS.....	74
<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>77</b>
5.1	Übersicht .....	77
5.2	Ergebnisse der Versuchsaufgaben DEVICE.....	78
5.2.1	Erfahrung der Benutzer (DEVICE 1998).....	78
5.2.2	Bedienhaltung – Position der Benutzer (DEVICE 1998) .....	81
5.2.3	Geräteposition (DEVICE 1998) .....	82
5.2.4	Gestaltung der Geräte (DEVICE 1998 und DEVICE 2001).....	84
5.3	Ergebnisse der Versuchsaufgaben FITTS .....	87
5.3.1	Regressionsanalyse.....	87
5.3.2	Auswertung des Index of Performance (IP).....	88
5.3.3	Auswertung der Bewegungszeiten .....	90
5.3.4	Auswertung mittels der Portfolioanalyse.....	91
5.4	Ergebnisse der Befragung .....	92
5.4.1	Fragebogen.....	92
5.4.2	Rangordnung .....	92
5.4.3	Eigenschaften der Interaktionsgeräte.....	94
5.4.4	Körperliche Beeinträchtigungen .....	96
5.5	Fazit – Anwendung der DEVICE-Methodik .....	98
5.5.1	Übersicht.....	98
5.5.2	Quantitative Beurteilung – PDI .....	100
5.5.3	Qualitative Beurteilung – I-EIM.....	101

---

<b>6</b>	<b>Bewertung der Untersuchungsmethode DEVICE .....</b>	<b>105</b>
6.1	Übersicht.....	105
6.2	Vergleich von DEVICE 1998 mit DEVICE 2001.....	106
6.2.1	Analyse der Streuungsmaße .....	106
6.2.2	Korrelationsanalyse .....	107
6.3	Vergleich von DEVICE 2001 mit FITTS 2001.....	108
6.3.1	Korrelationsanalyse .....	108
6.3.2	Rangkorrelationsanalyse .....	109
6.4	Vergleich von generellem und individuellen Versuchsinstrumentarium.....	110
6.5	Fazit – Testgüte der DEVICE-Methodik.....	112
6.5.1	Objektivität.....	112
6.5.2	Reliabilität.....	112
6.5.3	Validität .....	113
6.5.4	Utilität .....	114
6.5.5	Abgrenzung von DEVICE zu FITTS.....	115
<b>7</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>117</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>121</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>123</b>
9.1	Monographien und Artikel .....	123
9.2	Normen und Richtlinien .....	137
9.3	Studien- und Diplomarbeiten.....	141
<b>10</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>142</b>
<b>11</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>160</b>

## Abkürzungsverzeichnis

### Allgemein

C	CLICK-Aufgaben
CCT	Cognitive Complexity Theorie
D&D	DRAG&DROP-Aufgaben
EIM	Elementary Interaction Model
eng.	Englisch
GOMS	Goals Operations Methods Selection Rules
griech.	Griechisch
HFES	Human Factors and Ergonomics Society
I-EIM	Industrial Elementary Interaction Model
KLM	Keystroke Level Model
lat.	Lateinisch
MHP	Model Human Processor
pak	Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung
PC	Personal Computer
POI	Point of Information
SAT	Speed-Accuracy-Tradeoff
UML	Unified Modelling Language
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnologie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VP	Versuchsperson
ZMMI	Zentrum für Mensch-Maschine-Interaktion
ZNS	Zentrales Nervensystem

### Statistische Formelzeichen und Indizes

P	Wahrscheinlichkeit
X; x	Zufallsvariable X, die den Wert x angenommen hat
Var (X)	Varianz der Zufallsvariable X
$\sigma$	(sigma) Standardabweichung der Grundgesamtheit
s	Standardabweichung der Stichprobe
$\mu$	(mü) Arithmetisches Mittel (der Variablen X) einer Stichprobe
n	Stichprobenumfang
k	Zahl der Stichproben, Zahl der Mittelwerte

---

V	Variationskoeffizient
$\alpha$	(alpha) Irrtumswahrscheinlichkeit
$H_0$	Nullhypothese
$H_A$	Alternativhypothese
t	Prüfgröße des t-Tests
$\rho$	(rho) Korrelationskoeffizient der Grundgesamtheit
r	Korrelationskoeffizient einer Stichprobe nach BRAVAIS-PEARSON
$r_s$	Rangkorrelationskoeffizient einer Stichprobe nach SPEARMAN
Cov (X,Y)	Kovarianz der Zufallsvariablen X und Y
emp	Empirisch ermittelter Wert
tab	Tabellarisch ermittelter Wert
QS	Quadratsumme
Rg	Rangziffer

### **Mathematische Formelzeichen – FITTS**

$\log_a$	Logarithmus zur Basis a
lg	Logarithmus zur Basis 10
ld	Logarithmus dualis, Logarithmus zur Basis 2
MT	Movement Time (Bewegungszeit)
A	Amplitude (Zielabstand)
W	Width (Zielweite, Zielbreite)
a,b,c,d	Empirisch zu ermittelnde Konstanten
ID	Index of Difficulty (Schwierigkeitsindex)
IP	Index of performance (Leistungsindex)
p	Percent (prozentualer Anteil einer Bewegung)
v	Geschwindigkeit eines sich bewegenden Objekts
CH	FITTS-Versuchsaufgabe: CLICK Horizontal
CV	FITTS-Versuchsaufgabe: CLICK Vertikal
CM	FITTS-Versuchsaufgabe: CLICK Multidirektional
DDH	FITTS-Versuchsaufgabe: DRAG&DROP Horizontal
DDV	FITTS-Versuchsaufgabe: DRAG&DROP Vertikal

**Mathematische Formelzeichen – DEVICE**

$t_l$	time last attempt (Zeit letzter, gültiger Versuch)
$t_t$	time totally all attempts (Gesamtzeit alle Versuche)
$N_a$	number of attempts (Anzahl der Versuche)
$P_i$	points invalid (Punkte ungültig)
$P_v$	points valid (Punkte gültig)
PDI	Pointing Device Index, Kennziffer für die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten
$PDI_C$	CLICK-Aufgabengruppe: Sequentielles Positionieren und Selektieren
$PDI_D$	DRAG&DROP-Aufgabengruppe: Paralleles Positionieren und Selektieren
Menu	DEVICE-CLICK-Aufgabe: Menüeintrag auswählen
Window	DEVICE-CLICK-Aufgabe: Fenster anwählen
Button	DEVICE-CLICK-Aufgabe: Knöpfe drücken
Box	DEVICE-CLICK-Aufgabe: Eintrag aus Liste auswählen
Curve	DEVICE-DRAG&DROP-Aufgabe: Gegebene Linie nachfahren
Text	DEVICE-DRAG&DROP-Aufgabe: Textabschnitt markieren
Rectangu- lar, Rectng.	DEVICE-DRAG&DROP-Aufgabe: Rahmen auf vorgegebene Größe aufziehen



# 1 Einleitung

Mensch-Maschine-Systeme beschreiben die vielfältigen Wechselbeziehungen bzw. Interaktionen zwischen der Maschine und dem Menschen. Ein einfaches Modell dieser Wechselbeziehungen nach GRANDJEAN ist in Abbildung 1-1 der Entwicklung der Interaktion zwischen Mensch und Maschine gegenübergestellt [Gra79].

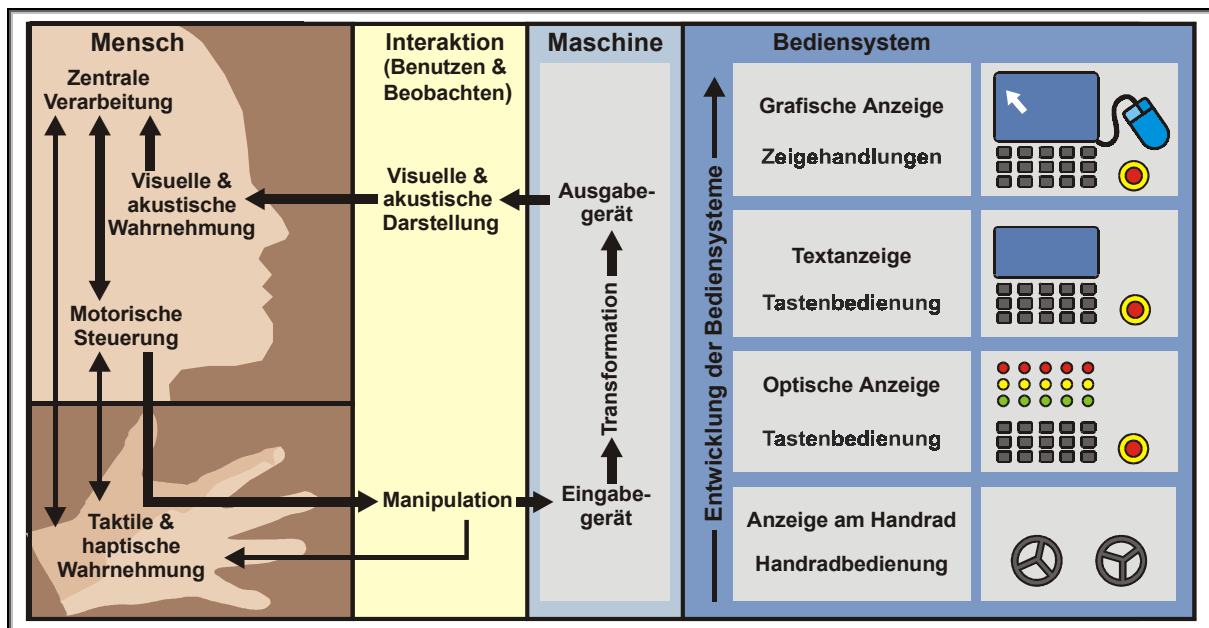


Abbildung 1-1 Der Regelkreis „Mensch-Maschine“ und die Entwicklung der Bediensysteme

Aus Abbildung 1-1 ist ersichtlich, dass das Mensch-Maschine-System einen Regelkreis darstellt, in welchem der Mensch eine komplexe Schlüsselposition innehat. Er kontrolliert das System, indem ihm weitestgehend die Entscheidungsmöglichkeiten überlassen bleiben. Die dargestellte Steuerungsschleife weist folgende Stufen auf: Ein **Ausgabegerät** stellt über Anzeigen (z.B. Textanzeige, Bildschirm, etc.) den Maschinenzustand (z.B. Bearbeitungsfortschritt, Systemstatus, etc.) dar. Der Mensch nimmt diese Informationen über seine **Wahrnehmung** auf. Dies erfolgt vorwiegend über das visuelle (und untergeordnet über das auditive) Sinnessystem. Der Mensch muss die wahrgenommene Information in der **zentralen Verarbeitung** verstehen und richtig interpretieren, um mittels der **motorischen Steuerung** das **Eingabegerät** zu manipulieren.

Bei manuellen Eingaben erfolgt über die taktile und haptische Wahrnehmung eine unmittelbare Rückmeldung direkt bei der Eingabe. Dieses Feedback steuert über einen inneren Regelkreis die Motorik. Der Benutzer „fühlt“ z.B., dass er ein Handrad gedreht hat, einen Knopf gedrückt hat oder eine Computermaus bewegt hat. Im Falle der Handradbedienung früherer Bediensysteme war die Betätigungskraft z.B. bei Drehbänken unmittelbar spürbar [Böh88].

Mit der Weiterentwicklung der Bediensysteme hin zur tastenorientierten Bedienung mit grafischen Anzeigen hat sich die Bedeutung der Rückmeldung von der haptischen zur

visuellen Wahrnehmung verschoben und die ein- und ausgehenden Informationen erscheinen auf einem Bildschirm. Die Steuerung einer Maschine ist flexibel und dialogfähig geworden. Bei modernen Steuerungen im Maschinen- und Anlagenbereich werden verstärkt PC-basierte Steuerungen mit grafischen Anzeigen eingesetzt. Durch die Nutzung dieses weitverbreiteten Standards lassen sich kostenintensive Eigenentwicklungen von Bediensystemen weitgehend durch preisgünstige Standardprodukte aus dem Hard- und Softwarebereich ersetzen<sup>1</sup>. Der Trend bei den Betriebssystemen für grafische Bediensysteme geht zu Windows-Produkten der Firma Microsoft [Eis98; Bol97]. Diese haben sich mittlerweile im Bürobereich durchgesetzt und sind dabei, ebenso den Markt industrieller Steuerungssysteme zu erobern [Hof96].

Bei diesen grafischen *Benutzungsoberflächen*<sup>2</sup> haben die Benutzer die Möglichkeit zur direkten Manipulation von Objekten. Sie können mittels eines Zeigeelements auf ein Bildschirmobjekt deuten und es dadurch manipulieren oder eine Funktion dafür ausführen. Diese Zeigeelemente werden auch *Koordinatengeber* oder koordinatengebende Interaktionsgeräte genannt, da die Ortsbestimmung anhand von x,y-Koordinaten erfolgt. Unter Interaktionsgeräten werden allgemein Geräte verstanden, welche den Prozess des Informationstransfers vom Benutzer zur Maschine und von der Maschine zum Benutzer ermöglichen.

Durch die steigende Verwendung von grafischen Benutzungsoberflächen im industriellen Umfeld werden immer mehr koordinatengebende Interaktionsgeräte neben den herkömmlichen Interaktionsformen wie z.B. Tasten eingesetzt. Dem Interaktionssystem, bestehend aus koordinatengebendem Interaktionsgerät und Bildschirm mit grafischer Benutzungsoberfläche fällt damit als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine eine große Bedeutung zu. Allerdings wird diese Schnittstelle der ihr übertragenen Bedeutung meist nicht gerecht. Die Kritik daran ist beinahe so alt, wie die Schnittstelle selbst. JEFF RASKIN, der Koordinator des Apple Macintosh-Projekts, ist sogar der Ansicht, dass diese Form der Schnittstelle niemals mit dem Menschen kompatibel sein wird und Computer weiterhin frustrierend, schwierig und anstrengend bleiben, solange sich deren Schnittstelle nicht ändert [Ras93].

Spezielle Probleme ergeben sich bei der Portierung des Windows-Standards (bzw. generell von fensterorientierten Bediensystemen) in das industrielle Umfeld. Die dort verwendeten grafischen Benutzungsoberflächen sind im Wesentlichen für Büroumgebungen konzipiert, in denen ein zur Interaktion notwendiges Interaktionsgerät – meist eine herkömmliche Computermaus – zur Verfügung steht. Allerdings können koordinatengebende Interaktionsgeräte, wie sie aus dem Bürobereich bekannt sind, nicht ohne weiteres im industriellen Umfeld eingesetzt werden. Probleme bestehen hier hinsichtlich Verschmutzung, Robustheit, Anordnung und dem zur Verfügung stehenden Platz. Durch Späne, Öl oder Kühlmittel werden bewegliche Teile verschmutzt und die Funktion beeinträchtigt – die Folge sind erschwerte Bedienbarkeit oder gar Fehlbedienungen. Schwingungen, welche von der Maschine an das Bediensystem übertragen werden, können eine Benutzung ebenfalls verschlechtern. Des Weiteren beansprucht eine herkömmliche Computermaus im Allgemeinen eine ebene Rollfläche ausreichender Größe, auf der sie bewegt werden kann.

---

<sup>1</sup> Die Integration von Hard- und Softwarekomponenten, welche der Benutzung dienen, wird in sprachlicher Analogie als Useware bezeichnet [Züh99b].

<sup>2</sup> Begriffe, deren Definitionen für diese Arbeit von Bedeutung sind, werden *kursiv* geschrieben und zum besseren Verständnis im Glossar (Abschnitt 10) erläutert.

Einige Interaktionsgerätehersteller berücksichtigen die industriellen Anforderungen und bieten die verschiedensten Bauformen der Interaktionsgerätegruppen Mouse<sup>3</sup>, Trackball, Mousepad, Mousebutton, Mousestick, Joystick, Digitizing Tablet und Touchscreen an. Allerdings fehlt es den Entwicklern von Bediensystemen und den Anwendern von Interaktionsgeräten an Entscheidungsgrundlagen zur Auswahl eines für ihren Anwendungsfall geeigneten Gerätes. Je nach der Form der Anwendung und den vorherrschenden Umgebungsbedingungen muss aus der Vielzahl der angebotenen Interaktionsgeräte ein gebrauchstaugliches Gerät ausgewählt werden. Um ein für die Benutzer entsprechendes Interaktionsgerät zu finden, sind Bewertungsansätze notwendig, die als Grundlage für die Entscheidungsfindung dienen. Daher ist die **Entwicklung einer Untersuchungsmethode** zur Ermittlung und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten für den Menschen das Ziel dieser Arbeit.

Dazu werden zunächst in Abschnitt 2 die Fähigkeiten des Menschen hinsichtlich der sensorischen, motorischen und *ergonomischen* Grundlagen der Interaktion erläutert, und es werden die Eigenschaften von grafischen Benutzungsoberflächen, Interaktionsgeräten, industriellen Interaktionssystemen und Interaktionsmodellen erörtert. Ausgehend von diesen Grundlagen der Interaktion wird die Zielsetzung dieser Arbeit in Abschnitt 3 spezifiziert. In Abschnitt 4 wird die Gestaltung der Untersuchungsmethode beschrieben. Hier werden die zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten notwendigen Merkmale identifiziert und in einem Versuchsinstrumentarium abgebildet. Mittels dieses Instrumentariums werden verschiedene Interaktionsgeräte in unterschiedlichen Anwendungsfällen untersucht und die dabei ermittelten Ergebnisse in Abschnitt 5 dargestellt und erläutert. Den Abschluss dieses Abschnittes bildet die Vorstellung einer Methode zur quantitativen und qualitativen (bzw. erläuternden) Beurteilung von Interaktionsgeräten. Anhand von statistischen Testgütekriterien und anhand von Erfahrungen während der durchgeführten Untersuchung erfolgt im Abschnitt 6 eine Bewertung der Methode. Im Abschnitt 7 werden zukünftige Anwendungsmöglichkeiten der Untersuchungsmethode vorgestellt.

---

<sup>3</sup> Als Gattungsbezeichnung werden im Folgenden für die Interaktionsgerätegruppen die gebräuchlichen meist englischen Ausdrücke verwendet, um den Gattungscharakter zu unterstreichen (vgl. Abschnitt 2.3.4).

## 2 Grundlagen der Interaktion mit Koordinatengebern

### 2.1 Übersicht

Jeder Gegenstand, mit dem der Mensch in physischen Kontakt kommt, muss, wenn er für den Menschen benutzerfreundlich, funktionsfähig oder gebrauchstauglich sein soll, an die Fähigkeiten des Menschen angepasst sein. Für diese Anpassung und für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit dieses Gegenstandes sind Kenntnisse über die menschlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Wahrnehmung und Verarbeitung von Informationen notwendig. Dabei wird von dem Grundsatz ausgegangen, dass die Interaktion des Menschen mit einem technischen Objekt dann am besten verstanden werden kann, wenn alle relevanten Forschungsgebiete erläutert werden. Jedes allein liefert nur einen Teil des Ganzen; gemeinsam eröffnen sie ein tieferes Verständnis vom Prozess der Interaktion. In Abbildung 2-1 sind die für die Grundlagen der Interaktion relevanten Bereiche mit den Kapitelnummern, in denen sie erläutert werden, dargestellt.

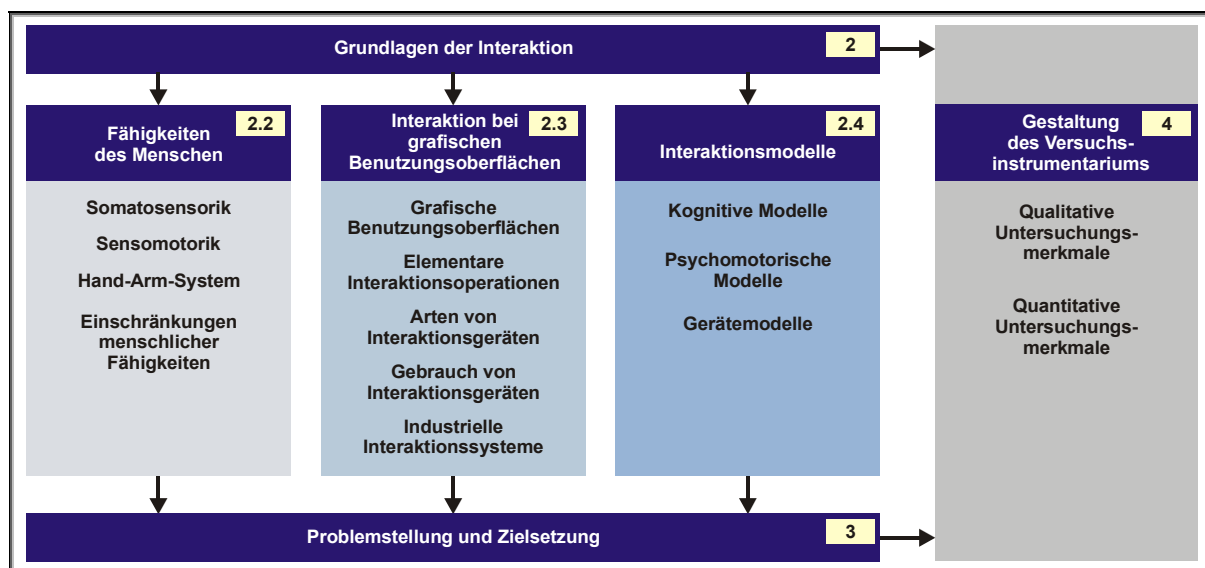


Abbildung 2-1 Grundlagen der Interaktion

Bei den **Fähigkeiten des Menschen** werden die für die haptische Interaktion wichtigen Grundlagen der Forschungsgebiete *Sinnesphysiologie*<sup>4</sup> (hier insbesondere die *Somatosensorik*), *Sensomotorik*, *Ergonomie* des Hand-Arm-Systems und die Einschränkungen menschlicher Fähigkeiten erläutert (vgl. [Hoy90; Joh93; Hel97; Tim00; Züh02a]). Die Beschreibung der Prozesse, die der menschlichen Interaktion mit Koordinatengebern zugrunde liegen, zeigt, welche besonderen Leistungen die menschlichen Fähigkeiten Objekte zu fühlen und zu bewegen darstellen. Bei der **Interaktion mit grafischen Benut-**

<sup>4</sup> Der Schwerpunkt liegt in dieser Arbeit auf der Erläuterung der Sinnesorgane des „spezifischen Systems“, welche Berührungen und Körperbewegungen registrieren [Gau72; Haa76; Sch98]. Die weiteren Sinnesorgane des spezifischen Systems wie z.B. Augen, Ohren oder Nase werden nur angesprochen, sofern sie für die Interaktion mit Koordinatengebern interessant sind.

**zungsoberflächen** werden die Merkmale grafischer Interaktion, elementare Interaktionsoperationen, Arten von Interaktionsgeräten, der Gebrauch von Interaktionsgeräten und industrielle Interaktionssysteme beschrieben. Die verschiedenen **Interaktionsmodelle** werden auf kognitiver, psychomotorischer oder gerätespezifischer Ebene für Entwicklungs- und Evaluationsprozesse von Interaktionssystemen verwendet.

Die in den folgenden Abschnitten dargestellten Interaktionsgrundlagen und die daraus abgeleitete **Problemstellung** und **Zielsetzung** bilden die Basis für die Konzeption und **Gestaltung des Versuchsinstrumentariums** zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten.

## 2.2 Fähigkeiten des Menschen

### 2.2.1 Somatosensorik

In der Haut, den Skelettmuskeln, den Sehnen, Gelenken und den Eingeweiden liegen *Rezeptoren*, die mechanische, thermische und chemische Reize aus der Umwelt oder dem Körper aufnehmen und dem *Zentralnervensystem* (ZNS) mitteilen [Bir96; Sch98; Cam93]. Wie in Abbildung 2-2 dargestellt ist, wird zwischen *Somatosensorik* und visceraler Sensibilität unterschieden (vgl. Anhang A.1).

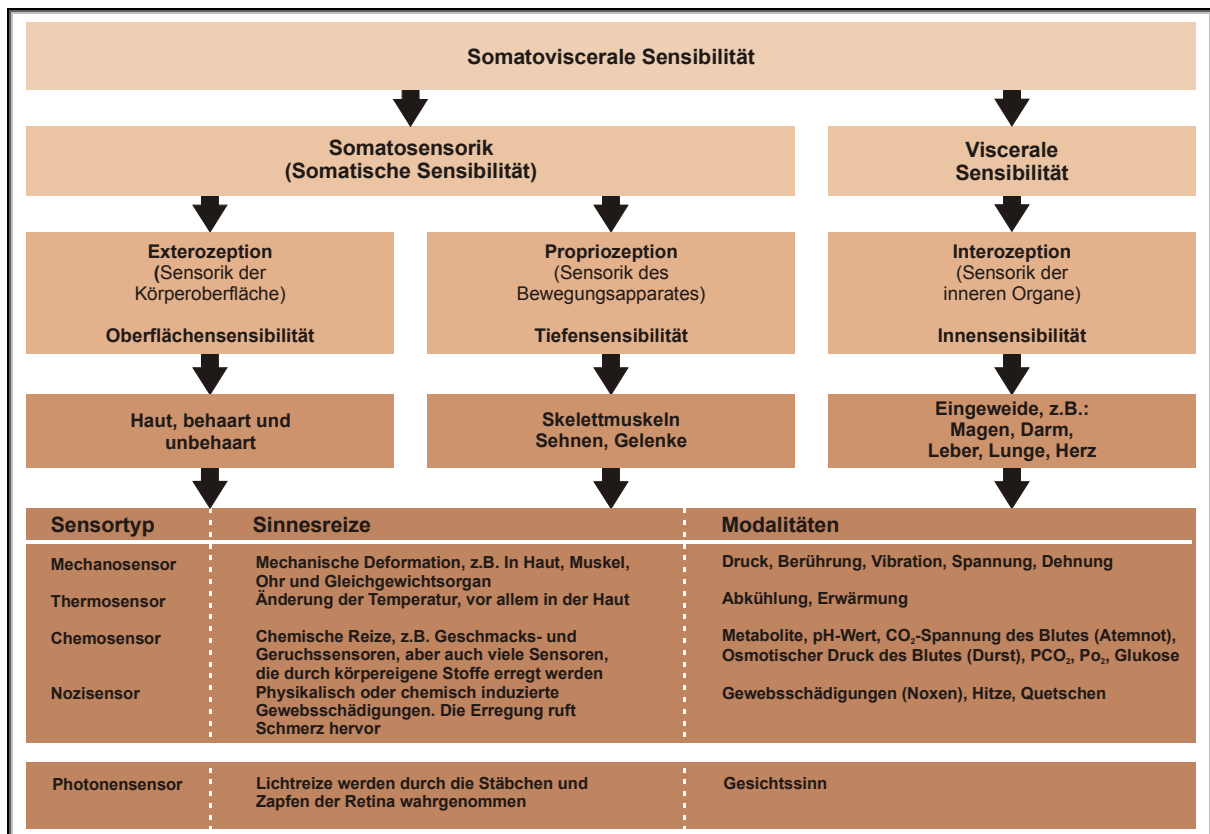


Abbildung 2-2 Übersicht über die Anteile der somatovisceralen Sensibilität, ihre Lokalisation im Körper und über die Sensorgrundtypen

Für die Interaktion mit Koordinatengebern ist vor allem der Tastsinn des Menschen bedeutend, der sich aus den zwei Wahrnehmungskomponenten **Exterozeption** und **Propriozeption** zusammensetzt.

Die **Exterozeption** oder *taktile* Wahrnehmung erfolgt durch spezielle Sensortypen in der Haut (Cutis). Weil sie auf mechanische Verformung der Haut ansprechen, werden sie *Mechanorezeptoren* oder mechanorezeptive Fasern genannt [Gol97]. Sie sind in der Lage, die *Sinnesmodalitäten* Druck, Berührung und Vibrationen in bzw. auf der Haut wahrzunehmen. Neben diesen Tastkörperchen verfügt die Haut noch über eine Reihe weiterer Rezeptoren, die sich auf die Wahrnehmung von Temperatur (Thermorezeptoren) oder Schmerz (Nozizeptoren) spezialisiert haben, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, da sie sich nach bisherigem Erkenntnisstand nicht bzw. nur sehr bedingt für die Mensch-Maschine-Interaktion eignen [Kur98].

Mit den vier Grundtypen von Rezeptoren (Merkel, Ruffini, Meissner, und Pacini) werden unterschiedliche *Qualitäten* eines Hautreizes kodiert und an das Zentralnervensystem (ZNS) übertragen. Eine ausführliche Beschreibung der unterschiedlichen Rezeptoren enthält Anhang A.1.2. Druckempfindungen werden über sogenannte **Merkel-Tastscheiben**, die an der Grenze zwischen Ober- (Epidermis) und Lederhaut (Corium) liegen, aufgenommen. In der Lederhaut liegende **Ruffini-Körperchen** registrieren die Dehnung der Haut. Die zu Berührungen führenden Empfindungen werden durch die **Meissner Tastkörperchen** in der Lederhaut aufgenommen. Die lamellenförmigen **Vater-Pacini-Körperchen** in der Unterhaut (Subcutis) sind spezialisiert auf Vibrationen. Zusätzlich registrieren Nervengeflechte rund um die Haarwurzeln Berührungen [Bir96; Alt77]. Die Erregung der Tastkörperchen wird durch eine Verformung der Haut, also Druck oder Zug, ausgelöst. Im Durchschnitt befinden sich auf 1 cm<sup>2</sup> Haut 2 Wärme-, 13 Kälte-, 25 Druck- und 200 Schmerzpunkte [Val84]. An verschiedenen Körperstellen weichen diese Zahlen stark vom Durchschnitt ab. So sind die Druckempfindungen z.B. in den Fingerbeeren größer, im Rücken kleiner als im Mittel. Die Dichte von Rezeptoren wird auch *Innervationsdichte* genannt [Sch00, Kli00].

Bei komplexen Reizen, wie sie z.B. bei der Interaktion mit einem Koordinatengeber entstehen, werden alle vier Arten von Mechanorezeptoren angeregt. Bei kräftiger Deformation der Haut werden nicht nur die oberflächensensiblen Mechanorezeptoren erregt, sondern auch tiefer liegende Mechanorezeptoren, vor allem langsamadaptierende Sensortypen in der Unterhaut, aber auch Mechanorezeptoren in den Muskeln und den Sehnen. In diesem Fall wird die rein exterozeptive Wahrnehmung von der propriozeptiven Wahrnehmung überlagert.

Die **Propriozeption** (Tiefensensibilität, *kinästhetische* Sensibilität) betrifft die Tiefensensorik, den Schwere- und den Kraftsinn, sowie die für *Bewegungen* zuständige Kinästhetik. Die *Propriozeption* ist kein einheitlicher Sinn, sondern integriert die Sinneseindrücke, die durch Reizung von Muskel-, Sehnen- und Gelenkmechanorezeptoren zustande kommen. Diese Rezeptoren ermöglichen es, sowohl die Stellung und *Bewegung* der Gliedmaßen, als auch die in den Muskeln aufgebrauchten Kräfte zur Bewegung oder Fixierung des Körpers wahrzunehmen. Einen Beitrag zur Tiefensensibilität liefern ebenfalls die Hautrezeptoren der Exterozeption, welche bei Gelenkbewegungen durch Stauchung oder Dehnung erregt werden können. Am häufigsten sind hierbei die Pacini-Körperchen mit ihren großen rezeptiven Feldern und am zweithäufigsten die durch Hautdehnung erregten Ruffini-Körperchen beteiligt. Insgesamt erreicht die Propriozeption eine hohe Sensibilität. So nimmt der Mensch bei den Schultergelenken noch Drehungen bis zu 0,2° und Geschwindigkeiten bis herab zu 0,3°/s wahr. Beim Fingergelenk sind es 1° und 12°/s. Der Kraftsinn erlaubt es dem Menschen, Gewichte und Kräfte in beiden Händen mit ca. 3% Genauigkeit zu vergleichen [Völ99; Rüh92].

Den Oberbegriff für exterozeptive (taktile) und propriozeptive (kinästhetische) Wahrnehmung bildet die ***haptische Wahrnehmung*** [Kat69; Mat91]. Synonym wird auch der Ausdruck "Tastsinn" verwendet. Ein wirkliches Ertasten der Umwelt setzt beim Menschen die aktive Bewegung von Händen und Fingern voraus. Das heißt, es findet eine Bewegung statt (kinästhetische Reizung), bei der z.B. Oberflächen von Gegenständen durch Dehnung und Bewegung der Haut (taktile Reizung) erkannt werden. Das einfache Ablegen einer Fingerkuppe auf eine Oberfläche bewirkt beim Menschen noch keine Wahrnehmung einer Oberflächenstruktur. Erst wenn der Finger über die Oberfläche gleitet, kann festgestellt werden, ob sie z.B. glatt oder rau ist. Somit ist das "Ertasten" bzw. die haptische Wahrnehmung nur durch die Kombination von kinästhetischen und taktilen Informationen möglich [Kur98; Zwi98].

Im folgenden Abschnitt werden die Bewegungsabläufe beim Ertasten, Ergreifen und Bewegen von Objekten beschrieben.

### 2.2.2 Sensomotorik

Schreiben, Autofahren und die Interaktion mit Koordinatengebern haben eines gemeinsam: jede dieser Tätigkeiten besteht aus komplizierten Sequenzen und Bewegungsmustern, die nur dann flüssig ablaufen können, wenn die einzelnen Bewegungserfolge ständig durch Rückmeldungen aus den Sinnesorganen kontrolliert werden können. Das Beherrschen der Bewegungsabläufe erfordert ein gutkoordiniertes Wechselspiel aus Sensorik und *Motorik*. Daher wird in diesem Fall auch von Sensomotorik gesprochen [Gra70; Hei94] (vgl. Anhang A.2).

Die Bedeutung der mechanorezeptiven Sensorik wird bei der neurologischen Beschreibung von Patienten mit dem Verlust der propriozeptiven und/oder taktilen Sensibilität noch deutlicher. Solche Patienten können kaum noch gehen oder ein Objekt ergreifen, obwohl Knochen, Gelenke, Sehnen und Muskeln vollständig intakt sind [Sch00; Sac01].

### Sensomotorik als kognitive Leistung

Nur ein kleiner Teil aller Sinneswahrnehmungen wird bewusst verarbeitet (*bewusste Informationsverarbeitung*). Viele Umweltreize und die Mehrzahl der sensomotorischen Informationen bleiben unbewusst. Die bewusste Wahrnehmung wird von der Aufmerksamkeit gesteuert und so werden bestimmte situationsgemäße und biologisch wichtige Sinnesmeldungen ausgewählt [Gau72]. Deutlich wird dies, wenn neuronale und psychophysische Informationsflüsse miteinander verglichen werden. Die dazu in Tabelle 2-1 angegebenen Kanalkapazitäten aller Rezeptoren der Sinnesorgane sind aus der Zahl der *afferenten* Fasern und der Kanalkapazität jeder Faser geschätzt. Sie sind der psychophysischen Kanalkapazität gegenübergestellt, d.h. dem maximalen *Informationsfluss* auf der Ebene der bewussten Wahrnehmung. Für das visuelle System ist dabei die Kapazität beim Lesen, für das auditive System die für das Hören von Sprache angegeben [Sch85a; Cro60; Sch70]. Für die Tiefensensibilität wird als gesamte Kanalkapazität die maximale Kapazität der motorischen Rezeptoren und als psychophysische Kanalkapazität die Leistung der *Effektoren* für bewusst gesteuerte Tätigkeiten angenommen [Haa76].

Tabelle 2-1 Vergleich der gesamten und psychophysischen Kanalkapazität  
(Schätzwerte sind mit (\*) gekennzeichnet)

Sinnessystem	Anzahl Rezeptoren	Anzahl Afferenzen	Gesamte Kanalkapazität [bit/s]	ZNS	Psychophysische Kanalkapazität [bit/s]
Gesichtssinn	$2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^6$	$10^7$		40
Oberflächensinn (Exterozeption)	$10^7$	$10^6$	$10^6$		5
Tiefensinn (Propriozeption)	(?)	(?)	$10^8$ (*)		1 (*)
Gehörsinn	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$10^5$		30
Geruchssinn	$7 \cdot 10^7$	$10^5$	$10^5$		1 (*)
Geschmackssinn	$3 \cdot 10^7$	$10^3$	$10^3$		1 (*)

Höhere sensorische Qualitäten aus Auge und Ohr dringen am besten zur Wahrnehmung vor. Propriozeptive und enterozeptive Meldungen werden nicht oder selten wahrgenommen und sehr schnell unbewusst reflektorisch-motorisch im zentralen Nervensystem des menschlichen Körpers verarbeitet [Heu87]. Ohne bewusste Wahrnehmung bleiben vor allem die propriozeptiven Informationen aus Muskeln und Sehnen, während Gelenkrezeptoren für den Lagesinn zwar vorwiegend reflektorisch verarbeitet werden, aber bei Bedarf auch zu bewussten Wahrnehmungen beitragen [Gau72]. Die Regulationsvorgänge der unteren Ebenen sind zum Teil nicht einmal bewusstseinsfähig, d.h., das Bemühen um bewusste Erfassung stellt vielfach sogar selbst eine Störung der Bewegungsführung dar (*Motilität*). Erst wenn Störungen auftreten, welche die Flexibilität der Unterprogramme übersteigen, sind Programmsprünge zu höheren Ebenen und später auch bewusste Eingriffe notwendig [Hac78].

Dass der sensomotorische Akt eng mit dem Erwerb von Kenntnis über die Beschaffenheit der Dinge gekoppelt ist, die der Mensch in die Hand nimmt und betastet, spiegelt sich auch in dem Wort „begreifen“ wieder. Dem Greifakt geht meist die visuelle Erfassung des Objektes voraus, wobei dieses durch Augen-, Kopf – und Rumpfbewegungen fixiert wird [Hel78a; Hel78b; Hel78c]. Dies löst seinerseits die gezielte Arm- und Handbewegung zum Objekt aus. Schon vor der Berührung beginnen die Hand und Fingerstellung sich optimal auf den zu greifenden Gegenstand anzupassen. Diese Vororientierung der Hand mit Öffnung der Finger („Shaping“) richtet sich nach der Lage, Größe und Form des Objektes [Tre52; Sch00].

Die Handfertigkeit ist folglich eine sensomotorische, insbesondere eine visumotorische und eine kognitive Leistung [Bir96]. Bei der Interaktion mit indirekt wirkenden Koordinatengebern, bei denen der Wirkort vom Aktionsort räumlich getrennt ist, erfolgt die kontinuierliche Rückmeldung visuell über ein *Positioniersymbol* (z.B. Zeiger). Ein integratives Modell eines Mensch-Maschine-Systems mit inneren, somatosensorischen und äußeren, visuellen Regelkreisen ist in Abbildung 2-3 dargestellt (vgl. [Joh75]). Das wesentliche Merkmal dieses inneren Regelkreises ist vor allem die sehr kurze *Reaktionszeit* gegenüber dem äußeren Regelkreis. Während visuelle Informationen mindestens ca. 200 ms Verarbeitungszeit<sup>5</sup> benötigen, können haptische Signale wegen der kürzeren Bahnen bereits in 20 – 100 ms verarbeitet werden [Gau72; Sch75a]. Diese kürzere Reaktionszeit ist ein wesentlicher Beitrag zu motorischen Koordinationsleistungen.

<sup>5</sup> Ist der visuelle Reiz sehr klein ( $0,5^\circ$  Sehwinkel/s), sehr kurz (0,05 s) und sehr schwach ( $< 3 \text{ cd/m}^2$ ), so kann sich die Reaktionszeit überproportional von 200 ms auf 500 ms vergrößern [Hei94].



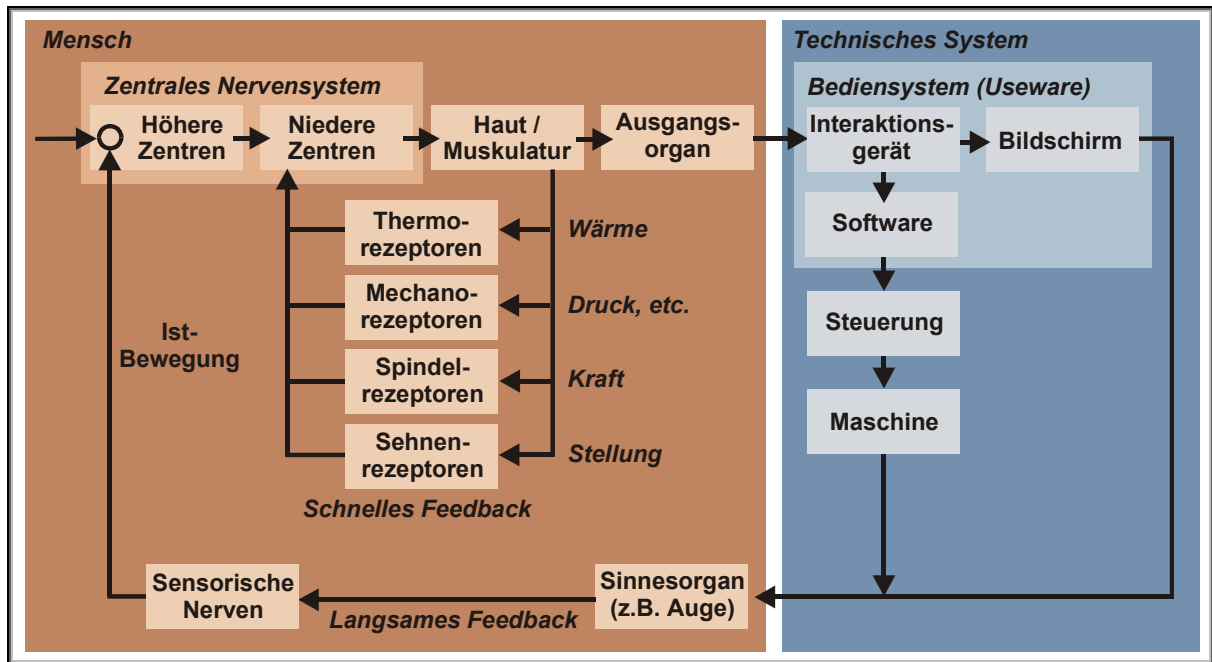


Abbildung 2-3 Regulation über einen visuellen und einen haptischen Regelkreis

Als höhere Zentren werden in Abbildung 2-3 die erlernten und gespeicherten Programme der Großhirn- und Kleinhirnrinde<sup>6</sup> bezeichnet. Die niederen Zentren kennzeichnen vorwiegend *spinale* Mechanismen unter Einfluss von *supraspinalen* Strukturen im Hirnstamm und den *Basalganglien* [Haa76]. Die Entstehung des Bewegungsprogramms beim Greifen erfordert zunächst eine Umsetzung aus dem visuellen in das körperbezogene oder egozentrische Koordinatensystem und die Entwicklung eines motorischen Programms zur Vororientierung der Hand- und Fingerstellung in Richtung auf das Ziel [Zel86; Kee68a]. Die Zielbewegung startet schnell und ist in ihrer Präzision relativ ungenau, um gegen das Ziel hin abgebremst und dabei genauer zu werden. In dieser langsamen Phase nahe beim Ziel erfolgt auch das Öffnen der Hand und deren endgültige Anpassung an das folgende Zugreifen<sup>7</sup> [Sch00]. Die Mechanismen bei der Anpassung von Zielbewegungen an das Zielobjekt werden im Abschnitt 2.4.3 über die psychomotorischen Interaktionsmodelle genauer erläutert.

## Lernen von Bewegungen

Nahezu alle neuen Bewegungsabläufe können vom Menschen nicht sofort korrekt ausgeführt werden, sondern gestalten sich erst nach ausreichender Wiederholung (Übung) in der gewünschten Weise [Sch75a; Sch88b]. Menschen besitzen die Fähigkeit zu lernen. Eine Grundvoraussetzung dafür ist die Veränderbarkeit oder auch Plastizität des zentralen Nervensystems (ZNS). Es entwickelt sich im Lauf eines Lebens entsprechend der Erfahrungen, die der Mensch macht. Das ZNS ist ständig Reizen ausgesetzt, die dessen Entwicklung beeinflussen. Beim Erlernen eines Bewegungsablaufs lassen sich die drei Stufen kognitive Phase, assoziative Phase und autonome Phase unterscheiden [Hei94].

In der **kognitiven Phase** werden, ausgehend von Erfahrungswerten ähnlicher, bereits eingeübter Bewegungen, geeignete Aktivierungsmuster und Kontrollstrategien zu-

<sup>6</sup> Ausführlich wird das sensomotorische und psychomotorische bzw. psychophysische System in [Sch00; Kli00; GoI97; Bir96; Hei94] beschrieben. Eine Zusammenfassung befindet sich in Anhang A.2.

<sup>7</sup> Diese Wechselwirkung zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit wird in der Literatur auch als Speed-Accuracy-Tradeoff bezeichnet [Sch79; Sch85b; Han85].

sammengestellt. Häufig werden die einzelnen Einheiten des motorischen Bewegungsablaufs verbalisiert. Diese verbalen Beschreibungen repräsentieren die detaillierten Angaben über Verhaltensweisen, die für die Bewegungsausführung wichtig sind.

In der **assoziativen Phase** werden die einzelnen Bewegungskomponenten getestet und miteinander in Verbindung gebracht. In diesem Stadium entstehen neue Bewegungsmuster. Insbesondere ist hierbei von Bedeutung, dass bestimmte motorische Aktionen zunächst willkürlich oder unwillkürlich ausgeführt werden, um vermehrt Informationen über die Eigenschaften der äußeren Umwelt bzw. des zu steuernden Systems zu gewinnen. Derart beabsichtigte Bewegungen schießen deshalb zu Beginn meist über das Ziel hinaus und laufen erst nach mehrmaliger Wiederholung gleichmäßig und schnell ab. Im Lernprozess wird durch den Vergleich von äußerer Wahrnehmung und den im Gedächtnis gespeicherten Zielvorstellungen (Konzepten) ein inneres Modell aufgebaut, welches eine adäquate Repräsentation der äußeren Welt mit ihren Gesetzmäßigkeiten darstellt [See91]. Aktionen müssen dann nicht mehr tatsächlich durchgeführt werden, um ihre Konsequenzen festzustellen, sondern das innere Modell kann den quasi-gesetzmäßigen Verlauf der Dinge selbst abbilden. Es liefert nach Eingabe der augenblicklichen Anfangsbedingungen das wahrscheinlich zukünftige Ergebnis [Ber67; Ann93].

In der **autonomen Phase** erfolgt eine Automatisierung des Bewegungsablaufs. Immer wiederkehrende Abfolgen, die aufgrund einer zunehmend optimierten Ausführungsweise geringere Anforderungen an die Flexibilität der Abläufe stellen, werden dabei auf jeweils niedrigere Ebenen der motorischen Steuerung verlagert. Im Laufe der Zeit bilden sich so feste Aktivierungsmuster und standardisierte Regelungsmechanismen aus, die einerseits die höheren Zentren entlasten und andererseits durch kürzere Bahnen in der neuronalen Verarbeitung und durch die parallele Verarbeitung der Informationen eine deutlich schnellere Ablaufkontrolle erlauben [Sch87; Sch85a]. Mit dem Umfang der vorgefertigten Teilprogramme wächst damit die Komplexität derjenigen Bewegungen, die unbewusst ausgeführt werden können. Hier kann sogar eine bewusste Beobachtung den Bewegungsablauf behindern. Mit zunehmendem Lernfortschritt wird die Veränderlichkeit der Bewegungsabläufe und der Energieaufwand, der für die Steuerung und Ausführung von Bewegungen erforderlich ist, geringer und die Bewegungen werden störunanfälliger.

### 2.2.3 Ergonomische Betrachtung des Hand-Arm-Systems

#### Struktur des Bewegungsapparats

Das Skelett des menschlichen Körpers ist als Knochengerüst der starre Teil des Bewegungsapparates. Er verleiht dem Körper seine äußere Gestalt, stützt ihn und schützt seine Eingeweide und inneren Organe. Während die Knochen und Knorpel mit ihren Gelenken den passiven Teil des Bewegungsapparates bilden, sind die Muskeln der aktive Teil, denn sie bewirken durch ihre Kontraktion eine Bewegung des Gerüsts über seine Gelenke. Gelenke können hart oder weich sein, starr oder beweglich [Pla99]. Durch die Bewegung der Gelenke mit Hilfe der Muskeln und damit der Knochen können zahlreiche Bewegungen, zum Teil mit äußerster Präzision, durchgeführt werden.

#### Bewegungsmöglichkeiten

Die maximal möglichen Gelenkausschläge sind in Abbildung 2-4 dargestellt. Hierbei sollte beachtet werden, dass es sich um Extremwerte und nicht um dauerhafte Positionen handelt [Bul94]. Für eine längere Handhabung sind etwa 30% der angegebenen maximalen Winkel zumutbar [Gra67; Feg92]. *Körperhaltungen* werden übermäßig oder exzessiv ge-

nannt, wenn sie 30% der maximalen Abwinkelung überschreiten. Erfolgen exzessive Abwinkelungen über einen längeren Zeitraum (ca. 20% oder mehr der für die jeweilige Aufgabe benötigten Zeit), können sie zu Störungen im Muskel-Skelett-System führen [Aar90; Aar97]. Auf die möglichen medizinischen Störungen wird im Abschnitt 2.2.4 eingegangen.

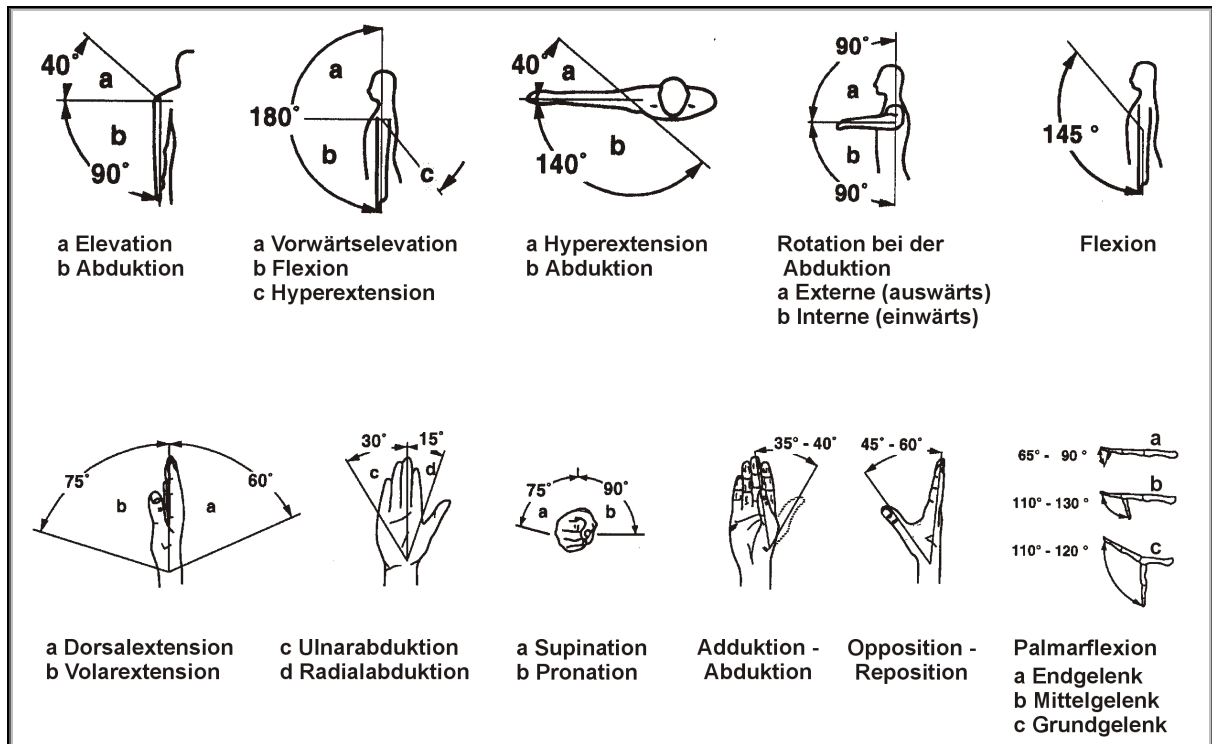


Abbildung 2-4 Maximal mögliche Gelenkausschläge<sup>8</sup> [Bul94]

Bei der Benutzung von koordinatengebenden Interaktionsgeräten sind vor allem die oberen Extremitäten beteiligt [ISO9241-9]. Es kann dabei abhängig von der Bedienungshaltung (sitzend/stehend), der Geräteposition (horizontal/vertikal) und der Gerätegestaltung eine Hebung (Elevation), Bewegung oder Drehung des Arms vom Körper weg (Abduktion) oder zum Körper hin (Adduktion) erfolgen (vgl. Anhang A.3.1). Die Gliedmaßen der Hand werden durch Streckung (Dorsalextension) in Richtung des Handrückens und durch Beugung (Volarextension) in Richtung der Handinnenfläche bewegt. Bei Streckungen und Beugungen sowie bei Drehbewegungen der Hand ist gleichzeitig auch der Unterarm beteiligt. Da am Unterarm die Ansätze der meisten Handmuskeln sitzen, wird das Hand-Unterarm-System als eine Einheit betrachtet [Mur71; Weh99]. Es wird zwischen einer Drehung zur Körpermitte (Pronation) und einer Drehung von der Körpermitte weg (Supination) unterschieden. Die Supination hat einen kleineren Winkelbereich, aber die beteiligten Muskeln (Supinatoren) sind stärker ausgebildet und können größere Drehmomente übertragen. Aus diesem Grund haben Schrauben meistens ein Rechtsgewinde [Rüh89; Sch73].

Die in Abbildung 2-4 genannten Positionsänderungen werden durch Abweichung von einer neutralen Körperhaltung erreicht. Voraussetzung für eine neutrale Körperhaltung ist, dass der Körper vollständig entspannt ist, d.h., dass keine willentliche Abwinkelung der

<sup>8</sup> Die in Abbildung 2-4 beschriebenen Positionsänderungen werden im Glossar (*Bezeichnungen, anatomisch*) erläutert. Die Ulnarabduktion (Biegen der Hand am Gelenk in Richtung des kleinen Fingers) und die Radialabduktion (Abwinkeln der Hand am Handgelenk in Richtung des Daumens) wird auch als ulnare oder radiale Deviation bezeichnet. Die Volarextension wird auch Flexion genannt [ISO9241-9].

Gelenke erfolgt. Eine neutrale Armposition lässt sich z.B. folgendermaßen beschreiben: Der Unterarm wird nicht rotiert, die Hand wird am Handgelenk nicht abgewinkelt, die Finger werden nicht gebeugt, gestreckt oder gespreizt. Der Ellenbogen wird nicht weggedreht und die Schulter wird nicht rotiert [ISO9241-9].

## Greifarten

Die Greifart gibt an, wie Hand und/oder Finger mit einem Werkzeug wie z.B. einem indirekten Koordinatengeber verbunden sind. Nach der Greifkraft kann zwischen Kraftgriff für schwere und größere Objekte und Präzisionsgriff für kleinere Gegenstände unterschieden werden. Hinsichtlich der Verbindung mit dem Objekt werden die drei Greifartgruppen *Kontaktgriff*, *Zufassunggriff* und *Umfassunggriff* unterschieden (vgl. Anhang A.3.3). Innerhalb der Greifartgruppen wird weiter nach den beteiligten Gliedmaßen (Finger, Handkamm) unterschieden. Welche Greifart eingesetzt wird, richtet sich nach Größe, Form und Gewicht des Objektes und nach der geplanten Manipulation [Bir96]. In Tabelle 2-2 sind die Greifartgruppen den Merkmalen der Arbeitsaufgabe hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile gegenübergestellt [Ban85; Ban86].

Tabelle 2-2 Merkmale der Arbeitsaufgabe zur Auswahl der Greifgruppenart

	Großer Arbeitswiderstand	Kleiner Zeitbedarf	Große Genauigkeit
Kontaktgriff	schlecht geeignet	sehr gut geeignet	gut geeignet
Zufassunggriff	gut geeignet	gut geeignet	sehr gut geeignet
Umfassunggriff	sehr gut geeignet	schlecht geeignet	gut geeignet

Der **Kontaktgriff** ist für einen schnellen Zugriff bei einer relativ großen Genauigkeit am besten geeignet. Der **Zufassunggriff** erlaubt durch die große Anpassungsfähigkeit der Finger und der Hand relativ willkürliche Zugriffsbedingungen an Stellteilen. Für genaue Handhabungen eignet er sich besonders, weil das dem Zugriff nachgeordnete System der oberen Extremitäten entsprechend den *anatomischen* Möglichkeiten besser angeglichen werden kann. Der **Umfassunggriff** hingegen hat seine Stärke im großen Arbeitswiderstand [Bul94].

Bei der Interaktion mit indirekten Koordinatengebern kommt zumeist eine Kombination aus Kontakt- und Zufassunggriff vor. Mit Hilfe des Kontaktgriffs wird der Koordinatengeber positioniert und dann mit dem Zufassunggriff fixiert, um das Schaltelement zu betätigen.

## Bedeutung der Ergonomie für die Gestaltung von Interaktionssystemen

Um eine optimale Leistungsfähigkeit des Benutzers zu gewährleisten, muss ein Eingabegerät so gestaltet sein, dass der Benutzer das benötigte Leistungspotential abrufen kann, d.h., er muss ohne körperliche Beeinträchtigung mit dem Interaktionsgerät arbeiten können. Für die Beweglichkeit und die Kraftentfaltung bedeutet dies beispielsweise, dass die Hand unterschiedliche **Griffpositionen** einnehmen können muss [Bul87; Rüh80; Rüh83]. Fälschlicherweise wird oft angenommen, dass ein durch die Hand geformter Tonklumpen die ideale Griffform ergibt. Aber abgesehen von verschiedenen Handgrößen wird die Hand hier in eine bestimmte Haltung gezwungen. Diese stetige Zwangshaltung beansprucht nur wenige Muskelpartien, es handelt sich dabei um **statische Haltearbeit**. Hat die Hand jedoch die Möglichkeit unterschiedliche Griffpositionen einzunehmen, so wird von **dynamischer Haltearbeit** gesprochen. Der Unterschied zwischen dynamischer und statischer Haltearbeit besteht in der Bewegung verschiedener Muskeln. Dieses Wechselspiel fördert die Durchblutung der Muskeln und verbessert so die Leistungsfähigkeit

[Kar99; Bos90]. Bei der **Formgestaltung** und der **Positionierung** des Interaktionsgerätes am Bediensystem müssen ebenso die Bewegungseinschränkungen, die durch Gelenke und Bänder definiert sind, beachtet werden. Die Bedeutung der rechtzeitigen Rücksichtnahme auf Kriterien der Ergonomie bei der Form- und Technologiegestaltung liegt vor allem in der Erhöhung der Sicherheit, Wirksamkeit und Effizienz von Arbeitssystemen sowie in der Vermeidung nachteiliger Auswirkungen auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Menschen [Bro89; Bur87; Bok91].

## 2.2.4 Einschränkungen menschlicher Fähigkeiten

Bei den Einschränkungen menschlicher Fähigkeiten spielen zum einen **natürliche Grenzen**, die der Mensch nicht ohne weiteres überwinden kann, aber auch durch Körperbewegung bzw. Benutzung von Geräten induzierte **Störungen** eine Rolle. Die natürlichen Grenzen feinmotorischer Leistungen werden hauptsächlich von der zur Verfügung stehenden Zeit bestimmt [Sch78; Mey90]. Je genauer eine Bewegung auszuführen ist, desto mehr Zeit wird benötigt bzw. eine Bewegung wird umso ungenauer, je weniger Zeit zur Verfügung steht. Die durch die Benutzung induzierten Störungen können sich in Ermüdung oder schlimmstenfalls in Krankheitssymptomen äußern. Nachfolgend werden die einzelnen Einschränkungen erläutert.

### Natürliche Grenzen der Bewegungsgeschwindigkeit und Genauigkeit

In zeitlicher Hinsicht existieren Grenzen vor allem bei extrem schnellen und extrem langsamen Bewegungen. Die obere **Bewegungsgeschwindigkeit** wird dabei einerseits von den Bewegungsmöglichkeiten der benutzten Körperteile und andererseits von der Möglichkeit der Generierung des Bewegungsprogramms aufgrund der eintreffenden motorischen und visuellen Informationen bestimmt (vgl. Abbildung 2-3). Die untere Bewegungsgeschwindigkeit ergibt sich aus dem *Auflösungsvermögen der Mechanorezeptoren*.

In räumlicher Hinsicht wird die **Bewegungsgenauigkeit** einerseits durch die Auflösung des menschlichen Auges Positionsunterschiede eines sich bewegenden Objektes überhaupt wahrzunehmen<sup>9</sup> und andererseits durch die endliche Abstufungsmöglichkeit der Muskelkräfte begrenzt. Die Dosierungsmöglichkeit der Kraft eines einzelnen Muskels ist im Bereich sehr kleiner Kräfte entsprechend der geringen Anzahl aktiver motorischer Einheiten schlecht [Sch78]. Eine Steigerung der Dosierungsgenauigkeit wird durch den Einsatz vorwiegend kleiner Körperteile mit entsprechend kleinen und daher feiner dosierbaren Muskeln oder durch die Vorspannung *antagonistisch* (entgegengesetzt) wirkender Muskeln erreicht. Unregelmäßigkeiten im Kraftverlauf eines Muskels und kleine äußere Kräfte, wie sie beim Positionieren eines Interaktionsgerätes auftreten, werden durch entgegengesetzt arbeitende Muskeln auf hohem Aktivitätsniveau kompensiert. Zunehmend kleine Bewegungen zeichnen sich wegen der damit einhergehenden "Energievernichtung" durch eine gesteigerte Muskelaktivität aus [Göb96]. Aufgrund des statischen Charakters der Muskelkraftherzeugung entsteht dadurch insbesondere bei sehr kleinen Bewegungen die Gefahr der Muskelermüdung.

### Beanspruchung und Ermüdung

Bei feinmotorischen Tätigkeiten ist normalerweise keine große Kraftentwicklung notwendig, dennoch werden oft kleine Muskeln hoch beansprucht. Dies liegt weniger an den für die Bewegung notwendigen Kräften, sondern an der **statischen Muskelvorspannung**

---

<sup>9</sup> Die Schwelle der Bewegungswahrnehmung liegt bei ca.  $1/6^\circ$  -  $1/3^\circ$  Sehwinkel/s [Gol97].

sowie vor allem an den notwendigen Haltekräften [Sch00; Sch74; Jür81]. Im Zusammenhang mit einem Interaktionsgerät (Computermaus oder Stellteil) muss dieses zumindest fixiert werden, wofür ausreichende Andruckkräfte benötigt werden. Weiterhin müssen die Körperteile gegen die Schwerkraft fixiert werden. Dabei übernehmen die größeren Muskeln im Schulter- und Armbereich zwar die Hauptlast, dennoch müssen auch die Finger mit ihren viel schwächeren Muskeln in Position gehalten werden. Dies alles führt dazu, dass Muskelermüdung auch bei feinmotorischen Tätigkeiten von großer Bedeutung ist.

Bei komplexen Aufgaben ist darüber hinaus eine **Ermüdung der zentralen Koordinationsmechanismen** mit einem "Zerfall" der motorischen Koordination festzustellen. Erklärungen über die den zentralen Ermüdungserscheinungen zu Grunde liegenden Funktionsbeeinträchtigungen existieren bislang nur in Ansätzen. Es ist davon auszugehen, dass die motorischen Nerven wie auch die *Motoneurone* im Rückenmark nur schwer ermüdbar sind. Hingegen zeigen sich bei komplexen Bewegungen im Laufe der Zeit umso stärkere Koordinationsstörungen, je größer der zu verarbeitende Informationsgehalt ist. Daraus wird gefolgert, dass vor allem die Zentren, in denen die integrative Verarbeitung der über die Sinnesorgane einströmenden *Afferenzen* abläuft, ermüden [Sch65]. Die Ermüdung eines oder mehrerer zentralnervöser Bereiche führt somit zur Störung des komplexen Funktionsgefüges der Muskelaktivierung. Infolge dessen müssen die dadurch verursachten Abweichungen im Bewegungsverlauf von anderen (aus der Funktionsstruktur folgend: höheren) Bereichen korrigiert werden, oder es muss eine Verlagerung der Funktionen auf andere – nicht ermüdete – Bereiche stattfinden. Damit werden einfachere Mechanismen durch kompliziertere und folglich noch leichter ermüdbare ersetzt. Der Bewegungsablauf bei Ermüdung hat daher eine gewisse Ähnlichkeit mit dem im ungeübten Zustand und ist zwangsläufig verlangsamt [Luc83]. Dieser Prozess wird durch die erschwerte Koordination noch verstärkt. Muskelermüdung trägt somit auch zur Ermüdung der Koordinationsmechanismen bei.

## Medizinische Störungen

Neben muskulären und zentralnervösen Ermüdungserscheinungen können feinmotorische Tätigkeiten auch medizinische Störungen hervorrufen. In der Forschung werden diese Symptome – die Schulter einschließend – zusammenfassend als arbeitsbezogene muskuloskeletäre Störungen von Nacken und oberen Extremitäten bezeichnet (WRULD, Work-related Neck and Upper Limb Musculoskeletal Disorders) [Buc99]. An Armen und Händen haben die Nutzer von Interaktionsgeräten dabei häufig unter Verletzungen durch wiederholte Beanspruchung (RSI, Repetitive Strain Injury) zu leiden (vgl. Abbildung 2-5).

Als Symptome von RSI<sup>10</sup> gelten sich langsam entwickelnde Schmerzen und andere Missempfindungen in den oberen Extremitäten (Sehnen, Gelenke, Muskeln, etc.). Sie sind mit übergroßer Wahrscheinlichkeit bei Personen zu beobachten, die langjährig repetitive berufliche Tätigkeiten bei hoher feinmotorischer Leistung (Schreiben, Benutzung eines Interaktionsgerätes, etc.) ausgeführt haben. Ein bekanntes Beispiel für „RSI“ ist der sogenannte „Tennisellbogen“. Die einseitige Belastung in Kombination mit ergonomischen und psychischen Faktoren kann zu Sehnenscheidenentzündungen, Kraftverlust sowie Bewegungs- und Ruheschmerzen führen.

---

<sup>10</sup> Andere Bezeichnungen sind CTD (Cumulative Trauma Disorder), MSD (Musculoskeletal Disorder), OOS (Occupational Overuse Syndrom), RMI (Repetitive Motion Injury) oder ULD (Upper Limb Disorder). RSI ist die gebräuchlichste Bezeichnung für schmerzhafte Erkrankungen in Hand und Arm, die sich aus der Wiederholung einer einseitigen Bewegung ergeben können [Mau94; Tif99].

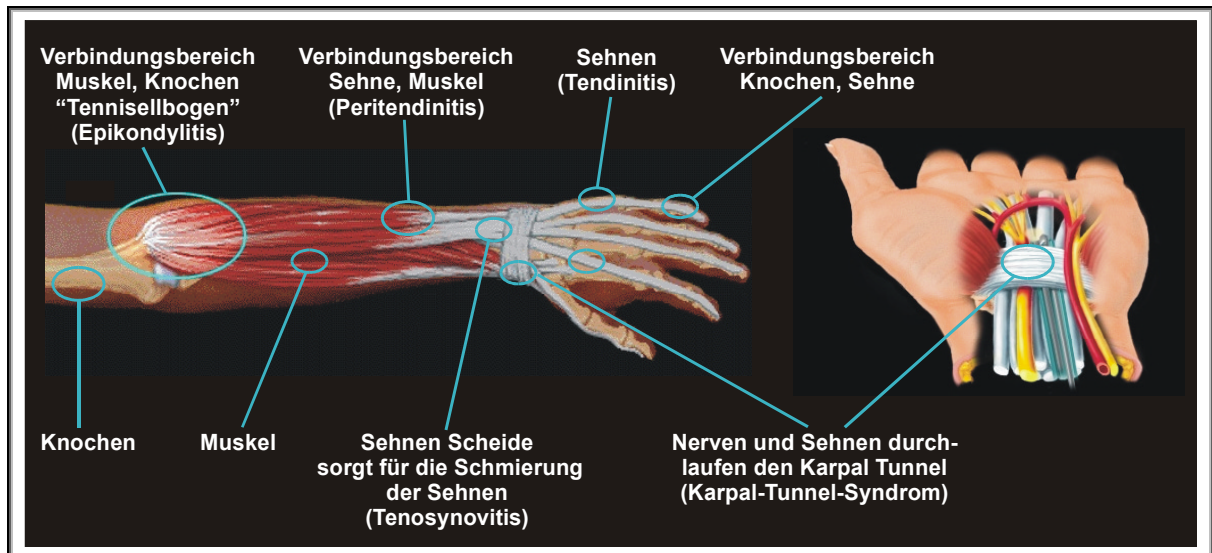


Abbildung 2-5 RSI-Syndrom

Nach dem heutigen Kenntnisstand sind neben einer spezifischen **mechanischen Belastung** (minimale Verletzungen im Muskelgewebe) **Interferenzeffekte** zwischen Motorik und Wahrnehmung als Hauptursachen von RSI anzusehen [Mau94] (vgl. Anhang A.3.4). Bei der Tätigkeit an Bildschirmgeräten kommen diese motorischen Beanspruchungen und kognitiven Belastungen in einer Weise zeitgleich zum Tragen, die die *Adaptions-* bzw. Reparaturmechanismen des muskuloskeletalen Systems überfordern [Sor94].

Die Bedeutung der medizinischen Störungen wird klar, wenn die Häufigkeiten sowie die anfallenden Kosten dieser Störungen betrachtet werden. Diese liegen bislang nur für den Bürobereich vor, da koordinatengebende Interaktionsgeräte vor allem hier auf breiter Basis eingesetzt werden. Von diesen Daten kann auf das industrielle Umfeld geschlossen werden, da hier ebenfalls zunehmend Koordinatengeber eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 2.3.6). Nach dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit ist mittlerweile nahezu jeder Arbeitsplatz (93%) im Büro mit einem Rechner ausgestattet. Wie viele Menschen in Deutschland an RSI erkrankt sind, wird statistisch zwar nicht erfasst, allerdings klagt laut einer Untersuchung der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin etwa jeder Vierte in Deutschland, der seinen Arbeitsplatz vor dem Bildschirm hat, über Beschwerden im Schulter-, Arm- und Handbereich [Die01]. Erhebungen in den USA, England und Australien sprechen sogar von über 35 Prozent [Sor94]. Allein in den USA sind 2 Millionen Menschen betroffen – und es wird angenommen, dass die Zahl mit dem Zuwachs an Computerarbeitsplätzen noch steigen wird. Verletzungen, die infolge einer Schädigung des Bewegungsapparates und des Nervengewebes entstehen, verursachen in den USA Kosten in Höhe von schätzungsweise \$ 300 Billionen jährlich, die in Form von Kosten in der Gesundheitsversorgung, Fehlzeiten am Arbeitsplatz und Produktivitätsverlust anfallen [Pal95]. Kosten in Höhe von ca. \$ 7 Milliarden sind auf Verletzungen im Zusammenhang mit der Verwendung von Computermäusen zurückzuführen [Aar97].

## 2.3 Interaktion mit grafischen Benutzungsoberflächen

### 2.3.1 Historische Entwicklung von koordinatengebenden Interaktionsgeräten

Nachdem die menschlichen Fähigkeiten und Einschränkungen im vorhergehenden Abschnitt erläutert wurden, wird in diesem Abschnitt die Interaktion mit Koordinatengebern bei grafischen Benutzungsoberflächen beschrieben. Die technischen Voraussetzungen zur Steuerung von Koordinaten auf Monitoren wurden Anfang der fünfziger Jahre durch die Bell Laboratories in militärischen Flugabwehrsystemen geschaffen [Fag78]. Auf zweidimensionalen Radarschirmen konnte mittels manueller Handräder eine elektronische Markierung, die die erste Form des *Cursors* bzw. des *Positioniersymbols* darstellt, zu einem potentiellen Ziel bewegt werden, um es anschließend auszuwählen und an das System zur Verfolgung zu übergeben. Der Lightpen hat noch frühere Ursprünge. Sein Vorläufer ist die sogenannte Lightgun, die ab 1945 am Massachusetts Institute of Technology (MIT) für die taktische Kontrolle und die Selektion von diskreten Symbolen auf dem Bildschirm entwickelt wurde (Projekt Whirlwind [Eve80]). Einen ebenfalls militärischen Hintergrund hat der Joystick, der bis heute u.a. der Fernsteuerung von Lenkwaffen dient.

Ab Ende der fünfziger Jahre erforschte das Augmented Human Intellect Center des Stanford Research Institute (SRI in Menlo Park, Kalifornien, USA) die Manipulation von Texten am Bildschirm und entwickelte dabei unter anderem den Eingabemodus mit Kontrollgeräten [Tho57; Eng67]. Die Technologie der Zielerfassung auf Radarschirmen und die dazu entwickelten militärischen Kontrollgeräte wurden aus einer integrierten Geräteumgebung abgekoppelt und auf bildschirmorientierte Computeranwendungen übertragen [Kit94]. Hierzu wurde die Fähigkeit benötigt, mittels eines Gerätes mit Informationen auf dem Bildschirm zu interagieren. Das Gerät sollte mit der Hand bewegt werden können und die Bewegung sollte am Bildschirm sichtbar sein (Cursor). In Gebrauch oder für den Gebrauch vorgesehen waren dafür unter anderem der Joystick und Lightpen. Mit Mitteln der NASA wurde am SRI 1966 eine Reihe von einfachen Testaufgaben entwickelt, um diese Aufgaben mit den verschiedenen Geräten zu untersuchen. Beispielsweise erzeugte der Computer ein Objekt an einer zufälligen Position auf dem Bildschirm. Es wurde die Zeit gemessen, die die Benutzer brauchten, um den Cursor zu dem Objekt zu bewegen. Die geringste Fehlerrate und die höchste Trefferquote bei den handgesteuerten Geräten<sup>11</sup> erzielte die am SRI zwei Jahre zuvor konzipierte Maus. Geräte wie der Light-Pen brauchten zu viel Zeit, wenn vom Benutzer wiederholt verlangt wurde, den Stift aufzunehmen und zum Bildschirm zu führen.

1968 stellte DOUGLAS C. ENGELBART ein intuitives Interface vor, das anstelle der vorher üblichen Befehlszeilen mit einer grafischen Oberfläche arbeitete und mit der in Abbildung 2-6 dargestellten Maus ausgestattet war.

Der erste Prototyp des „X-Y Position Indicator for a Display System“ (X-Y-Positions-Anzeiger für ein Bildschirmsystem) wurde von BILL ENGLISH konstruiert. Die Original-Maus hatte das Kabel zunächst an der Front, aber es wurde schnell zur Rückseite verlegt, um es aus dem Weg zu bekommen. Es war ein einfaches mechanisches Gerät mit zwei senkrecht montierten Scheiben am Boden. Man konnte die Maus neigen oder stoßen, um ge-

---

<sup>11</sup> In den Versuchen schlug ein kniekontrolliertes Gerät die Maus um einen kleinen Vorsprung. Es ermöglichte eine noch bessere Kontrolle für leichte Bewegungen zu allen Seiten. Dieses Gerät basierte auf Engelbarts Beobachtung, dass der menschliche Fuß ein sehr empfindlicher Kontrolleur des Gaspedals in Autos ist.



rade oder vertikale Linien zu ziehen. Oder man konnte die Maus anschieben und vom Tisch heben und dabei die Bewegung des Cursors beobachten, während die Scheiben sich drehten. JEFF RULIFSON verbesserte später in einem weiteren Schritt die Qualität der involvierten Software. Da die entwickelte Maus dennoch teure und knappe Rechenkapazität verbrauchte, wurde sie zunächst nicht eingesetzt und als unnützes Spielzeug betrachtet. 1970 wurde von DOUGLAS ENGELBART (SRI) dennoch ein Patent auf die Maus angemeldet [Eng70]. Damit gilt er offiziell als Erfinder dieses "unnützen Stücks Hardware".



Abbildung 2-6 Die Original-Maus von Douglas C. Engelbart (1968)

Es dauerte noch einige Jahre bis das 1968 vorgestellte Interface weiter erforscht und schließlich popularisiert wurde. In den 70er Jahren entwickelten Wissenschaftler am kalifornischen Forschungslabor Palo Alto Research Center (PARC) der Firma Xerox eine grafische Benutzeroberfläche (Graphic User Interface, GUI). 1977 wurde zum ersten Mal der in Abbildung 2-7 abgebildete Computer, der Xerox Star, mit einem GUI und einer zwei-Tasten-Maus ausgestattet.

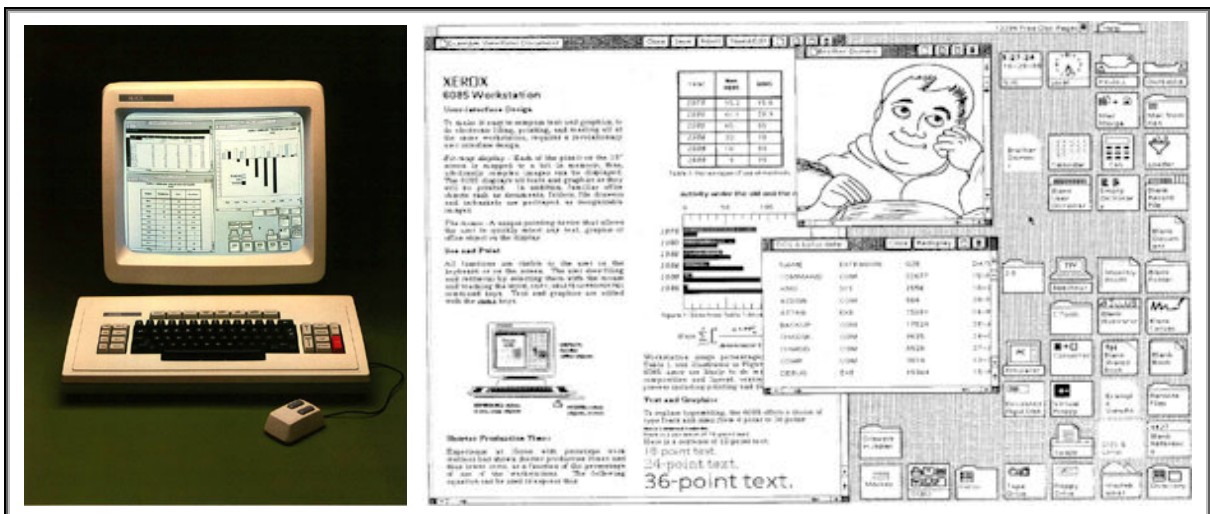


Abbildung 2-7 Xerox Star mit grafischem User-Interface (1977)

Der Xerox Star setzte sich auf dem Markt, aufgrund seiner zu geringen Leistungsfähigkeit, nicht durch. Der Durchbruch im grafischen Interface-Design erfolgte dann 1984 mit der Einführung des Apple Macintosh mit grafischer Benutzeroberfläche und der Computermouse als koordinatengebendem Interaktionsgerät, die für 40.000 Dollar von SRI lizenziert wurden. Mit Maus und Fenstertechnik war nun endgültig der Standard für Personal Computer gesetzt.

### 2.3.2 Merkmale von grafischen Benutzungsoberflächen

Ein kennzeichnendes Merkmal von grafischen Benutzungsoberflächen bzw. Fenstersystemen ist die direkte Manipulation. Diese erlaubt dem Benutzer fast ausschließlich über Zeigehandlungen zu operieren. Dadurch hat der Anwender das Gefühl mit realen Objekten zu agieren, die sich verschieben, verkleinern oder vergrößern lassen [Wan93; Wes98; Bal88]. Kennzeichen der direkten Manipulation sind:

- Die Benutzer sehen alle erreichbaren Objekte wie Daten und Programme unmittelbar in Form von Symbolen am Bildschirm.
- Die Eingaben erfolgen vorwiegend mit einem Zeigegerät oder Koordinatengeber (z.B. der Computermaus), mit dem auf das betreffende Objekt gedeutet wird.
- Jede Manipulation eines Objekts bewirkt eine unmittelbare Rückmeldung und Veränderung am Bildschirm.

Die Benutzungsoberfläche wird als Modell einer realen Welt angesehen und gestaltet [Zei94]. Dabei wird ein geeignetes Zeigegerät vorausgesetzt. Das jeweils relevante Objekt wird vom Anwender mit einer Taste angeklickt (Selektion) und Kommandos werden durch entsprechende Aktionen (mit dem zuvor ausgewählten Objekt) ausgeführt (*Aktivieren* der Funktion). Funktionen der direkten Manipulation sind z.B. das Verändern der Größe von Fenstern, das Verschieben von Objekten, das Verschieben von Fensterinhalten mittels Scrollbalken, das Markieren, Ausschneiden, Kleben, Kopieren, Löschen oder Einfügen von Objekten (Icons, Text), das Auswählen von Befehlen (Check-Boxen, Radio-Buttons), etc. Weitere Varianten zur *Taxonomie* von generischen Aktionen bei grafischen Benutzungsoberflächen finden sich in [Bae80; Bab97; Fol82; IEC7942-1; Ras01] und für 3D-Interaktionen in [Han97]. Die Vorgänge bei den einzelnen Interaktionen im Zusammenspiel zwischen Benutzungsoberfläche und Koordinatengeber werden bei den folgenden Grundlagen der Interaktionsoperationen erläutert.

### 2.3.3 Elementare Interaktionsoperationen

Die Bewegungsabläufe, um ein Ziel zu erreichen und eine Operation auszuführen, werden als *Interaktionsoperationen* bezeichnet. Im Modell der elementaren Interaktionsoperationen (EIM, Elementary Interaction Model) ist in Abbildung 2-8 die Interaktion mit Koordinatengebern der Interaktion mit Tasten gegenübergestellt [Züh99a].

Bei **Zeigehandlungen** kann das Ziel sowohl eine Befehlsschaltfläche, ein Icon, ein Menüelement oder ein anderes Objekt auf der Bildschirmoberfläche sein. Als Beispiel für einen Bewegungsablauf zur Zielfindung wird in Abbildung 2-8 eine einzelne *virtuelle Taste* der Benutzungsoberfläche betrachtet, die in Normalstellung unbetätigt ist, bei Betätigung etwas auslöst und beim Loslassen in ihre Ausgangsstellung zurückkehrt. Das **Positioniersymbol** ist die visuelle Anzeige des Fokus für koordinatengebende Eingaben mit Interaktionsgeräten. Die Ausführungsform kann z.B. ein Pfeil- oder Handsymbol sein. Teilweise wird das *Positioniersymbol* auch irrtümlich als *Cursor* bezeichnet. Der **Cursor** ist die visuelle Anzeige des Fokus für alphanumerische Eingaben [ISO9241-16; VDI3850-2]. Positioniersymbol und Cursor können sich an der gleichen Position befinden, wenn der Benutzer z.B. ein Eingabefeld auswählt. Bei einigen Benutzungsoberflächen wird dem Benutzer, sobald er das Positioniersymbol über ein selektierbares Element bewegt, zusätzlich eine **Positionsmarke** angezeigt, die ihm signalisiert, dass er dieses Element nun selektieren kann (teilweise wird die Positionsmarke auch als Selektionsmarke bezeichnet). Bei der Verwendung von Tasten als Interaktionsgerät werden Positionieroperationen

vom System als Präselektion (Fokussieren) bzw. vom Benutzer durch Schaltoperationen durchgeführt. Manipulationsoperationen wie z.B. das Verschieben eines Objektes erfolgen hier ebenfalls durch Schaltoperationen z.B. mittels sequentieller Betätigung der Pfeiltasten.

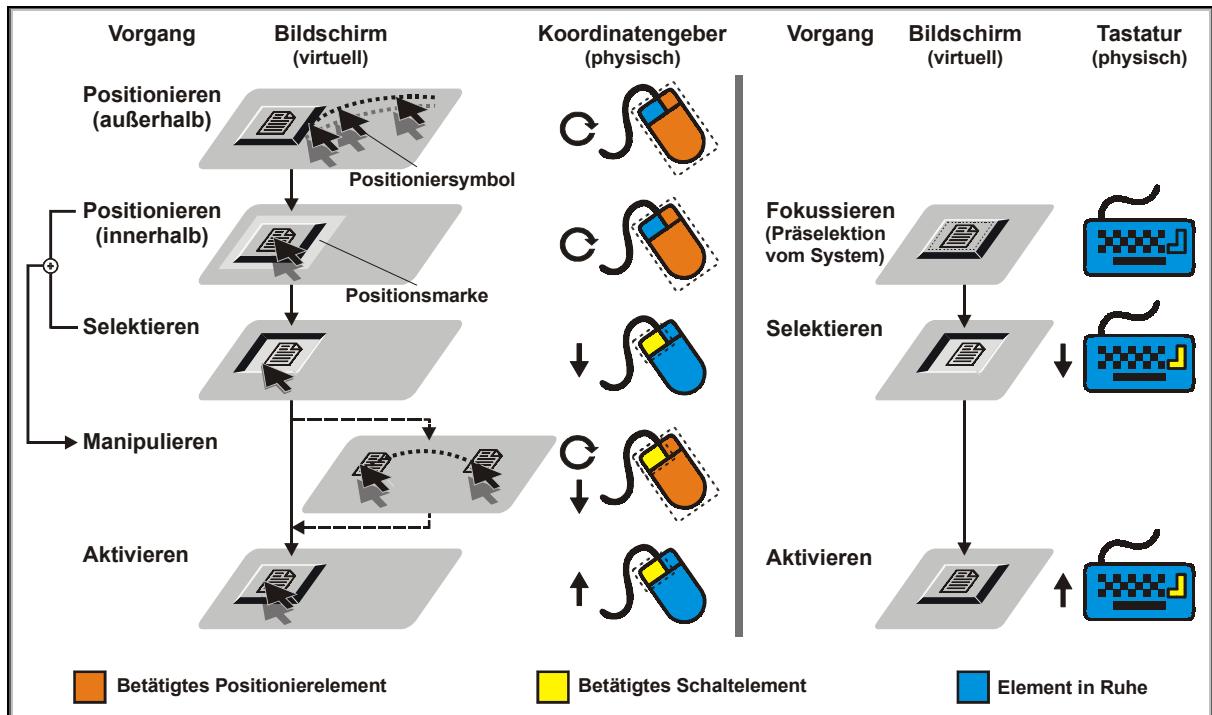


Abbildung 2-8 Modell der elementaren Interaktionsoperationen (EIM, Elementary Interaction Model)

Die Interaktion bei koordinatengebenden Interaktionsgeräten kann in drei Teiloperationen unterteilt werden [Züh99a]:

- **Positionieren** (Bewegen): Mittels einer Positionieroperation wird das Positioniersymbol auf dem Bildschirm zu einem Zielobjekt bewegt (Point-, Track- oder CLICK-Aufgaben).
- **Selektieren** (Auswählen): Mittels einer Schaltoperation wird ein Zielobjekt ausgewählt.
- **Aktivieren** (Auslösen): Das Schaltelement wird losgelassen und die Funktion des Zielobjektes ausgelöst<sup>12</sup>.

Mit diesen drei Grundfunktionen lassen sich für Interaktionsgeräte einfache Positionieraufgaben beschreiben. Komplexe Operationen lassen sich aus den Grundfunktionen zusammensetzen:

- **Manipulieren**<sup>13</sup> (Verschieben): Die Positionieroperation und die Schaltoperation werden gleichzeitig ausgeführt (Zieh-, Nachzieh-, DRAG&DROP-, bzw. D&D-Aufgaben oder DRAW-Aufgaben).

<sup>12</sup> Die Funktionsauslösung beim Verlassen des Schaltelements (Letztkontaktberührung) ermöglicht im Gegensatz zur Erstkontaktberührung die Korrektur einer fehlerhaften Positionierung.

<sup>13</sup> Bei Manipulationsaufgaben wird auch von DRAG&DROP-Aufgaben gesprochen. Dabei erfolgt im Gegensatz zu CLICK-Aufgaben Positionieren und Selektieren parallel. Bei CLICK-Aufgaben erfolgt Positionieren und Selektieren sequentiell.

## Positionieroperation

Die Positionieroperation der koordinatengebenden Interaktionsgeräte ermöglicht dem Menschen Interaktionshandlungen, die eine Positioniersymbol- oder Fokussteuerung (bei direkt wirkenden Interaktionsgeräten wie z.B. Touchscreen) bewirken. Das entsprechende physikalische Objekt des Interaktionsgerätes wird als **Positionierelement**, die Benutzerinteraktion wird als **Positionierhandlung** bezeichnet (z.B. kann das Ziel bei Positionierhandlungen sowohl eine Befehlsschaltfläche, ein Icon, ein Menüelement oder ein anderes Objekt auf der Bildschirmoberfläche sein).

## Schaltoperation

Über Schaltoperationen können Aktionen ausgelöst werden. Das entsprechende physikalische Element wird als **Schaltelement**, die Benutzerinteraktion als **Schalthandlung** bezeichnet. Schaltelemente können z.B. *kontextabhängige Tasten* (Softkey) oder *kontextunabhängige Tasten* (Funktionstaste) sein.

Hinsichtlich der Interaktionsoperationen ist es sehr wichtig, die Aufgabentypen CLICK und DRAG&DROP / DRAW zu unterscheiden. Hält der Benutzer zusätzlich zum Zeigeelement ein Schaltelement gedrückt, befindet sich seine Hand in einem Spannungszustand, was reduzierte Zeigegenauigkeit und Geschwindigkeit und erhöhte motorische Belastung für den Menschen bedeuten kann. DRAW-Aufgaben unterscheiden sich von DRAG&DROP-Aufgaben hinsichtlich des Weges der Bewegung. Bei DRAG&DROP-Aufgaben kann der Weg des Positioniersymbols frei gewählt werden, wichtig ist hierbei nur Start- und Zielpunkt. Bei DRAW-Aufgaben ist der Pfad des Positioniersymbols von Bedeutung, welcher auf dem Bildschirm meist grafisch parallel zur Bewegung des Positionierelements dargestellt wird [Ras00]. Anwendung finden DRAW-Aufgaben vor allem im Zeichen- oder CAD-Bereich. Eine Übersicht über die verschiedenen koordinatengebenden Interaktionsgeräte wird im folgenden Abschnitt gegeben.

### 2.3.4 Einteilung der Interaktionsgeräte

Eine Klassifizierung von Interaktionsgeräten wie sie in Abbildung 2-9 dargestellt ist, erfolgt durch eine Unterteilung in **koordinatengebende** und **nicht koordinatengebende** Interaktionsgeräte [VDI/VDE3850-2; Cus91] (vgl. Abschnitt 2.3.1).

Koordinatengebende Interaktionsgeräte lassen sich in ein-, zwei- und mehrdimensional wirkende Interaktionsgeräte unterteilen. Bei den nicht koordinatengebenden Interaktionsgeräten wird eine Unterteilung in Tasten, Spracherkennung und Gestenerkennung vorgenommen. Zweidimensional wirkende koordinatengebende Interaktionsgeräte zur direkten Manipulation lassen sich nach dem Verhältnis der **Lage von Aktionsort zu Wirkort** in indirekt wirkende Eingabemittel und direkt wirkende einteilen [Shn98; Shn02 ; Dix95; Dou97]. Bei den direkt wirkenden Interaktionsgeräten erfolgt die Operation unmittelbar auf der Bildschirmoberfläche. Andere Unterscheidungsmöglichkeiten ergeben sich nach der **Art der Bezugsgröße**: Interaktionsgeräte zum Auswählen von Objekten auf der Bildschirmoberfläche oder zum Bewegen von Objekten lassen sich nach relativen und absoluten Positionierprinzipien einteilen. Unter relativem Positionieren wird verstanden, dass der Zeiger abhängig von seiner aktuellen Position auf das Ziel bewegt wird. Beim absoluten Positionieren ist jedem Punkt der Positionierfläche des Geräts genau ein Punkt des Bildschirms zugeordnet. Für diese Arbeit sind insbesondere die zweidimensionalen, koordinatengebenden Interaktionsgeräte von Interesse. Einzelne Geräte, welche jeweils nach ähnlichen Grundprinzipien arbeiten, sind jeweils in den **Gerätegruppen** Mouse, Trackball,

Mousepad, Mousebutton, Mausestick, Joystick, Digitizing Tablet und Touchscreen zusammengefasst.

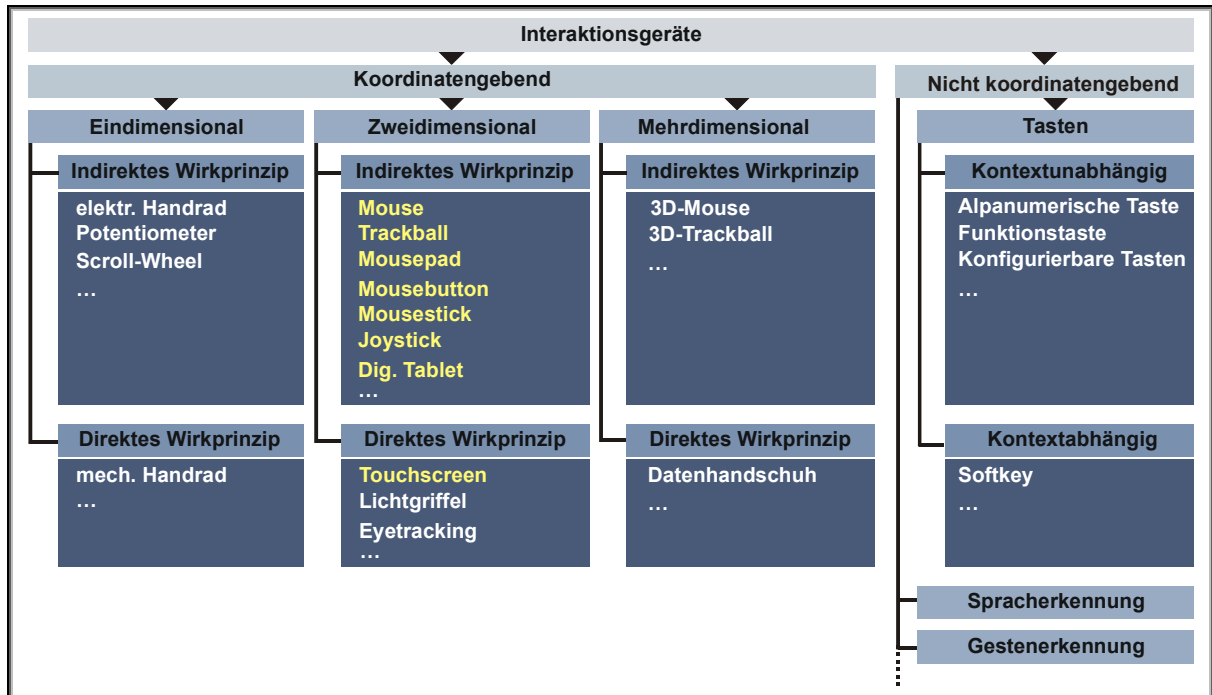


Abbildung 2-9 Gliederung der Interaktionsgeräte

Einer Gruppe zugeordnete Interaktionsgeräte funktionieren zwar nach ähnlichen Grundprinzipien, jedoch kann innerhalb einer Gruppe die Bauform variieren. Die Bauform umfasst sowohl die äußere Gestalt als auch die damit in Wechselwirkung stehenden technischen Wirkprinzipien (bzw. das „look and feel“). Die am weitesten verbreitete und bekannteste Bauform der **Gruppe Mouse**, die sich nahezu auf jedem Büroschreibtisch befindet, wird als **Computermaus** oder Standardmaus bezeichnet. Die spezifische Ausprägung der Bauform, welche mit einem Produktnamen verbunden ist, wird als Ausführung bezeichnet. Eine Ausführung der Computermaus, die nach dem optischen Wirkprinzip arbeitet, ist z.B. die INTELLIMOUSE® EXPLORER<sup>14</sup> von Microsoft. In Abbildung 2-10 ist die Begriffssystematik der Interaktionsgeräte am Beispiel der INTELLIMOUSE® EXPLORER dargestellt.

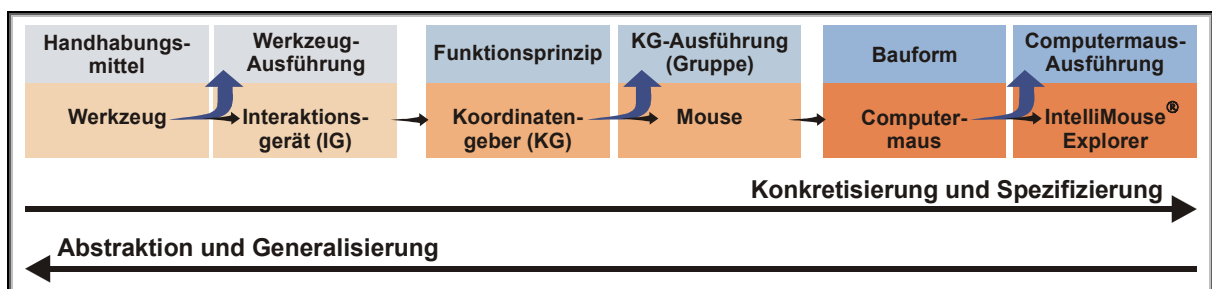


Abbildung 2-10 Begriffssystematik von Interaktionsgeräten

In der **Gruppe Trackball** unterscheidet sich die Bauform vor allem hinsichtlich der Größe der Rollkugel bzw. des Positionierelements. Bei den **Mousebuttons**, **Mausesticks** und

<sup>14</sup> Um einzelne Geräte von den Gerätegruppen zu unterscheiden, werden die spezifischen Einzelgeräte in KAPITÄLCHEN geschrieben.

**Joysticks** wird hinsichtlich der Bauform vor allem nach den technischen Wirkprinzipien (*isometrisch, isotonisch*) unterschieden.

Eine Übersicht über die ergonomischen und technischen Eigenschaften der zweidimensionalen koordinatengebenden Interaktionsgeräte der Gerätegruppen Mouse, Trackball, Mousepad, Mousebutton, Mousestick, Joystick, Digitizing Tablet und Touchscreen ist im Anhang A.4.1 - A.4.8 enthalten.

Aufgrund der technischen Weiterentwicklung ist es wahrscheinlich, dass die verschiedenen Ausprägungen der Interaktionsgeräte in Gestalt und Technik durch neue Varianten ergänzt werden. Diese neuartigen Interaktionsformen können in die bestehende Gliederung der Interaktionsgeräte eingeordnet werden.

### 2.3.5 Gebrauch von Interaktionsgeräten

Beim Gebrauch von Interaktionsgeräten können Finger, Hand und Arm verschiedene Körperhaltungen einnehmen. Die dabei am häufigsten auftretenden Positionsänderungen sind: Rotation des Unterarms, Deviation der Hand am Handgelenk, Extension, Flexion und laterale Separation der Finger, Abduktion des Ellenbogens oder Vorwärts-Rotation der Schulter. Diese können einzeln oder kombiniert auftreten. Die genannten Positionsänderungen werden durch Abweichung von der neutralen *Körperhaltung* erreicht. Die beim Gebrauch von Interaktionsgeräten eingenommenen Körperhaltungen hängen von der **Gestaltung des Gerätes**, der **Aufgabe**, dem für die Steuerung des Gerätes (Positionieren und Selektieren) eingesetzten **Körperteil** und von der **Position des Gerätes** im Verhältnis zum Benutzer ab [Mit91; Luc98; Sch89].

#### Einfluss der Gestaltung des Interaktionsgerätes auf den Gebrauch

Die Gestaltungsdimensionen des Gesamtsystems „Interaktionsgerät“, die jeweils beim Positionierelement und beim Schaltelement zum Tragen kommen, sind [Fäh83 ; Ban85]: Form (Kontaktflächen, Kopplungsart), Abmessung (Größe), Material (Gewicht), Oberfläche, Lage (Position) und Bewegungsmöglichkeiten (Freiheitsgrade).

Mittels der **Formgestaltung** wird die Figur des Interaktionsgerätes festgelegt. Form, Abmessungen, Material und Oberfläche bestimmen die Kontaktfläche zwischen Fingern bzw. Hand und Greiffläche. Die Kontaktflächen beeinflussen primär welche Mechanorezeptoren der Haut gereizt werden. Die Form und die Abmessungen bewirken ebenfalls eine Reizung der Propriozeptoren. Die **Lage** von Positionierelement und Schaltelement (absolut am Gerät und relativ zueinander) bedingt den gleichzeitigen Gebrauch beider Elemente mit einer Hand, wie es z.B. bei Manipulationsaufgaben erforderlich ist. Diese Gestaltungsdimensionen bestimmen im Wesentlichen die Körperhaltung, d.h., sie sind primär für die Reizung der Propriozeptoren verantwortlich.

Die Gestaltung von Interaktionsgeräten kann zu unangemessenen Körperhaltungen führen, sobald der Benutzer das Gerät ergreift, bzw. mit ihm interagiert. In Abbildung 2-11 ist dies am Beispiel der Computermaus dargestellt (vgl. Abbildung 2-4, *Raumrichtungen, Bewegungsrichtungen*). Bei vielen Geräten, z.B. bei Trackball, Mousebutton, Mousestick oder Mousepad erfolgt eine Pronation der Hand (vgl. *Bewegungsrichtungen*). Zusätzlich kann bei gleichzeitiger Betätigung von Positionier- und Schaltelement eine Dorsalextension der Finger erfolgen (Bild A in Abbildung 2-11). Der Benutzer hat die Handinnenfläche oder den Handballen auf dem Positionierelement bzw. auf einer Unterlage liegen und mit dem Zeigefinger wird das Schaltelement betätigt.



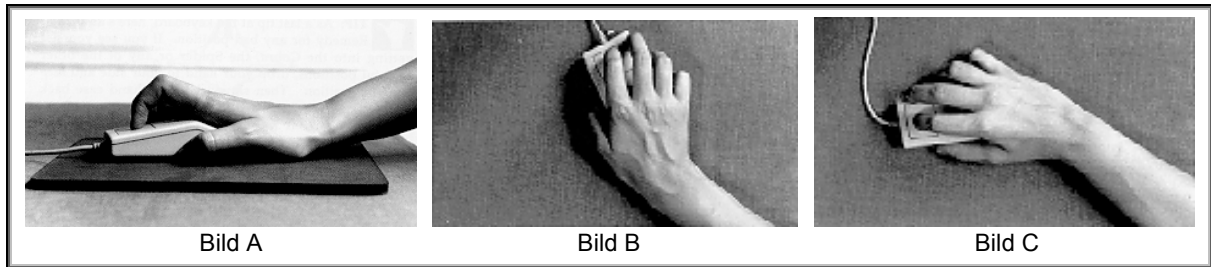


Abbildung 2-11 Pronation und Dorsalextension der Hand (Bild A); Pronation und ulnare (Bild B) bzw. radiale (Bild C) Deviation

### Einfluss der Aufgabe auf den Gebrauch

Verschiedene Aufgaben bedingen verschiedene Körperhaltungen. So bewirken beispielsweise komplexe DRAG&DROP-Operationen auch komplexe Greif- und Bewegungsmechanismen wie z.B. die zuvor beschriebene Dorsalextension bei gleichzeitiger Betätigung von Positionierelement und Schaltelement. Weiterhin kann es bei seitlichen Bewegungen, wenn beispielsweise ein Objekt von dem linken Rand der Benutzungsoberfläche zum rechten Rand verschoben werden muss, zu extremen ulnaren oder radialen Abduktionen kommen, d.h., die Hand wird am Handgelenk in Richtung des kleinen Fingers oder in Richtung des Daumens abgewinkelt (vgl. *Raumrichtungen*). In Abbildung 2-11 ist dies am Beispiel der Computermaus (Bild B, Bild C) dargestellt.

### Einfluss des eingesetzten Körperteils auf den Gebrauch

Welcher Körperteil (bzw. *Körperabschnitt*) für die Interaktion eingesetzt wird, hängt vom Funktionsprinzip, von der Bauform, von der Geräteposition und individuell vom Benutzer ab. Abhängig von diesen Faktoren sind in Abbildung 2-12 die typischerweise an der Interaktion beteiligten Extremitäten von verschiedenen Interaktionsgeräten dargestellt (die Mehrfachnennungen ergeben sich aus den genannten Faktoren).

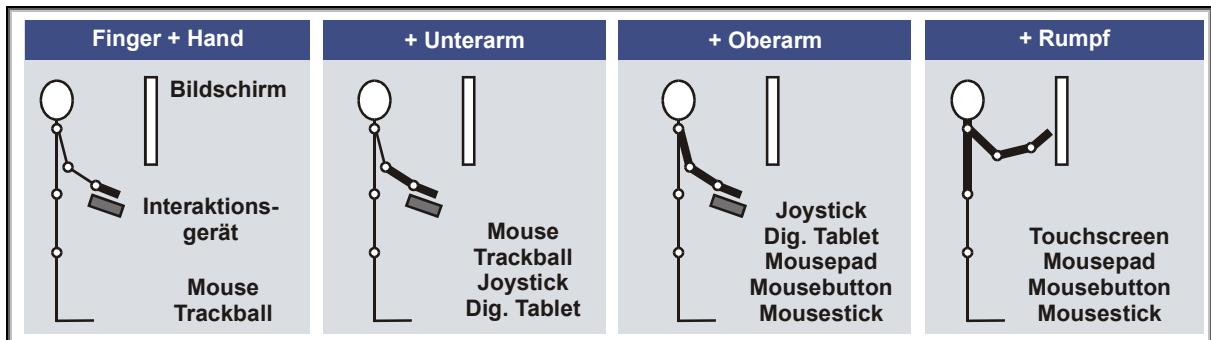


Abbildung 2-12 An der Interaktion beteiligte Extremitäten für verschiedene Interaktionsgeräte

Die Benutzung von Interaktionsgeräten einer Interaktionsgerätegruppe kann meist mit verschiedenen Körperteilen erfolgen. Das Positionierelement der Interaktionsgerätegruppe Mouse kann nur mit der Hand oder aber mit dem gesamten Unterarm bewegt werden. Nutzer, die eine Gerätebauform, wie z.B. die Computermaus, eher mit ihrer Hand als mit dem Unterarm bedienen, neigen mehr zu extremen ulnaren oder radialen Abduktionen. Bei den Geräten der Gruppe Mousebutton erfolgt die unmittelbare Bewegung des Positionierelements meist mit Zeigefinger, Daumen oder einem anderen Finger. Die Betätigungskraft für diese feinmotorische Tätigkeit wird insbesondere bei den nach dem *isometrischen* Funktionsprinzip arbeitenden Geräten über die gesamte obere Extremität ein-

geleitet (vgl. Abschnitt 2.2.4, [Göb96]). Befindet sich die Position des Interaktionsgerätes in Schulterhöhe, so muss der Nutzer zusätzliche Haltekräfte für das Gewicht des Oberarms aufbringen. Die dazu notwendige Muskulatur der *Stützmotorik* hat ihren Ursprung am Schultergürtel bzw. Rumpf [Pla99].

### Einfluss der Position des Gerätes auf den Gebrauch

Zunächst muss bei der Beurteilung der Position des Interaktionsgerätes zwischen verschiedenen Stellungen unterschieden werden, die der Mensch einnehmen kann. Die Benutzung von elektronisch gesteuerten Maschinen lässt sich in drei in Abbildung 2-13 abgebildeten Anordnungen einteilen: **stehende Tafelbenutzung**, **stehende Pultbenutzung** und **sitzende Tischbenutzung**. Im Produktionsbereich dominiert die stehende Tafelbenutzung, eine stehende Pultbenutzung wird nur von einigen Maschinenherstellern eingesetzt, die sitzende Tischbenutzung findet vor allem im Anlagenbereich in Leitwarten Anwendung.

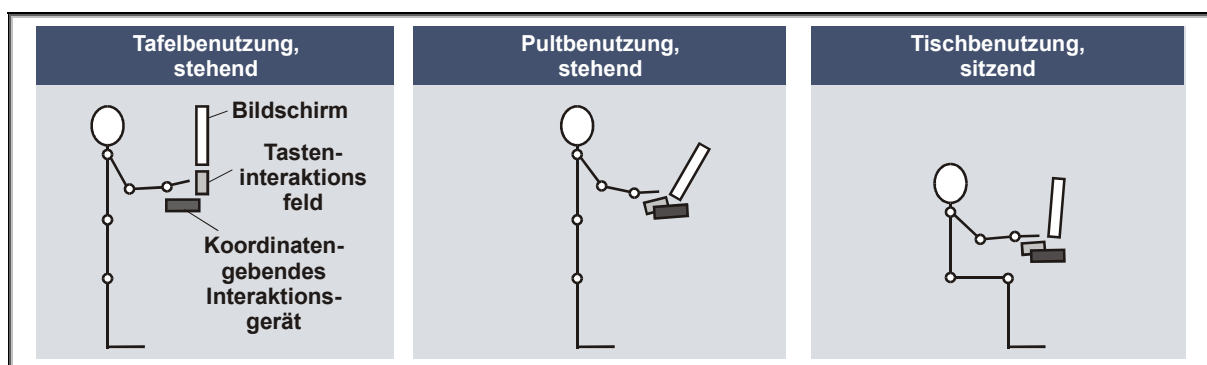


Abbildung 2-13 Anordnungsmöglichkeiten zur Integration von Interaktionsgeräten

Für verschiedene Anordnungsmöglichkeiten sind beispielhaft die ergonomisch günstigen und ungünstigen Positionen für indirekt und direkt wirkende Interaktionsgeräte in der Abbildung 2-14 nach [VDI/VDE3850-2] dargestellt.

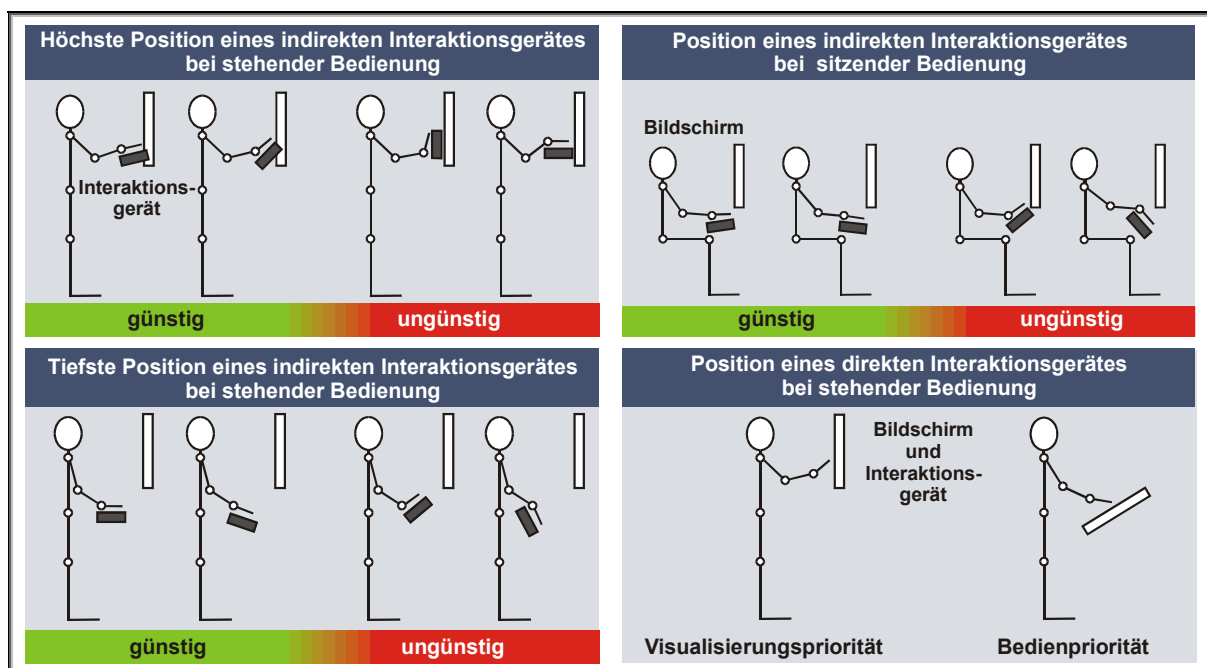


Abbildung 2-14 Positionen von indirekten und direkten Interaktionsgeräten



Bei der Beurteilung der Geräteposition sind neben der Gerätegestaltung Abstützmöglichkeiten für das Hand-Arm-System, Höhe und Neigung des Gerätes sowie die Distanz zum Benutzer wichtige Dimensionen für die *Gebrauchstauglichkeit* des speziellen Gerätes. Maße zur Anordnung der Geräteposition können nur bedingt angegeben werden, da lediglich auf Grundlage detaillierter Angaben über die tätigkeitsspezifische Nutzung des Interaktionsgerätes Entscheidungen darüber möglich sind, welche Gewichtungen den verschiedenen Gesichtspunkten der Arbeitsplatzgestaltung beizumessen sind. Weiterhin können einzelne Faktoren sich gegenseitig beeinflussen. So kann z.B. ein um 45° zum Benutzer geneigtes Interaktionsgerät bei geringer Höhe schlechter bedient werden, als im gleichen Neigungswinkel bei höherer Position.

Explizite Maße zur Anordnung von koordinatengebenden Interaktionsgeräten an industriellen Bediensystemen bei stehender Tisch- oder Pultbenutzung existieren bislang nicht. Hier kann sich jedoch an **allgemeinen Richtlinien zur Arbeitsplatzgestaltung** orientiert werden, z.B.: [Bro80; Bro82; Lan00; ISO9241; DIN33400; DIN33401; DIN33402; DIN33411; DIN33413; DIN33414; DIN66234; VDI3850]. Generell sollten die am häufigsten benutzten Arbeitsmittel im zentralen Bereich des Seh- und Greifraumes platziert sein. Für den Gebrauch von Interaktionsgeräten sollte die Abweichung von der neutralen *Körperhaltung* (vgl. Abschnitt 2.2.3) möglichst gering sein, d.h., extreme Gelenkstellungen sollten insbesondere bei dauerhaftem Gebrauch vermieden werden.

### 2.3.6 Industrielle Interaktionssysteme

Koordinatengebende Eingabegeräte gewinnen in modernen Mensch-Maschine-Systemen als wesentliche Bestandteile der Interaktionsschnittstelle zwischen Mensch und Maschine eine immer größere Bedeutung. Beispiele für den Einsatz von Interaktionsgeräten in der Industrie und in der Verkehrstechnik sind in der Abbildung 2-15 dargestellt.

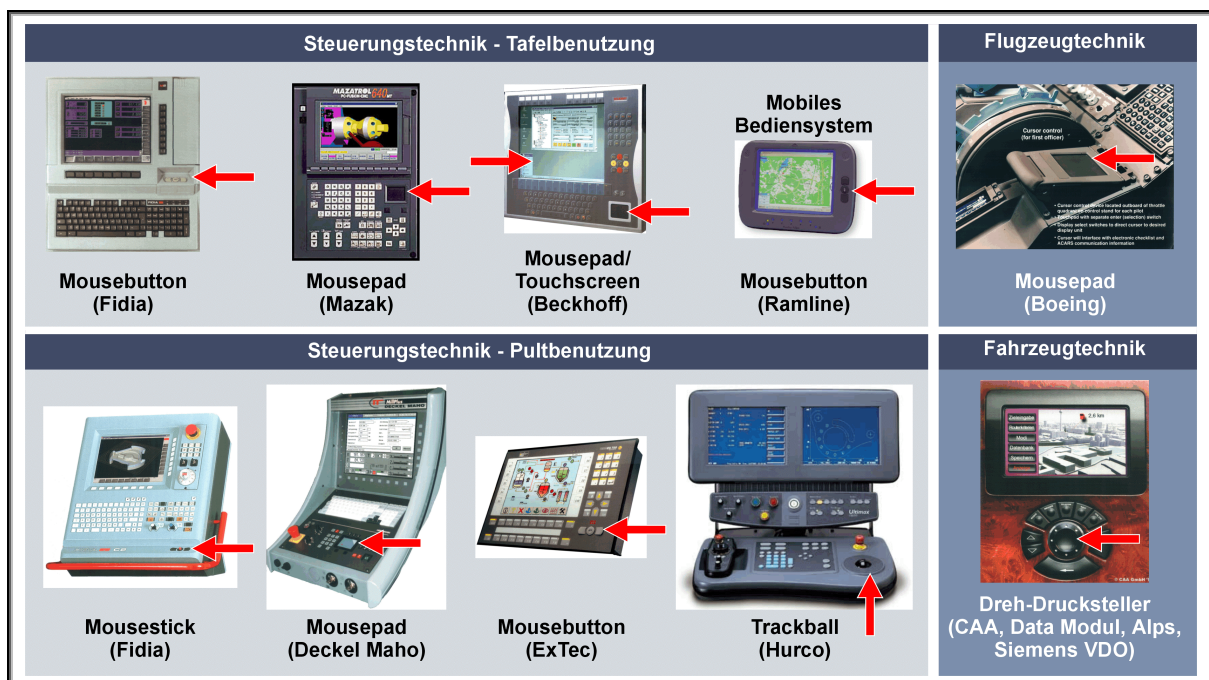


Abbildung 2-15 Beispiele für den Einsatz von Interaktionsgeräten in der Industrie und in der Verkehrstechnik

1998 wurde im Auftrag des Fachausschusses 5.33 der VDI/VDE-Gesellschaft für Automatisierungstechnik (GMA) eine Umfrage zur Ermittlung der Entwicklungstrends bei Bedien-

systemen in der Produktionstechnik bei Maschinen- und Steuerungsherstellern sowie Endanwendern durchgeführt. Nach den in Abbildung 2-16 dargestellten Ergebnissen kann davon ausgegangen werden, dass bei Neuentwicklungen im Maschinen- und Anlagenbereich verstärkt Steuerungssysteme auf PC-Basis eingesetzt werden (95 Teilnehmer entsprechen 100%) [Züh98].

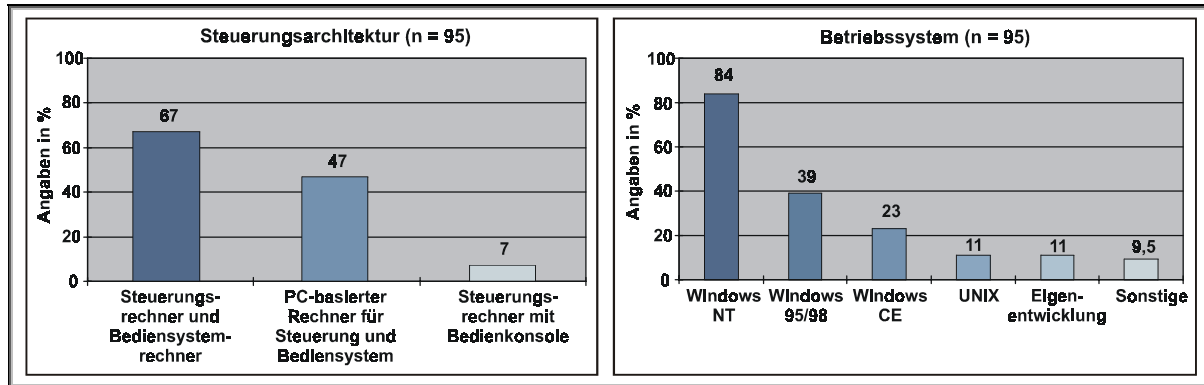


Abbildung 2-16 Umfrageergebnisse (1998) zum Steuerungs- und Betriebssystem

Bei einfachen Systemen werden Bediensystem und Steuerung auf einem Rechner realisiert (47%), während bei komplexen Systemen Bediensystem und Steuerung auf getrennten Rechnern ausgeführt sind (67%). Der Einsatz von standardisierter PC-Hardware bedeutet auch den Einsatz von PC-basierten Betriebssystemen. Der Trend bei Betriebssystemen geht eindeutig in Richtung zu Windows-Produkten der Firma Microsoft. Diese werden von den Maschinen- und Steuerungsherstellern sehr viel häufiger genannt als alle anderen Betriebssysteme. Das lässt sich dadurch erklären, dass aufgrund der Marktstellung von Microsoft bei Betriebssystemen für PCs und der zunehmenden Dominanz der PC-Technik bei Bediensystemen davon ausgegangen wird, dass sich Microsoft-Produkte auch im Bereich der Steuerungsbediensysteme als Standard etablieren werden [Züh98]. Durch die Nutzung des Windows-Standards (bzw. generell fensterorientierter Betriebssysteme) als Bediensystem lassen sich kostenintensive Eigenentwicklungen von Hard- und Software weitgehend durch preisgünstige Standardprodukte ersetzen.

Bei der Portierung des Windows-Standards aus dem Bürobereich in den Industriebereich ergeben sich jedoch softwarespezifische Probleme hinsichtlich der **Gestaltung der Benutzungsoberfläche** und hardwarespezifische Herausforderungen hinsichtlich der **Verwendung von Koordinatengebern**. Zunächst werden die Probleme der grafischen Gestaltung und mögliche Lösungsansätze erläutert [Wah00; VDI/VDE3850-1]. Nachfolgend wird speziell auf die industrielle Problematik bei der Verwendung von Koordinatengebern eingegangen.

### Gestaltung der Benutzungsoberfläche

Unterschiede zwischen Büro- und Produktionsbereich bezüglich der Gestaltung der *Benutzungsoberfläche* existieren hinsichtlich der Dimensionen **Tätigkeiten** sowie **logischer** und **grafischer Dialoggestaltung**. Im Bürobereich sind die Tätigkeiten eher generalisiert, wohingegen sie im Produktionsbereich spezialisiert sind. Im Bürobereich ist die Dialoggestaltung meist nutzergesteuert, im Produktionsbereich kann der Dialog nutzergesteuert oder systemgesteuert erfolgen. Bildschirmbereiche sind im Bürobereich nicht festgelegt, im Produktionsbereich ist der Bildschirm in einzelne Layoutbereiche eingeteilt [Hof96; Ros98a; Ros99]. Die Unterschiede in den Gestaltungsdimensionen sind in Abbildung 2-17 dargestellt und werden nachfolgend erläutert.


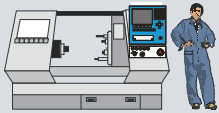
	Büro-Bereich	Industrie-Bereich
Gestaltungs-Dimensionen		
Tätigkeiten	Generalisiert Uneinheitlich in Inhalt und Reihenfolge Multi Document Interface	Spezialisiert Einheitlich in Inhalt und Reihenfolge Single Document Interface
Logische Dialoggestaltung	Nutzergesteuerter Dialog Kaum modale Dialoge Große Menütiefe	System- und nutzergesteuerter Dialog Teilweise modale Dialoge Geringe Menütiefe
Grafische Dialoggestaltung	Undefinierte Layoutbereiche Verdeckung von Informationen (Fenstertechnik)	Definierte Layoutbereiche Keine Überdeckung von Informationen (Bildmasken-, Kacheltechnik)

Abbildung 2-17 Gestaltung der Benutzungsoberfläche

**Tätigkeiten:** Im Bürobereich sind die durchzuführenden Aufgaben sehr vielfältig und unterliegen keiner einheitlichen Bearbeitungsreihenfolge. Das Spektrum reicht von Organisationstätigkeiten (z.B. Zeit- und Projektplanung, Aufgabenmanagement, etc.) über Kommunikationstätigkeiten (z.B. Konferenzen, Besprechungen, Mitteilungen, etc.) und Entwicklungstätigkeiten (Berechnung, Simulation, Programmieren, etc.) bis zu den verschiedensten Bearbeitungstätigkeiten (z.B. Texte, Tabellen, Grafiken, Videos, etc.) [Wei97]. Die Bediensysteme des Bürobereichs und deren Applikationen sind für diese Tätigkeitsgeneralisierung optimiert und es kann parallel ein breites Aufgabenspektrum bearbeitet werden. Dabei können Schwerpunkte bei Entwicklungs- und Kommunikationstätigkeiten oder bei Organisations- und Bearbeitungstätigkeiten liegen. Aufgrund der Generalisierung werden im Bürobereich ebenfalls fast ausschließlich MDI-fähige Applikationen (Multiple Document Interface) eingesetzt. Diese haben die Möglichkeit, mehrere Dokumente derselben Art oder ein Dokument in mehreren Fenstern darzustellen [Arl97; Boc89].

Im produktionstechnischen Bereich sind nach umfassenden Untersuchungen die Aufgaben und der Ablauf der Auftragsbearbeitung technologieübergreifend vergleichbar [Wah00; Ros98b; Vol95; Hoh94]. In allen Fällen wird ein ähnlicher Zyklus der erforderlichen Tätigkeitsfelder durchlaufen. In [Hüm97] werden folgende Tätigkeitsbereiche für Werkzeugmaschinen unterschieden: Planen, Programmieren, Vorbereiten und Bearbeiten in der störungsfreien Produktion, Diagnose zur Störungsbehebung, Wartung für Instandhaltungstätigkeiten, Dokumentation und Kommunikation als zusätzliche Informationsaustauschmöglichkeiten. Diese sogenannten Bedienbereiche spiegeln auf höchster Abstraktionsebene die Organisation der Arbeit der Maschinenbediener wieder. Diese Spezialisierung auf bestimmte Tätigkeiten findet sich mit wenigen Modifikationen, wie z.B. Verwendung von anderen Bezeichnern für die Tätigkeitsbereiche, Zusammenfassung mehrerer Tätigkeitsbereiche oder Entfall eines Tätigkeitsbereiches, bei fast allen Produktionstechnologien wieder. Die Kerntätigkeitsbereiche sind dabei meist Planen, Vorbereiten, Bearbeiten und Diagnose. Im Industriebereich werden zumeist SDI-Applikationen (Single Document Interface) eingesetzt. Bearbeiten und Diagnose beziehen sich auf ein Produkt, gegebenenfalls kann ein weiteres Produkt vorbereitet oder mehrere Produkte geplant werden.

**Logische Dialoggestaltung:** Im benutzergesteuerten Dialog bestimmt der Mensch zu jedem Zeitpunkt in welcher Form der Dialog abzulaufen hat, was die nächsten Dialog-

schritte beinhalten und was vom System zu leisten ist. Im systemgesteuerten Dialog sind die einzelnen Dialogschritte weitgehend vom System vorgegeben [Zei94]. Der Benutzer hat hier die Aufgabe auf vom System vorgegebene Ausgaben zu reagieren. Fensterorientierte Systeme wurden im Wesentlichen für Büroumgebungen konzipiert, in denen die Initiative vom Nutzer ausgeht, d.h., hier dominiert die nutzergesteuerte Dialoggestaltung [Bal96; Bal98; Bal99].

Im industriellen Umfeld können Aktivitäten sowohl vom Nutzer als auch vom Prozess bzw. der Maschine ausgehen. Im Idealfall ist hier die nutzer- und systemgesteuerte Dialoggestaltung kontextabhängig kombiniert. Hat der Nutzer z.B. Planungstätigkeiten auszuführen, so sollte er eine gewisse Kontrolle über den Dialogablauf hinsichtlich Startbarkeit und Beeinflussung von Richtung und Geschwindigkeit haben [Har97]. Bei sicherheitskritischen Störungsmeldungen sollte er hingegen dem vom System vorgegebenen Dialogablauf folgen. Nach [VDI/VDE3850-1] gilt ein Bediensystem als vom Nutzer steuerbar, wenn der Benutzer in der Lage ist, den Dialogablauf zu starten sowie seine Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen, bis das Ziel erreicht ist. Der Gestaltungsgrundsatz der Steuerbarkeit durch den Nutzer ist [ISO9241-10] entnommen. Diese Norm orientiert sich allerdings an den Anforderungen des Bürobereichs. Einige der Gestaltungsgrundsätze sind daher häufig in Bediensystemen für Maschinen nicht realisierbar, da ihnen prozesstechnische Randbedingungen (z.B. Echtzeitfähigkeit, Sicherheit etc.) entgegenstehen. In diesem Zusammenhang wird auch von *modalen Dialogen* gesprochen. Modale Dialoge fordern eine bestimmte Handlungssequenz bzw. die Eingabe bestimmter Informationen, die für den weiteren Programmablauf unverzichtbar sind. Ein typischer modaler Dialog im industriellen Bereich ist das Quittieren von Alarmmeldungen nach dem Beseitigen der Ursache.

Die Menütiefe wird vom Tätigkeitsumfang beeinflusst. Der größere Tätigkeitsumfang im Bürobereich bedingt eine Funktionsanordnung in mehreren stark hierarchisch angeordneten Menüebenen. Im industriellen Bereich ist die Menütiefe aufgrund der Tätigkeitsspezialisierung meist flacher. Ebenso können sich Benutzer in flachen Menüstrukturen besser und schneller orientieren. Da sicherheitskritische und häufig benötigte Funktionen oft als Interaktionselemente in Hardware „auf oberster Menüebene“ ausgebildet sind, ist die Menüstruktur breiter.

**Grafische Dialoggestaltung:** Im Bürobereich sind Bildschirmbereiche hinsichtlich Position und Inhalt nicht festgelegt. Fenster können in Anzahl und Position vom Anwender beliebig auf dem Bildschirm platziert werden. Die Fenstertechnik zählt unter bestimmten Voraussetzungen zu den freien Dialogformen, d.h., der Benutzer ist nicht gezwungen, einen bestimmten Dialog zu Ende zu bringen, bevor er einen anderen aufnehmen kann. Realisiert wird dies durch die Technik sich überlappender Fenster. Diese suggerieren reale sich überlappende Objekte im dreidimensionalen Raum, wie etwa Papierblätter auf einem Schreibtisch. Im allgemeinen sind die Fenster voneinander unabhängig, d.h., sie können für sich einzeln positioniert und in der Größe verändert werden. Sie lassen sich nach hinten legen (Push-Operationen) oder in den Vordergrund holen (Pop-Operationen), wobei sich die Fenster auch gegenseitig überdecken können [Mic95; Hor99; Fol84; Fäh87; Fäh96].

Im Produktionsbereich ist der Bildschirm in festgelegte Layoutbereiche unterteilt, die in allen Ansichten eine gleichbleibende Position und Größe besitzen und nicht durch andere Bildschirmobjekte verdeckt werden [Wah00]. Ist dies nicht gewährleistet, kann es in kritischen Situationen - insbesondere unter äußeren Stressfaktoren - zur Orientierungslosigkeit des Bedieners führen, d.h., er kann nicht oder nur unzureichend auf die ihm dar-

gebotene Information reagieren. Das Resultat sind Fehlbedienungen mit möglicherweise fatalen Folgen für Mensch und Umwelt. Informationen für den Nutzer werden daher im Produktionsbereich durch festgelegte Informationsklassen mittels Positions- bzw. Ortscodierung klassifiziert (die zusätzliche farbliche Markierung dient dabei im Wesentlichen der Aufmerksamkeitssteuerung). Allgemeine Layoutbereiche sind: Statusbereich (meist am oberen Bildschirmrand, in welchem aktuelle Maschinen- und Prozessdaten angezeigt werden), Steuerungsbereich (meist am unteren oder seitlichen Bildschirmrand, in welchem globale Navigationsfunktionen oder Bedienfunktionen dargestellt sind) und Arbeitsbereich (meist im zentralen Bildschirmbereich, in dem für den jeweiligen Kontext wichtige Anzeigen und Funktionen appliziert sind). Zusätzlich müssen bestimmte Informationen immer für den Nutzer sichtbar sein. Nach [VDI/VDE3850-1] müssen z.B. Störungsinformationen wie Alarm- und Warnmeldungen und Statusinformationen immer an der gleichen Stelle visualisiert und dürfen nicht überdeckt werden. Aus diesem Grund können ebenfalls Funktionalitäten, wie sie von den fensterorientierten Bediensystemen aus dem Bürobereich bekannt sind, z.B. Größenänderung, Verschieben etc., nicht im Produktionsbereich eingesetzt werden. Weiterführende Hinweise zur Gestaltung von nutzergerechten Benutzungsoberflächen für den industriellen Bereich finden sich in [Wah00].

### Verwendung von Koordinatengebern

Unterschiede zwischen Büro- und Produktionsbereich existieren neben der grafischen Gestaltung hinsichtlich der Verwendung von Koordinatengebern. Die Verwendung eines Koordinatengebers steht in enger Wechselwirkung mit der Dialoggestaltung. Im Bürobereich erfolgt die Navigation zwischen verschiedenen Fenstern und innerhalb der Fenster (Scrollen, Clipping) meist mit der Computermaus als Koordinatengeber.

Im Produktionsbereich ist die Nutzung des Interaktionsgerätes Computermaus als Koordinatengeber aus Gründen der Umgebungsbedingungen und Arbeitsplatzgestaltung nicht ohne weiteres möglich (vgl. Abbildung 2-18).

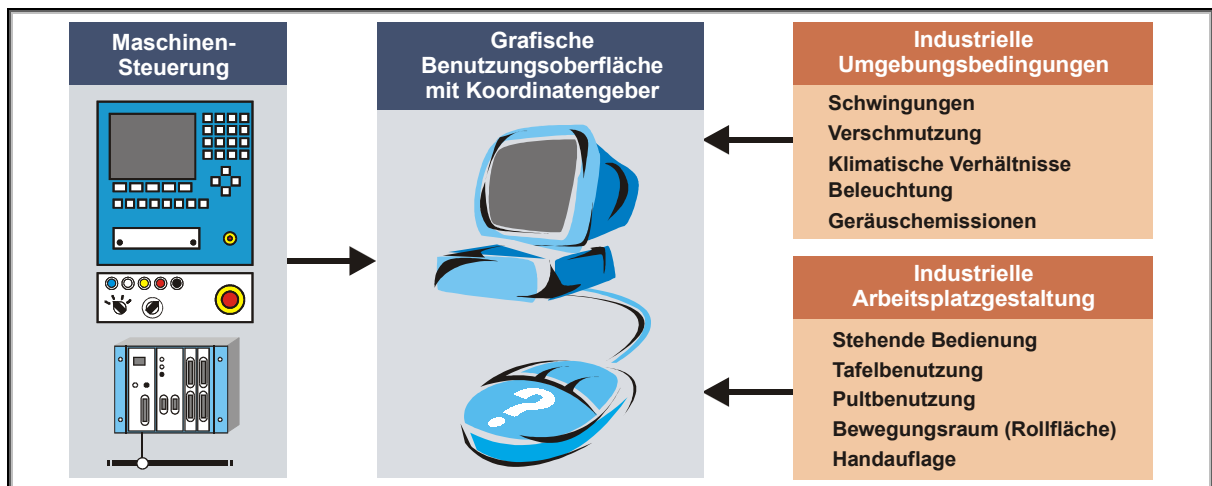


Abbildung 2-18 Verwendung von Koordinatengebern im industriellen Bereich

Durch Späne, Öl oder Kühlmittel werden bewegliche Teile verschmutzt und die Funktion beeinträchtigt – die Folge sind erschwerte Bedienbarkeit oder gar Fehlbedienungen. Schwingungen, welche von der Maschine an das Bediensystem übertragen werden, können eine Benutzung ebenfalls erschweren. Des Weiteren beansprucht eine herkömmliche Computermaus im Allgemeinen eine ebene Rollfläche ausreichender Größe für die Hand-



auflagefläche sowie einen bestimmten Bewegungsraum für die Hand. Diese Voraussetzungen sind bei Maschinen- oder Prozessanlagen meistens nicht gegeben.

Wenn die Umfrageergebnisse hinsichtlich der verwendeten Interaktionstechnik von 1998 mit den Ergebnissen der Umfrage von 2000 verglichen werden, wird deutlich dass die industrielle Interaktionsgeräteproblematik mittlerweile auch die Unternehmen teilweise erkannt haben (vgl. Abbildung 2-19) [Eis98, Oor00]. Hier wurde bei Maschinen- und Steuerungsherstellern sowie Endanwendern die Frage untersucht, welche Interaktionselemente zukünftig für die Interaktion in Bediensystemen eingesetzt werden; Mehrfachnennungen waren bei dieser Frage erlaubt.

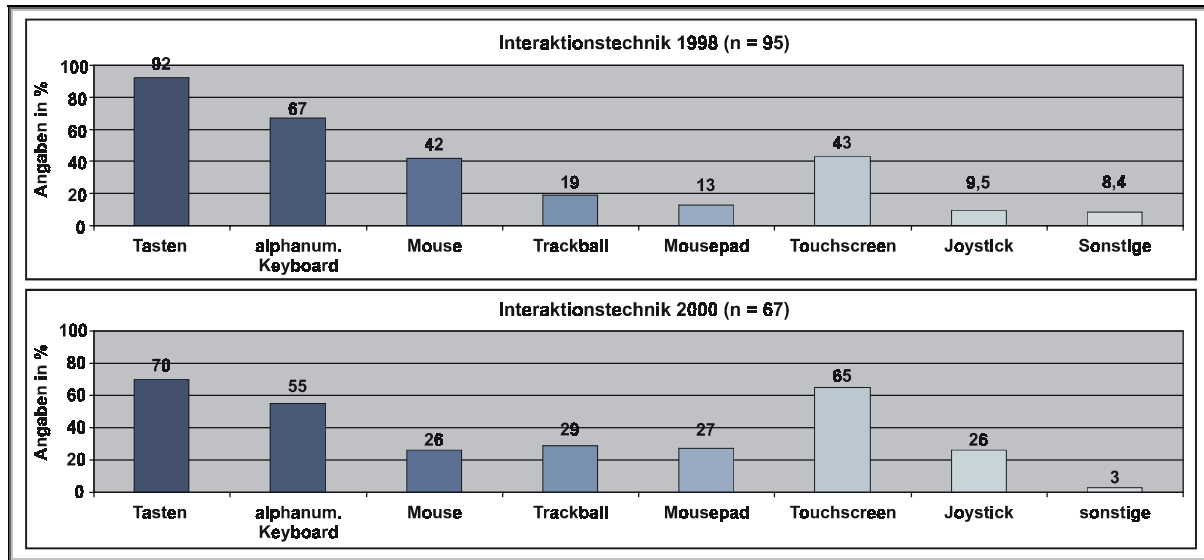


Abbildung 2-19 Umfrage zur Interaktionstechnik (1998 und 2000)

Die Ergebnisse belegen, dass auch zukünftig die **Tastenbedienung** als Interaktionstechnik bei Bediensystemen nicht verschwinden wird, obwohl eine sinkende Tendenz zu verzeichnen ist. So gehen 70% aller Befragten auch 2000 von einer Tastenbedienung mittels Funktionstasten und Softkeys aus und 55% sehen darüber hinaus das alphanumerische Keyboard als Interaktionselement.

Die Bedeutung der **Mouse** ist 2000 im Gegensatz zu 1998 abgefallen: Betrag der Wert 1998 noch 42%, so liegt der Wert 2000 bei 26% [Eis98, Oor00]. Bei der Beurteilung muss jedoch die teilweise fehlende Differenzierung zwischen Mouse und mouseähnlichen Interaktionselementen berücksichtigt werden. Oft werden Joysticks, Trackballs, Mousebuttons oder Mousepads seitens der Interaktionsgerätehersteller als Industrie-Maus o.ä. bezeichnet und werden damit der Gruppe Mouse zugeordnet. Durch zunehmende Verbreitung der Koordinatengeber werden diese jedoch differenzierter in verschiedene Gruppen eingeteilt. So könnten 1998 Geräte von den Befragten als Mouse beurteilt worden sein, welche 2000 z.B. in die Gruppe Joystick eingeordnet wurden. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Zunahme an Nennungen des Trackballs, des Mousepads und des Joysticks als Interaktionsgerät. Dieses kann darauf zurückgeführt werden, dass die Unternehmen mittlerweile erkannt haben, dass die heute übliche Mouse für die meisten Bediensysteme in der Produktionstechnik nicht geeignet ist und alternative Interaktionstechniken einsetzen.

Große Erwartungen werden in den Einsatz von **Touchscreen**-Systemen gesetzt. Mit einer Zunahme von 43% auf 65% liegt dieser damit nur knapp unter den bisher favorisierten Tasten. Hier lässt die differenzierte Betrachtung nach Branchen erkennen, dass der

Touchscreen in der Gunst der Steuerungstechniker (1998: 68%, 2000: 79%) weiter vorne liegt als bei den Maschinenherstellern (1998: 37%; 2000: 59%) oder Endanwendern (1998: 33%; 2000: 67%). Dies lässt zwei mögliche Interpretationen zu: Entweder sind die Steuerungstechniker bei dieser neuen Technik die Trendsetter oder sie schätzen die Probleme, die sich beim Einsatz von Touchscreen-Systemen im Produktionsumfeld ergeben, geringer ein als Maschinenhersteller und Endanwender. Problematisch sind hier neben dem Einsatz in rauen Umgebungsbedingungen die grundlegenden industriespezifischen Anforderungen an die Gestaltung der Benutzungsoberfläche und die zusätzlichen touchscreenspezifischen Anforderungen an die Gestaltung, z.B. Verzicht auf Manipulationsaufgaben (DRAG&DROP-Funktionalitäten) oder einer Fingerbedienung entsprechender Größe der Schaltflächen (vgl. VDI/VDE3850-2 ; VDI/VDE3850-3]). Ausführliche Hinweise für die Gestaltung und für die Verwendung von Koordinatengebern und Tasten für den industriellen Einsatz werden in [VDI/VDE3850-2] gegeben.

Wie die Interaktion zwischen dem Menschen und einem technischen System hinsichtlich der Benutzung bewertet werden kann, wird im folgenden Abschnitt anhand von verschiedenen Interaktionsmodellen vorgestellt.

## 2.4 Interaktionsmodelle

### 2.4.1 Übersicht

Speziell für Interaktionssysteme existieren verschiedene, sich gegenseitig ergänzende Modelle, die schon während des Entwicklungs- und Evaluationsprozesses einer Interaktionsschnittstelle verwendet werden können [See91]. Es können kognitive und physische Modelle unterschieden werden. Die wichtigsten kognitiven und physischen Modelle sind mit den Kapitelnummern, in denen sie erläutert werden, in Abbildung 2-20 dargestellt.

**Kognitive Modelle** enthalten Aspekte des Verständnisses, des Wissens, der Absichten oder der Vorgehensweisen des Anwenders. Sie können die Verhaltensweisen darstellen, die von einem Anwender erwartet werden, oder Unterstützung bei der Analyse dieses Verhaltens geben. In diesem Zusammenhang wird die innere Repräsentation der Verhaltensweise und der Vorstellungen des Anwenders auch als *mentales Modell* bezeichnet [Spa76; Dut94]. **Physische Modelle** beschäftigen sich auf der motorischen Ebene des Menschen (und nicht auf der Verständnisebene) mit der Formulierung von Aufgaben und Zielen [Ker75]. Als psychomotorische Modelle können jene zusammengefasst werden, welche die motorische Koordination beschreiben. Aus einigen psychomotorischen Modellen wurden **Gerätemodelle** entwickelt, die zur Beurteilung von Interaktionsgeräten dienen. Dies ist insbesondere bei *FITTS* der Fall, daher wird das von ihm entwickelte Modell einerseits den psychomotorischen Modellen und andererseits den Gerätemodellen zugeordnet<sup>15</sup>. Die abgebildeten psychomotorischen Modelle bilden die Grundlage für die Gerätemodelle. Details zu den einzelnen Modellen sind im Anhang A.5 dargestellt.

---

<sup>15</sup> Im folgenden werden Modelle (insbesondere Gerätemodelle), welche auf dem von FITTS gefundenen Zusammenhang beruhen, unabhängig von der dabei verwendeten Gleichung, allgemein als FITTS LAW, bezeichnet. Wird speziell auf die von FITTS verwendete Gleichung eingegangen, wird diese als FITTS Gesetz bezeichnet.

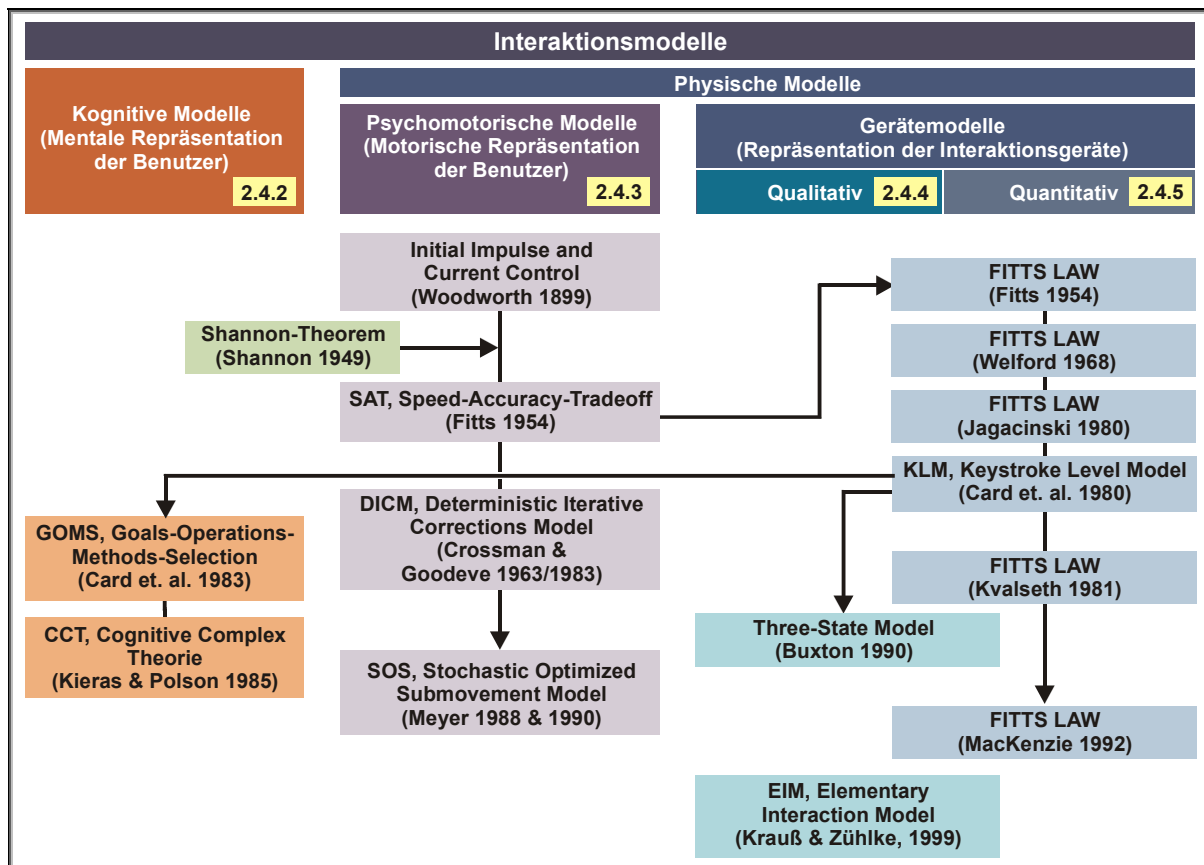


Abbildung 2-20 Übersicht der Interaktionsmodelle

## 2.4.2 Kognitive Modelle

Mit kognitiven Modellen werden mentale Modelle beschrieben. Aufgrund des Charakters mentaler Modelle kann im Rahmen technischer Systementwicklung dabei jede Art von kognitivem Modell nur eine Annäherung an menschliche Strukturen und Prozesse sein. Die Hierarchietiefe von Aufgaben und Zielen wird als Granularität (Feinheit von Modellen) bezeichnet. Aufgaben können bis zu den einzelnen Hand- oder Augenbewegungen des Benutzers zerlegt werden oder zu immer weiter gefassten Zielen wie z.B. „Leben“ abstrahiert werden. Die verwendeten Hierarchiestufen bleiben dabei dem Entwickler überlassen.

Viele der kognitiven Modelle enthalten Analogien aus der Programmierung. Mit der Ähnlichkeit zwischen den Sprachen, die den Anwender beschreiben und denen, die die Interaktion beschreiben, sind sowohl Vorteile als auch Gefahren verbunden. In positiver Hinsicht wird durch die einheitliche Syntax die Kommunikation und die Analyse im kombinierten Mensch-Maschine-System vereinfacht. Die Gefahr liegt in der mechanisierten Betrachtung des Anwenders. Das Modell kann zeigen, wie der perfekte Anwender ein Ziel erreichen würde, aber es kann oft nichts über die dabei auftretenden Schwierigkeiten aussagen. Die Vorhersagbarkeit des Fehlverhaltens ist im Allgemeinen schlecht gelöst [Dix95]. Dennoch wird bei der Formulierung kognitiver Modellbildung die technische Umsetzbarkeit von mentalen Modellen angenommen: Durch die Modellierung der Erwartungshaltungen der Benutzer können Rechnersysteme mit Strategien für adaptives Verhalten ausgestattet werden. Durch *Mapping* werden die mentalen Modelle des Nutzers dem realen Modell gegenübergestellt und abgeglichen. Benutzungsschnittstellen können entsprechend der Kapazität des Gedächtnisses entwickelt werden (vgl. *Informationsfluss*). Das Leistungsverhalten kann bei unterschiedlicher Aufgabenteilung zwischen Benutzer



und Rechner prognostiziert und der Trainingsaufwand abgeschätzt werden. Die kognitiven Modelle sind im Anhang A.5.2 detailliert dargestellt.

### 2.4.3 Psychomotorische Modelle

Im Vergleich zum kognitiven Verständnis des Menschen, welches für die Beschreibung problemlösender Aktivitäten von Bedeutung ist, existieren relativ viele empirische Daten über die motorische Koordinationsleistungen des Menschen [Sch88a]. Unter motorischer Koordination wird in diesem Zusammenhang die Fähigkeit des Menschen verstanden, Subsysteme des Körpers oder den Gesamtkörper aus einer gegebenen Ausgangssituation mit Hilfe des Skelett-Muskel-Apparates und – in der Regel – des visuellen Systems in eine definierte End- oder Arbeitsposition zu bringen. Bestimmungsgrößen für die Koordinationsleistung können einerseits die für den Positionswechsel erforderliche Bewegungszeit und andererseits die Genauigkeit sein, mit der die intendierte End- oder Arbeitsposition tatsächlich erreicht wird.

Die bisherigen Forschungsarbeiten zum Problemfeld der Bewegungszeiten sind einerseits in der psychophysiologischen und ergonomischen Grundlagenforschung und andererseits im Bereich der Arbeitswissenschaft angesiedelt. Aus dem erstgenannten Bereich wird auf die Untersuchungen über den Einfluss ober- und unterarmbetonter Bewegungen auf die Bewegungszeit, über den Einfluss der relativen Raumbeziehungen zwischen Körper und Zielobjekt und über den Zusammenhang zwischen Bewegungszeit und Bewegungsgenauigkeit hingewiesen [Sti59; Sla49; Bro48; Fit54; Cha50; Sch60]. Bei den Arbeiten zur Bewegungsgenauigkeit werden Richtungs-, Entfernungs- und Geschwindigkeitsabhängigkeiten sowie Einflüsse der Körperhaltung untersucht [Dav51; Rub52; Treb53; Har53; Sma53; Sim55; Hui56; Hec56; Sch61]. Für die psychomotorischen Modelle werden die empirisch ermittelten Daten für Vorhersagen über die Leistungsfähigkeit des Benutzers genutzt.

Nachfolgend wird das psychomotorische Modell von FITTS genauer vorgestellt. Aus diesem Modell wurden Gerätemodelle abgeleitet, welche zur Evaluation von Interaktionsgeräten eingesetzt werden. Die sich daraus ergebenden Gerätemodelle „FITTS LAW“ (bzw. *FITTS Gesetz*) werden in Abschnitt 2.4.5 näher erläutert. Die übrigen psychomotorischen Modelle sind im Anhang A.5.3 detailliert dargestellt.

#### Abhängigkeit von Zielentfernung und Zielgröße (FITTS, 1954)

FITTS versuchte, das aus der Informationstheorie bekannte *SHANNON-Theorem*, in welchem die maximale Übertragungsrate in Bit/s in Abhängigkeit von der Bandbreite und dem Rauschen einer Übertragungsleitung beschrieben wird, auf das motorische System des Menschen zu übertragen [Fit54; Sha49]. Zwei Jahre zuvor hatte HICK das SHANNON-Theorem auf das menschliche kognitive Verhalten bei Auswahlproblemen angewandt. Er quantifizierte den Zusammenhang zwischen der benötigten Zeit und den zur Verfügung stehenden Auswahlmöglichkeiten im *Hickschen Gesetz* [Hic52]. FITTS leitete aus der informationstechnischen Betrachtung ab, dass zur Ausführung einer Zielbewegung eine bestimmte Informationsmenge notwendig ist, die im Wesentlichen vom Logarithmus dualis des Verhältnisses zwischen Bewegungsentfernung und Zielgröße abhängt (vgl. [Beg72]). Der mittlere Zeitbedarf ist wiederum direkt abhängig von der Informationsmenge, da sich die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Menschen nicht mit der Aufgabe ändert. FITTS ging von der Hypothese aus, dass die Bewegungszeit bei menschlichen Aktivitäten eine Funktion des Abstandes zwischen zwei Zielen sowie der Zielbreite ist. Somit sollte eine mathematische Beziehung zwischen der Zeit, die benötigt wird, um den Zielpunkt zu errei-

chen, der Zielentfernung und der Zielgröße nachgewiesen werden (SAT, Speed-Accuracy-Tradeoff, *Geschwindigkeits-Genauigkeits-Relation*) [Fit54; Fit66; Fit68].

Dabei ging er davon aus, dass im gesamtmotorischen System neben den rein motorischen Komponenten wie Knochen, Muskeln, Sehnen auch noch perzeptuelle (visuell, exterozeptiv, propriozeptiv) und kognitive Kontrollmechanismen eine Rolle spielen (vgl. Abschnitt 2.2). Um die **isolierte Kanalkapazität des motorischen Systems** inklusive der Beobachtung durch den Probanden im psychomotorischen System zu messen, eliminierte er perzeptive und kognitive Prozesse durch häufige Wiederholungen erlernter Bewegungen bei höchst möglicher Geschwindigkeit. Um seine Hypothese zu testen, führte er das in Abbildung 2-21, Bild A dargestellte wechselseitige Tipp-Experiment durch.

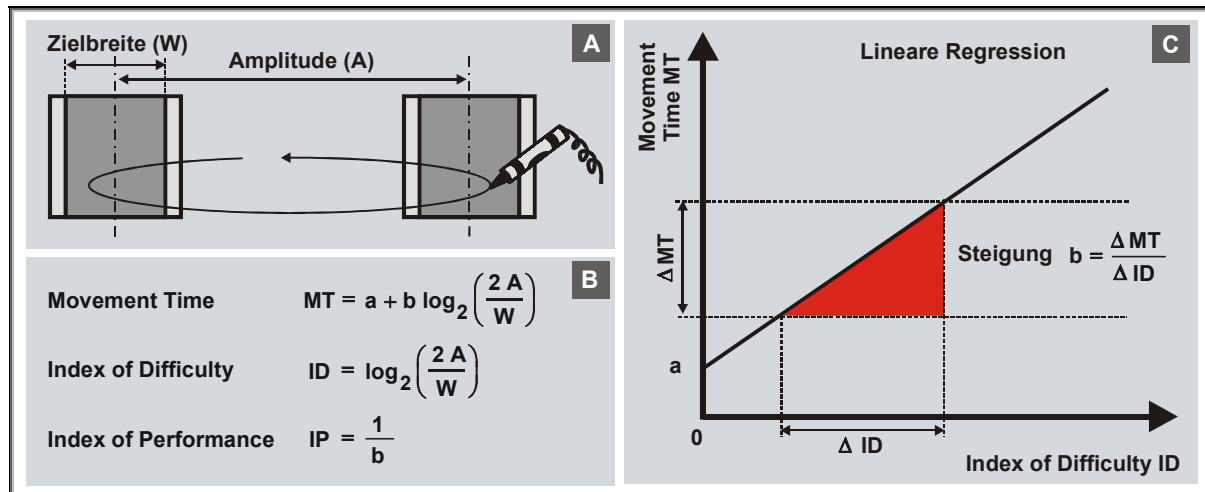


Abbildung 2-21 Fitts Experiment (Bild A), Fitts Gesetz (Bild B) und die Bildung des Index of Performance IP (Bild C)

Die Versuchspersonen mussten mit einem Metallstift abwechselnd zwei Felder im Abstand (A) mit der Zielbreite (W) berühren. Sobald das eine Feld aktiviert wurde, wurde die Zeit bis zur Erreichung des zweiten Zielfeldes gemessen. Der Test wurde mit unterschiedlichen Abständen (A) und wechselnden Zielbreiten (W) durchgeführt. In einem zweiten Test mussten die Versuchspersonen Scheiben ähnlich den „Türmen von Hanoi“ von einer Position auf eine andere Position setzen. In einem dritten Experiment mussten acht Pins einzeln von einer Seite auf die andere Seite versetzt werden.

Auf Basis der durchgeführten Experimente quantifizierte FITTS bei Zielbewegungen den Zusammenhang zwischen der benötigten Zeit, der Zielgröße und dem Zielabstand: Je ungenauer ein bestimmter Punkt angesteuert werden darf (d.h., je größer das Zielobjekt ist) und je kürzer die zu überbrückende Distanz ist, desto schneller ist das Ziel zu erreichen<sup>16</sup>. Mit diesem Ansatz entwickelte er die Gleichung (2.1), die dann als Gesetz von FITTS („Fitts Law“) bekannt wurde (vgl. Abbildung 2-21, Bild B):

<sup>16</sup> Für die Gestaltung von Benutzungsoberflächen bedeutet dies, dass Zielobjekte (z.B. Schaltflächen) möglichst groß gehalten werden und die zurückzulegende Strecke so klein wie möglich sein sollte. Häufig benötigte Funktionen sollten so nahe wie möglich am Ausgangspunkt des Anwenders (z.B. oben im Menü) platziert werden. Da der Zeitbedarf vom Verhältnis zwischen Bewegungsentfernung und Zielgröße bestimmt wird, sind beispielsweise größere Tasten nur dann schneller zu betätigen, wenn sich der Betätigungsabstand dadurch nicht (wesentlich) vergrößert. Bei einer Tastatur macht dies insofern keinen Sinn, als dass der Tastenabstand mit der Tastengröße wächst und somit das Verhältnis und damit auch der Zeitbedarf gleich bleibt [Ras01].

$$MT = a + b \log_2(2A/W) \quad (2.1)$$

Mit:  $ID = \log_2(2A/W) \quad (2.2)$

Die Bewegungszeit (MT, Movement Time) bleibt konstant, wenn das Verhältnis von Zielentfernung (A, Amplitude) und Zielbreite (W, Width) konstant bleibt. Ein Anstieg der Bewegungszeit infolge einer größeren Zielentfernung kann vermieden werden, wenn die Breite des Ziels proportional vergrößert wird. Wenn das Verhältnis  $2A/W$  wächst, steigt die Bewegungszeit zunächst schneller und dann langsamer an. Bei der Darstellung der Bewegungszeit gegen den Logarithmus des Verhältnisses  $2A/W$  ergibt sich eine Gerade. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der so kalkulierte Zeitbedarf einen Durchschnittswert angibt, von dem einzelne Bewegungen (zufällig) nach oben oder unten abweichen. Die Konstanten a und b werden empirisch<sup>17</sup> ermittelt. Sie beschreiben dabei die Reaktionsverzögerung für die Bewegungsinitialisierung (a) bzw. einen von der *Reaktionszeit* abhängigen Multiplikator (b). Die Reaktionszeitverzögerung erfolgt dabei aufgrund des "neuromotorischen Rauschens". Dieser Begriff wurde von FITTS in Anlehnung an die Informationstheorie für unregelmäßige Störungen der Rezeptorsignale im informationsverarbeitenden System des Menschen gewählt [Fit54; Dou97].

Der logarithmische Term wird als Schwierigkeitsindex (ID, Index of Difficulty) bezeichnet. Der Schwierigkeitsindex wird in *Bit* gemessen, er ist aufgabenspezifisch und kann direkt aus der Aufgabenstellung berechnet werden<sup>18</sup>. Er gibt das Maß der Benutzungsgenauigkeit an, das bei der Arbeitsaufgabe verlangt wird und dient der Beurteilung der Schwierigkeit von Bewegungsaufgaben.

Die Punktepaare {ID, MT} werden in das Koordinatensystem eingetragen und anschließend durch eine Regressionsgerade linearisiert (vgl. Abbildung 2-21, Bild C; die lineare Regression wird allgemein im Anhang B.7.1 und speziell für FITTS im Anhang B.4.1 beschrieben). Der Kehrwert der Geradensteigung b wird als Leistungsindex (IP, Index of Performance) oder Durchsatz bezeichnet ( $IP = 1/b$ , Einheit: Bits/s). Der „Index of Performance“ ist über einen großen Bereich von verschiedenen Zielentfernungen A und Zielbreiten W annähernd konstant. Außerhalb eines optimalen Bereichs (z.B. bei sehr großen W und sehr kleinen A oder bei sehr kleinen W und sehr großen A) streut er jedoch sehr stark [Fit54]. Innerhalb des optimalen Bereichs liegt er bei allen drei von FITTS durchgeführten Experimenten bei ca. 10 bis 12 Bit/s [Fit54].

Das von FITTS aufgestellte Gesetz wurde in zahlreichen empirischen Untersuchungen prinzipiell bestätigt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die menschliche Leistungsfähigkeit des motorischen Systems und der damit verbundenen visuellen, enterozeptiven und propriozeptiven Rückmeldungsmechanismen über einen gewissen Bereich relativ konstant ist, wenn sie in Informationseinheiten gemessen wird. Das Gesetz von FITTS ist gültig für möglichst schnell ausgeführte Zielbewegungen (Rapid Aimed Movement) mit vorgegebener räumlicher Genauigkeitsanforderung und gilt für:

<sup>17</sup> Hierzu wird der Abstand und die Weite des Zielobjekts in sinnvollen Abständen variiert (FITTS wählte die Zielbreiten 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 Inch sowie die Zielentfernungen 2, 4, 8, 16 Inch, 1 Inch = 25,4 mm). Es ergeben sich verschiedene ID mit dazugehörigen Zeiten in Form einer Punktwolke im X/Y-Diagramm. Mit Hilfe linearer Regression lassen sich nun die Konstanten a und b bestimmen [Fit54].

<sup>18</sup> Beispiel: Der Schwierigkeitsindex beträgt für ein 1 cm breites Ziel bei einer Zielentfernung von 8 cm:  $ID = \log_2(2 \times 8/1) = \log_2(16) = 4$  Bits [Shn02]. Die Verwendung des Logarithmus Dualis und des Verhältnisses  $2A/W$  anstelle von  $A/W$  ist durch die theoretischen Überlegungen von FITTS begründet. Diese gelten inzwischen als unzutreffend und werden heute nur noch als Konvention benutzt [Spa90].

- Verschiedene Effektoren (Finger, Handgelenk, Arm, Fuss, Kopf usw.)
- Diskrete und serielle Zielbewegungen
- Verschiedene räumliche Zielforderungen (Zeigen, Scheiben und Pins versetzen)
- Verschiedene Alters- und Ausbildungstufen (vgl. [Wel85])
- Verschiedene Umgebungsmedien (Luft, Wasser; vgl. [Dix85; Ker73b; Ker78])
- Mit und ohne Werkzeuge

Für die Evaluation von Interaktionsgeräten ist insbesondere der letzte Punkt von Interesse. Das von FITTS aufgestellte Gesetz und seine Abwandlungen (zusammenfassend als FITTS LAW bezeichnet) werden seitdem bei zahlreichen Untersuchungen von Interaktionsgeräten als bewertendes quantitatives Gerätemodell verwendet (vgl. Abschnitt 2.4.5).

## 2.4.4 Qualitative Gerätemodelle

### Drei-Status-Modell (BUXTON, 1990)

Im Drei-Status-Modell (Three-State-Model) werden Geräte nach ihrem Interaktionsverhalten im System klassifiziert (vgl. Abbildung 2-22). Anhand dieser Klassifikation wird versucht zu beurteilen, ob ein bestimmtes Gerät eine gegebene Aufgabe erfüllen kann [Bux90; Bux93; Dix95].

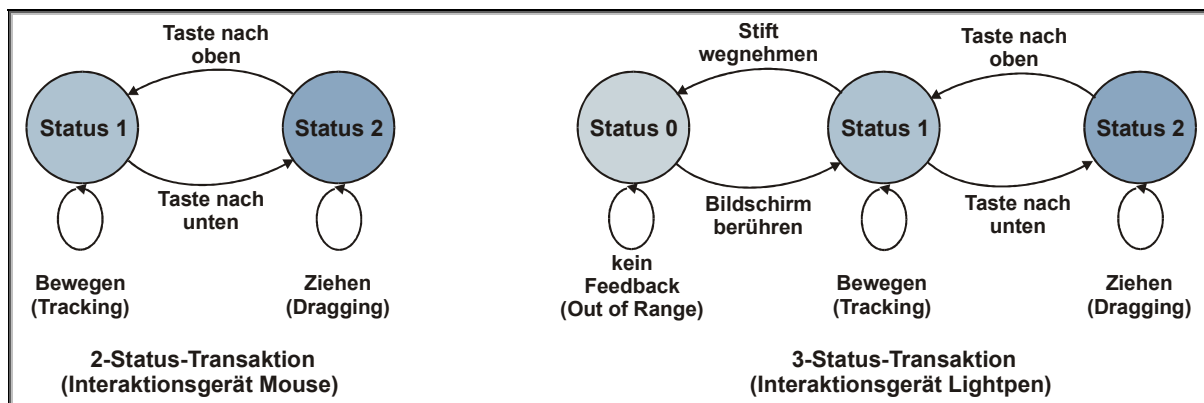


Abbildung 2-22 Drei-Status-Modell (1990)

Wird z.B. eine Computermaus bewegt, ohne dass die Tasten gedrückt werden, wird dadurch normalerweise das Positioniersymbol bewegt. Dieses Verhalten wird Status 1 genannt. Die dauerhafte Betätigung des Schaltelements über einem Objekt der Benutzungsoberfläche mit paralleler Bewegung des Koordinatengebers kann eine Bewegung des Objekts bewirken (z.B. Ziehen eines Icons). Dies wird Status 2 genannt. Wird ein Lightpen (Lichtgriffel) betrachtet, verhält sich dieser wie eine Computermaus, wenn er den Bildschirm berührt. Wenn sein Schaltelement nicht gedrückt wird, befindet er sich im Status 1, bei Betätigung des Schaltelements im Status 2. Zusätzlich hat der Lightpen noch einen dritten Status, wenn er den Bildschirm nicht berührt. In diesem als Status 0 bezeichneten Zustand kann das System die Position des Lichtgriffels nicht feststellen.

Das Modell charakterisiert die Statuswerte des Geräts durch die Eingabemöglichkeiten bzw. **Funktionen**, die im System zur Verfügung stehen. Ein Touchscreen wird beispielsweise als Status 0/1- und die Mouse als Status 1/2-Gerät eingeordnet. Eine Einsatzmöglichkeit dieser Klassifikation ist, verschiedene Interaktionsaufgaben daraufhin zu untersu-

chen, welches Statusverhalten sie erforderlich machen. So wird z.B. eine Selektieren/Aktivieren-Aufgabe mit einem Status 1-2-1 Wechsel (Transition) beschrieben, bei der keine Bewegung in Status 2 stattfindet. Diese Aufgabe kann nach dem Modell besonders gut mit Geräten ausgeführt werden, welche als Status 1/2-Geräte klassifiziert sind. Problematisch bei der Aufgabenklassifizierung ist, dass diese Aufgabe nach dem Modell mit dem Touchscreen (Status 0/1-Gerät) nicht durchzuführen wäre – obwohl einfache sequentielle Selektieren/Aktivieren-Aufgaben mit dem Touchscreen gut zu lösen sind.

Dadurch, dass das Verhalten der Interaktionsgeräte im System in verschiedenen Zuständen ohne Festlegung der beteiligten Handlungen klassifiziert wird, können **Mehrdeutigkeiten** und **Inkonsistenzen** auftreten. Ein Status 1-2-1 Übergang kann sowohl eine Selektieren/Aktivieren-Aufgabe als auch eine komplexere Manipulationsaufgabe beschreiben. Die für den Status und den Statusübergang notwendigen Benutzerhandlungen wie Positionieren, Selektieren/Aktivieren oder Manipulieren sind aufgrund der funktionsorientierten Sicht nicht eindeutig zugeordnet.

### Elementary Interaction Model – EIM (KRAUß & ZÜHLKE, 1999)

Das Modell für elementare Interaktionsoperationen (Elementary Interaction Model, EIM), bestehend aus Positionieren, Selektieren/Aktivieren und Manipulieren, wurde bereits im Abschnitt 2.3.3 vorgestellt. Mit diesem Modell können die Aufgaben der Benutzer im Interaktionssystem qualitativ bewertet werden, z.B. leichte CLICK-Aufgaben oder schwere DRAG&DROP-Aufgaben. Im Vergleich zum Drei-Status-Modell wird beim EIM der Schwerpunkt nicht auf die Modellierung des Verhaltens der Geräte im System, sondern auf die **Aufgaben** der Benutzer, auf ihre Absichten und Handlungen gelegt, d.h., die Betrachtung der Interaktion zwischen Soft- und Hardware erfolgt aufgabenorientiert. Auf die Erweiterung dieses Modells hinsichtlich der Beurteilung der industriellen *Gebrauchstauglichkeit* von Interaktionsgeräten wird in Abschnitt 5.5.1 eingegangen.

### 2.4.5 Quantitative Gerätemodelle

Das bekannteste quantitative Gerätemodell, das zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten herangezogen wird, basiert auf dem in Abschnitt 2.4.3 vorgestellten psychomotorischen Modell von FITTS.

#### Das Gesetz von FITTS als Gerätemodell

FITTS LAW wird in Interaktionssystemen in mehrfacher Hinsicht genutzt. Es kann verwendet werden, um die **Leistungsfähigkeit** von Benutzern vorherzusagen (z.B. zur Vorhersage welche Bewegungszeiten Nutzer an Montagestraßen haben werden), oder um Aufgaben hinsichtlich des zeitlichen Aufwandes an die Nutzer zuzuweisen. Weiterhin kann es für die **Gestaltung von Benutzungsoberflächen** bei der Skalierung und Gruppierung von Objekten (möglichst groß und nahe beieinander) eingesetzt werden. Schließlich findet es bei der Evaluation von Interaktionsgeräten und hier insbesondere bei der **Beurteilung von Koordinatengebern** Anwendung, da das Positionieren eines Koordinatengebers eine schnelle Zielbewegung eines Körperteils von einem Startpunkt aus zu einem bestimmten Zielobjekt ist.

Zur Beurteilung von Koordinatengebern wird das original FITTS-Experiment auf der Benutzungsoberfläche abgebildet. Statt eines Stiftes müssen die Probanden mit dem Positioniersymbol, das über einen Koordinatengeber gesteuert wird, die entsprechenden Flächen berühren. Die Kontrolle durch den Probanden erfolgt dabei visuell über den Bildschirm. Die von FITTS ursprünglich gefundene Gleichung wurde in unterschiedlichen Stu-

dien mehrmals verändert, um sie an die empirisch ermittelten Werte anzupassen und um bessere *Korrelationen* zu erreichen. Die Variationen der Gleichung werden im Anhang A.5.4 dargestellt [Dou97]. Die gebräuchlichsten Variationen von FITTS LAW sind die Rechenvorschriften von FITTS, WELFORD und MACKENZIE [Fit54; Wel60; Mac89]. Bei den Variationen wurde im Wesentlichen der Schwierigkeitsindex ID angepasst. Allgemein formuliert lautet FITTS LAW mit den empirisch zu ermittelnden Konstanten a und IP:

$$MT = a + ID/IP \quad (2.3)$$

Die für die Auswertung der Versuche notwendigen Daten, wie z.B. **Bewegungszeit** (MT, Movement Time), werden vom Versuchssystem in einer Protokolldatei aufgezeichnet. Der **Schwierigkeitsindex** (ID, Index of Difficulty) kann aus der Aufgabe berechnet werden. Die wichtigste Größe, um die verschiedenen Geräte evaluieren zu können, ist der **Leistungsindex** IP. Dieser ergibt sich durch lineare Regression aus der Geradensteigung nach Gleichung (2.1) bzw. (2.3), bei der die Bewegungszeiten MT der Punktepaare {ID, MT} über alle Versuchspersonen gemittelt werden [Gra01]. Der IP ist geräte- und aufgabenspezifisch, d.h., sowohl für jedes Eingabegerät, als auch für jede Versuchsaufgabe lässt sich ein eigener Index of Performance berechnen. Innerhalb einer Studie können die empirisch ermittelten Leistungsindizes IP miteinander verglichen werden und es können Aussagen über die Gebrauchstauglichkeit und die Geschwindigkeit der Geräte für spezielle Aufgaben getroffen werden. Die Übereinstimmung zwischen den empirischen Daten und der ermittelten Geradengleichung wird dabei durch den Korrelationskoeffizienten ausgedrückt. Ebenso können aus FITTS-ähnlichen Aufgaben die Schwierigkeitsgrade ID ermittelt und bei bekanntem Leistungsindex IP eines Interaktionsgerätes Aussagen über die Bearbeitungszeit dieser Aufgabe mit diesem Interaktionsgerät getroffen werden (vgl. Keystroke-Level-Modell (KLM); Anhang A.5.4).

Die Anpassungen der Originalgleichung von FITTS Änderung betreffen neben dem Index of Difficulty (ID) auch die Formel zur Ermittlung des Leistungsindex (IP) selbst. Die Versuche, den Leistungsindex IP durch Variation der Gleichungen an die experimentellen Werte anzupassen, sind nach MEYER voreilig, weil noch nicht alle perzeptuellen, kognitiven und motorischen Faktoren, die das Verhältnis zwischen benötigter Zeit, Zielbreite und Zielabstand beeinflussen, bekannt sind [Mey90]. Verschiedene Aufgaben werden mehr oder weniger gut durch eine bestimmte Form von FITTS LAW wiedergegeben. Dies bedeutet, dass eine Gleichungsform bzw. ein Modell zu finden ist, welches eine bessere Anpassung zu einem speziellen Datensatz liefert, und auch, dass die mit dieser Gleichung und diesem Datensatz erzielten Ergebnisse sich nicht auf andere Daten übertragen lassen und damit nicht verallgemeinert werden können.

### **FITTS LAW – Kritische Diskussion**

Um die Aussagen eines Versuchs mit speziellem Datensatz zu beurteilen, ist vor allem der **Vergleich verschiedener Studien** mit gleichen Geräten interessant. Dieser Vergleich zeigt, dass die ermittelten Leistungsindizes IP's sich bei verschiedenen Studien stark unterscheiden. Eine Entscheidung, welches Interaktionsmedium besser geeignet ist, ist nicht ohne weiteres möglich [Dou97]. Interstudiale Vergleiche sind sehr kritisch zu betrachten, da die durchschnittliche Bewegungszeit bzw. der ermittelte Leistungsindex IP durch **versuchsbedingte Faktoren** beeinflusst werden kann: Die Darstellung der Aufgaben, die „Qualität“ der Versuchspersonen, der Versuchsaufbau, das verwendete Modell (FITTS, WELFORD, MACKENZIE etc.), der Annäherungswinkel bzw. die effektive Zielbreite, Lerneffekte, Fehlerhandhabung (Berücksichtigung im Versuch), die Gestaltung des Interaktionsgerätes und dessen ergonomische Eigenschaften. Der gleiche Interaktionsgerätetyp kann sich auch hinsichtlich der Benutzung unterscheiden, was sich wiederum auf die Bewe-

gungszeit und den Leistungsindex auswirkt. Die dafür relevanten **benutzungsbedingten Faktoren** sind: Zu verwendende Körperteile für die Kontrolle von Positionierelement und Schaltelement, absoluter oder relativer Positioniermodus, Verhältnis der Bewegung des Positionierelements zur Bewegung des Positioniersymbols (Control-Display Ratio oder Display-Control Gain vgl. Anhang A.4.9), physikalische Übertragungsfunktion, *isometrisches* oder *isotonisches* Wirkprinzip, Positions- oder Geschwindigkeitssteuerung [Dou97].

Aufgrund der unterschiedlichen Testmodalitäten ist verständlich, dass nicht automatisch Schlüsse darüber gezogen werden können, welches Eingabeelement am schnellsten oder am gebrauchstauglichsten ist. Eine Analyse der Situation gibt MACKENZIE [Mac92a; Dou97]:

*“If the research goal is to establish a Fitts’ law (or other) performance model for two or more input devices, then the only source of variation that is desirable is the between-device differences. This is what the investigations are attempting to measure. Accomplishing this assumes, somewhat unrealistically, that all other sources of variation are removed or are controlled for. Of course, very few studies are solely interested in device differences. Sources of variation become factors in many studies equally as important to the research as modell fitting across devices.”*

Neben den beschriebenen versuchsbedingten und benutzungsbedingten Faktoren bei der Beurteilung von FITTS LAW als Gerätemodell existieren **systematische Faktoren**, welche die Einsatzfähigkeit von FITTS LAW als Gerätemodell einschränken. Im Bereich der Evaluation der Interaktionsgeräte können zwei generelle Anwendungsgebiete von FITTS LAW identifiziert werden. Eines versucht mittels der Benutzung von Interaktionsgeräten quantitative Eigenschaften des menschlichen motorischen Systems in Form von Parametern, welche unabhängig von den spezifischen Umständen sind, zu finden. Zu dieser Gruppe zählen vor allem Studien, welche große Ähnlichkeit mit FITTS original wechselseitigem Tipp-Experiment haben, aber keine Ähnlichkeit mit praxisnahen Situationen. Diese Studien beruhen auf der impliziten Annahme, dass FITTS LAW Teil der kognitiven Psychologie ist, welche einen universellen Rahmen für die Gestaltung und das Studium von Interaktionssystemen bildet [Ber94]. Dabei wird im Wesentlichen untersucht, ob die Geräte „FITTS LAW-Geräte“ sind, d.h. inwiefern sie FITTS Gesetz oder dessen Variationen genügen [Dou97]. Bei diesen Untersuchungen steht die Tauglichkeit des Gerätes für den Benutzer im Hintergrund. In anderen Bereichen finden sich Studien, die sich mit spezifischen Bauformen von Interaktionsgerätegruppen befassen, und daher im experimentellen Aufbau auch realitätsnaher sind. Diese Studien nutzen FITTS Gesetz aber meist nur als Anregung [Ber94].

Entweder werden basierend auf einer „Theorie“ über menschliche Kognition *anthropometrische* Gesetze etabliert oder basierend auf „charakteristischen“ Aufgabentypen spezifische Interaktionsgerätegruppen untersucht. Die sich daraus ergebenden Kritikpunkte an FITTS LAW sind zusammenfassend hinsichtlich der versuchsbedingten, benutzungsbedingten und systematischen Faktoren in Abbildung 2-23 dargestellt.

Aus der Sicht der experimentellen Psychologie ist FITTS LAW nach den vorliegenden empirischen Ergebnissen ein gängiger Standard zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten. Allerdings erscheint dieses Faktum fragwürdig, wenn die Laborumgebung verlassen wird. Implizit wird bei FITTS LAW angenommen, dass es möglich ist, menschliches komplex-motorisches Verhalten in einfache und analog zur Informationstechnik klassifizierbare Aufgaben zu zerlegen und die benötigten Zeiten zu addieren, um eine Gesamtzeit zu ermitteln. Bezogen auf ein Interaktionssystem wird damit angenommen, dass eine Mouse-Operation unabhängig vom Kontext immer auf die glei-

che Weise und in der gleichen Zeit vollzogen wird. Diese Strategie wird als hinzufügendes oder **additives Modell** bezeichnet und bildet auch bei GOMS und KLM die methodische Grundlage. Allerdings wird die generelle Gültigkeit von additiven Modellen angezweifelt und in Experimenten wurde nachgewiesen, dass die nach einem additiven Modell vorhergesagten Zeiten nicht mit den tatsächlich benötigten Zeiten übereinstimmen, d.h., additive Modelle können teilweise nicht einmal einfache und kontrollierbare Aufgaben beschreiben. Für FITTS LAW bedeutet dies, dass sich die Parameter entsprechend den Änderungen des Versuchskontextes und der Komplexität der durchzuführenden Aufgaben ändern. Die Bedeutung von FITTS LAW als Hilfsmittel zur Vorhersage von Bewegungszeiten hängt damit von der generellen Gültigkeit von additiven Modellen ab [Cha97; Gre87 ; Ber94].

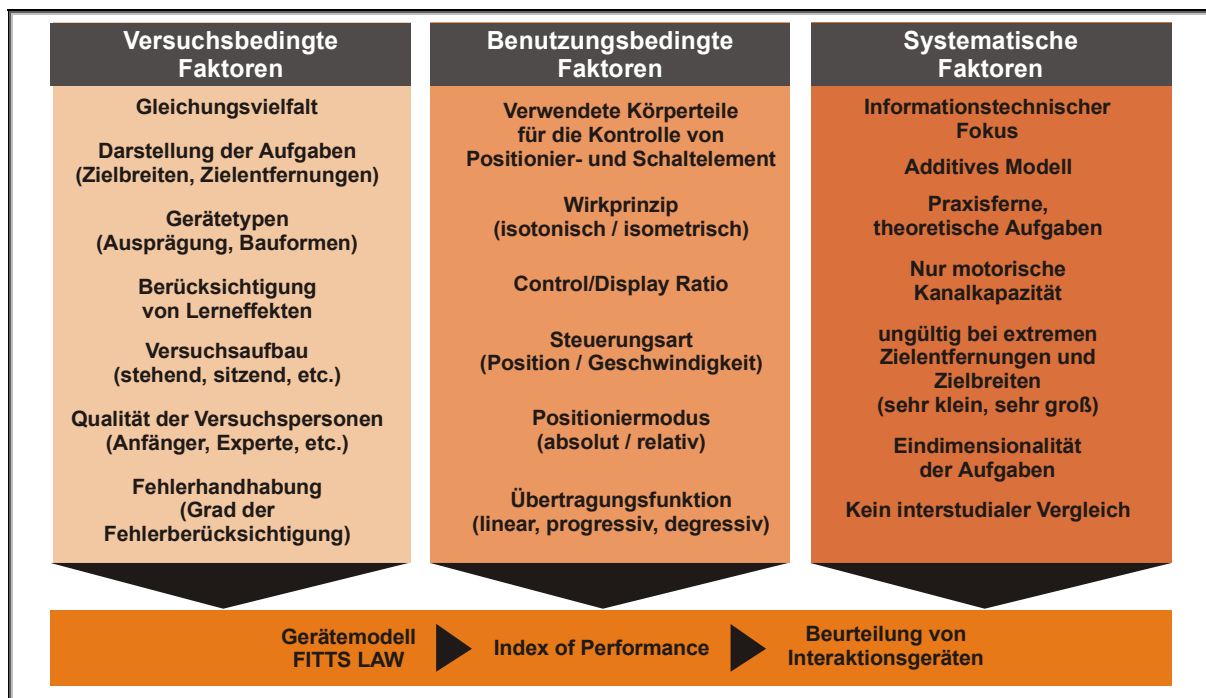


Abbildung 2-23 Kritische Betrachtung von FITTS LAW

Die **Variationen** von FITTS LAW beschränken sich auf folgende Haupttypen von Aufgaben: Zielerreichung, Menü und Textselektion, Texteingabe und Textbearbeitung sowie Zielverfolgungsaufgaben von beweglichen Zielen (vgl. Anhang A.5.4). FITTS LAW ist nur wirklich gültig für die erste dieser Aufgaben, bei den folgenden sind zusätzliche **kognitive Elemente** im Spiel, welche durch FITTS LAW nicht berücksichtigt werden und von FITTS absichtlich **ausgeblendet** wurden, um die isolierte Kanalkapazität des motorischen Systems (inklusive der Beobachtung der Bewegung durch die Versuchsperson) zu messen. In einer Studie von GILLIAN, in welcher eine Mouse untersucht wurde, wurde festgestellt, dass FITTS LAW bei Textmanipulationsaufgaben, wie z.B. Text-Markieren durch CLICK, angewendet werden kann, aber wenn dies durch DRAG&DROP erfolgt, keine Gültigkeit besitzt [Gil90]. Für beide Aufgabentypen wurde ein unterschiedlicher IP ermittelt, welcher theoretisch der gleiche sein sollte. Damit hängt die Gültigkeit von FITTS LAW sehr stark von der Detailgestaltung der gegebenen Aufgabe ab. Eine generelle Theorie über die Leistungsfähigkeit von Koordinatengebern bei einer direkt manipulativen Benutzungsoberfläche muss auch Aspekte beinhalten, die nicht durch FITTS LAW abgedeckt sind, z.B. den Kognitionsprozess oder Nutzerstrategien.



Ein weiterer Nachteil von FITTS LAW als Methode zur Evaluation von Interaktionsgeräten ist, dass es nur **in einer Dimension Vorhersagen** liefert. FITTS Originalexperiment untersuchte die menschliche Leistungsfähigkeit bei der horizontalen Bewegung zu einem Ziel. Sowohl die Amplitude der Bewegung als auch die Weite des Zielbereichs wurden entlang derselben Achse gemessen. Die Evaluation von Koordinatengebern bei der Benutzung von grafischen Benutzungsoberflächen erfordert jedoch eine zweidimensionale Zielbetrachtung, wozu die Zielbreite neu interpretiert werden muss. Ebenso gilt FITTS LAW nicht bei sehr kleinen Zielen und großen Abständen, sowie bei sehr großen Zielen und sehr geringen Abständen [Fit54].

In zahlreichen Laborexperimenten wurde bestätigt, dass zwar die Zielbreite die Bewegungszeit von Koordinatengebern beeinflusst, allerdings die quantitativen Aussagen im interstudialen Vergleich von FITTS LAW als zu unvorhersagbar betrachtet werden müssen, um in der Gestaltung von Interaktionsgeräten angewendet werden zu können [Gre87; Ged89; Ber94]. Es wird daher eine Trennung zwischen dem Gerätemodell FITTS LAW und dem FITTS-Effekt als Hilfsmittel zur Gestaltung von Benutzungsoberflächen vorgeschlagen. Dabei gibt der FITTS-Effekt lediglich an, dass die Bewegungszeit proportional zur Zielgröße und zur Zielentfernung ist.

### 3 Problemstellung und Zielsetzung

#### 3.1 Problemstellung

In den vorangegangenen Abschnitten wurden im Hinblick auf die Verwendung und Gestaltung von koordinatengebenden Interaktionsgeräten bei grafischen Benutzungsoberflächen die Dimensionen **Fähigkeiten des Menschen**, **industrielle Interaktionssysteme** und **Interaktionsmodelle** vorgestellt. Beim Vergleich der aus den Dimensionen jeweils resultierenden Gestaltungsmerkmale zeigt sich jedoch eine deutliche Diskrepanz zwischen Anforderung und Erfüllungsgrad dieser Anforderung (vgl. Abbildung 3-1).

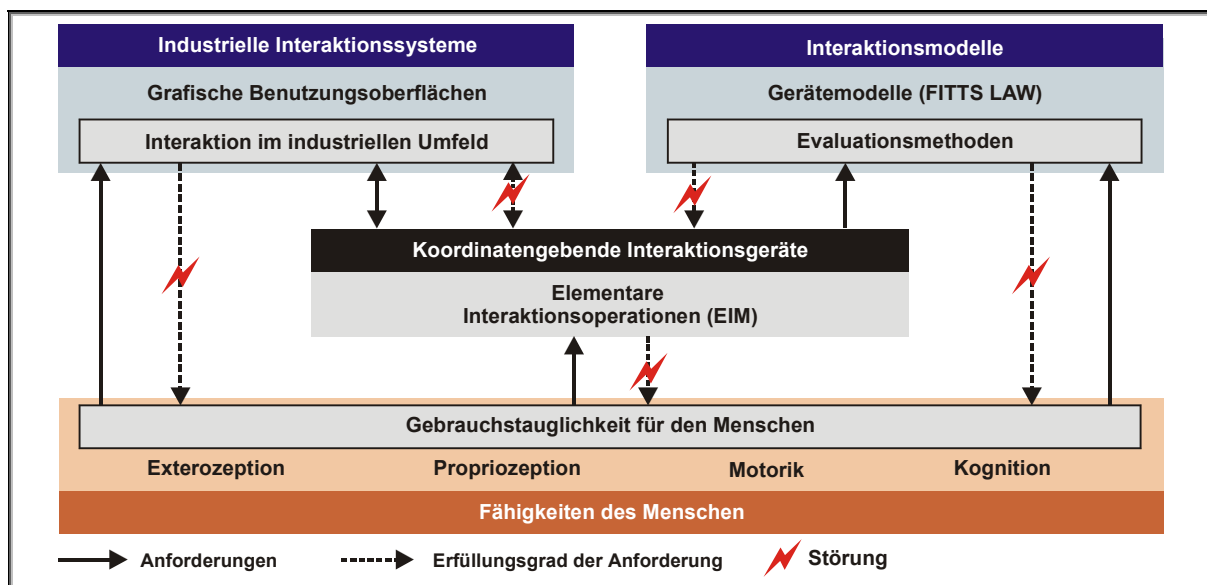


Abbildung 3-1 Problemstellung von Interaktionsgeräten für Maschinen- und Prozessbediensysteme mit grafischen Benutzungsoberflächen

Der **Mensch** unterliegt in seinen Interaktionsmöglichkeiten hinsichtlich der exterozeptiven und propriozeptiven Wahrnehmung, den *anatomischen Bewegungsmöglichkeiten* und der kognitiven Verarbeitung gewissen Einschränkungen. Werden bei der Gestaltung von Interaktionsgeräten diese natürlichen Grenzen nicht beachtet, können z.B. infolge erhöhter Beanspruchungen Ermüdungserscheinungen oder sogar medizinische Störungen die Folge sein (vgl. Abschnitt 2.1).

In der **Industrie** werden zunehmend die aus dem Bürobereich bekannten grafischen Benutzungsoberflächen eingesetzt. Diese können aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen hinsichtlich der durchzuführenden Tätigkeiten, der logischen und grafischen Dialoggestaltung nicht ohne weiteres aus dem Bürobereich in den Industriebereich transferiert werden. Generell kann die logische und/oder grafische Dialoggestaltung oder die Interaktionstechnik an die industriellen Erfordernisse angepasst werden, um grafische Benutzungsoberflächen in der Industrie einzusetzen. Für die erste und zweite Variante existieren bereits mehrere Gestaltungshinweise, Richtlinien und Normen (vgl. z.B. [Hüm97; Wah00; VDI/VDE3850-1; DIN66234]). Es existieren bislang aber nur wenige

Aussagen über industrietaugliche, alternative Interaktionstechniken<sup>19</sup>. Es werden zwar die verschiedensten koordinatengebenden Interaktionsgeräte für Maschinensteuerungen eingesetzt und es ist eine weitere Bedarfszunahme zu erwarten. Deren *Gebrauchstauglichkeit* für den Menschen ist allerdings nicht geklärt. Die Mehrzahl der verwendeten Interaktionsgeräte führt infolge unzulänglicher Integration von ergonomischen Prinzipien bei der Gestaltung und ungeeigneter Position des Interaktionsgerätes am Bediensystem zu unpassenden Haltungen und damit schlechter Bedienbarkeit (vgl. Abschnitt 2.2).

Die existierenden quantitativen **Evaluationsmethoden** für die Untersuchung von Interaktionsgeräten sind aufgrund systemimmanenter Schwächen einerseits an sich in Frage zu stellen und andererseits aufgrund der praxisfernen Aufgaben speziell für den industriellen Einsatz nicht geeignet, um die Gebrauchstauglichkeit von verschiedenen Interaktionsgeräten für den Menschen ermitteln zu können (vgl. Abschnitt 2.3).

## 3.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Untersuchungsmethode, die geeignet ist, die Gebrauchstauglichkeit von verschiedenen Interaktionsgeräten bei grafischen Benutzungsoberflächen für den Menschen zu beurteilen. Mit deren Hilfe sind Aussagen über die Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten im industriellen Umfeld möglich. Ebenso können aus den Ergebnissen der dabei untersuchten Geräte Aussagen über die ergonomische Gestaltung von Interaktionsgeräten abgeleitet werden.

Das zu entwickelnde Verfahren soll dabei folgenden Anforderungen genügen:

- Die Methode soll mit Fokus auf dem industriellen Mensch-Maschine-System die Interaktion mit **Koordinatengebern bei grafischen Benutzungsoberflächen** bestehend aus multimodaler Perzeption, Kognition und Sensomotorik ganzheitlich untersuchen.
- Die Methode soll möglichst realitätsnah die Gegebenheiten bei derzeitigen Bediensystemen darstellen. Dies soll durch **praxisnahe Aufgabenformen** erreicht werden, welche die Zweidimensionalität von grafischen Benutzungsoberflächen abbilden. Verschiedene Aufgabentypen wie Positionier-/Selektier-Aufgaben oder Manipulationsaufgaben sollen dabei berücksichtigt werden.
- Die Methode soll einfach in der Anwendung, Durchführung und Auswertung sein und die Belastung der verschiedenen Benutzergruppen (z.B. Probanden, Versuchsleiter) gering halten. Sie soll die Möglichkeit bieten, die **Gebrauchstauglichkeit** der untersuchten Interaktionsgeräte bequem zu vergleichen und die Ergebnisse leicht zu interpretieren. Ferner sollen die mit dieser Methode ermittelten Ergebnisse über verschiedene Studien hinweg vergleichbar sein.
- Die Methode soll im Hinblick auf **zukünftige Interaktionstechniken** wie z.B. neue Koordinatengeber, 3D-Technologien, Sprachbedienung oder Gestenerkennung modular erweiterbar sein.

Die perzeptuellen und sensomotorischen Fähigkeiten des Menschen werden durch ein biopsychologisches Modell des Menschen beschrieben, wohingegen den für die Evaluati-

<sup>19</sup> Die Aussagen der [ISO9241-9] beziehen sich ausschließlich auf den Bürobereich. Die in [VDI/VDE 3850-2 ; VDI/VDE 3850-3] beschriebenen Auswahlkriterien, Einbaubedingungen und Gestaltungsempfehlungen für Interaktionsgeräte im industriellen Umfeld basieren auf der hier vorliegenden Forschungsarbeit.

on von Interaktionsgeräten gebräuchlichen Modellen ein behavioristisches oder kognitives Modell des Menschen hinterlegt ist [Zim92].

Der **biophysiologische Ansatz** wird durch die Grundannahmen charakterisiert, dass menschliches Verhalten, Erleben und Bewusstsein anhand von physikalischen und chemischen Prozessen verstanden werden kann. Komplexere Phänomene können danach durch Reduktion auf spezifischere Phänomene „niedrigerer“ Ebene erklärt werden. Es wird weiterhin angenommen, dass das Verhalten durch körperliche und evolutionäre Strukturen bestimmt wird, und dass Erfahrung das Verhalten verändern kann, indem die zugrundeliegenden Strukturen und Prozesse modifiziert werden. Im **behavioristischen Ansatz** wird angenommen, dass menschliches Verhalten ausschließlich durch Umweltbedingungen determiniert ist und durch kontrollierte Laborexperimente aus Reizdarbietung und Reizreaktion abgeleitet werden kann. Biochemische Prozesse und innere Motivationen spielen dabei keine Rolle. Im **kognitiven Ansatz** wird angenommen, dass die Prozesse und Strukturen der Informationsverarbeitung das Verhalten eines Individuums festlegen. Dazu zählen Prozesse des Wahrnehmens, Schlussfolgerns, Erinnerns, Denkens, Problemlösens sowie Entscheidens und Strukturen des Gedächtnisses, der Begriffe und Einstellungen. Die Verarbeitung setzt dabei die Aufnahme von Informationen aus der Umwelt voraus, menschliches Handeln wird jedoch nicht als direkte Reaktion auf diese Reize angesehen. Der aktive Prozess der Kognition, bei dem der Mensch die Umwelt aktiv nach den für seine Entscheidungen notwendigen Informationen absucht, ist zwischengeschaltet.

Ergänzend zu den beschriebenen biophysiologischen, behavioristischen und kognitiven Ansätzen, wird in dieser Arbeit zusätzlich ein **humanistischer Modellierungsansatz** verfolgt, der das Verhalten nicht auf Komponenten, Elemente und Subprozesse reduziert, sondern versucht, Interaktionsregeln (Interaktionsmuster) zu erkennen. Im Gegensatz zum behavioristischen Ansatz konzentriert sich der humanistische Ansatz auf die phänomenale (vom Subjekt erlebte) Welt, nicht auf die objektive Welt, wie sie von externen Beobachtern gesehen wird. Darin gleicht er dem kognitiven Modell. Er unterscheidet sich jedoch dadurch, dass es ihm nicht um die detaillierte „Zerlegung“ innerer Prozesse in Schritte der Informationsverarbeitung und deren Anbindung an beobachtbare Verhaltensaspekte geht, sondern um die ganzheitliche Beurteilung des Interaktionsprozesses.

Auf diese Weise entsteht eine Methode, die den Menschen im Mensch-Maschine-System umfassender sieht und bei dem sich empirische und nichtempirische Ansätze die Waage halten.

## 4 Gestaltung der Untersuchungsmethode

### 4.1 Versuchsgestaltung

#### 4.1.1 Entwicklung des Versuchsinstrumentariums

Die Eigenschaften von Interaktionsgeräten stehen im Zentrum der zu entwickelnden Untersuchungsmethode. Diese Eigenschaften werden auch als Untersuchungsmerkmale – oder kurz *Merkmale* bezeichnet. Die Merkmale lassen sich unter dem Kriterium der Zähl- bzw. Messbarkeit in **qualitative** und **quantitative** Merkmale gliedern. Qualitative Merkmale können lediglich verbal beschrieben werden, d.h., es lassen sich den *Merkmalswerten* nur Namen oder Klassenbezeichnungen im Sinne eines Ranges zuordnen (z.B. Handhabbarkeit: leichtgängig, beschwerlich, ...). Bei den quantitativen Merkmalen dagegen werden die Merkmalswerte durch Zahlen ausgedrückt (z.B. Zeit: 1, 2, ..., 53 Sekunden). Die Merkmale besitzen in diesem Fall eine messbare Dimension [Bou01] (vgl. Anhang B.6.2).

Die Entwicklung eines Versuchsinstrumentariums, das die *Gebrauchstauglichkeit* von Koordinatengebern für den Menschen im industriellen Umfeld **umfassend** ermittelt, erfolgt sowohl nach quantitativen als auch nach qualitativen Merkmalen. Dafür stehen generelle Versuchsinstrumente, wie z.B. Versuchsaufgaben und individuelle Instrumente, wie z.B. Nutzerbefragungen, zur Verfügung [Bor95; Tou96; Kle98]. Deren Einbindung in den Entwicklungsprozess ist zusammen mit den Abschnittnummern, in denen sie erläutert werden, in Abbildung 4-1 dargestellt.

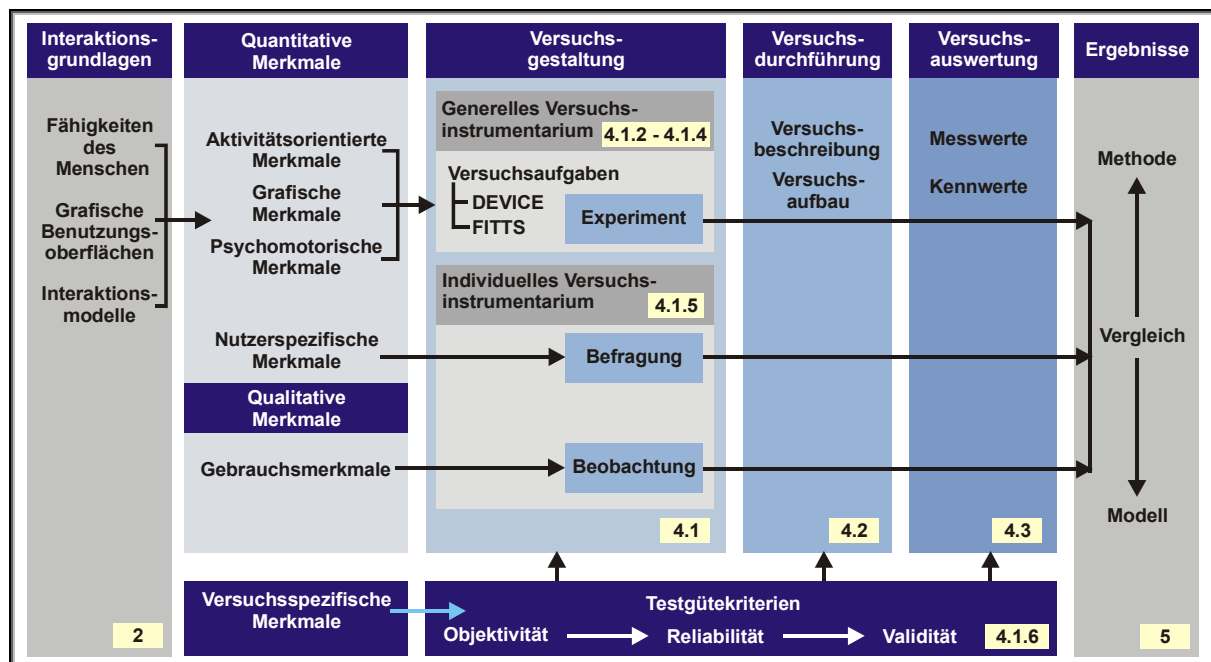


Abbildung 4-1 Einbindung der Versuchsgestaltung in den Entwicklungsprozess

Die **quantitativen Merkmale** des zu entwickelnden Versuchsinstrumentariums werden aus den Grundlagen der Interaktion (vgl. Abschnitt 2) sowie der Problemstellung und Zielsetzung (vgl. Abschnitt 3) abgeleitet. Aus diesen generellen quantitativen Merkmalen von koordinatengebenden Interaktionsgeräten resultieren die Versuchsaufgaben des **generellen Versuchsinstrumentariums**, welche die objektive Gebrauchstauglichkeit ermitteln. Die subjektive Zufriedenheit und Komfortbeurteilung der Benutzer kann nur mit dem **individuellen Instrumentarium**, das nutzerspezifische Merkmale berücksichtigt, ermittelt werden. Damit ergeben sich **Versuchsaufgaben, Befragungen** und **Beobachtungen** als Instrumente der Untersuchungsmethode DEVICE<sup>20</sup>. Mittels dieser Instrumente werden im Rahmen der Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung Messwerte bzw. Kennwerte zur quantitativen und vergleichenden Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten ermittelt.

Durch die bei der Untersuchung gemachten Erfahrungen und *Beobachtungen* hinsichtlich des Benutzerverhaltens beim Gebrauch können auch **qualitative Merkmale** von Interaktionsgeräten identifiziert werden. Aus diesen qualitativen Merkmalen und dem Vergleich der Mess- und Kennwerte resultiert ein Modell, das zur Beschreibung, Erklärung und Interpretation der quantitativen Messwerte herangezogen werden kann.

Beeinflusst wird die Ausgestaltung des Instrumentariums in den Phasen Versuchsgestaltung, Versuchsdurchführung und Auswertung durch die **Testgütekriterien** Objektivität, Reliabilität und Validität (*Hauptgütekriterien*).

Der Fokus der zu entwickelnden Untersuchungsmethode ist demzufolge zunächst auf die Ermittlung der quantitativen Merkmale gerichtet, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

#### 4.1.2 Konzeption der DEVICE-Versuchsaufgaben

Bei der Konzeption einer Untersuchungsmethode für koordinatengebende Interaktionsgeräte werden zwei Ziele verfolgt: Zum einen sollen Beziehungen zwischen der Problemstellung und dem Zielsystem herausgearbeitet werden und zum anderen soll eine Maßnahmenebene aufgezeigt werden, welche Lösungen die wirkungsvollsten Beiträge zur Zielerreichung leisten. Dazu sind mehrere Formulierungsstufen notwendig, um von umfassenden Zielsetzungen zu exakten Kerndefinitionen zu gelangen [Hab99; Sch92].

Aus der Zielsetzung „Entwicklung einer Untersuchungsmethode zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von verschiedenen Interaktionsgeräten bei grafischen Benutzungsoberflächen“ ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Wie gut kommen die Benutzer mit einem Interaktionsgerät zurecht?
- Mit welcher Geschwindigkeit können Benutzer ein Interaktionsgerät bedienen?
- Wie sicher erreichen Benutzer eine bestimmte Zielposition?
- Wie genau können Benutzer das Interaktionsgerät bedienen?

Zur Beantwortung dieser Fragen müssen die Interaktionsgeräte speziellen Versuchsaufgaben unterzogen werden. Die Gestaltung dieser Versuchsaufgaben ergibt sich aus den Dimensionen **Fähigkeiten des Menschen, industrielle Interaktionssysteme** und **Inter-**

---

<sup>20</sup> Die in dieser Arbeit entwickelte Untersuchungsmethode wird, um sie von der Untersuchungsmethode FITTS LAW (bzw. kurz FITTS) abzugrenzen, mit DEVICE bezeichnet. DEVICE wird in Anlehnung an die englische Terminologie „Pointing Device“ (Zeigegerät) oder „Input Device“ (Eingabegerät) gewählt, um zu verdeutlichen, dass es sich hierbei um eine Untersuchungsmethode für die Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten handelt.

**aktionsmodelle.** Aus deren Analyse lassen sich aktivitätsorientierte, grafische und psychomotorische Merkmale der zu gestaltenden Versuchsaufgaben ableiten.

### Aktivitätsorientierte Merkmale

Die Interaktionen zwischen Mensch und Maschine umfassen einen weiten Bereich an verschiedenen Aktivitäten. Diese Aktivitäten können aus Benutzersicht in verschiedene **Hierarchiestufen** gegliedert werden [Cha94; Wah00]. In Tabelle 4-1 sind der Aufgabenhierarchie Beispiele für Aktivitäten des industriellen Umfeldes und Beispiele für Aktivitäten der direkten Manipulation bei grafischen Benutzungsoberflächen mittels Koordinatengebern gegenübergestellt.

Tabelle 4-1 Aufgabenhierarchie

Gliederung			Beispiele für Aktivitäten	
Ebene	Beschreibung		Industrie	Direkte Manipulation
<b>Aufgabe</b> ↑	Die Aufgabe definiert das globale Ziel und den Zweck der Arbeit sowie die dazu erforderlichen Kompetenzen.	Psychologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 Werkstücke mit einer Drehmaschine herstellen</li> </ul>	Aufgaben aus dem industriellen Umfeld oder dem Bürobereich
<b>Teilaufgabe</b> ↑	Die Gesamtaufgabe wird in Teilaufgaben gegliedert, die zur sequentiellen Bearbeitung der Gesamtaufgabe benötigt werden.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auftragsbearbeitung vorbereiten</li> <li>• Werkstücke fertigen</li> <li>• ...<sup>21</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokument erstellen</li> <li>• Dokument verwalten</li> <li>• ...</li> </ul>
<b>Tätigkeit</b> ↑	Die Verrichtung der (Arbeits-) Aufgabe erfordert Tätigkeiten. Sie liefern das Arbeitsergebnis.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkzeugmagazin bestücken</li> </ul>	Basisdialoge: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionsauslösung (Funktion „Dokument sichern“)</li> <li>• Navigation</li> <li>• Auswahl</li> <li>• Werte editieren</li> </ul>
<b>Handlung</b> ↑	Eine Handlung ist die kleinste (psychologische) Einheit willentlich bewusst gesteuerter Abläufe, die auf ein Ziel ausgerichtet und durch ein Motiv angestoßen werden.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkzeugparameter eingeben</li> <li>• Werkzeugmagazin takten</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CLICK: Zeigebewegung und Anklicken eines Objektes</li> <li>• DRAG&amp;DROP: Anklicken und Ziehen eines Objektes zu einer bestimmten Position</li> <li>• DRAW: Ziehen einer Spur zwischen zwei Punkten</li> </ul>
<b>Operation</b> ↑	Eine Operation ist eine unselbständige Teilhandlung, die isoliert für sich betrachtet, kein bewusstes Ziel erkennen lässt.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkzeugtabelle auswählen</li> <li>• Wert eingeben</li> <li>• Wert bestätigen</li> <li>• ...</li> </ul>	Model für elementare Interaktionsoperationen (EIM): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Positionieren</li> <li>• Selektieren/Aktivieren</li> <li>• Manipulieren</li> </ul>
<b>Bewegung</b> ↑	Eine Bewegung ist eine zusammenhängende, meist unbewusst erfolgende Regulation der Motorik.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betätigen einer Taste</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinatengeber benutzen</li> <li>• ...</li> </ul>
<b>Muskelaktion</b>	Eine Muskelaktion beinhaltet das An- bzw. Entspannen von Muskelgruppen.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beugen des Arms</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finger krümmen</li> <li>• ...</li> </ul>
		Psychologie		

Durch Übertragung von Aufgaben an eine Person wird dieser das globale Ziel und der Zweck ihrer Arbeit vorgegeben (siehe Tabelle 4-1). Das Durchführen der Aufgabe erfolgt durch Tätigkeiten, die Ergebnisse im Sinne des vorgegebenen Ziels liefern. Die Tätigkeiten lassen sich ihrerseits in kleinere Einheiten, die Handlungen, gliedern. So gesehen ist die Aufgabe die oberste Stufe einer Hierarchie aus Aktivitäten unterschiedlichen Umfangs.

<sup>21</sup> Die Teilaufgaben bei Werkzeugmaschinen entsprechen den Tätigkeitsbereichen Planen, Programmieren, Vorbereiten, Bearbeiten, Diagnose, Wartung, Dokumentation und Kommunikation [Wah00] (vgl. Abschnitt 2.3.6).

Allerdings lassen die Inhalte oder Bausteine der einzelnen Hierarchiestufen (aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet) unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten zu [IEC7942-1; Bab97].

Auf den unteren Ebenen der **Muskelaktion** und der **Bewegung** sind die Bausteine für industrielle Aktivitäten und direkte Manipulationsaktivitäten annähernd gleich. Dies ändert sich jedoch bei höheren Hierarchiestufen. Bei Aktivitäten der direkten Manipulation werden auf der Ebene der **Operationen** die elementaren Interaktionsoperationen (EIM) abgebildet. Auf der Ebene der **Handlungen** finden sich die zusammengesetzten Operationen CLICK, DRAG&DROP und DRAW (vgl. [ISO9241-9]). Auf der Ebene der **Tätigkeiten** können die immer wiederkehrenden Aktivitäten (auch Basisdialoge genannt) Navigation, Auswahl, Funktionsauslösung und Dateneingabe identifiziert werden. **Teilaufgaben** richten sich nach den durchzuführenden **Gesamtaufgaben**. Die an direkt manipulative grafische Benutzungsoberflächen gestellten Aufgaben können sich dabei aus Operationen, Handlungen, Tätigkeiten, Teilaufgaben oder Aufgaben seitens des industriellen Umfeldes ergeben.

### Grafische Merkmale

Der grafische Dialog eröffnet mit Hilfe der direkten Manipulation eine moderne Dialogführung [Shn02; Dix95]. Es stehen grafische Grundelemente zur Verfügung, die für die Informationsübermittlung, aber auch für die allgemeine grafische Dialogführung die Basis bilden. Informationen können bildlich und damit konzentriert und anschaulich vermittelt werden. Die Aufgabe der **grafischen Dialogelemente** ist es, allgemein in allen Anwendungen verwendete Dialogtechniken in einer einfachen und handlichen Darstellung verfügbar zu machen. Weiterhin sollen sie es dem Benutzer ermöglichen, sich auf die für die Anwendung spezifische Information zu konzentrieren [Zei94; Her94]. Im grafischen Dialog bedient sich der Benutzer durch die Interaktion mit Interaktionsgeräten wie Tastatur und Koordinatengeber der grafischen Gestaltung des Systems, welche es ihm ermöglicht, die unterschiedlichen Arten der Eingaben auszudrücken [Lan94]. Insbesondere die Positionier- und Selektierfunktionen der Koordinatengeber, kombiniert mit grafischen Elementen und unter Berücksichtigung der speziellen industriellen Gestaltungsanforderungen, führen zu einer einfachen Art der benutzergesteuerten Interaktion mit dem System [Sta95].

Schon mit den ersten grafischen Oberflächen, wie z.B. Xerox Star (vgl. Abschnitt 2.3.1) haben sich Dialogelemente herausgebildet, die allgemein gültige Formen der Informationsdarstellung und die koordinatengebenden Interaktionstechniken unterstützen [Joh89]. Sie wurden oft nur in Nuancen verändert oder leicht verbessert in den nachfolgenden Systemen übernommen und haben sich so zum Standard entwickelt [Zei94]. Die verschiedenen Typen von Dialogelementen (teilweise auch als Dialogobjekte oder nur Objekte bezeichnet) können aus Sicht der Benutzer grob in die Gruppen Toplevel-Objekte, Container-Objekte, Basis-Objekte und zusammengesetzte Objekte eingeteilt werden.

Die Dialogobjekte bilden auf der Benutzungsoberfläche eine Teilehierarchie, dabei stellt die Benutzungsoberfläche selbst das oberste Objekt dar. In der nächsten Hierarchiestufe finden sich die Toplevel-Objekte. Container-Objekte, die häufig auch Toplevel-Objekte sind, dienen generell als Behältnisse für andere Dialogobjekte oder grafische bzw. textuelle Informationen. Basis-Objekte können als Objekt-Einheiten nicht weiter unterteilt werden und liegen in der Regel in Container-Objekten. Ein zusammengesetztes Objekt besteht aus einer definierten Einheit von Container- und Basisobjekten, die in ihrer Komposition einen eigenen sinnvollen Objekttyp festlegen [Bal96; Bal98; Zei94]. In Abbildung 4-2 sind die grafischen Toplevel- und Basis-Objekte aus dem *Styleguide* von Microsoft Windows in der Millennium Edition (ME) dargestellt [Mic95].



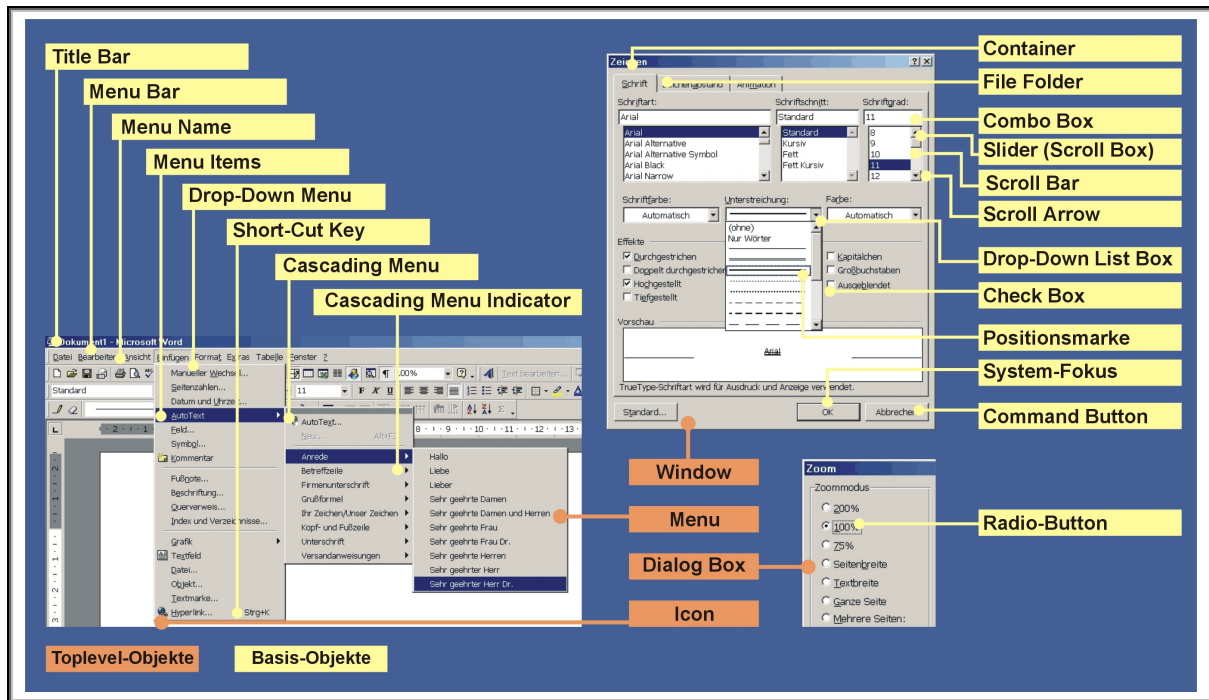


Abbildung 4-2 Grafische Dialogelemente von Microsoft Windows Millennium Edition (ME)

Trotz der unterschiedlichen Definition und Bezeichnung von Objekttypen zwischen den einzelnen *Styleguides*, insbesondere der Toplevel- und Container-Objekte, kann folgende Tendenz einer Klassifizierung abgeleitet werden: Es existieren als **Toplevel-Objekte** neben dem Typ Fenster der Typ Dialogbox (auch Formular genannt), der Typ Menü und der Typ Icon. Bei den **Basis-Objekten** haben sich Check Box, Combo Box, Command Button, Drop-Down List Box, Radio Button, Scroll Bar, Slider und Icon bis in die neuesten Styleguides erhalten [Mar95; Wes98]. Die Übergänge in der Definition von einem Dialogobjekt-Typ zum anderen sind fließend, ihre Darstellung, ihre Aktivierung und ihr Verhalten im Dialog unterscheidet die einzelnen Styleguides voneinander. Die Klarheit der Typisierung hängt dabei innerhalb der einzelnen Styleguides von ihrer Mächtigkeit ab. Während die Anzahl der Objekttypen in älteren Systemen, wie z.B. Macintosh noch überschaubar ist, sind beispielsweise bei Microsoft Windows bereits eine Vielzahl von Klassen, die in unterschiedlichster Weise miteinander kombiniert werden können, vorgegeben. Die grafische Detailgestaltung kann zusätzlich zwischen den einzelnen Editionen eines Styleguides bzw. Betriebssystems variieren (z.B. zwischen Windows 3.1, Windows 98 oder Windows XP).

### Psychomotorische Merkmale

Aus dem FITTS Effekt über motorische Koordinationsleistungen (Bewegungszeit ist proportional der Zielgröße und Zielentfernung, vgl. Abschnitt 2.4.5) werden die psychomotorischen Qualitätsmerkmale, wie Geschwindigkeit des Positionswechsels, die Vollständigkeit und die Genauigkeit, mit der die intendierte End- oder Arbeitsposition tatsächlich erreicht wird, abgeleitet [Fit54].

Die **Geschwindigkeit** des Positionswechsels ergibt sich durch Betrachtung der gesamten perceptuellen, kognitiven und motorischen Mechanismen des Menschen bei der Interaktion. Dies entspricht der Schrittkette: Reizaufnahme über Rezeptoren – Verarbeitung – Planen / Zielbildung – Programmierung – Kommando und Ausführung (vgl. Abschnitt 2.2.2 und Anhang A.2.1) [Sch00; Hei94]. Das Merkmal der **Vollständigkeit** wird durch die

Fehlerrate verkörpert. Der Benutzer sollte in der Lage sein, die ihm gestellten Aufgaben gänzlich abzuschließen. Rutscht ein Benutzer z.B. während einer Manipulationsaufgabe vom Schaltelement ab, so stellt dies eine unvollständige Aktion bzw. einen Fehler dar. Die dritte Qualitätsgröße für motorische Bewegungen ist die **Genauigkeit**. So kann eine schnelle Bewegung zu reduzierter Genauigkeit führen. Die Genauigkeit wird bei grafischen Benutzungsoberflächen durch die Größe von Bildschirmobjekten repräsentiert. Sehr kleine Objekte, wie z.B. Checkboxes oder Radiobuttons, erfordern eine genauere Positionierung als großflächige Schaltflächen (z.B. bei Buttons, Menu Items, etc.).

Die Definition der **Gebrauchstauglichkeit** greift auf die psychomotorischen Merkmale zurück [ISO 9241-11]: „Die Gebrauchstauglichkeit ist das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen.“ Wird diese Definition für Interaktionsgeräte angewendet, lassen sich die jeweiligen Indikatoren (oder Merkmalswerte) ableiten [Dix95]. Die Produkte sind in diesem Fall koordinatengebende Interaktionsgeräte. Der Nutzungskontext wird durch grafische Benutzungsoberflächen im industriellen Umfeld repräsentiert. Als Betriebssystem werden hier verstärkt Windows-Produkte eingesetzt. Die **Effektivität** wird durch die Genauigkeit und Vollständigkeit definiert, mit der ein Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen kann [ISO9241-9]. Bei Interaktionsgeräten müssen dabei durch die *Ausführungsform* Faktoren berücksichtigt werden, die durch Genauigkeit und Vollständigkeit zu einer erhöhten bzw. optimierten Benutzerleistung führen. Die **Effizienz** ist der im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzte Aufwand, mit dem ein Benutzer ein bestimmtes Ziel erreicht. Ein Interaktionsgerät ist effizient, wenn es unter geringem Aufwand an Zeit und Anstrengung benutzbar ist. Die **Zufriedenheit** kennzeichnet die Freiheit von Beeinträchtigungen und positiven Einstellungen gegenüber der Nutzung des Produktes [ISO9241-11]. In Tabelle 4-2 sind – bezogen auf die Interaktion mit grafischen Benutzungsoberflächen – die psychomotorischen Merkmale von Koordinatengebern den Indikatoren gegenübergestellt.

Tabelle 4-2 Psychomotorische Merkmale und Indikatoren

Psychomotorische Merkmale von Koordinatengebern	Psychomotorische Indikatoren (Messgrößen, Merkmalswerte)
Geschwindigkeit	Zeit (Aufgabenbearbeitung)
Vollständigkeit/Fehler	Versuchsanzahl (Fehlerrate)
Genauigkeit	Objektgröße (Exaktheit der Position)

Relevante generelle quantitative Variablen (*abhängige Variablen*) aus dem Bereich der Human Factors bei der Positionierung eines Positioniersymbols auf einem Bildschirm sind damit die **Geschwindigkeit** der Bewegung über kurze und lange Distanzen (Zeit), **Fehlerraten** (Versuchsanzahl) und **Genauigkeit** der Positionierung (Objektgröße).

Nachdem nachfolgend in den Abschnitten 4.1.3 und 4.1.4 zunächst auf die Messung dieser Indikatoren bei der Realisierung der Versuchsaufgaben eingegangen wird, werden in Abschnitt 4.1.5 die die Zufriedenheit der Nutzer bestimmenden individuellen Instrumente vorgestellt.

### 4.1.3 Realisierung der DEVICE-Versuchsaufgaben

Durch Kombination der **aktivitätsorientierten**, **grafischen** und **psychomotorischen** Merkmale wird die in Tabelle 4-3 dargestellte Aufgabenmatrix gebildet, aus welcher sich die für die Untersuchungsmethode DEVICE realisierten Aufgaben ergeben [Gal97].

Tabelle 4-3 Aufgabenmatrix zur Deduktion der in der Untersuchungsmethode DEVICE realisierten Aufgaben

Aktivitätsorientierte Merkmale			Grafische Merkmale		Psycho-motorische Merkmale	Realisierte Aufgaben
Tätigkeit	Handlung	Operation	Toplevel-Objekte	Basis-Objekte		
Aus einem Pull-down-Kaskaden-Menü ist ein bestimmter Eintrag auszuwählen.	CLICK	P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A	Menü	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Command Button</li> <li>• Menu Bar</li> <li>• Drop-Down Menu</li> <li>• Submenu</li> <li>• Menu Item</li> <li>• Textlabel</li> </ul>	Geschwindigkeit Vollständigkeit	<b>Menu (Menü)</b>
Fenster sind in einer bestimmten Reihenfolge anzuwählen.	CLICK	Mindestens: P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A	Fenster	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Command Button</li> <li>• Title Bar</li> <li>• Fensterleiste</li> <li>• Textlabel</li> </ul>	Geschwindigkeit Vollständigkeit Genauigkeit	<b>Window (Fenster)</b>
Es ist nacheinander auf bestimmte, verschiedenartig gestaltete Knöpfe zu drücken.	CLICK	P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A	Formular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Check Box</li> <li>• Radio Button</li> <li>• Command Button</li> <li>• Textlabel</li> </ul>	Geschwindigkeit Vollständigkeit Genauigkeit	<b>Button (Knöpfe)</b>
Es ist ein Eintrag aus einer Auswahlliste auszuwählen.	CLICK	P – S – A – P – S – A – P – S – A – P – S – A –	Menü	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drop-Down List Box</li> <li>• Command Button</li> <li>• Scroll Bar</li> <li>• Scroll Arrow (Icon)</li> <li>• Slider (Scroll Box)</li> <li>• Textlabel</li> </ul>	Geschwindigkeit Vollständigkeit	<b>Box (Auswahlliste)</b>
Es ist ein Textabschnitt zu markieren.	DRAG&DROP	P – S – M – A – P – S – A	Dialogbox	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Command Button</li> <li>• Text Box</li> <li>• Textlabel</li> </ul>	Geschwindigkeit Vollständigkeit Genauigkeit	<b>Text (Text)</b>
Es ist ein Rahmen auf eine vorgegebene Position und Größe aufzuziehen.	DRAG&DROP	P – S – M – A	Dialogbox	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Icon</li> </ul>	Geschwindigkeit Vollständigkeit Genauigkeit	<b>Rectangular (Rahmen)</b>
Eine vorgegebene Linie ist möglichst exakt nachzufahren.	DRAW	P – S – M – A	Dialogbox	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Icon</li> </ul>	Geschwindigkeit Vollständigkeit Genauigkeit	<b>Curve (Linie)</b>

Die konzipierten Versuchsaufgaben entsprechen Standard-Aufgaben bei grafischen Benutzungsoberflächen. Bei den Operationen werden dabei folgende Abkürzungen verwendet: Positionieren (P), Selektieren (S), Aktivieren (A), Manipulieren (M). Die entwickelten Aufgaben werden gemäß den englischen Begriffen für Toplevel- und Basis-Objekte bezeichnet, die dem Microsoft Windows Styleguide entnommen sind [Mic95].

Bei jeder Versuchsaufgabe wird das Merkmal der Geschwindigkeit durch die gemessene **Zeit** und das Merkmal der Vollständigkeit der Bewegung durch die benötigte **Versuchsanzahl** ermittelt. Das Merkmal der **Positioniergenauigkeit** wird durch die Aufgabengestaltung definiert. Aufgaben, die eine hohe Positioniergenauigkeit erfordern, sind die CLICK-Aufgaben Window und Button sowie die DRAG&DROP-Aufgaben Text, Rectangular und Curve (vgl. Anhang B.1).

Die in einem Testprogramm<sup>22</sup> realisierten Aufgaben und deren Besonderheiten werden nachfolgend beschrieben. Die in Klammern stehenden Begriffe geben dabei jeweils die Bezeichnungen der Basis-Objekte (Controls) nach dem Microsoft Windows Styleguide an. Zu den CLICK-Aufgaben zählen die in Abbildung 4-3 und in Abbildung 4-4 dargestellten Versuchsaufgaben Menu, Window, Button und Box.

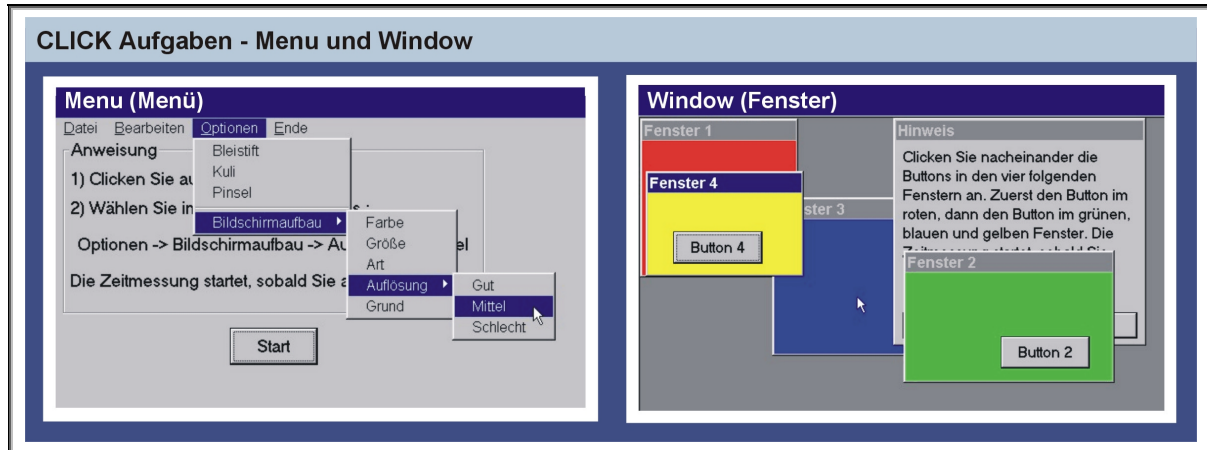


Abbildung 4-3 DEVICE CLICK-Versuchsaufgaben – Menu und Window

### Versuchsaufgabe Menu

Bei der Versuchsaufgabe Menu (siehe Abbildung 4-3) ist das Ziel, möglichst schnell aus einem Menü den Menüpunkt „Mittel“ zu aktivieren. Die **Zeit** wird mit der Betätigung der Schaltfläche (Command Button) „Start“ gestartet. Das Pulldown-Menü (Drop-Down Menu) öffnet sich durch das Menü-Initialfeld (Menu Name) „Optionen“ in der Menüleiste (Menu Bar). Im Pulldown-Menü zeigt ein Pfeil (Cascading Menu Indicator) weitere Untermenüs (Submenu) an. In diesen Kaskadenmenüs (Cascading Menu) müssen die Menüpunkte (Menu Item) „Bildschirmaufbau“ – „Auflösung“ – „Mittel“ ausgewählt werden. Die Zeit wird gestoppt, wenn „Mittel“ aktiviert wird. Wenn versehentlich ein anderer Menüeintrag aktiviert wird, erscheint eine Fehlermeldung, der Versuch wird als fehlerhafter Versuch registriert und die **Versuchszahl** erhöht sich um eins. In diesem Fall muss erneut mit „Start“ die Zeitnahme aktiviert werden.

### Versuchsaufgabe Window

Bei der Versuchsaufgabe Window (siehe Abbildung 4-3) müssen in den Fenstern nacheinander die Schaltflächen (Command Button) in der Reihenfolge „Button 1“ – „Button 2“ – „Button 3“ – „Button 4“ aktiviert werden. Die **Zeit** wird im Fenster „Hinweis“ durch Aktivieren der Schaltfläche (Command Button) „Weiter“ gestartet und bei Aktivierung von „Button 4“ gestoppt. Bei dieser Aufgabe werden besonders die **kognitiven Mechanismen** des Menschen im Zusammenspiel mit **feinmotorischen Fähigkeiten** angesprochen: Der Benutzer muss sich bei dieser Aufgabe merken, welche Schaltflächen er schon gedrückt hat; die Schaltflächen<sup>23</sup> in den einzelnen Fenstern bleiben nach Aktivierung nicht gedrückt und kehren in den Ursprungszustand zurück. Weiterhin wird diese Aufgabe dadurch erschwert, dass sich die Fenster gegenseitig überdecken. Teilweise muss erst das Fenster

<sup>22</sup> Das Testprogramm ist am Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung (<http://www.uni-kl.de/pak>) erhältlich.

<sup>23</sup> Die Schaltflächen stellen Aktionsschaltflächen dar, welche eine Funktion auslösen. Im Gegensatz dazu bleiben Parametrierungsschaltflächen zur Zuweisung von Attributen, wie z.B. „Schrift Fett“, gedrückt bis sie deaktiviert werden.

über die Fensterfläche (Window Frame) oder die Fensterleiste (Title Bar) aktiviert werden und in den Vordergrund gebracht werden, um die Schaltfläche sichtbar zu machen. Eine besonders hohe **Positioniergenauigkeit** ist bei „Fenster 4“ notwendig, das am Ende der Versuchsaufgabe hinter „Fenster 1“ und „Fenster 3“ nahezu verborgen ist. Wird eine Schaltfläche in der falschen Reihenfolge bzw. direkt hintereinander betätigt, erscheint eine Fehlermeldung, der Versuch wird als fehlerhafter Versuch registriert und die **Versuchsanzahl** erhöht sich um eins. Bei Fehlversuchen muss im Fenster „Hinweis“ mit der Schaltfläche „Weiter“ die Versuchsaufgabe erneut gestartet werden.

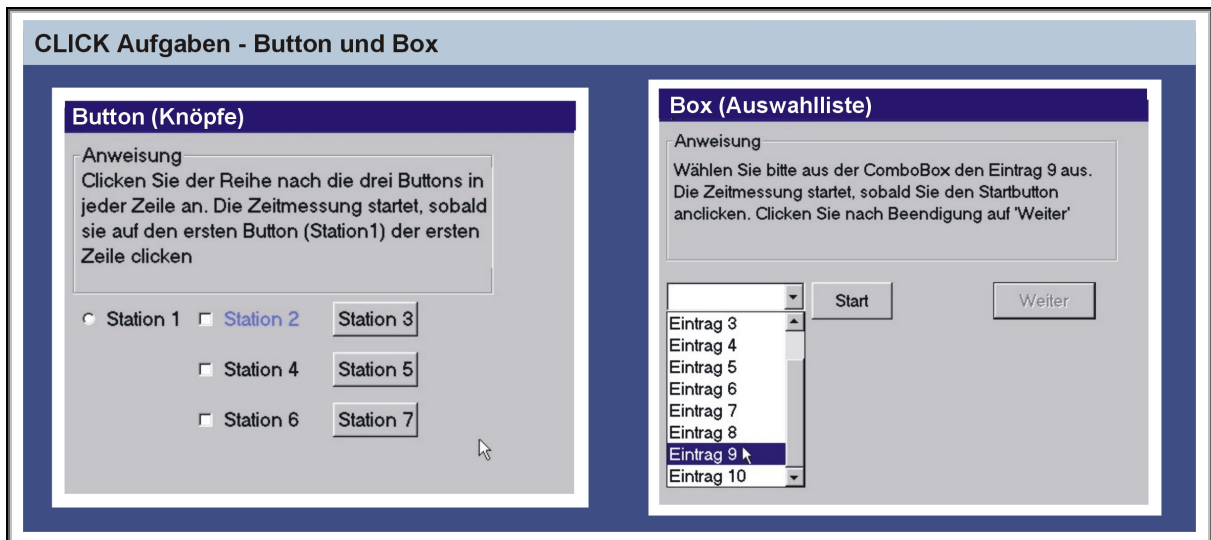


Abbildung 4-4 DEVICE CLICK-Versuchsaufgaben – Button und Box

### Versuchsaufgabe Button

Bei der Versuchsaufgabe Button (siehe Abbildung 4-4) müssen nacheinander die Schaltflächen (Radio Button, Check Box, Command Button) in jeder Zeile in der Reihenfolge (1, 2, 3, ...,7) aktiviert werden. Bei der Durchführung der Aufgabe muss sich der Benutzer abwechselnd auf die sehr kleinen Schaltflächen (Check Box und Radio Button) mit hohen Ansprüchen an die **Positioniergenauigkeit** und die größeren Aktionsschaltflächen (Command Button) mit geringeren Ansprüchen an die Positioniergenauigkeit konzentrieren. Die **Zeit** wird mit Aktivierung von „Button 1“ (Radio Button) gestartet und bei Aktivierung von „Button 7“ gestoppt. Die korrekte Aktivierung der Schaltflächen wird visuell durch Punkt (Radio Button), Haken (Check Box) oder OK (Command Button) bestätigt. Wird eine Schaltfläche in der falschen Reihenfolge bzw. mehrfach betätigt, erscheint eine Fehlermeldung, der Versuch wird als fehlerhafter Versuch registriert und die **Versuchsanzahl** erhöht sich. Bei Fehlversuchen muss die Versuchsaufgabe mit Aktivierung von „Button 1“ erneut gestartet werden.

### Versuchsaufgabe Box

Ziel bei der Versuchsaufgabe Box (siehe Abbildung 4-4) ist, den Menüeintrag 9 aus einer Auswahlliste zu aktivieren. Die **Zeit** wird gestartet, wenn die Schaltfläche (Command Button) „Start“ aktiviert wird. Um die Auswahlliste (Combo Box, Drop-Down List Box) anzuzeigen, muss die Schaltfläche mit dem Pfeil (Drop-Down Arrow Button) aktiviert werden. Diese Aktivierung erfordert eine mittlere **Positioniergenauigkeit**. Zunächst werden nur die Items „Eintrag 1“ bis „Eintrag 8“ angezeigt. Die angezeigte Liste muss nun durch CLICK auf die untere Pfeilschaltfläche (Scroll Arrow) oder durch DRAG&DROP des Sliders (Scroll Box) verschoben werden bis „Eintrag 9“ sichtbar wird. Die Zeit wird gestoppt,

wenn „Eintrag 9“ aktiviert wird. Sollte ein anderes Item als „Eintrag 9“ aktiviert werden, erscheint eine Fehlermeldung, der Versuch wird als fehlerhafter Versuch registriert und die **Versuchsanzahl** erhöht sich um eins. Bei Fehlversuchen muss die Versuchsaufgabe mit Aktivierung der Schaltfläche „Start“ erneut gestartet werden.

Zu den DRAG&DROP- bzw. DRAW-Aufgaben zählen die in Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6 dargestellten Versuchsaufgaben Text, Rectangular und Curve.

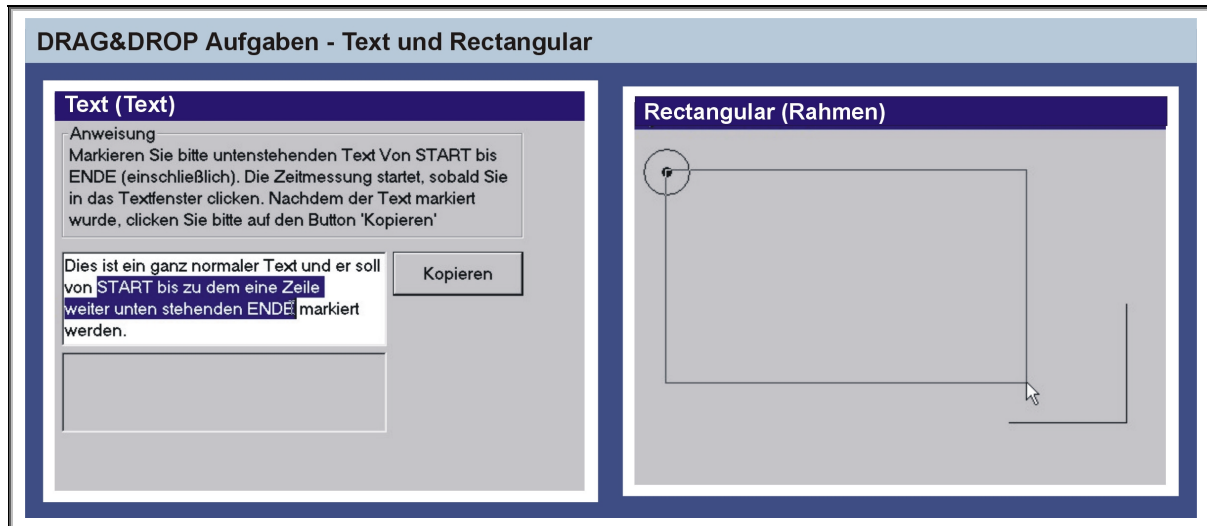


Abbildung 4-5 DEVICE DRAG&DROP-Versuchsaufgaben – Text und Rectangular

### Versuchsaufgabe Text

Bei der Versuchsaufgabe Text (siehe Abbildung 4-5) muss ein Text durch Manipulieren markiert werden. Die **Zeit** startet, wenn im hell hinterlegten Textfeld (Text Box) das Schaltelement des Interaktionsgerätes selektiert wird. Die Selektion muss genau vor dem Wort START erfolgen, die Aktivierung genau hinter dem Wort ENDE, die Manipulation dazwischen kann beliebig erfolgen. Die Markierung darf für eine gültige Zeitmessung vor START und hinter ENDE keine Leerzeichen enthalten, d.h., bei dieser Manipulationsaufgabe ist eine besonders hohe **Positioniergenauigkeit** beim Selektieren und Aktivieren erforderlich. Die Zeit wird gestoppt, wenn nach dem Markieren des Textes die Schaltfläche „Kopieren“ aktiviert wird. Wenn nicht der exakte Text markiert wird, erscheint eine Fehlermeldung, der Versuch wird als fehlerhafter Versuch registriert und die **Versuchsanzahl** erhöht sich um eins. Bei Fehlversuchen muss die Versuchsaufgabe erneut gestartet werden.

### Versuchsaufgabe Rectangular

Bei der Versuchsaufgabe Rectangular (siehe Abbildung 4-5) muss ein Rechteck aufgezo- gen werden, bis dessen rechte Ecke deckungsgleich mit einem rechts abgebildeten Winkel ist. Die **Zeit** wird gestartet, wenn der Punkt im Kreis links oben selektiert wird. Durch Aktivieren wird die Aufgabe beendet und die Zeit gestoppt. Die Toleranz der **Positionsgenauigkeit** beim Selektieren (Kreis mit Punkt) und Aktivieren (Rahmen auf Winkel) beträgt in der Regel +/- 3 Pixel, um die Aufgabe für die Benutzer nicht unnötig zu erschweren. Wird bei der Testkonfiguration in der Anfangsmaske unter „Eingabegeräte“ das Item "Touchscreen 1" ausgewählt, ist die Toleranz am Anfang (Punkt in Kreis) und am Ende (Rahmen auf Winkel) mit +/- 10 Pixel größer als bei den anderen Geräten. Positionierungsfehler werden am Anfang durch fehlerhaftes Selektieren und am Ende durch fehler-



haftes Aktivieren außerhalb der Toleranz ausgelöst. Es erscheint eine Fehlermeldung, der Versuch wird als fehlerhafter Versuch registriert und die **Versuchsanzahl** erhöht sich um eins. Bei Fehlversuchen muss die Versuchsaufgabe erneut durch Selektion des Punktes im Kreis gestartet werden.

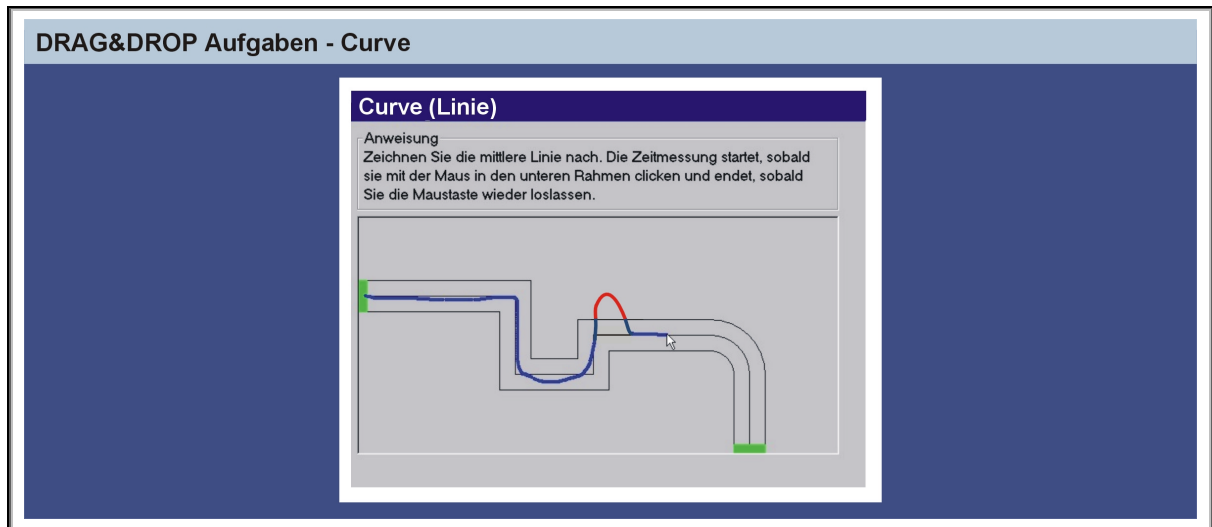


Abbildung 4-6 DEVICE DRAG&DROP-Versuchsaufgaben – Curve

### Versuchsaufgabe Curve

Bei der Versuchsaufgabe Curve (siehe Abbildung 4-6) soll durch Manipulation das *Positioniersymbol*, das eine Spur nach sich zieht, möglichst genau entlang der mittleren Linie zum rechten unteren grünen Feld bewegt werden. Das Hinterlassen einer Spur spezifiziert diese DRAG&DROP-Aufgabe zu einer DRAW-Aufgabe<sup>24</sup>. Die **Zeit** wird gestartet, wenn im unteren, nach hinten versetzten Feld das Schaltelement des Interaktionsgerätes selektiert wird; die Zeit wird gestoppt, wenn das Schaltelement aktiviert wird. Die Selektion muss genau auf dem linken grünen Feld und die Aktivierung genau auf dem rechten grünen Feld erfolgen. Wird die Aufgabe nicht auf dem linken grünen Feld durch Selektieren begonnen oder erfolgt innerhalb der Kontur bzw. nicht genau auf dem grünen Feld eine Aktivierung, erscheint eine Fehlermeldung. Der Versuch wird als fehlerhafter Versuch registriert und die **Versuchsanzahl** erhöht sich um eins. Bei Fehlversuchen muss die Versuchsaufgabe erneut durch Selektion des linken grünen Feldes gestartet werden. Zum exakten Nachfahren der Linie ist eine hohe **Positioniergenauigkeit** erforderlich. Es erscheint allerdings keine Fehlermeldung, wenn die Kontur nicht nachgefahren wird, da nur der grüne Anfangs- und Endpunkt bei Selektion und Aktivierung von dem Softwareprogramm überprüft werden. Die von der Spur des Positioniersymbols erzeugten Linienpunkte werden innerhalb des eingezeichneten Korridors blau („Punkte gültig“) und außerhalb rot („Punkte ungültig“) dargestellt. Die Probanden sollen nicht abbrechen, wenn das Positioniersymbol außerhalb des Korridors ist (Rot). Wird das Positioniersymbol (bzw. das Positionierelement am Interaktionsgerät) schnell bewegt, so werden nur wenige Linienpunkte erzeugt, bei langsamer Bewegung werden viele Linienpunkte erzeugt. Aus der Anzahl der gültigen und ungültigen Punkte kann die **Positioniergenauigkeit** in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit abgeleitet werden.

<sup>24</sup> Vereinfachend wird bei der Aufgabe Curve im folgenden von einer DRAG&DROP-Aufgabe gesprochen, da DRAW-Aufgaben eine Unterklasse der DRAG&DROP-Aufgaben darstellen.

## Gemessene Variablen (Mess- oder Merkmalswerte)

Das Versuchssystem zeichnet alle für die rechnerische Auswertung der Versuche notwendigen Daten anonym in einer Protokolldatei (Logfile) auf. In Abbildung 4-7 ist ein Ausschnitt einer solchen Protokolldatei dargestellt.

Eingabegerät	Variablen	Reihenfolge	Aufgaben	Abbruch erfolgt	Kein Abbruch				
Joystick 1	Gesamtzeit letzter Versuch Anzahl Versuche Abbruch Punkte gültig Punkte ungültig	Reihenfolge B	Menü Test	4 Fenster Test	7 Buttons Test	Rechteck Test	Markierungs Test	Genauigkeits Test	Combobox Test
		31,094	59,865	59,091	29,098	31,354	165,279	33,974	
		31,094	59,865	59,091	29,098	31,354	93,377	33,974	
		1	1	1	1	1	4	1	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
Mousetick2	Gesamtzeit letzter Versuch Anzahl Versuche Abbruch Punkte gültig Punkte ungültig	Reihenfolge C	Menü Test	4 Fenster Test	7 Buttons Test	Rechteck Test	Markierungs Test	Genauigkeits Test	Combobox Test
		34,725	57,218	41,047	12,476	17,915	131,276	26,057	
		34,725	57,218	41,047	12,476	17,915	1,851	26,057	
		1	1	1	1	1	7	1	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
Touchscreen 1	Gesamtzeit letzter Versuch Anzahl Versuche Abbruch Punkte gültig Punkte ungültig	Reihenfolge D	Menü Test	4 Fenster Test	7 Buttons Test	Rechteck Test	Markierungs Test	Genauigkeits Test	Combobox Test
		43,297	21,596	11,046	10,345	23,058	144,06	36,65	
		7,463	21,596	11,046	10,345	23,058	30,06	36,65	
		2	1	1	1	1	8	1	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	
		okay	okay	okay	okay	okay	okay	okay	

Anzahl der Versuche  $N_a$   
 Benötigte Zeit für den letzten (erfolgreichen) Versuch  $t_l$  [s]  
 Benötigte Gesamtzeit zur Lösung der Aufgabe  $t_t$  [s]  
 Anzahl der Punkte innerhalb des Korridors (Aufgabe "Linie")  $P_v$   
 Anzahl der Punkte außerhalb des Korridors (Aufgabe "Linie")  $P_i$

Abbildung 4-7 Ausschnitt aus einer DEVICE-Protokolldatei mit den gemessenen Variablen (Merkmalswerte)

Sowohl das bei der Testkonfiguration in der Anfangsmaske unter „Eingabegeräte“ ausgewählte Interaktionsgerät als auch die Bearbeitungsreihenfolge der Aufgaben werden festgehalten. Als Variablen werden die zur Lösung der Aufgabe benötigte Gesamtzeit, die Zeit, die für den letzten (erfolgreichen) Versuch benötigt wurde und die Anzahl der benötigten Versuche protokolliert. Beim Nachziehen der Linie werden zusätzlich noch die Anzahl der Punkte innerhalb und außerhalb der vorgegebenen Toleranzgrenze registriert. Sie sind in der Datei als gültige und ungültige Punkte bezeichnet. Ebenso wird der Abbruch einer Aufgabe vermerkt. Die Interaktionsgeräte müssen vor Versuchsbeginn durch Angabe der im Versuch verwendeten Bezeichnung (Gruppe und Nummer) ausgewählt werden.

### 4.1.4 Realisierung der FITTS-Versuchsaufgaben

Zusätzlich zu den konzipierten DEVICE-Aufgaben werden bestimmte Geräte nach FITTS LAW (im folgenden kurz FITTS genannt) getestet, um diesen international verbreiteten Teststandard zu berücksichtigen und um Unterschiede oder Übereinstimmungen zwischen der Testmethode DEVICE und FITTS festzustellen. Beide Untersuchungsmethoden sind in einem Programm eingebunden und können getrennt voneinander ausgeführt werden. Basierend auf dem Originalexperiment von FITTS und den in Abschnitt 2.4.5 und im Anhang A.5.4 vorgestellten Studien wird ein FITTS Test mit verschiedenen CLICK und DRAG&DROP-Versuchsaufgaben erstellt (vgl. Anhang B.1).



## CLICK und DRAG&DROP-Versuchsaufgaben

Die Aufgaben zur Ermittlung des Leistungsindex (IP) für horizontale und vertikale Bewegungen werden mit CLICK und DRAG&DROP Aktionen durchgeführt. Bei den multidirektionalen Bewegungen werden zur Reduzierung des Versuchsumfangs und zur Entlastung der Probanden nur CLICK-Aktionen untersucht (vgl. Abbildung 4-8).

Bei den **CLICK-Aufgaben** besteht die Aufgabe für die Versuchspersonen darin, das Positioniersymbol mit dem jeweiligen Eingabegerät abwechselnd von einem Zielobjekt zum anderen zu positionieren, dieses zu selektieren und zu aktivieren. Bei den **DRAG&DROP-Aufgaben** müssen die Objekte bei gedrückt gehaltener Taste auf das andere Feld gezogen werden (Manipulieren). Die Objekte müssen mit einer Toleranz von +/- 5 Pixel übereinander liegen, wenn die Aktivierung erfolgt. Das Zielobjekt ist immer grün und das alternative Objekt schwarz hinterlegt. Sobald das Zielobjekt aktiviert wird, wird dieses schwarz und das alternative Objekt wird grün. So kann genau verfolgt werden, mit welchem Objekt die nächste Aktion auszuführen ist. Für die Versuchsperson gilt bei CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben die einfache Regel: „Drücke immer das grüne Objekt“. Die Anzahl der Wiederholungen kann im Menüpunkt Konfiguration durch Angabe der Zeitdauer (Time) oder Anzahl der Aktivierungen des Zielobjekts (Hits) eingegeben werden. Die Probanden sehen dabei die Restzeit bzw. Aktivierungsanzahl in der Statusleiste. Die Zeitmessung wird gestartet, wenn das erste grüne Objekt aktiviert wird und gestoppt, wenn die angegebene Zeit oder die Aktivierungsanzahl abgelaufen ist.

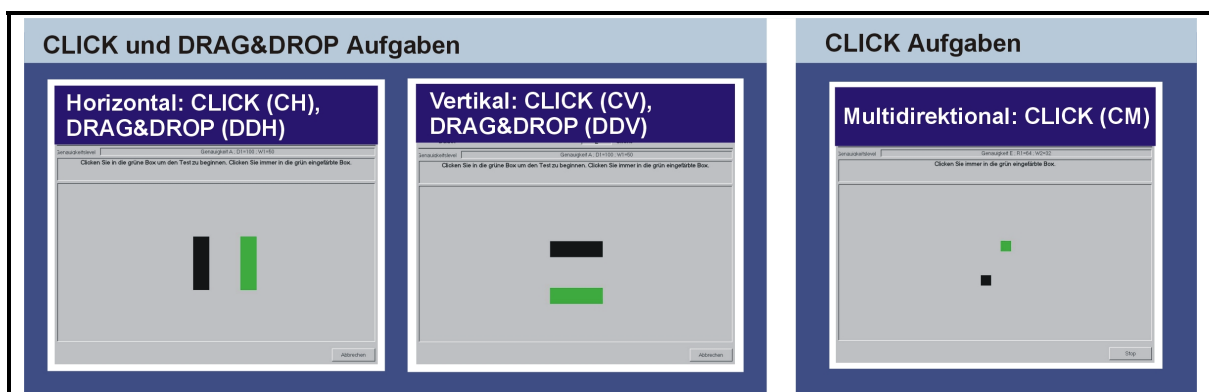


Abbildung 4-8 Fitts Versuchsaufgaben

Zusätzliche Versuchsaufgaben sind nach [ISO9241-9] realisiert: Z.B. einen Punkt unidirektional innerhalb einer Kontur bewegen, einen Punkt unidirektional innerhalb einer sich verjüngenden Kontur bewegen oder einen Punkt innerhalb einer kreisförmigen Kontur bewegen. Bei dieser Untersuchung werden sie nicht verwendet, da diese Art von Aufgaben einerseits sich teilweise in DEVICE wiederfindet (Aufgabe Curve) und da andererseits diese Aufgabentypen kaum von den Versuchsleitern, die nach FITTS LAW Interaktionsgeräte untersuchen, angewendet werden und daher sehr wenig Forschungsergebnisse diesbezüglich existieren. Weiterhin ist der Fokus dieser Arbeit auf die Untersuchungsmethode DEVICE gerichtet und die Probanden sollen nicht mehr als notwendig belastet werden, denn die übrigen Versuche nach FITTS sind sehr zeitintensiv. Eine Beschreibung des gesamten Software-Programms befindet sich im Anhang B.1.

Das Gesetz von FITTS besagt, dass die Bewegungszeit (MT) bei Zielaufgaben linear abhängig ist von der Bewegungsamplitude (A) und der Zielbreite (W). Durch Variation der Parameter A und W ergeben sich verschiedene **Abstands- und Breitenkonstellationen**, die den Grad der Schwierigkeit (ID, Index of Difficulty) wiedergeben. Diese Parameter werden so gewählt, dass sich nach der Original-Gleichung (2.1) von FITTS ganzzahlige

Schwierigkeitsindizes (ID) ergeben (vgl. Abschnitt 2.4.5). Für die Aufgaben CLICK Horizontal (CH), CLICK Vertikal (CV), DRAG&DROP Horizontal (DDH), DRAG&DROP Vertikal (DDV), CLICK Multidirektional (CM) werden die Versuche mit jeweils sechs Breiten-Abstands-Konstellationen pro Eingabegerät durchgeführt (vgl. Anhang B.1.4).

### Gemessene Variablen (Mess- oder Merkmalswerte)

Das Versuchssystem zeichnet alle für die rechnerische Auswertung der Versuche notwendigen Daten anonym in einer Protokolldatei (Logfile) auf. Abbildung 4-9 zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen Protokolldatei.

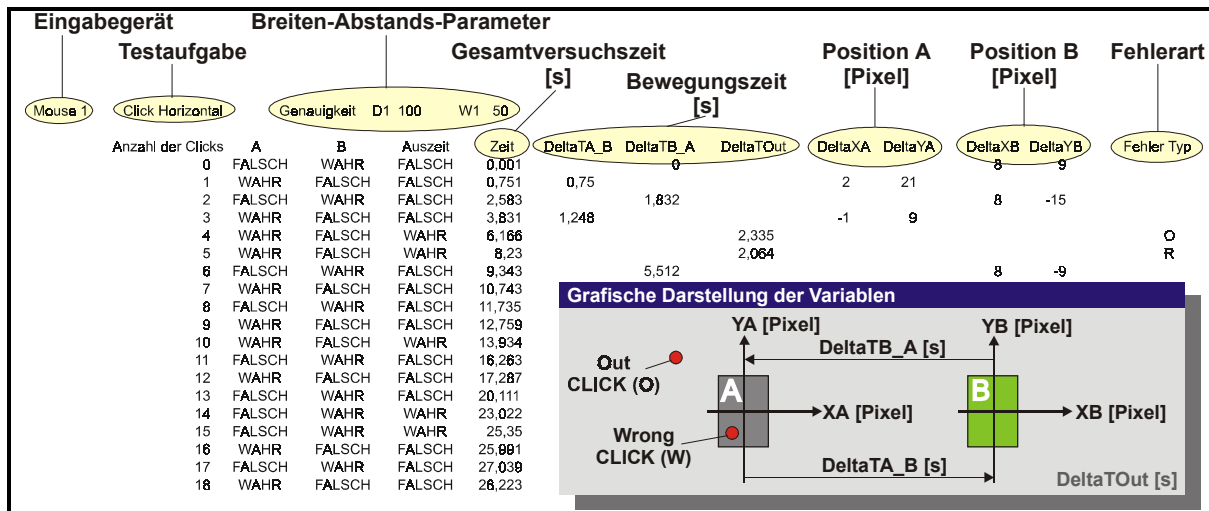


Abbildung 4-9 Auszug aus der Protokolldatei FITTS

In der Kopfzeile befinden sich Angaben über das getestete Gerät, die Aufgabenart sowie über die Breiten- und Abstandsparameter, die für die Bildung des Schwierigkeitsindex benötigt werden. Die Variablen werden in Tabelle 4-4 erläutert.

Neben dem Leistungsindex (IP) können aus der Protokolldatei auch Angaben über die Auszeit und über die **Positioniergenauigkeit** gemacht werden. Die Auszeit (Time Out) gibt an, wie lange die Versuchsperson benötigt, um eine Fehlaktion zu revidieren. Mit Hilfe der Positioniergenauigkeit ist es möglich, Angaben über die Position des durchschnittlichen Aktivierungspunktes bei den CLICK-Aufgaben zu machen. Dazu wird ein Koordinatensystem in den Objektmittelpunkt gelegt (vgl. Abbildung 4-9). Die Koordinaten des Auftreffpunktes – gemessen vom Koordinatenursprung – werden durch das Programm aufgezeichnet und in der Protokolldatei in Pixel ausgegeben.

Tabelle 4-4 Beschreibung der Variablen bei FITTS

Spalte	Erklärung
Anzahl der CLICK	Anzahl der CLICKS, die benötigt werden. Bei vertikalen und horizontalen Bewegungen muss dieser Bewegungsablauf 14 Mal wiederholt werden, bei multidirektionalen Bewegungen, bei denen die Zielobjekte eine Kreisbahn beschreiben, 25 Mal. Wird das Objekt verfehlt, dann erhöht sich die Anzahl der CLICK-Aktionen.
A und B	Boolesche Variablen, die beschreiben, ob das Ziel getroffen wurde oder nicht. WAHR steht für „grün“ ; FALSCH für „schwarz“
Auszeit	Boolesche Variable. Es erscheint FALSCH, wenn das Objekt getroffen wurde, also nicht Out war.
Zeit	Kumulierte Zeit, die für die Bearbeitung der Aufgabe benötigt wurde. Zeit gemessen in Sekunden
DeltaTA_B	Zeit, die benötigt wurde um Objekt B zu aktivieren, nachdem Objekt A aktiviert wurde. Zeit gemessen in Sekunden. Daraus ergibt sich die Bewegungszeit (MT, Movement Time).
DeltaTB_A	Zeit, die benötigt wurde, um Objekt A zu aktivieren, nachdem Objekt B aktiviert wurde. Zeit gemessen in Sekunden. Daraus ergibt sich die Bewegungszeit (MT, Movement Time).
DeltaTOut	Zeit, die vergeht, wenn ein Bereich getroffen wird, der außerhalb von Objekt A und B liegt. Zeit gemessen in Sekunden.
DeltaXA	Abweichung des Treffpunktes innerhalb des Objektes A vom Mittelpunkt in X- Koordinatenrichtung. Abweichung gemessen in Pixel.
DeltaYA	Abweichung des Treffpunktes innerhalb des Objektes A vom Mittelpunkt in Y- Koordinatenrichtung. Abweichung gemessen in Pixel.
DeltaXB	Abweichung des Treffpunktes innerhalb des Objektes B vom Mittelpunkt in X- Koordinatenrichtung. Abweichung gemessen in Pixel.
DeltaYB	Abweichung des Treffpunktes innerhalb des Objektes B vom Mittelpunkt in Y- Koordinatenrichtung. Abweichung gemessen in Pixel.
Fehlerart	O (Out): CLICK außerhalb der Objekte A und B; W (Wrong): CLICK nicht auf Zielobjekt sondern auf anderes Objekt ; R (Repeat) Wiederholungsfehler, Wiederholung von O oder W; BD (Bad Drag und Bad Drop): fehlerhafte DRAG oder DROP-Positionierung

#### 4.1.5 Individuelles Instrumentarium

Neben den im Testprogramm realisierten Versuchsaufgaben zur Ermittlung genereller quantitativer Merkmale enthält die Untersuchungsmethode noch die individuellen Instrumente **Befragungen** und **Beobachtungen**, die nutzerspezifische Variablen, wie z.B. die Anwenderzufriedenheit bzw. die Benutzungsfreundlichkeit, analysieren. Die Zufriedenheit wird dabei durch die Freiheit von Beeinträchtigungen und die Summe der positiven Einstellungen gegenüber der Nutzung des Produktes definiert.

#### Der persönliche Fragebogen

Zusätzlich zu den im Versuch gemessenen Werten sollen subjektive Empfindungen, Meinungen und Einschätzungen der Versuchsperson über das jeweilige Interaktionsgerät ermittelt werden. Dazu erhält der Proband am Ende jedes Versuchsblocks einen Fragebogen, in dem nach bestimmten methodischen Regeln verschiedene Faktoren von Interaktionsgeräten zusammengestellt sind und durch die Vergabe von Noten bewertet werden können [Fow95]. Die Untersuchungsteilnehmer müssen selbstständig einen vorgelegten Fragenkatalog schriftlich bearbeiten. Es wird zwischen offenen Fragen (keine vorgeschriebene Antwort, sondern freies Niederschreiben) und geschlossenen Fragen (vorformulierte Antworten, zwischen denen sich der Befragte entscheiden muss) unterschieden. Bei den geschlossenen Fragen werden Alternativantworten oder Skala-Antworten vorgegeben. Die Eindrücke der Interaktionsgeräte für die jeweiligen Testaufgaben werden durch eine 5-stufige Beurteilungs-Skala ermittelt [Bor95]. Um auch Angaben zu Empfindungen machen zu können, die durch den Fragebogen nicht direkt abgedeckt werden, besteht für die Probanden die Möglichkeit ein kurzes Statement zu den getesteten Geräten abzugeben.

Im Fragebogen sind die Eingabelemente nach Block und ihrer Nummer im Block codiert. Zur Decodierung und zur besseren Erinnerung werden dem Probanden Photos des Ein-

gabeelements mit Codennummer vorgelegt. Ebenso kann der Proband die getesteten Eingabegeräte untersuchen. Nach allgemeinen **demografischen Auskünften**, wie z.B. persönliche Erfahrungen mit Eingabeelementen, sollen vom Probanden zunächst einige **Eigenschaften** der Eingabegeräte wie Formgebung, Handhabbarkeit oder Erlernbarkeit beurteilt werden. Des Weiteren soll bewertet werden, inwieweit sich das Eingabegerät eignet, um die gestellten Aufgaben zu lösen. Die **Einsatzfähigkeit** der Eingabeelemente für die elementaren Interaktionsoperationen (EIM) Positionieren, Selektieren und Manipulieren soll beurteilt werden. Ebenfalls sollen **Beschwerden** an Fingern, Hand, Handinnenfläche, Arm oder Schulter dokumentiert werden. Außerdem wird gefragt, wie das Eingabeelement im Gesamteindruck einzustufen ist. Dazu müssen die Probanden als Alternativenantworten die Interaktionsgeräte in eine **Rang-Reihenfolge** bringen. Der verwendete Fragebogen ist im Anhang B.2.2 aufgeführt.

### Die Beobachtungen des Versuchsleiters

Da empirische Methoden auf Sinneserfahrungen wie Wahrnehmungen oder Beobachtungen beruhen, kann keine Datenerhebungsmethode auf *Beobachtungen* verzichten [Att95]. Wenn Objekte, Indikatoren oder Merkmale quantitativ erfasst werden, müssen sie zunächst gesehen bzw. beobachtet werden. Damit beruht in einem sehr allgemeinen Begriffsverständnis jede Datenerhebung auf Beobachtung. In diesem Fall wird darunter die kontrollierte und systematische Fremdbeobachtung der Probanden beim Gebrauch von Interaktionsgeräten durch den Versuchsleiter verstanden.

Die Beobachtungsmethoden und die verwendeten Instrumente gewährleisten durch methodische und zielgerichtete Prüfung die Selbstreflexion, Systematik und Kontrollierbarkeit der Beobachtung [Bor95]. Als Ergebnis der Beobachtung werden Zusammenhänge, Details, Hintergründe, Schwachstellen/Vorzüge oder Trendaussagen erwartet. Damit werden neben quantitativen Daten wichtige **qualitative Daten** erzeugt, die einen interpretativen Zugang zum beobachteten Geschehen ermöglichen. So können durch das Sammeln von Eindrücken und Informationen des Versuchsleiters erste Hypothesen über die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten entwickelt werden. Zu den im Beobachtungsprotokoll festgehaltenen Informationen gehören u.a. Aussagen über die Verwendung eines Hilfsmittels bei einem Versuchsgerät. Hier wird z.B. notiert, ob die zweite Hand zum Festhalten des Schaltelements bei DRAG&DROP-Aufgaben oder Hilfsmittel bei der Interaktion mit dem Touchscreen verwendet werden. Weiterhin wird u.a. dokumentiert, ob eine Person Versuche ohne Wertung zu Übungszwecken durchgeführt hat und welche Ursachen für die fehlerhafte Durchführung von Aufgaben bestehen. Die Vorlagen für das Beobachtungsprotokoll befinden sich im Anhang B.2.3.

Die Beobachtung erfolgt dabei während der Bearbeitung der Versuchsaufgaben nicht-teilnehmend und offen. Die nicht-teilnehmende Beobachtung bietet den Vorteil, dass sich der Beobachter vollständig auf das Geschehen und das Protokollieren konzentrieren kann. Bei der offenen Beobachtung ist den Personen bekannt, dass sie beobachtet werden, der Versuchsleiter befindet sich im gleichen Raum wie der Proband. Dies hat den Vorteil, dass der Versuchsleiter für Erläuterungen zur Verfügung steht.

Wie das Instrumentarium aus Versuchsaufgaben, Befragungen und Beobachtungen anzuwenden ist, damit die so erzielten Resultate objektiv, zuverlässig und nachprüfbar sind, wird im folgenden Abschnitt erläutert.

### 4.1.6 Testgütekriterien

Der primäre Anspruch an die Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten liegt darin, von den gemessenen Variablen auf die tatsächliche Ausprägung des getesteten Merkmals schließen zu können. Um dies zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die Testmethodik einigen besonderen Anforderungen genügt. Die Frage der Anforderungen ist Gegenstand der Testtheorie [Kra95]. Die aus der Testtheorie wichtigste gestellte Anforderung ist die *Qualität*. Die Qualität eines Tests bzw. Fragebogens lässt sich an den drei Kriterien der *Testgüte Objektivität, Reliabilität* und *Validität* festmachen, deren jeweilige Erfüllung Voraussetzung für das jeweilig folgende Kriterium ist [Bor95; Lie94] (vgl. Anhang B.5). Bezüglich der Praktikabilität wird ein weiteres Kriterium verwendet, das als *Utilität* bezeichnet wird. Die diesen Kriterien zugrunde liegenden Fragestellungen lauten:

- **Objektivität:** Gewährleistet das Instrumentarium, dass verschiedene Anwender bzgl. eines zu beurteilenden Interaktionsgerätes zu identischen Ergebnissen kommen?
- **Reliabilität:** Ist die *Zuverlässigkeit* bzw. Genauigkeit der Ergebnisse, z.B. bei einer Wiederholungsmessung, ausreichend hoch?
- **Validität:** Identifiziert das Instrumentarium tatsächlich die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten (*Gültigkeit*)?
- **Utilität:** Stehen Aufwand und Ergebnisse der Untersuchung von Interaktionsgeräten in einem angemessenen Verhältnis?

Es kann von einer augenscheinlichen **Objektivität** ausgegangen werden, da bei der Untersuchungsmethode festgelegt ist, wie der Test durchzuführen, auszuwerten und das Ergebnis zu interpretieren ist. Sowohl bei der Durchführung der DEVICE- und FITTS-Versuchsaufgaben als auch bei der Bearbeitung der Fragebögen wird ein hohes Maß an **Durchführungsobjektivität** dadurch erreicht, dass den Probanden sowohl in schriftlicher als auch in verbaler Form die verschiedenen Testaufgaben erläutert werden. Bei der erstmaligen Durchführung werden gezielte Hinweise bezüglich eventuell auftretender Schwierigkeiten gegeben. Dabei wird besonders darauf geachtet, dass immer die gleichen Hinweise gegeben werden. Bei der Beantwortung des Fragebogens wird den Testpersonen jedes Eingabegerät in Form eines Bildes vorgelegt, um die Zuordnung zu erleichtern. Somit wird verhindert, dass der Versuchsleiter bei Erinnerungsschwierigkeiten das Gerät beschreiben muss und so gegebenenfalls subjektive Empfindungen in seine Erklärungen mit einfließen. Beim Fragebogen müssen die Versuchspersonen anhand einer fünfstufigen Beurteilungsskala einzelne Eigenschaften bewerten. Da die weitere Auswertung der Daten per Software erfolgt, kann hier von einer vollständigen **Auswertungsobjektivität** ausgegangen werden. Dadurch, dass das Aufarbeiten des Datenmaterials in einem spezifischen theoretischen Kontext erfolgt, kann die **Interpretationsobjektivität** gewährleistet werden. Die Objektivität bildet die Grundlage für die Reliabilität des Verfahrens [Lie94].

Die **Reliabilität** (Zuverlässigkeit) gibt den Grad der Messgenauigkeit (Präzision) eines Instrumentes an. Angewandt auf die zu entwickelnde Untersuchungsmethode bedeutet dies die Genauigkeit, mit der die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten erfasst wird. Die Erfüllung der Reliabilitätsanforderungen bei der Untersuchung von Interaktionsgeräten wird durch die konsistente Messung der psychomotorischen Merkmale Geschwindigkeit der Bewegung (Zeit), Fehlerraten (Versuchszahl) und Genauigkeit der Positionierung (Objektgröße) mit einem Rechnersystem gewährleistet. Minimale Messgenauigkeiten werden relativiert, da sie bei jeder Testperson und jeder Testaufgabe in

gleichem Umfang auftreten. Auftretende Varianzen werden durch statistische Kennwerte wiedergegeben. Als prinzipielle Lösung zur Ermittlung der Reliabilität zwischen verschiedenen Untersuchungen wird die **Test-Retest-Methode** verwendet, bei der durch unabhängige Messung der Merkmale die identischen Interaktionsgeräte innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls wiederholt untersucht werden [Bor95]. Bei hoher Reliabilität sollten verschiedene Messungen zum gleichen Ergebnis kommen. Dabei ist jedoch sicherzustellen, dass sich die abgefragten Merkmale innerhalb des Zeitintervalls zwischen erstem und zweitem Test nicht verändert haben (Stabilitätskriterium). Die Untersuchung von Interaktionsgeräten wird daher innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls zweimal durchgeführt. Die Höhe der *Korrelation* der Messungen gibt über die Zuverlässigkeit des Instruments Auskunft. Bei der **Paralleltest-Methode** wird die Reliabilität durch zwei Tests (Paralleltests), die zwar das gleiche Konstrukt erfassen, aber andere Items (Aufgaben, Fragen) enthalten, bestimmt. Aus diesem Grund werden die Interaktionsgeräte mit dem generellen Versuchsinstrumentarium nach DEVICE- und FITTS-Aufgaben und durch individuelle Instrumente wie Fragebögen oder Beobachtungen beurteilt. Aus deren Vergleich können Rückschlüsse auf die Reliabilität gezogen werden. Die Auswertung der Paralleltests ist besonders interessant, da FITTS nicht von allen Forschern als eine Methode zur Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten gesehen wird. Hier könnten sich Antworten auf die Frage finden, welches Konstrukt von FITTS erfasst wird.

Die **Validität** (Gültigkeit) gibt den Grad der Genauigkeit an, mit dem ein Test das Merkmal tatsächlich misst, das er messen soll oder zu messen vorgibt. Zwar misst eine Schiebellehre sehr genau (hohe Reliabilität), ist aber zur Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten nicht gültig (fehlende Validität). Die Untersuchungsmethode sollte tatsächlich die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten messen. Als generelle quantitative Variablen der Gebrauchstauglichkeit sind durch die Merkmale *Effizienz* und *Effektivität* die Indikatoren Geschwindigkeit der Bewegung (Zeit), Fehlerraten (Versuchszahl) und Genauigkeit der Positionierung (Objektgröße) definiert [ISO9241-9 ; ISO9241-11]. Das Merkmal der Zufriedenheit wird durch das individuelle Instrumentarium mittels Befragungen und Beobachtungen überprüft. Bei der Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten ist die **inhaltliche Validität** gegeben, da der Test bereits die wichtigsten Aspekte des zu messenden Konstrukts „Gebrauchstauglichkeit“ beinhaltet. Bezogen auf die Testwerte zur Indikation der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten könnten als Außenkriterium der **Kriteriumsvalidität** die Zahl der Erkrankungen (RSI, etc.) bei der Benutzung dieser Geräte oder die biometrisch gemessenen Muskelaktivitäten verwendet werden. Leider stehen diesbezüglich keine Messapparaturen zur Verfügung. In dieser Untersuchung wird dafür die Bewertung durch die Versuchspersonen (individuelles Instrumentarium) herangezogen. Bezogen auf die Untersuchung von Interaktionsgeräten wird zur Untersuchung der **Konstruktvalidität** ein theoretisches Netz aus Konstrukten und Indikatoren („nomologisches Netz“) gebildet und versucht, dieses Netz empirisch (in entsprechenden Korrelationen zwischen Indikatoren) nachzubilden. Die Untersuchungsmethode ist konstruktvalid, wenn aus dem zu messenden Zielkonstrukt „Gebrauchstauglichkeit“ Hypothesen ableitbar sind, die anhand der Versuchswerte bestätigt werden können. Zur Ermittlung der **sozialen Validität** wird bei der Untersuchung von Interaktionsgeräten das individuelle Instrumentarium eingesetzt. Validität ist bei den vorgenommenen Testreihen erfüllt, da der Faktor Mensch als einziger Parameter variiert wird. Die übrigen Faktoren wie Zeit, Geräte und Testprogramm bleiben den Versuch über konstant. Für die Messwerte bedeutet das, dass sie genau die Zeiten angeben, die eine Testperson mit einem bestimmten Gerät für eine bestimmte Aufgabe benötigt [Bor95].

Die **Utilität** (Versuchsökonomie) fordert einen minimalen Aufwand, um alle Merkmale der Gebrauchstauglichkeit zu erfassen, während im Gegensatz dazu die Validität durch Theoriebildung und geeignete Versuchsoperationalisierung das zu messende Konstrukt möglichst präzise zu erfassen versucht. Damit verhält sich das Kriterienpaar Utilität und Validität bezüglich der Zielsetzungen gegenläufig [Spr87]. Da eine der Prämissen bei der Entwicklung des Instrumentariums die Praktikabilität der Durchführung ist und damit auch der Reduzierung des Zeitaufwandes, erfolgt bei der Untersuchungsmethode für Interaktionsgeräte eine Angleichung zwischen Validität und Utilität. Da der Untersuchungsaufwand das in der Praxis akzeptierbare Maß sonst schnell überschreiten würde, werden nicht unabhängig von deren Bedeutsamkeit alle Merkmale der Gebrauchstauglichkeit, wie z.B. biometrische Messung der Muskelaktivitäten, Ermittlung von krankhaften Schäden (RSI, etc.), ermittelt. Auf Basis dieser Grundvoraussetzungen der Testgüte wird in den folgenden Abschnitten die Versuchsdurchführung und die Versuchsauswertung der Untersuchungsmethode beschrieben.

## 4.2 Versuchsdurchführung

### 4.2.1 Auswahl von Interaktionsgeräten

#### Anforderungsmodell

Voraussetzungen für die Auswahl von Eingabeelementen bildet das in Abbildung 4-10 dargestellte Anforderungsmodell in Anlehnung an das Modell von MASLOW [Mas54; Züh99a], über das der Begriff der industriellen Tauglichkeit definiert wird. Dargestellt sind Ansprüche an technische Geräte wie z.B. Interaktionsgeräte. Dabei bildet jeder Baustein der Pyramide die Voraussetzung für das nächste Modul, d.h., um beispielsweise Prozesszuverlässigkeit zu erhalten, muss zunächst die Prozessfähigkeit gewährleistet sein. Seitens der Technik wird die Erfüllung dieser beiden Anforderungen postuliert, um industrielle Tauglichkeit zu gewährleisten. Seitens der Benutzer werden als Anforderung an zu untersuchende Interaktionsgeräte gewisse Grundfunktionalitäten gestellt. Dementsprechend wird die Forderung nach industrieller Tauglichkeit von Interaktionsgeräten über die Anforderung Prozessfähigkeit, Prozesszuverlässigkeit und Grundfunktionalität definiert. Die Merkmale der einzelnen Anforderungen werden nachfolgend beschrieben.

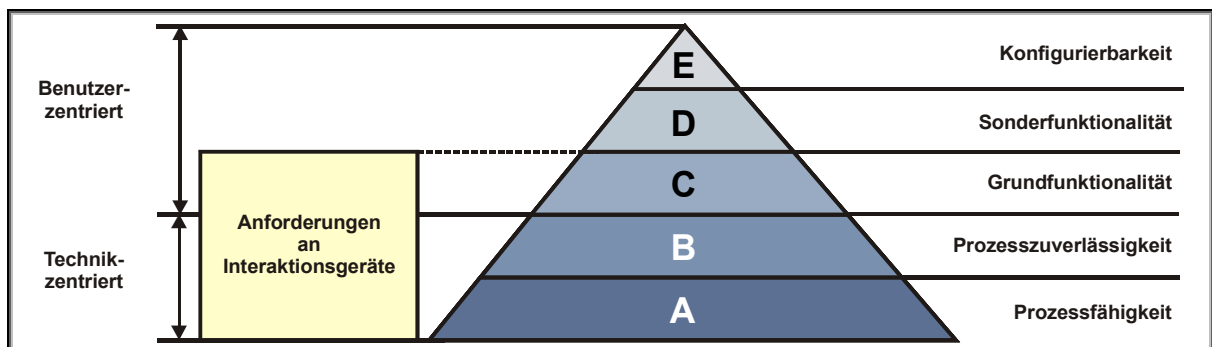


Abbildung 4-10 Anforderungsmodell an technische Geräte

Die **Prozessfähigkeit** umfasst elementare Betriebsvoraussetzungen wie z.B. das Vorhandensein einer Energieversorgung. Ebenso wird die Ansteuerbarkeit unter dem Betriebssystem des Prüfstandes (Windows 95) vorausgesetzt. Das Gerät muss über einen Standard-Maus-Treiber bedienbar sein. Für eine hohe Versuchsobjektivität wird sichergestellt, dass die Softwaretreiber für alle Geräte die gleichen sind [ISO9241-9]. Damit wer-

den nur solche Geräte einbezogen, die mit dem im Betriebssystem mitgelieferten Mausembel (Microsoft-Standard-Maus) kompatibel sind.

**Prozesszuverlässigkeit** sagt aus, dass das System auch unter rauen industriellen Umgebungsbedingungen technisch einsetzbar ist, d.h., einzelne Komponenten des Systems dürfen nicht versagen. Hier müssen die Faktoren Schmutz, Klima, Beleuchtung und Schwingungen berücksichtigt werden. Diese Voraussetzungen sollen vorhanden bzw. durch kostengünstige Umbaumaßnahmen erreichbar sein. Um ein möglichst breites Spektrum an Interaktionsgeräten abzudecken, werden damit auch Interaktionsgeräte einbezogen, die nach der vorliegenden Bauform nicht den industriellen IP-Schutzarten nach [DIN40050] genügen, aber durch konstruktive Änderungen (z.B. Dichtungen) prinzipiell anpassbar sind.

Als **Grundfunktionalität** auf Benutzerseite wird das Vorhandensein eines Zeige- und eines Schaltelements vorausgesetzt. Das Positioniersymbol (bzw. der *Cursor* beim Keyboard) muss ansteuerbar sein und Objekte müssen aktiviert werden können.

Bei der Auswahl der Interaktionsgeräte werden als **Sonderfunktionalitäten** keine besonderen Anforderungen definiert, um ein möglichst großes Spektrum an potentiellen Eingabeelementen zu erhalten. Als Anforderungen bzw. Beurteilungskriterien können hier die räumliche Anordnung (vertikaler/horizontaler Einbau), der zur Bedienung erforderliche Raumbedarf, ein Scroll-Rad oder die automatische Positionierung über Schaltflächen (Vorauswahl durch das System) stehen. Viele der Eingabegeräte stellen spezielle Treiber zur Verfügung, mit deren Hilfe Sonderfunktionen des Gerätes erreicht werden können oder mit denen sich den vorhandenen Tasten individuelle Funktionen zuordnen lassen. Bei den hier durchgeführten Versuchen sind nur die Standardfunktionen von Interesse, die für die Aufgaben des Modells für elementare Interaktionsoperationen (EIM) notwendig sind.

**Konfigurierbarkeit** wird bei der Auswahl der Interaktionsgeräte ebenfalls nicht notwendigerweise vorausgesetzt. Unter diesem Begriff kann die freie und für den Nutzer individuelle Zuordnung von Funktionen zu bestimmten Objekten (Betätigungselemente bzw. Tasten etc.) zusammengefasst werden.

### Ausgewählte Interaktionsgeräte

Entsprechend den genannten Anforderungen werden insgesamt 26 Interaktionsgeräte ausgewählt bzw. konstruiert. In Abbildung 4-11 sind die ausgewählten und untersuchten Interaktionsgeräte nach den in Abschnitt 2.3.4 beschriebenen **Gerätegruppen** Mouse, Trackball, Mousepad, Mousebutton, Mousestick, Joystick, Digitizing Tablet und Touchscreen sortiert dargestellt. Unterhalb der Gruppenbezeichnung ist die in den Untersuchungen verwendete Bezeichnung vermerkt.

Die untersuchten Geräte entsprechen den technischen Merkmalen Prozessfähigkeit und Prozesszuverlässigkeit sowie dem benutzungsorientierten Merkmal der Grundfunktionalität bzw. sind in diese Zustände überführbar. Der Schwerpunkt der durchgeführten Untersuchungen liegt in der Kategorie der **Koordinatengeber**. Für einfache Auswahlverfahren sind ebenfalls nicht-koordinatengebende Interaktionsgeräte durch eine Tastatur repräsentiert. Diese dient im Wesentlichen als Vergleichsgerät (vgl. [Ewi86]). Da Aufgaben wie Curve oder Rectangular mit diesem Gerät nicht durchgeführt werden können, kann es koordinatengebende Interaktionsgeräte nicht ersetzen.

Es werden handelsübliche Interaktionsgeräte aus dem Bürobereich, speziell für den industriellen Bereich ausgewiesene Interaktionsgeräte und Eigenkonstruktionen, deren Bauform den *anthropometrischen* und motorischen Merkmalen des Menschen angepasst



ist, untersucht. Bei den letztgenannten wird auf vorhandene technische Wirkprinzipien zurückgegriffen, diese enthalten als Bezeichnung den Zusatz „Ergo“.



Abbildung 4-11 Ausgewählte und untersuchte Interaktionsgeräte

Die Versuche wurden 1998 und 2001 durchgeführt, um einerseits den Neuentwicklungen von 2001 bei den Interaktionsgeräten Rechnung zu tragen und andererseits, um den Reliabilitätsanforderungen zu genügen (vgl. Abschnitt 4.1.6). 1998 werden achtzehn und 2001 werden zwölf Interaktionsgeräte untersucht. Dabei werden nur bestimmte Geräte wiederholt getestet, um den Versuchsumfang für die Probanden nicht zu umfangreich zu gestalten. Die wiederholte Untersuchung von bestimmten Geräten als Referenzgeräte ist

notwendig, um eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Versuchsreihen (DEVICE 1998 – DEVICE 2001 – FITTS 2001) zu gewährleisten.

### 4.2.2 Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen

Die Abbildung 4-12 gibt einen Überblick über die Versuchsreihen, die Identifikationsmerkmale und die Interaktionsgeräte. Im Anschluss werden die einzelnen Untersuchungsschwerpunkte der Versuchsreihen 1998 und 2001 erläutert.

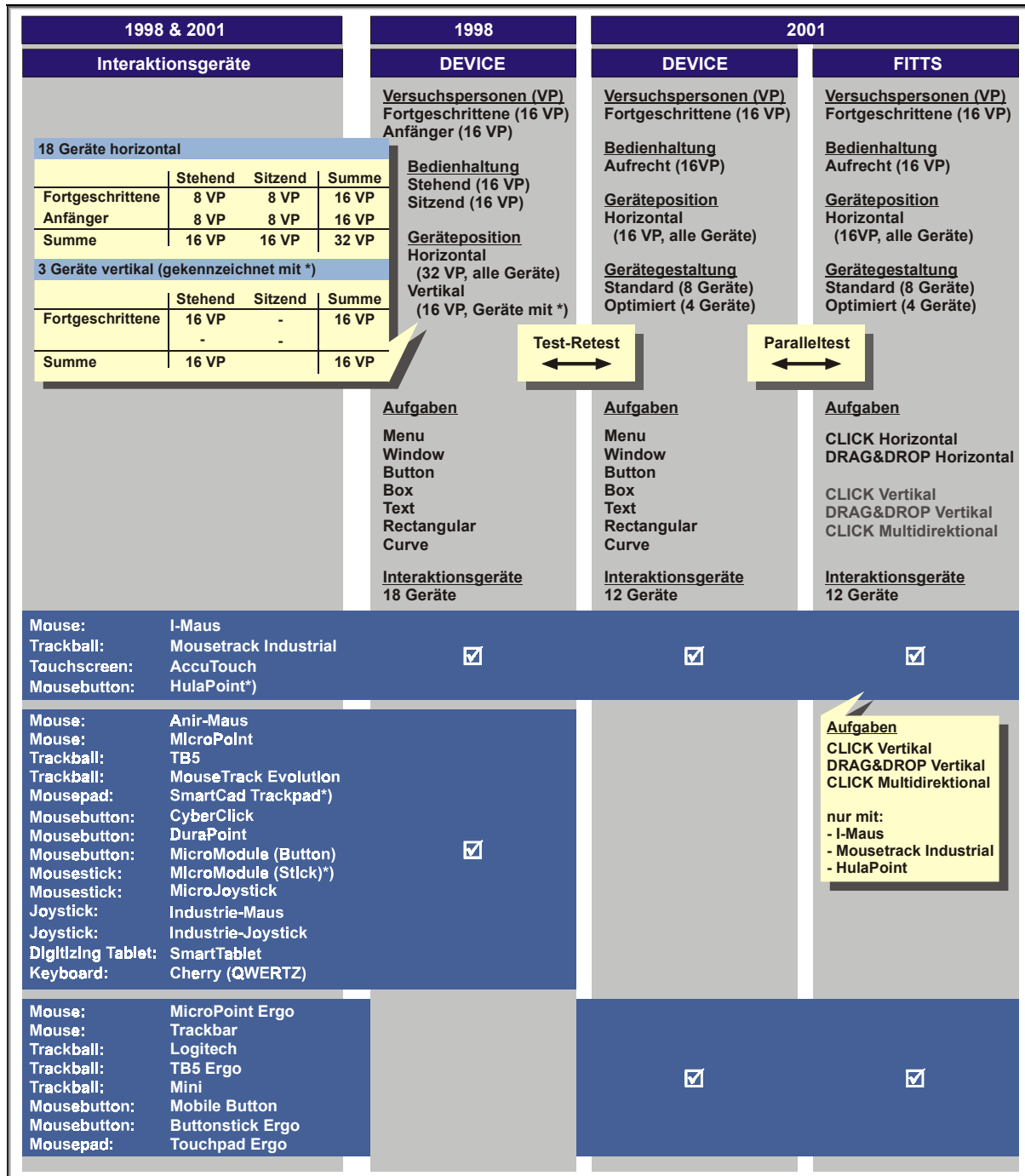


Abbildung 4-12 Zusammenhänge der Versuchsreihen

Bei den zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführten Untersuchungen werden die Versuchsbedingungen, wie z.B. ausgewählte Interaktionsgeräte als Referenzgeräte, Ver-

suchsaufbau, Versuchsinstrumentarium (Versuchsaufgaben, Fragebogen, Beobachtungsprotokoll) konstant gehalten, um einen Vergleich miteinander zu ermöglichen. Hinsichtlich der Identifikationsmerkmale werden unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt:

Bei der Untersuchung von **1998** lag der Schwerpunkt auf der Ermittlung der aus dem industriellen Umfeld resultierenden spezifischen Einflüsse. In der Versuchsreihe DEVICE 1998 werden die Identifikationsmerkmale **Erfahrung** der Benutzer (Fortgeschrittene / Anfänger), **Bedienhaltung** (stehend/sitzend) und **Geräteposition** (Vergleich horizontal/vertikal) untersucht (vgl. [Züh99a]).

Die **2001** durchgeführte Untersuchung der Versuchsreihen DEVICE 2001 und FITTS 2001 hatte die Ermittlung des Einflusses einer ergonomischen **Gerätegestaltung** (Standard/Optimiert) auf die Gebrauchstauglichkeit, die Überprüfung der Reliabilität (Zuverlässigkeit) der DEVICE-Methodik und der Vergleich der Methode DEVICE mit der Methode FITTS zum Ziel (vgl. [Bec02]).

### Untersuchung 1998

Im industriellen Umfeld wird die PC-Technologie zwar verstärkt bei Neuentwicklungen eingesetzt, hat aber noch nicht den Verbreitungsgrad wie herkömmliche Steuerungssysteme. Damit kann in diesem Bereich vor allem bei den älteren Mitarbeitern auch auf weniger Erfahrungen mit koordinatengebenden Interaktionsgeräten zurückgegriffen werden. Die Bedienhaltung bzw. Position der Benutzer an einer Steuerungstafel ist gekennzeichnet durch eine stehende Bedienung. Ebenfalls sind, bedingt durch die häufig anzutreffende vertikale Position der üblichen Steuerungstafeln und des geringen Raumangebots, die koordinatengebenden Interaktionsgeräte, sofern sie vorhanden sind, meist ebenfalls vertikal in die Steuertafel integriert. Damit ergeben sich als zu untersuchende Parameter bei DEVICE 1998 mit potentiellen Einflüssen auf die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten im industriellen Umfeld als *unabhängige Variablen* die Erfahrung mit PC-Systemen (Fortgeschrittene und Anfänger), die Position des Menschen (stehend und sitzend) und die Position des Gerätes (horizontal und vertikal).

Zur Reduzierung des gesamten Versuchsumfanges und um Vergleichbarkeit der am Versuch beteiligten Gruppen zu erzielen, ohne zugleich die Repräsentativität einzuschränken, wird das Prinzip der Blockbildung angewandt [Bor95]. Bei der allgemeinen **Blockbildung** wird die Untersuchungsgruppe nach den unabhängigen Variablen (Blockvariablen) in mehrere homogene Blöcke aufgeteilt, wobei ein Block mehrere Versuchspersonen umfasst. Tabelle 4-5 zeigt das bei der Untersuchung von 1998 verwendete Blockdesign, bei dem die Gruppen 1 - 4 und 9 die Blockvariablen abbilden und die Gruppen 5 - 8 deren Schnittmengen darstellen. Die 32 teilnehmenden Versuchspersonen werden in zwei Gruppen unterteilt: Personen, die kaum Erfahrung im Umgang mit Computern hatten, sie werden im folgenden als Anfänger<sup>25</sup> bezeichnet, und Personen, die fast täglich den Computer nutzen, sie werden als Fortgeschrittene bezeichnet. Aus jeder Gruppe nehmen sechzehn Personen am Test teil, wovon die Hälfte der Gruppe den Test stehend, die andere Hälfte sitzend durchführt. Durch die beschriebene Einteilung der Versuchspersonen ergibt sich in den Vergleichen Anfänger/Fortgeschrittene und Sitzend/Stehend eine repräsentative Anzahl von sechzehn Personen pro Gruppe. Zusätzlich werden in der Gruppe Fortgeschrittene Tests im Stehen mit vertikal angeordnetem Eingabeelement durchgeführt, da diese Situation insbesondere bei Maschinensteuerungen sehr häufig vorkommt.

<sup>25</sup> In der Gruppe der Anfänger befanden sich im Wesentlichen Personen, die Erfahrung im Umgang mit der Steuerung von Werkzeugmaschinen besitzen, aber keine Erfahrung im Umgang mit fensterorientierten Bediensystemen, die Positionierungs- und Manipulations-Aufgaben erfordern (z.B. Windows).

Tabelle 4-5 Blockvariablen der Untersuchung von 1998

Nr.	Bezeichnung der Blockvariablen	Beschreibung	Versuchspersonen
Gruppe 0	Alle Versuchspersonen (VP)		VP 1-32
Gruppe 1	Fortgeschrittene	VP mit viel PC-Erfahrung, horizontale Position des Interaktionsgerätes	VP 1-16
Gruppe 2	Anfänger	VP mit keiner bis sehr geringer PC-Erfahrung, horizontale Position des Interaktionsgerätes	VP 17-32
Gruppe 3	Stehend	Stehende Position der VP, horizontale Position des Interaktionsgerätes	VP 1-8, VP 17-24
Gruppe 4	Sitzend	Sitzende Position der VP, horizontale Position des Interaktionsgerätes	VP 9-16, VP 25-32
Gruppe 5	Fortgeschrittene, stehend	Schnittmenge von Block 1 und Block 3	VP 1-8
Gruppe 6	Fortgeschrittene, sitzend	Schnittmenge von Block 1 und Block 4	VP 9-16
Gruppe 7	Anfänger, stehend	Schnittmenge von Block 2 und Block 3	VP 17-24
Gruppe 8	Anfänger sitzend	Schnittmenge von Block 2 und Block 4	VP 25-32
Gruppe 9	Fortgeschrittene, vertikal	Fortgeschrittene, stehende Position der VP, vertikale Position des Interaktionsgerätes	VP 1v-16v

Idealerweise korrelieren die Blockvariablen mit den abhängigen Variablen (Zeit, Versuchsanzahl, Genauigkeit) möglichst hoch. Die Versuchspersonen werden so in Gruppen (Blöcke) zusammengefasst, dass die Streuung innerhalb eines Blockes ziemlich gering ausfällt (homogene Versuchspersonen innerhalb des Blockes) und die Streuung zwischen den Blöcken relativ hoch ausfällt (Blockmittelwerte unterscheiden sich deutlich voneinander) [Sac99]. Die Varianz zwischen den Blöcken muss größer sein als die Varianz innerhalb der Blöcke (z.B.  $V_{\text{Gruppe 1}} < V_{\text{Gruppe 0}} > V_{\text{Gruppe 2}}$ ). Dies wird mit Hilfe des **Variationskoeffizienten** der Merkmalswerte (Zeit letzter Versuch, Gesamtzeit, Anzahl der Versuche) für die einzelnen Geräte und Aufgaben überprüft (vgl. Anhang B.6.1). In Tabelle 4-6 ist neben den demografischen Daten der Versuchspersonen – sortiert nach den Blockvariablen – der Mittelwert des Variationskoeffizienten über alle Merkmalswerte angegeben.

Tabelle 4-6 Demografische Struktur der Versuchspersonen (Versuchsreihe 1998)

	Alter	Geschlecht		Erfahrung mit...			Arbeit mit dem Computer					Erfahrung mit...					Variationskoeffizient [%]
	Mittelwert	Männlich	Weiblich	PC	Windows	Anzahl der Jahre	täglich	Wöchentlich	Monatlich	keine	Anzahl der Stunden	Tastatur	Maus	Joystick	Touchscreen	Andere	
<b>1998: Geräte in horizontaler Position</b>																	
Gruppe 0	31,7	24	8	21	22	6,2	18	3	2	9	3,0	27	26	14	13	11	<b>53,78</b>
Gruppe 1	28,8	13	3	16	16	9,9	16	0	0	0	5,3	16	16	10	11	10	<b>43,13</b>
Gruppe 2	34,6	11	5	5	6	2,5	2	3	2	9	0,6	11	10	4	2	1	<b>47,68</b>
Gruppe 3	27,3	15	1	8	8	5,9	11	1	0	7	3,0	11	11	9	6	5	<b>49,43</b>
Gruppe 4	36,1	9	7	13	14	6,6	10	2	2	2	2,9	16	15	5	7	6	<b>50,53</b>
Gruppe 5	27,5	7	1	8	8	11,4	8	0	0	0	6,0	8	8	5	6	5	<b>34,68</b>
Gruppe 6	30,0	6	2	8	8	8,5	8	0	0	0	4,6	8	8	5	5	5	<b>41,49</b>
Gruppe 7	27,1	8	0	0	0	0,4	0	1	0	7	0,0	3	3	4	0	0	<b>42,55</b>
Gruppe 8	42,1	3	5	5	6	4,6	2	2	2	2	1,3	8	7	0	2	1	<b>43,49</b>
<b>1998: Geräte in vertikaler Position</b>																	
Gruppe 9	29,4	14	2	16	16	9,8	16	0	0	0	4,9	16	16	11	10	8	42,74

## Untersuchung 2001

Da die am häufigsten industriell verwendeten Vertreter der wichtigsten Gruppen von Interaktionsgeräten bereits 1998 untersucht wurden, liegt bei der Untersuchung 2001 der Schwerpunkt einerseits auf im Handel erhältlichen neuen Entwicklungen bei den Interaktionsgeräten und andererseits auf den nach ergonomischen Kriterien realisierten Eigen-

entwicklungen. Damit ist der zu untersuchende Parameter mit potentielltem Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten im industriellen Umfeld als *unabhängige Variable* die Formgestaltung des Gerätes. Um den Versuchsumfang und die Belastung der Versuchspersonen zu reduzieren, wird auf die Evaluation der 1998 ermittelten Blockvariablen Erfahrung, Position Benutzer und Position Gerät verzichtet. Damit ergibt sich die in Tabelle 4-7 abgebildete demografische Struktur.

Tabelle 4-7 Demografische Struktur der Versuchspersonen (Versuchsreihe 2001)

Alter	Geschlecht		Erfahrung mit...		Erfahrung mit...				
	MW	männl.	weibl.	PC	Windows	Tastatur	Maus	Joystick	Touch-screen
31,5	16	0	16	16	16	16	14	13	4

Um die Methoden DEVICE und FITTS vergleichen zu können, müssen die Versuchspersonen mit bestimmten Geräten ebenfalls alle FITTS-Aufgaben durchführen. Die aus Reliabilitätsgründen (Test-Retest und Paralleltest-Methode) wiederholt getesteten **Referenzgeräte** I-MAUS<sup>26</sup>, MOUSETRAK, HULAPPOINT und ACCUTOUCH werden aus verschiedenen Gruppen ausgewählt und unterscheiden sich in ihrer Interaktionshandhabung sehr stark. Durch diese hohe Unterschiedlichkeit kann bei entsprechender Korrelation der abhängigen Variablen die Validität der Untersuchungsmethode DEVICE und FITTS abgeleitet werden.

Sowohl die Tests aus dem Jahre 1998 als auch die Testreihen in 2001 wurden an der Universität Kaiserslautern am Zentrum für Mensch-Maschine-Interaktion (ZMMI) des Lehrstuhls für Produktionsautomatisierung durchgeführt. Das ZMMI verfügt über ein eigenes Usability Labor, in dem die im folgenden Abschnitt beschriebene Testapparatur aufgestellt ist.

### 4.2.3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4-13 dargestellt und orientiert sich an typischen industriellen Umgebungsbedingungen.

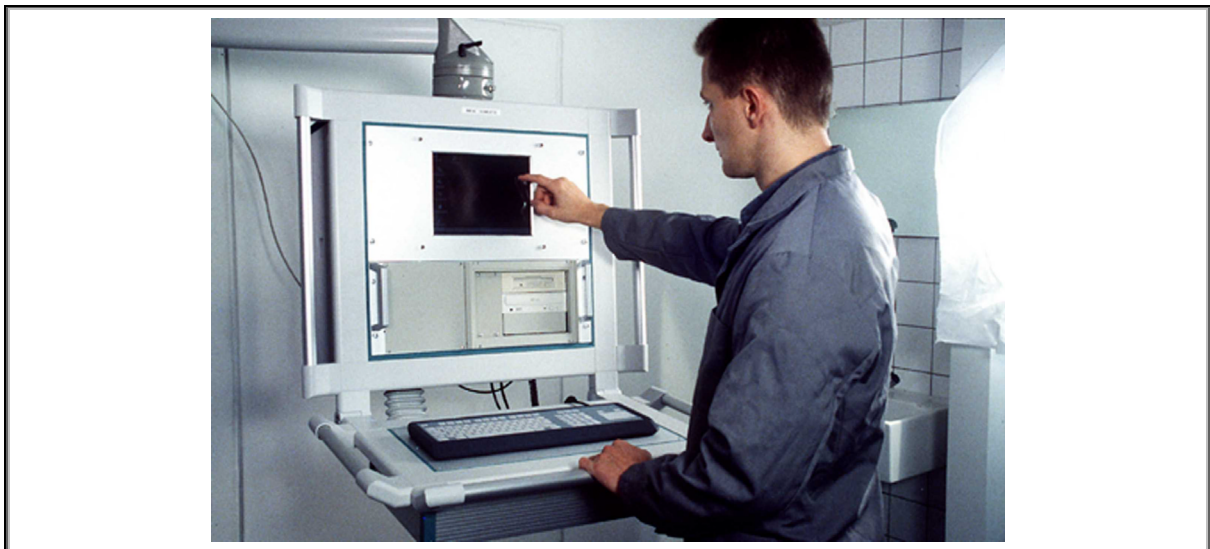


Abbildung 4-13 Prüfstand

<sup>26</sup> Um die spezifischen untersuchten Geräte von den Gerätegruppen zu unterscheiden, werden diese nachfolgend in Kapitälchen geschrieben.

Das 10,4" große Display mit Touchscreen befindet sich an einem in Höhe und Neigung verstellbaren Bediengehäuse in vertikaler Ebene (Panel) an einem Tragarmsystem. Auf einem mittels verstellbarer Rahmenverbinder befestigten Tastaturgehäuse in horizontaler Ebene können die Interaktionsgeräte frei platziert werden. Das Versuchssystem bietet die Möglichkeit bis zu fünf Geräte gleichzeitig zu betreiben, die über einen Umschalter ausgewählt werden können. Als Betriebssystem wird Microsoft Windows 95 (PC-System mit Pentium Prozessor) verwendet.

#### 4.2.4 Versuchsbeschreibung

In diesem Abschnitt wird der Ablauf einer Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten in den Phasen Orientierung, Generelles Instrumentarium und individuelles Instrumentarium beschrieben.

##### Orientierung

Damit sich die Versuchsteilnehmer vor dem Test an die Versuchsumgebung gewöhnen können, wird den Teilnehmern eine kurze Einleitung (ca. 15 Minuten) in schriftlicher und mündlicher Form gegeben, warum die Eingabegeräte getestet werden und wie die detaillierten Versuchsmodalitäten sind (das verteilte Informationsmaterial befindet sich im Anhang B.2.1). Vorgestellt wird das Ziel der Untersuchung, das Arbeitsgebiet, die Versuchsumgebung und der Prüfstand. Um eine angenehme und für die Probanden möglichst stressfreie Atmosphäre zu schaffen, und um dadurch eine hohe Durchführungsobjektivität bei Minimierung der Störvariablen zu erreichen, ist der Untersuchungsraum ruhig und frei von Ablenkungen.

##### Versuchsdurchführung – generelles Instrumentarium

Nachdem die Probanden sich mit der Umgebung und dem Prüfstand vertraut gemacht haben, werden die Testaufgaben den Versuchspersonen auf einem Blatt Papier erklärt, damit insbesondere bei der Gruppe der Anfänger Technikakzeptanz erreicht wird. Während der Versuche bekommen die Versuchspersonen vor jeder Aufgabe auf dem Bildschirm eine Anleitung eingeblendet und es wird auf Schwierigkeiten bezüglich des Aufgabendesigns der Versuchsaufgaben hingewiesen (z.B. muss der Text bei der DRAG&DROP-Aufgabe Text von DEVICE genau vom Beginn des Wortes START bis genau zum Ende des Wortes ENDE ohne Leerzeichen markiert werden).

Die Zeitmessung wird gestartet, wenn der Kandidat seine Aufgabe verstanden hat und dies dem System durch einen entsprechenden Klick mitteilt. Die Zeitmessung endet, wenn die Aufgabe ordnungsgemäß gelöst wurde oder wenn ein Fehler gemacht wird. Der Fehlerfall wird der Versuchsperson mitgeteilt und sie kann die Aufgabe neu starten. Ebenso kann die Versuchsperson die Aufgabe jederzeit vollständig abbrechen, was in der Protokolldatei vermerkt wird. Die Geräte werden in Blöcken mit einer begrenzten Anzahl von Geräten (1998: vier Geräte, 2001: 3 Geräte) aufgeteilt.

Bei den **DEVICE**-Aufgaben führt jede Versuchsperson 1998 und 2001 die beschriebenen Aufgaben mit allen Geräten durch. Währenddessen werden durch das Testsystem die in Abschnitt 4.1.3 beschriebenen Daten in einer Protokolldatei aufgezeichnet.

Bei den 2001 durchgeführten **FITTS**-Aufgaben muss die Versuchsperson mit jedem Eingabegerät die Testaufgaben (CLICK Horizontal, DRAG&DROP Horizontal) in allen Abstandsvariationen (ID, Index of Difficulty) durchführen. Jede Abstandsvariante beinhaltet 14 CLICK- bzw. DRAG&DROP-Aktionen. Das bedeutet, dass die Objekte (mindestens) 14 mal alternierend aktiviert werden müssen. Aus den 14 Aktionen wird dann anschließend



der Mittelwert gebildet. Jedem ID kann somit eindeutig ein zeitlicher Mittelwert zugeordnet werden.

Vorversuche haben ergeben, dass die Belastung für die Testpersonen zu groß ist, wenn alle Tests mit allen Geräten durchgeführt werden. Da eine Testdauer von etwa 6 Stunden aus Konzentrations- und Ermüdungsgründen nicht realisierbar ist, werden nur die wichtigsten Testaufgaben mit den zwölf Geräten durchgeführt. Dazu gehören die horizontalen CLICK-Aufgaben, sowie die horizontalen DRAG&DROP-Aufgaben. Jede Aufgabe wird mit sechs verschiedenen Breiten- und Abstandskonstellationen durchgeführt. Da bei jeder Aufgabe 14-mal die Aktion CLICK bzw. DRAG&DROP ausgeführt werden muss, ergibt sich insgesamt eine Summe von  $6 \times 14 \times 2 = 168$  Aktionen pro Eingabegerät. Von den 14 Auslöseaktionen pro Aufgabe werden jeweils die beiden ersten und beiden letzten Versuchszeiten gelöscht, um die Werte von Störvariablen wie Anfangsschwierigkeiten bzw. von Konzentrationsschwächen am Ende zu bereinigen. Mit den Geräten I-MAUS, MOUSETRACK und HULAPOINT werden aus Reliabilitätsgründen zusätzlich sämtliche vertikalen CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben, sowie die multidirektionalen CLICK-Aufgaben durchgeführt (vgl. Abbildung 4-11, Abbildung 4-12). Aus dem Vergleich der dabei erzielten Ergebnisse können Aussagen und Folgerungen über die Verbindung zwischen den Versuchen abgeleitet werden.

### **Versuchsdurchführung – individuelles Instrumentarium**

Nach jedem Geräteblock wird eine Pause gemacht, um die Versuchszeit in einem Block und die damit verbundene Belastung der Probanden zu minimieren, da teilweise bei unübten Personen die Konzentrationsgrenze erreicht wird. Weiterhin werden die Teilnehmer gebeten, nach jedem Block ihre persönlichen und noch kognitiv abrufbaren Eindrücke zu den Geräten wiederzugeben, die in einem Fragebogen festgehalten werden. Zusätzlich wird vom Versuchsleiter ein Beobachtungsprotokoll geführt.

### **Nomenklatur und Permutationsplan**

Zur Wahrung der Objektivität und um die große Datenmenge ordnen und sicher den einzelnen Geräten zuweisen zu können, ist es wichtig, eine geeignete Nomenklatur für das Abspeichern der Testdaten zu entwickeln. Für jede Testperson gibt das Testprogramm ca. 9000 Daten aus, die anschließend ausgewertet werden müssen.

Um dem Gewohnheitsfaktor, der entsteht, wenn die Aufgaben immer in der gleichen Reihenfolge erscheinen, entgegenzuwirken und zum Ausschluss von Abhängigkeiten der Abfolge (von Aufgaben und Versuchsgeräten), wird sowohl für den FITTS- als auch für den DEVICE-Test ein Permutationsplan für die Reihenfolge der Interaktionsgeräte und für die Reihenfolge der Aufgaben erstellt. Beim FITTS-Test erfolgt die Bearbeitung der CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben abwechselnd. Das DEVICE-Testprogramm beinhaltet vier verschiedene Serien, die die sieben Testaufgaben in unterschiedlicher Reihenfolge den Testpersonen darbietet. Sowohl Permutationspläne als auch Nomenklatur, mit der auf die Rohdaten zugegriffen werden kann, befinden sich im Anhang B.2.4 und B.2.5.

## **4.3 Versuchsauswertung**

### **4.3.1 DEVICE**

Zielsetzung der Untersuchungsmethode ist die einfache Vergleichbarkeit von verschiedenen Interaktionsgeräten hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit. Dazu werden in einer ersten Versuchsauswertung die gemessenen abhängigen Variablen bzw. Merkmalswerte

wie Zeit, Versuchsanzahl usw. (vgl. Abbildung 4-7) zur Beurteilung herangezogen. Es wird allerdings festgestellt, dass durch das Heranziehen der **Absolutwerte** der gemessenen Variablen als Beurteilungsmaßstab, ein Vergleich zwischen den durch Blockbildung getrennten einzelnen Gruppen erschwert wird. Fortgeschrittene benötigen bei jedem Eingabeelement weniger Zeit als Anfänger, weil ihnen die Funktionalitäten einer grafischen Benutzungsoberfläche geläufig sind. Da fortgeschrittene Benutzer es gewohnt sind, mit einer Standardmaus zu arbeiten, werden sie mit diesem Gerät auch in den meisten Fällen die kürzesten Zeiten benötigen, am genauesten arbeiten und die wenigsten Fehler machen. Damit kann durch den alleinigen Vergleich der abhängigen Variablen bzw. Merkmalswerte eine Aussage, welches Eingabeelement für welche Gruppe besser geeignet ist, nicht getroffen werden. Ziel ist es daher, die Daten zu **relativieren** und die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Nutzergruppen zu ermöglichen.

Um einfache Aussagen zur Einsetzbarkeit von Interaktionsgeräten treffen zu können, d.h., um Auswertungs-Praktikabilität zu erreichen, müssen die ermittelten Daten der Merkmalswerte zu Kennwerten **konzentriert** werden. Erfolgt keine Zusammenfassung der Daten, müssen vom Auswerter bei DEVICE für jedes Interaktionsgerät 21 Variablen miteinander verglichen werden (7 Aufgaben mal 3 gemessene Variablen). Werden mehrere Geräte miteinander verglichen, vergrößert sich der Auswertungsaufwand entsprechend und der Vergleich zwischen den Geräten wird unübersichtlich, d.h., das Testgütekriterium Utilität ist nicht mehr gewährleistet.

### Pointing Device Index (PDI)

Damit ergibt sich als Auswertungsziel der Untersuchungsmethode neben einer **Relativierung** der gemessenen Variablen die **Konzentration** der Daten, um durch einen Gebrauchstauglichkeits-Kennwert einen einfachen Vergleich zwischen den Interaktionsgeräten zu ermöglichen. Dazu wird in Anlehnung an den Leistungsindex IP nach FITTS (vgl. Abschnitt 2.4.5) ein Index für Eingabeelemente **pak-PDI** (bzw. kurz: PDI, Pointing-Device-Index des Lehrstuhls für Produktionsautomatisierung, pak) entwickelt. Dieser ermöglicht unter Einbeziehung aller gemessenen Absolutwerte einen einfachen und herstellerunabhängigen Vergleich hinsichtlich der Tauglichkeit von Eingabeelementen. Der **pak-PDI** wird nachfolgend genauer beschrieben.

Der **pak-PDI** gibt die Qualität und die Tauglichkeit eines Interaktionsgerätes im Vergleich zu einem Referenzwert wieder. Dieser Referenzwert ist auf eine **Standardmaus** als Referenzgerät bezogen. Die Standardmaus wird im speziellen Fall der Koordinatengeber als ein der herkömmlichen Computermaus vergleichbares Interaktionsgerät definiert. Allgemein kann eine Standardmaus als die am weitesten verbreitete und gebräuchliche Interaktionstechnik bei den koordinatengebenden Interaktionsgeräten definiert werden. Die Standardmaus wird als Referenz gewählt, da sie einen **de facto Standard** bei direktmanipulativen Bedienoberflächen darstellt und durch eine **hohe Verfügbarkeit** gekennzeichnet ist. Sie ist in nahezu jeder potentiellen Testumgebung vorhanden. In den Versuchsreihen dieser Untersuchung wird die I-MAUS als Referenzgerät gewählt. Der Kennwert wird zu der Gruppe der untersuchten Personen referenziert, d.h., er kann sowohl für die Gruppe der gesamten Versuchspersonen, für die Gruppe der Anfänger oder für die Gruppe der Fortgeschrittenen gebildet werden. Durch den modularen Aufbau des Index lassen sich leicht Kennziffern für die verschiedenen Aufgaben, die unterschiedliche Anforderungen an das Eingabeelement stellen, ermitteln. Es werden zwei Arten von Kennwerten unterschieden:



- pak-PDI<sub>c</sub>** Dieser Kennwert gibt die Tauglichkeit eines untersuchten Eingabegerätes für einfache CLICK-Aufgaben (C) im Vergleich zur Standard-Maus wieder. Dabei werden die Werte der Aufgaben Menu, Window, Button und Box berücksichtigt, da hier sequentielles Positionieren und Selektieren/Aktivieren erforderlich ist.
- pak-PDI<sub>D</sub>** Dieser Kennwert gibt die Tauglichkeit eines untersuchten Eingabegerätes für komplexe DRAG&DROP-Aufgaben (D) im Vergleich zur Standard-Maus wieder. Dabei werden die Werte der Aufgaben Rectangular, Text und Curve berücksichtigt, da hier paralleles Positionieren und Selektieren/Aktivieren erforderlich ist.

Die Formel zur Berechnung des **pak-PDI** ist nach folgendem Schema aufgebaut:

$$\text{pak-PDI} = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{t,\text{task},i}}{t_{l,\text{task},i}} + \frac{t_{l,\text{task},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{task},\text{mouse},i}} + \frac{N_{a,\text{task},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{task},\text{mouse},i}} \right) \quad (4.1)$$

- mit:
- n Anzahl der Versuche der Probanden der jeweiligen Nutzergruppe
  - t<sub>i</sub> Zeit gültiger Versuch (time last valid attempt), Lösungszeit, letzter Versuch
  - t<sub>t</sub> Zeit gesamt alle Versuche (time totally all attempts), Gesamtzeit
  - N<sub>a</sub> Anzahl Versuche (number of attempts)
  - task Aufgabe (task) menu, window, button, box, rectangular, text oder curve
  - X Anzahl der Summanden in der Klammer. Die einzelnen Summanden repräsentieren die Testperson (i)

Durch den modularen Aufbau des PDI können sowohl für einzelne Aufgaben, aber auch für Aufgabengruppen nach Gleichung (4.1) Indizes gebildet werden. Beim **pak-PDI<sub>c</sub>** z.B., werden die Kennwerte aus den CLICK-Aufgaben Menu (Menü), Window (Fenster), Button (Knöpfe) und Box (Auswahlliste) bewertet. In diesem Fall stehen 12 Summanden in der Klammer. Zur Nivellierung der Kennzahl wird durch die Anzahl der einzelnen Summanden geteilt. Die Nivellierung auf den Wert 1 ergibt sich aus folgenden Überlegungen:

- Der erste Summand in der Gleichung (4.1) gibt die von der Testperson benötigte Gesamtzeit (t<sub>t</sub>) im Verhältnis zur benötigten Zeit für den letzten Versuch (t<sub>i</sub>, Lösungszeit) wieder. Da die Zeit gültiger Versuch (t<sub>i</sub>) immer kleiner gleich der Zeit gesamt aller Versuche (t<sub>t</sub>) ist, wird dieser Summand im Idealfall minimal 1.
- Der zweite Summand in der Gleichung (4.1) gibt die von der Testperson benötigte Zeit (t<sub>i</sub>) für den letzten Versuch im Verhältnis zur von den Testpersonen dieser Gruppe durchschnittlich benötigten Zeit mit der Standardmaus wieder. Hier kann der Summand größer oder kleiner gleich 1 werden. Der zweite Summand wird 1, wenn die Testperson die gleiche Zeit (t<sub>i</sub>) zum Lösen der Aufgabe wie ihre spezifische Referenzgruppe im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen.
- Der dritte Summand in der Gleichung (4.1) gibt die von der Testperson benötigte Anzahl an Versuchen (N<sub>a</sub>) im Verhältnis zu den von den Testpersonen dieser Gruppe durchschnittlich benötigten Anzahl an Versuchen wieder. Der dritte Sum-

mand wird 1 wenn die Testperson die gleiche Anzahl an Versuchen ( $N_a$ ) wie ihre spezifische Referenzgruppe mit der Standardmaus im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen.

Durch die Nivellierung ergibt sich beim **pak-PDI<sub>c</sub>** statt eines Durchschnittswertes von 12 (4 Aufgaben mal jeweils 3 Summanden) ein Durchschnittswert von 1, der den Durchschnittswerten der einzelnen Summanden entspricht und eine einfachere Vergleichbarkeit im Verhältnis zur Standardmaus ermöglicht. Beim **pak-PDI<sub>p</sub>** wird zusätzlich als Genauigkeitsfaktor noch die Fehlerrate bei der Positionierung beim Nachziehen der Linie miteinbezogen. Da hier die Versuchspersonen im Allgemeinen meist innerhalb des Korridors liegen und so sehr kleine Werte erreichen, erfolgt dies in Form eines Zuschlags und wird nicht bei der Anzahl der Summanden berücksichtigt (d.h.  $X = 9$ , 3 Aufgaben mal jeweils 3 Summanden). Die Formeln für die einzelnen pak-PDI's sowie die Referenzwerte für die jeweiligen Nutzergruppen (Blockvariablen) befinden sich im Anhang B.3.

### Interpretation des Pointing-Device-Index

Über die für die einzelnen Testpersonen ermittelten Indizes wird anschließend das arithmetische Mittel gebildet. Dies hat den Vorteil, dass der Index bei Verwendung der in dieser Arbeit ermittelten Referenzwerte auch für Einzelpersonen gebildet werden kann, d.h., die Untersuchung kann auch von einer Einzelperson durchgeführt werden. Dadurch wird das Kriterium der sozialen Validität erfüllt, denn die Versuchspersonen können bei Bedarf Feedback über ihre persönliche Leistung erhalten.

Bei der Bildung des pak-PDI wird zwar auf die Standardmaus bezogen, diese muss aber nicht notwendigerweise den Wert 1 erzielen: Der **pak-PDI einer Versuchsperson** für ein Interaktionsgerät wird 1, wenn diese Testperson nur einen Versuch benötigt (1. Summand: Zeit letzter Versuch  $t_l$  = Gesamtzeit  $t_g$ ) und die gleichen Merkmalswerte (2. Summand: Zeit letzter Versuch  $t_l$ , 3. Summand: Anzahl an Versuchen  $N_a$ ) wie ihre spezifische Referenzgruppe mit der Standardmaus im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen. Damit erhält die Standardmaus den Wert 1, wenn diese Versuchsperson hinsichtlich der Merkmalswerte exakt dem Durchschnitt der Versuchspersonen der spezifischen Nutzergruppe entspricht und alle Versuchspersonen die gleiche Versuchsanzahl benötigen. Jedoch benötigen meist nicht alle Versuchspersonen die gleiche Versuchsanzahl und einzelne Versuchspersonen entsprechen nicht dem Mittel aller Versuchspersonen. Der 1. Summand wird nicht auf die Standardmaus bezogen und damit individuell für jede Versuchsperson gebildet. Dadurch wird bei Bildung des arithmetischen Mittels des **pak-PDI über alle Versuchspersonen** meist ein Wert für die Standardmaus größer oder kleiner eins erreicht.

Folgende einfache Faustformel erleichtert den Umgang mit dem Pointing-Device-Index (pak-PDI) beim Vergleich der Kennwerte (vgl. Abbildung 4-14 in Abschnitt 4.3.2):

*„Je **kleiner** der Kennwert (**pak-PDI**) ist, **desto besser** ist das Interaktionsgerät für den spezifischen Untersuchungskontext (Nutzergruppe, Bedienung, Geräteposition, etc.) geeignet, um die jeweilige Aufgabe zu erfüllen, bzw. desto eher kann es als Alternative zur Standardmaus in Betracht gezogen werden.“*

### 4.3.2 FITTS

Für die Auswertung der mit FITTS erzeugten Daten wird die lineare Regressionsanalyse verwendet. Dabei werden die einzelnen Datenpunkte, bestehend aus Bewegungszeit (MT, Movement Time) und Schwierigkeitsindex (ID, Index of Difficulty) in ein Koordinatensystem eintragen und eine Ausgleichsgerade berechnet. Die Steigung dieser Geraden

gibt den Leistungsindex (IP, Index of Performance) an. Eine ausführliche Beschreibung der statistischen Funktionen Regression und Korrelation befindet sich im Anhang B.7.

Die Bewegungszeit MT wird aus den Zeiten DeltaTA\_B, also der benötigten Zeit, um von Objekt A zu Objekt B zu kommen, und DeltaTB\_A (Zeit, die benötigt wird, um von Objekt B nach A zu gelangen) gemittelt und auf der y-Achse aufgetragen. Ein hoher Korrelationskoeffizient r wird erreicht, wenn die Bewegungszeit (MT) für die individuellen Schwierigkeitsindizes (ID) über alle Versuchspersonen gemittelt und nicht für jede Person der Leistungsindex berechnet wird. Von diesem Wert wird anschließend der Durchschnitt gebildet [Gra01].

Zur Bildung der Schwierigkeitsindizes (ID) werden die Rechenvorschriften von FITTS, WELFORD und MACKENZIE gewählt (vgl. Gleichung 2.1 und Anhang A.5.4), da sie den gebräuchlichsten Variationen von FITTS LAW entsprechen (vgl. Abschnitt 2.4.5). Der als Schwierigkeitsindex ID bezeichnete logarithmische Ausdruck  $\log_2(2A/W)$  nach FITTS 1954,  $\log_2(A/W + 0.5)$  nach WELFORD 1960 oder  $\log_2(A/W + 1)$  nach MACKENZIE 1992 ist aufgabenspezifisch und wird auf der x-Achse abgetragen. Die Versuchsaufgaben sind für den Schwierigkeitsindex von FITTS so optimiert, dass sich hier ganzzahlige Werte ergeben (vgl. Abschnitt 4.1.4 und Anhang A.5.4). Um den Grad der jeweiligen Korrelation zu ermitteln und damit Aussagen über die Gültigkeit der jeweiligen Formel treffen zu können, werden zur Auswertung die Schwierigkeitsindizes von allen drei Autoren herangezogen. Der ID ist abhängig von der Distanz zwischen den beiden Versuchsobjekten (A, Amplitude) und deren Größe (W, Width). Folgende einfache Faustformel erleichtert den Umgang mit dem Schwierigkeitsindex:

*„Je **größer** die Distanz (A) zwischen den Objekten und je **kleiner** die Objektbreite (W) ist, **desto größer** ist der Schwierigkeitsgrad und somit der Schwierigkeitsindex ID.“*

### Interpretation des Leistungsindex

Die Regressionsgerade beschreibt den funktionalen Zusammenhang von Schwierigkeitsgrad der Aufgaben und Bewegungszeit des Positioniersymbols. Je flacher die Gerade verläuft, desto weniger Zeit wird zur Erfüllung der unterschiedlichen Aufgaben bei steigendem Schwierigkeitsgrad benötigt. Eine flache Gerade zeichnet sich durch eine kleine Steigung aus. Für den Leistungsindex IP lässt sich somit folgende Regel aufstellen (vgl. Abbildung 4-14):

*„Je **größer** der Leistungsindex IP ist, **desto schneller** können für den spezifischen Untersuchungskontext (Nutzergruppe, Bedienung, Geräteposition, etc.) die Testaufgaben bei steigender Schwierigkeitsanforderung ausgeführt werden.“*

Der Leistungsindex alleine ist aber noch nicht ausreichend, um die Eigenschaften eines Eingabegerätes wiederzugeben. Der IP sagt lediglich etwas über den relativen Leistungswert der Bewegungszeit bei steigendem Schwierigkeitsgrad aus. Somit ist er stets in Verbindung mit der **mittleren Bewegungszeit** und der Korrelationsangabe zu sehen. Die Korrelation gibt an, inwieweit die Beobachtungswerte durch die Regressionsgerade beschrieben werden. Der Korrelationskoeffizient, der Werte zwischen -1 und +1 annehmen kann, ist ein Maß für den Grad der linearen Abhängigkeit zweier Merkmale; eine perfekte positive Korrelation liegt bei  $r = 1$  vor, keine Korrelation bei  $r = 0$  (vgl. Anhang B.7.2). Die durchschnittliche Bewegungszeit (MT) ist die Zeit, die für die Erfüllung der Gesamtaufgabe benötigt wird. Würde man diesen Parameter außer Acht lassen, könnte bei zwei gleichen IP's (die sich nur aus den Geradensteigungen ergeben) fälschlicherweise angenommen werden, dass auch die Bewegungszeiten identisch sind. Damit wird deutlich,

dass eine vertikale Parallelverschiebung der Regressionsgeraden nicht aus dem IP ersichtlich ist (vgl. Abbildung 2-21, Anhang B.7.1).

In Abbildung 4-14 ist der Pointing-Device-Index (PDI) und der Index of Performance (IP) grafisch mit ihren mathematischen Grenzen und in den Versuchen ermittelten Minimal- und Maximalwerten dargestellt.

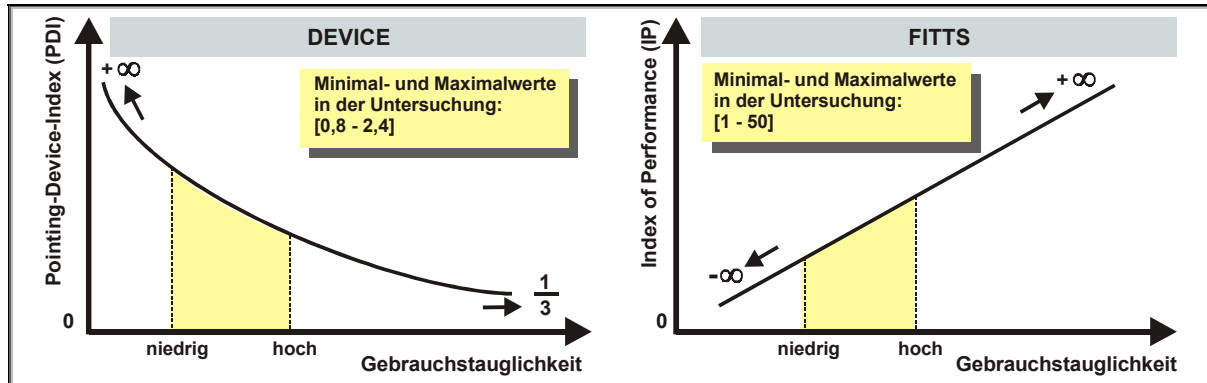


Abbildung 4-14 Interpretation der Kennwerte PDI und IP

Der **PDI** bei **DEVICE** nähert sich nach Gleichung (4.1) für einzelne Probanden bei **idealen Interaktionsgeräten** mit hoher Gebrauchstauglichkeit (geringer Zeitbedarf, keine Fehler) asymptotisch dem Wert  $1/3$  an. Dieser entspricht dem zur Nivellierung vorangestellten Faktor (bzw. dem Kehrwert der für jede Aufgabe jeweiligen Anzahl der Summanden): Der erste Summand wird Eins; der zweite und dritte Summand gehen jeweils gegen Null, wenn der einzelne Proband wesentlich besser ist als seine spezifische Referenzgruppe (vgl. Abschnitt 4.3.1). Für Geräte mit sehr geringer Gebrauchstauglichkeit (hoher Zeitbedarf, viele Fehler) gehen die einzelnen Summanden des Ausdrucks in der Klammer aus Gleichung (4.1) gegen unendlich. Damit nähert sich der PDI ebenfalls asymptotisch unendlich.

Der **IP** bei **FITTS** ist dagegen definiert als der Reziprokwert der Steigung der Regressionsgeraden über die Bewegungszeiten bezogen auf die verschiedenen Schwierigkeitsstufen. Das bedeutet, dass ein Gerät als besonders geeignet bezeichnet wird, wenn die Testperson trotz höherem Schwierigkeitsgrad kaum mehr Zeit benötigt, um die Aufgabe zu bewältigen. Geht die Steigung der Regressionsgeraden also gegen Null, so wird der IP extrem groß, im Extremfall unendlich. Falls sich eine Versuchsperson während des Tests an das Interaktionsgerät gewöhnt, kann es vorkommen, dass die Zeiten trotz höherem Schwierigkeitsgrad kürzer werden und so eine kleine, negative Steigung bei der Regressionsgeraden entsteht (vgl. Abbildung 2-21). Das führt zu einem betragsmäßig sehr großen, negativen IP, der im Extremfall negativ unendlich wird.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Übersicht

In den folgenden Abschnitten werden die Versuchsergebnisse zu den Versuchsreihen DEVICE 1998, DEVICE 2001 und FITTS 2001 hinsichtlich der Identifikationsmerkmale **Erfahrung** der Benutzer (Vergleich Fortgeschrittene/Anfänger), **Bedienhaltung** (Vergleich stehend/sitzend), **Geräteposition** (Vergleich horizontal/vertikal) und **Gerätegestaltung** (Vergleich Standard/Optimiert) nach dem in Abbildung 5-1 abgebildeten Schema dargestellt.

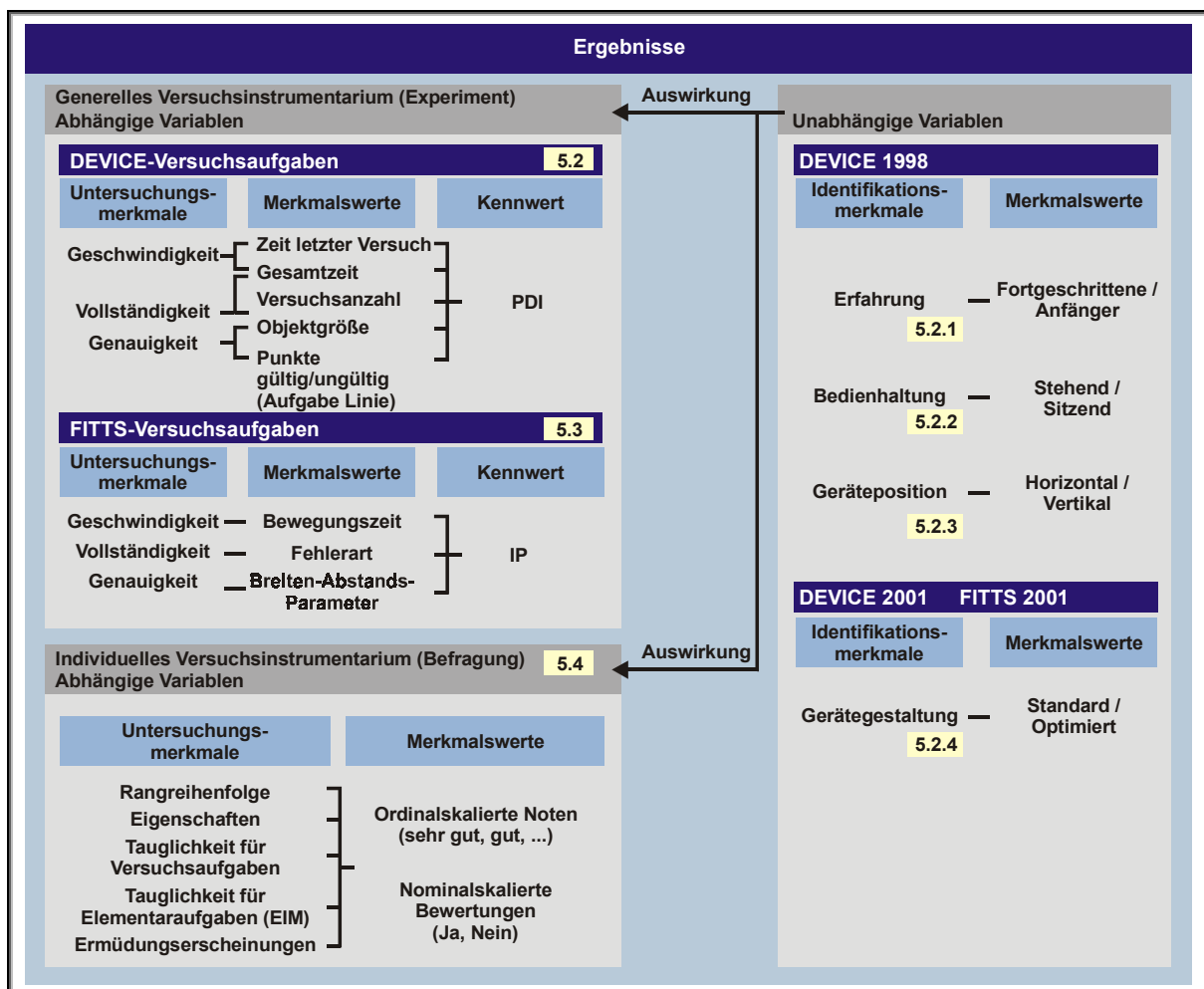


Abbildung 5-1 Struktur der Ergebnisse

Es wird untersucht, wie die Ausprägungen (Merkmalswerte) der Identifikationsmerkmale (unabhängige Variablen) auf die Ausprägungen der Untersuchungsmerkmale (abhängige Variablen) wirken. Dazu werden die aus den Merkmalswerten der experimentellen Untersuchung gebildeten Kennwerte PDI bei den Versuchsreihen DEVICE 1998 und DEVICE 2001 sowie IP bei der Versuchsreihe FITTS 2001 herangezogen. Der pak-PDI wird für die

Aufgabengruppen CLICK und DRAG&DROP wiedergegeben. Bei den Ergebnissen der Befragung werden die Merkmalswerte direkt wiedergegeben. Die Beobachtungen fließen als Erläuterungen in die Ergebnisdokumentation mit ein.

Zum Lesen der Diagramme können die in Abbildung 5-2 dargestellten Regeln den Umgang mit den Kennziffern erleichtern.

Für den **pak-PDI** gilt:

„Je kleiner der Pointing-Device-Index (pak-PDI) ist, desto besser ist das Eingabeelement für die spezifische Nutzergruppe geeignet, um die jeweilige Aufgabe zu erfüllen, bzw. desto eher kann es als Alternative für die Maus in Betracht gezogen werden.“

Für den **IP** gilt:

„Je größer der Leistungsindex IP ist, desto schneller können die Testaufgaben bei steigender Schwierigkeitsanforderung ausgeführt werden.“

### *Abbildung 5-2 Regeln zur Interpretation der Kennwerte*

Die ermittelten Ergebnisse für das Merkmal Erfahrung – das die deutlichste Ausprägung hat – werden im folgenden Abschnitt erläutert. Die ermittelten Kennwerte sind zur tendenziellen Beurteilung und besseren Übersichtlichkeit in **Interaktionsgerätegruppen** dargestellt. Da teilweise gerätespezifische Unterschiede innerhalb einer Gruppe bestehen und gruppenbezogene Aussagen nur allgemein getroffen werden können, wird auf die Kennwerte der einzelnen Geräte eingegangen (vgl. Anhang C.1).

## **5.2 Ergebnisse der Versuchsaufgaben DEVICE**

### **5.2.1 Erfahrung der Benutzer (DEVICE 1998)**

Die Ergebnisse des pak-PDI sind in Abbildung 5-3 nach Gerätegruppen für das Merkmal Erfahrung (Fortgeschrittene: VP 1-16 und Anfänger: VP 17-32) für CLICK- (C) und DRAG&DROP-Aufgaben (D&D) dargestellt. Die Werte für die Einzelgeräte befinden sich im Anhang C.1.1.

Die Versuchspersonen aus der Gruppe der Fortgeschrittenen nutzen täglich Computer mit Windows-Betriebssystem und daran angeschlossene Interaktionsgeräte. Die Bedienung erfolgt in der Regel sitzend und als Interaktionsgerät wird meist eine herkömmliche Computermaus verwendet. Die Versuchspersonen aus der Gruppe der Anfänger sind im Wesentlichen Bediener von Werkzeugmaschinen und haben keine bzw. kaum Erfahrung im Umgang mit fensterorientierten Bediensystemen, die eine Positionierung erfordern. Der pak-PDI ist bei der Gruppe der Fortgeschrittenen auf den Durchschnittswert der I-MAUS für die Gruppe der Fortgeschrittenen und bei der Gruppe der Anfänger auf den Durchschnittswert der I-MAUS für die Gruppe der Anfänger bezogen.

Beim Vergleich der Werte für CLICK- und D&D-Aufgaben wird deutlich, dass die Eingabelemente dann generell bessere Ergebnisse erzielen, wenn sie für einfache Zeigeaufgaben (CLICK) eingesetzt werden, d.h., wenn positionieren und selektieren sequentiell erfolgt. DRAG&DROP-Aufgaben fordern sowohl von Anfängern als auch von Fortgeschrittenen höhere Ansprüche, die Anfangsniveaus und die Höchstwerte liegen hier deutlich höher. Bei DRAG&DROP-Aufgaben befindet sich die Hand als betätigendes Element in einem erhöhten Spannungszustand, da parallel zum Positionieren und kontinuierlich die

Selektion erfolgen muss, d.h., das Positionierelement muss bewegt werden und das Schaltelement muss gedrückt werden.

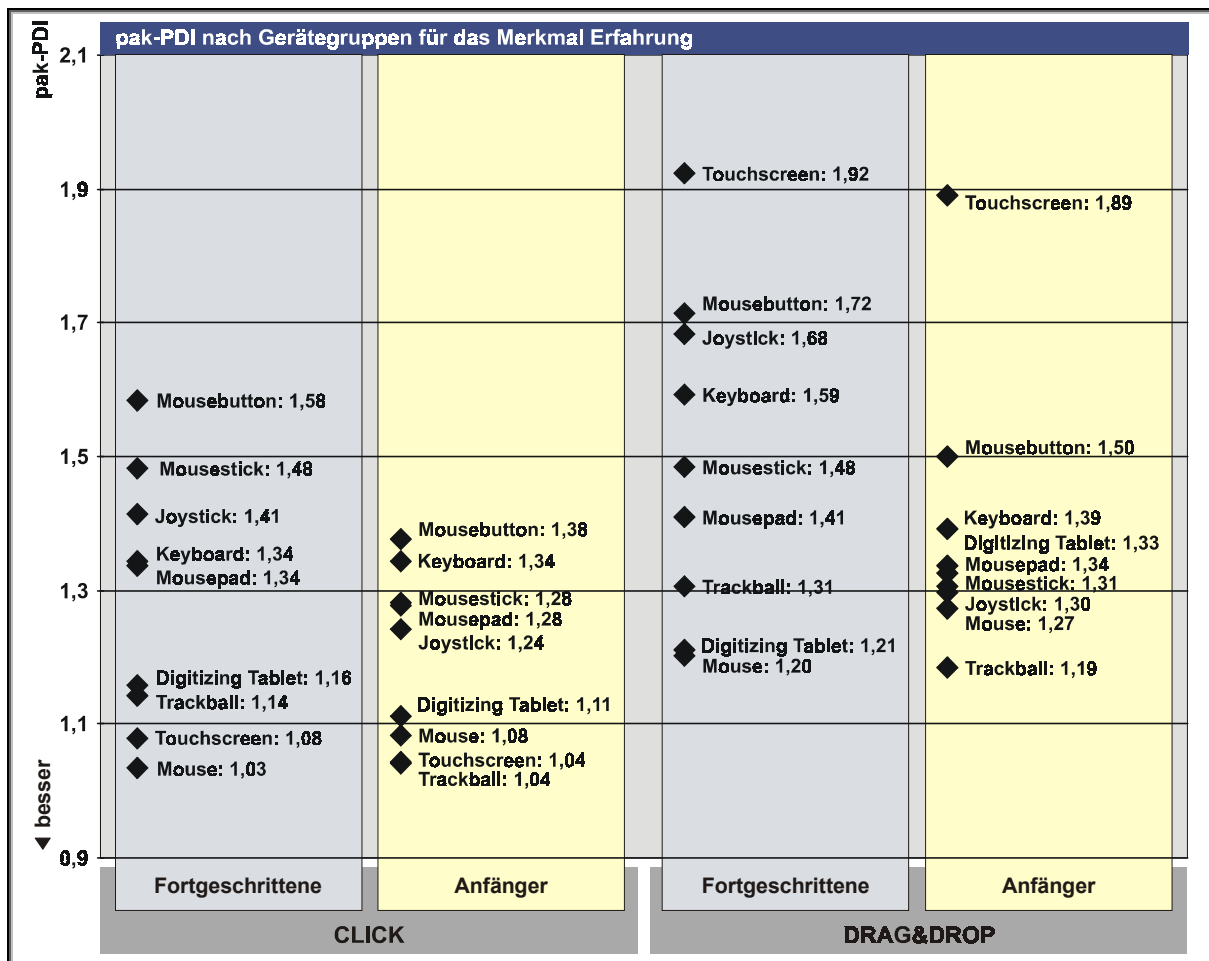


Abbildung 5-3 Vergleich des pak-PDI nach Gerätegruppen für das Merkmal Erfahrung (Fortgeschrittene: VP 1-16 und Anfänger: VP 17-32) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

Interessant ist, dass zwar bei beiden Aufgabentypen CLICK und DRAG&DROP die Eingabeelementgruppe Mouse bei den Fortgeschrittenen den besten Index erreicht, bei den Anfängern jedoch erst an dritter Stelle steht. Hier wird einerseits deutlich, dass Geräte der Gruppe Mouse für Anfänger nicht die idealen Interaktionsgeräte sind. Andererseits wird deutlich, wie sehr Fortgeschrittene, die täglich mit Windows am PC arbeiten, sich an Interaktionsgeräte der Gruppe Mouse und speziell an die Computermaus gewöhnt haben. Wird diese Tatsache in Kombination mit der Streuung der Kennwerte bei Fortgeschrittenen (große Streuung – „gestreckter“ Wertebereich) und bei Anfängern (kleine Streuung – „komprimierter“ Wertebereich) betrachtet, so kann daraus abgeleitet werden, dass es Fortgeschrittenen in Relation zu den Anfängern schwerer fällt, andere Geräte als die bekannte Computermaus zu benutzen.

Als Erklärungsansatz hierfür kann die Plastizität des zentralen Nervensystems dienen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Der Fortgeschrittene hat für das Werkzeug Computermaus verschiedene motorische Transformationen gelernt, die ständig automatisiert abrufbar sind (autonome Phase). Da der Mensch sich bei der Benutzung eines alternativen Gerätes, wie z.B. einem Mousebutton, in einem ähnlichen Kontext befindet, versucht er auf die erlernten Schemata zurückzugreifen. Diese können aber nicht ohne weiteres auf Interak-

tionsgeräte, die andere Bewegungsmuster, wie z.B. Geräte der Gruppe **Mousebutton**, erfordern, übertragen werden. Für Anfänger ist der Bewegungsablauf mit jedem Gerät neu, Bewegungsmuster sind noch nicht abgelegt (kognitive Phase). In dieser Phase wird versucht – oft unter Zuhilfenahme von verbalen Beschreibungen – geeignete Kontrollstrategien zusammenzustellen. Dies äußerte sich unter anderem darin, dass die Probanden der Anfängergruppe eher die Bewegungsausführung verbalisierten als die Probanden der Fortgeschrittenengruppe.

Erzielen die Eingabelemente der Gerätegruppe **Mouse** beim  $PDI_C$  noch recht homogene Kennwerte, so sind aufgrund des höheren Spannungszustandes der Hand bei DRAG&DROP-Aufgaben deutliche Unterschiede beim  $PDI_D$  festzustellen. Bei den Fortgeschrittenen unterscheidet sich die ANIR-MAUS<sup>27</sup> ( $PDI_D = 1,46$ ) und bei den Anfängern der MICROPOINT<sup>27</sup> ( $PDI_D = 1,64$ ) merklich von den anderen Geräten. Bei der ANIR-MAUS ist die Griffhaltung ähnlich der eines Joysticks und fordert damit von den Fortgeschrittenen ein sich von der gewohnten Computermaushandhabung stark unterscheidendes Bewegungsmuster. Die Ursache für den hohen  $PDI_D$  lässt sich damit auf die Bauform zurückführen. Beim MICROPOINT kann der hohe  $PDI_D$  durch das Funktionsprinzip der absoluten Positionierung und/oder die Bauform bedingt sein. Das relativ kleine Positionierelement erfordert einen Drei-Finger-Zufassungsgriff, bei dem für DRAG&DROP-Aufgaben ein Finger das Schaltelement betätigt. Damit wird theoretisch bei mittlerem Zeitbedarf eine hohe Positioniergenauigkeit ermöglicht (vgl. Tabelle 2-2), praktisch allerdings erfordert das Positionierelement aufgrund der geringen Dämpfung besondere Sensitivität bei der Betätigung. Für die Versuchsreihen DEVICE 2001 wurden die möglichen Schwachstellen berücksichtigt und das Gerät entsprechend modifiziert (siehe MICROPOINT ERGO<sup>27</sup>).

Geräte der Gruppe **Trackball** und insbesondere das Gerät MOUSETRACK<sup>27</sup> erhalten bei den Anfängern besonders gute  $PDI$ -Kennwerte. Während des Experiments bzw. bei der anschließenden Befragung der Versuchspersonen wurde deutlich, warum der Trackball eine relativ gute Wertung erhält. Ist das Positionierelement, d.h. die Rollkugel relativ hoch gedämpft (z.B. durch Eigengewicht oder durch Reibung), fällt es den Benutzern leicht, das Positioniersymbol auf kleinen Objekten zu positionieren und diese Position zu halten, während sie das Schaltelement betätigen. Im Vergleich dazu fällt es den Anfängern bei der I-MAUS<sup>27</sup> schwer, gleichzeitig mit einer Hand Zeige- und Schaltelement zu betätigen, ohne dass das Gerät dabei verrutscht. So benutzten einige Bediener bei der I-MAUS beide Hände.

Die Geräte der Gerätegruppe **Mousebutton** schneiden im Durchschnitt bei Anfängern und bei Fortgeschrittenen am schlechtesten ab. Besonders das Gerät CYBERCLICK<sup>27</sup> erhält bei DRAG&DROP-Aufgaben schlechte  $PDI$ -Kennwerte. Dies lässt sich auf den Verstellweg des Schaltelements zurückführen, der die Betätigung kaum haptisch zurückmeldet. Beim ACCU TOUCH<sup>27</sup> in der Gruppe **Touchscreen** ist die Gewichtung hinsichtlich der Aufgabentypen auffallend. Für CLICK-Aufgaben stellt er eine verwendbare Alternative für die Maus dar ( $\text{pak-}PDI_C = 1,08$  bzw.  $1,04$ ), bei DRAG&DROP-Aufgaben versagt er hingegen weitgehend ( $\text{pak-}PDI_D = 1,92$  bzw.  $1,89$ ). Eine weitere Alternative stellt das SMART-TABLET<sup>27</sup> als Vertreter der Gruppe **Digitizing Tablet** dar, das aber für Anfänger noch konstruktiv angepasst werden muss. Bei dem verwendeten Produkt war das Schaltelement in die Stiftspitze integriert und der Druck auf die Spitze musste vom Nutzer, insbesondere bei DRAG&DROP-Aufgaben, dosiert werden. Somit fällt der  $\text{pak-}PDI$  für das SMART-

---

<sup>27</sup> Der  $\text{pak-}PDI$  für Einzelgeräte ist tabellarisch im Anhang C.1.1 angegeben. Im Anhang D befinden sich die Steckbriefe der Interaktionsgeräte. Dargestellt sind die Interaktionsgeräte in Abbildung 4-11 auf Seite 65.



TABLET in der Gruppe der Anfänger bei DRAG&DROP-Aufgaben relativ schlecht aus (pak-PDI<sub>D</sub> = 1,35).

Werden statt der Kennwerte PDI<sub>C</sub> und PDI<sub>D</sub> die einzelnen Merkmalswerte "Zeit letzter Versuch" und „Gesamtzeit“ betrachtet, so wird deutlich, dass trotz notwendiger motorischer Anpassung der Werkzeugtransformationen die Fortgeschrittenen bei der Benutzung alternativer Interaktionsgeräte bei allen Aufgabentypen weniger Zeit für die Lösung der einzelnen Aufgaben benötigten als alle Anfänger. Zurückführen lässt sich dies auf die Erfahrung im Umgang mit fensterorientierten Bediensystemen wie Windows und prinzipiellen mentalen Modellen für Koordinatengeber.

Aus diesem Vergleich der Ergebnisse der Merkmalswerte und der Kennwerte wird deutlich, wie wichtig eine Relativierung der Merkmalswerte (Zeit letzter Versuch, etc.) ist und dass nicht nur die Zeiten als einziger Beurteilungsmaßstab herangezogen werden können. Es müssen auch Fehlversuche bzw. die damit verbundene Gesamtzeit berücksichtigt werden sowie die in dieser Gruppe durchschnittlichen Kennwerte, um ein Gesamtbild eines Eingabeelements zu erhalten (vgl. Abschnitt 4.3.1). Die Referenzierung zu einem für eine Nutzergruppe spezifischen Referenzwert ist somit durch Bildung des Kennwertes Pointing Device Index (pak-PDI) möglich.

### 5.2.2 Bedienhaltung – Position der Benutzer (DEVICE 1998)

Bei der Untersuchung des Merkmals Bedienhaltung wird überprüft, welchen Einfluss eine stehende oder sitzende Position auf den Gebrauch von Interaktionsgeräten hat. Dazu wird das Testsystem in der entsprechenden Höhe fixiert. In Abbildung 5-4 sind die Ergebnisse für den pak-PDI für unterschiedliche Positionen der Benutzer gegenübergestellt.

Die tendenziell schlechteren Kennwerte bei sitzender Bedienung resultieren u.a. aus der Gestaltung des Versuchsaufbaus. In der Büroumgebung existiert meist eine horizontale stabile Unterlage, auf der Eingabegeräte benutzt werden können. Der in dieser Untersuchung verwendete Versuchsaufbau orientiert sich an typischer industriell verwendeter Hardware. An allen Seiten des Tastaturehäuses des Tragarmsystems ist eine Haltestange zum Verschieben und Drehen des Bedienpanels montiert. Teilweise behindert diese Haltestange die Probanden bei sitzender Bedienung. Ebenso neigen die Benutzer bei sitzender Bedienung dazu, sich stärker an dem Tastaturehäuse abzustützen, als bei stehender Bedienung. Dadurch kann das Tragarmsystem geringfügig schwingen (Amplituden- und Frequenzänderung) bzw. sich der Neigungswinkel des Tastaturehäuses verändern.

Ursachen für die besseren Ergebnisse in aufrechter Position können auch aus präziseren Positioniermöglichkeiten im Stehen resultieren. In aufrechter Position kann das Handgelenk freier bewegt werden und die möglichen Betätigungskräfte und Momente sind bei Kraftwirkung auf das Eingabeelement höher und können präziser vom Menschen kontrolliert werden (allerdings treten Ermüdungserscheinungen in diesem Fall früher ein).

Geräte der Gruppe Mousebutton müssen zum Positionieren gedrückt werden; in stehender Position bilden der das Zeigelement betätigende Finger und der Unterarm eine Linie mit der neutralen Achse des Zeigelements, in sitzender Position liegt der Finger 90 Grad versetzt zur neutralen Achse auf dem Zeigelement. Stehende Bedienung wirkt sich (im Testaufbau der Untersuchung) bei bestimmten indirekt wirkenden Eingabeelementen positiv auf die Ergebnisse des pak-PDI aus. Beim direkt wirkenden Eingabeelement Touchscreen (vertikaler Einbau) verschlechtert sich das Ergebnis bei aufrechter Durchführung von DRAG&DROP Aufgaben (pak-PDI<sub>D</sub> = 2,05) allerdings. Geräte der Gruppe Joystick,

Digitizing Tablet und Touchscreen sind bei der Durchführung von CLICK-Aufgaben bei horizontaler Anordnung der Eingabelemente im Stehen wesentlich besser zu bedienen als im Sitzen. Dies zeigt sich auch, wenn die einzelnen Merkmalswerte miteinander verglichen werden (siehe Anhang C.1.2).

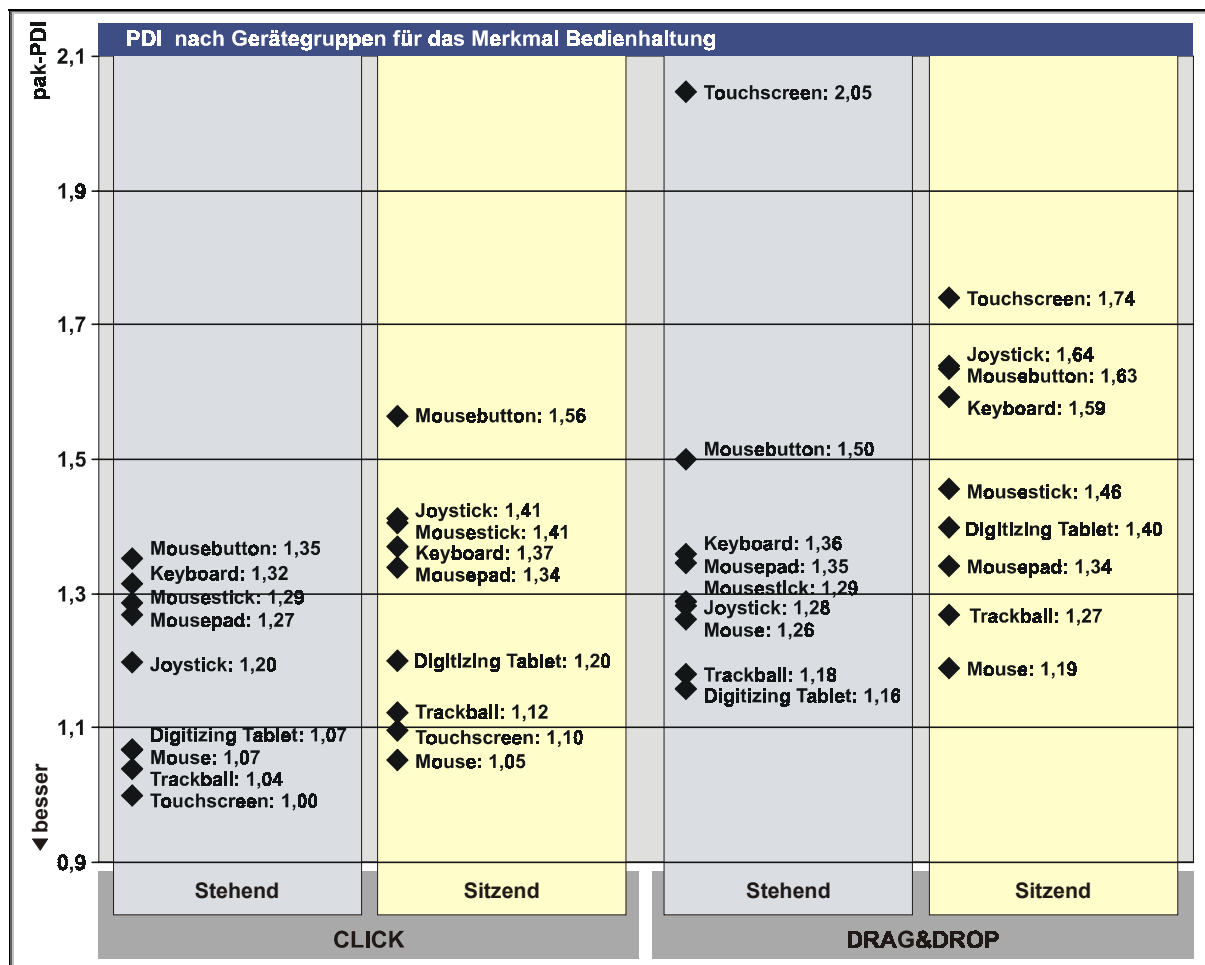


Abbildung 5-4 Vergleich des pak-PDI nach Gerätegruppen für das Merkmal Bedienhaltung (Stehend: VP 1-8; 17-24 und Sitzend: VP 9-16; 25-32) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

Die Untersuchung des Merkmals Bedienhaltung zeigt, dass der häufig an Maschinensteuerungen eingesetzte Mousebutton oder Mousestick für die koordinatengebende Interaktion ungeeignet ist. Meist finden sich diese Interaktionsgeräte für stehende und sitzende Bedienung im hinteren Bereich der Kennwerte. Diese Varianten erzielten in den Tests, insbesondere bei stehender Bedienung mit vertikaler Position des Eingabelements, die schlechtesten Werte.

### 5.2.3 Geräteposition (DEVICE 1998)

Bei der Untersuchung des Merkmals „Position der Eingabelemente“ wird die horizontale Position der vertikalen Position gegenübergestellt. Ziel dieser Untersuchung ist, Aussagen über die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten bei vertikalem Einbau zu treffen. Um den Versuchsumfang und die damit verbundene Belastung der Versuchspersonen möglichst gering zu halten, wird nur die reine vertikale Lage betrachtet, Variationen des Neigungswinkel werden nicht untersucht.

Die Ergebnisse für den pak-PDI für das Merkmal Geräteposition sind in Abbildung 5-5 getrennt nach horizontaler und vertikaler Position dargestellt.

Die Bedienung erfolgt dabei jeweils in stehender Position von erfahrenen Nutzern (Gruppe 5: Geräte in horizontaler Position, Gruppe 9: Geräte in vertikaler Position; vgl. Tabelle 4-5). Da die Kennwerte bei diesem Merkmalsvergleich für die Geräte in horizontaler Position auf die für diese Gruppe spezifischen Referenzwerte der I-MAUS bezogen werden, unterscheiden sie sich zu den unter Abschnitt 5.2.1 dargestellten Kennwerten für die Fortgeschrittenen.

Nur die indirekt wirkenden Geräte Mousebutton, Mousestick und Mousepad können sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Lage oder in geneigter Position eingebaut und bedient werden. In horizontaler Position wird den Probanden ermöglicht, die Eingabeelemente frei zu platzieren, in vertikaler Position werden die Eingabegeräte zentral unterhalb des Displays befestigt. Aus den Gerätegruppen Mousebutton, Mousestick und Mousepad wird jeweils das Gerät mit dem besten Kennwert untersucht (Mousebutton: HULAPPOINT; Mousestick: MICROSTICK; Mousepad: TRACKPAD).

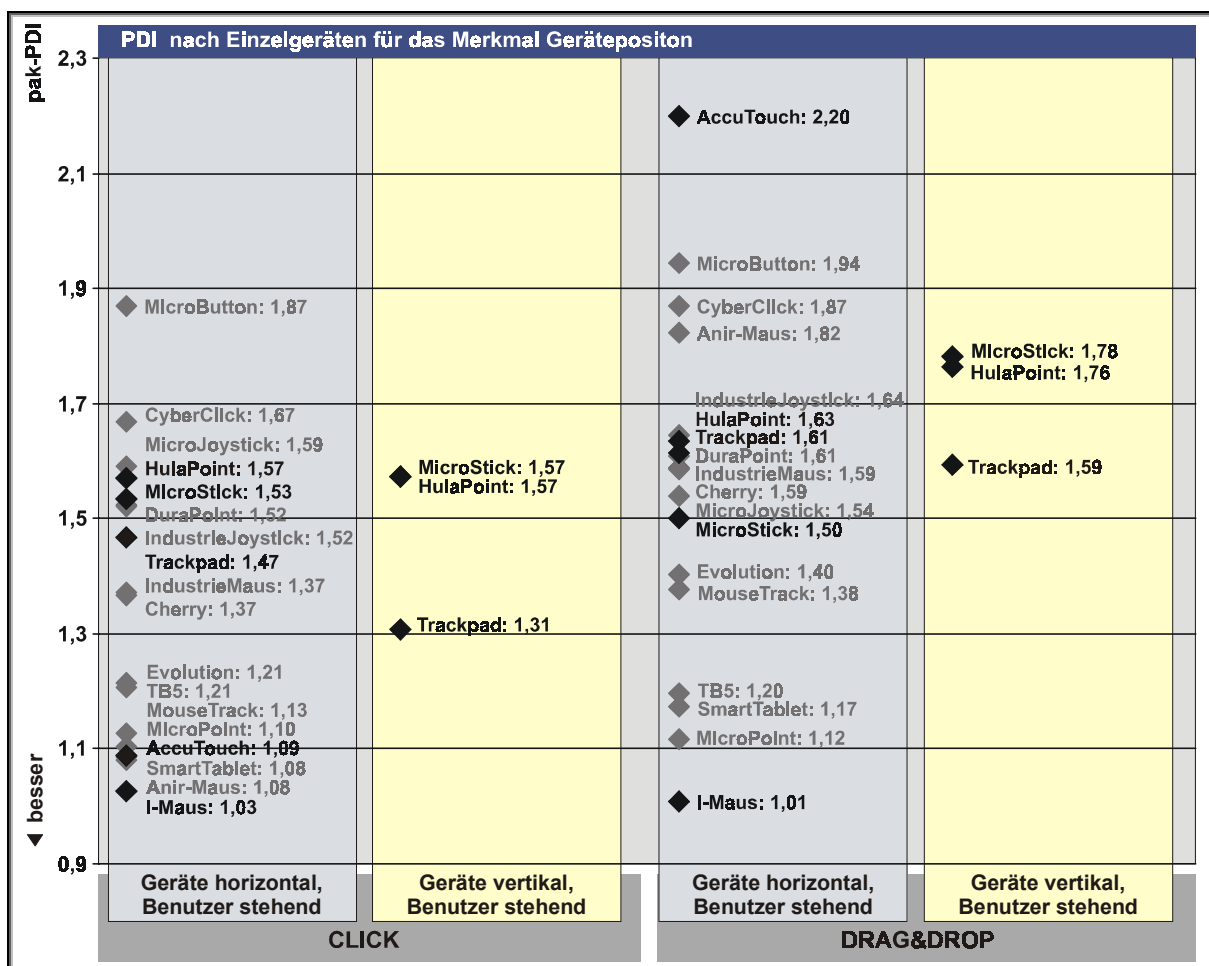


Abbildung 5-5 Vergleich des pak-PDI nach Gerätegruppen für das Merkmal Geräteposition (Geräte horizontal: VP 1-8 und Geräte vertikal: VP 1v-16v) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

Der Touchscreen (ACCUTOUCH) als direkt wirkendes Eingabeelement wird nicht wiederholt getestet, da er bei den anderen Merkmalsvergleichen bereits in vertikaler Position untersucht wurde. Die für den ACCUTOUCH ermittelten Kennwerte (bezogen auf die für

diese Gruppe spezifischen Referenzwerte) sind deshalb den Geräten in horizontaler Position zugeordnet.

Aus Gründen der Kontinuität und um die für vertikale Gerätepositionen ermittelten Werte mit denen für horizontale Gerätepositionen vergleichen zu können, wird die I-MAUS als Referenz gewählt. Da die I-MAUS aber nicht in vertikaler Position getestet werden kann, werden hier die entsprechenden Werte aus horizontaler Lage verwendet. Daraus resultiert eine durchschnittlich schlechtere Bewertung. Keines der getesteten Eingabegeräte erreicht ähnlich gute Werte wie die I-MAUS in horizontaler Position. Das bedeutet aber auch, dass insbesondere in dem Bereich der vertikalen Bedienung noch nicht das optimale Interaktionsgerät gefunden ist.

Bei CLICK-Aufgaben sind die Geräte in vertikaler Position durchschnittlich nicht schlechter, das TRACKPAD erreicht sogar bessere Werte als in horizontaler Position. Dieser Trend ist beim TRACKPAD ebenfalls bei DRAG&DROP-Aufgaben festzustellen. Hier verschlechtern sich jedoch die Geräte HULAPPOINT und MICROSTICK deutlich (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D).

In dieser Auswahl von Interaktionsgeräten erzielt bei den indirekt wirkenden Koordinatengebern das TRACKPAD für die Aufgabentypen CLICK und DRAG&DROP die besten Ergebnisse bei vertikaler Anordnung. Beim Vergleich mit den Geräten in horizontaler Anordnung liegt es jedoch bei beiden Aufgabentypen im hinteren Mittelfeld. Daraus kann gefolgert werden, dass die häufig in der Industrie anzutreffende Tafelbenutzung (vgl. Abschnitt 2.3.5) mit vertikal eingebautem Interaktionsgerät einer guten Gebrauchstauglichkeit entgegenwirkt. Interaktionsgeräte sollten demnach möglichst horizontal angeordnet und so platziert werden, dass die Abduktion der an der Interaktion beteiligten Körperglieder möglichst wenig von der neutralen *Körperhaltung* abweicht, d.h., das Heben des Arms zur Benutzung von koordinatengebenden Interaktionsgeräten sollte vermieden werden.

#### 5.2.4 Gestaltung der Geräte (DEVICE 1998 und DEVICE 2001)

Beim Merkmal Gerätegestaltung wird der Einfluss der Gestaltung auf die Gebrauchstauglichkeit untersucht. Unter Gestaltung wird in diesem Zusammenhang die Bauform sowie die verwendete Technologie verstanden. Die Bauform beeinflusst die Körperhaltung, die Technologie beeinflusst Kräfte, Wege und Momente bei der Betätigung von Positionierelement und Schaltelement (vgl. *isometrisches, isotonisches* Wirkprinzip). Aus beiden Gestaltungsdimensionen resultiert eine gewisse Körperspannung, die ein maßgeblicher Faktor dafür ist, ob ein Interaktionsgerät objektiv und subjektiv gut bedienbar ist, d.h., eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufweist.

Bei der Untersuchung 1998 wird durch Ermittlung des Kennwertes pak-PDI festgestellt, dass einige Geräte nur geringe bis sehr geringe Gebrauchstauglichkeitskennwerte aufweisen (vgl. Abschnitt 5.2.1 – 5.2.3). Dies gilt vor allem für Geräte der Gruppe Mousebutton, Mousystick oder auch Mousepad. Hier stellt sich die Frage, ob das primär auf die **Technologien der Interaktionsgeräte** (Betätigungskräfte etc.) zurückzuführen ist, oder ob hier durch eine **Optimierung der Bauform** bzw. des Gehäuses (und für die Industrie kostengünstigere Variante als die Modifikation der Technologie) Verbesserungsmöglichkeiten bestehen. Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen 1998 werden daher einige der untersuchten Interaktionsgeräte so modifiziert, dass sie ergonomischen Ansprüchen besser genügen (vgl. Abschnitt 2.2.3).

Bei der Gestaltung der Geräte BUTTONSTICK ERGO (Mousebutton), TB5 ERGO (Trackball), TOUCHPAD ERGO (Mousepad) und MICROPOINT ERGO (Mouse) für die Versuchsreihen

2001 werden die Aspekte ergonomischer Gestaltung berücksichtigt. Die dabei erfolgten Entwicklungs- und Modifikationsprozesse werden ausführlich in [Bec02] beschrieben. Da das Kriterium der Gerätegestaltung sehr formindividuell ist, wird in diesem Abschnitt speziell auf die optimierten Einzelgeräte eingegangen. Für diese Einzelgeräte (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D) sind die Ergebnisse des pak-PDI in Abbildung 5-6 für das Merkmal Gerätegestaltung für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben dargestellt. Die Versuchsreihen 2001 werden mit erfahrenen Nutzern in stehender Position durchgeführt. Zum Vergleich mit den 1998 untersuchten (und nicht-optimierten) Geräten werden hier die Kennwerte der Gruppe 6 (Fortgeschrittene, stehend) herangezogen.

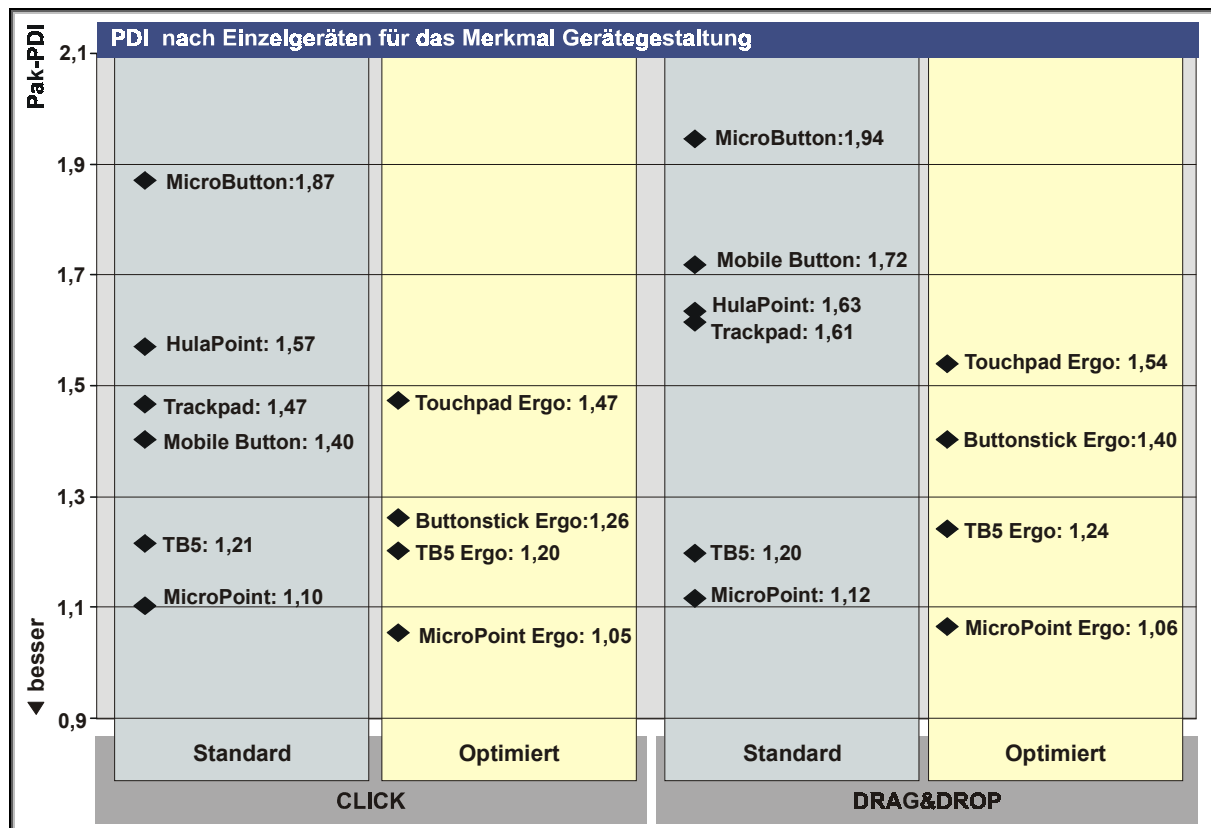


Abbildung 5-6 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für das Merkmal Gerätegestaltung (Geräte Standard: VP 1-8 und Geräte Optimiert: VP 1v-16v) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

Zur Gerätegruppe **Mouse** zählt das Gerät MICROPOINT. Das Gerät MICROPOINT ERGO bildet eine Synthese aus der Technologie des Gerätes MICROPOINT und der Bauform einer herkömmlichen Maus (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D). Der Vergleich der Kennwerte des MICROPOINT ERGO mit dem Ursprungsgerät zeigt bei CLICK- und bei DRAG&DROP-Aufgaben deutliche Verbesserungen. Beim Vergleich mit anderen Geräten liegt es bei CLICK-Aufgaben auf Rang zwei ( $PDI_C=1,05$ ) und bei DRAG&DROP-Aufgaben auf Rang eins ( $PDI_D=1,06$ ). Daraus kann gefolgert werden, dass beim Merkmal Erfahrung nicht das Funktionsprinzip der absoluten Positionierung für den hohen  $PDI_D$  verantwortlich ist, sondern die Bauform des Positionierelements. Dies deckt sich mit den Aussagen der Versuchspersonen, die die Technik der absoluten Positionierung sehr positiv beurteilten. Das Gerät MICROPOINT ERGO stellt aufgrund der vorgenommenen Optimierungen und der dadurch erreichten sehr guten Kennwerte sowohl für CLICK- als auch für DRAG&DROP-Aufgaben ein gebrauchstaugliches Interaktionsgerät dar, das bei entsprechender Schutzart und robuster Ausführung die bisher bei Maschinensteuerungen ver-

wendeten Interaktionsgeräte ersetzen kann: Es benötigt nur einen geringen Bauraum, kann leicht geneigt eingebaut werden und das Positionierelement ermöglicht eine Bedienung mit Handschuhen.

Der ergonomische **Trackball** TB5 ERGO steht im direkten Vergleich zu dem Ursprungsgerät TB5. Durch die ergonomische Bauform wird im Vergleich zu dem Ursprungsgerät eine geringfügige Verbesserung bei CLICK-Aufgaben erreicht. Bei DRAG&DROP-Aufgaben ist er im Vergleich mit dem Ursprungsgerät schlechter. Dies erklärt sich dadurch, dass die Versuchspersonen bei den 1998 getesteten TB5 bei DRAG&DROP-Aufgaben aufgrund des schwergängigen Schaltelementes (Folientaste) beide Hände benutzten und so weniger Fehlversuche hatten und kürzere Bearbeitungszeiten benötigten (eine Hand betätigte das Schaltelement, die andere die Rollkugel). Bei dem 2001 getesteten TB5 ERGO war die Zweihandbedienung aufgrund der Bauform nicht notwendig. Weiteres Optimierungspotential besteht in der Vergrößerung des beim TB5 ERGO bislang klein ausgeführten Schaltelements, damit Selektions- und Manipulationsoperationen bequem von verschiedenen Nutzern mit unterschiedlichen Handgrößen durchgeführt werden können. Fast alle Geräte der Gruppe Trackball stellen bei entsprechender Formgestaltung (relative Anordnung von Schaltelement zu Positionierelement, Elementgröße) und Technologie (Dämpfung der Rollkugel) gebrauchstaugliche Interaktionsgeräte dar. Als positiv wurde bei den Versuchen von den Versuchspersonen die exakte Positioniermöglichkeit des Zeigesymbols mittels der Rollkugel aufgrund ihres Eigengewichts (adäquate Schwergängigkeit) bewertet. Das Positioniersymbol ändert seine Position nicht, während das Schaltelement betätigt wird. Für den industriellen Einsatz sind Trackballs geeignet, da das die Elektronik enthaltende Gehäuse gegen Schmutz abgedichtet werden kann (z.B. kann bei neuerer optischer Technologie Flüssigkeit, die in die Lagerung der Kugel eindringt, durch einen Abfluss ablaufen).

Nicht modifizierte Geräte der Gruppe **Mousebutton** erhalten generell nur mittlere Kennwerte und sind damit nur als bedingt oder nicht gebrauchstauglich einzustufen. Es stellt sich die Frage, ob dies primär auf die Technologien der Interaktionsgeräte (Betätigungskräfte, etc.) zurückzuführen ist, oder ob hier durch eine optimierte Bauform Verbesserungsmöglichkeiten bestehen. Um dies zu untersuchen, wurde der nach dem *isotonischen* Wirkprinzip funktionierende BUTTONSTICK ERGO entwickelt (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D). Technisch basiert dieser auf dem MOBILE BUTTON und ist mit dem ebenfalls isotonischen HULAPPOINT vergleichbar. Er schneidet bei fast allen Aufgaben im Vergleich zu seinen Referenzgeräten MOBILE BUTTON und HULAPPOINT am besten ab. Insbesondere längere DRAG&DROP-Aufgaben (z.B. die Aufgabe Curve) werden schnell gelöst. Das zeigt die gute Handhabbarkeit gerade für komplizierte und umfangreiche Präzisionsaufgaben. Bei den übrigen Testaufgaben platziert er sich ebenfalls vor den Referenzgeräten. Weiteres Optimierungspotential besteht in der Vergrößerung des Schaltelements (vorteilhaft insbesondere bei Nutzern mit großen und breiten Händen). Dadurch ließen sich sicherere und präzisere Positionierungen vor allem bei DRAG&DROP-Aufgaben erreichen. Damit könnten Mousebuttons bei weiterer Entwicklung der Bauform eine Alternative zur Standard-Maus darstellen. Die zum Positionieren eingesetzte Technologie sollte dabei nach dem isotonischen Wirkprinzip arbeiten, d.h., auf Auslenkung und nicht auf Kraft reagieren, da die danach funktionierenden Geräte bessere Kennwerte erreichen. Ob die derzeit schlechten Kennwerte der Mousebuttons auf die Bauform oder die Technologie zurückzuführen sind (wie es momentan den Anschein hat), kann durch eine Untersuchung optimierter Bauformen von isometrischen und isotonischen Mousebuttons festgestellt werden.

Aus der Gerätegruppe **Mousepad** wird das TOUCHPAD ERGO ausgehend vom TRACKPAD nach ergonomischen Gesichtspunkten in Anlehnung an TB5 ERGO so modifiziert, dass bei Manipulationsaufgaben die Abduktion von Körpergliedern und die Körperspannung minimiert wird. Beim Vergleich der Kennwerte zwischen beiden Geräten zeigt sich jedoch keine Verbesserung bei CLICK-Aufgaben und nur eine sehr geringe bei DRAG&DROP-Aufgaben. Daraus kann (trotz technischer Mängel des kleinen Schaltelements) abgeleitet werden, dass die hohen Kennwerte nicht bauformabhängig sondern technologieabhängig sind. Insbesondere schnelle Fingerbewegungen können über das berührungsempfindliche Steuerungsfeld nur schlecht übertragen werden, so dass sich hohe mittlere Bewegungszeiten ergeben. Für das industrielle Umfeld, insbesondere für den Einsatz in Werkstätten und Produktionshallen, erscheinen Geräte der Gruppe Mousepad ungeeignet. Die hohe Sensibilität des Berührungsfeldes macht eine Bedienung mit Handschuhen unmöglich und schränkt somit den Einsatzbereich enorm ein.

## 5.3 Ergebnisse der Versuchsaufgaben FITTS

### 5.3.1 Regressionsanalyse

Zur Klärung der Frage, welche Gleichung für den Index of Difficulty (ID) für die Versuchsauswertung verwendet wird (vgl. Abschnitt 2.4.5 und Anhang B.7.1), wird eine Regressionsanalyse durchgeführt, in der die Korrelationskoeffizienten zur Ermittlung der Indizes of Performance (IP) miteinander verglichen werden. Die Ergebnisse dieser Analyse zeigt Tabelle 5-1.

Der Vergleich über die einzelnen Versuchsaufgaben CLICK horizontal (CH), CLICK vertikal (CV), CLICK multidirektional (CM), DRAG&DROP horizontal (DDH) und DRAG&DROP vertikal (DDV) zeigt, dass die für die MACKENZIE-Gleichung des Index of Difficulty (ID) ermittelten Korrelationskoeffizienten durchschnittlich am höchsten sind ( $r=0,854$ ). Für die weitere Auswertung wird damit die Gleichung von MACKENZIE für den Index of Difficulty (ID) zugrunde gelegt. Die für die jeweiligen Aufgaben ermittelten Bewegungszeiten der einzelnen IDs für die verschiedenen Gleichungen und die daraus resultierenden IPs befinden sich im Anhang C.2.

*Tabelle 5-1 Korrelationskoeffizienten  $r$  der durch lineare Regression ermittelten IP's für FITTS-Versuchsaufgaben für FITTS (F), WELFORD (W), MACKENZIE (M)*

Aufgabentypen	CLICK									DRAG&DROP					
	CH			CV			CM			DDH			DDV		
Aufgaben	F	W	M	F	W	M	F	W	M	F	W	M	F	W	M
ID-Gleichungen	Korrelationskoeffizienten $r$														
Mittelwerte über Geräte	0,93	0,95	0,96	0,92	0,94	0,95	0,97	0,96	0,96	0,77	0,77	0,76	0,64	0,64	0,63
	FITTS (F) ID = $\log_2(2A/W)$			WELFORD (W) ID = $\log_2(A/W+0,5)$			MACKENZIE (M) ID = $\log_2(A/W+1)$								
Mittelwerte über Aufgaben	0,845			0,851			0,854								

Interessant sind in der Tabelle 5-1 die im Vergleich zu den CLICK-Aufgaben deutlich geringeren Regressionskoeffizienten bei den DRAG&DROP-Aufgaben. Dies kann als Hinweis dafür interpretiert werden, dass die von FITTS bzw. von MACKENZIE aufgestellten

Gleichungen Körperbewegungen bei Manipulationsaufgaben von Interaktionsgeräten nicht genau wiedergeben. Die dafür notwendigen Positionieroperationen mit parallelem Selektieren und das Aktivieren im richtigen Augenblick erfordert eine Koordination von Hand und Auge, die durch kognitive Abgleichprozesse in den höheren bzw. *kortikalen* Zentren erfolgt (vgl. Abbildung 2-3). Genau diese perzeptiven und kognitiven Prozesse versuchte FITTS in seinem Originalexperiment zu eliminieren (vgl. Abbildung 2-21). Der von ihm aufgestellte Zusammenhang beschreibt lediglich die isolierte Kanalkapazität des motorischen Systems in einem mathematischen Modell.

Zunächst erfolgt eine standardisierte Auswertung der Testresultate, d.h., es wird der Leistungsindex IP als Kriterium zur Beurteilung der *Effizienz* und *Effektivität* von Interaktionsgeräten herangezogen. Der IP gibt die Leistungsrate für die menschliche Informationsverarbeitung bei Bewegungsaufgaben wieder (in *Bit/s*). Diese Leistungsrate ist interaktionsgerätespezifisch und es gilt: „*Je größer der Leistungsindex IP ist, desto schneller können die Testaufgaben bei steigender Schwierigkeitsanforderung mit dem jeweiligen Gerät ausgeführt werden*“. Da der Leistungsindex IP für sich gesehen jedoch kein aussagekräftiges Beurteilungskriterium für die Gebrauchstauglichkeit eines Eingabeelementes darstellt, wird zusätzlich die mittlere Bewegungszeit (MT, Movement Time) in die Auswertung miteinbezogen und in einer Portfolioanalyse werden beide Kriterien miteinander verknüpft. Auf die teilweise unterschiedliche Bewertung der Interaktionsgeräte zwischen IP und PDI wird im Abschnitt 6 eingegangen.

### 5.3.2 Auswertung des Index of Performance (IP)

Die Ergebnisse für den Index of Performance aller Eingabegeräte sind in Abbildung 5-7 dargestellt (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D).

Beim Vergleich der **CLICK-Aufgaben** zeigt sich deutlich, dass die I-MAUS den höchsten Index of Performance aufweist. Das lässt sich dadurch erklären, dass ausschließlich erfahrene Computernutzer getestet wurden, die häufig am PC arbeiten und sich so an das Eingabegerät Computermaus gewöhnt haben. Mit einigem Abstand folgen bei der Aufgabe CLICK horizontal (CH) die Interaktionsgeräte TRACKBAR und ACCU TOUCH. Beide Geräte zeichnen sich durch eine hohe Leistungsrate aus, obwohl gerade das Gerät TRACKBAR für alle Versuchsteilnehmer neu ist. Gute Ergebnisse liefern die ergonomisch gestalteten Geräte. Das TOUCHPAD ERGO belegt trotz einiger technischer Mängel<sup>28</sup> Rang vier. Der modifizierte TB5 ERGO erreicht einen höheren IP als die Konkurrenzgeräte MOUSETRACK und LOGITECH. Ebenso kann sich der ergonomische BUTTONSTICK ERGO gegen die Mousebuttons HULAPPOINT und MOBILE BUTTON seiner Referenzgruppe durchsetzen.

Bei **DRAG&DROP-Aufgaben** positioniert sich die I-MAUS mit deutlichem Abstand ebenfalls an der Spitze. Sehr gut schneidet erneut der TRACKBAR ab. Dies ist ein Indiz für die gute Handhabbarkeit und die schnelle Erlernbarkeit sowohl für CLICK- als auch für D&D-Aufgaben. Besonders auffällig ist der niedrige Kennwert des Touchscreens ACCU TOUCH. Große Schwierigkeiten ergeben sich für die Testpersonen darin, das Ausgangsobjekt genau über dem Zielobjekt abzulegen. Es muss ein relativ großer Druck auf den Bildschirm ausgeübt werden, um die Objekte nicht frühzeitig loszulassen. Je kleiner die Objekte werden, desto schwieriger gestaltet sich die Aufgabe und es muss zum Teil ein Stift zur Navigation zu Hilfe genommen werden. Relativ gut schneiden bei dem IP-Vergleich der Aufgabe DRAG&DROP horizontal (DDH) der HULAPPOINT und der MOBILE BUTTON ab. Es ist

---

<sup>28</sup> Wegen starker Verschleißerscheinungen reagiert der Zeiger nur sehr träge auf die Berührung des Touchfeldes [Bec02].



jedoch zu beobachten, dass während der Tests sowohl für den HULAPPOINT als auch für den MOBILE BUTTON teilweise beide Hände zur Bedienung benutzt werden. Beim HULAPPOINT wird die rechte Hand zur Positionierung und die Linke zur Selektion verwendet. Beim MOBILE BUTTON wird die zweite Hand zur Stabilisation zu Hilfe genommen. Da beide Eingabeelemente eigentlich für die Einhandbedienung konzipiert sind, ist dieser Effekt negativ in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit zu beurteilen.

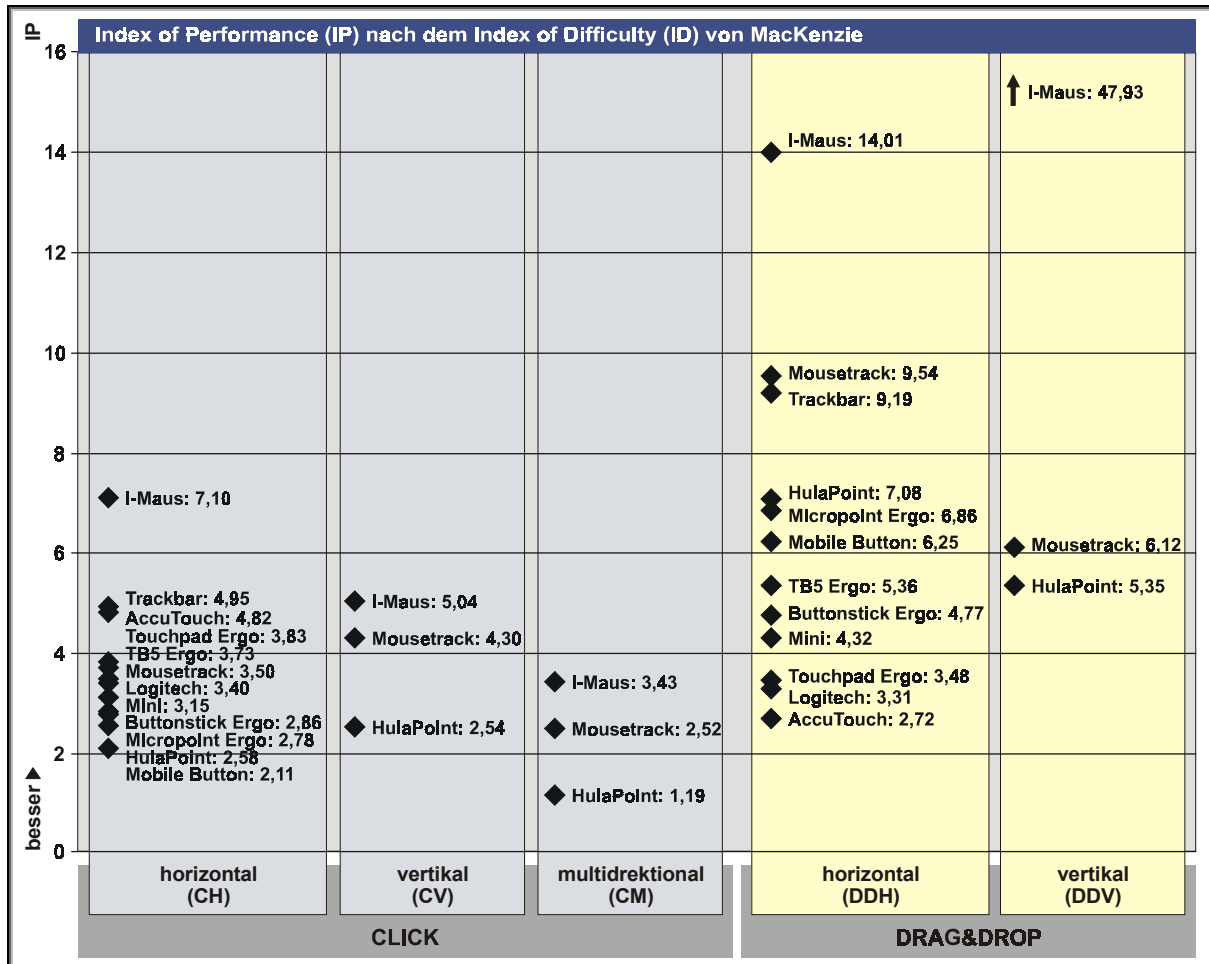


Abbildung 5-7 Vergleich des Index of Performance (IP) nach dem Index of Difficulty (ID) von MACKENZIE für Einzelgeräte (2001: VP 1-16) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

Bei DRAG&DROP-Aufgaben liegen die IP's allgemein auf einem höheren Niveau als bei den CLICK-Aufgaben. Nach Definition der Gleichung von FITTS würde das bedeuten, dass DRAG&DROP-Aufgaben besser gelöst werden können als CLICK-Aufgaben. Bei einzelnen Geräten trifft dieser Fall zwar zu, ein allgemeiner Trend in diese Richtung ist aber empirisch nicht belegbar. Bei horizontalen DRAG&DROP-Aufgaben (DDH) ergeben sich außerdem mittlere Bewegungszeiten, die etwa doppelt bis dreifach so hoch wie die Bewegungszeiten der horizontalen CLICK-Aufgaben (CH) sind (vgl. folgender Abschnitt). Im Gegensatz zu den mittleren Bewegungszeiten – diese können gegenübergestellt und verglichen werden – ist der Index of Performance bei verschiedenen Aufgaben nicht vergleichbar. Die Testergebnisse sind somit nicht als Absolutwerte zu betrachten und können nicht mit den Resultaten der anderen Aufgaben verglichen werden. Die Werte dienen nur dem relativen Vergleich zwischen den Eingabegeräten für die einzelnen Aufgaben.

### 5.3.3 Auswertung der Bewegungszeiten

Im vorherigen Abschnitt wird bei der Gegenüberstellung der Testergebnisse nur der Index of Performance (IP) als Beurteilungskriterium für die Handhabbarkeit der Eingabegeräte herangezogen. Jedoch reicht der IP – aufgrund der Vernachlässigung der Gesamtbewegungszeit – nicht aus, um Aussagen über die Gesamtauglichkeit von Eingabeelementen treffen zu können (vgl. Abschnitt 2.4.5 und Abschnitt 4.1.4). Daher wird die mittlere Bewegungszeit in die Auswertung miteinbezogen. Abbildung 5-8 zeigt die mittleren Bewegungszeiten (MT, Movement Time) über alle Schwierigkeitsindizes (ID) für die Einzelgeräte (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D).

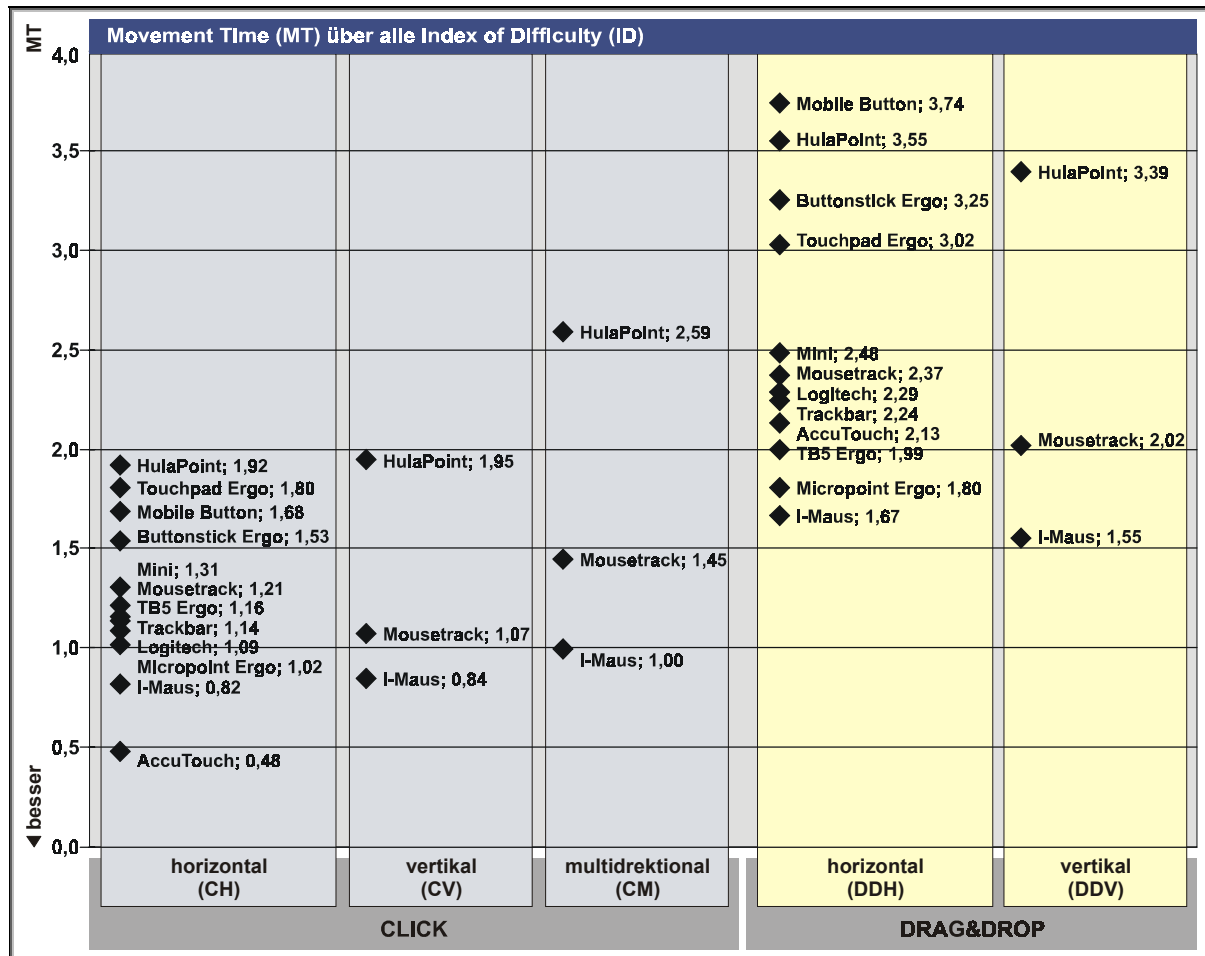


Abbildung 5-8 Vergleich der Movement Time (MT) über alle Index of Difficulty (ID) für Einzelgeräte (2001: VP 1-16) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

Bei den **CLICK-Aufgaben** ist besonders die sehr geringe Bewegungszeit beim TOUCHSCREEN auffällig. Die Aufgabe CLICK horizontal (CH) kann mit diesem Eingabegerät fast doppelt so schnell ausgeführt werden als mit der auf Rang zwei platzierten I-MAUS. Das beim IP-Vergleich eher mäßig abschneidende Gerät MICROPOINT ERGO erreicht bei der Gegenüberstellung der Bewegungszeiten einen beachtlichen dritten Platz. Der BUTTONSTICK geht auch hier wieder als Sieger gegenüber seinen Referenzmodellen hervor. Der ergonomische TB5 ERGO hat zwar längere Bewegungszeiten als der Trackball von LOGITECH, platziert sich aber dennoch vor dem MOUSETRAK. Bei **DRAG&DROP-Aufgaben** liegt die I-MAUS hinsichtlich der Geschwindigkeit auf Platz eins. Trotz zweihän-

diger Benutzung der Geräte HULAPPOINT und MOBILE BUTTON ist der BUTTONSTICK ERGO das schnellste Eingabeelement unter den Mousebuttons.

### 5.3.4 Auswertung mittels der Portfolioanalyse

Die Erstellung einer objektiven Rangfolge aus den zwei unterschiedlichen Beurteilungskriterien Index of Performance (IP) und Bewegungszeit (MT, Movement Time) ist nur bedingt möglich. Einen Lösungsansatz stellt die Portfolioanalyse dar. Dabei werden die Beurteilungskriterien der FITTS-Methodik IP und MT gegeneinander aufgetragen und in einzelne Felder unterteilt. Werden diesen Feldern Bewertungen zugeordnet, ergibt sich eine anschauliche Darstellung (Matrize, Portfolio). Exemplarisch ist eine Vier-Felder-Portfolioanalyse für die Aufgabe CLICK horizontal (CH) in der Abbildung 5-9 dargestellt. Den Einzelgeräten sind jeweils die Werte (MT/IP) zugeordnet (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D).

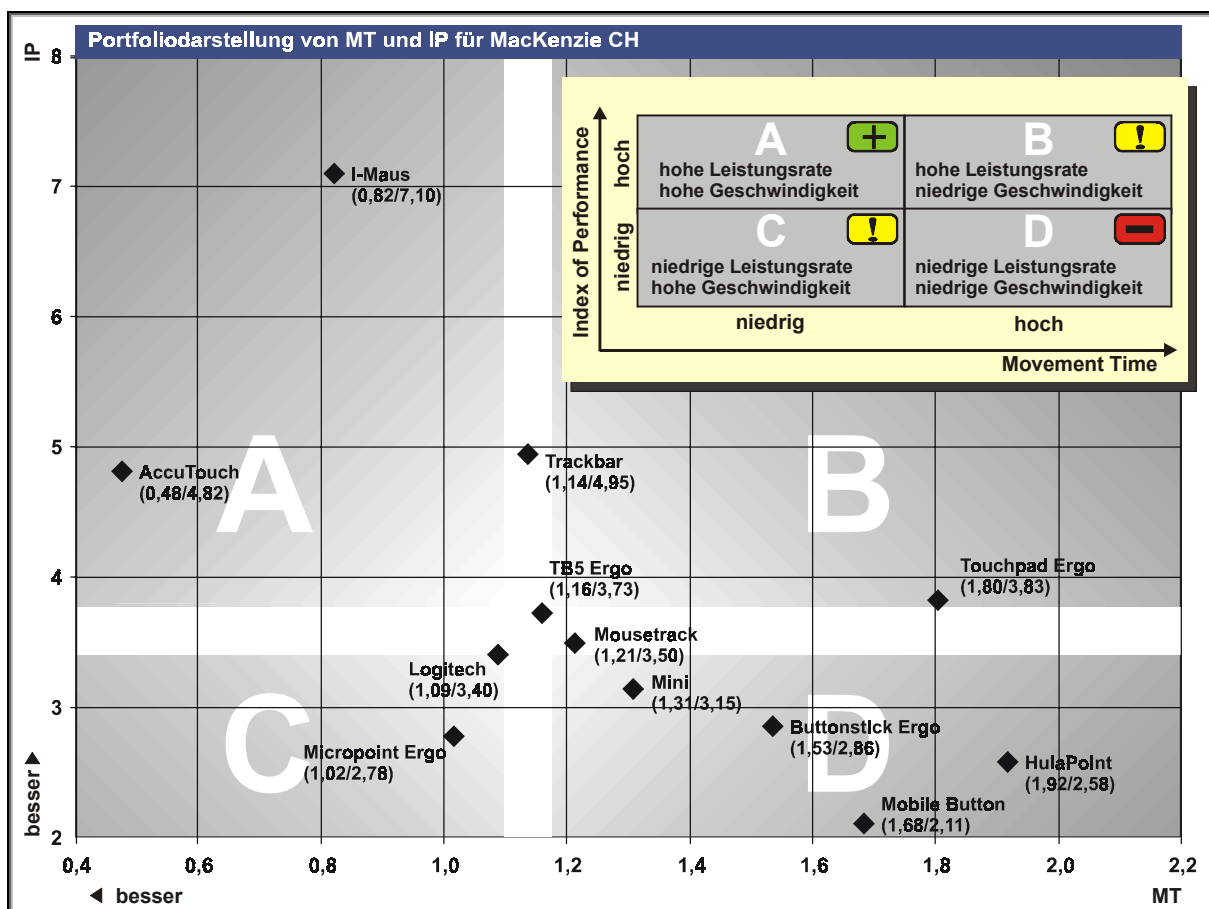


Abbildung 5-9 Portfolioanalyse der Beurteilungskriterien Index of Performance (IP) und Movement Time (MT) für die Aufgabe CH

Für den Index of Performance wird als Richtwert für die Abgrenzung zwischen hoher und niedriger Leistungsrate der halbe IP-Maximalwert gewählt. Die Abgrenzung zwischen schnellen und langsamen Eingabeelementen kann nicht allgemeingültig erfolgen. Kriterien sind u.a. der persönliche Anspruch an das Gerät oder die Anforderung an die Aufgabe. Ist beispielsweise der Geschwindigkeitsanspruch an das Gerät sehr hoch, dann sollte die rechte Grenze von Feld A relativ weit links liegen, dadurch werden die schnellsten Geräte mit niedriger Bewegungszeit (MT) herausgefiltert. Da bei dieser spezifischen Form der Auswertung von FITTS die Unterteilung der Felder und die Gewichtung der Indikatoren

vielen subjektiven Einschätzungen unterworfen ist, bezieht sich die daraus resultierende Bewertung von Interaktionsgeräten individuell auf den jeweiligen Untersuchungskontext.

Als Faustformel lässt sich für Abbildung 5-9 folgende Regel aufstellen: „**Je größer** der Leistungsindex *IP* und je **geringer** die mittlere Bewegungszeit *MT*, **desto geringer** sind die Bewegungszeitunterschiede bei steigendem Schwierigkeitsgrad und **desto schneller** kann die Gesamtaufgabe erfüllt werden“.

Unter diesen Annahmen erweisen sich die Geräte ACCU TOUCH und I-MAUS im **Feld A** als die bestgeeignetesten Geräte für die Aufgabe CLICK Horizontal (CH). Sie zeichnen sich durch eine sehr gute Handhabung aus und heben sich durch besonders kurze Bewegungszeiten deutlich von den übrigen Eingabeelementen ab. Geräte im **Feld B**, wie z.B. der TRACKBAR, sind durch hohe Leistungsraten und lange Bewegungszeiten gekennzeichnet. Ihr Einsatz bietet sich bei kurzzeitiger Nutzung an, wenn die Akkumulation der Bewegungszeiten irrelevant ist (z.B. Point of Information, POI-Einsatz). Merkmale der Geräte im **Feld C** sind kurze Bewegungszeiten und niedrige Leistungsraten. Bei der Einordnung dieser Geräte wirkt sich vermutlich der Einsatz von erfahrenen Computermaus-Benutzern als Probanden aus, die versuchen, die gespeicherten Bewegungsmuster auf diese Geräte zu übertragen. Geräte jener Gruppe wie LOGITECH oder MICROPOINT ERGO könnten bei weiterer Gewöhnung und einer gewissen Lernphase (bei dann wahrscheinlich höheren Leistungsraten) im Dauergebrauch eingesetzt werden). Die Eingabegeräte in **Feld D** sind am wenigsten für die Aufgabe CLICK Horizontal geeignet. Diese zeichnen sich sowohl durch eine lange mittlere Gesamtbewegungszeit, als auch durch einen relativ kleinen Index of Performance aus. Hauptvertreter dieser Gruppe sind die Mousebuttons. Das TOUCHPAD ERGO weist wegen einiger technischer Mängel eine lange mittlere Bewegungszeit auf. Aufgrund seiner guten Handhabung ist es aber schnell erlernbar und so den Buttons vorzuziehen.

## 5.4 Ergebnisse der Befragung

### 5.4.1 Fragebogen

Neben den DEVICE und FITTS-Versuchsaufgaben, die das generelle Versuchsinstrumentarium repräsentieren, wird das individuelle Instrumentarium vor allem durch die Erhebung mittels eines persönlichen Fragebogen vertreten. Durch diesen Fragebogen wird das subjektive Empfinden der Versuchspersonen bzw. ihre Zufriedenheit beim Gebrauch der getesteten Interaktionsgeräte ermittelt.

Für eine Gesamtbewertung der Interaktionsgeräte und zum Vergleich der Ergebnisse von generellem mit individuellem Versuchsinstrumentarium müssen die Versuchspersonen eine **Rangordnung** der Interaktionsgeräte erstellen. Anhand der **Eigenschaften** Formgebung, Manipulierbarkeit, Steuerbarkeit des Zeigers und Rückmeldung auf Betätigung werden Einstellungen der Versuchspersonen zu den untersuchten Interaktionsgeräten mittels einer fünfstufigen Ranking-Skala beurteilt (1 entspricht sehr gut, 5 sehr schlecht). Der Grad der Beeinträchtigungen beim Gebrauch der Geräte wird durch die Frage nach **Problemen**, wie z.B. Schmerzen oder Beschwerden in den verschiedenen Körperteilen, überprüft.

### 5.4.2 Rangordnung

Die Probanden werden am Ende der Testreihen gebeten, alle Interaktionsgeräte in eine Rangreihenfolge zu bringen. Diese wird gebildet, indem das aus Sicht des jeweiligen Pro-

banden beste Gerät Rang eins erhält. Die Beurteilungen der einzelnen Versuchspersonen werden durch eine Häufigkeitsverteilung ausgewertet. Es wird vermerkt, wie oft sie welches Gerät auf den jeweiligen Rängen einstufen. Tabelle 5-2 zeigt das Ergebnis bezogen auf die jeweilige Gruppe von Versuchspersonen (vgl. Tabelle 4-5) für die Versuchsreihe 1998 (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D).

Tabelle 5-2 Rangreihenfolge der Versuchspersonen für die Versuchsreihe 1998

Merkmal		Erfahrung			Bedienhaltung		Erfahrung & Bedienhaltung				Pos.
Versuchspersonen (VP)		Alle 1-32	Fort. 1-16	Anf. 17-32	Steh. 1-8, 17-24	Sitz. 9-16, 25-32	Fort. Steh. 1-8	Fort. Sitz. 9-16	Anf. Steh. 17-24	Anf. Sitz. 25-32	1v- 16v
Gruppen-Nummer der VP		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gerätegruppe	Gerät	Rangreihenfolge									
Mouse	I-MAUS	1	1	1	1	1	1	2	1	1	–
	ANIR-MAUS	5	7	5	6	5	3	7	5	4	–
	MICROPOINT	9	3	10	10	8	8	1	12	10	–
Trackball	TB5	4	9	2	4	6	7	8	3	2	–
	EVOLUTION	3	4	4	3	3	5	5	3	3	–
	MOUSETRACK	2	4	2	2	6	4	6	2	6	–
Mousepad	TRACKPAD	8	8	7	8	4	10	4	6	9	1
Mousebutton	CYBERCLICK	15	13	14	15	15	14	11	13	17	–
	DURAPPOINT	12	14	12	13	11	13	16	11	12	–
	HULAPPOINT	13	15	11	14	14	15	17	10	11	3
	MICROBUTTON	18	18	15	16	18	16	18	16	13	–
Mousestick	MICROSTICK	17	17	18	18	16	18	14	17	16	2
	MICROJOYSTICK	16	16	16	17	13	17	14	18	14	–
Joystick	INDUSTRIEMAUS	11	11	13	11	12	11	13	14	15	–
	INDUSTRIEJOYSTICK	14	12	17	12	17	12	11	15	18	–
Dig. Tablet	SMARTTABLET	6	2	8	7	2	5	3	8	6	–
Touchscreen	ACCU TOUCH	7	6	6	5	9	2	9	7	4	–
Keyboard	CHERRY	10	10	9	9	10	9	10	9	8	–

Beim Vergleich zwischen den einzelnen Gruppen zeigen sich teilweise deutliche Unterschiede, aber auch Tendenzen über alle Gruppen hinweg. Die kontroverseste Beurteilung erhält das Gerät MICROPOINT, das von allen Fortgeschrittenen (Gruppe 1) an Platz 3 gesetzt wird, von den Anfängern (Gruppe 2) aber nur Platz 10 erhält. Beim Vergleich der Bedienhaltung der Fortgeschrittenen, erreicht der MICROPOINT bei stehender Bedienung (Gruppe 5) Rang 8 und bei sitzender Bedienung (Gruppe 6) Rang 1. Ähnlich verhält es sich beim Touchscreen, der von der Gruppe der Fortgeschrittenen bei stehender Bedienung mit Rang 2 und bei sitzender Bedienung mit Rang 9 bewertet wird. Geräte der Gruppe Mousebutton und Mousestick erhalten mit durchschnittlich hohen Rängen die schlechtesten Beurteilungen. Bei vertikaler Bedienung (Gruppe 9) spiegelt sich die Bewertung durch den pak-PDI in der Rangreihenfolge durch die Benutzer wieder (vgl. Abbildung 5-5).

Die Identifikationsmerkmale der hervorgehobenen Gruppe 5 (Fortgeschrittene, stehend) für die Versuchsreihe 1998 entsprechen denen der Versuchspersonen für die Versuchsreihe 2001. In Tabelle 5-3 sind deren Rangordnungen wiedergegeben. Für 1998 sind zum tendenziellen Vergleich zwischen 1998 und 2001 die gewichteten Ränge bezogen auf eine *Grundgesamtheit* von 12 Geräten wiedergegeben.

Tabelle 5-3 Vergleich der Rangreihenfolge der Versuchspersonen der Gruppe 5 1998 mit den Versuchspersonen 2001

Gerätegruppe	1998 (18 Geräte)			2001 (12 Geräte)		Tendenz 1998 → 2001
	Gerät	Rangreihenfolge		Gerät	Rangreihenfolge	
		Rang	Rang, gewichtet		Rang	
Mouse	I-MAUS	1	0,66	I-MAUS	1	gleich
	MICROPOINT	8	5,33	MICROPOINT ERGO	2	besser
	-	-	-	TRACKBAR	7	-
Trackball	MOUSETRACK	4	2,67	MOUSETRACK	9	schlechter
	-	-	-	LOGITECH	4	-
	TB5	7	4,67	TB5 ERGO	6	fast gleich
	-	-	-	MINI	8	-
Mousebutton	HULAPPOINT	15	10	HULAPPOINT	12	fast gleich
	-	-	-	MOBILE BUTTON	11	-
	MICROBUTTON	16	10,67	BUTTONSTICK ERGO	5	besser
Mousepad	TRACKPAD	10	6,67	TOUCHPAD ERGO	10	schlechter
Touchscreen	ACCUTOUCH	2	1,33	ACCUTOUCH	3	schlechter

Der Vergleich zwischen den Versuchsreihen 1998 und 2001 zeigt, dass die ergonomische Gestaltung bei den Geräten MICROPOINT ERGO und BUTTONSTICK ERGO von den Versuchspersonen durch bessere Rangplätze honoriert wird. Das Gerät TOUCHPAD ERGO erhält jedoch schlechtere Bewertungen als das Ursprungsgerät. Dies kann auf noch nicht ausreichende Optimierung des Gehäuses und auf 2001 zusätzlich gestestete neue und bessere Geräte zurückgeführt werden. Detaillierte Bewertungen der Versuchspersonen zu den einzelnen Geräten sind im folgenden Abschnitt wiedergegeben.

### 5.4.3 Eigenschaften der Interaktionsgeräte

Die Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich der elementaren Interaktionsoperationen Positionieren, Selektieren und Manipulieren und der damit verbundenen Hardwareelemente (vgl. EIM, Elementary Interaction Model, Abbildung 2-8) lässt sich durch Beurteilung der Eigenschaften Steuerbarkeit, Rückmeldung und Manipulierbarkeit durch die Versuchspersonen ermitteln. Weitere Rückschlüsse auf die Gebrauchstauglichkeit und die Benutzerzufriedenheit können aus der Eigenschaft Formgebung gezogen werden. Hierzu werden die Versuchspersonen aufgefordert, die untersuchten Interaktionsgeräte vergleichend zu bewerten. Die fünfstufige Ranking-Skala ist so gestaltet, dass die Geräte mit den niedrigsten Ziffern die am besten bewerteten sind (1 = sehr gut, 5 = sehr schlecht). In der Abbildung 5-10 sind die Ergebnisse der Versuchsreihen 1998 und 2001 abgebildet (vgl. Abbildung 4-11 und Anhang D).

Um die Vergleichbarkeit zwischen den beiden Versuchsreihen zu gewährleisten, werden nur diejenigen Versuchspersonen mit dem gleichen Identifikationsmerkmal (Fortgeschrittene und stehende Bedienung) betrachtet.

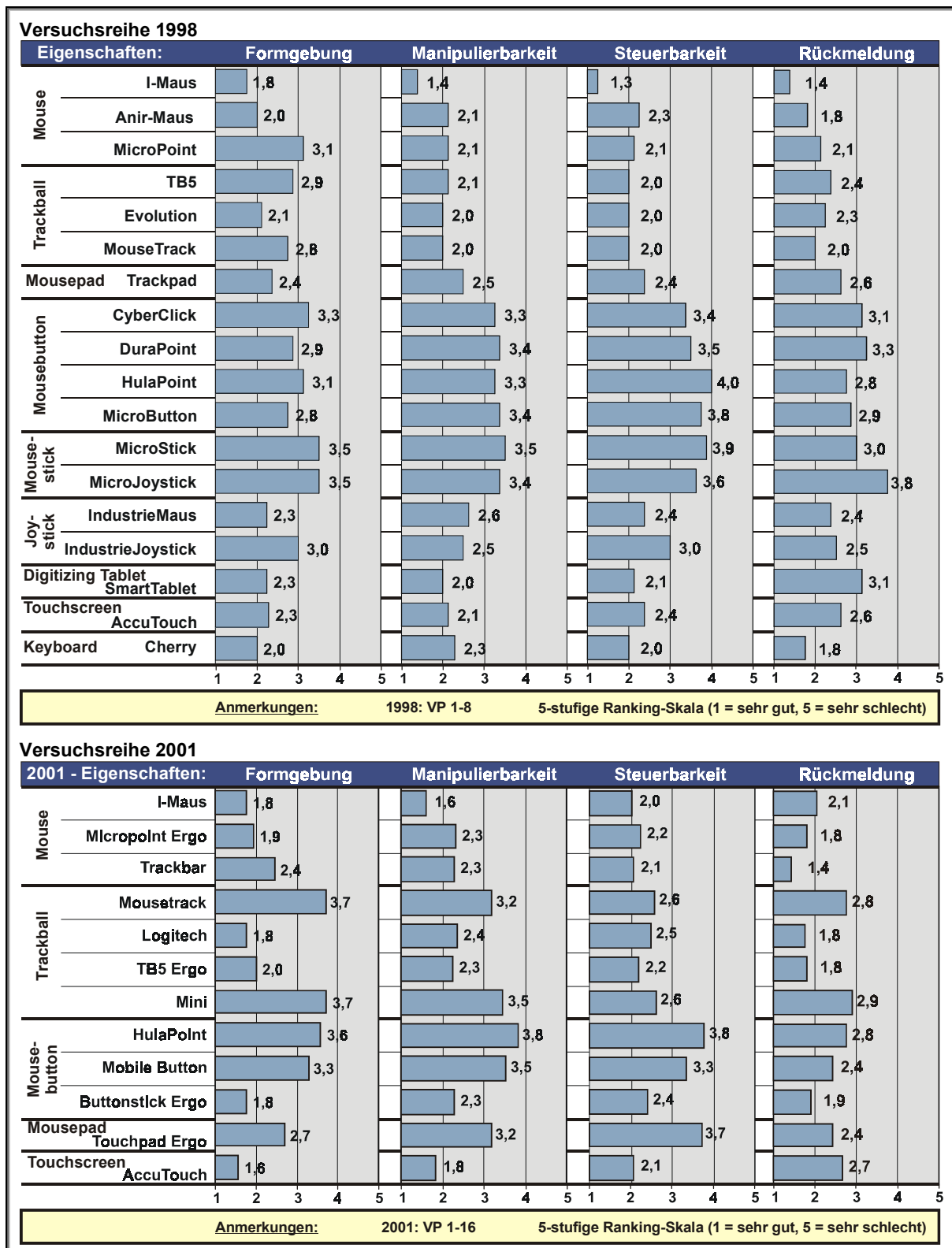


Abbildung 5-10 Bewertung der Eigenschaften der Interaktionsgeräte

Die **Formgebung** beinhaltet Eigenschaften wie Anordnung des Tasters bzw. des Bewegungselements, die Handauflageoberfläche sowie die gesamte Form des Moduls. Wie in Abbildung 5-10 zu erkennen ist, ergeben sich bei der Form der Geräte teilweise große Unterschiede. Sehr gut schneidet bei der Versuchsreihe 2001 der **BUTTONSTICK ERGO**, vor allem im Vergleich zu den übrigen Mousebuttons, ab. Im Vergleich zu den Geräten **MOBI-**

LE BUTTON und HULAPOINT wird sowohl die Gestalt des BUTTONSTICK ERGO in Form eines Joysticks, als auch die pistolenähnliche Anordnung des Auslösers als besonders geeignet bewertet. Sehr schlecht fällt neben den Mousebuttons auch bei der Versuchsreihe 2001 die Beurteilung der Trackballs MOUSETRACK und MINI aus. Beim MOUSETRACK wird besonders die unvorteilhafte Anordnung des Auslöseknopfes bemängelt. Das Gerät MINI wird allgemein als zu klein und unhandlich eingeschätzt.

Das Kriterium **Manipulierbarkeit** beschreibt, wie gut mit dem Eingabeelement umgegangen werden kann und gibt die Einschätzung der Versuchspersonen hinsichtlich der Elementaraufgabe Manipulieren wieder. Einen guten Gesamteindruck liefert neben der I-MAUS auch der Touchscreen. Einen schlechten Eindruck hatten die Versuchspersonen 1998 von allen Mousebuttons und Mousesticks und 2001 von den Geräten MOUSETRACK, MINI, HULAPOINT, MOBILE BUTTON und TOUCHPAD ERGO.

Unter der **Steuerbarkeit des Zeigers** wird die Eigenschaft verstanden, das Positioniersymbol von einer Bildschirmecke in die andere bzw. von einem Objekt zu einem anderen zu bewegen (Positionieren im EIM). Die meisten Geräte erfüllen nach Aussagen der Probanden diese Eigenschaften gut bis sehr gut. Ausnahmen bilden 1998 die Mousebuttons und Mousesticks sowie 2001 die Geräte HULAPOINT, MOBILE BUTTON und TOUCHPAD ERGO.

Bei der **Rückmeldung auf Betätigung** wird die Gebrauchstauglichkeit des Schaltelements (Selektieren im EIM) beurteilt. Bei den Versuchsreihen 2001 erreichen I-MAUS, ANIR-MAUS und das Keyboard sehr gute Werte. Eine besonders schlechte Beurteilung erhält der MICROJOYSTICK, der als Schaltelement eine Folientaste ohne haptische Rückmeldung besitzt. Eine sehr gute Bewertung erzielt bei den Versuchsreihen 2001 der TRACKBAR, aber auch die Geräte BUTTONSTICK ERGO, TB5 ERGO, LOGITECH und MICROPOINT ERGO besitzen ein gutes Schaltelement. Eine schlechte Auslösefunktion hat der Trackball MINI, da hier der Knopf sehr schwer zu betätigen ist und so neben der schlechten Form des Gerätes schnell zu Verkrampfungen der Hand führt.

#### 5.4.4 Körperliche Beeinträchtigungen

Feinmotorische Tätigkeiten, wie sie bei der Handhabung eines Interaktionsgerätes üblich sind, können neben muskulösen und zentralnervösen Ermüdungserscheinungen auch medizinische Störungen<sup>29</sup> hervorrufen. Die Bedeutung dieser Belastungen ist in Abschnitt 2.2.4 beschrieben. Der von den Versuchspersonen ausgefüllte Fragebogen liefert erste Indikationen für Beeinträchtigungen beim Gebrauch der Geräte, wie z.B. Schmerzen oder Beschwerden in den verschiedenen Körperteilen Finger, Hand, Handfläche, Arm oder Schulter. In Abbildung 5-11 sind die daraus resultierenden Ergebnisse dargestellt (vgl. Darstellung in Abbildung 4-11 und im Anhang D).

Die Versuchspersonen können für jedes Interaktionsgerät bei Problemen am entsprechenden Körperteil „Ja“ oder „Nein“ ankreuzen. Die Angaben für die jeweiligen Interaktionsgeräte sind über die Versuchspersonen gemittelt und in Prozent dargestellt. Um Vergleichbarkeit zwischen beiden Versuchsreihen zu gewährleisten, werden auch hier nur

---

<sup>29</sup> Idealerweise werden diese Arten von Störungen, d.h., die Existenz, die Art, der Schweregrad, die Lokalisation und die daraus resultierenden Prognosen mittels verschiedener Biosignale, wie z.B. Herzfrequenz, Blutdruck, Blutfluss und Muskelaktivitäten, ermittelt. Zum einen bedeutet dies für die Versuchsleitung und die Probanden einen enormen Untersuchungsaufwand und zum anderen müssen entsprechende Geräte und das zur Bedienung und Auswertung erforderliche Fachwissen zur Verfügung stehen. Da dies bei der durchgeführten Untersuchung nicht der Fall ist, werden diese Daten alternativ nur mittels eines Fragebogens erhoben.



diejenigen Versuchspersonen mit dem gleichen Identifikationsmerkmal (Fortgeschrittene und stehende Bedienung) betrachtet.

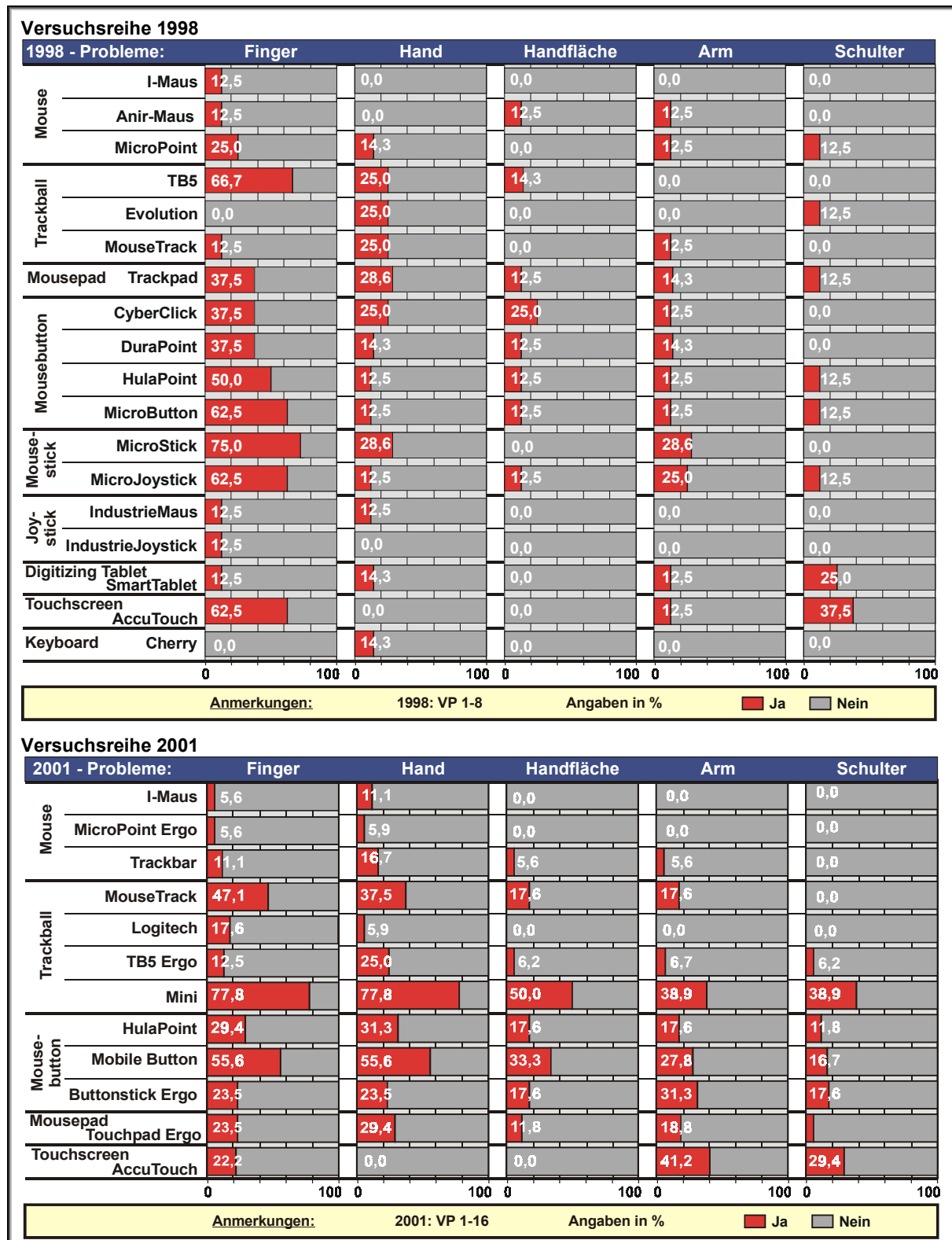


Abbildung 5-11 Beurteilung der körperlichen Beeinträchtigungen durch die Interaktionsgeräte

Beeinträchtigungen am **Finger** werden nach Angaben der Versuchspersonen bei der Versuchsreihe 1998 neben den Gerätegruppen Mousebutton und Mousestick durch den

Trackball TB5 (66,7%) und den Touchscreen (62,5%) hervorgerufen. Beim TB5 ist dies auf die mit hoher Kraft zu betätigende Folientaste des Schaltelements zurückzuführen. Bei der Versuchsreihe 2001 werden die Trackballs MOUSETRACK, MINI sowie der Mousebutton MOBILE BUTTON als problemverursachend genannt. Bei Problemen an der **Hand** werden von den Versuchspersonen 2001 ebenfalls die Trackballs MOUSETRACK, MINI sowie der Mousebutton MOBILE BUTTON genannt. 1998 gibt ca. ein Viertel der Versuchspersonen an, mit fast allen Geräten Probleme an der Hand zu haben. Die **Handfläche** wird von den Versuchspersonen 1998 kaum als Körperteil mit Störungen identifiziert. 2001 werden hier wieder Schwierigkeiten beim Gebrauch des Trackballs MINI und des Mousebuttons MOBILE BUTTON genannt. Bei den Körperteilen **Arm** und **Schulter** erfolgt ein deutlicher Anstieg der Nennungen für den Touchscreen.

Die beim Gebrauch von verschiedenen Interaktionsgeräten genannten Probleme in den verschiedenen Körperteilen korrelieren mit den typischerweise an der Interaktion beteiligten Extremitäten (vgl. Abbildung 2-12). So werden, z.B. bei den Gerätegruppen Mouse und Trackball, Beeinträchtigungen vor allem an Fingern bzw. Hand und bei den Gerätegruppen Mousebutton und Mousestick am gesamten oberen Bewegungsapparat genannt.

Der Vergleich zwischen den Versuchsreihen 1998 und 2001 zeigt bei den optimierten Geräten MICROPOINT ERGO, TB5 ERGO, BUTTONSTICK ERGO und TOUCHPAD ERGO deutlich weniger Nennungen. Die in einem ersten Schritt erfolgte Verbesserung der Formgestaltung von industriell eingesetzten Interaktionsgeräten führte zur Reduzierung der Belastung und damit zur Erhöhung der Benutzungsfreundlichkeit.

## 5.5 Fazit – Anwendung der DEVICE-Methodik

### 5.5.1 Übersicht

Die DEVICE-Methodik ist eine in der Art des Vorgehens festgelegte Verfahrensweise zur quantitativen und qualitativen Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten bei grafischen Benutzungsoberflächen. Die Methodik kann in verschiedenen Anwendungsbereichen (z.B. im industriellen Umfeld oder im Bürobereich) eingesetzt werden. Indem unter industrienahen Bedingungen getestet wird, kann die industrielle Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten ermittelt werden. Durch entsprechende Versuchsgestaltung können verschiedene Identifikationsmerkmale (z.B. Erfahrung, Bedienung, Geräteposition, Gerätegestaltung) überprüft werden<sup>30</sup>.

Es ist möglich, die nachfolgend in Abschnitt 5.5.2 beschriebenen Prinzipien der DEVICE-Methodik für zukünftige Interaktionstechniken anzuwenden. In Abbildung 5-12 ist die DEVICE-Methodik hinsichtlich der verwendeten Instrumente, der Merkmale und der bei der Konzeption berücksichtigten Modelle des Menschen (vgl. Abschnitt 2.4) dargestellt.

---

<sup>30</sup> Um die Vergleichbarkeit von zukünftigen Versuchsreihen mit den in dieser Arbeit beschriebenen Versuchsreihen zu gewährleisten, sollten die zukünftigen Versuche bei vergleichbarer Objektgröße und Auflösung durchgeführt werden. Die hier beschriebenen Versuchsreihen werden mit einer Auflösung von 800 x 600 Pixel (dpi) bei einer Pixelgröße (dot size) von 0,33 x 0,33 mm<sup>2</sup> ausgeführt (die Gesamtfläche des hier verwendeten 10,4 Zoll großen Bildschirms beträgt damit 264 x 198 mm<sup>2</sup>). Insbesondere die Größe der Schaltflächen und der Abstand dazwischen sollte bei zukünftigen Versuchsreihen um nicht mehr als 10% von den ursprünglichen Werten abweichen.

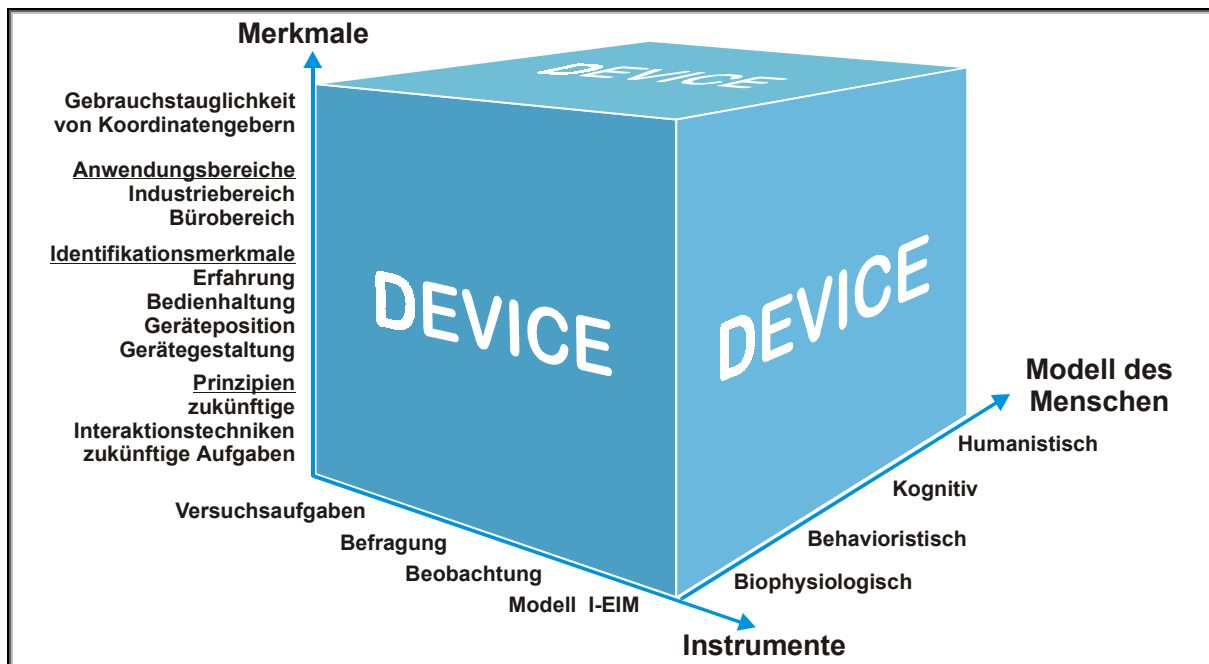


Abbildung 5-12 Dimensionen der DEVICE-Methodik

Als **Instrumente** der DEVICE-Methodik stehen dem Anwender Versuchsaufgaben, Befragungen und Beobachtungen zur Verfügung.

Die **Versuchsaufgaben** des generellen Versuchsinstrumentariums liefern **Merkmalswerte** bezüglich der psychomotorischen (Untersuchungs-) Merkmale Geschwindigkeit (gemessene Variable: Zeit), Vollständigkeit (gemessene Variable: Versuchsanzahl) und Genauigkeit (gemessene Variable: Punkte innerhalb/außerhalb bei Aufgabe Curve bzw. festgelegte Variable durch Objektgröße). Aus diesen Merkmalswerten wird ein einfacher **Kennwert** (pak-PDI) gebildet, anhand dessen für den untersuchten Kontext die Gebrauchstauglichkeit der untersuchten Interaktionsgeräte beurteilt werden kann. Diese Beurteilung kann vergleichend und anhand der gewonnenen Erfahrungswerte absolut erfolgen. Dies gilt für verschiedene Aufgaben (Menu, Window, Button, Box, Text, Rectangular und Curve), verschiedene Aufgabentypen (CLICK und DRAG&DROP), verschiedene Interaktionsgeräte innerhalb einer Studie (interstudial) und verschiedene Interaktionsgeräte zwischen verschiedenen Studien (intrastudial).

Die **Befragung** des individuellen Instrumentariums liefert eine subjektive Beurteilung durch die Versuchspersonen hinsichtlich verschiedener Faktoren von Interaktionsgeräten. Durch Vergleich der Ergebnisse des Fragebogens mit den Ergebnissen der Versuchsaufgaben lassen sich die ermittelten Merkmals- und Kennwerte interpretieren und Ursachen für die PDI-Bewertung feststellen. Die Befragung dient neben der Interpretation der Daten des generellen Versuchsinstrumentariums der gegenseitigen Kontrolle. Ergebnisse der Befragung und der Beobachtung sollten mit den Ergebnissen der Versuchsaufgaben hoch korrelieren. Die **Beobachtung** der Versuchspersonen des individuellen Instrumentariums liefert mittels einer objektiven Beurteilung durch einen Versuchsleiter weitere Hintergrundinformationen, die zur Interpretation der Merkmals- und Kennwerte dienen. Ausgehend von dem Modell für elementare Interaktionsoperationen (vgl. Abschnitt 2.3.3) und basierend auf den Erfahrungen und Beobachtungen bei den durchgeführten Untersuchungen (vgl. Abschnitt 5) wird speziell für die industrielle Gebrauchstauglichkeit ein im Abschnitt 5.5.3 beschriebenes industriell orientiertes **Modell** für elementare Interaktionsoperationen

I-EIM (Industrial Elementary Interaction Model) zur qualitativen Beurteilung von Interaktionsgeräten entwickelt.

Die DEVICE-Methodik setzt sich damit zusammen aus einer quantitativen und qualitativen Beurteilung. Die **quantitative** Beurteilung erlaubt die zahlenmäßige Bewertung eines Interaktionsgerätes. Diese ergibt sich aus dem Kennwert **PDI** (Pointing-Device-Index). Mit diesem Kennwert ist es möglich, quantitativ zu **erkennen**, dass ein spezifisches Gerät gebrauchstauglich ist oder nicht. Die **qualitative** Beurteilung ermöglicht eine erklärende Bewertung eines Interaktionsgerätes, d.h., es ist möglich qualitativ zu **interpretieren, warum** bzw. warum ein Gerät nicht gebrauchstauglich ist. Das **I-EIM** (vgl. Abschnitt 5.5.3) ermöglicht durch die qualitative Beurteilung von Interaktionsgeräten die Interpretation des PDI und es können Gestaltungsempfehlungen und Verbesserungspotentiale der untersuchten Interaktionsgeräte abgeleitet werden. In den folgenden Abschnitten wird die Anwendung des quantitativen und qualitativen Instrumentariums erläutert.

### 5.5.2 Quantitative Beurteilung – PDI

Die generelle **Vorgehensweise** des generellen DEVICE-Instrumentariums zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von neuen Interaktionsgeräten, die nicht in den durchgeführten Untersuchungen getestet wurden, ist in Abbildung 5-13 anhand eines Programmablaufplans dargestellt [DIN66001].

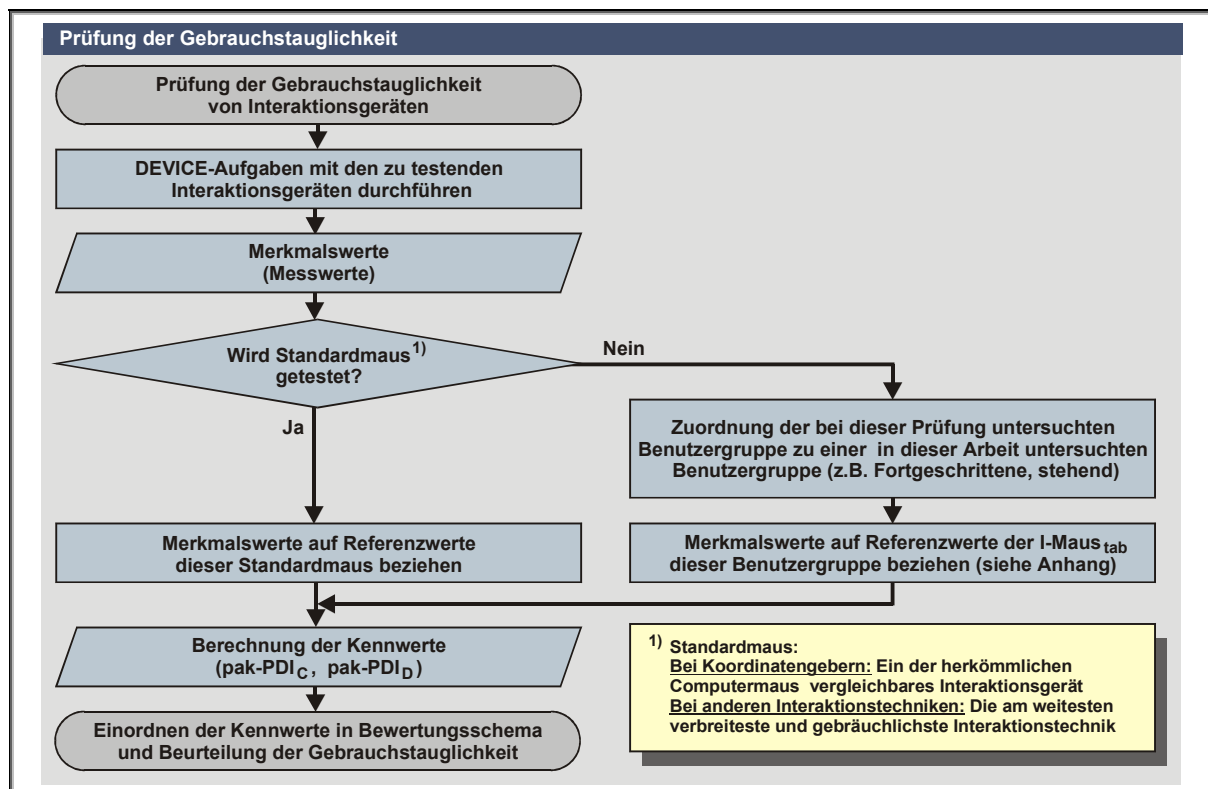


Abbildung 5-13 Ermittlung des PDI

Die **Vorgehensweise** zur Prüfung der Gebrauchstauglichkeit orientiert sich an folgenden Prinzipien:

- Gestaltung von Versuchsaufgaben, die typisch für die Interaktionsform sind.
- Festlegung der Merkmale der Untersuchung (z.B. Geschwindigkeit, Vollständigkeit, Genauigkeit) und der zu messenden Merkmalswerte.

- Durchführung der Versuche mit unterschiedlichen Geräten.
- Referenzieren der Merkmalswerte auf ein weit verbreitetes Gerät oder eine gebräuchliche Interaktionsform, damit ein studienübergreifender Vergleich möglich ist.
- Berechnung der Kennwerte aus den gemessenen Merkmalswerten.
- Bewertung der Interaktionsgeräte anhand der Kennwerte.

Stehen nicht genügend Versuchspersonen zur Verfügung, können mittels der im Anhang angegebenen durchschnittlichen Merkmalswerte für das Referenzgerät I-MAUS spezifische Kennwerte auch für einzelne Versuchspersonen berechnet werden.

Durch das in Abbildung 5-14 dargestellte **Bewertungsschema** ist die Einordnung neuer Geräte in einzelne Gebrauchstauglichkeitsbereiche möglich.

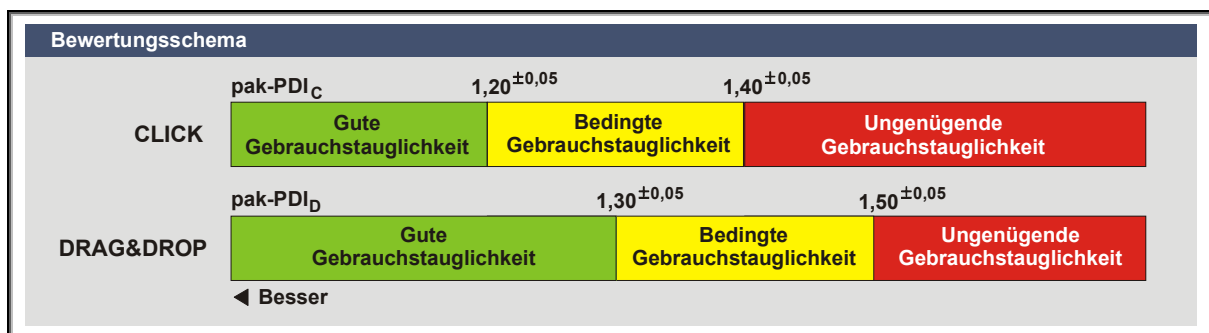


Abbildung 5-14 Bewertung des PDI

Die Grenzen der Bereiche ergeben sich durch den Vergleich der Ergebnisse der Identifikationsmerkmale Erfahrung, Bedienung, Geräteposition und Formgestaltung aus den Versuchsreihen 1998 und 2001. Insbesondere bei den Merkmalen Erfahrung (vgl. Abbildung 5-3) und Bedienung (vgl. Abbildung 5-4) ist bei CLICK-Aufgaben ein deutlicher Abstand zwischen einer ersten Gruppe von Geräten und den übrigen Geräten zu erkennen. Geräte im Bereich „Gute Gebrauchstauglichkeit“ erreichen bei CLICK-Aufgaben meist PDI-Werte kleiner als 1,20. Bei Geräten mit Kennwerten im Bereich „Bedingte Gebrauchstauglichkeit“ (etwa zwischen PDI-Werten von 1,2 und 1,4) sollte überprüft werden, ob diese nicht durch alternative Geräte ersetzt werden können, oder ob Randbedingungen wie Benutzungsdauer, Einbauposition oder Gehäuseform optimiert werden können. Geräte mit Kennwerten im Bereich „Ungenügende Gebrauchstauglichkeit“ sollten entsprechend dem untersuchten Kontext nicht verwendet werden. Bei DRAG&DROP-Aufgaben liegen die Grenzen höher, da hier meist durch höhere motorische und kognitive Beanspruchung des Nutzers auch die gemessenen Merkmalswerte größer sind und sich daraus auch höhere PDI-Kennwerte ergeben.

Geräte, die Kennwerte an den angegebenen Grenzen erreichen, sollten durch die Auswertung des individuellen Instrumentariums (Fragebogen, Beobachtungsprotokoll) kritisch beurteilt und im Zweifelsfalle dem schlechteren Bereich zugeordnet werden. Zur weiteren qualitativen Beurteilung der Ergebnisse steht das im folgenden Abschnitt vorgestellte I-EIM (Industrial Elementary Interaction Model) zur Verfügung.

### 5.5.3 Qualitative Beurteilung – I-EIM

Das industriell orientierte Modell für elementare Interaktionsoperationen I-EIM (Industrial Elementary Interaction Model) ermöglicht die qualitative Beurteilung von Interaktionsgeräten und die Interpretation der quantitativen Kennwerte. Der Schwerpunkt des I-EIM

wird auf die Absichten der Benutzer und auf ihre Handlungen gelegt. Dazu werden Merkmale der Interaktionsoperationen, interaktionsgerätspezifische Merkmale und industriespezifische Merkmale charakterisiert.

**Elementare Interaktionsmöglichkeiten**, die sich zu komplexen Aufgaben modellieren lassen, sind Positionieren, Selektieren/Aktivieren und Manipulieren. In Tabelle 5-4 sind die verschiedenen Ausprägungen der elementaren Interaktionsoperationen definiert.

Tabelle 5-4 *Bewertungsschema für die Ausprägungen der elementaren Interaktionsoperationen*

Merkmale	Ausprägung	Definition
Positionieren (Bewegen)	Statisches Positionieren (unbewegtes Objekt)	Das Bewegen eines Positionierelements, um eine Positionsmarke auf einer grafischen Benutzungsoberfläche zu einer bestimmten Stelle zu bewegen.
	Dynamisches Positionieren (bewegtes Objekt)	Das Bewegen eines Positionierelements, um mit einer Positionsmarke auf einer grafischen Benutzungsoberfläche ein bewegtes Objekt zu verfolgen.
	Exaktes Positionieren (Feinpositionieren)	Das genaue Bewegen eines Positionierelements, um eine Positionsmarke auf einer grafischen Benutzungsoberfläche zu einer genau definierten Stelle mit einem unbewegten Objekt zu bewegen.
	Positioniergeschwindigkeit	Die Geschwindigkeit, mit der Positionierhandlungen ausgeführt werden können.
Selektieren / Aktivieren (Auswählen / Auslösen)	Betätigen	Das Betätigen (Drücken und Loslassen) eines Schaltelements zur Auslösung von Funktionen.
	Rückmeldung Selektion / Aktion	Die Ergebnisanzeige einer Benutzerhandlung durch haptische, akustische oder visuelle Anzeige.
	Selektionsgeschwindigkeit	Die Geschwindigkeit, mit der Schalthandlungen durchgeführt werden können.
Manipulieren	Verschieben	Das gleichzeitige Bewegen eines Positionierelements und eines Schaltelements, um ein Objekt auf einer grafischen Benutzungsoberfläche zu einer bestimmten Stelle zu bewegen.
	Zeichnen	Das gleichzeitige Bewegen eines Positionierelements und eines Schaltelements, um eine mit den Vorstellungen des Benutzers möglichst exakt übereinstimmende Kontur zu erzeugen.
	Manipulationsgeschwindigkeit	Die Geschwindigkeit, mit der Manipulationshandlungen durchgeführt werden können.

Aufgabentypen, wie z.B. CLICK-Aufgaben oder DRAG&DROP-Aufgaben, lassen sich auf die elementaren Interaktionsoperationen zurückführen. Durch Vergleich der für bestimmte Aufgabentypen benötigten elementaren Interaktionsoperationen mit den dafür vorgesehenen Hardwareelementen kann damit generativ in der Konzeption eines Interaktionsgerätes und evaluierend am fertigen Produkt beurteilt werden, ob ein Interaktionsgerät die geforderte Aufgabe qualitativ erfüllen kann. Für parallele Positionieren-Selektieren/Aktivieren-Aufgaben müssen Positionierelement und Schaltelement so angeordnet sein, dass sie gleichzeitig und über eine bestimmte Zeitspanne ohne übermäßige motorische Belastung benutzt werden können.

Bei der **interaktionsgerätspezifischen Beurteilung** ist wichtig, dass beim betrachteten Gerät neben dem Funktionsprinzip (Mouse, Trackball, Mousepad, Mousebutton, Mousesstick, Joystick, etc.) die individuelle Bauform und deren Ausführung betrachtet wird. Neben der Mouse existieren verschiedene Koordinatengeber, die oft als logisch äquivalent betrachtet werden und aus Sicht der Applikation für dieselben Eingaben zur Verfügung stehen. Dennoch sind der Gebrauch dieser Geräte bzw. deren *Ausführungsformen* sehr unterschiedlich (vgl. Tabelle 5-5).

Tabelle 5-5 *Bewertungsschema für die Ausprägungen der interaktionsgerätespezifischen Merkmale*

Merkmal	Ausprägung	Definition
Interaktionsgerätespezifische Faktoren	Allg. Dialogeignung	Die Möglichkeiten bzw. Einschränkungen, die aufgrund der Funktionsprinzipien des Interaktionsgeräts bei einer Gestaltung der Benutzungsoberfläche und deren Dialogen gegeben sind.
	Funktionskopplung	Die Möglichkeiten bzw. Einschränkungen, die aufgrund der Funktionsprinzipien des Interaktionsgeräts gegeben sind (z.B. wenn das Positionierelement gleichzeitig Schaltelement ist).
	Einhandbedienung	Die Möglichkeiten bzw. Einschränkungen hinsichtlich der zur Benutzung notwendigen Anzahl von Händen.

Für die **industrielle Beurteilung** hinsichtlich des Einsatzes von Interaktionsgeräten müssen vor allem die Einsatzmöglichkeiten hinsichtlich der speziellen Umgebungsbedingungen verglichen werden. In Tabelle 5-6 sind die industriespezifischen Merkmale dargestellt.

Tabelle 5-6 *Bewertungsschema für die Ausprägungen der Industriespezifische Merkmale*

Merkmal	Ausprägung	Definition
Industriespezifische Faktoren	Platzbedarf, Bewegungsraum	Der Raum, der zur Interaktion mit dem Interaktionsgerät benötigt wird.
	Flexibilität bei Aufstellung (Neigung)	Die Möglichkeiten bzw. Einschränkungen, die aufgrund der Funktionsprinzipien des Interaktionsgeräts bei der Benutzung gegeben sind.
	Vibrationsempfindlichkeit	Die Empfindlichkeit, mit der das Interaktionsgerät auf Vibration reagiert.
	Handschuhbedienung	Die Möglichkeiten bzw. Einschränkungen, die aufgrund der Funktionsprinzipien des Interaktionsgeräts bei einer Benutzung mit Handschuhen gegeben sind.
	Verschmutzungsempfindlichkeit	Die Empfindlichkeit, mit der das Interaktionsgerät auf Verschmutzung reagiert.

Durch Kombination der elementaren Interaktionsoperationen (Nutzersicht) mit industriespezifischen und interaktionsgerätespezifischen Merkmalen (Systemsicht) wird bei dem I-EIM ein aufgabenorientiertes, qualitatives Bewertungsschema für Interaktionsgeräte bei grafischen Benutzungsoberflächen im industriellen Bereich gebildet. Durch Anwendung dieses die Nutzer- und Systemsicht verbindenden Bewertungsschemas für industrielle Interaktionen (I-EIM, Industrial Elementary Interaction Model) auf spezifische Produkte können mit Hilfe des I-EIM Interaktionsgeräte und ihre Einsatzmöglichkeiten qualitativ beurteilt werden.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit werden ausführliche Hinweise und Empfehlungen für die Auswahl eines Interaktionsgerätes sowie die integrative Gestaltung des Gesamtsystems „Interaktionsgerät-Maschine“ in [VDI/VDE3850-2] gegeben. Die Auswahl eines koordinatengebenden Interaktionsgerätes als Interaktionsschnittstelle zwischen Mensch und Maschine muss die Kriterien „Bedienaufgabe“, „Benutzererfahrung“, „Bedienhaltung“, „Geräteposition“, „Gerätegestaltung“ und „Einsatzbereich“ berücksichtigen. So ist z.B. die Computermaus in sitzender Haltung am Schreibtisch für PC-erfahrene Nutzer sehr gut geeignet, senkrecht eingebaut an einer Maschinenbedientafel für PC-unerfahrene Bediener hingegen völlig ungeeignet. Insbesondere bei Maschinensteuerungen, bei denen das Bedienfeld zumeist senkrecht und häufig auch in schwenkbaren Konsolen untergebracht wird, müssen ergonomische Anforderungen bedacht werden. Diese resultieren in einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der Fachgebiete *Anthropometrie*,

*Physiologie* und *Kognitionspsychologie*. In Bezug auf den Menschen muss das Hardwarekonzept so gestaltet sein, dass der Mensch aufgabenorientiert, zweckentsprechend, ermüdungsfrei und problemlos – kurz benutzerfreundlich – mit dem System interagieren kann. Da Interaktionsgeräte immer flexibler und konfigurierbarer werden, kann sich die Eignung eines Interaktionsgerätes für Elementar- und Windows-spezifische Aufgaben ändern. Eine entgeltliche Festlegung der Interaktionsschnittstelle sollte nur auf Basis vergleichender Tests mit mehreren Versuchspersonen unter prozessnahen Randbedingungen im jeweiligen Anwendungsfall erfolgen.



## 6 Bewertung der Untersuchungsmethode DEVICE

### 6.1 Übersicht

Zur Bewertung der Untersuchungsmethode DEVICE werden die Versuchsreihen DEVICE 1998, DEVICE 2001 und FITTS 2001 nach dem in der Abbildung 6-1 dargestellten Schema verglichen.

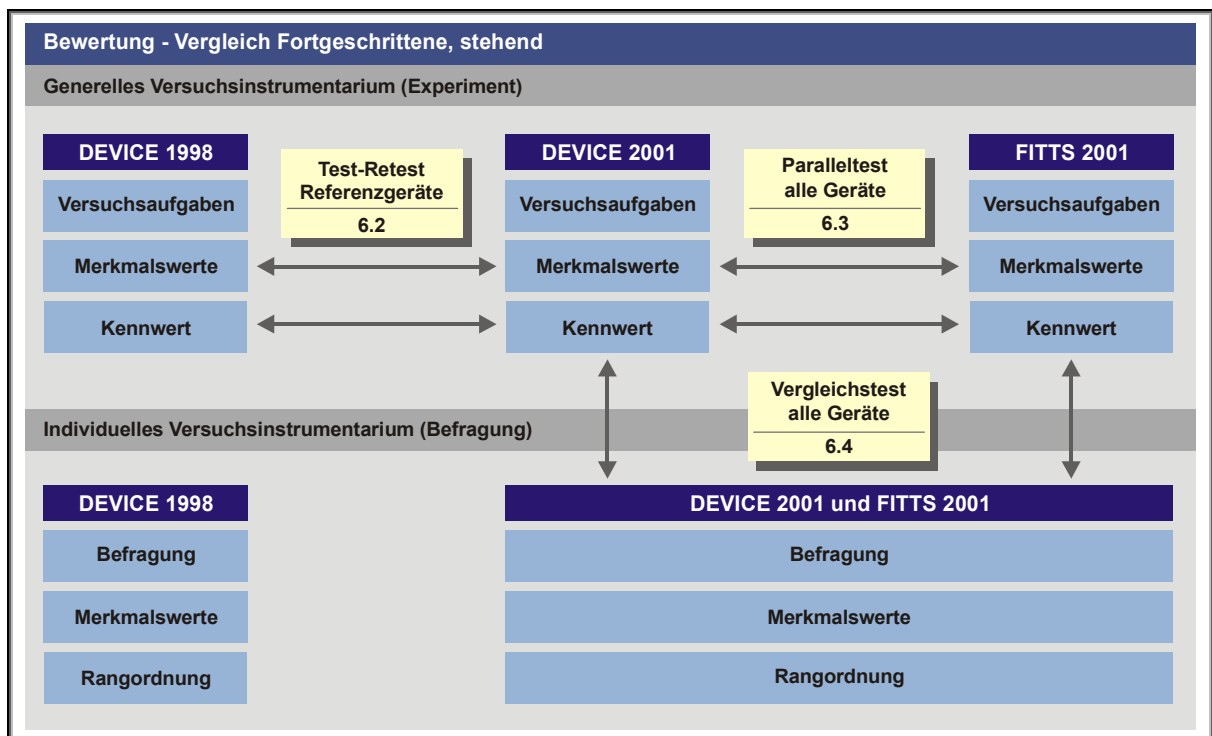


Abbildung 6-1 Vergleichsstruktur der durchgeführten Testreihen

Die Bewertung ergibt sich aus der Qualität der Versuchsergebnisse mittels statistischer Kennwerte oder Methoden, wie z.B. Streuungsmaße oder Korrelationsanalysen [But00; Sac99; Bou01]. In den folgenden Abschnitten wird untersucht, inwiefern Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Testreihen bestehen. Mittels der **Test-Retest**-Methode wird die Korrelation für die Referenzgeräte I-MAUS, MOUSETRACK, HULAPOINT und ACCU-TOUCH zwischen DEVICE 1998 und DEVICE 2001 zur Ermittlung der Reproduzierbarkeit der Untersuchungsmethode durchgeführt. Ein interstudialer Vergleich zwischen den Versuchsreihen 1998 und 2001 setzt identische Testmodalitäten voraus. Dazu zählt die Wahl gleicher Geräte, der Einsatz von Testpersonen mit ähnlichen Voraussetzungen und ein identischer Testablauf. Damit wird aus dem Jahr 1998 die Gruppe der erfahrenen Nutzer in aufrechter Position als Vergleichsgruppe herangezogen.

Inwieweit Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen des FITTS- und des DEVICE-Tests aus dem Jahr 2001 bestehen, wird in einem **Paralleltest** durch Vergleich der Merkmals- und Kennwerte über alle Geräte ermittelt. Die Ergebnisse der DEVICE- und FITTS-Versuchsaufgaben werden in einem **Vergleichstest** den Bewertungen der Ver-

suchspersonen gegenübergestellt. Nach der Betrachtung der Korrelationen wird die Gebrauchstauglichkeit des DEVICE-Versuchsinstrumentariums anhand der Testgütekriterien erläutert. Der Untersuchungsauswertung liegt ein bei statistischen Methoden übliches Signifikanzniveau von 5% ( $\alpha < 0,05$ ) zugrunde [ISO9241-9; Bor95; Sac99] (vgl. Anhang B.6.3 und B.6.4).

## 6.2 Vergleich von DEVICE 1998 mit DEVICE 2001

### 6.2.1 Analyse der Streuungsmaße

Zur qualitativen Beurteilung der mittels der DEVICE-Versuchsaufgaben berechneten Kennwerte werden die **Streuungsmaße** herangezogen. Wiederholte Messungen liegen meist mehr oder weniger eng um das arithmetische Mittel, bzw. den Mittelwert  $\mu$ . Maße dafür, wie stark die Beobachtungen durchschnittlich von ihrem Mittelwert abweichen, sind *Varianz*, *Standardabweichung* und *Variationskoeffizient* (vgl. Anhang B.6.1). In der Tabelle 6-1 sind für die Versuchsreihen 1998 und 2001 die über alle Koordinatengeber gemittelten Streuungsmaße für den pak-PDI angegeben.

Tabelle 6-1 *Streuungsmaße des pak-PDI für die Gruppe „Fortgeschrittene, aufrecht“ von den Versuchsreihen 1998 (VP 1-8) und den Versuchsreihen 2001 (VP 1-16)*

	Versuchsergebnisse 1998 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-8)				Versuchsergebnisse Geräte 2001 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-16)			
	PDI Mittelwert	Varianz	Standard- ab- weichung	Variations- koeffizient [%]	Mittelwert	Varianz	Standard- ab- weichung	Variations- koeffizient [%]
	$\mu$	$s^2$	s	V	$\mu$	$s^2$	s	V
<b>PDI Aufgabentypen</b>								
CLICK	1,36	0,06	0,25	<b>18,34</b>	1,21	0,02	0,15	<b>12,52</b>
DRAG&DROP	1,54	0,09	0,31	<b>19,76</b>	1,43	0,03	0,19	<b>13,01</b>

Der Vergleich zwischen CLICK und DRAG&DROP-Aufgaben zeigt eine tendenziell höhere Streuung bei den DRAG&DROP-Aufgaben. Dies ist neben den höheren Kennwerten ein weiterer Indikator dafür, dass diese Aufgaben höhere Ansprüche an die perzeptiven, kognitiven und motorischen Fähigkeiten der Benutzer stellen. Daher ist für die Beurteilung der Interaktionsgeräte eine Unterscheidung nach Art der durchzuführenden Aufgabe (CLICK oder DRAG&DROP), wie sie in dieser Arbeit vorgenommen wird, empfehlenswert.

Zum Vergleich der Variabilität (relative Standardabweichung) von Merkmalen mit unterschiedlichen Mittelwerten dient vor allem der von PEARSON eingeführte Variationskoeffizient V (siehe Anhang B.7.2). Der Variationskoeffizient V sollte nicht größer als 33% sein [Sac99]. Bei den Versuchsreihen 1998 und 2001 liegt der Variationskoeffizient V immer unter 20%, d.h., die Streuungsmaße liegen innerhalb der vorgegebenen Grenze. Der ebenfalls durchgeführte **Varianzquotiententest** (bzw. F-Test) für die PDI-Aufgabentypen bestätigt die Qualität der Ergebnisse (vgl. Anhang B.7.4). Die für die Kennwerte berechneten F-Werte liegen auf einem Signifikanzniveau von 5% ( $\alpha < 0,05$ ) innerhalb der Rückweisungspunkte ( $PDI_C: F_{emp} = 2,53 < F_{tab} = 2,71$  bzw.  $PDI_D: F_{emp} = 2,55 < F_{tab} = 2,71$ ). Damit entstammen beide Versuchsreihen einer gemeinsamen *Grundgesamtheit* und die mittels der DEVICE-Versuchsaufgaben ermittelten Ergebnisse sind qualitativ verwertbar.

## 6.2.2 Korrelationsanalyse

Die quantitative Verwertbarkeit der DEVICE-Ergebnisse wird mittels einer Korrelationsanalyse untersucht, hier interessiert vor allem die Stärke des Zusammenhangs. Es wird ermittelt, wie ausgeprägt der Einfluss eines Merkmals auf ein anderes Merkmal ist. Die Tabelle 6-2 zeigt eine Gegenüberstellung der berechneten Kennwerte (pak-PDI) der Versuchsreihen 1998 und 2001 und den ermittelten Korrelationskoeffizienten<sup>31</sup>.

Tabelle 6-2 Korrelation des pak-PDI für die Gruppe „Fortgeschrittene, aufrecht“ ( $n = 4$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{tab} = 0,950$ )

	Versuchsergebnisse 1998 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-8)				Versuchsergebnisse Geräte 2001 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-16)				Korrelation 1998 - 2001
Gerätegruppe	Mouse	Track- ball	Mouse- button	Touch- screen	Mouse	Track- ball	Mouse- button	Touch- screen	$r_{emp}$ [%]
Gerät	I-MAUS	MOUSE- TRACK	HULA POINT	ACCU- TOUCH	I-MAUS	MOUSE- TRACK	HULA POINT	ACCU- TOUCH	
<b>PDI Aufgabentypen</b>									
CLICK	1,03	1,13	1,57	1,09	1,05	1,13	1,45	1,00	<b>97,33%</b>
DRAG&DROP	1,01	1,38	1,63	2,20	1,19	1,55	1,58	1,55	<b>70,47%</b>

Die Werte zeigen, dass die Tendenzen beider Versuchsreihen ähnlich sind. Die I-MAUS belegt in beiden Untersuchungen Platz eins vor MOUSETRACK und HULAPPOINT. Auch der relative Vergleich zwischen  $PDI_C$  und  $PDI_D$  zeigt große Übereinstimmungen. Die DRAG&DROP-Aufgaben erfordern in beiden Testreihen – erkennbar an dem höheren Wert für den pak-PDI – mehr Zeit als die einfachen CLICK-Aufgaben.

Die Korrelationsrechnung für die 1998 und 2001 untersuchten Referenzgeräte ergibt eine Übereinstimmung zwischen den Referenzgeräten von 97,33% bei CLICK-Aufgabentypen und 70,47% bei den DRAG&DROP-Aufgabentypen. Es besteht ein enger linearer Zusammenhang zwischen den Versuchsergebnissen für 1998 und 2001. Die Korrelation ist bei den CLICK-Aufgaben sehr gut, der berechnete Korrelationskoeffizient  $r_{emp} = 0,973$  ist auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  größer als der kritische Korrelationskoeffizient  $r_{tab} = 0,950$ , d.h., die Ergebnisse für CLICK-Aufgaben sind sehr gut reproduzierbar (vgl. Anhang C.3.1).

Beim  $PDI_D$  wird der kritische Wert für den Korrelationskoeffizienten nicht erreicht. Zur Untersuchung der Ursachen werden die PDI-Kennwerte der Einzelaufgaben herangezogen (vgl. Darstellung der Ergebnisse der Einzelaufgaben im Anhang C.3.1). Dabei fällt die geringe Korrelation bei der Aufgabe „Rectangular“ auf. Der ermittelte PDI ( $r_{emp} = 0,137$ ) weicht erheblich vom kritischen Korrelationskoeffizienten ( $r_{tab} = 0,950$ ) ab. Zur weiteren Ursachenermittlung werden die für diese Aufgabe relevanten Merkmalswerte mittels einer Korrelationsanalyse detaillierter untersucht (Darstellung im Anhang C.3.1). Die Korrelation zeigt beim Merkmalswert „Zeit letzter Versuch“ eine relativ hohe Korrelation ( $r_{emp} = 0,941$ ). Die Merkmalswerte „Gesamtzeit“ ( $r_{emp} = 0,225$ ) und „Anzahl der Versuche“ ( $r_{emp} = -0,553$ ) korrelieren eher gering bzw. gegenläufig. Dies ist durch die stark unterschiedliche Ver-

<sup>31</sup> Eine Rangkorrelation zwischen den Versuchsreihen 1998 und 2001 über alle Geräte kann nicht angewendet werden, da hier eine unterschiedliche Anzahl von Geräten verwendet wurde. Eine Rangkorrelation nur mit den Referenzgeräten kann ebenfalls nicht angewendet werden, da die Schranken des Rangkorrelationskoeffizienten erst ab sieben Werten beginnen (vgl. Anhang B.7.2), hier aber nur vier Geräte miteinander verglichen werden, d.h., hier kann keine Aussage bezüglich des Signifikanzniveaus getroffen werden.

suchszahl (1998: ein Versuch; 2001: 6,25 Versuche) der I-MAUS und der dadurch mehr als doppelt so hohen Gesamtzeit (1998: 3,05 s; 2001: 8,65 s) zu erklären<sup>32</sup>.

Mit dem **t-Test** wird geprüft, ob die Mittelwerte zweier Stichproben gleich sind (vgl. Anhang B.7.3). Zum Vergleich der Kenn- und Merkmalswerte mittels des t-Tests werden für jede Versuchsperson die Versuchsergebnisse des pak-PDI der Versuchsreihen 1998 und 2001 miteinander verglichen (siehe Anhang C.3.1). Auch hier wird für alle Referenzgeräte bei allen Aufgaben (mit Ausnahme der I-MAUS bei der Aufgabe Rectangular) ein gemeinsamer Korrelationskoeffizient nachgewiesen. Für die Kennwerte und Merkmalswerte wird auf einem Signifikanzniveau von 5% belegt, dass die Versuchsreihen 1998 und 2001 miteinander korrelieren, d.h., die Versuchspersonen entstammen einer gemeinsamen Grundgesamtheit und die mittels der DEVICE-Versuchsaufgaben ermittelten Merkmalswerte und daraus berechneten Kennwerte sind reproduzierbar.

## 6.3 Vergleich von DEVICE 2001 mit FITTS 2001

### 6.3.1 Korrelationsanalyse

Durch die Betrachtung der Korrelation zwischen FITTS und DEVICE ist es möglich, Aussagen über Ähnlichkeiten oder Gegensätzlichkeiten der Versuchsaufgaben zu treffen. Dazu wird zunächst eine direkte Korrelation der Merkmals- und Kennwerte nach BRAVAIS-PEARSON durchgeführt. In Voranalysen hat sich gezeigt, dass zwischen den CLICK-Aufgaben Menu bei DEVICE und CLICK Horizontal (CH) bei FITTS und den DRAG&DROP-Aufgaben Text bei DEVICE und DRAG&DROP Horizontal (DDH) bei FITTS der größte Zusammenhang besteht, bei den Aufgabentypen CV, CM und DDV sind die Korrelationen geringer. Die Korrelationsanalyse erfolgt durch direkten Vergleich der Kennwerte und Merkmalswerte für die einzelnen Versuchspersonen der Versuchsreihen 1998 und 2001 (d.h., es wird z.B. der pak-PDI von Versuchsperson 1 mit dem IP der Versuchsperson 1 verglichen). Bei den DEVICE-Kennwerten wird der  $PDI_C$  und der  $PDI_D$ , bei den FITTS-Kennwerten der  $IP_{CH}$  und  $IP_{DDH}$  verwendet. Die Index of Performance (IP) werden jeweils nach der Gleichung von MACKENZIE berechnet, da diese bei der Regression die höchsten Korrelationskoeffizienten erreichen (vgl. Abschnitt 5.3.1). Es werden jeweils die Werte für CLICK-Aufgaben und für DRAG&DROP-Aufgaben miteinander verglichen. In der Tabelle 6-3 sind die Korrelationskoeffizienten  $r$  dargestellt (vgl. detaillierte Darstellung im Anhang C.3.2).

---

<sup>32</sup> Dies deckt sich mit den Beobachtungen während der Versuche. Bei der I-MAUS traten insbesondere bei DRAG&DROP-Aufgaben technische Probleme auf, die sich während der Versuche verstärkten. Der Kontakt zwischen induktivem Touchpad und der Maus wurde aufgrund von Verschleißerscheinungen oft unterbrochen. Gerade das Ziehen des Rechtecks in der Aufgabe Rectangular verlangt eine gewisse Präzision und somit auch ein häufiges Korrigieren des Positioniersymbols. Bei diesen Korrekturversuchen kam es z.T. vor, dass der Kontakt für kurze Zeit verloren ging und so die Aufgabe wiederholt werden musste. Ebenso zeigte auch das Schaltelement Abnutzungerscheinungen, was die Selektion erschwerte. Im Schnitt wurden 2001 6,25 Versuche benötigt, um die Aufgabe Rectangular zu lösen. 1998 wurde die Aufgabe Rectangular von allen Versuchspersonen der Gruppe „Fortgeschritten, aufrecht“ mit nur einem Versuch gelöst. Die technischen Schwierigkeiten der I-MAUS spiegeln sich auch in den Ergebnissen des t-Tests wieder, bei dem die einzelnen Kennwerte und Merkmalswerte der Versuchspersonen miteinander verglichen werden. Da die I-MAUS das Referenzgerät darstellt, wurde auf den Austausch gegen ein ähnliches Gerät verzichtet. Ein identisches Ersatzgerät stand nicht zur Verfügung. Das Problem wurde kompensiert, indem die Versuchspersonen vor der Benutzung auf die technischen Verschleißerscheinungen hingewiesen wurden.

Tabelle 6-3 Korrelation der Merkmalswerte und Kennwerte von DEVICE 2001 und FITTS 2001 ( $n=12$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{tab} = 0,576$ )

Aufgabentypen	Einzelaufgaben	Merkmalswerte		Einzelaufgaben	Kennwerte
CLICK	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit letzter Versuch	DEVICE	PDI
	FITTS	Zeit Click Horizontal (CH)		FITTS	IP <sub>CH</sub> (MacKenzie)
	Über ID's gemittelter Korrelationskoeffizienten r			Korrelationskoeffizienten r	
	Mittelwert	0,304	0,338	PDI <sub>c</sub>	-0,134
DRAG & DROP	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit letzter Versuch	DEVICE	PDI
	FITTS	Zeit DRAG&DROP Horizontal (DDH)		FITTS	IP <sub>DDH</sub> (MacKenzie)
	Über ID's gemittelter Korrelationskoeffizient r			Korrelationskoeffizient r	
	Mittelwert	0,321	0,417	PDI <sub>d</sub>	0,006

Die Korrelation der Merkmalswerte zwischen „Zeit letzter Versuch“ und „Zeit CLICK Horizontal (CH)“ zeigt mit  $r = 0,338$  für CLICK-Aufgaben und mit  $r = 0,417$  für DRAG&DROP-Aufgaben eine geringe bis mittlere Korrelation. Bei der Korrelation der Kennwerte PDI und IP ergibt sich mit  $r = -0,134$  für CLICK-Aufgaben und mit  $r = 0,006$  für DRAG&DROP-Aufgaben eine sehr geringe Korrelation. Zeigen die Merkmalswerte (gemessene Zeiten) noch einen gewissen Zusammenhang zwischen den Versuchsaufgaben von DEVICE und FITTS, ist der Zusammenhang zwischen PDI und IP nur sehr schwach bis gar nicht vorhanden.

### 6.3.2 Rangkorrelationsanalyse

Zur weiteren Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den durch die DEVICE- und FITTS-Versuchsaufgaben ermittelten Merkmals- und Kennwerten wird eine Rangkorrelation nach SPEARMAN durchgeführt (Beschreibung siehe Anhang B.7.2). Diese wird ebenfalls für die in Abschnitt 6.4 durchgeführte Korrelation mit den Versuchspersonen benötigt, da diese Daten keine metrischen Daten, sondern ordinalskalierte Daten sind (vgl. Anhang B.6.2). Um die in den Versuchsaufgaben ermittelten Merkmals- und Kennwerte mit den Bewertungen durch die Versuchspersonen vergleichbar zu machen, werden die metrischen Merkmals- und Kennwerte durch Bildung einer Rangreihenfolge in ordinalskalierte Daten transformiert. Diese Rangreihenfolge wird bei den DEVICE- und FITTS-Versuchsaufgaben für jeden Merkmalswert und jeden Kennwert aus den Mittelwerten über alle Versuchspersonen erstellt. Dazu wird zunächst für jeden Merkmals- oder Kennwert eines Gerätes der Mittelwert aller Versuchspersonen gebildet. Diesen Mittelwerten werden anhand ihrer Wertigkeit unter allen untersuchten Interaktionsgeräten Rangplätze zugewiesen. Demjenigen Interaktionsgerät, bei dem das jeweilige Merkmal im Sinne der Gebrauchstauglichkeit am besten ausgeprägt ist, wird Rangplatz 1 zugewiesen. Das Gerät mit der zweitbesten Merkmalsausprägung erhält Rangplatz 2 und so weiter bis zum schlechtesten Gerät, das im Falle dieser Untersuchung den Rangplatz 12 erhält (12 untersuchte Geräte 2001). Demzufolge erhält bei den Merkmalswerten „Zeit“ das Gerät, für das alle Versuchspersonen durchschnittlich die geringste Zeit benötigt haben, den besten Rangplatz (Rang 1). Ebenso verhält es sich bei der Anzahl der Versuche. Bei den Kennwerten unterscheidet sich die DEVICE- und FITTS-Beurteilung. Beim DEVICE-Kennwert pak-PDI erhält das Gerät mit dem besten PDI und damit niedrigsten PDI Rang 1, beim FITTS-Kennwert IP erhält das Gerät mit dem besten IP und damit höchsten IP Rang 1. Die so ermittelten und im Anhang wiedergegebenen Rangplätze stellen eine Rangskala oder Ordinalskala dar und können mit den ebenfalls ordinalskalierten Angaben der Ver-

suchspersonen verglichen werden [Bor95]. Die Ergebnisse der Rangkorrelation nach SPEARMAN sind in Tabelle 6-4 dargestellt.

Tabelle 6-4 Rangkorrelation der Merkmalswerte und Kennwerte von DEVICE 2001 und FITTS 2001 ( $n=12$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{S, tab} = 0,591$ )

Aufgabentypen	Einzelaufgaben	Merkmalswerte		Einzelaufgaben	Kennwerte
CLICK	FITTS	Zeit Click horizontal (CH)		FITTS	IP <sub>CH</sub> (MacKenzie)
	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit letzter Versuch	DEVICE	PDI
	Über ID's gemittelter Rangkorrelationskoeffizient $r_s$			Rangkorrelationskoeffizient $r_s$	
	Mittelwert	0,913	0,917	PDI <sub>c</sub>	0,469
DRAG & DROP	FITTS	Zeit DRAG&DROP horizontal (DDH)		FITTS	IP <sub>DDH</sub> (MacKenzie)
	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit letzter Versuch	DEVICE	PDI
	Über ID's gemittelter Rangkorrelationskoeffizient $r_s$			Rangkorrelationskoeffizient $r_s$	
	Mittelwert	0,646	0,746	PDI <sub>d</sub>	0,070

Bei der Rangkorrelation ergeben sich für die Merkmalswerte bei den CLICK-Aufgaben sehr hohe Korrelationen und mittlere Korrelationen bei den DRAG&DROP-Aufgaben. Die Korrelationskoeffizienten sind größer als der hier ermittelte kritische Korrelationskoeffizient ( $r_{S, tab} = 0,591$ ). Die Korrelation beim Merkmalswert „Zeit letzter Versuch“ ist geringfügig höher als beim Merkmalswert „Gesamtzeit“. Erklären lässt sich dies dadurch, dass bei FITTS keine Fehlversuche erfasst werden, und damit bei FITTS nur Merkmalswerte des Typs „Zeit letzter Versuch“ gemessen werden (vgl. Abschnitt 4.3.1). Die Merkmalswerte messen bei beiden Versuchsmethoden annähernd das gleiche Untersuchungsmerkmal, in diesem Fall die Geschwindigkeit bzw. die Effizienz, die beim Gebrauch von Interaktionsgeräten erreicht werden kann [ISO9241-9]. Bei den Kennwerten ist die Korrelation, wie bei der Korrelation nach BRAVAIS-PERSON, gering bis sehr gering. D.h., die Kennwerte der DEVICE- und FITTS-Versuchsaufgaben sind nicht vergleichbar. Beide Kennwerte werden jedoch als ein Maß für die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten angesehen. Zur Klärung dieses Umstandes werden im folgenden Abschnitt die aus den DEVICE- und FITTS-Versuchsaufgaben resultierenden Merkmals- und Kennwerte mit der Bewertung der Versuchspersonen verglichen.

## 6.4 Vergleich von generellem und individuellen Versuchsinstrumentarium

Zur Überprüfung des Zusammenhangs der durch die DEVICE- und FITTS-Versuchsmethodik ermittelten Merkmals- und Kennwerte mit der Bewertung durch die Versuchspersonen wird eine Rangkorrelation nach SPEARMAN für die Versuchsreihe 2001 durchgeführt (Fortgeschrittene, aufrecht, VP 1-16). Bei den Versuchspersonen wird dazu die von ihnen aufgestellte Rangreihenfolge herangezogen (vgl. Tabelle 5-3) und in Tabelle 6-5 mit den FITTS-Merkmalswerten, den DEVICE-Merkmalswerten, den FITTS-Kennwerten und den DEVICE-Kennwerten korreliert (vgl. Darstellung im Anhang C.3.3).



Tabelle 6-5 Rangkorrelation der Merkmalswerte und Kennwerte von DEVICE 2001 und FITTS 2001 mit der Bewertung durch die Versuchspersonen ( $n=12$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{S, tab} = 0,591$ )

Aufgabentypen	Einzelaufgaben	Merkmalswerte		Einzelaufgaben	Kennwerte
	Ranking VP	Rangplatz		Ranking VP	Rangplatz
	FITTS	Zeit CLICK Horizontal (CH) & Zeit DRAG&DROP Horizontal (DDH)		FITTS	IP (MACKENZIE)
	Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		
CLICK	CH	0,855		IP <sub>CH</sub>	0,434
D&D	DDH	0,800		IP <sub>DDH</sub>	-0,063
	Ranking VP	Rangplatz		Ranking VP	Rangplatz
	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit Letzter Versuch	DEVICE	PDI
	Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		
CLICK	Mittelwert	0,837	0,851	PDI <sub>C</sub>	0,839
D&D	Mittelwert	0,699	0,839	PDI <sub>D</sub>	0,804

Bei den **Merkmalswerten** zeigen sich sowohl bei FITTS als auch bei DEVICE hohe Korrelationen zwischen den Merkmalswerten und der durch die Probanden aufgestellten Rangordnung. Bei den **Kennwerten** ist dieser durch den Rangkorrelationskoeffizienten ausgedrückte hohe Zusammenhang allerdings nur noch zwischen DEVICE und der Rangordnung der Versuchspersonen zu erkennen. Da die Kennwerte der FITTS-Versuchsaufgaben als gut gelten, wenn sie besonders hoch sind, d.h., mittels des Interaktionsgerätes möglichst viel Informationen pro Sekunde (*Bit/s*) übertragen werden, sollte der Rangkorrelationskoeffizient für Ranking VP und FITTS ideal bei -0,99 für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben liegen. Bei CLICK-Aufgaben liegt er jedoch im positiven Bereich. Damit besteht hier ein deutlich negativer Zusammenhang zwischen der Einschätzung der Versuchspersonen und der Beurteilung durch den Index of Performance (IP) hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten. Abbildung 6-2 veranschaulicht die Verbindung von Merkmals- und Kennwerten der Versuchsreihen 1998 und 2001 anhand eines nomologischen Netzes (vgl. Abschnitt 4.1.6).

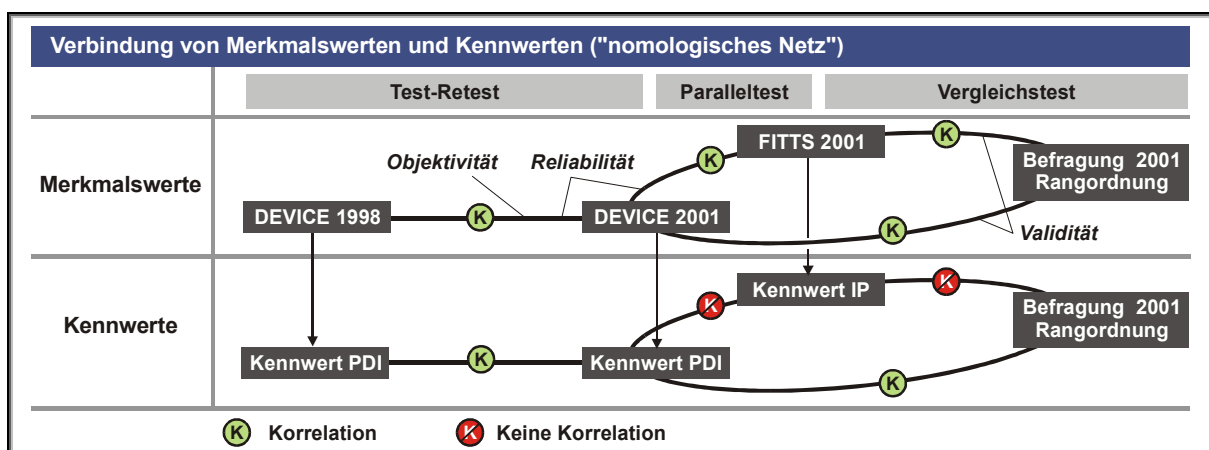


Abbildung 6-2 Verbindung zwischen Merkmals- und Kennwerten

Der **Test-Retest** zwischen DEVICE 1998 und DEVICE 2001 zeigt auf der Ebene der Merkmalswerte und Kennwerte eine deutliche Korrelation. Gleiches gilt für den **Vergleichstest** zwischen DEVICE 2001 und der Befragung 2001. Der **Paralleltest** zwischen

DEVICE 2001 und FITTS 2001 zeigt nur noch eine Korrelation auf der Ebene der Merkmalswerte. Aus diesen Korrelationen ergibt sich die abschließende Beurteilung der Untersuchungsmethode DEVICE hinsichtlich der Testgütekriterien Objektivität, Reliabilität, Validität und Utilität, die im folgenden Abschnitt zusammengefasst ist.

## 6.5 Fazit – Testgüte der DEVICE-Methodik

### 6.5.1 Objektivität

Die Objektivität eines Tests gibt an, in welchem Ausmaß die Testergebnisse vom Testanwender unabhängig sind [Bor95]. Da die Versuche 1998 und 2001 von verschiedenen Versuchsleitern durchgeführt wurden und die **Test-Retest**-Ergebnisse miteinander korrelieren, wird das Testgütekriterium der **Objektivität** erfüllt. Das DEVICE-Instrumentarium gewährleistet, dass verschiedene Anwender der Methodik bzgl. eines zu beurteilenden Interaktionsgerätes zu identischen Testergebnissen kommen. **Durchführungsobjektivität** wird durch das standardisierte Versuchsinstrumentarium, **Auswertungsobjektivität** durch die Auswertung der Daten per Software und **Interpretationsobjektivität** durch die vorgegebenen Vergleichswerte des Bewertungsschemas gewährleistet. Durch standardisierte Rechenvorschriften und gleiche Versuchsaufgaben ist eine Vergleichbarkeit der Merkmals- und Kennwerte über verschiedene Studien hinweg bei der DEVICE-Versuchsmethodik möglich. Es können einzelne Aufgaben oder Aufgabentypen wie CLICK und DRAG&DROP-Aufgaben miteinander verglichen werden. Bei diesem Vergleich wird deutlich, dass die DRAG&DROP-Aufgaben komplexere Handlungsmuster vom Benutzer erfordern und damit höhere Ansprüche an die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten stellen (vgl. Abschnitt 5.2).

### 6.5.2 Reliabilität

Die Reliabilität<sup>33</sup> oder Zuverlässigkeit eines Tests kennzeichnet die **Reproduzierbarkeit** der Messwerte und den Grad der **Genauigkeit**, mit dem das geprüfte Merkmal gemessen wird.

Beim **Test-Retest**-Vergleich der **Reproduzierbarkeit** zwischen den Versuchsreihen 1998 und 2001 wird für alle Referenzgeräte und für alle Aufgaben unter Vernachlässigung der I-MAUS bei der Aufgabe Rectangular eine gemeinsame Grundgesamtheit nachgewiesen (vgl. Abbildung 6-2). Die unterschiedliche Bewertung der I-MAUS lässt sich auf die beschriebenen technischen Schwierigkeiten bei den Versuchen 2001 zurückführen. Die Analyse der Streuungsmaße und der Varianzquotiententest in Abschnitt 6.2 zeigt, dass die Versuchspersonen der Versuchsreihen 1998 und 2001 einer gemeinsamen Grundgesamtheit entstammen. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse und der t-Test-Analyse geben eine hohe bis sehr hohe Korrelation auf einem Signifikanzniveau von 5% ( $\alpha < 0,05$ ) wieder. Trotz einer gewissen Diskrepanz der absoluten Werte korrelieren Kennwerte und Merkmalswerte beider Versuchsreihen sehr gut miteinander. Es besteht damit ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Versuchsergebnissen 1998 und 2001. Unterschiedliche Versuchspersonen erzielen mit sehr unterschiedlichen Geräten zu unterschiedlichen Zeiten vergleichbare Ergebnisse. Die DEVICE-Versuchsaufgaben sind damit wiederholt

---

<sup>33</sup> Idealerweise wird die Reliabilität über den Reliabilitätskoeffizienten bestimmt. Dieser kann hier zur Ermittlung der Testzuverlässigkeit nicht eingesetzt werden, da er auf der Kovarianz beruht, die voraussetzt, dass die identischen Versuchspersonen den Test wiederholen. Für die Versuche 2001 standen aber die Versuchspersonen von 1998 nicht mehr zur Verfügung.



einsetzbar und die damit erzielten Ergebnisse bezüglich der Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten reproduzierbar.

Die **Messgenauigkeit** ist für die einzelnen Messwerte Zeit letzter Versuch, Test für Gesamtzeit, Anzahl der Versuche gegeben, da die untersuchten Merkmalswerte Zeiten sind, die mit einem Rechnersystem aufgenommen wurden. Als weiterer Indikator für die Messgenauigkeit wird sowohl die Fehlervarianz der Messwerte als auch der Grad der Korrelation herangezogen. Eine niedrige Fehlervarianz spricht für eine hohe Messgenauigkeit. Aus dem Grad der **Test-Retest**-Korrelation mittels Korrelationsanalyse oder Signifikanztest wird auf die Messgenauigkeit geschlossen (vgl. Abbildung 6-2): Je größer die Ähnlichkeit bzw. der korrelative Zusammenhang zwischen zwei Messwertreihen ist, umso höher ist der Anteil der systematischen, gemeinsamen Variation der Werte und umso geringer ist gleichzeitig der Fehleranteil [Bor95]. Da die Versuchsreihen 1998 und 2001 jeweils eine niedrige Fehlervarianz aufweisen und auf einem Signifikanzniveau von 5% hoch korrelieren, ist somit die DEVICE-Versuchsmethode reliabel.

### 6.5.3 Validität

Die Validität oder Gültigkeit eines Tests gibt an, wie gut der Test in der Lage ist, genau das zu messen, was er zu messen vorgibt [Bor95]. Aussagen, wie gut die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten gemessen wird, sind generell schwierig, da hierbei verschiedene Aspekte wie *Effizienz*, *Effektivität* und Benutzerzufriedenheit beachtet werden müssen [ISO9241-9]. Den Aspekten Effizienz und Effektivität wird durch die Untersuchungsmerkmale Geschwindigkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit entsprochen, denen die Merkmalswerte Zeit letzter Versuch, Gesamtzeit, Anzahl der Versuche zugeordnet sind. Aus diesen Merkmalswerten wird der pak-PDI als Maß für die Gebrauchstauglichkeit gebildet. Der Aspekt der Benutzerzufriedenheit wird über Befragungen ermittelt. Damit ist die **Inhaltsvalidität** gewährleistet, da das DEVICE-Versuchsinstrumentarium alle wesentlichen Bereiche, die indikativ für das zu überprüfende Konstrukt sind, enthält.

Die **Kriteriumsvalidität** ergibt sich aus der Korrelation der Merkmals- und Kennwerte im **Vergleichstest** mit der Beurteilung der Versuchspersonen (vgl. Abbildung 6-2). Die durch die Versuchspersonen gebildete Rangordnung der getesteten Interaktionsgeräte korreliert auf einem Signifikanzniveau von 5% hoch mit der Rangordnung der Kennwerte. Die mit der DEVICE-Methodik ermittelten Kennwerte geben die Beurteilung durch die Benutzer wieder (vgl. Tabelle 6-5).

Die aus dem Zielkonstrukt „Gebrauchstauglichkeit“ abgeleiteten Hypothesen „Versuchspersonen entstammen einer Grundgesamtheit“, „Untersuchungsmethode ist reproduzierbar“, „Kennwert pak-PDI gibt Benutzerzufriedenheit wieder“ werden anhand der statistischen Testwerte bestätigt (Mittelwertdifferenzentest:  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ; Korrelationsanalyse:  $H_0: r = 0$ ; vgl. Anhang B.7). Da die durch die DEVICE-Methodik ermittelten Kennwerte mit anderen Indikatoren wie den Merkmalswerten oder der individuellen Beurteilung durch die Versuchspersonen für das gleiche Konstrukt hoch korrelieren, ist das Kriterium der **Konstruktvalidität** erfüllt.

Der modulare Aufbau der pak-PDI-Berechnungsformel ermöglicht eine Berechnung des Pointing Device Index (PDI) entweder für Einzelaufgaben (z.B. Window, Box usw.) oder für Aufgabentypen (CLICK-Aufgaben, D&D-Aufgaben). Werden bei einer Applikation nur bestimmte Aufgaben benötigt und das eingesetzte Interaktionsgerät soll auf diese Aufgaben hin optimiert werden, kann der Kennwert aufgabenspezifisch berechnet werden. Ebenso kann der PDI individuell für bestimmte Benutzergruppen oder einzelne Versuchspersonen gebildet werden. Dadurch erhält die Versuchsperson Feedback und ihr wird die

Möglichkeit gegeben, Stärken zu zeigen, sich selbst kennen zu lernen und sie kann ihre eigenen Fähigkeiten weiterentwickeln<sup>34</sup> [Bor95]. Durch die Möglichkeit der individuellen Rückmeldung und die abwechslungsreichen und von den Versuchspersonen als ansprechend und interessant beschriebenen Versuchsaufgaben ist die **soziale Validität** erfüllt.

#### 6.5.4 Utilität

Die Utilität fasst die Angemessenheit, die Nützlichkeit und die Zweckmäßigkeit eines Verfahrens für den Anwender und die Versuchspersonen zusammen.

Dem **Anwender** wird durch das DEVICE-Versuchsinstrumentarium eine Untersuchungsmethode an die Hand gegeben, welche es ihm ermöglicht, die Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten quantitativ und qualitativ zu beurteilen. Dies bedeutet im Vergleich zu bisher verwendeten Methoden einen deutlichen **Validitätsgewinn**. Die Anwendung der Untersuchungsmethode verbindet einen vergleichsweise geringen zeitlichen (und damit auch geringen finanziellen) **Aufwand** mit einem hohem Nutzwert. Bei zwölf Interaktionsgeräten werden die sieben Testaufgaben von DEVICE von einem erfahrenen Probanden durchschnittlich in ca. 30 Minuten gelöst.

Der Anwender der Methodik hat die **sequentielle Entscheidungsmöglichkeit** über den **Informationsumfang** der Ergebnisse: Er kann einzelne Merkmalswerte betrachten oder diese zu Kennwerten für verschiedene Aufgaben oder Aufgabentypen konzentrieren. Für die Konzentration der Daten zu Kennwerten und der damit verbundenen Reduzierung der Informationsmenge steht ihm der pak-PDI zur Verfügung, der eindeutig interpretiert werden kann. Durch die einfache Aussage „je kleiner der Index desto besser das Eingabeelement“, kann eine eindeutige Rangfolge aufgestellt werden und ermöglicht so einen direkten Vergleich der getesteten Interaktionsgeräte.

Dem Anwender bieten sich verschiedene **Verwendungsmöglichkeiten** der Methode: Die Ergebnisse können einerseits angewandt werden, um anhand der rein quantitativen Beurteilung über den Einsatz eines Interaktionsgerätes zu entscheiden (z.B. Benutzer von Interaktionsgeräten) und andererseits, um mittels der qualitativen Beurteilung die ermittelten Kennwerte zu interpretieren und Geräte evaluierend zu optimieren (z.B. Hersteller von Interaktionsgeräten).

Die Anwendbarkeit oder **Applikationsfähigkeit** der Untersuchungsmethode ist derzeit – bedingt durch die softwareseitig realisierten Versuchsaufgaben – auf die Untersuchung von koordinatengebenden Interaktionsgeräten unter der grafischen Benutzungsoberfläche des Betriebssystems Windows gebunden. Das Programm kann auf UNIX-, Macintosh- oder anderen PC-inkompatiblen Plattformen nicht ohne weiteres genutzt werden. Zu dieser Einschränkung führten der hohe Verbreitungsgrad dieses Betriebssystems sowie ökonomische Kriterien bei der Entwicklung des Versuchsinstrumentariums. Software-Emulatoren oder PC-Karten erlauben jedoch die Nutzung auch an diesen nicht unterstützten Systemen. Auf die Verwendung der Prinzipien von DEVICE bei nicht-koordinatengebenden Interaktionstechniken wird in Abschnitt 7 eingegangen.

Für die **Versuchspersonen** ergibt sich die Angemessenheit, Nützlichkeit und Zweckmäßigkeit aus der Testdurchführung und dem Testumfang der DEVICE-Versuchsmethodik: Sowohl Aufgabendarbietung als auch Aufgabenumfang der DEVICE-Versuchsaufgaben werden von den Versuchspersonen als interessant und abwechslungsreich empfunden.

---

<sup>34</sup> Die Ergebnisse dieser einen Versuchsperson sollten nicht generalisiert werden. Für statistisch sichere Aussagen müssen die Versuche mit mehreren Versuchspersonen durchgeführt werden.

Dadurch und durch den leicht nachvollziehbaren Test ist die Akzeptanz bei den Versuchspersonen gegeben und sie sind – bedingt durch die von den Aufgaben ausgehenden Anreize – bei der Testdurchführung (intrinsisch) motiviert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die mittels des DEVICE-Versuchsinstrumentariums ermittelten Ergebnisse bezüglich der Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten reproduzierbar, objektiv, zuverlässig und genau sind. Die Anwendung von DEVICE ist einfach für den Versuchsleiter und ansprechend für die Versuchspersonen. Der Untersuchungsaufwand hat ein in der Praxis akzeptables Maß. Damit ist das DEVICE-Versuchsinstrumentarium hinsichtlich der Durchführung eine praktikable Methode zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von koordinatengebenden Interaktionsgeräten für grafische Benutzungsoberflächen.

### 6.5.5 Abgrenzung von DEVICE zu FITTS

In Abbildung 6-3 ist die DEVICE-Versuchsmethodik der FITTS-Versuchsmethodik hinsichtlich der Testgütekriterien zusammenfassend gegenübergestellt.

Testgütekriterien	Ausprägungen	DEVICE	FITTS
Objektivität (Sachlichkeit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchführung</li> <li>Auswertung</li> <li>Interpretation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Standardisiertes Versuchsinstrumentarium</li> <li>• Bewertungsschema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊖ Keine einheitliche Rechenvorschrift</li> </ul>
Reliabilität (Zuverlässigkeit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wiederholbarkeit</li> <li>Übertragbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Reproduzierbare Merkmals- und Kennwerte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊙ Wurde nicht überprüft</li> </ul>
Validität (Gültigkeit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inhaltliche Validität</li> <li>Kriteriumsvalidität</li> <li>Konstruktvalidität</li> <li>Soziale Validität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Aufgabenvielfalt</li> <li>• Praxisorientierte Aufgaben (Aufgabenorientierung)</li> <li>• Korrelation mit Einschätzung der Versuchspersonen (Außenkriterium)</li> <li>• Ganzheitliche Betrachtung</li> <li>• Individuelle Rückmeldung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊖ Aufgabenmonotonie</li> <li>• Praxisferne Aufgaben (Funktionsorientierung)</li> <li>• Keine Korrelation mit Einschätzung der Versuchspersonen (Außenkriterium)</li> <li>• Motorisches System</li> </ul>
Utilität (Nützlichkeit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Angemessenheit</li> <li>Praktikabilität</li> <li>Zweckmäßigkeit</li> <li>Anwendbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Geringer Zeitbedarf</li> <li>• Abwechslungsreich</li> <li>• Koordinatengebende Interaktionsgeräte</li> <li>• Zukünftige Interaktionstechniken (Prinzipien von DEVICE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊖ Hoher Zeitbedarf</li> </ul>

Abbildung 6-3 Abgrenzung der DEVICE-Methodik zur FITTS-Methodik

Obwohl die FITTS-Versuchsmethodik ein weit verbreitetes Verfahren für die Beurteilung von Interaktionsgeräten darstellt, ist sie aufgrund der in Abschnitt 2.4.5 beschriebenen Inkonsistenzen kritisch zu betrachten: Bei FITTS ist durch die Vielzahl von Modifikationen des Originalgesetzes von FITTS (1954) keine einheitliche Rechenvorschrift sichergestellt und somit ein studienübergreifender Vergleich in den meisten Fällen unmöglich (vgl. Abschnitt 2.4.5). In dem in [ISO9241-9] beschriebenen und nach FITTS testenden Prüfverfahren wird eingeräumt, dass gültige Vergleiche zwischen verschiedenen Interaktionsgeräten bei Verwendung der gleichen Rechenvorschrift nur erzielt werden können, wenn die gleichen Testaufgaben für jedes Gerät verwendet werden. Damit werden die Vergleichsmöglichkeiten zwischen CLICK und DRAG&DROP-Aufgaben jedoch eingeschränkt.

Der **Vergleichstest** zwischen FITTS 2001 und der Befragung 2001 zeigt nur auf der Ebene der Merkmalswerte eine Korrelation. Die Kennwerte (IP, Index of Performance) korrelieren nicht (vgl. Abbildung 6-2). Die mit der DEVICE-Methodik ermittelten Kennwerte ge-

ben die Beurteilung durch die Benutzer wieder, während dies bei den durch die FITTS-Methodik ermittelten Kennwerten nicht der Fall ist. Damit ist die Validität (Gültigkeit) des Index of Performance der FITTS-Methodik als aussagefähiger Kennwert der Gebrauchstauglichkeit in Frage zu stellen. Was der IP über die Gebrauchstauglichkeit aussagt, ist nicht genau geklärt.

Der größte Vorteil von DEVICE gegenüber FITTS liegt in der eindeutigen Interpretationsmöglichkeit des Indexes pak-PDI. Während sich bei FITTS – je nach Auswertungsumfang – mindestens zwei Lösungsparameter (IP, mittlere Bewegungszeit) ergeben, gibt bei DEVICE nur der pak-PDI das Endresultat wieder. Aus der Testdurchführung und dem Testumfang resultieren weitere Vorteile der DEVICE-Versuchsmethodik gegenüber dem FITTS-Test. Sowohl Aufgabendarbietung als auch Aufgabenumfang der DEVICE-Versuchsaufgaben sind für den Nutzer interessanter und abwechslungsreicher als die monotonen Aufgaben des FITTS-Tests. Der zeitliche Aufwand zur Beurteilung eines Interaktionsgerätes wird durch den Einsatz der DEVICE-Versuchsaufgaben um fast den Faktor 10 verringert. Für die FITTS-Versuchsaufgaben werden, zum einen wegen der großen Anzahl von Wiederholungen (14 Aktionen) und zum anderen wegen der sechs verschiedenen Abstands-Breiten-Konstellationen Versuchszeiten von bis zu 4 Stunden benötigt. Um statistisch fundierte Aussagen treffen zu können, ist bei FITTS eine bestimmte Mindestanzahl von nahezu identischen Versuchsdurchläufen durchzuführen. Die daraus resultierende Monotonie der FITTS-Versuchsaufgaben führt zu wachsenden Motivationsschwierigkeiten der Kandidaten und dadurch zu Konzentrationsschwächen. Diese fallen gerade bei geringem Stichprobenumfang stark ins Gewicht und können die Ergebnisse verfälschen.

## 7 Ausblick

Derzeit lassen sich unterschiedliche Trends bei den Interaktionsformen zwischen Mensch und Maschine feststellen. Neue Bauformen des Interaktionsgerätes Computermaus sollen Körperschäden infolge zu häufiger und falscher Benutzung sowie unergonomischer Gestaltung vorbeugen und die Bedienung vereinfachen. Das DEVICE-Versuchsinstrumentarium, bestehend aus Versuchsaufgaben, Fragebogen und Beobachtungsprotokoll kann für diese und für **zukünftige koordinatengebende Interaktionsgeräte**, die bei grafischen Benutzungsoberflächen eingesetzt werden, angewendet werden (gegebenenfalls ist lediglich eine Anpassung des Versuchsprogramms mit den Versuchsaufgaben an zukünftige Betriebssysteme erforderlich).

### Zukünftige Interaktionstechniken

Bevor erläutert wird, inwieweit DEVICE für zukünftige Interaktionstechnologien und Interaktionskonzepte anwendbar ist, wird zunächst die Frage geklärt, welche Interaktionstechnologien es möglicherweise zukünftig geben wird. Erste Hinweise zur Beantwortung dieser Frage gibt eine im Auftrag des IFAC Technical Committee on Human Maschine-Systems durchgeführte *Delphi-Studie* [Züh02b]. In der Abbildung 7-1 sind die Ergebnisse der ersten Runde dieser Umfrage für die Bereiche Interaktionstechnologie und Visualisierung dargestellt.

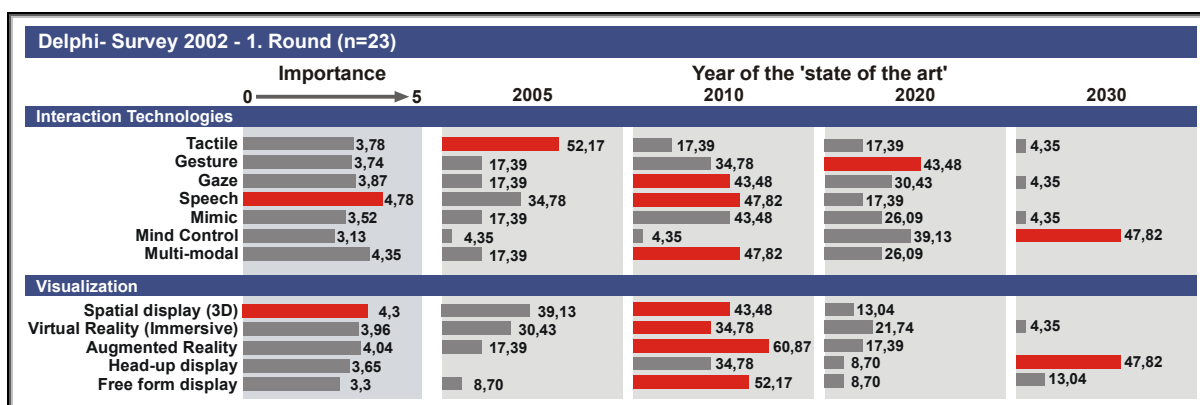


Abbildung 7-1 Ergebnisse der IFAC Delphi Umfrage (2002)

Die bei der Delphi-Umfrage interviewten Experten aus dem Forschungsbereich der Mensch-Maschine-Interaktion schätzen die Bedeutung der sprachlichen Interaktion besonders hoch ein. Der Erwartungshorizont der **Sprachdialogsysteme** wird spätestens im Jahr 2010 gesehen. Ca. die Hälfte der Befragten sind der Meinung, dass die **taktile Interaktion** im Jahr 2005 Stand der Technik sein wird. Unter taktiler bzw. haptischer Interaktion wird in diesem Fall die Greifbarkeit und Integration von Kraft- und Bewegungsrückkopplung (Force-Feedback) verstanden. Als zukünftige Visualisierungstechniken (die wieder bestimmte Interaktionstechniken bedingen) werden dreidimensionale Darstellungsformen (**3D-Displays**) und **Augmented Reality** Systeme für das Jahr 2010 identifiziert. Die genannten Systeme existieren teilweise bereits als mehr oder weniger ausgereifte Prototypen oder sind sogar schon in einer Serienversion zu erhalten [Nix01]. Allerdings

bieten sie meist noch nicht die technische Sicherheit, die für industrielle Produktionsanlagen oder im Consumer-Bereich gefordert wird. In der Abbildung 7-2 sind mögliche zukünftige Interaktionsformen abgebildet.

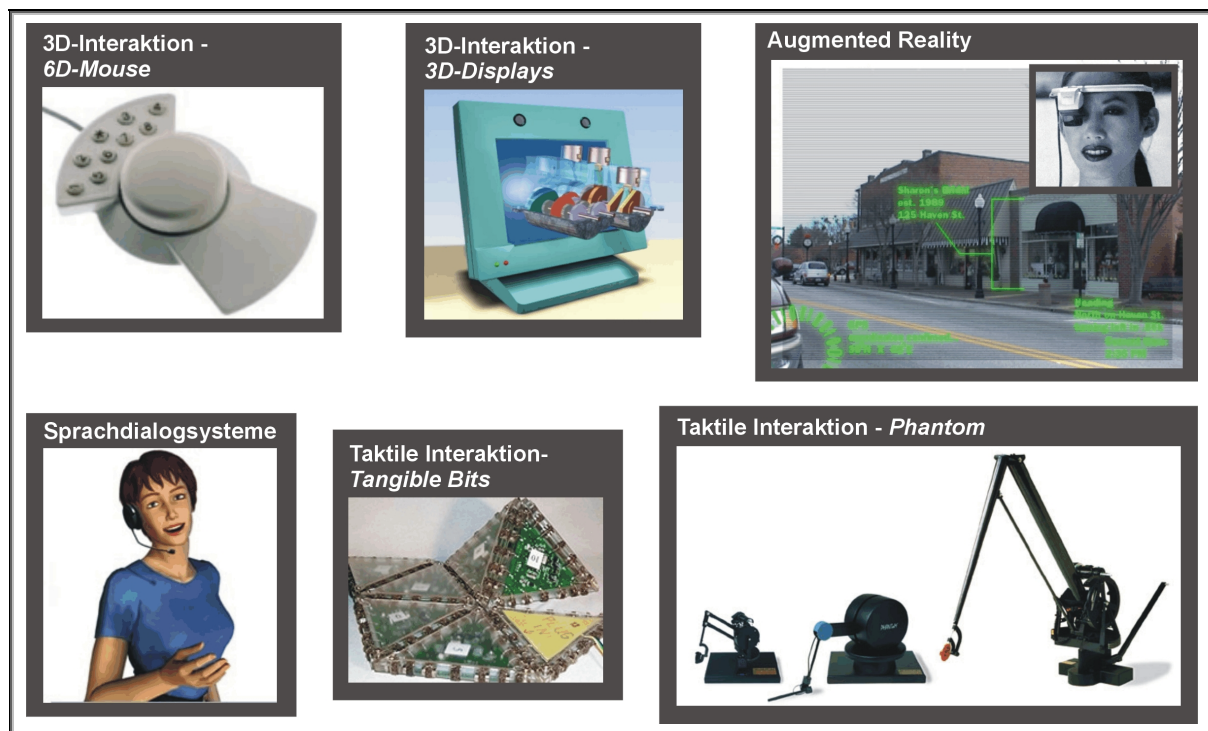


Abbildung 7-2 Potentielle zukünftige Interaktionsformen

Bei den **Sprachdialogsystemen** wird unterschieden nach sprecherabhängigen Systemen, die sich auf den Benutzer „einstellen“ und sprecherunabhängigen Systemen mit eingeschränktem Wortschatz [Man92]. Beide Systeme sind technisch noch nicht voll ausgereift. Meist sind bei den sprecherabhängigen Systemen trotz Lernphase nicht sämtliche Wörter bekannt, und es dürfen keine Störgeräusche, wie z.B. Schallemissionen im Produktionsbereich, die Kommunikation behindern. Die sprecherunabhängigen Sprachdialogsysteme können die in einem begrenzten Kontext gesprochene Sprache ausreichend gut verstehen, um eine Kino- oder Reiseauskunft zu erteilen, ein Hotelzimmer zu buchen, den Kontostand einer Kundenkarte vorzulesen oder eine Flugreservierung vorzunehmen. Technologisch jedoch weiter optimiert werden sich Sprachdialogsysteme vor allem bei computergestützten Diensten (Call-Centern) künftig als Benutzerschnittstelle etablieren. Die Zukunft des Marktes liegt einerseits in der Kopplung von Spracherkennungs- und Sprachdialogsystemen und andererseits in den Inhalten und Services des Internet. In diesem Zusammenhang wird von sogenannten Voice Commerce und von Voice Portals gesprochen. Forrester Research prognostiziert für das Jahr 2003 ein weltweites Volumen für V-Commerce von ca. 450 Mrd. Euro. Das wäre dreimal so viel wie für Electronic Commerce und Mobile Commerce vorhergesagt wird [Hei01].

Zu den **taktilen Interaktionsformen** zählt das am MIT entwickelte Force-Feedback-Gerät PHANTOM, das über drei aktive Freiheitsgrade verfügt. Dadurch kann es in x-, y- und z-Richtung eine Gegenkraft erzeugen. Die Gegenkräfte werden von einem Benutzer entweder über die Spitze eines Stiftes, den er in der Hand führt oder über die Fingerspitze, die in einem Fingerhut steckt, wahrgenommen. Eingesetzt wird es z.B. als Trainingssimulator in der Medizintechnik für arthroskopische Untersuchungen am Kniegelenk in einem Computermodell. Dabei dient das Gerät PHANTOM als Werkzeug in einer Virtual Reality (VR)

Umgebung, d.h., die Intention ist, den Benutzer durch die haptische Rückmeldung möglichst tief (immersiv) in eine computergenerierte Welt einzubeziehen. Real Reality (RR) ist ein Ansatz, bei dem ebenfalls die taktilen und haptischen Fähigkeiten des Menschen verstärkt angesprochen werden sollen, allerdings existieren hier die Modelle physikalisch. In diesem Zusammenhang wird auch von greifbaren (engl. tangible) Schnittstellen gesprochen (z.B. Tangible Bits von [Ish97]) [Rüg98; Gob94; Hed94; Zwi98].

Um **3D-Interaktionen** ausführen zu können, wird das elementare Interaktionsmodell (EIM) um weitere Basisinteraktionen erweitert. **Orientieren** ermöglicht das Rotieren eines Objektes im Raum und **Navigieren** das virtuelle Bewegen des Beobachters im Raum durch Veränderung der Kameraposition und Kameraorientierung. **3D-Eingabegeräte** ermöglichen dem Benutzer ein solches möglichst natürliches und intuitives Interagieren in 3-dimensionalen, computer-generierten Szenen. Sie stellen dem Benutzer sechs Freiheitsgrade zur Verfügung (drei für die Positionierung und drei für die Orientierung). Diese Geräte können an der Hand des Benutzers befestigt sein und im Raum bewegt werden [Sto00]. In Verbindung mit der VR-Technologie „Datenhandschuh“ können sie auf Gesten wie z.B. Hand- oder Fingerbewegungen reagieren oder ein tischgebundenes Interaktionsgerät wie z.B. die 6D-SpaceMouse sein. Um die Orientierung, Navigation und Positionierung in 3D zu erleichtern, sind neben geeigneten Interaktionstechniken auch unterstützende 3D-Visualisierungstechniken notwendig, die dem Benutzer aufschlussreiche Form- und Tiefenhinweise bieten. Bei 2D-Bildschirmen müssen diese Tiefenhinweise aus Drahtgittern, Schatten und Verdeckungen gewonnen werden. Zur Erkennung der räumlichen Struktur muss u.U. die virtuelle Kamera oder das Modell bewegt werden, welches zu teilweise erhöhtem Interaktionsaufwand führt. Einen Lösungsansatz bieten hier erste prototypisch realisierte autostereoskopische Bildschirme, die dem Benutzer eine 3D-Darstellung ohne Hilfsmittel ermöglichen. Allerdings gibt es hier bislang noch keine Konzepte, wie die Interaktion in solch immersiven 3D-Welten erfolgt [Sto00].

**Augmented Reality (AR)** ist ein Versuch, die virtuelle Welt der Benutzungsoberflächen in die reale Welt zu integrieren. Zudem ist sie ein Gegenentwurf zur Virtual Reality, welche die reale Welt durch die computergenerierte Welt ersetzt. Bei AR soll die physikalische Welt nicht ersetzt, sondern bereichert werden. Alltagsdinge sollen elektronische Eigenschaften hinzugewinnen, ohne die Vertrauten zu verlieren. Damit ist es den Menschen möglich, sich „natürlich“ zu verhalten. Weder die Mensch-Mensch-Kommunikation noch die Mensch-Objekt-Interaktion sollen behindert werden. Die zentrale und am meisten verbreitete Technik stellt die Erweiterung der gegebenen Ansicht materieller Objekte um projizierte bzw. ins (Video-)Bild eingefügte computererzeugte Objekte bzw. Bilder dar. Diese See-Through-Displays erlauben die individualisierte Sicht auf digitale Daten, ohne die gewohnte Interaktion mit der Welt und Kommunikationspartnern zu unterbrechen oder zu behindern. In diesem Zusammenhang wird auch von „**Ubiquitous Computing**“ gesprochen, ein Forschungszweig, der anstrebt, miniaturisierte und sensorische Computer in der Alltagswelt zu integrieren und aufzulösen, diese miteinander zu vernetzen und so eine „intelligente“ Umwelt zu schaffen [Rüg98]. Die Interaktion kann wie bei grafischen Benutzungsoberflächen über ein Positioniersymbol erfolgen, das z.B. mittels eines Mousebuttons (befestigt am Steuergerät am Gürtel des Benutzers) bewegt wird. In einer anderen Variante erfolgt die Interaktion mittels Datenhandschuh, bei der eine direkte Bewegung der Hand mit dem Ausführen einer Aktion verbunden ist. Alternativ ist bei Datenein- und -ausgabe auch die Interaktion mittels Sprache vorstellbar.

## Zukünftige Anwendung von DEVICE

Wenn diese prognostizierten Interaktionstechnologien technisch ausgereift und Stand der Technik sind, werden sie wahrscheinlich nach einiger Zeit den breiten Markt erobern und unter Umständen die bisher verwendeten Technologien wie z.B. koordinatengebende Interaktionsgeräte verdrängen.

Es wird dennoch so bleiben, dass Menschen mit Maschinen interagieren und die Benutzer dieser Maschinen bestimmte Aufgaben mit Hilfe der Maschinen erfüllen müssen. Mit bestimmten Interaktionsformen werden die Benutzer bestimmte Aufgaben schneller, sicherer und weniger fehlerbehaftet als mit anderen Interaktionsformen durchführen können. Wahrscheinlich wird es auch aufgrund der Beschaffenheit des Marktes verschiedene Ausprägungen einer Interaktionsform geben. Damit sind die Voraussetzungen für die Prinzipien der DEVICE-Methodik gegeben:

- Gestaltung von Versuchsaufgaben, welche typisch für die Interaktionsform sind.
- Festlegung der Merkmale der Untersuchung (z.B. Geschwindigkeit, Vollständigkeit, Genauigkeit) und der zu messenden Merkmalswerte.
- Durchführung der Versuche mit unterschiedlichen Geräten.
- Referenzieren der Merkmalswerte auf ein weit verbreitetes Gerät oder eine gebräuchliche Interaktionsform, damit ein studienübergreifender Vergleich möglich wird.
- Berechnung der Kennwerte aus den gemessenen Merkmalswerten.

Die genannten Prinzipien der DEVICE-Methodik werden zur Zeit am Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung der Universität Kaiserslautern bereits zur Untersuchung von 3D-Interaktionsgeräten eingesetzt. Da in diesem Fall die modifizierten Versuchsaufgaben auch mit einer herkömmlichen Computermaus durchführbar sind, wird die Computermaus als Referenzgerät gewählt. Dabei erreichen spezielle 3D-Interaktionsgeräte wesentlich bessere Kennwerte als die herkömmliche Computermaus.

Die Gestaltung zukünftiger Versuchsaufgaben sollte mehrdimensionale, möglichst realitätsnahe Aufgaben beinhalten, um auch die perzeptiven, kognitiven und motorischen Prozesse in die Versuchsdurchführung und damit in die Kennwerte der Gebrauchstauglichkeit einfließen zu lassen. Der Schwerpunkt bei diesen Untersuchungen sollte wie bei DEVICE auf einer ganzheitlichen Betrachtungsweise des Systems Interaktionsgerät, Interaktionsoberfläche und Mensch liegen. Eine noch stärkere Interdisziplinarität kann durch Einbindung biometrischer Analyseverfahren erreicht werden. Letztendlich sollte eine endgültige Festlegung der Interaktionsschnittstelle nur auf Basis vergleichender Untersuchungen mit mehreren Versuchspersonen unter realitätsnahen Randbedingungen im jeweiligen Anwendungsfall erfolgen.



## 8 Zusammenfassung

Immer häufiger werden auch im industriellen Umfeld die im Bürobereich gebräuchlichen grafischen, fensterorientierten Benutzungsoberflächen als Interaktionsschnittstelle eingesetzt. Die Interaktion erfolgt bei solchen fensterorientierten Bediensystemen, wie sie z.B. beim Betriebssystem Windows des Marktführers Microsoft realisiert sind, mittels koordinatengebender Interaktionsgeräte. Im Bürobereich wird dabei als Interaktionsgerät überwiegend eine Computermaus eingesetzt. Mit der Computermaus verbietet sich jedoch ein industrieller Einsatz in rauer Umgebung, sofern sie nicht gegen Verschmutzung abgesichert wird. Weitere Probleme entstehen aus den industriellen Umgebungsbedingungen wie z.B. der häufig nicht vorhandenen Ablagefläche bei Tafelbenutzung und den Maschinenschwingungen bei nicht entkoppelten Bediensystem. Unter anderem wird zwar zur Lösung dieser Probleme eine Vielzahl von alternativen Interaktionsgeräten eingesetzt, allerdings ist deren Gebrauchstauglichkeit für die Benutzer nicht geklärt bzw. fragwürdig. Ziel dieser Arbeit ist es daher, die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten bewerten zu können.

Die Bewertung von Interaktionsgeräten muss den Menschen ganzheitlich als Anwender mit seinen Fähigkeiten und Fertigkeiten berücksichtigen, so dass im Arbeitsprozess keine übermäßige und einseitige Beanspruchung entsteht. Die dazu notwendigen psychomotorischen Grundlagen der somatosensorischen, sensomotorischen und kognitiven Leistungsfähigkeit des Menschen werden in dieser Arbeit dargestellt. Sie sind der Ausgangspunkt der Gestaltung von Interaktionsgeräten und setzen Randbedingungen für die Modellierung einer systematischen Methodik zur Beurteilung von Interaktionsgeräten.

Das vorgestellte Elementary Interaction Model (EIM) liefert hierfür einen ersten Ansatz. Es visualisiert gebräuchliche Verbalisierungen elementarer Interaktionsoperationen in einer grafischen Darstellung und spiegelt die Nutzersicht wider.

Zur quantitativen Beurteilung von Interaktionsgeräten wird weltweit meistens das Modell von FITTS (1954) genutzt, welches die Leistungsfähigkeit des Menschen in mathematischer Form beschreibt und daraus einen Zusammenhang zwischen zielgerichteter Bewegung, Geschwindigkeit und Genauigkeit ableitet [Fit54]. Diese Untersuchungsmethode ist jedoch aufgrund systemimmanenter Schwächen einerseits in Frage zu stellen und andererseits aufgrund der praxisfernen Aufgaben speziell für den industriellen Einsatz nicht geeignet, um die Gebrauchstauglichkeit von verschiedenen Interaktionsgeräten für den Menschen ermitteln zu können.

Für quantitative Aussagen wird daher das DEVICE-Versuchsinstrumentarium entwickelt. Die im generellen Versuchsinstrumentarium realisierten Versuchsaufgaben orientieren sich an typischen Aktivitäten der Benutzer bei grafischen Dialogsystemen. Diese werden eingeteilt in CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben. Aus den psychomotorischen Fähigkeiten resultieren die für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit relevanten Untersuchungsmerkmale Geschwindigkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit. Die subjektive Zufriedenheit und Komfortbeurteilung der Benutzer wird mittels des individuellen Instrumentariums, welches Befragungen und Beobachtungen beinhaltet, untersucht. Der Versuchsaufbau orientiert sich an typischen industriellen Umgebungsbedingungen. Der Prüfstand besteht aus einem Bedienpanel an einem Tragarmsystem. Insgesamt werden damit

bei den Versuchsreihen 1998 und 2001 26 Interaktionsgeräte mit 48 Versuchspersonen untersucht.

Zur Beurteilung der Einsatzfähigkeit und der Gültigkeit des Versuchsinstrumentariums wird der Einfluss verschiedener Identifikationsmerkmale wie Erfahrung der Benutzer, Bedienung der Benutzer, Position der Interaktionsgeräte und Gerätegestaltung auf die Gebrauchstauglichkeit ermittelt. Zusätzlich zu den DEVICE-Versuchsaufgaben werden die Geräte der Versuchsreihe 2001 mit Versuchsaufgaben, die auf dem Modell von FITTS basieren, getestet, um die Gültigkeit dieser Methodik zu untersuchen und um beide Methoden hinsichtlich Versuchsgestaltung und Versuchsergebnis miteinander vergleichen zu können.

Die erzielten Ergebnisse der einzelnen Versuchsinstrumente werden unabhängig von einander ausgewertet. Zur einfachen Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und zur Vergleichbarkeit wird aus den gemessenen Merkmalswerten der DEVICE-Versuchsaufgaben ein Pointing-Device-Index gebildet (pak-PDI). Dieser gibt die Gebrauchstauglichkeit von Interaktionsgeräten im Vergleich zu einer Standard-Maus wieder. Die Standard-Maus wird als Referenz gewählt, da sie einen de-facto-Standard bei direktmanipulativen Benutzungsoberflächen darstellt.

Mittels der Erweiterung des Elementary Interaction Model (EIM) zum Industrial Elementary Interaction Model (I-EIM) können qualitative Aussagen hinsichtlich der industriellen Einsatzmöglichkeiten von Interaktionsgeräten getroffen werden. Durch Interpretation des PDI können Ursachen für die Bewertung gefunden werden.

Mit Hilfe von statistischen Methoden werden die Untersuchungsergebnisse des generellen und individuellen Versuchsinstrumentariums miteinander verglichen. Die Korrelationsanalyse zwischen den Versuchsreihen 1998 und 2001 ergibt reproduzierbare Werte und damit die Zuverlässigkeit des DEVICE-Instrumentariums. Der Vergleich zwischen den DEVICE-Versuchsaufgaben und der durch die Benutzer aufgestellten Rangordnung der Interaktionsgeräte zeigt im Gegensatz zur FITTS-Versuchsreihe eine deutliche Korrelation. Durch diesen Zusammenhang kann von der Gültigkeit der DEVICE-Methodik ausgegangen werden. Das DEVICE-Versuchsinstrumentarium, bestehend aus Versuchsaufgaben, Fragebogen und Beobachtungsprotokoll kann damit für koordinatengebende Interaktionsgeräte zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit eingesetzt werden.

In den ersten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts werden koordinatengebende Interaktionsgeräte ihren Stellenwert nicht verlieren. Sie sind derzeit noch die einfachste Art, visuelle Information zu verarbeiten und mit Hilfe der Hand Interaktionen ohne Zeitverzug durchzuführen. Das Positioniersymbol bzw. der Mauszeiger ist der virtuelle Arm des Menschen zur Steuerung von Maschinen oder Produktionsanlagen. Werden Koordinatengeber durch alternative Interaktionsformen verdrängt, können die in dieser Arbeit vorgestellten Prinzipien der DEVICE-Methodik zur Evaluation von zukünftigen Interaktionstechniken angewendet werden.

## 9 Literaturverzeichnis

### 9.1 Monographien und Artikel

- [Aar90] Aaras, A.: Acceptable muscle load on the neck and shoulder regions assessed in relation to the incidence of musculoskeletal sick leave: Implications for human-computer interaction: International Journal of Human-Computer Studies (1990), Nr. 2 (1), S. 29-39
- [Aar97] Aaras, A. ; Ro, O.: Work load when using Anir Mouse as input device : A Comparison between using Anir Mouse and normal mouse: International Journal of Human-Computer Interaction (1997), Nr. 9 (2), S. 105-118
- [Alt77] Altner, H ; Dudel, J. ; Grüsser, O.-J., et al.: Grundriß der Sinnesphysiologie. Aufl. 3. Heidelberg : Springer, 1977
- [Ann93] Annett, J.: The learning of motor skills: sports science and ergonomics perspectives. In: Ergonomics. Vol. 37 (1993), Nr. 1, S. 5-16
- [Arl97] Arlov, L.: GUI Design for Dummies: A Reference for the Rest of Us. Aufl. 1. Foster City : IDG Books Worldwide, 1997
- [Arn85] Arnault, L. Y. ; Greenstein, J.S.: Two experiments investigating the effects on control-display gain and method of cursor control on touch tablet performance: Human Factors Society, Proceedings of the Human Factors Society, 1985
- [Arn86] Arnault, L. Y. ; Greenstein, J.S.: Optimizing the touch tablet: The effects of control-display gain and method of cursor control: Human Factors (1986), Nr. 28 (6), S. 717-726
- [Arn87] Arnault, L. Y. ; Greenstein, J.S.: Evaluation of display/control gain: Human Factors Society 31st Annual Meeting, Proceedings of the Human Factors Society 31st Annual Meeting, 1987
- [Arn88] Arnault, L. Y. ; Greenstein, J.S.: Optimizing control-display interfaces: An evaluation of display/control gain. Report No. NOSC-TD-1219. San Diego, CA : Naval Ocean Systems Center, 1988
- [Arn90] Arnault, L. Y. ; Greenstein, J.S.: Is display/control gain a useful metric for optimizing an interface?: Human Factors (1990), Nr. 32, S. 651-663
- [Att95] Atteslander, P.: Methoden der empirischen Sozialforschung. Aufl. 8. Berlin : de Gruyter, 1995
- [Bab97] Baber, C.: Beyond the desktop: Designing and using interaction devices. Aufl. 1. San Diego, CA : Academic Press, 1997
- [Bae95] Baecker, R. ; Grudin, J. ; Buxton, B., et al.: Human-Computer-Interaction: Toward the year 2000. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers, 1995
- [Bal88] Balzert, H. ; Hoppe, H. U. ; Oppermann, R., et al.: Einführung in die Software-Ergonomie. Aufl. 2. Berlin : de Gruyter, 1988
- [Bal96] Balzert, H.: Lehrbuch der Software-Technik: Software-Entwicklung. Heidelberg/Berlin : Spektrum, 1996
- [Bal97] Balakrishnan, R. ; MacKenzie, S.: Performance Differences in the Fingers, Wrist and Forearm in Computer Control (Proceedings CHI'97), S. 303 - 310. New York : ACM, 1991

- [Bal98] Balzert, H.: Lehrbuch der Software-Technik: Software-Management, Software-Qualitätssicherung, Unternehmensmodellierung. Heidelberg/Berlin : Spektrum, 1998
- [Bal99] Balzert, H.: Lehrbuch der Objektmodellierung: Analyse und Entwurf. Heidelberg : Spektrum, 1999
- [Ban85] Bandera, J.E. ; Kern, P. ; Solf, J.J.: Ergonomische Kenngrößen für Kontaktgreifarten. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1985
- [Ban86] Bandera, J.E. ; Kern, P. ; Solf, J.J.: Leitfaden zur Auswahl, Anordnung und Gestaltung von kraftbetonten Stellteilen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 1986
- [Bau01] Baumann, K. ; Thomas, B.: User interface design of electronic appliances. London : Taylor and Francis, 2001
- [Bau98] Baumann, K. ; Lanz, H.: Mensch-Maschine-Schnittstellen elektronischer Geräte: Leitfaden für Design und Schaltungstechnik. Aufl. 1. Heidelberg : Springer, 1998
- [Bec02] Becks, D. ; Rahn, M.: Ergonomische Gestaltung und Erprobung von Koordinatengebern. Studienarbeit. Kaiserslautern : Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, 2002
- [Beg72] Beggs, W. A. D. ; Graham, J. C. ; Monk, T. H., et al.: Can Hick's law and Fitts' law be combined: Acta Psychologica (1972), Nr. 36, S. 348-357
- [Bei90] Beitz, W. ; Küttner, K.-H.: Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau. Aufl. 17. Berlin : Springer, 1990
- [Ber67] Bernstein, N.A.: The coordination and regulation of movements. London: Pergamon Press, 1967
- [Ber94] Bertelsen, O. W.: Fitts' Law as a Design Artefact : A Paradigm Case of Theory in Software Design. (In: Blumenthal, Gornostaev and Unger (Hrsg.) Human-Computer Interaction. 4th International Conference, EWHCI '94 St. Petersburg, Russia, August 1994. Selected Papers). Berlin: Springer (LNCS), 1994
- [Bir91] Birbaumer, N. ; Schmidt, R.F.: Biologische Psychologie. Aufl. 2. Berlin: Springer, 1991
- [Bir96] Birbaumer, N. ; Schmidt, R.F.: Biologische Psychologie. Aufl. 3. Berlin: Springer, 1996
- [Boc89] Bocher, R. ; Brandauer, H. ; Flohrer, W., et al.: Kommunikationsergonomie: Benutzerfreundlichkeit in der Bürokommunikation. Köln : TÜV Rheinland, 1989
- [Böh88] Böhle, F. ; Milkau, B.: Vom Handrad zum Bildschirm. Aufl. 1. Frankfurt: Campus, 1988
- [Bok91] Bokranz, R. ; Landau, K.: Einführung in die Arbeitswissenschaft: Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen. Stuttgart : Ulmer, 1991
- [Boo99] Booch, G. ; Rumbaugh, J. ; Jacobson, I.: Unified Modeling Language User Guide. Longman : Addison Wesley, 1999
- [Bor95] Bortz, J. ; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation: für Sozialwissenschaftler. Aufl. 2. Heidelberg : Springer, 1995
- [Bos90] Bosch (Hrsg.): Vom Einfluß der Ergonomie auf das Design von Elektrowerkzeugen: Über das leichtere Arbeiten mit Elektrowerkzeugen, 1990
- [Bou01] Bourier, G.: Beschreibende Statistik: Praxisorientierte Einführung mit Aufgaben und Lösungen. Aufl. 4. Wiesbaden : Gabler, 2001
- [Bro48] Brown, J. S. ; Wieben, E.W. ; Norris, E.B.: Discrete Movements toward and away from the body in the horizontal plane. In: Office Nav. Res. Rep. 57-2-6, 1948

- [Bro80] Brokman, W.: Taschenbuch der Arbeitsgestaltung. Aufl. 3. Köln : Bachem, 1980
- [Bro82] Brokman, W.: Arbeiten mit Bildschirmgeräten: Taschenbuch für den Praktiker. Aufl. 1. Köln: J.P. Bachem, 1982
- [Bro85] Brown, E. ; Buxton, W. ; Murtagh, K.: Windows on tablets as a means of achieving virtual input devices: SIGGRAPH '85, Computer Graphics, Proceedings of SIGGRAPH '85, 1985
- [Bro89] Brokman, W.: Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung: Taschenbuch für den Praktiker. Köln : Bachem, 1989
- [Buc80] Buck, L.: Motor performance in relation to control-display gain target width: Ergonomics (1980), Nr. 23, S. 579-589
- [Buc99] Buckle, P. ; Devereux J.: Work-related Neck and Upper Limb Musculoskeletal Disorders. European Agency for Safety and Health at Work. Luxembourg : Office for Official publications of the European Communities, 1999
- [Bul79] Bullinger, H.-J. ; Kern, P. ; Solf, J.J.: Reibung zwischen Hand und Griff, Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1979
- [Bul87] Bullinger, H.-J. ; Kern, P. ; Muntzinger, W. F.: Design of controls: Handbook of Human Factors Engineering. New York : Wiley, 1987
- [Bul94] Bullinger, H.-J. ; Ilg, R. ; Schmauder, M.: Ergonomie: Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Stuttgart : B.G. Teubner, 1994
- [Bur87] Burandt, U.: Ergonomie für Design und Entwicklung. Köln : Dr. Otto Schmidt KG, 1987
- [But00] Buttler, G. ; Stroh, R.: Einführung in die Statistik. Aufl. 7. Reinbek : Rowohlt, 2000
- [Bux85] Buxton, W., Hill, R., & Rowley, P.: Issues and techniques in touch-sensitive tablet input. (Proceedings of SIGGRAPH '85, S. 215-224). New York : ACM, 1985
- [Bux90] Buxton, W.: A three-state model of graphical input. (In: D. Diaper et al. (Hrsg.): Human-Computer Interaction - INTERACT '90, S. 449-456). Amsterdam : Elsevier, 1990
- [Bux93] Buxton, W.: Lexical and pragmatic considerations for input structure. In: Computer Graphics (1983), Nr. 17(1), S. 31-37
- [Cam93] Campenhausen, C. v.: Die Sinne des Menschen: Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung. Aufl. 2. Stuttgart : Georg Thieme, 1993
- [Car78] Card, S. K. ; English, W. K. ; Burr, B. J.: Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT. In: Ergonomics (1978), Nr. 21, S. 601-613
- [Car80] Card, S. ; Moran, T. ; Newell, A.: The keystroke-level model for user performance time with interactive systems. In: Communications of the ACM (1980), Nr. 23(7), S. 396-410
- [Car83] Card, S. K. ; Moran, T. P. ; Newell, A.: The psychology of human-computer interaction. Hillsdale, NJ : Erlbaum, 1983
- [Cha50] Chapanis, A.: Theory and methods for analyzing errors in machine systems. In: Office Nav. Res. Rep. 166-1-59, 1950
- [Cha67] Chapanis, A.: The Relevance of Laboratory Studies to Practical Situations. In: Ergonomics Vol. 10 (1967), S. 557-577
- [Cha94] Charwat, H. J.: Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation. Aufl. 2. München : Oldenbourg, 1994
- [Cro60] Crossman, E. R. F. W.: The information-capacity of the human motor-system in pursuit tracking. In: Quarterly Journal of Experimental Psychology (1960), Nr. 12, S. 1-16

- [Cro63] Crossman, E. R. F. W. ; Goodeve, P. J.: Feedback control of hand- movement and Fitts' law. Paper presented at the meeting of the Experimental Psychology Society, Oxford, England, July, 1963. Reprinted in: Quarterly Journal of Experimental Psychology (1983), Nr. 35A, S. 251-278
- [Cus91] Cushman, W. H. ; Rosenberg, D. J.: Input devices for computers: Human Factors in Product Design. New York : Elsevier Science Publications, 1991
- [Dav51] Davis, R. T. ; Wehrkamp, R. F. ; Smith, K. U.: Dimensional analysis of motion : I. Effects of laterality and movement direction. In: Journal of applied Psychology (1951), Nr. 35, S. 363
- [Deu95] Deutsch, G. ; Springer, S.P.: Linkes Rechtes Gehirn. Aufl. 3. Heidelberg : Spektrum, 1995
- [Die01] Diekmann, C.: Aerobic für die Finger : "Dauer-Power" auf der Tastatur : An Computerarbeitsplätzen werden pro Tag bis zu drei Tonnen bewegt. Seite: R+V Versicherung. Link: <http://www.ruv.de>, (2001-10-22)
- [Dix85] Dixon, D. J.: Underwater movement and Fitts ´ law: Texas Technical University, 1985
- [Dix95] Dix, A. ; Finlay, J. ; Abowd, G., et al.: Mensch Maschine Methodik. Aufl. 1. München : Prentice Hall, 1995
- [Dou94] Douglas, S.A. ; Mithal, A. K.: The effect of reducing homing time on the speed of a finger-controlled isometric pointing device: CHI ´94 Conference on Human Factors in Computing Systems (Proceedings of the CHI ´94 Conference on Human Factors in Computing Systems. New York : ACM, 1994
- [Dou97] Douglas, S.A. ; Mithal, A. K.: The Ergonomics of Computer Pointing Devices: Springer, 1996
- [Dru92] Drury, C. G. ; Hoffmann, E. R. A model for movement time on data-entry keyboards. Ergonomics (1992), Nr. 35, S. 129-147
- [Dud97] Duden - Das Fremdwörterbuch. Mannheim : Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 1997
- [Dut94] Dutke, S.: Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Bd. 4 Arbeit und Technik. Göttingen : Verlag für Angewandte Psychologie, Verlagsgruppe Hogrefe, 1994
- [Eis01] Eissler, R.: Useware-Engineering in der Produktionstechnik . Systemtechnische Methodik zur Entwicklung ergonomischer Bediensysteme für Maschinen. Fortschritt-Berichte pak Bd. 4. Kaiserslautern : Universität Kaiserslautern, 2001
- [Eis98] Eissler, R.; Zühlke, D.: Die Bediensysteme von morgen. In: Elektronik (1998), Nr. 25, S. 32ff
- [Eng67] English, W. K. et al. Display-Selection Techniques for Text Manipulation. In: IEEE Transactions on Human Factors in Electronics. New York : Vol. 8 (1967), Nr. 1, S.5-15
- [Eng70] Engelbart, D. C.: X-Y Position indicator for a display system. Patent No. 3.541.541. United States Patent Office. Patented: Nov. 17, 1970
- [Epp86] Epps, B. W.: Comparison of six cursor control devices based on Fitts' law models. (Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Human Factors Society, S. 327-331). New York : ACM, 1986
- [Eve80] Everett, R. R. Whirlwind. In: Metropolis, N. et al. (Hrsg.): A History of Computing in the Twentieth Century : A coll. of essays ; papers presented at the Internat. Research Conference on the History of Computing, held at the Los Alamos Scientific Laboratory, 10-15 June 1976. New York : Acad. Press, 1980
- [Ewi86] Ewing, J. ; Mehrabanzad, S. ; Shek, S., et al.: An experimental comparison of a mouse and arrow-jump keys for an interactive encyclopedia: International Journal of Human-Computer Studies (1986), Nr. 24, S. 29-45

- [Fag78] Fagen, M.D. (Hrsg.) A History of Engineering and Science in the Bell System. Bell Telephone Laboratories Incorporated, 1978
- [Fäh83] Fähnrich, K.-P. ; Kern, P. ; Solf, J.J. Ergonomische Kenngrößen für Umfangsgreifarten. Forschungsbericht Nr. 331. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1983
- [Fäh87] Fähnrich, K.-P.: Software-Ergonomie: Serie: State of the Art 5. München und Wien : R. Oldenbourg, 1987
- [Fäh96] Fähnrich, K.-P. ; Janssen, C. ; Groh, G.: Werkzeuge zur Entwicklung graphischer Benutzungsschnittstellen: Grundlagen und Beispiele. München und Wien : R. Oldenbourg, 1996
- [Feg92] Feggeler, A. ; Yoo, J.W. ; Hornung, V.: Ergonomische Gestaltung von handgeführten elektromotorischen Arbeitsmitteln. Dortmund : Wirtschaftsverlag NW, 1992
- [Fit54] Fitts, P.M.: The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement. In: Journal of Experimental Psychology (1954), Vol. 47, Nr. 6, S. 381-391
- [Fit64] Fitts, P. M. ; Peterson, J. R.: Information capacity of discrete motor responses. In Journal of Experimental Psychology (1964)., Nr. 67, S. 103-112
- [Fit66] Fitts, P. M. ; Radford, B. K.: Information capacity of discrete motor responses under different cognitive sets. In: Journal of Experimental Psychology (1966), Nr. 71, S. 475-482
- [Fit68] Fitts, P. M. ; Posner, M. I.: Human performance. Belmont, CA : Brooks/Cole, 1968
- [Fol82] Foley, J.D. ; van Dam, A.: Fundamentals of Interactive Computer Graphics: Fundamentals of Interactive Computer Graphics. Aufl. 1. Reading : Addison-Wesley, 1982
- [Fol84] Foley, J.D. ; Wallace, V. L. ; Chan, P.: The human factors of computer graphics interaction techniques: IEEE Computer Graphics and Applications (1984), Nr. 4 (11), S. 13-48
- [Fow95] Fowler, F.J., Jr.: Improving Survey Questions: Design and Evaluation. Bd. 38, Thousand Oaks, CA : Sage Publications, 1995
- [Gal97] Galitz, W.O.: The essential guide to user interface design: An introduction to GUI design principles and techniques. Aufl. 1. New York : Wiley & Sons, 1997
- [Gau72] Gauer, O.H. ; Kramer, K. ; Jung, R.: Somatische Sensibilität, Geruch und Geschmack: Sinnesphysiologie I. Bd. 11. München-Berlin-Wien : Urban & Schwarzenberg, 1972
- [Ged89] Gediga, G. ; Wolff, P.: On the applicability of three basic laws to Human-Computer Interaction, MBQ 11/89, Osnabrück, 1989.
- [Gei90] Geiser, G.: Mensch-Maschine-Kommunikation. München : Oldenbourg, 1990
- [Gil90] Gillan, D.J.; Holden, K.; Adam, S.; Rudisill, M. and Magee, L.: How does Fitts' Law Fit Pointing and Dragging? (Proceeding of CHI'90 Conference on Human Factors in Computing Systems, S. 227-234). New York : ACM, 1990.
- [Gob94] Gobel, M. ; Springer, J. ; Luczak, H.: Effects of tactile feedback in process control, exemplary in mouse-driven interfaces, implementation and benefits. International Ergonomics Association Proceedings, 1994
- [Göb96] Göbel, M.: Elektromyografische Methoden zur Beurteilung sensumotorischer Tätigkeiten. Köln : Otto Schmidt, 1996.
- [Gol97] Goldstein, E. B.: Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung. Aufl. 1. Heidelberg : Spektrum, 1997

- [Gra01] Graves, A.: Fitts Law Lab Results. Link: <http://www.cms.dmu.ac.uk/~arg/fittsnotes.html> (2001-08-07)
- [Gra67] Grandjean, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung: Leitfaden der Ergonomie. Aufl. 1. Thun und München : Ott, 1967
- [Gra70] Granit, R.: The basis of motor control. New York : Academic Press, 1970
- [Gre87] Greif, S. ; Gediga, G.: A Critique and Empirical Investigation of the "One-Best-Way-Models" in Human-Computer Interaction. In: Frese, Ulich and Dzida (Hrsg.): Psychological Issues of Human-Computer Interaction in the Work Place. Amsterdam, 1987
- [Haa76] Haase, J. ; Henatsch, H.-D. ; Jung, R., et al.: Sensomotorik. Bd. 14. München-Berlin-Wien : Urban & Schwarzenberg, 1976
- [Hab99] Haberfellner ; Nagel ; Becker, et al.: Systems Engineering: Methodik und Praxis. Aufl. 10.: Zürich : Verlag Industrielle Organisation, 1999
- [Hac78] Hacker, W.: Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten. 2. Aufl. Bern, Stuttgart, Wien : Hans Huber, 1978
- [Han97] Hand, C.: A survey of 3D interaction techniques. In: Computer Graphics Forum (1997), Nr. 16(5), S. 269 - 281.
- [Han85] Hancock, P. A. ; Newell, K. M.: The movement speed-accuracy relationship in space-time: Motor behavior: Programming, control and acquisition. New York : Springer, 1985
- [Har53] Harris, S. J. ; Smith, K. U.: Dimensional analysis of motion : V. An analytic test of psychomotor ability. In: Journal of applied Psychology (1953), Nr. 37, S. 136
- [Har97] Hartwig, R.: Gestaltung und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Software: Überprüfung der Machbarkeit am Beispiel der Benutzungsoberfläche eines Moduls eines Schichtplangestaltungssystems. Oldenburg : Universität, Fachbereich Psychologie "Arbeitseinheit Arbeits- & Organisationspsychologie" and F. I. A. A. Informatik", 1997
- [Hec56] Hecker, D. ; Green, D. ; Smith, K. U.: Dimensional analysis of motion : X. Experimental Evaluation of a Time-Study problem. In: Journal of applied Psychology (1956), Nr. 40, S. 220
- [Hed94] Hedicke, V. ; Beimel, J. ; Kornblum, K., et al.: Kinesthetic feedback for trackballs: Conference on Work with Display Units, 1994
- [Hei01] Heinemann, H. (Hrsg.): Aus die Maus? In: eManager (2001), Dezember 2001, S. 18 – 22
- [Hei90] Heineken, E.: Aufnahme und Verarbeitung von Information : Wahrnehmungspsychologische Grundlagen. Ergonomische Studien. Duisburg : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1990
- [Hei94] Heineken, E. ; Kugler, J.: Psychomotorische Grundlagen der Ergonomie: Ergonomische Studien. Ergonomische Studien. Duisburg : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1994
- [Hel78a] Helbig, K. ; Jürgens, H.W. ; Reelfs, H., K.: Augen-Kopf-Körper Interaktion in der Vertikalebene am Beispiel des Mensch-Maschine-Systems. Ergonomische Studien. Kiel : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1978
- [Hel78b] Helbig, K. ; Jürgens, H.W. ; Reelfs, H.: Seitwärtswendungen der Augen und des Kopfes im Mensch-Maschine-System. Ergonomische Studien. Kiel : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1978
- [Hel78c] Helbig, K. ; Jürgens, H.W. ; Reelfs, H.: Untersuchung zur Festlegung optimaler Blick-Körperachsen. Ergonomische Studien. Kiel : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1978



- [Hel97] Helander, M.G. ; Landauer, T.K. ; Prabhu, P.V.: Handbook of Human-Computer Interaction. Aufl. 2. Amsterdam : Elsevier Science B.V., 1997
- [Her94] Herczeg, M.: Software-Ergonomie: Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation. Aufl. 1. Bonn : Addison-Wesley, 1994
- [Heu87] Heuer, H. ; Kleinbeck, U. ; Schmidt, K.-H.: Motor behaviour: Programming, control and acquisition. New York : Springer, 1987
- [Hic52] Hick, W. E. On the rate of gain of information. In: Quarterly Journal of Experimental Psychology (1952), Nr. 4, S. 11-26. Reprinted in: Holmes, B. (Hrsg.): Psychologists take the guess out of systems design, Globe and Mail (1990, March 6), S. C13
- [Hof96] Hofmann, R.: Microsoft Windows zieht in die Industrieautomation ein: Honeywell: US-Automatisierungshersteller integriert mit dem PC-Betriebssystem Windows NT die Daten der Prozeßebene in die Unternehmens-EDV. In: VDI-Nachrichten (1996), Nr. 27, S. 12
- [Hoh94] Hohwieler, E. ; Weiß, V. ; Spur, G. (Hrsg.): Handlungsschritte für die Dreh- und Fräsbearbeitung und mögliche Funktionen zur Unterstützung der Bearbeitung. In: Neue handlungsorientierte und gruppenfähige Maschinen- und Steuerungskonzepte (Endbericht zum Projekt „Aufbereitung handlungsorientierter und gruppenfähiger Maschinen- und Steuerungskonzepte“), S. 49 – 58. 1. Aufl. Berlin : Fraunhofer-IRB, 1994
- [Hor99] Horrocks, I.: Constructing the user interface with standards. Harlow, Essex, UK : Addison Wesley, 1999
- [Hoy90] Hoyos, C. ; Zimolong, B.: Ingenieurpsychologie. Bd. 1. Göttingen: Verlag für Psychologie, 1990
- [Hui56] Huiskamp, J. ; Smader, R. C. Smith, K. U.: Dimensional analysis of motion : III. Complexity of movement pattern. In: Journal of applied Psychology (1952), Nr. 40, S. 181
- [Hüm97] HÜMNOS (Hrsg.): Style Guide Werkzeugmaschinen : Ein Handbuch zur Gestaltung von Benutzungsoberflächen für Werkzeugmaschinen. Stuttgart : Fraunhofer IRB, 1997
- [Jag80a] Jagacinski, R. et. al.: Fitts' law and the microstructure of rapid discrete movements. In: Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance (1980), Nr. 6, S. 309 - 320
- [Jag80b] Jagacinski, R. J. ; Repperger, D. W. ; Ward, S. L.: A test of Fitts' law with moving targets. In: Human Factors (1980), Nr. 22, S. 225 - 233
- [Jag85] Jagacinski, R. J. ; Monk, D. L.: Fitts' law in two dimensions with hand and head movements. In: Journal of Motor Behavior (1985), Nr. 17, S. 77 - 95
- [Jag89] Jagacinski, R. J.: Target acquisition: Performance measures, process models, and design implications. In: G. R. McMillan (Hrsg.): Applications on human performance models to system design. New York : Plenum, 1989, S. 135-149
- [Jel90] Jellinek, H.D. ; Card, S.K.: Powermice and user performance. (Proceeding of CHI '90 Conference on Human Factors in Computing Systems. New York : ACM, 1990
- [Joh75] Johannsen, G., Boller, H.E., Donges, E.: Lineare Modelle für den Menschen als Regler. Meckenheim : Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Bericht Nr.24, 1975
- [Joh89] Johnson, J. et. al.: The Xerox Star: A retrospective. In: Computer (1989), Nr. 22(9), S. 11-29
- [Joh93] Johannsen, G.: Mensch-Maschine-Systeme. Aufl. 1. Heidelberg : Springer, 1993

- [Joh94] Johnsgard, T.: Fitts' law with a virtual reality glove and a mouse: Effects of gain.: Graphics Interface '94. Toronto : Canadian Information Processing Society, 1994
- [Joh96] John, B. E. ; Kieras, D. E.: Using GOMS for user interface design and evaluation: Which technique? In: ACM Transactions on Computer Human Interaction (1996), Nr. 3(4), S. 287-319
- [Jür79] Jürgens, H. W. ; Dirlwanger, A.: Entwurf eines ergonomisch-anthropometrischen Bewertungssystemes für Bewegungsräume. Ergonomische Studien. Kiel : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1979
- [Jür81] Jürgens, H. W.: Körperteilgewichte des lebenden Menschen. Ergonomische Studien. Kiel : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1981
- [Kah91] Kahle, W.: Nervensysteme und Sinnesorgane: Taschenatlas der Anatomie. Bd. 3. Stuttgart : Georg Thieme, 1991
- [Kan88] Kantowitz, B. H. ; Eivers, G. C.: Fitts' law with an isometric controller: Effects of order of control and control-display gain. In: Journal of Motor Behavior (1988), Nr. 20, S. 53 - 66
- [Kar99] Karwowski, W. ; Marras, W.S.: The Occupational Ergonomics Handbook. Aufl. 1. London / New York : CRC Press, 1999
- [Kat69] Katz, D.: Der Aufbau der Tastwelt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. Leipzig : Johann Ambrosius Barth, 1969
- [Kee68a] Keele, S. W. ; Posner, M. I.: Processing of visual feedback in rapid movements. In: Journal of Experimental Psychology (1968), Nr. 77, S. 155 - 158
- [Kee68b] Keele, S. W.: Movement control in skilled motor performance. In: Psychological Bulletin (1968),Nr. 70, S. 387 - 403
- [Kee73] Keele, S. W.: Attention and human performance. Goodyear, CA. : Pacific Palisades, 1973
- [Ker73a] Kerr, R.: Movement control and maturation in elementary-grade children. In: Perceptual and Motor Skills (1973), Nr. 41, S. 151 - 154
- [Ker73b] Kerr, R.: Movement time in an underwater environment. In: Journal of Motor Behavior (1973), Nr. 5, S. 175 - 178
- [Ker75] Kerr, B.: Processing demands during mental operations. In: Journal of Motor Behavior (1975), Nr. 7, S. 15 - 25
- [Ker77] Kerr, B. A. ; Langolf, G. D.: Speed of aiming movements. In: Quarterly Journal of Experimental Psychology (1977), Nr. 29, S. 475 - 481
- [Ker78] Kerr, R.: Diving, adaptation, and Fitts' law. In: Journal of Motor Behavior (1978), Nr. 10, S. 255 - 260
- [Kie85] Kieras, D. ; Polsen, P.C.: An Approach to the Formal Analysis of User Complexity. In: International Journal on Man-Machine Studies (1985), Nr. 22, S. 365-394
- [Kie97] Kieras, D. E. ; Meyer, D. E.: An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction. Human-Comput. Interaction (1997). Nr. 12, 4, S. 391 - 438
- [Kit94] Kittler, F.A. Eine Kurzgeschichte des Scheinwerfers. In: Wetzel, M. ; Wolf, H. (Hrsg.): Der Entzug der Bilder : visuelle Realitäten. München : Fink, 1994
- [Kle98] Kleppmann, W.: Versuchsplanung: Produkte und Prozesse optimieren. Aufl. 1. München : Hanser, 1998
- [Kli00] Klinke, R. ; Silbernagl, S. (Hrsg.): Lehrbuch der Physiologie. Aufl. 2. Stuttgart : Georg Thieme, 2000
- [Kra95] Krauth, J.: Testkonstruktion und Testtheorie. Aufl. 1. Weinheim : Beltz, 1995

- [Kur98] Kurze, M.: Methoden zur computergenerierten Darstellung räumlicher Gegenstände für Blinde auf taktilen Medien. Berlin, Freie Universität, M. u. Informatik, 1998. Berlin : Freie Universität Berlin, 1998
- [Kva76] Kvalseth, T. O.: Distribution of movement time in a target-aiming task. In: *Perceptual and Motor Skills* (1976). Nr. 43, S. 507 - 513
- [Kva77] Kvalseth, T. O.: A generalized model of temporal motor control subject to movement constraints. In: *Ergonomics* (1977), Nr. 20, S. 41 - 50
- [Kva81a] Kvalseth, T. O.: An experimental paradigm for analysing human information processing during motor control tasks (Proceedings of the 25th annual meeting of the Human Factors Society, S. 581-585), 1981
- [Kva81b] Kvalseth, T. O.: Information capacity of two-dimensional human motor responses. In: *Ergonomics* (1981), Nr. 24, S. 573 - 575
- [Lan00] Lange, W.: Kleine ergonomische Datensammlung: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Aufl. 7. Köln : TÜV, 2000
- [Lan75] Langolf, G. D. ; Hancock, W. M.: Human performance times in microscope work. In: *AIIE Transactions* (1975), Nr. 7(2), S. 110 - 117
- [Lan76] Langolf, G. D. ; Chaffin, D. B. ; Foulke, J. A.: An investigation of Fitts' law using a wide range movement amplitudes: *Journal of Motor Behavior* (1976), Nr. 8, S. 113-128
- [Lan94] Langmann, R.: Graphische Benutzerschnittstellen: Einführung und Praxis der Mensch-Prozess-Kommunikation. Aufl. 1. Düsseldorf: VDI, 1994
- [Lie94] Lienert, G. A. ; Raatz, U.: Testaufbau und Testanalyse. Aufl. 5. Weinheim : Beltz, 1994
- [Luc83] Luczak, H.: Koordination der Bewegungen. In: W. Rohmert und J. Rutenfranz (Hrsg.): *Praktische Arbeitsphysiologie*. 3. Aufl. Stuttgart, New York : Georg Thieme, 1983
- [Luc98] Luczak, H.: *Arbeitswissenschaft*. Aufl. 2. Heidelberg: Springer, 1998
- [Maa96] Maar, C. ; Pöppel, E. ; Christaller, T.: Die Technik auf dem Weg zur Seele: Forschungen an der Schnittstelle Gehirn/Computer. Aufl. 1. Reinbeck : Rowohlt, 1996
- [Mac89] MacKenzie, I. S.: A note on the information-theoretic basis for Fitts' law. In: *Journal of Motor Behavior* (1989), Nr. 21, S. 323-330
- [Mac91] MacKenzie, I.Scott ; Sellen, Abigail ; Buxton, William: A Comparison of Input Devices in Elemental Pointing and Dragging tasks In: Robertson, S.P. ; Olsen, G. M. ; Olsen, J.S. (Hrsg.): *Reaching trough technology - CHI'91 conference proceedings*. S. 161-166 *Human Factors in Computing Systems*. New York : ACM Press, 1991
- [Mac91a] MacKenzie, I. S.: Fitts Law as a Performance model in Human-Computer Interaction. Ph.D Dissertation. Toronto, Ontario, Canada : University of Toronto, 1991. Link: <http://www.yorku.ca/faculty/academic/mack/phd.html>, (1998-03-17)
- [Mac91b] MacKenzie, I. S. ; Sellen, A. ;Buxton, W.: A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks. (Proceedings of the CHI '91 Conference on Human Factors in Computing Systems, S. 161-166). New York : ACM, 1991
- [Mac92a] MacKenzie, I. S.: Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. In: *Human-Computer Interaction* (1992), Nr. 7, S. 91-139
- [Mac92b] MacKenzie, I. S.: Movement time prediction in human-computer interfaces. (Proceedings of Graphics Interface '92, S. 140-150). Toronto : CIPS, 1992
- [Mac92c] MacKenzie, I. S. ; Buxton, W.: Extending Fitts' law to two dimensional tasks. (Proceedings of the CHI '92 Conference on Human Factors in Computing Systems). New York : ACM, 1992

- [Mac94] MacKenzie, I. S. ; Buxton, W.: Prediction of pointing and dragging times in graphical user interfaces. In: Interaction with Computers (1994), Nr. 6, S. 213 - 227
- [Man92] Mangold, H.: Sprachliche Mensch-Maschine-Kommunikation. München und Wien : R. Oldenbourg, 1992
- [Mar95] Marcus, A. ; Smilovich, N. ; Thompson, L.: The Cross - GUI Handbook: For Multiplatform User Interface Design: Addison-Wesley, 1995
- [Mas54] Maslow, A. H.: Motivation and Personality. New York : Harper and Row, 1954
- [Mat91] Matlin, M. W. ; Foley, H. J.: Sensation and Perception : The Skin Senses (Chapter 12). Needham Heights : Allyn and Bacon, 1991
- [Mau94] Maurer, I.: Repetitive strain injury : (RSI) ; ein Überblick. 1. Aufl.. Darmstadt : Dt. Inst. für RSI- und Arbeitsforschung, 1994
- [Met01] La Mettrie, J. O.: Der Mensch eine Maschine. Stuttgart : Reclam, 2001
- [Mey88] Meyer, D. E. et. al.: Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. In: Psychological Review (1988), Nr. 95, S. 340-370
- [Mey90] Meyer, D. E. et. al.: Speed-accuracy tradeoffs in aimed movements: Toward a theory of rapid voluntary action. In: M. Jeannerod (Hrsg.): Attention and performance XIII, S. 173-226. Hillsdale, NJ : Erlbaum, 1990
- [Mey97] Meyers Lexikon in drei Bänden. Mannheim : Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 1997
- [Mic95] Microsoft Corporation (Hrsg.): Die Windows-Oberfläche: Leitfaden zur Softwaregestaltung : Für Windows 95 und Windows NT. Unterschleißheim : Microsoft Press Deutschland, 1995
- [Mic99] Microsoft® Encarta® 99 Enzyklopädie. Microsoft Corporation, 1999
- [Mit91] Mital, A.: Hand tools: injuries, illness, design and usage: Workspace, Environment and Tool Design, 1991
- [Mon99] Monka, M. ; Voß, W.: Statistik am PC: Lösungen mit Excel. Aufl. 2. München : Carl Hanser, 1999
- [Mur71] Murrell, K.F.H.: Ergonomie : Grundlagen und Praxis der Gestaltung optimaler Arbeitsverhältnisse. Aufl. 2. Düsseldorf / Wien : Econ, 1971
- [Nit73] Nitsch, J.: Industrielle Beanspruchung als psychologisches Problem. In: Rehabilitation (1973), Nr. 12, S. 68
- [Nix01] Nixdorf-MuseumsForum (Hrsg.): Computer.Gehirn: Was kann der Mensch? Was können Computer? Paderborn : Schöningh, 2001
- [Nor89] Norman, D.: Dinge des Alltags: Gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände. Frankfurt : Campus, 1989
- [Oel01] Oel, P. ; Schmidt, P. ; Schmitt, A.: Time prediction of Mouse-based Cursor Movements (Proceedings of Joint AFIHM-BCS Conference on Human-Computer Interaction IHM-HCI '2001 Sept. 10 - 14, 2001). Toulouse : Cépaduès-Éditions, 2001
- [Oes01] Oestereich, B.: Die UML-Kurzreferenz für die Praxis : Kurz, bündig, balastfrei. München : Oldenbourg, 2001
- [Oor00] Oortmann, H.: Das Bediensystem von morgen - eine Umfrage. In: Computer&Automation (2000), Nr. 6, S. 40 ff
- [Pae90] Paetau, M.: Mensch-Maschine-Kommunikation: Software, Gestaltungspotentiale, Sozialverträglichkeit. Frankfurt/Main : Campus, 1990

- [Pal95] Palmer D. H. ; Hanrahan L. P.. Social and economic costs of carpal tunnel surgery. In: American Academy of Orthopaedic Surgeons (Hrsg.): Instructional Course Lectures of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Vol. 44, S. 167—172. St. Louis : CV Mosby, 1995
- [Pla99] Platzer, W.: Bewegungsapparat: Taschenatlas der Anatomie. Bd. 1. Aufl. 7. Stuttgart : Georg Thieme, 1999
- [Ras93] Raskin, J.: Down with GUIs. Wired (1993), December 1993, S. 122
- [Ras00] Raskin, J.: The Human Interface: New Directions for Designing Interactive Systems. Aufl. 1.: Addison-Wesley, 2000
- [Ras01] Raskin, J.: Das intelligente Interface: Neue Ansätze für die Entwicklung interaktiver Benutzerschnittstellen. München: Addison-Wesley, 2001
- [Ros98] Rosenberg, R.: Computing without mice and keyboards: Text and graphic input devices for mobile computing. University of London, U. C. L. Department of Computer Science, 1998. London : University of London, 1998
- [Ros98a] Rose, H. et. al.: Nutzeranforderungen für die Arbeit mit Steuerungssystemen. In: Trendwende in der Steuerungstechnik (VDW-Forschungsberichte), S. 59 – 84. Frankfurt . VDW, 1998
- [Ros98b] Rosenberg, R.: Computing without Mice and Keyboards : Text and Graphic Input Devices for Mobile Computing. Ph.D. Dissertation. London : Dept. of Computer Science, University College, 1998, Link: <http://www.obscure.org/rosenberg/>, (1999-12-02)
- [Ros99] Rose, H. et. al.: Funktionsbedarf nutzergerechter Interaktionssysteme. In: Rose, H. ; Schulze, H. (Hrsg.): Innovation durch Kooperation. Frankfurt : Campus, 1999
- [Rub52] Rubin, G. ; Treba, P. v. ; Smith, K. U.: Dimensional analysis of motion : XI. Comparison of visual and non-visual control of component movements. In: Journal of applied Psychology (1956), Nr. 36, S. 272
- [Rüh80] Rühmann, H. ; Schmidtke, H.: Handkräfte an Stellteilen für Zentralverschlüsse. Ergonomische Studien. München : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1980
- [Rüh83] Rühmann, H. ; Nguyen, V.-L. ; Schmidtke, H.: Untersuchung isometrischer Stellungskräfte an Handrädern von Schutztüren und Lukendeckeln. Ergonomische Studien. München : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1983
- [Rüh89] Rühmann, H. ; Schmidtke, H.: Isometrische Maximalkräfte von Männern und Frauen an Stellteilen und Betriebsmitteln. Ergonomische Studien. München : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1989
- [Rüh92] Rühmann, H. ; Schmidtke, H.: Körperkräfte des Menschen: Perzentilierung isometrischer Maximalkräfte sowie Ausdauer und Beanspruchung bei konzentrischer und exzentrischer Muskelarbeit. Ergonomische Studien. München : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1992
- [Sac01] Sacks, O.: Der Mann, der seine Frau mit einem Hut verwechselte. Aufl. 18. Reinbek : Rowohlt, 2001
- [Sac93] Sachs, L.: Statistische Methoden: Planung und Auswertung. Aufl. 7. Heidelberg : Springer, 1993
- [Sac99] Sachs, L.: Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden. Aufl. 9. Heidelberg : Springer, 1999
- [Sch00] Schmidt, R. F. ; Thews, G. ; Lang, F.: Physiologie des Menschen. Aufl. 28. Berlin : Springer, 2000
- [Sch60] Schmidtke, H. ; Stier, F.: Der Aufbau komplexer Bewegungsabläufe aus Elementarbewegungen. Forschungsbericht Nr. 822 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln und Opladen, 1960

- [Sch61] Schmidtke, H. (Hrsg.): Untersuchungen über die Abhängigkeit der Bewegungsgenauigkeit im Raum von der Körperstellung. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln und Opladen, 1961
- [Sch65] Schmidtke, H.: Die Ermüdung, Symptome-Theorien-Messversuche. Bern, Stuttgart : Hans Huber, 1965
- [Sch70] Schneider, W., Shiffrin, R.M.: Controlled and automatic information processing: I. Detection search and attention. In: Psychological Review (1977), Nr. 84, S. 1-66
- [Sch73] Schmidtke, H.: Ergonomie 1: Grundlagen menschlicher Arbeit und Leistung. München : Carl Hanser, 1973
- [Sch74] Schmidtke, H.: Ergonomie 2: Gestaltung von Arbeitsplatz und Arbeitsumwelt. München : Carl Hanser, 1974
- [Sch75a] Schmidt, R.: A schema theory of discrete motor skill learning: Psychological Review (1975), Nr. 82, S. 225-260
- [Sch75b] Schmidt, R.: Motor skills. New York : Harper & Row, 1975
- [Sch78] Schmidt, R. A. ; Zelaznik, H. N. ; Frank, J. S.: Sources of inaccuracy in rapid movement. In: G. E. Stelmach (Hrsg.): Information processing in motor control and learning, S. 183-203. New York : Academic Press, 1978
- [Sch79] Schmidt, R. A. et. al.: Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. In: Psychological Review (1979), Nr. 86, S. 415-451
- [Sch85a] Schmidt, R. F.: Grundriß der Sinnesphysiologie. Aufl. 5. Heidelberg: Springer, 1985
- [Sch85b] Schmidt, R. A. ; Sherwood, D. E. ; Zelaznik, H. N., et al.: Speed-accuracy trade-offs in motor behavior: Theories of impulse variability: Motor behavior: Programming, control, and acquisition. Berlin : Springer, 1985
- [Sch87] Schmidt, R. F.: Grundriß der Neurophysiologie. Aufl. 6. Heidelberg : Springer, 1987
- [Sch88a] Schmidtke, H.: Untersuchung motorischer Koordinationsleistungen des Menschen. Ergonomische Studien. München : Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, 1983
- [Sch88b] Schmidt, R. A.: Motor control and learning: A behavioral emphasis (2nd. Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 1988
- [Sch89] Schmidtke, H. ; Jastrzebska-Fraczek, I. ; Rühmann, H.: Ergonomische Prüfung von Technischen Komponenten, Umweltfaktoren und Arbeitsaufgaben: Daten und Methoden. München und Wien : Hanser, 1989
- [Sch90] Schmidt, F. ; Thews, G.: Physiologie des Menschen. Aufl. 24. Berlin : Springer, 1990
- [Sch92] Schlicksupp, H.: Innovation, Kreativität und Ideenfindung. Aufl. 4. Würzburg : Vogel, 1992
- [Sch93] Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. Aufl. 3. München : Hanser, 1993
- [Sch97] Schnabel, U. ; Sentker, A.: Wie kommt die Welt in den Kopf? Reise durch die Werkstätten der Bewusstseinsforscher. Reinbek : Rowohlt, 1997, S. 124 – 125
- [Sch98] Schmidt, R.-F.: Neuro- und Sinnesphysiologie. Aufl. 3. Berlin : Springer, 1998
- [See91] Seel, N. M.: Weltwissen und mentale Modelle. Göttingen : Hogrefe, 1991
- [Sha49] Shannon, C. E. ; Weaver, W.: The mathematical theory of communication. Urbana, IL : University of Illinois Press, 1949
- [Shn02] Shneiderman, B.: Designing the User Interface : Effective Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Aufl. 1. Reading, MA : MITP, 2002

- [Shn98] Shneiderman, B.: Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. Aufl. 3. Reading, MA : Addison-Wesley, 1998
- [Sim55] Simon, J. R. ; Smader, R. C.: Dimensional analysis of motion : VIII. The role of visual discrimination in motion cycles. In: Journal of applied Psychology (1952), Nr. 39, S. 5
- [Sla49] Slater-Hammel, A. T. ; Brown, J. S.: The effects of speed-up instructions upon the performance of discrete movements in the horizontal plane. In: Office Nav. Res. Rep. 57-2-3, 1949
- [Sma53] Smader, R. C. ; Smith, K. U.: Dimensional analysis of motion : VI. The component movements of assembly motion. In: Journal of applied Psychology (1953), Nr. 37, S. 308
- [Sor94] Sorgatz, H. (Hrsg.): Prävention von Bewegungsschmerzen bei der Bildschirmarbeit : Bericht zu der Fachtagung am 1.10.1993 in Darmstadt. Darmstadt : Techn. Hochschule , 1994
- [Spa76] Spada, H., K.: Modelle des Denkens und Lernens: Ihre Theorie, empirische Untersuchung und Anwendung in der Unterrichtsforschung. Bern : Hans Huber, 1976
- [Spa90] Spada, H., K.: Lehrbuch allgemeine Psychologie. Bern : Hans Huber, 1990
- [Spr87] Sprung, L. ; Sprung, H.: Grundlagen der Methodologie und Methodik der Psychologie, Leipzig : J.A. Barth, 1987
- [Sta96] Stary, C.: Interaktive Systeme: Software-Entwicklung und Software-Ergonomie. Aufl. 2. Braunschweig : Vieweg, 1996
- [Sti59] Stier, F.: Die Geschwindigkeit von Armbewegungen unter besonderer Berücksichtigung von Einlegearbeiten an kleinen Pressen. Dissertation. TH Hannover, 1952
- [Sto00] Stork, A.: Effiziente 3D-Interaktions- und Visualisierungstechniken für benutzerzentrierte Modellierungssysteme. Darmstadt, Technische Universität, Informatik, 2000. Darmstadt : Technische Universität Darmstadt, 2000
- [Tho57] Thompson, G. R. et al.: The Signal Corps: The Test. Washington : Dept of the United States Army - Center for Military History, 1957
- [Tif99] <http://www.tifaq.com/>: The Typing Injury FAQ (frequently asked questions) Provided by the CTD Resource Network, Inc. : A California nonprofit corporation providing information and assistance to the RSI community. 99-02-03
- [Tim00] Timpe, K. P. ; Jürgensohn, T. ; Kolrep, H.: Mensch - Maschine - Systemtechnik: Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation. Aufl. 1.: Symposion Publishing GmbH, 2000
- [Tou96] Toutenburg, H. ; Gössel, R.: Versuchsplanung in der Industrie : Moderne Methoden und Softwarelösungen. München : Prentice Hall, 1996
- [Tre52] Treba, P. v. ; Smith, K. U.: Dimensional analysis of motion : IV. Transfer effects and direction of movement. In: Journal of applied Psychology (1952), Nr. 36, S. 348
- [Val84] Vallbo, A. B. ; Johansson, R. S.: Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation. In: Human Neurobiology, Bd. 2 (1984), Nr. 2, S. 3 - 14
- [Vol95] Vollmer, T.: Belastungen und Beanspruchungen an Arbeitsplätzen mit CNC-Werkzeugmaschinen : Ziele, Methoden und Ergebnisse einer Falluntersuchung, Kassel : Universität Gesamthochschule, Institut für Arbeitswissenschaft, Dissertation, 1995
- [Völ99] Völz, H.: Das Mensch-Technik-System: Physiologische, physikalische und technische Grundlagen-Software und Hardware. Renningen-Malmsheim : Expert, Linde, 1999

- [Wah00] Wahl, M.: Systematische Entwicklung nutzergerechter Maschinenbedienoberflächen : Ein Software-Werkzeug mit integrierten Ergonomie- und Gestaltungsregeln. Fortschritt-Berichte pak Bd. 3. Kaiserslautern : Universität Kaiserslautern, 2000
- [Wan93] Wandmacher, J.: Software-Ergonomie. Berlin: de Gruyter, 1993
- [War87] Ware, C. ; Mikaelian, H. H.: An evaluation of an eye tracker as a device for computer input (Proceedings of the CHI+GI '87 Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface, S. 183-188). New York : ACM, 1987
- [War89] Ware, C. ; Baxter, C.: Bat brushes : On the uses of six position and orientation parameters in a paint program (Proceedings of the CHI '90 Conference on Human Factors in Computing Systems, S. 155-166). New York : ACM, 1989
- [Weh99] Wehr, M. ; Weinmann, M.: Die Hand: Werkzeug des Geistes. Aufl. 1. Heidelberg : Spektrum, 1999
- [Wei97] Weinschenk, S. ; Jamar, P. ; Yeo, S.C.: GUI design essentials for Windows 95, Windows 3.1, World Wide Web. Aufl. 1. New York : Wiley & Sons, 1997
- [Wel60] Welford, A. T.: The measurement of sensory-motor performance: Survey and reappraisal of twelve years' progress. In: Ergonomics (1960) Nr. 3, S. 189-230
- [Wel61] Welford, A. T.: Age changes in the times taken by choice, discrimination and the control of movement: Gerontologia (1961), Nr. 5, S. 129-145
- [Wel68] Welford, A. T.: Fundamentals of skill. London : Methuen, 1968
- [Wel69] Welford, A. T. ; Norris, A. H. ; Shock, N. W. Speed and accuracy of movement and their changes with age. In: Acta Psychologica (1969), Nr. 30, S. 3-15
- [Wel76] Welford, A. T.: Skilled performance: Perceptual and Motor Skills. Glenview, IL : Scott, Foresman and Co, 1976
- [Wel81] Welford, A. T.: Fertigkeiten und Leistung. Aufl. 1. Bern : Hans Huber, 1981
- [Wel85] Welford, A. T.: Ageing and human skill. London: Oxford University Press, 1985
- [Wes98] Wessel, I.: GUI-Design: Richtlinien zur Gestaltung ergonomischer Windows-Applikationen. Aufl. 1. München / Wien : Hanser, 1998
- [Woo99] Woodworth, R. S.: The accuracy of voluntary movements. In: Psychological Review [monograph supplement] (1899), Nr. 3 (2, Whole No. 13)
- [Zei94] Zeidler, A. ; Zellner, R.: Software-Ergonomie: Techniken der Dialoggestaltung. Aufl. 2. München: Oldenbourg, 1994
- [Zel86] Zelaznik, H. N. ; Schmidt, R. A. ; Gielen, S. C. A. M.: Kinematic properties of rapid aimed hand movements: Journal of Motor Behavior (1986), Nr. 18, S. 353-373
- [Zha95] Zhai, S.: Human Performance in SIX Degree of Freedom Input Control. PH.D. Dissertation. Toronto, Ontario, Canada : University of Toronto, 1995
- [Zil95] Zilahi-Szabó: Kleines Lexikon der Informatik. München : Oldenbourg, 1995
- [Zim92] Zimbardo, P., LaPresti.: Psychologie. Aufl. 5. Heidelberg : Springer, 1988
- [Züh98] Zühlke, D. ; Eissler, R.: Entwicklungstrends bei Bediensystemen in der Produktionstechnik : Eine Umfrage und ihre Ergebnisse. Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung Universität Kaiserslautern, 1998
- [Züh99a] Zühlke, D. ; Krauß, L.: Menschengerichte Gestaltung von Maschinen-/Prozessbediensystemen auf WINDOWS-Basis. Aachen : Shaker, 1999
- [Züh99b] Zühlke, D. ; Wahl, M.: Hardware – Software – Useware. In: Elektronik (1998), Nr. 23, S. 54-62



- [Züh02a] Zühlke, D. (Tagungsleiter): Useware : Mensch-Maschine-Kommunikation-Design. Aufl. 1. VDI-Berichte 1678 (Tagungsband der Useware-Tagung 2002 in Darmstadt, 11. – 12.06.2002). Düsseldorf : VDI, 2002
- [Züh02b] Zühlke, D. ; Mukasa, K.: Results of the IFAC TC HMS Delphi Survey on Future HMS-Trends. Universität Kaiserslautern : Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, 2002  
Link: <http://www.uni-kl.de/pak/HMI/> (2002-10-19)
- [Zwi98] Zwiesler, R.: Virtuelle Realität und die Rolle von Haptik. Regensburg, Universität Regensburg : L. f. Psychologie. Regensburg, 1998

## 9.2 Normen und Richtlinien

- [DIN2137-1] Norm DIN 2137 Teil 1 07.95: Büro und Datentechnik: Tastaturen : Deutsche Tastatur für Schreibmaschinen : Tastenanordnung und Belegung mit Schriftzeichen
- [DIN213-10] Norm DIN 2137 Teil 10 07.95: Büro und Datentechnik: Tastaturen : Deutsche Tastatur für die Daten- und Textverarbeitung sowie für Schreibmaschinen : Anordnung der Tastenpositionen und Bemaßung
- [DIN2137-11] Norm DIN 2137 Teil 11 07.95: Büro und Datentechnik: Tastaturen : Deutsche Tastatur für die Daten- und Textverarbeitung sowie für Schreibmaschinen : Grundsätze für die Belegung und deren Kennzeichnung
- [DIN2137-12] Norm DIN 2137 Teil 12 04.95: Büro und Datentechnik: Alphanumerische Tastaturen : Deutsche Tastatur für die Daten- und Textverarbeitung : Tastenanordnung und -belegung für tragbare Rechner
- [DIN2137-13] Norm DIN 2137 Teil 13 04.95: Büro und Datentechnik: Alphanumerische Tastaturen : Deutsche Tastatur für die Daten- und Textverarbeitung : Tastenanordnung und -belegung für geteilte und abgewinkelte Tastaturen
- [DIN2137-2] Norm DIN 2137 Teil 2 07.95: Büro und Datentechnik: Tastaturen : Deutsche Tastatur für die Daten- und Textverarbeitung : Tastenanordnung und Belegung mit Schriftzeichen
- [DIN2137-6] Norm DIN 2137 Teil 6 07.95: Büro und Datentechnik: Tastaturen : Deutsche Tastatur für die Daten- und Textverarbeitung sowie für Schreibmaschinen : Tastenanordnung und Belegung mit Funktionen
- [DIN2145] Norm DIN 2145 10.77: Büro und Datentechnik - Funktionstasten in Tastaturen: Grundsätze für die Anordnung und Zuordnung
- [DIN2148] Norm DIN 2148 04.82: Büro und Datentechnik: Tastaturen : Begriffe und Erläuterungen
- [DIN32830-20] Norm DIN 32830 Teil 20 04.95: Grundregeln für die Gestaltung von graphischen Symbolen: Graphische Symbole für die Anwendung in der technischen Produktdokumentation
- [DIN33400] Norm DIN 33400 10.83: Gestaltung von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen: Begriffe und allgemeine Leitsätze
- [DIN33401] Norm DIN 33401 07.77: Stellteile: Begriffe, Eignung, Gestaltungshinweise
- [DIN33402-1] Norm DIN 33402 Teil 1 01.78: Körpermaße des Menschen: Begriffe, Meßverfahren
- [DIN33402-2] Norm DIN 33402 Teil 2 10.86: Körpermaße des Menschen: Werte
- [DIN33402-3] Norm DIN 33402 Teil 3 10.84: Körpermaße des Menschen: Bewegungsraum bei verschiedenen Grundstellungen und Bewegungen
- [DIN33402-4] Norm DIN 33402 Teil 4 10.86: Körpermaße des Menschen: Grundlagen für die Bemessung von Durchgängen, Durchlässen und Zugängen

- [DIN33403-1] Norm DIN 33403 Teil 1 04.84: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung: Grundlagen zur Klimaermittlung
- [DIN33403-2] Norm DIN 33403 Teil 2 04.84: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung: Einfluß des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen
- [DIN33403-3] Norm DIN 33403 Teil 3 06.88: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung: Beurteilung des Klimas im Erträglichkeitsbereich
- [DIN33404-1] Norm DIN 33404 Teil 1 07.77: Akustische Gefahrensignale: Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Gestaltungshinweise
- [DIN33411-1] Norm DIN 33411 Teil 1 09.82: Körperkräfte des Menschen: Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen
- [DIN33411-2] Norm DIN 33411 Teil 2 06.84: Körperkräfte des Menschen: Zulässige Grenzwerte von Aktionskräften der Arme
- [DIN33411-3] Norm DIN 33411 Teil 3 12.86: Körperkräfte des Menschen: Maximal erreichbare statische Aktionsmomente männlicher Arbeitspersonen an Handrädern
- [DIN33411-4] Norm DIN 33411 Teil 4 05.87: Körperkräfte des Menschen: Maximal statische Aktionskräfte (Isodyn)
- [DIN33413-1] Norm DIN 33413 Teil 1 06.84: Ergonomische Gesichtspunkte für Anzeigeeinrichtungen: Arten, Wahrnehmungsaufgaben, Eignung
- [DIN33414-1] Norm DIN 33414 Teil 1 04.85: Ergonomische Gestaltung von Warten: Sitzarbeitsplätze : Begriffe, Grundlagen, Maße
- [DIN33414-2] Norm DIN 33414 Teil 2 09.95: Ergonomische Gestaltung von Warten: Kognitive Faktoren
- [DIN33414-3] Norm DIN 33414 Teil 3 06.95: Ergonomische Gestaltung von Warten: Gestaltungskonzept
- [DIN33414-4] Norm DIN 33414 Teil 4 10.90: Ergonomische Gestaltung von Warten: Gliederungsschema, Anordnungsprinzipien
- [DIN33856] Norm DIN 33856 04.91: Büro und Datentechnik: Bildzeichen
- [DIN40050] Norm DIN 40050 05.93: Straßenfahrzeuge; IP-Schutzarten; Schutz gegen Fremdkörper, Wasser und Berühren; Elektrische Ausrüstung
- [DIN40107-1] Norm DIN 40107 Teil 1 05.89: Büro- und Datentechnik: Bildschirmsymbole : Bürofunktionen
- [DIN55003-3] Norm DIN 55003 Teil 3 08.81: Werkzeugmaschinen: Bildzeichen : Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen
- [DIN66001] Norm DIN 66001 12.83: Informationsverarbeitung: Sinnbilder und ihre Anwendung
- [DIN66230] Norm DIN 66230 01.81: Informationsverarbeitung: Programmdokumentation
- [DIN66231] Norm DIN 66231 01.81: Informationsverarbeitung: Programmentwicklungsdokumentation
- [DIN66233-1] Norm DIN 66233 Teil 1 04.83: Bildschirmarbeitsplätze: Begriffe
- [DIN66233-2] Norm DIN 66233 Teil 2 11.82: Bildschirmarbeitsplätze: Übersicht von Begriffen aus anderen Normen
- [DIN66234-1] Norm DIN 66234 Teil 1 03.80: Bildschirmarbeitsplätze: Geometrische Gestaltung der Schriftzeichen
- [DIN66234-10] Norm DIN 66234 Teil 10 05.88: Bildschirmarbeitsplätze: Mindestangaben für Bildschirmgeräte
- [DIN66234-2] Norm DIN 66234 Teil 2 05.83: Bildschirmarbeitsplätze: Wahrnehmbarkeit von Zeichen auf Bildschirmen

- [DIN66234-3] Norm DIN 66234 Teil 3 03.81: Bildschirmarbeitsplätze: Gruppierung und Formierung von Daten
- [DIN66234-5] Norm DIN 66234 Teil 5 03.81: Bildschirmarbeitsplätze: Codierung von Information : Verwendung von Graphik : Farbkombinationen
- [DIN66234-6] Norm DIN 66234 Teil 6 12.84: Bildschirmarbeitsplätze: Gestaltung des Arbeitsplatzes
- [DIN66234-7] Norm DIN 66234 Teil 7 12.84: Bildschirmarbeitsplätze: Ergonomische Gestaltung des Arbeitsraumes : Beleuchtung und Anordnung
- [DIN66234-8] Norm DIN 66234 Teil 8 02.88: Bildschirmarbeitsplätze: Grundsätze ergonomischer Dialoggestaltung
- [DIN66234-9] Norm DIN 66234 Teil 9 08.88: Bildschirmarbeitsplätze: Meßverfahren
- [DIN66272] Norm DIN 66272 10.94: Bewerten von Softwareprodukten: Qualitätsmerkmale und Leitfaden zu ihrer Verwendung
- [DIN66285] Norm DIN 66285 02.94: Software-Pakete: Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen
- [DIN6789] Norm DIN 6789 Teil 1 09.1990: Dokumentationssystematik : Aufbau technischer Produktdokumentationen
- [DIN-EN29241-2] Norm DIN EN 29241 Teil 2 06.93: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Anforderungen an die Arbeitsaufgaben; Leitsätze (ISO 9241-2:1992); Deutsche Fassung EN 29241-2:1993
- [DIN-EN29241-3] Norm DIN EN 29241 Teil 3 08.93: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Anforderungen an visuelle Anzeigen (ISO 9241-3:1992); Deutsche Fassung EN 29241-3:1993
- [DIN-EN7942-1] Norm ISO/IEC, DIN EN 7942 Teil 1 03.96: Grafisches Kernsystem : Funktionale Beschreibung
- [DIN-EN9241-1] Norm DIN EN ISO 9241 Teil 1 02.02: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Allgemeine Einführung (ISO 9241-1:1997) (enthält Änderung AMD 1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 9241-1:1997 + A1:2001
- [EN-DIN29241] Norm EN, DIN 29241 Teil 10 01.94: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Grundsätze der Dialoggestaltung
- [EN-DIN60073] Norm EN, DIN 60073 01.94: Codierung von Anzeigegeräten und Bedienteilen durch Farben und ergänzende Mittel: Deutsche Übersetzung der Internationalen Norm IEC 73
- [EN-DIN-60447] Norm EN, DIN 60447 04.94: Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMI) : Bedienungsgrundsätze
- [IEC7942-1] Norm ISO/IEC, DIN EN ISO/IEC 7942 Teil 1 96.03: Grafisches Kernsystem : Funktionale Beschreibung
- [ISO9241-1] Norm ISO 9241 Teil 1 06.97: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Allgemeine Einführung
- [ISO9241-10] Norm ISO 9241 Teil 10 05.96: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Grundsätze der Dialoggestaltung
- [ISO9241-11] Norm ISO 9241 Teil 11 03.98: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze
- [ISO9241-12] Norm ISO 9241 Teil 12 12.98: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Informationsdarstellung
- [ISO9241-13] Norm ISO 9241 Teil 13 07.98: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Benutzerführung

- [ISO9241-14] Norm ISO 9241 Teil 14 06-97: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Dialogführung mittels Menüs
- [ISO9241-15] Norm ISO 9241 Teil 15 12.97: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Dialogführung mittels Kommandosprachen
- [ISO9241-16] Norm ISO 9241 Teil 16 09.99: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Dialogführung mittels direkter Manipulation
- [ISO9241-17] Norm ISO 9241 Teil 17 08.98: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Dialogführung mittels Bildschirmformularen
- [ISO9241-2] Norm ISO 9241 Teil 2 06.02: Ergonomische Anforderungen an Bildschirmgeräte für Bürotätigkeiten (VDTs) : Leitsätze zur Aufgabegestaltung
- [ISO9241-3a] Norm ISO 9241 Teil 3 07.92: Ergonomische Anforderungen an Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten (VDTs) : Anforderungen an Bildschirmgeräte
- [ISO9241-3b] Norm ISO 9241 Teil 3 AMD 1, 12.00: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Anforderungen an visuelle Anzeigen; Änderung 1
- [ISO9241-4a] Norm ISO 9241 Teil 4 08.98: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Anforderungen an Tastaturen
- [ISO9241-4b] Norm ISO 9241 Teil 4 Technical Corrigendum 1 11.00: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 4: Keyboard requirements; Technical Corrigendum 1
- [ISO9241-5] Norm ISO 9241 Teil 5 10.98: Ergonomische Anforderungen an Bildschirmgeräte für Bürotätigkeiten : Anforderungen an die Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung
- [ISO9241-6] Norm ISO 9241 Teil 6 12.99: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Leitsätze für die Arbeitsumgebung
- [ISO9241-7] Norm ISO 9241 Teil 7 04.98: Ergonomische Anforderungen an Bildschirmgeräte für Bürotätigkeiten : Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen
- [ISO9241-8] Norm ISO 9241 Teil 8 10.97: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Anforderungen an Farbdarstellungen
- [ISO9241-9] Norm ISO 9241 Teil 9 02.00: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten : Anforderungen an Eingabemittel ausgenommen Tastaturen
- [ISO-DIN11064-3] Norm ISO, DIN EN 11064 Teil 3 06.97: Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen: Auslegung von Wartenzentralen
- [VDI/VDE3699-1] Norm VDI/VDE 3699 Blatt 1 02.01: Prozeßführung mit Bildschirmen : Begriffe
- [VDI/VDE3699-3] Norm VDI/VDE 3699 Blatt 3 11.99: Prozeßführung mit Bildschirmen : Fließbilder
- [VDI/VDE3699-4] Norm VDI/VDE 3699 Blatt 4 08.97: Prozeßführung mit Bildschirmen : Kurven
- [VDI/VDE3699-5] Norm VDI/VDE 3699 Blatt 5 02.98: Prozeßführung mit Bildschirmen : Meldungen
- [VDI/VDE3699-6] Norm VDI/VDE 3699 Blatt 6 03.02: Prozessführung mit Bildschirmen : Bedienverfahren und Bediengeräte
- [VDI/VDE3850-1] Norm VDI/VDE 3850 Blatt 1 05.00: Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen
- [VDI/VDE3850-2] Norm VDI/VDE 3850 Blatt 2 Entwurf 05.01: Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen : Interaktionsgeräte für Bildschirme
- [VDI/VDE3850-3] Norm VDI/VDE 3850 Blatt 3 Entwurf 04.02: Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen : Dialoggestaltung für Touchscreens

### 9.3 Studien- und Diplomarbeiten

- [Bec02] Becks, D. ; Rahn, M.: Ergonomische Gestaltung und Erprobung von Koordinatengebern. Studienarbeit. Kaiserslautern : Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, 2002

## 10 Glossar

**Adaption:** Die Adaption ist die Erhöhung der Reizschwelle eines Sinnesorgans bei kontinuierlicher Reizung oder bei Änderung der Reizintensität (z.B. wird im Auge bzw. der Retina die Empfindlichkeit bei Zunahme der Belichtung gemindert) [Gau72]. Da konstante mechanische Reize beim Gebrauch von Werkzeugen für den Menschen hinderlich wären, passen sich die sensorischen Systeme der Reizdauer an, sie adaptieren. Je nach Adaptionsgeschwindigkeit werden die Rezeptoren als sehr rasch, rasch oder langsamadaptierende Rezeptoren bezeichnet [Sch98].

**Afferent** (lat. „hin-, zuführend“): Dieser Begriff wird hauptsächlich bei Nervenbahnen verwendet, die von einem Sinnesorgan bzw. →*Rezeptor* zum Zentralnervensystem führen. Die Afferenz ist eine Erregung (Implus, →*Informationsfluss*), die über die afferenten Nervenfasern von der Peripherie (z.B. peripherer Rezeptor) zum Zentralnervensystem geführt wird. Die Steuerung/Regelung des Bewegungsablaufes erfolgt u.a. über Reafferenzen. Der Gegensatz ist →*efferent* [Dud97; Mey97].

**Afferenz:** →*Afferent*

**Agonist:** Muskel, der im Zusammenspiel mit anderen Muskeln und im Abgleich mit einem Gegenspieler (Antagonist) eine Funktion (z.B. Beugen, Strecken in einem Gelenk) durchführt [Pla99].

**Aktivieren** (Auslösen). Das Schaltelement wird losgelassen und die Funktion des Zielobjektes ausgelöst [VDI/VDE3850-2].

**Anatomie** (griech. „Zergliederung“): Die Lehre vom Bau der Organismen. Man unterscheidet eine Pflanzenanatomie (Phytotomie) und eine Tieranatomie (Zootomie). Ein Teil der Zootomie ist die Anatomie des Menschen (Anthropotomie) als die Lehre vom menschlichen Körper. Sie ist die Grundwissenschaft der Medizin. Durch Zergliedern und Untersuchen des Körpers wird versucht, sich Wissen von der Form, Lage und Beschaffenheit der Organe und Organsysteme zu verschaffen. Die systematische Anatomie ist die Lehre von den Knochen und Bändern, Muskeln, Gefäßen, Eingeweiden und Nerven. Die mikroskopische Anatomie (Histologie) untersucht Organe und Gewebe bis in die feinsten Zellbestandteile [Mey97; Dud97].

**Anthropometrie:** Wissenschaft von den menschlichen Körper- u. Skelettmerkmalen u. deren exakter Bestimmung [Dud97]. In der Ergonomie wird darunter die Lehre von den Maßverhältnissen des menschlichen Körpers verstanden. Zur Berücksichtigung unterschiedlicher, individueller Körpermaße wird der Begriff →*Perzentil* verwendet. Es werden die Bereiche →*Körperabschnitte*, →*Körperstellung*, →*Körperhaltung* sowie Kinematik und Kinetik unterschieden.

**Anthropotomie:** →*Anatomie*

**Auflösungsvermögen, räumlich** (Zweipunktschwelle): Als Maß für das räumliche Auflösungsvermögen der Haut für taktile Reize wird die Bestimmung der räumlichen Unterschiedsschwelle (simultane Raumschwelle oder Zweipunktschwelle) herangezogen. Dabei wird mit einem abgestumpften Stechzirkel der räumliche Abstand zwischen zwei gleichzeitigen taktilen Reizen gemessen, bei dem diese gerade noch als getrennt

wahrgenommen werden. Von sukzessiver Raumschwelle wird gesprochen, wenn die zwei taktilen Reize nacheinander erfolgen. Diese ist deutlich besser als die simultane, oft viermal so gut. Das Auflösungsvermögen der Mechanorezeption ist keine unveränderbar feste Größe. Die Raumschwellen können durch Übung, selbst innerhalb einiger Stunden, etwa halbiert werden. Dabei bleiben allerdings die →*Empfindungsschwellen* unverändert. Beim Menschen ist die Rezeptordichte der Meissner-Körperchen und der Merkel-Zellen an verschiedenen Stellen der Hand proportional zum räumlichen Auflösungsvermögen. Die Rezeptordichten der Ruffini-Körperchen und der Pacini-Körperchen zeigen dagegen keinen Zusammenhang mit dem Auflösungsvermögen des Tastsinns [Bir98 ; Sch00].

**Ausführungsform:** Unter der Ausführungsform wird die Gestaltung des Interaktionsgerätes als Gesamtsystem und die Gestaltung einzelner Elemente (z.B. Tasten, Griffflächen) des Interaktionsgeräts hinsichtlich Größe, Form und Beschaffenheit zusammengefasst.

**Axon** (griech.), Neurit: Zentraler Strang einer Nervenfasern (→*Nervenzelle*) [Mey97].

**Basalganglien:** Die Basalganglien sind eine Gruppe von Schaltstationen im Gehirn (→*Ganglion*). Sie sind mit einem äußerst komplexen Netz von Verbindungen ausgestattet. Die Kenntnis über die Bedeutung der Basalganglien ist noch sehr lückenhaft, sie scheinen aber für Motorik und hier insbesondere für den raumzeitlichen Ablauf einer Willkürbewegung verantwortlich zu sein. Die aus verschiedenen Gebieten der Großhirnrinde eintreffenden Signale werden dort sowohl direkt zum Rückenmark als auch rückkoppelnd zur Großhirnrinde weitergeleitet (→*Efferenzkopie*) [Sch98; Sch00; Pla99; Kah91].

**Benutzungsoberfläche:** Schnittstelle zwischen dem Anwender und Computer (Betriebssystem und Anwendungsprogramme). Benutzungsoberflächen sind Ergänzungen bzw. Bestandteil von Betriebssystemen oder Anwendungsprogrammen, die dazu dienen, die Bedienung verständlicher (intuitiver), einfacher und effektiver zu machen. Bekannte grafische Benutzungsoberflächen sind Windows 3x und Windows 9x. Auch für das Kommandozeilenorientierte Unix bzw. Linux wurden grafische Benutzungsoberflächen entwickelt, z.B. KDE, die auf dem X-Window-Standard beruhen. Durch die grafische Benutzungsoberfläche müssen im Regelfall keine Steuerungsbefehle gelernt werden. Die Programmsteuerung erfolgt vielmehr mit Hilfe von Computermaus, Icons und Pull-down-Menüs.

**Beobachtung:** Allgemeine Bezeichnung für die aufmerksame, planmäßige und zielgerichtete Wahrnehmung von Vorgängen an Gegenständen, Ereignissen, Verhaltensweisen von Menschen und Tieren in Abhängigkeit von bestimmten Situationen. Ziel der Beobachtung ist es, den Gegenstand des jeweiligen Interesses möglichst genau zu erfassen. Die Beobachtung ist eine grundlegende Methode der Datengewinnung und Faktensammlung. Häufig werden geeignete technische Hilfsmittel (z.B. Messgeräte) hinzugezogen. Es werden verschiedene Formen der Beobachtung unterschieden: 1. Selbst- und Fremdbeobachtung, 2. kontrollierte und unkontrollierte Beobachtung (s. Kontrolle), 3. systematische und unsystematische Beobachtung, 4. teilnehmende und nicht-teilnehmende Beobachtung, 5. eindimensionale und mehrdimensionale Beobachtung, 6. Messen, Zählen und qualitative Vergleiche, 7. experimentelle Beobachtung [Bor95].

**Bewegung:** Der Begriff Bewegung wird im weiteren Sinne verwendet, der die Haltung einschließt. Haltung und Bewegung sind keine Gegensätze, sondern koordinierte Vor-

gänge. Haltung ist Vorbereitung und Stütze der Bewegung. Handlung ist auch potentielle Bewegung, die nur in einem labilen Gleichgewicht durch gegensätzliche Muskelkräfte steht [Haa76].

**Bewegungsrichtungen:** Die anatomischen Bezeichnungen lassen sich in  $\rightarrow$ *Hauptachsen*,  $\rightarrow$ *Hauptebenen*,  $\rightarrow$ *Raumrichtungen* und Bewegungsrichtungen unterteilen [Pla99; Kah91].

Bewegungsrichtungen	Beschreibung
Abduktion	Abspreizen eines Körpergliedes nach außen (von der Körpermitte weg), beim Arm seitlich (Medianabduktion) oder nach vorne gerichtet (Frontalabduktion)
Adduktion	Heranführen eines Körpergliedes zur Körpermitte hin
Anteversion	Heben des Arms nach vorn
Außenrotation	Auswärtsdrehung
Deviation	Wegdrehen oder Wegbewegen von einem bestimmten Bezugspunkt
Dorsalflexion	Beugung des Fußes oder der Hand dem Fuß- oder Handrücken zu
Extension	Streckbewegung, Streckung (in einem Gelenk)
Flexion	Beugebewegung, Beugung (in einem Gelenk)
Innenrotation	Einwärtsdrehung
Palmarflexion	Beugung der Finger zur Handfläche hin oder Beugung der Hand nach unten
Plantarflexion	Beugung des Fußes zur Fußsohle hin
Pronation	Drehung des Unterarms zur Körpermitte
Retroversion	Heben des Arms nach hinten
Rotation	Drehbewegung des Körpers um seine Achse, Drehung, Kreiselung
Supination	Drehung des Unterarms von der Körpermitte weg
Zirkumduktion	Umführbewegung (Kreisen)

**Bezeichnungen, anatomisch:** die anatomischen Bezeichnungen lassen sich in  $\rightarrow$ *Hauptachsen*,  $\rightarrow$ *Hauptebenen*,  $\rightarrow$ *Raumrichtungen* und  $\rightarrow$ *Bewegungsrichtungen* unterteilen [Pla99 ; Kah91].

**Bit:** Die Maßeinheit der Information ist der Informationsgehalt eines Binärzeichens ( $I = \log_2(2) = \text{Id } 2 = 1 \text{ Bit}$ ). Die von einem einzelnen Binärzeichen übertragene elementare Informationsmenge wird als ein Bit bezeichnet. Der Begriff "Bit" für "Binary Digit" wurde in den vierziger Jahren von  $\rightarrow$ *SHANNON* geprägt. Er verwendete ihn 1940 in seiner Diplomarbeit (Master Thesis) am MIT (Massachusetts Institute of Technology) zum Thema "Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits". 1948 entwickelte Shannon an den Bell Laboratories seine bekannteste Arbeit "A Mathematical Theory of Communication" ("Mathematische Theorie der Nachrichtenübertragung"), welche die Grundlage der Informationstheorie bildet. (vgl.  $\rightarrow$ *Informationsfluss*,  $\rightarrow$ *Shannon-Theorem*) [Sha49].

**CCT** (Cognitive Complexity Theory): Die Kognitive Komplexitätstheorie ist eine Erweiterung des  $\rightarrow$ *GOMS-Modells* zur Modellierung von Interaktionen zwischen Benutzer und System. Sie dient der Vorhersage von Schwierigkeiten, welche Benutzer beim Erlernen und dem Gebrauch einer Benutzungsschnittstelle haben können; dabei ermöglicht CCT die Zerlegung von Aufgaben in Teile, welche erforderliches Benutzerwissen repräsentieren. Die Beschreibung der Ziele des Anwenders basiert auf einer GOMS-ähnlichen Zielhierarchie, wird aber durch sogenannten Produktionsregeln ausgedrückt. Die Produktionsregeln werden benutzt, um das Wissen von Benutzern im Detail zu repräsentieren. Sie haben die Form: „Wenn Bedingung erfüllt, dann führe Aktion aus“ [Dou97].

**Chunks:** Chunks sind individuengeprägte und oft hierarchisch gegliederte Elemente einer bekannten überschaubaren Grundmenge und weitgehend unabhängig vom tatsächli-



chen Informationsinhalt. Für die Beschreibung des menschlichen Gehirns sind Chunks besser geeignet als  $\rightarrow$ Bit. Mit Hilfe von Chunks lässt sich z.B. der Vorgang der Assoziation beschreiben (vgl.  $\rightarrow$ Model Human Processor): Im Arbeitsgedächtnis (WM, Working Memory) aktiviert ein Chunk damit zusammenhängende Chunks im Langzeitgedächtnis (LTM, Long Term Memory). Die Kapazität des WM hat ca. 3 Chunks und unter Mitwirkung des LTM können ca. 7 Chunks erreicht werden [Sch90].

**Closed-loop-Kontrolle:** Modus der Kontrolle motorischer Systeme, bei dem Feedback, Fehler-Erkennung und Fehler-Korrektur von Bedeutung sind [Hac78].

**Cursor:** Visuelle Anzeige des Fokus für alphanumerische Eingaben (z.B. quadratische oder strichförmige Marke) [ISO9241-16; VDI3850-1].

**Delphi-Studie:** Delphi ist eine intuitive schriftliche Befragungsmethode zur Ermittlung einer Gruppenmeinung, wobei die nachteiligen Einflüsse der direkten Gruppendiskussion vermieden werden. Hauptmerkmal ist die Mehrstufigkeit des Verfahrens, wodurch eine doppelte Rückmeldung zustande kommt. Es wird die Befragungsinstanz über die Antworten der Befragten informiert und die Befragten selbst gewinnen durch das wiederholte Verfahren ein Feedback. Ein weiteres Merkmal ist die Interdisziplinarität. Vorhandenes Wissen und die Erfahrungen mehrerer Fachrichtungen werden zur gleichen Zeit bezogen auf eine komplexe Problemsituation kombiniert, um einen möglichst umfassenden Prognosetrend zu erreichen.

**Dialog, modal:** Modale Dialoge fordern eine bestimmte Handlungssequenz bzw. die Eingabe bestimmter Informationen, die für den weiteren Programmablauf unverzichtbar sind. Bei applikationsmodalen Dialogen sind alle Dialogobjekte der Applikation zur Eingabe gesperrt, eine Interaktion kann nur mit dem als applikationsmodal gekennzeichneten Dialogobjekt erfolgen. Bei systemmodalen Dialogen sind alle Dialogobjekte für die Interaktion gesperrt mit Ausnahme des als systemmodal gekennzeichneten Dialogobjekts. Modale Dialoge in Windows: Modale Dialoge können nur beendet, nicht aber defokussiert werden. Zum Beenden eines solchen Dialoges muss sich der Anwender in den meisten Fällen für eine Bestätigung (OK-Button) oder den Abbruch-Button des Vorgangs entscheiden. Unter Windows ist der Schließbutton in der Titelleiste identisch mit dem Abbruch-Button. Da für den Anwender das Schließen über den Schließbutton der Titelleiste nicht als gleichbedeutend mit dem Abbruch zu erkennen ist, sollte der Schließbutton nicht verwendet werden. Ebenso sollte eine Tastenkombination oder ein Aufruf des Systemmenüs, über welches ebenfalls ein Fenster geschlossen werden kann, nicht möglich sein (Systemmenüs oder Objektmenüs werden über das Objektsymbol, das sich links in der Titelleiste eines Fensters befindet, durch eine Tastenkombination oder durch die rechte Maustaste geöffnet) [Zei94].

**Effektivität:** Die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der ein Benutzer ein bestimmtes Ziel erreicht. Ein Interaktionsgerät ist effektiv, wenn seine Ausführung Faktoren berücksichtigt, die durch Genauigkeit und Vollständigkeit zu einer erhöhten bzw. optimierten Benutzerleistung führen [ISO9241-9].

**Effektor:** Ein Nerv, welcher einen Reiz vom Zentralnervensystem zu den Organen (z.B. Muskeln) weiterleitet oder ein Körperorgan, welches auf einen aufgenommenen und weitergeleiteten Reiz ausführend reagiert [Dud97; Mey97].

**Efferent** (lat. „herausführend, von einem Organ herkommend“): Dieser Begriff wird hauptsächlich bei Nervenbahnen verwendet, die vom Zentralnervensystem zu einem Sinnesorgan führen. Die Efferenz ist die Erregung, die über die efferenten Nervenfasern

vom Zentralnervensystem zur Peripherie geführt wird und die →*Motorik* in Gang setzt [Dud97; Mey97].

**Efferenzkopie:** Bei Sendung eines motorischen Befehls an die Extremitäten wird zur Optimierung der motorischen Ausführung eine Kopie des motorischen Befehls, eine „Efferenzkopie“ erstellt. Im Kleinhirn wird die Efferenzkopie mit den exterozeptiven und propriozeptiven Rückmeldungen des Bewegungs- und Programmierungsablaufs verglichen und es werden gegebenenfalls Korrektursignale erarbeitet [Sch98; Sch00]. Durch die Efferenzkopie und durch die enge Verzahnung in der Ausführungsphase von sensorischem Input und motorischem Output auf rezeptiver und →*spinaler* Ebene (Rückenmarksebene) können Muskellänge und Muskelspannung konstant gehalten werden, bzw. den motorischen Kommandos ohne Mitwirkung →*kortikaler* Strukturen (Großhirnrinde) angepasst werden. Bedingt durch die zeitliche Nervenleitung zwischen Reizeinwirkung und Reaktion sind die Korrekturzeiten bei →*spinaler* Steuerung deutlich kürzer als bei →*kortikaler* Steuerung [Hei94].

**Effizienz:** Der im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzte Aufwand, mit dem der Benutzer ein bestimmtes Ziel erreicht. Ein Interaktionsgerät ist effizient, wenn es unter geringstem Aufwand an Zeit und Anstrengung funktioniert [ISO9241-9].

**Empfindungsschwellen:** Als taktile Empfindungsschwelle wird die minimal notwendige Eindringtiefe der Haut, die zu einer gerade wahrnehmbaren Berührungsempfindung führt, bezeichnet. An den Fingern werden z.B. Einstülpungen schon in der Größenordnung von 6 µm wahrgenommen, während in der Handfläche die Schwelle bei ca. 20 µm liegt [Bir96].

**Ergonomie, Ergonomik** (griech.): Eine Kombination der beiden griechischen Wortstämme *ergon* (= Arbeit) und *nomos* (= Regel, Gesetz) und die Wissenschaft von den Leistungsmöglichkeiten u. -grenzen des arbeitenden Menschen sowie der besten wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen u. seinen Arbeitsbedingungen. Die Ergonomie ist ein Teilgebiet der Arbeitswissenschaft. Sie versucht durch Analyse und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen, die Arbeit des Menschen an dessen physische und psychische Möglichkeiten anzupassen. Dabei werden sowohl Konzepte zu einer körpergerechten Gestaltung der Arbeitsplätze entwickelt als auch die Humanisierung der Arbeit gefordert (z. B. durch Beschränkung der menschlichen Beanspruchung durch Arbeit auf ein zulässiges Maß). Auch die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Mensch und Computer am Arbeitsplatz gehört heute zum Aufgabengebiet der Ergonomie. Ergonomie [Mey97; Mic99].

**FITTS Gesetz:** Prinzip, dass die Bewegungszeit (MT, Movement Time) bei Zielaufgaben linear abhängig ist von der Bewegungsamplitude (A, Amplitude, Abstand in gerader Linie vom Startpunkt der Bewegung zum Zielpunkt) und der Zielbreite (W, Width):  $MT = \log_2(2AW)$  [Fit54; Ras00].

**Ganglion** (griech.-lat.), Nervenknötchen, Ganglionknötchen: Verdickung des Nervensystems, in der die Zellkörper der →*Nervenzellen* (Ganglienzellen) konzentriert sind [Dud97; Mey97].

**Gebrauchstauglichkeit:** Das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv (→*Effektivität*), effizient (→*Effizienz*) und mit Zufriedenheit zu erreichen [ISO9241-9].

**Geschwindigkeits-Genauigkeits-Relation** (GGR, Speed-Accuracy Tradeoff): Tendenz, dass bei zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit die Bewegungsgenauigkeit nachlässt ( $\rightarrow$  *FITTS* Gesetz).

**GOMS**: GOMS ist ein Akronym für Ziele, Operatoren, Methoden und Auswahlregeln (Goals, Objects, Methods and Selection Rules). Die kognitive Struktur eines Benutzers wird als Menge der vier Komponenten angenommen, um aus einer Menge gleichwertig anwendbarer Methoden eine Lösung zur Zielerreichung auszuwählen. Bei GOMS wird angenommen, dass nur fehlerfreies Verhalten zu einer Problemlösung führt, alle Benutzer müssen die Fähigkeit zur Aufgabenlösung besitzen. Das bedeutet, dass der Ersteller des Modells ein adäquates Abstraktionsniveau wählen muss. Aus einem entsprechenden Modell können mittels des MHP (Model Human Processor) Zeitvorhersagen bezüglich der fehlerfreien Bewältigung durch erfahrene Benutzer mit Hilfe des Modells produziert werden [Dix95; Sta96; Car83].

**Grundgesamtheit**: Die Grundgesamtheit ist die Menge aller  $\rightarrow$  *Merkmalesträger*, die übereinstimmende Abgrenzungs- oder Identifikationsmerkmale (vgl.  $\rightarrow$  *Merkmale*) haben. Durch sachliche Abgrenzung wird festgelegt, wer oder was unter einem Merkmalsträger zu verstehen ist. Im Rahmen der räumlichen Abgrenzung werden Grenzen gezogen, in denen der Merkmalsträger liegen muss. Für die zeitliche Abgrenzung ist ein Zeitpunkt bzw. ein Zeitraum festzulegen [Bou01].

**Gültigkeit** (Validität, Testgütekriterium): Ein Test bzw. eine Beurteilung ist gültig, wenn das Merkmal, das erfasst werden soll, tatsächlich erfasst wird. Der Gültigkeitskoeffizient ist der als Korrelationskoeffizient angegebene Grad der Gültigkeit eines Tests bzw. einer Beurteilung ( $\rightarrow$  *Korrelation*).

**Haptisch**: Die haptische Wahrnehmung bildet den Oberbegriff für  $\rightarrow$  *taktile* und  $\rightarrow$  *kinästhetische* Wahrnehmung. Synonym wird der Ausdruck "Tastsinn" verwendet.

**Hauptachsen**: Die anatomischen Bezeichnungen lassen sich in Raumrichtungen, Hauptachsen,  $\rightarrow$  *Hauptebenen*,  $\rightarrow$  *Raumrichtungen* und  $\rightarrow$  *Bewegungsrichtungen* unterteilen [Pla99; Kah91].

Hauptachsen	Beschreibung
Longitudinale (vertikale) Achse	Längsachse des Körpers, steht bei aufrechtem Stand senkrecht zur Unterlage.
Transversale (horizontale) Achse	Querachse des Körpers, steht senkrecht auf der Längsachse, verläuft von links nach rechts.
Sagittale Achse (Pfeilachse)	Sie verläuft von der Hinter- zur Vorderfläche des Körpers, in der „Richtung des Pfeiles“ (sagitta) und steht senkrecht zur longitudinalen und transversalen Achse

**Hauptebenen**: Die anatomischen Bezeichnungen lassen sich in  $\rightarrow$  *Hauptachsen*, Hauptebenen,  $\rightarrow$  *Raumrichtungen* und  $\rightarrow$  *Bewegungsrichtungen* unterteilen [Pla99; Kah91].

Hauptebenen	Beschreibung
Medianebene	Diese (auch Mediansagittalebene, Symmetrieebene oder Vertikalebene genannt) enthält Longitudinal- und Sagittalachse und teilt den Körper in zwei annähernd gleich große Hälften. Jede zur Mediansagittalebene parallel stehende Ebene wird als Sagittal- oder Paramedianebene bezeichnet.
Frontale Ebenen	Alle Ebenen (auch koronale Ebenen genannt), die transversale und longitudinale Achsen enthalten. Sie verlaufen parallel zur Stirn und stehen senkrecht zur Mediansagittalebene ( <i>frons</i> = Stirn).
Transversale Ebenen	Diese verlaufen quer durch den Körper und stehen senkrecht zur Mediansagittalebene und zu einer Frontalebene. Bei aufrechtem Stand liegen sie horizontal und enthalten die sagittale und die transversale Achse.

**Hauptgütekriterien:** Die Hauptgütekriterien eines Tests bzw. einer Beurteilung sind →*Objektivität*, →*Zuverlässigkeit* und →*Gültigkeit*. Die Hauptgütekriterien sind voneinander abhängig: Die Gültigkeit kann nie höher ausfallen als Objektivität bzw. Zuverlässigkeit (→*Korrelation*) [Bor95].

**Hicks Gesetz:** Das Hicksche Gesetz gibt die Zeit an, die benötigt wird, um ein Objekt aus einer Gruppe von Objekten auszuwählen. Wenn unter  $n$  alternativen Objekten eins ausgewählt werden muss und die Wahrscheinlichkeit der Auswahl bei allen Alternativen gleich ist, ist die Zeit der Auswahl proportional zum Logarithmus Dualis der Anzahl der Wahlmöglichkeiten plus 1. Werden alle diese Elemente mit gleicher Wahrscheinlichkeit ausgewählt, so gilt:  $T = a + b \log_2(n + 1)$ ,  $a$  und  $b$  sind dabei empirisch ermittelte Koeffizienten. Die Koeffizienten hängen von vielen Faktoren ab, einschließlich davon, wie die Auswahl präsentiert wird und wie sehr ein Benutzer bereits an das System gewöhnt ist. Wird die Auswahl z.B. unstrukturiert präsentiert, können sich sowohl  $a$  als auch  $b$  erhöhen, eine Gewöhnung reduziert  $b$ . Eine interessante Folge dieses Gesetzes ist, dass es in der Regel schneller ist, ein Element aus einem großen Menü auszuwählen, als es aus einer Menühierarchie auszuwählen, wenn alle Menüpunkte gleich wahrscheinlich sind. [Hic52; Ras00; Beg72].

**Informationsfluss** (Kanalkapazität): Der Informationsfluss wird zur Charakterisierung der Leistungsfähigkeit der menschlichen informationsübertragenden Systeme verwendet. Gemessen wird er in →*Bit/s*. Diese elementaren Informationsmengen werden vom Gehirn (u.a. aus Gründen der Datenreduktion) zu sehr unterschiedlich großen Informationsclustern zusammengefügt, den sogenannten →*Chunks* (vgl. →*Shannon-Theorem*) [Sch90].

**Informationsverarbeitung, kontrollierte/bewusste:** Modus der Informationsverarbeitung, der langsam, seriell, Aufmerksamkeit fordernd und willentlich ist. Charakteristisch für →*closed-loop*-orientierte Prozesse im Vergleich zu automatisierten Prozessen [Hac78].

**Innervation:** Darunter wird die Versorgung von Geweben und Organen mit motorischen, sensiblen oder vegetativen Nerven, sowie die Leitung der von den Nerven aufgenommenen Reize an Gewebe und Organe verstanden [Dud97; Mey97].

**Innervationsdichte** (Rezeptordichte): Die Innervationsdichte ist die Anzahl der →*afferenten* Fasern pro Quadratcentimeter Haut [Bir96]. Die Innervationsdichte von mechanosensitiven Afferenzen in der Haut ist für die räumliche Genauigkeit des Tastsinns verantwortlich.

**Intensität:** →*Sinnesmodalität*

**Interaktionsoperation:** Die Interaktion bei koordinatengebenden Interaktionsgeräten kann in drei Teiloperationen unterteilt werden [Züh99a]: →*Positionieren* (Bewegen): Mittels einer Positionieroperation wird das Positioniersymbol auf dem Bildschirm zu einem Zielobjekt bewegt. →*Selektieren* (Auswählen): Mittels einer Schaltoperation wird ein Zielobjekt ausgewählt. →*Aktivieren* (Auslösen). Das Schaltelement wird losgelassen und die Funktion des Zielobjektes ausgelöst<sup>35</sup>. Mit diesen drei Grundfunktionen lassen sich für Interaktionsgeräte einfache Positionieraufgaben beschreiben. Komplexe Operationen lassen sich aus den Grundfunktionen zusammensetzen: →*Manipulieren*

---

<sup>35</sup> Die Funktionsauslösung beim Verlassen des Schaltelements (Letztkontaktberührung) ermöglicht im Gegensatz zur Erstkontaktberührung die Korrektur einer fehlerhaften Positionierung.

(Verschieben): Die Positionieroperation und die Schaltoperation werden gleichzeitig ausgeführt.

**Isometrische Kontraktion:** Erhöhung der Spannung des Muskels bei (optisch) konstant bleibender Länge des Muskels [Haa76; Fäh83].

**Isometrisches Wirkprinzip** („die gleiche Länge habend“): Beim isometrischen Wirkprinzip ist die Bewegung des →*Positioniersymbols* abhängig vom Druck, der auf das Positionierelement ausgeübt wird. Die Auslenkung ist vernachlässigbar. Bei schwachem Druck auf das Positionierelement (minimale Bewegung) bewegt sich das Positioniersymbol auf dem Bildschirm langsam, bei starkem Druck bewegt es sich schnell [Bau01].

**Isotonische Kontraktion:** Verkürzung des Muskels bei konstanter Spannung des Muskels. Relativ selten bei tatsächlichen menschlichen Bewegungsabläufen [Haa76; Fäh83].

**Isotonisches Wirkprinzip** („den gleichen Druck habend“): Beim isotonischen Wirkprinzip ist die Bewegung des →*Positioniersymbols* abhängig von der Auslenkung (Winkel zur vertikalen Lage) des Positionierelements. Die rücktreibende Kraft ist bei jeder Auslenkung ungefähr gleich groß. Bei geringer Auslenkung bewegt sich das Positioniersymbol langsam, bei starker Auslenkung bewegt sich das Positioniersymbol schnell [Bau01].

**Kinästhetisch:** (Tiefensensibilität, Propriozeption): Die kinästhetische Wahrnehmung findet mit Hilfe von →*Rezeptoren* in Gelenken, Muskeln und Sehnen statt. Dies sind die Gelenksensoren, Muskelspindeln und Sehnen-Organen (Golgi-Organen). Diese Rezeptoren ermöglichen es, sowohl die Stellung und Bewegung der Gliedmaße, als auch die in den Muskeln aufgebrauchten Kräfte zur Bewegung oder Fixierung des Körpers wahrzunehmen [Gau72].

**Kognitionspsychologie:** Wissenschaft, wie die Wahrnehmung durch die Bedeutung eines Reizes und durch die Erwartungen der am Wahrnehmungsprozess beteiligten Person beeinflusst wird [Gol97].

**Kontaktgriff:** Der Kontaktgriff ist ein offener Griff, bei dem die Kopplungsglieder von mehreren Seiten am Objekt anliegen. Er kommt zur Anwendung, wenn weder umfasst noch zugefasst werden kann oder wenn bei geringem Stellwiderstand schnell und häufig verstellt werden muss (vgl. →*Zufassunggriff*, →*Umfassunggriff*). Die Kopplungsglieder können die Finger selbst oder die einzelnen Fingerglieder (Grund-, Mittel-, Endglied) sein [Bul94; Fäh83].

**Kontextabhängige Taste** (Softkey): Eine kontextabhängige Taste hat je nach aktuellem Dialogzustand eine unterschiedliche Bedeutung. Die der Taste zugeordnete Funktion ändert sich im Verlauf der Bedienung, je nachdem an welcher Stelle des Dialogs ("Bedienkontext") der Benutzer sich befindet [VDI/VDE3850-2].

**Kontextunabhängige Taste** (Funktionstaste): Eine kontextunabhängige Taste ist eine Taste, deren Bedeutung sich im Dialog nicht ändert. Die der Taste zugeordnete Funktion ist im gesamten Dialogablauf gleich, d.h., die der Taste zugeordnete Funktion ändert sich im Verlauf der Bedienung nicht [VDI/VDE3850-2].

**Konvergenz, multimodale oder multisensorische:** Viele sensorische Meldungen aus getrennten Sinnesorganen mit verschiedenen →*Sinnesmodalitäten* werden im Gehirn zu einer erlebnismäßigen Wahrnehmungseinheit und zu integriertem Verhalten zusammengeführt. Z.B. werden in der Sehrinde neben optischen Erregungen auch akustische und vestibuläre Erregungen und Schmerzreize projiziert. Die anatomischen und

neurophysiologischen Grundlagen dieser Synthese der Sinneswahrnehmung sind noch wenig bekannt [Gau72].

**Koordinatengeber** (koordinatengebendes Interaktionselement): Ein koordinatengebendes Interaktionsgerät besteht aus einem Positionierelement und mindestens einem Schaltelement. Mit diesen Ausstattungsmerkmalen können Objekte auf dem Bildschirm angesteuert und aktiviert bzw. manipuliert werden. Einige Geräte sind mit zusätzlichen Tasten und/oder Scroll-Wheels (Rändelräder) für erweiterte dialogspezifische Funktionalitäten ausgerüstet. Die Anwahl dieser Funktionen erfolgt überwiegend sequentiell zur eigentlichen Positionieroperation. Im folgenden wird nur das für die Selektion notwendige Schaltelement betrachtet, welches auch parallel zur Positionieroperation verwendet werden kann [VDI/VDE3850-2].

**Körperabschnitte**: Der menschliche Körper gliedert sich in die Körperabschnitte Stamm (Truncus im weiteren Sinn) und die oberen und unteren Gliedmaßen (Extremitäten). Der Stamm wird in den Kopf (Caput), den Hals (Collum) und den Rumpf (Truncus im engeren Sinn) unterteilt. Am Rumpf sind die Brust (Thorax), Bauch (Abdomen) und Becken (Pelvis) zu unterscheiden [Pla99].

**Körperhaltung**: Die Körperhaltung wird durch die Auslenkung der Gelenke definiert. Von den Grundtypen der Körperhaltung (Stehen, Sitzen, Liegen, Knien, Hocken) treten Stehen und Sitzen in der Arbeitswelt am häufigsten auf. Bei der Benutzung von Maschinensteuerungen dominiert die stehende Position. Diese ermöglicht zwar die Ausnützung des vollen Bewegungsraumes aller Gelenke, bringt aber Stabilisierungsprobleme und erhöhte Beinbelastung mit sich [Jür81; Jür79]. Ebenfalls eignet sich eine stehende Körperhaltung nicht für Präzisionsarbeiten [Bul94]. Bei der neutralen Körperhaltung ist der Körper oder Teile des Körpers total entspannt, d.h. ohne jede beabsichtigte Abwinkelung in den Gelenken [ISO9241-9].

**Körperstellung**: Die Körperstellung ist definiert als die räumliche Lage zwischen den auf den Körpermittelpunkt bezogenen Ebenen zu einem Bezugsgerüst, dessen Ursprung in dem Mittelpunkt des durch die Arbeitsaufgabe festgelegten Bewegungsraumes liegt. Sie gibt an, wie die Körperebenen ausgerichtet sind [Bul94].

**Korrelation** („wechselseitige Beziehung“): Allgemeine Bezeichnung für den Zusammenhang zwischen statistischen Ergebnissen. Die Korrelation drückt die Wechselwirkung zwischen Merkmalen oder Ereignissen aus. Sie ist eine statistische Methode, die den Grad der Beziehung zwischen Variablen anhand eines Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) ermittelt. Diese Beziehung erlaubt Wenn-dann-Aussagen, jedoch (normalerweise) keine kausalen Aussagen (Ursache-Wirkung-Zusammenhang) [Sac99].

**Kortikal, kortikal** (lat.): Von der Hirnrinde ausgehend, in der Hirnrinde sitzend. Kortikale Zentren sind wichtige Teile der Hirnrinde, in denen z.B. Hör- u. Sehzentrum liegen [Mey97; Dud97]. Die Fehlerkontrolle bei motorischen Kommandos erfolgt bewusst und ist aufmerksamkeitsabhängig, gleichzeitig ist nur eine Korrektur möglich, kortikale Korrekturzeiten liegen bei 120 - 200 ms [Hei94] (vgl.  $\rightarrow$  *spinal*,  $\rightarrow$  *supraspinal*).

**Lokomotion**: Bewegung des Körpers im Raum in einem koordinierten Funktionsablauf, in dem Motorik, Haltung, Reflexe und sensomotorische Kontrolle zu einem einheitlichen Geschehen zusammengefasst sind [Sch98].

**Manipulieren** (Verschieben): Die Positionieroperation und die Schaltoperation werden gleichzeitig ausgeführt (Zieh-, Nachzieh-, DRAG AND DROP-, D&D-Aufgaben oder DRAW-Aufgaben). Bei Manipulationsaufgaben wird auch von DRAG AND DROP-

Aufgaben gesprochen. Dabei erfolgt im Gegensatz zu CLICK-Aufgaben Positionieren und Selektieren parallel. Bei CLICK-Aufgaben erfolgt Positionieren und Selektieren sequentiell [VDI/VDE3850-2].

**Mapping:** Durch Mapping werden *mentale* bzw. konzeptionelle → *Modelle* des Nutzers mit dem realen Modell (Designmodell) abgeglichen. Beim natürlichen Mapping erfolgt dieser Abgleich intuitiv. Die Designmodelle sind dem Nutzer geläufig. Ob natürliches Mapping stattfinden kann, hängt immer von den individuellen Vorkenntnissen und Erfahrungen des jeweiligen Benutzers ab. Z.B. gleicht der Gebrauch eines Stiftes beim Digitizing Tablet dem Gebrauch einer herkömmlichen Stiftbenutzung bei der Handlung Schreiben, Rechnen oder Zeichnen, sofern der Benutzer Schreibwerkzeug kennt [Sta96].

**Mechanorezeptoren:** Dies sind → *Rezeptoren* in der Haut, welche mechanische Deformationen registrieren. Merkel-Zellen und Ruffini-Körperchen messen die Intensität eines Druckreizes, Meissner-Körperchen und Haarfollikelsensoren dessen Geschwindigkeit und Pacini-Körperchen seine Beschleunigung [Bir91; Sch85a; Sch00].

**Merkmal** (Untersuchungsvariable, → *Variable*): Die Eigenschaft des → *Merkmalsträgers*, die bei der statistischen Untersuchung von Interesse ist, wird als Merkmal bezeichnet. Das Untersuchungsmerkmal darf nicht mit dem Abgrenzungsmerkmal verwechselt werden; hinsichtlich des Abgrenzungsmerkmals (Identifikationsmerkmal) sind alle Merkmalsträger identisch, hinsichtlich des Untersuchungsmerkmals können die Merkmalsträger jedoch unterschiedlich sein (vgl. → *Grundgesamtheit*). Als Symbole werden hierfür oft lateinische Großbuchstaben wie X, Y, Z genommen. Merkmale lassen sich anhand von Kriterien in Typen von Merkmalen einteilen, z.B. qualitative und quantitative, diskrete und stetige, häufbare und nicht-häufbare [Bou01].

**Merkmalsträger** (Element, statistische Einheit): Der Merkmalsträger ist der Gegenstand der statistischen Untersuchung, er ist der Träger der interessierenden statistischen Information [Bou01].

**Merkmalswert** (Beobachtungswert, Modalität, Messgröße): Der Merkmalswert gibt an, in welcher Weise das → *Merkmal* bei einem → *Merkmalsträger* auftritt. Der Merkmalswert ist das Ergebnis der Beobachtung, Befragung oder Messung, die beim Merkmalsträger vorgenommen wurde. Als Symbol werden hierfür oft lateinische Kleinbuchstaben wie x, y, z verwendet, wobei der ausgewählte Buchstabe mit dem für das Merkmal gewählten Buchstaben übereinstimmen sollte [Bou01].

**Modalität:** → *Sinnesmodalität*

**Modell, mentales:** Als mentales Modell wird menschliches Wissen über die Komponenten eines Systems und deren Verbindungen sowie Prozesse, welche die Komponenten verändern, bezeichnet. Mentale Modelle entstehen durch Interaktionen von Menschen mit Systemen, deshalb sind sie ständig Veränderungen unterworfen und instabil. Technisch sind sie nicht ausgereift, sondern ausschließlich funktional im Sinne menschlicher Bedürfnisse. Sie beeinflussen sich wechselseitig und indirekt das menschliche Verhalten. Kriterien der Modellbildung sind nicht → *Effizienz*, sondern oft Redundanz und Inkonsistenz (z.B. Zulassen von Widersprüchen). Kognitive Modelle sind die Beschreibungen mentaler Modelle [Sta96].

**Motilität** (lat.): Gesamtheit der nicht bewusst gesteuerten Bewegungen des menschlichen Körpers u. seiner Organe [Dud97; Mey97].

**Motoneuron**, (motorische Vorderhornzelle): Teil der → *Motorischen Einheit*.

**Motorik** → *Sensomotorik* (lat.): 1. Gesamtheit der aktiven, vom Gehirn aus gesteuerten, koordinierten Bewegungen des menschlichen Körpers (Körperhaltung und Bewegung). Gegensatz ist die → *Motilität*. 2. Lehre von den Funktionen der Bewegung des menschlichen Körpers u. seiner Organe 3. die Gesamtheit von (gleichförmigen, regelmäßigen) Bewegungsabläufen [Dud97; Mey97].

**Motorische Einheit:** Aus → Motoneuron (motorischer Vorderhornzelle) des Rückenmarks, nervöser Verbindung und davon erregten Muskelfasern (zwischen 3 und 100) bestehende funktionelle Einheit. Je höher die feinmotorische Leistungsfähigkeit der entsprechenden Muskeln ist, desto geringer ist die Zahl der Muskelfasern, die von einem Motoneuron erregt werden. So hat im Bereich der Augenmuskeln, die zu außerordentlich hoher Feinmotorik in der Lage sind, eine Nervenzelle lediglich ca. 7 Muskelfasern zu kontrollieren (Innervationsverhältnis 1:7), im Bereich der Kniegelenksstreckmuskulatur beträgt dieses Verhältnis dagegen ca. 1:1000 [Sch00].

**Nervenzelle** (Neuron, Ganglienzelle): Bauelement des Nervengewebes. In den Nervenzellen entstehen die nervösen Erregungen, die dann über einen unterschiedlich langen Fortsatz, die Nervenfaser (→ *Axon*, Neurit), weitergeleitet werden; diese ist von einer besonderen Isolierschicht (Schwann-Scheide) umgeben. Die Nervenfaser verzweigt sich am Ende und bildet Synapsen aus. Dort wird die Erregung zur nächsten Nervenzelle weitergegeben. Eine der zahlr. zuführenden Fortsätze (Dendriten) leitet die Erregung zum Zellkörper weiter. Häufig schließen sich Nervenfaser zu parallel verlaufenden, oft von einer gemeinsamen Bindegewebshülle umschlossenen Nervenbündel (Nervenstränge) zusammen, die dann als Nerven bezeichnet werden. Makroskopisch sichtbare Nerven bestehen wiederum aus einer verschieden großen Anzahl von Nervenfaserbündeln. Innerhalb des Zentralnervensystems bezeichnet man die Faserbündel als Nervenbahnen. Angehäuft zusammenliegende Nervenzellkörper bilden die Ganglien. Die Fortleitung einer Erregung spielt sich in den → *Axonen* ab. Sie beruht auf einer kurzfristigen elektrischen Spannungsänderung der Zellmembran, die eine andauernde elektrische Spannung der Membran voraussetzt (Membranpotential). Der Erregungsvorgang besteht im Wesentlichen aus einer vorübergehenden Änderung der an der Zellmembran liegenden Potenzialdifferenz. Dabei erfolgt zuerst eine Spannungsabnahme, dann eine kurzfristige Umpolung der Membran. Ursache der Umpolung der Membran im Augenblick der Erregung ist eine plötzliche kurzfristige, sehr viel stärkere Durchlässigkeit für Natriumionen, die nun stärker nach innen streben können als die Kaliumionen nach außen und so der Membraninnenseite ihre positive Ladung aufzwingen. Die Fortpflanzung des Aktionspotenzials als Bedingung für die Weiterleitung des Nervenreizes erfolgt dadurch, dass das Aktionspotenzial die Spannungsabnahmewelle vor sich „herschleibt“ und so für die eigene Weiterleitung sorgt [Sch87; Mey97].

**Objektivität:** Bezeichnet den Grad der Unabhängigkeit eines Tests bzw. einer Beurteilung von der Art der Durchführung, Auswertung und Interpretation (z.B. Versuchsleiter, Auswerter, Interpret). Unterschieden wird zwischen Durchführungsobjektivität, Auswertungsobjektivität, Interpretationsobjektivität. Der Objektivitätskoeffizient ist der als Korrelationskoeffizient angegebene Grad der Objektivität eines Tests bzw. einer Beurteilung (→ *Korrelation*) [Bor95].

**Perzentil:** Die Verwendung eines Mittelwerts aus dem größten und kleinsten Körpermaß zur Definition eines „Durchschnittsmenschen“ ist nicht sinnvoll, da dies zur Folge hätte, dass jeweils beide Hälften der Bevölkerung Schwierigkeiten im täglichen Umgang mit Geräten hätten, da sie für die einen zu groß und für die anderen zu klein sind. Aus die-



sem Grund hat sich zur Festlegung der Ober- und Untergrenze der Körpermaße der Begriff Perzentil durchgesetzt. In [DIN33402] ist der Begriff wie folgt definiert: „Ein Perzentilwert gibt an, wie viel Prozent der Menschen in einer Bevölkerungsgruppe –in bezug auf ein bestimmtes Körpermaß- kleiner sind als der jeweilige angegebene Wert. So liegt z.B. das 95. Perzentil der Körperhöhe von 16- bis 60-jährigen Männern bei 1841 mm. Das besagt, dass 95% dieser Bevölkerungsgruppe kleiner und 5% größer als 1841 mm sind“. Die gebräuchlichen Grenzen, die bei der Gestaltung von Gegenständen berücksichtigt werden, sind das 5. und 95. Perzentil [DIN33402].

**Physiologie:** Die Wissenschaft von den Grundlagen des allgemeinen Lebensgeschehens, besonders von den physikalischen und chemischen Prozessen, die ein Organismus zum Leben benötigt. Zu diesen Prozessen gehören Fortpflanzung, Wachstum, Stoffwechsel, Atmung, Erregung und Kontraktion, die von Zellen, Geweben, Organen und Organsystemen ausgeführt werden. Die Physiologie ist eng mit der Anatomie verknüpft und war historisch gesehen ein Teil der Medizin. Man kann im Wesentlichen drei Unterdisziplinen der Physiologie unterscheiden: Die allgemeine Physiologie beschäftigt sich mit den grundlegenden Prozessen des Lebens quer durch alle Lebensformen. Die zweite Unterdisziplin befasst sich mit der Physiologie und funktionalen Anatomie des Menschen und aller Tiere, Pathologie und vergleichende Physiologie/Anatomie eingeschlossen. Als dritten Bereich gibt es die Pflanzenphysiologie, deren Gegenstand die Erforschung aller pflanzlichen Lebensprozesse ist [Mic97; Dud97; Mey97].

**Positionieren** (Bewegen): Mittels einer Positionieroperation wird das Positioniersymbol auf dem Bildschirm zu einem Zielobjekt bewegt (Point-, Track- oder CLICK-Aufgaben) [VDI/VDE3850-2].

**Positionieroperation** (→*Positionieren*, Bewegen): Die Positionieroperation der koordinatengebenden Interaktionsgeräte ermöglicht dem Menschen Interaktionshandlungen, die eine Positioniersymbol- oder Fokussteuerung (bei direkt wirkenden Interaktionsgeräten wie z.B. Touchscreen) bewirken. Das entsprechende physikalische Objekt des Interaktionsgerätes wird als Positionierelement, die Benutzerinteraktion wird als Positionierhandlung bezeichnet (z.B. kann das Ziel bei Positionierhandlungen sowohl eine Befehlsschaltfläche, ein Icon, ein Menüelement oder ein anderes Objekt auf der Bildschirmoberfläche sein) [VDI/VDE3850-2].

**Positioniersymbol:** Visuelle Anzeige des Fokus für koordinatengebende Eingaben mit Interaktionsgeräten (z.B. Zeiger oder Handsymbol; vgl. →*Cursor*) [VDI/VDE3850-2].

**Propriozeption:** Im Körper entstehende sensorische Information, die zur Information über Körperhaltung und Bewegung führt. Der propriozeptive Reflex (Eigenreflex) ist ein Reflex, bei welchem das Empfangsorgan und Erfolgsorgan identisch sind (z.B. löst beim Patellar oder Achillessehnenreflex die Muskeldehnung eine Kontraktion des Muskels) [Sch90].

**Psychophysik:** In der Psychophysik werden die Beziehungen und die Gesetze zwischen den Reizinformationen aus der Umwelt und den daraus resultierenden Wahrnehmungen des Menschen untersucht [Gol97].

**Pyramidenbahn** (pyramidales System): Als Pyramide oder Pyramidenbahn werden zwei dicke Nervenfaserbündel bezeichnet, die das Gehirn mit der Körpermuskulatur verbinden. An der sog. Pyramidenkreuzung, am Übergang vom Rückenmark in das verlängerte Mark, wechselt der Hauptteil der Fasern die Seite. Dadurch steuert die linke Gehirnhälfte die Motorik der rechten Körperseite und die rechte Gehirnhälfte die der linken Körperseite [Sch00; Kli00].

**Qualität:** → Sinnesmodalität

**Räumlichkeit:** → Sinnesmodalität

**Raumrichtungen:** Die anatomischen Bezeichnungen lassen sich in → *Hauptachsen*, → *Hauptebenen*, Raumrichtungen und → *Bewegungsrichtungen* unterteilen [Pla99; Kah91].

Raumrichtungen	Beschreibung
Anterior	Vorderer ( <i>ante</i> = vor)
Basal, ventral	Zur Unterseite des Gehirns gehörig, bauchwärts ( <i>venter</i> = Bauch)
Distal	Weiter von der Rumpfmittle entfernt liegend ( <i>distare</i> = abstehen)
Dorsal	Rückenwärts hinten, handrückenseitig, fußrückenseitig ( <i>dorsum</i> = Rücken)
Extra	Außerhalb, außen, außer der Reihe ( <i>extra</i> = außen)
Frontal	In der Stirnebene
Inferior	Nach unten beim aufrechten Körper, weiter unten gelegen ( <i>inferior</i> = der untere)
Intra	Innerhalb, hinein ( <i>intra</i> = innerhalb)
Kaudal, caudal	Zur Hinterseite des Gehirns gehörig, steißwärts ( <i>cauda</i> = Schwanz)
Kranial, cranial	Schädelwärts, kopfwärts ( <i>cranium</i> = Schädel)
Lateral	Von der Mitte weg, von der Medianebene weg, seitwärts ( <i>latus</i> = Seite)
Medial	Zur Mitte, auf die Medianebene zu
Medianus	In der Körpermittlebene gelegen ( <i>medium</i> = die Mitte)
Medius	Das mittlere (von drei)
Palmar	In der Hohlhand, hohlhandseitig ( <i>palma manus</i> = Hohlhand)
Plantar	Fußsohlenseitig ( <i>planta pedis</i> = Fußsohle)
Posterior	Hinterer ( <i>post</i> = hinter, nach)
Proximal	Auf den Rumpfansatz der Gliedmaße zu, rumpfnah ( <i>proximus</i> = der Nächste)
Radial	Nach der Speiche hin, speichenwärts / Daumenseite ( <i>radius</i> = Speiche)
Rostral, oral	Zur Vorderseite des Gehirns gehörig (Rostrum = Schiffsschnabel, os = Mund)
Sagittal	Senkrecht zur Körperoberfläche ( <i>sagitta</i> = Pfeil)
Superior	Nach oben, weiter oben gelegen ( <i>superus</i> = oben befindlich)
Ulnar	Nach der Elle hin, ellenwärts / Kleinfingerseite ( <i>ulna</i> = Elle)
Ventral	Bauchwärts, vorn ( <i>venter</i> = Bauch)
Volmar	Nach der Hohlhand zu
Zentral	In der Körpermittle

**Reaktionszeit:** Dies ist die Zeitspanne vom Setzen eines Signalreizes bis zur adäquaten Muskelkontraktion. Sie ist der neurophysiologische Prozess der Reaktionsschnelligkeit. Ein Teil der Reaktionszeit ist die Latenzzeit. Reaktionszeiten auf taktile Signale (ca. 0,09-0,18 s) sind kürzer als auf akustische (ca. 0,11-0,27 s) und optische (ca. 0,10-0,35 s) [Sch00; Gau72; Gol97].

**Reflexmotorik** (Reflexe): Darunter werden automatische, wiederholbare und zweckgerichtete Antworten des Organismus auf äußere Reize zusammengefasst. Z.B. zieht der Mensch die Hand von einem heißen Gegenstand zurück, noch bevor der Hitzeschmerz bewusst wird und eine → *Willkürbewegung* einsetzt. Weitere Reflexe sind z.B. der Schluck- oder Atmungsreflex [Bir96].

**Reliabilität:** Die Reliabilität eines Tests kennzeichnet den Grad der Genauigkeit, mit dem das geprüfte Merkmal gemessen wird (vgl. → *Zuverlässigkeit*) [Bor95].

**Rezeptor:** Rezeptoren sind spezialisierte Sinneszellen, die physikalisch-chemische Reize in elektrische Vorgänge und Nervenerregungen umwandeln und damit die → *afferente* Sinnesleitung vorbereiten. Sie sind oft in größeren Sinnesorganen zusammengeschlossen. Im Gegensatz zu den optischen und akustischen sind die taktilen Rezeptoren die peripheren Endigungen der Nervenfasern selbst [Gau72]. In neuerer Zeit hat

sich der Begriff in Medizin und Biologie gewandelt. Es werden heute darunter meist Molekülkomplexe an Zelloberflächen, an die spezifische Moleküle anbinden, verstanden. Neuerdings wird für Sinnesrezeptor wie in der Technik und Physik der Begriff Sensor verwendet [Sch98]. Da bei dieser Arbeit auch technische Sensoren angesprochen werden, wird hier der Begriff Rezeptor für die menschlichen Sinneszellen verwendet, um zwischen menschlichen und technischen Sinnesfühlern deutlich zu unterscheiden.

**Rezeptorfeldgröße:** Das Hautareal, von dem eine mechanorezeptive Faser erregt werden kann ist ihr empfangendes Feld (rezeptives Feld). Es entspricht der anatomischen Ausdehnung aller Endigungen der Faser. So versorgt z.B. eine afferente Nervenfasern zwei bis zehn benachbarte Meissner-Körperchen. Bei den Haarfollikelrezeptoren versieht eine Nervenfasern ca. 30 Haarfollikel. Beim Menschen sind die rezeptiven Felder der Meissner-Körperchen und der Merkel-Zellen in der Hand mit durchschnittlich 12 mm<sup>2</sup> am kleinsten. Die rezeptiven Felder der Ruffini- und Pacini-Körperchen sind ca. um den Faktor zehn größer [Gau72; Bir91]

**Schaltoperation** (Selektieren und Aktivieren): Über Schaltoperationen können Aktionen ausgelöst werden. Das entsprechende physikalische Element wird als Schaltelement, die Benutzerinteraktion als Schalthandlung bezeichnet. Schaltelemente können z.B. Softkeys oder Tasten sein [VDI/VDE3850-2].

**Schwierigkeitskoeffizient** (P): Innerhalb der Aufgabenanalyse von Tests die metrische Angabe der Schwierigkeit einer Aufgabe, allgemein ausgedrückt als der Anteil derjenigen, die eine Aufgabe erfolgreich bearbeitet haben in Relation zur Gesamtzahl derjenigen, die die Aufgabe bearbeitet haben [Bor95; Sac99].

**Selektieren** (Auswählen): Mittels einer Schaltoperation wird ein Zielobjekt ausgewählt [VDI/VDE3850-2].

**Sensomotorik** (Sensumotorik): Die Sensomotorik ist die durch Reize bewirkte Gesamtkomplexivität in sensorischen und motorischen Teilen des Nervensystems und des Organismus. Die Bewegungsgrundlagen des menschlichen Verhaltens werden in die Teilgebiete  $\rightarrow$ Reflex-,  $\rightarrow$ Stütz- und  $\rightarrow$ Zielmotorik unterteilt. Da es keine Bewegungen und keine motorischen Systeme ohne Sinnesmeldungen gibt, d.h., die Rückmeldung ist implizit, wird auch der allgemeine Begriff  $\rightarrow$ Motorik hierfür verwendet, in dem auch sensorische Kontrollen, erlernte und gezielte  $\rightarrow$ Bewegungen eingeschlossen sind. Fast alle Bewegungen sind zielgerichtet, programmiert, durch Übung moduliert oder erlernt, also eine „Senso-Telo-Memo-Motorik“. Dieser Begriff gibt zwar die wichtigsten Bewegungskriterien wieder, wäre aber zu umständlich [Haa76].

**SHANNON-Theorem:** Im so genannten Shannon-Theorem - benannt nach CLAUDE ELWOOD SHANNON (1916–2001) - wird die maximale Übertragungsrate (C, Capacity) eines Signals (S, Signal) in Bit/s in Abhängigkeit von der Bandbreite (B, Bandwidth) und dem Rauschen (N, Noise) einer Übertragungsleitung beschrieben:  $C = B \log_2((S+N)/N)$ . Das von SHANNON aufgestellte Abtasttheorem besagt, dass die erforderliche Abtastfrequenz eines Signals mindestens das doppelte der höchsten Signalfrequenz sein muss (Beispiel Audio-CD: aus der Abtastfrequenz von 44,1 kHz ergibt sich eine maximale Musikwiedergabefrequenz von 22,05 kHz) (vgl.  $\rightarrow$ Bit,  $\rightarrow$ Informationsfluss) [Sha49].

**Sinnesmodalitäten:** Als Modalität oder Sinnesmodalität wird eine Gruppe ähnlicher Sinnesindrücke, die durch ein bestimmtes Organ vermittelt wird, bezeichnet. Neben den klassischen fünf Sinnen von Aristoteles (Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen) sind heute noch weitere bekannt, z.B. der Temperatursinn der Haut oder der

Gleichgewichtssinn. Zu diesen spezifischen Modalitäten (→*System, spezifisches*) kommen solche hinzu, deren Sinnesorgane im Körper liegen und den Zustand in Form eines „Allgemeingefühls“ feststellen. Jede Modalität (Empfindung) besteht aus den vier Grunddimensionen Räumlichkeit, Zeitlichkeit, Qualität und Intensität. Die beiden ersten Dimensionen ordnen die Empfindung in die Raum- und Zeitstruktur des Körpers ein. Ein Ton, ein Lichtstrahl oder ein Hitzereiz kann genau lokalisiert werden und Beginn und Dauer zeitlich genau angegeben werden. Als **Qualität** innerhalb einer Sinnesmodalität lassen sich weitere Unterscheidungen des Sinneseindrucks voneinander abgrenzen. So wird der Gesichtssinn s.B. in die Modalitäten Helligkeit und die Farben Rot, Grün und Blau unterteilt und der Gehörsinn hat verschiedene Tonhöhen als Qualitäten. Im allgemeinen entsprechen die Modalitäten den verschiedenen Sinnesorganen, während die Qualitäten über die verschiedenen Sensortypen (Rezeptortypen) innerhalb eines Sinnesorgans übermittelt werden. Die vierte Grunddimension einer Sinnesempfindung ist die **Intensität** oder Quantität. Eine Quantität ist für den Gesichtssinn z.B. die Stärke der Helligkeitsempfindung oder für das Gehör die Lautheit des Tones. Das organische Äquivalent ist die Amplitude des Sensorpotentials bzw. die Frequenz der Aktionspotentiale [Cam93 ; Bir96].

**Somatologie:** Wissenschaft von den allgemeinen Eigenschaften des menschlichen Körpers (Anthropologie) [Dud97].

**Somatosensorik:** Unter Somatosensorik werden die Empfindungen zusammengefasst, die durch Reizungen verschiedenartiger Sensoren des menschlichen Körpers hervorgerufen werden. Ausgenommen sind die →*spezifischen Sinnesorgane*, die alle im Kopf lokalisiert sind, nämlich die für Sehen, Hören, Schmecken, Riechen und der Gleichgewichtssinn [Sch98].

**Spinal** (lat. „dornförmig“): Die Wirbelsäule, das Rückenmark betreffend, bzw. zum Rückenmark gehörend [Thi80; Mey97; Dud97]. Auf spinaler Ebene werden elementare Handlungs- und Bewegungsabläufe, die sich im Laufe der Entwicklung als stereotype Reaktionen (Reflexe) auf sensible Reize ausgebildet haben, gesteuert. Die Fehlerkontrolle motorischer Kommandos erfolgt unbewusst und ist nicht aufmerksamkeitsabhängig, gleichzeitig sind viele Korrekturen möglich, kortikale Korrekturzeiten liegen bei 30 - 80 ms [Hei94] (vgl. →*kortikal, →supraspinal*).

**Spinalnerven** (Rückenmarksnerven): Paarige, meist in jedem Körpersegment vorhandene, dem Rückenmark über je eine vordere und eine hintere Wurzel entspringende Nerven beim Menschen. In den vorderen Wurzeln verlaufen →*efferente*, in den hinteren Wurzeln →*afferente* Fasern. Die Spinalnerven versehen die Streckmuskulatur des Rückens, die vordere Rumpfmuskulatur, die Extremitätenmuskulatur und die entsprechenden Hautbezirke mit Nerven bzw. Nervenreizen (innervieren) [Thi80; Mey97].

**Stützmotorik:** Darunter werden die an motorischen Aktionen beteiligten Halte- und Stellreflexe verstanden, die den Rückhalt für die zielgerichteten motorischen Handlungen bilden (→*Zielmotorik*). Die dabei beteiligten Anteile des Nervensystems sind für die aufrechte Haltung des Organismus verantwortlich [Haa76].

**Styleguide** (auch: UIG, User Interface Guideline oder Toolkit): Ein Styleguide ist ein Regelwerk zur Festlegung des Verhaltens und zur grafischen Gestaltung von meist direkt manipulativen Benutzungsoberflächen. Teilweise werden darunter auch nur die Ausgestaltung (z.B. durch Skins) der rein grafischen Benutzungsoberfläche verstanden. Die gebräuchlichsten Styleguides sind eng mit dem zugrundeliegenden Betriebssystem

verbunden, z.B. Macintosh, OSF/Motif, NeXTSTEP, Microsoft Windows [Zei94; Mar95]. Für Werkzeugmaschinen existiert ein eigener Styleguide [Hüm97].

**Supraspinal:** Anatomisch und/oder funktionell oberhalb des Rückenmarks. Beim supraspinalen motorischen System fließen von übergeordneten Hirnstrukturen (v.a. →*kortikale* Systeme) Impulse zu und werden mit →*afferenten* Erregungen der Sinnesorgane und anderen →*somatosensorischen* Funktionen des Gehirns abgestimmt. Es ist verantwortlich für →*Willkürbewegungen* und fasst Bewegungskomponenten zu zielgerichteten Handlungen zusammen. Es kann in extrapyramidales und →*pyramidales System* und motorisches Assoziationssystem unterteilt werden [Thi80].

**System, spezifisch** (Leminiscales System): Spezifisch werden diejenigen zentralnervösen Bestandteile des sensorischen Systems genannt, die nur einen anatomisch und neurophysiologisch geordneten →*afferenten* Hauptstrom aus einer einzigen peripheren Sinnesfläche besitzen. Das spezifische System ist entwicklungsgeschichtlich ein junges System. Gut bekannt sind bisher spezifische Systeme für die Mechanorezeptoren der Haut, für die Rezeptoren des Auges und für die des Innenohrs [Sch85a]. Die hier wahrgenommenen →*Sinnesmodalitäten* sind Sehen, Hören, Schmecken, Riechen, Fühlen und der Gleichgewichtssinn [Sch98].

**System, unspezifisch** (Extraleminiscales System): Dem entwicklungsgeschichtlich alten unspezifischen sensorischen System fehlt im Vergleich zum →*spezifischen System* die Eindeutigkeit des →*afferenten* Zustroms (multimodale oder multisensorische →*Konvergenz*). Es wird aus mehreren Sinnesoberflächen konvergierend erregt. Hinsichtlich Verhalten und Wahrnehmung werden dem unspezifischen System folgende Funktionen zugeschrieben: Tönung von Wahrnehmungen (Lust, Unlust), Steuerung der Bewusstseinslage (Schlaf-Wachrhythmus), Orientierungsreaktionen (Hinwendung zu neuen Reizen). Im Vergleich zum spezifischen System sind die neuronalen Funktionen des unspezifischen Systems noch sehr wenig erforscht. Bei den beiden Systemen handelt es sich nicht um getrennt aktivierbare Subsysteme, denen jeweils eindeutig bestimmbare Wahrnehmungsphänomene zugeordnet werden können. Durch sensorische Reize der Umwelt werden beide Systeme zusammen aktiviert und sie stehen in vielfältigen Wechselwirkungen [Sch85a].

**Taktil** (lat., Oberflächensensibilität): Die taktile Wahrnehmung erfolgt durch →*Rezeptoren* in der Haut. Es handelt sich dabei um Merkel-Zellen, Ruffini-, Meißner- und Pacini-Körperchen. Sie sind in der Lage Druck, Berührung und Vibrationen auf der Haut wahrzunehmen [Kli00].

**Taste, virtuelle:** Bedienelement, welches auf dem Bildschirm angezeigt wird und über ein Interaktionsgerät betätigt wird. Sie existiert nicht als reale Taste, sondern ist nur ihrer Wirkung nach vorhanden [VDI/VDE3850-2].

**Tastraum:** Der zur Betätigung erforderliche Freiraum oberhalb einer Taste und zwischen den Nachbartasten [VDI/VDE3850-2].

**Taxonomie:** Einordnung in ein bestimmtes System nach systematischen Kategorien [Mey97].

**Umfassungsgriff:** Beim Umfassungsgriff wird das Objekt umschlossen, die Kopplungsglieder liegen vollständig an (vgl. →*Zufassungsgriff*, →*Kontaktgriff*). Die Kopplungsglieder können die Finger selbst oder die einzelnen Fingerglieder (Grund-, Mittel-, Endglied) sein [Bul94; Fäh83].

**Validität:** Die Validität eines Tests gibt an, wie gut der Test in der Lage ist, genau das zu messen, was er zu messen vorgibt (vgl. → *Gültigkeit*) [Bor95].

**Variable, abhängig:** Die abhängige Variable (AV) ist diejenige Variable, deren Veränderung infolge der unabhängigen Variable gemessen wird. Die abhängige Variable (z.B. Reaktionszeiten, Verhaltensänderungen, Antworten in Tests und Fragebögen) soll die Wirkung durch die unabhängige Variable erfassen. Die abhängige Variable heißt deshalb abhängige Variable, weil ihre Ausprägungen eine Funktion der unabhängigen Variable sind und insofern von der unabhängigen Variable abhängen [Bou01; Bor95; Sac99].

**Variable, Störvariable:** Die Störvariable (SV) ist diejenige Variable, die neben der interessierenden unabhängigen Variablen einen unerwünschten Einfluss auf die abhängige Variable ausübt. Störfaktoren müssen eliminiert oder zumindest kontrolliert werden. Störvariablen können lokalisiert werden in Personen durch Persönlichkeitsmerkmale, unterschiedliche Fähigkeiten, Motive, Interessen oder in der Umwelt: durch variierende Situationsmerkmale bei Versuchssituation oder Versuchsleiter, bestimmte unkontrollierbare äußere Ereignisse, Effekte, die auf Messungen zurückgehen (Sensibilisierung, Ermüdung usw.) [Bou01; Bor95; Sac99].

**Variable, unabhängig:** Die unabhängige Variable (UV) ist diejenige Variable, die in einer Untersuchung variiert wird, um deren Auswirkungen auf die abhängige Variable zu erfassen. Die unabhängige Variable ist die vermutete Einflussgröße bzw. die Ursache. Die unabhängige Variable heißt deshalb unabhängig, weil der Forscher diese Variable frei gestalten oder zumindest auswählen kann. Im einfachsten Fall besteht die unabhängige Variable aus zwei Ausprägungen, z.B.: aus irgendeiner experimentellen Bedingung und einer Kontrollbedingung [Bou01; Bor95; Sac99].

**Variable, Zusammenhang:** Bei der statistischen Forschung interessiert, wie die Ausprägungen der unabhängigen Variable (UV) auf die Ausprägungen der abhängigen Variable (AV) wirken. Dabei soll die Veränderung in der AV nicht auf Störvariablen (SV) zurückgehen. Wie die Beziehung zwischen UV und AV aussehen soll, muss zuvor theoretisch geklärt werden, da davon unter anderem die Anzahl und die Ausprägungen der einzelnen Stufen der UV und letztlich der gesamte Versuchsaufbau abhängt. Eine Beziehung kann mathematisch durch eine Funktion ausgedrückt werden und lautet in einem recht einfachen Fall  $Y = mX$ . Hierbei wäre X die UV und Y die AV. Die Wirkrichtung der UV zur AV kann einfach (meist linear) monoton steigend oder fallend sein (z.B.: Je höher (tiefer) die UV, desto höher (tiefer) die AV). Die Beziehung zwischen UV und AV kann aber auch komplizierter aussehen (z.B.: Mit wachsender UV steigt die AV zunächst an, um danach wieder abzufallen). Ob eine Variable UV, AV oder SV ist, ergibt sich nicht aus dem Namen der Variablen, sondern aus der Funktion, die dieser Variablen im Forschungsprozess verliehen wird. So kann etwa die Auswirkungen der Erfahrung von Benutzern beim Gebrauch von Interaktionsgeräten (UV) auf die Versuchszeit (AV) untersucht werden. Es kann aber auch der Frage nachgegangen werden, ob und wie Versuchszeiten (UV) die Erfahrung (AV) verändern. Der Begriff Erfahrung könnte in beiden Fällen unterschiedlich operationalisiert worden sein. Die Geschicklichkeit der Benutzer könnte in beiden Untersuchungen eine Störvariable (SV) darstellen in dem Sinne, dass sowohl Erfahrung wie auch Versuchszeiten von der Geschicklichkeit mitbeeinflusst werden. In einer dritten Studie könnte man gerade diese Frage klären wollen: Wie stark bedingt die Höhe der Geschicklichkeit (jetzt als UV) die Unterschiedlichkeit in der Erfahrung (AV) [Bou01; Bor95; Sac99].

**Visuelle Dominanz:** Tendenz der visuellen Information, Aufmerksamkeit leichter als die Information anderer Sinne auf sich zu ziehen [Gol97].

**Willkürbewegung:** Als Willkürbewegung werden absichtliche Bewegungen mit Ziel und Zeitsetzung bezeichnet. Willkürbewegungen werden durch unbewusste niedere sensorische Mechanismen geregelt und enthalten subjektive Komponenten wie Willensakt, Bewegungsabsicht und Bewegungsentwurf [Haa76].

**Zentralnervensystem (ZNS):** Aus Gehirn und Rückenmark bestehender Anteil des Nervensystems [Mey97].

**Zielamplitude (Bewegungsamplitude):** In Zielaufgaben die lineare Distanz, die ein Objekt vom Beginn bis zum Ende der Bewegung durchmisst ("A" in  $\rightarrow$ FITTS Gesetz;  $\rightarrow$ Zielweite) [Dou97].

**Zielmotorik:** Darunter wird der zielgerichtete dynamische Anteil einer motorischen Handlung verstanden. Die dabei beteiligten Anteile des Nervensystems sind für Bewegungen des Organismus verantwortlich. Grundlage der Bewegung ist die Haltung und Stütze ( $\rightarrow$ Stützmotorik). Da die Durchführung motorischer Handlungen auch sensorische Informationen über die aktuelle motorische Situation erfordert, wird zusammenfassend der Begriff  $\rightarrow$ Sensomotorik verwendet [Haa76].

**Zielweite:** In Zielaufgaben die lichte Weite des Ziels ("W" in  $\rightarrow$ FITTS Gesetz;  $\rightarrow$ Zielamplitude) [Dou97].

**Zufassungsgriff.** Der Zufassungsgriff ist geschlossen, die Kopplungsglieder liegen von mehreren Seiten punktuell am Objekt an. Die wirksame Kraftübertragung ist geringer als beim Umfassungsgriff (vgl.  $\rightarrow$ Umfassungsgriff,  $\rightarrow$ Kontaktgriff). Die Kopplungsglieder können die Finger selbst oder die einzelnen Fingerglieder (Grund-, Mittel-, Endglied) sein [Bul94; Fäh83].

**Zuverlässigkeit (Reliabilität):** Bezeichnet den Grad der Messgenauigkeit eines Tests bzw. einer Beurteilung. Sie wird (üblicherweise) als Korrelationskoeffizient angegeben. Unterschieden werden zur Bestimmung der Zuverlässigkeit vor allem drei Methoden: Testwiederholungs-Methode, Paralleltest-Methode, Test-Halbierungs-Methode (einschl. des Spezialfalls der Konsistenzanalyse). Der Zuverlässigkeitskoeffizient ist der als Korrelationskoeffizient angegebene Grad der Zuverlässigkeit eines Tests bzw. einer Beurteilung ( $\rightarrow$ Korrelation) [Bor95].

**Zweipunktschwelle:**  $\rightarrow$ Auflösungsvermögen, räumlich

## 11 Anhang



## Inhalt Anhang

<b>Anhang A</b>	<b>Ergänzungen zu den Grundlagen der Interaktion .....</b>	<b>165</b>
A.1	Somatosensorische Ergänzungen.....	165
A.1.1	Vom Sinnesreiz zur Wahrnehmung .....	165
A.1.2	Aufbau der Haut und Exterozeption .....	166
A.1.3	Mechanorezeptoren.....	167
A.1.4	Merkmale von Mechanorezeptoren .....	168
A.1.5	Propriozeption .....	171
A.2	Sensomotorische Ergänzungen .....	172
A.2.1	Komponenten der Sensomotorik .....	172
A.2.2	Sensomotorik im Nervensystem .....	174
A.2.3	Komponenten des Erlernens von Bewegungen.....	178
A.3	Ergonomische Ergänzungen.....	179
A.3.1	Körperstellung und allgemeine Bezeichnungen des menschlichen Körpers.....	179
A.3.2	Kopplungsarten und Reibung .....	180
A.3.3	Greifen von Objekten.....	181
A.3.4	Belastung des Hand-Arm-Systems.....	182
A.4	Ergänzungen zur Interaktion .....	183
A.4.1	Mouse .....	183
A.4.2	Trackball (Rollkugel).....	184
A.4.3	Mousepad (Fingermaus).....	185
A.4.4	Mousebutton (Maus-Knopf) .....	185
A.4.5	Mousestick (Maus-Steuerknüppel) .....	186
A.4.6	Joystick (Steuerknüppel) .....	186
A.4.7	Digitizing Tablet (Graphiktablett).....	187
A.4.8	Touchscreen (Berührempfindlicher Bildschirm) .....	188
A.4.9	Display-Control Gain (D/C Gain).....	188
A.5	Ergänzungen zur Modellierung.....	190
A.5.1	Modellbildung .....	190

A.5.2	Kognitive Modelle.....	190
A.5.3	Psychomotorische Modelle .....	193
A.5.4	Gerätemodelle .....	197
<b>Anhang B</b>	<b>Ergänzungen zu den experimentellen Untersuchungen .....</b>	<b>203</b>
B.1	Testsoftware .....	203
B.1.1	Erste Schritte .....	203
B.1.2	DEVICE CLICK-Aufgaben.....	204
B.1.3	DEVICE DRAG&DROP-Aufgaben .....	205
B.1.4	FITTS-Aufgaben .....	205
B.2	Versuchsdurchführung.....	210
B.2.1	Informationen für die Versuchspersonen.....	210
B.2.2	Fragebogen.....	211
B.2.3	Beobachtungsprotokoll.....	214
B.2.4	Nomenklatur.....	215
B.2.5	Permutationsplan .....	217
B.3	DEVICE – Kennwerte und Merkmalswerte .....	219
B.3.1	Pointing Device Index (pak-PDI) .....	219
B.3.2	PDI für CLICK-Aufgaben .....	221
B.3.3	PDI für DRAG&DROP-Aufgaben.....	222
B.3.4	Referenzwerte.....	223
B.4	FITTS – Kennwerte und Merkmalswerte.....	224
B.4.1	Berechnung des Index of Performance .....	224
B.5	Testgütekriterien.....	224
B.5.1	Axiome der Testtheorie .....	224
B.5.2	Objektivität .....	225
B.5.3	Reliabilität .....	226
B.5.4	Validität .....	227
B.5.5	Utilität.....	228
B.6	Mathematische und statistische Grundlagen.....	228
B.6.1	Streuungsmaße .....	228
B.6.2	Statistische Messskalen .....	229
B.6.3	Vertrauens- und Irrtumswahrscheinlichkeit.....	229
B.6.4	Signifikanz .....	230

B.7	Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen .....	230
B.7.1	Regressionsanalyse .....	230
B.7.2	Korrelationsanalyse .....	231
B.7.3	Mittelwertdifferenzentest (t-Test) .....	236
B.7.4	Varianzquotiententest (F-Test) .....	240
<b>Anhang C</b>	<b>Vergleich der Versuchsergebnisse .....</b>	<b>241</b>
C.1	Ergebnisse der Versuchsaufgaben DEVICE .....	241
C.1.1	PDI-Kennwerte 1998 für das Merkmal Erfahrung.....	241
C.1.2	PDI Kennwerte 1998 für das Merkmal Bedienung.....	242
C.1.3	PDI Kennwerte 1998 und 2001 für das Merkmal Gerätegestaltung.....	243
C.2	Ergebnisse der Versuchsaufgaben FITTS 2001 .....	248
C.3	Beurteilung des Versuchsinstrumentariums .....	249
C.3.1	Vergleich DEVICE 1998 mit DEVICE 2001 .....	249
C.3.2	Vergleich DEVICE 2001 und FITTS 2001 .....	252
C.3.3	Vergleich generelles und individuelles Instrumentarium.....	253
<b>Anhang D</b>	<b>Steckbriefe der Interaktionsgeräte .....</b>	<b>255</b>
D.1	Mouse: I-MAUS .....	255
D.2	Mouse: Anir-Maus .....	256
D.3	Mouse: MICROPOINT .....	257
D.4	Mouse: MICROPOINT ERGO .....	258
D.5	Mouse: TRACKBAR .....	259
D.6	Trackball: TB5 .....	260
D.7	Trackball: TB5 ERGO .....	261
D.8	Trackball: MOUSETRACK EVOLUTION .....	262
D.9	Trackball: MOUSETRACK INDUSTRIAL .....	263
D.10	Trackball: LOGITECH .....	264
D.11	Trackball: MINI.....	265
D.12	Mousepad: SMARTCAD TRACKPAD .....	266
D.13	Mousepad: TOUCHPAD ERGO .....	267
D.14	Mousebutton: CYBERCLICK .....	268
D.15	Mousebutton: DURAPPOINT .....	269
D.16	Mousebutton: HULAPPOINT .....	270

D.17	Mousebutton: MICROBUTTON .....	271
D.18	Mousebutton: MOBILE BUTTON .....	272
D.19	Mousebutton: BUTTONSTICK ERGO .....	273
D.20	Mousestick: MICROSTICK .....	274
D.21	Mousestick: MICROJOYSTICK .....	275
D.22	Joystick: INDUSTRIE-MAUS .....	276
D.23	Joystick: INDUSTRIE-JOYSTICK .....	277
D.24	Digitizing Tablet: SMARTTABLET .....	278
D.25	Touchscreen: ACCU TOUCH.....	279
D.26	Keyboard: CHERRY .....	280
	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>281</b>

## Anhang A Ergänzungen zu den Grundlagen der Interaktion

### A.1 Somatosensorische Ergänzungen

#### A.1.1 Vom Sinnesreiz zur Wahrnehmung

Das primäre Werkzeug des Menschen für die Interaktion mit den in dieser Arbeit betrachteten Koordinatengebern ist die menschliche Hand. Der Gebrauch der Hand erscheint im hohen Maße selbstverständlich: Einen Nagel in die Wand schlagen, einen Bleistift in die Hand nehmen oder eine Computermaus benutzen sind alltägliche Handlungen, auf die im Allgemeinen keine besondere Aufmerksamkeit gerichtet ist. Die Komplexität solcher Handlungen wird deutlich beim einfachen Beispiel des Bleistifts, der von einer Tischunterlage aufgenommen und mit geschickten Fingerbewegungen in eine Schreibposition gebracht wird. Derzeit existiert noch keine künstliche Hand, die diese Aufgabe zu leisten vermag [Weh99]. Neben der Aufgabe, die Funktion der Muskeln und Sehnen mit Mikromotoren oder Hydraulikzylindern zu konstruieren, existieren Schwierigkeiten bei der Nachbildung der ausgefeilten neurologischen Steuerung, die die Hand erst zu dem macht, was sie ist. Die Hand ist sowohl ein Organ der Handlung als auch der Wahrnehmung.

Die Sinne des Menschen sind die "Antennen", die das, was um ihn herum geschieht, aufnehmen. Über *Rezeptoren* der Sinnesorgane "Augen, Ohren, Riechzellen, Geschmacksknospen" können die chemischen und physikalischen Reize, die täglich auf ihn einströmen, aufgenommen werden. Sie führen über das Rückenmark zu Reflexen und lösen durch Zentren innerhalb der Hirnrinde Empfindungen aus. Ein Modell der Abbildungsverhältnisse vom objektiven Sinnesreiz zur subjektiven Wahrnehmung ist in Abbildung A-1 dargestellt (die Pfeile bedeuten „führt zu“ oder „induziert“) [Sch00].

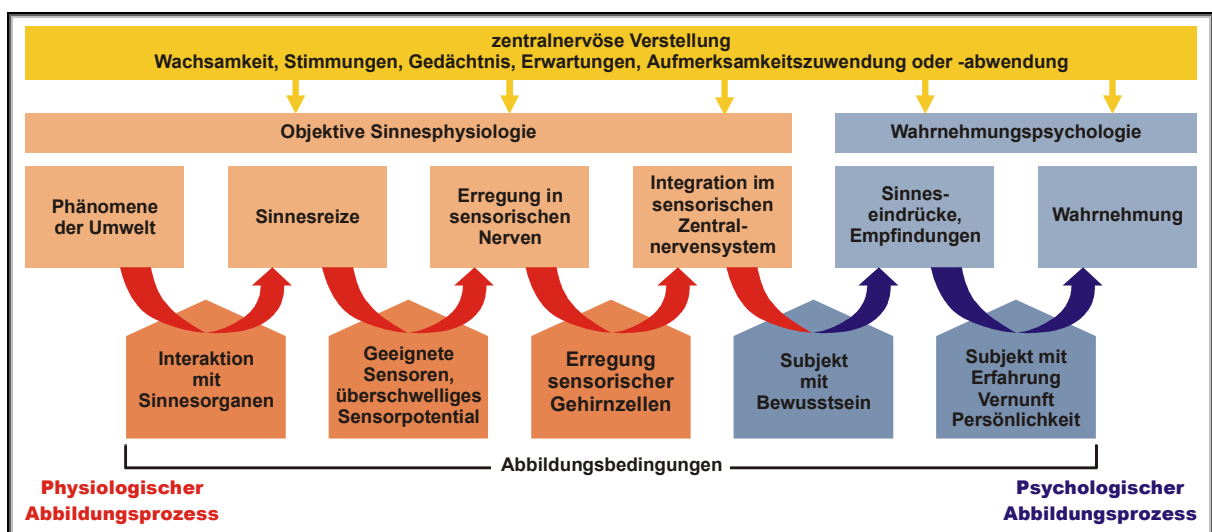


Abbildung A-1 Schema der physiologischen und psychologischen Abbildungsverhältnisse

Empfindungen, die wahrgenommen werden, lassen sich unter dem Begriff "sensorisch" zusammenfassen, teilweise werden sensorische und sensible Empfindungen unterschieden. Zu den sensorischen Empfindungen zählt das Hören, das Sehen, das Riechen und das Schmecken. Als oberflächensensible Empfindungen werden Schmerz, Kälte- und Wärmeempfinden, Berührung und leichter Druck bezeichnet (Exterozeptoren). Als tiefensensible Empfindungen gelten Druck, tiefer Schmerz, Vibrationempfinden, Muskellage- und Gelenklagesinn (Propriozeptoren). Schließlich gibt es eingeweidesensible Empfindungen, die über Schmerz- und Druckrezeptoren ein Gefühl im Eingeweidebereich vermitteln (Viszerozeptoren). Im folgenden Abschnitt wird die Struktur der sensiblen Systeme, die für die Interaktion mit Koordinatengebern wichtig sind, erläutert.

### A.1.2 Aufbau der Haut und Exterozeption

Den Aufbau der behaarten und unbehaarten Haut mit den Positionen und Strukturen der verschiedenen Typen von *Mechanorezeptoren* zeigt Abbildung A-2 schematisch in Bild B und Bild C [Sch00].

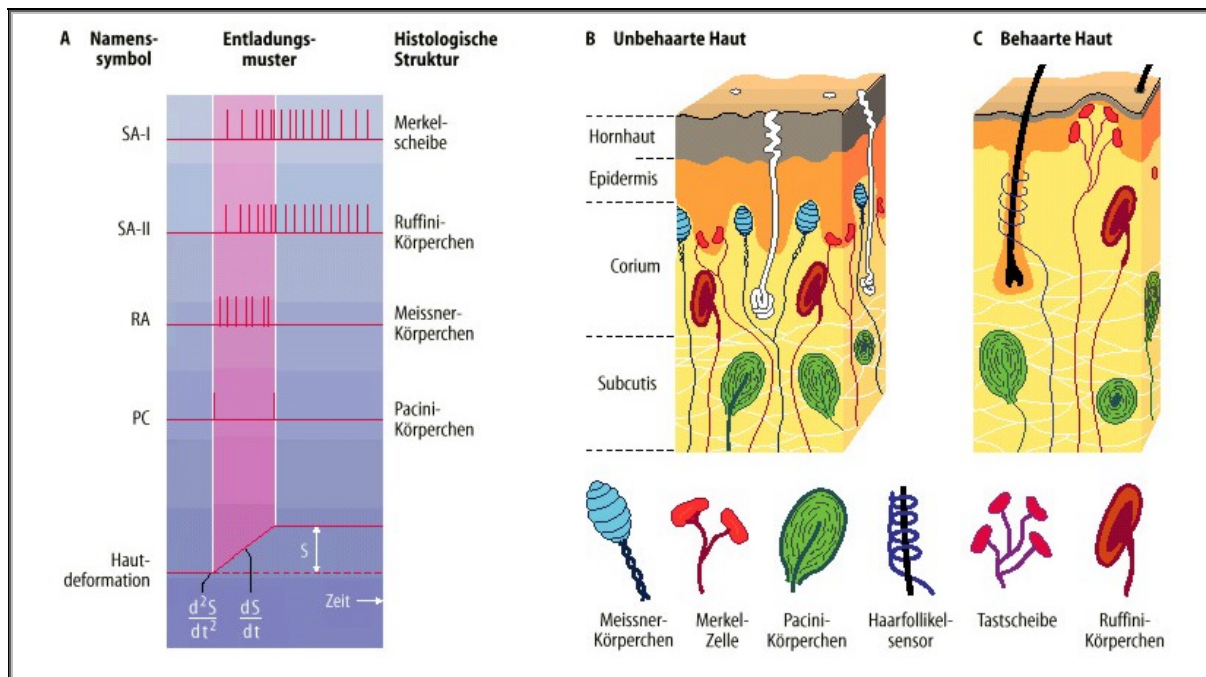


Abbildung A-2 Aufbau der Haut<sup>36</sup>

In Abbildung A-2 ist ebenfalls das Reiz-Antwort-Verhalten dargestellt. Für alle Sinnesorgane spielt die Art des Reizes, die Stärke, mit der ein Reiz ausgelöst wird, und der Ortsbezug eines Reizes eine Rolle. Zwar kann der Mensch mit Hilfe seiner Sinnesorgane über tausend Millionen Informationen in der Sekunde aufnehmen, diese werden jedoch vor der Weitergabe an das Gehirn ausgefiltert. Eine wichtige Rolle spielen hierbei die Rezeptoren, die gleichbleibend starke Reize nicht mehr registrieren und weitergeben, so dass eine Reizüberflutung ausbleibt. Die Art dieser Anpassung der Rezeptoren an viele Dinge unseres Lebens, die nicht mehr bewusst wahrgenommen werden (Brille auf der Nase oder Ring am Finger), bezeichnet man als *Adaption*. Die Schmerzrezeptoren zeigen keine

<sup>36</sup> PC steht für "pacinian corpuscle", NP für "non pacinian", SA für "slowly adapting" und RA für "rapidly adapting"

Adaption. Es würde sich ungünstig für den Menschen auswirken, wenn ein Schmerz durch Anpassung plötzlich erträglich würde und seine Ursache nicht beseitigt würde.

In Bild A sind die charakteristischen neuronalen Entladungsmuster der wichtigsten vier Typen empfindlicher Mechanosensoren in der unbehaarten Haut bei einer stetigen Hautdeformation untereinander dargestellt. Unten wird der Zeitverlauf der mit einem elektro-mechanischen Hautreizgerät erzeugten rampenförmigen Hautdeformation mit der Eindrucktiefe  $S$  gezeigt. Bei den langsam adaptierenden Rezeptoren (SA I, SA II) ruft der kontinuierliche Reizvorgang langdauernde, allmählich abklingende Nervenfasere-ntladungen, bei schnell adaptierenden Rezeptoren (RA, PC) dagegen nur kurzdauernde Entladungsgruppen oder einen Einzelpeak hervor [Gau72].

### A.1.3 Mechanorezeptoren

Die *Mechanorezeptoren* können in die drei *Sinnesqualitäten*, Druck-, Berührung- und Vibrationsempfindung<sup>37</sup> eingeteilt werden (vgl. Tabelle A-1). In Bezug auf ihren entsprechenden Reiz übertragen sie bevorzugt jeweils einen der drei Parameter *Intensität*, *Geschwindigkeit* oder *Beschleunigung* eines mechanischen Reizes. Nach ihrem Verhalten auf konstante Druckreize können sie in langsam, mittelschnell oder sehr schnell adaptierend eingestuft werden. Die *Adaption* ist die Erhöhung der Reizschwelle eines Sinnesorgans bei kontinuierlicher Reizung. Nachfolgend wird die Funktion der einzelnen Detektoren genauer erläutert.

*Tabelle A-1 Klassifikation von Mechanorezeptoren nach Ihrem Adaptionsverhalten, nach ihrem entsprechenden Reiz und nach der übermittelten Sinnesqualität*

	Klassifikation nach den Sinnesqualitäten		
	Druckempfindung	Berührungsempfindung	Vibrationsempfindung
	Klassifikation nach entsprechendem Reiz		
	Intensitätsdetektor	Geschwindigkeitsdetektor	Beschleunigungsdetektor
	Adaption bei konstantem Druckreiz		
	langsam	mittelschnell	sehr schnell
<b>Unbehaarte Haut</b>	Merkel-Zelle, Ruffini-Körperchen	Meissner-Körperchen	Pacini-Körperchen
<b>Behaarte Haut</b>	Tastscheibe, Ruffini-Körperchen	Haarfollikel-Receptor	Pacini-Körperchen

Die langsam adaptierenden **Intensitätsdetektoren** (Druck- oder Spannungsrezeptoren<sup>38</sup>) messen die Stärke oder Eindrucktiefe eines mechanischen Hautreizes. Da sie auch nach langer Zeit nicht vollkommen adaptieren, geben sie ebenfalls die Dauer eines Druckreizes an. Die Drucksensoren der Haut für Reize senkrecht zur Hautoberfläche sind die Merkel-Zellen. Sie sind in der unbehaarten Haut in kleinen Gruppen in den untersten Schichten der Epidermis angeordnet. In der behaarten Haut liegen sie in punktförmig über die Hautoberfläche herausragenden Tastscheiben. In der behaarten und unbehaarten Haut liegen die ebenfalls langsam adaptierenden Ruffini-Körperchen. Diese antworten vor allem auf die Dehnung der Haut, teilweise sind sie sogar richtungsempfindlich. Die Ruffini-

<sup>37</sup> In [Bir96] wird noch die Kitzelempfindung als weitere Sinnesqualität genannt. Da sie sich nicht für die Mensch-Maschine-Interaktion eignet, wird sie hier nicht weiter verfolgt.

<sup>38</sup> Sensoren wie die Druckrezeptoren, die in erster Linie die Intensität eines Reizes übermitteln, werden in Anlehnung an technische Messfühler auch Proportionalrezeptoren oder P-Rezeptoren genannt.

Körperchen können folglich Informationen über die Stärke und Richtung von Scherkräften vermitteln, die in der Haut und zwischen Haut und Unterhaut, beispielsweise bei Gelenkbewegungen oder beim Umgang mit Koordinatengebern, auftreten.

**Geschwindigkeitsdetektoren** (Berührungsrezeptoren<sup>39</sup>) ermöglichen beim aktiven Betasten das Erkennen von Form und Oberfläche eines Gegenstandes. Werden einige Haare auf dem Handrücken bewegt, ohne die Haut selbst zu berühren und werden anschließend die Haare in ihrer neuen Stellung festgehalten, so entsteht nur während der *Bewegung* der Haare eine Empfindung. Die Haarfollikel-Rezeptoren registrieren also vor allem die Bewegung des Haares und die Geschwindigkeit dieser Bewegung. In der unbehaarten Haut werden solche Bewegungen von den mittelschnell adaptierenden Meissner-Körperchen sensorisch erfasst. Sie senden nur solange Reize wie die Haut deformiert wird, jedoch nicht nach Beendigung der Bewegung. Bei Dauerreizen adaptieren diese Rezeptoren innerhalb von 50 – 500 ms. Besonders empfindlich sind die Fingerbeeren.

Als **Beschleunigungsdetektoren** (Vibrationsrezeptoren) funktionieren die Pacini-Körperchen, die auf mechanische Reize unabhängig von Stärke und Dauer des Stimulus mit je einem Impuls zu Beginn und Ende eines Reizes antworten. Da diese Rezeptoren sehr schnell adaptieren, können sie kurz hintereinander auftretende Impulse einzeln erkennen und weiterleiten (größte Empfindlichkeit bei 100-300 Hz Impulsfrequenz). Außer in der Unterhaut finden sie sich noch in unterschiedlicher Anzahl an Sehnen und Muskeln, der Knochenhaut und in den Gelenkkapseln.

#### A.1.4 Merkmale von Mechanorezeptoren

Neben der Sinnesqualität, ihrer Detektorfunktion und der wahrgenommenen Empfindung lassen sich die *Mechanorezeptoren* nach *Empfindungsschwelle*, *Rezeptorfeldgröße*, *Rezeptordichte* und räumlichem *Auflösungsvermögen* unterscheiden. Der Anteil der einzelnen Typen von Mechanorezeptoren und die Dichte ihrer Anordnung an den Fingerspitzen, Fingerflächen und Handinnenflächen können Abbildung A-3 entnommen werden.

Die **Innervationsdichte** (Rezeptordichte) ist für die räumliche Genauigkeit der taktilen Wahrnehmung in der Haut verantwortlich. Die menschliche Innenhand wird von ca. 17.000 mechanorezeptiven Fasern versorgt. Auffällig ist der hohe Anteil an Meissner-Körperchen und deren beträchtliche Dichte in den Fingerspitzen, die sicherlich für das gute räumliche Auflösungsvermögen der Fingerspitzen verantwortlich sind. Generell sind die rasch adaptierenden Rezeptoren eindeutig in der Überzahl. Dies ist funktionell sinnvoll, da Änderungen des Reizgeschehens in der Regel für den Organismus wichtiger sind als die absolute Größe der Intensität, Dauer oder Frequenz eines Reizes.

Als taktile **Empfindungsschwelle** wird die minimal notwendige Eindrucktiefe der Haut, die zu einer gerade wahrnehmbaren Berührungsempfindung führt, bezeichnet. An den Fingern werden z.B. Einstülpungen schon in der Größenordnung von 6 µm wahrgenommen, während in der Handfläche die Schwelle bei ca. 20 µm liegt [Bir96].

Die **Rezeptorfeldgröße** ist das Hautareal, von dem eine mechanorezeptive Faser erregt werden kann (rezeptives Feld). Es entspricht der anatomischen Ausdehnung aller Endigungen der Faser. So versorgt z.B. eine *afferente* Nervenfasern zwei bis zehn benachbarte

---

<sup>39</sup> Berührungsrezeptoren werden in Anlehnung an technische Messfühler auch als Differentialrezeptoren oder D-Rezeptoren bezeichnet. Mischformen von Druck- und Berührungssensoren werden PD-Rezeptoren oder PD-Fühler genannt.



Meissner-Körperchen. Bei den Haarfollikelrezeptoren versieht eine Nervenfasern ca. 30 Haarfollikel. Beim Menschen sind die rezeptiven Felder der Meissner-Körperchen und der Merkel-Zellen in der Hand mit durchschnittlich  $12 \text{ mm}^2$  am kleinsten. Die rezeptiven Felder der Ruffini- und Pacini-Körperchen sind ca. um den Faktor zehn größer.

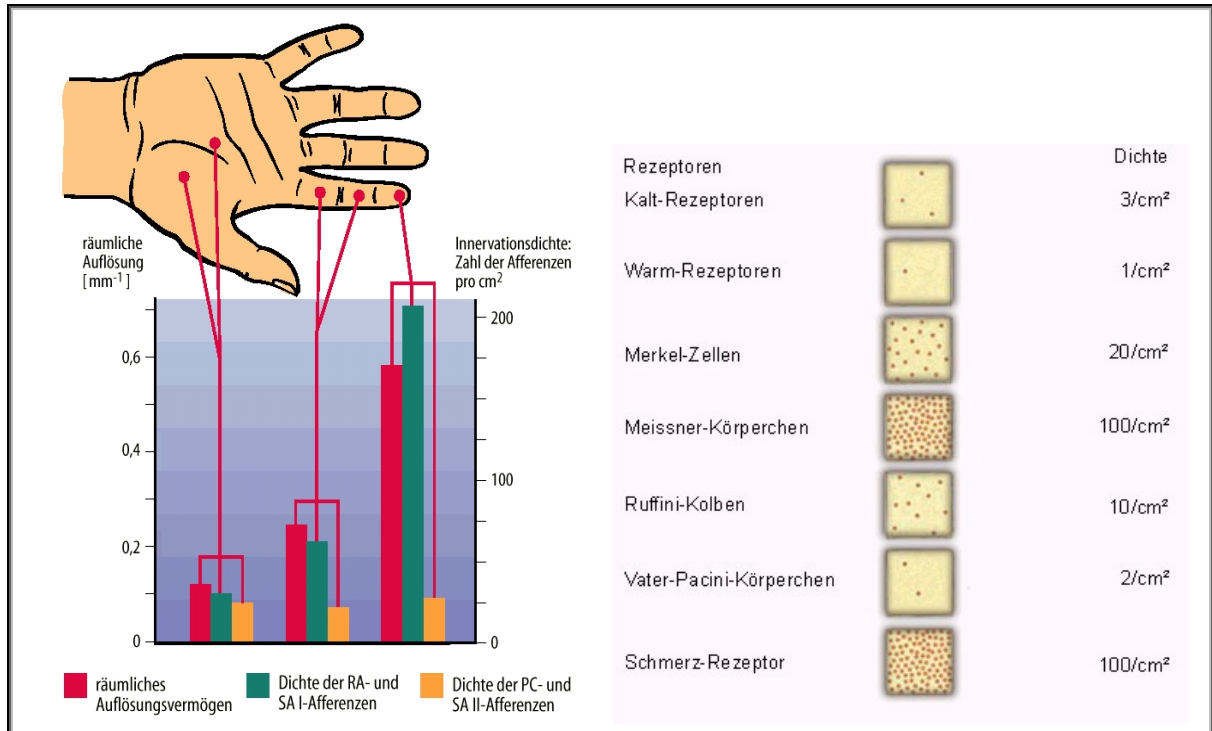


Abbildung A-3 Innervationsdichte der Mechanosensoren und räumliches Auflösungsvermögen des Tastsinns (RA = Meissner, SA I = Merkel, PC = Pacini, SA II = Ruffini)

Als Maß für das räumliche **Auflösungsvermögen** der Haut für taktile Reize wird die Bestimmung der räumlichen Unterschiedsschwelle (simultane Raumschwelle oder Zweipunktschwelle) herangezogen. Dabei wird mit einem abgestumpften Stechzirkel der räumliche Abstand zwischen zwei gleichzeitigen taktilen Reizen gemessen, bei dem diese gerade noch als getrennt wahrgenommen werden. Von sukzessiver Raumschwelle wird gesprochen, wenn die zwei taktilen Reize nacheinander erfolgen. Diese ist deutlich besser als die simultane, oft viermal so gut. Das Auflösungsvermögen der Mechanorezeptoren ist keine unveränderbar feste Größe. Die Raumschwellen können durch Übung, selbst innerhalb einiger Stunden, etwa halbiert werden. Dabei bleiben allerdings die Empfindungsschwellen unverändert. Beim Menschen ist die Rezeptordichte der Meissner-Körperchen und der Merkel-Zellen an verschiedenen Stellen der Hand proportional zum räumlichen Auflösungsvermögen. Die Rezeptordichten der Ruffini-Körperchen und der Pacini-Körperchen zeigen dagegen keinen Zusammenhang mit dem Auflösungsvermögen des Tastsinns. In Abbildung A-4 ist die Zweipunktschwelle mit der entsprechenden Druckschwelle angegeben. Deutlich sind hier die Unterschiede in der Zweipunktschwelle zwischen Hand (5 mm) und z.B. Oberarm (40 mm) [Sch00].

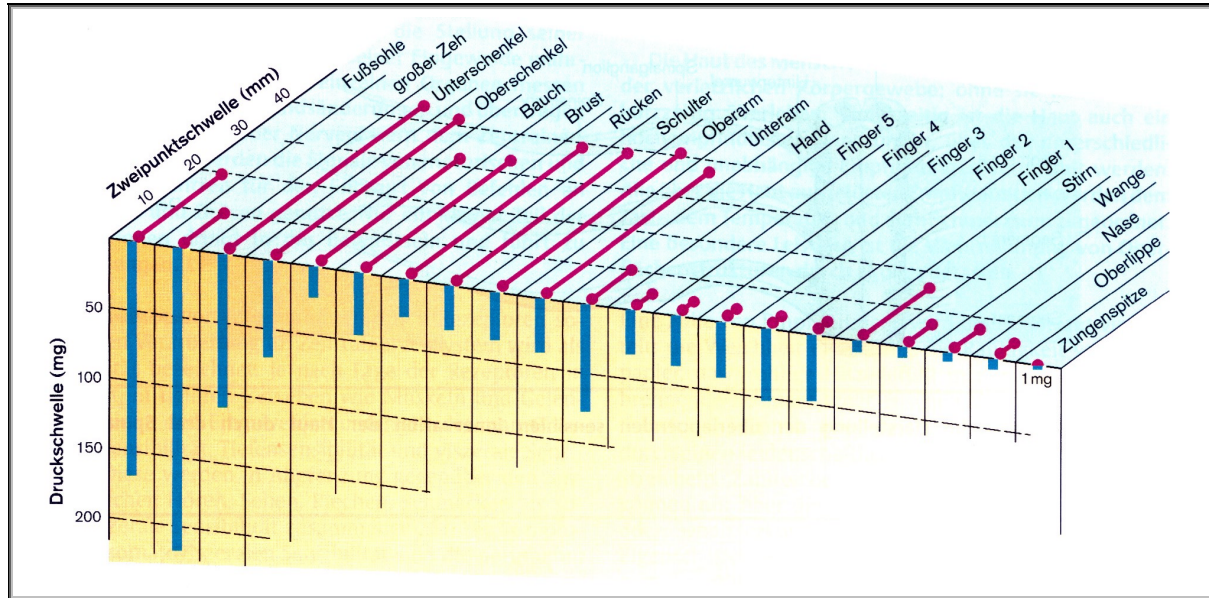





Abbildung A-4 Mittlere Druckschwellen und Zweipunktschwellen an verschiedenen Körperstellen des Menschen (der 1. Finger entspricht dem Daumen, der 5. Finger dem kleinen Finger)




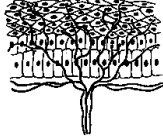
Eine zusammenfassende Übersicht über die verschiedenen Mechanorezeptoren gibt Tabelle A-2.

Tabelle A-2 Mechanorezeptoren und ihre Eigenschaften<sup>40</sup>

Rezeptorstruktur (Subsystem)	Darstellung	Lokalisation	Merkmale	Optimale Frequenz (Optimaler Reiz)	Adaption (Art der Faser)
<b>Pacini-Körperchen (PC)</b>		Behaarte und unbehaarte Haut, Subkutis (tiefer als Meissner- und Merkel-Zellen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschleunigungsdetektor</li> <li>- Wahrnehmung: Vibration</li> <li>- Große rezeptive Felder</li> <li>- Niedrige Innervationsdichte</li> </ul>	10-1000 Hz (schnelle Vibration)	Sehr schnell (PC)
<b>Meissner-Körperchen (NP I)</b>		Unbehaarte Haut, Epidermis-Dermis-Grenze	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geschwindigkeitsdetektor</li> <li>- Wahrnehmung: Zittern</li> <li>- Kleine scharf begrenzte rezeptive Felder</li> <li>- Hohe Innervationsdichte an den Fingerspitzen</li> </ul>	3-40 Hz (Antippen der Haut)	Mittelschnell (RA I)
<b>Ruffini-Körperchen (NP II)</b>		Behaarte und unbehaarte Haut, obere Dermis-schichten,	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätsdetektor</li> <li>- Wahrnehmung: Summen</li> <li>- Große rezeptive Felder</li> <li>- Niedrige Innervationsdichte</li> <li>- Ähnlichkeit mit Sehnen-spin-deln (Golgi-Organen)</li> </ul>	15-400 Hz (Dehnung der Haut oder Bewegung der Gelenke)	Langsam (SA II)

<sup>40</sup> PC steht für "pacinian corpuscle", NP für "non pacinian", SA für "slowly adapting" und RA für "rapidly adapting"

Tabelle A-2 Mechanorezeptoren und ihre Eigenschaften (Fortsetzung)

Rezeptorstruktur (Subsystem)	Darstellung	Lokalisation	Merkmale	Optimale Frequenz (Optimaler Reiz)	Adaption (Art der Faser)
Merkel-Zellen (NP III)		Unbehaarte Haut; Epidermis-Dermis-Grenze,	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätsdetektor</li> <li>- Wahrnehmung: Druck</li> <li>- Kleine scharf begrenzte rezeptive Felder</li> <li>- Hohe Innervationsdichte an den Fingerspitzen</li> <li>- Verbund zu Tastscheiben</li> </ul>	0,3-3 Hz (Druck)	Langsam (SA I)
Tast-scheiben		Behaarte Haut, Dermis,	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensitätsdetektor</li> <li>- Kleine scharf begrenzte rezeptive Felder</li> <li>- In besonderen Tastscheiben ragen Merkel-Zellen über die Hautoberfläche hinaus</li> </ul>	0,3-3 Hz (Druck)	Langsam (SA I)
Haarfollikel-rezeptor		Dermis, behaarte Haut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geschwindigkeitsdetektor</li> <li>- Wahrnehmung: Zittern</li> <li>- Übernehmen die Funktion der Meissner-Körperchen in behaarter Haut</li> </ul>	(Berührung)	Mittelschnell
Freie Nerven-endigungen		Behaarte Haut und seltener in unbehaarter Haut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperaturdetektor</li> <li>- Nozizeptor</li> <li>- Wahrnehmung: Wahrscheinlich Kitzelempfindung</li> </ul>	(Berührung)	

### A.1.5 Propriozeption

Die *Propriozeption* besitzt die *Qualitäten* Stellsinn-, Bewegungsinne- und Kraftsinne, welche im folgenden erläutert werden [Sch85a].

Der **Stellsinn** orientiert den Menschen über die Winkelstellung der Gelenke und damit insgesamt über die Stellung der Glieder zueinander. Er ist auch nach längerer Ruhepause meist gut erhalten, er adaptiert wenig oder gar nicht. Der **Bewegungssinn** orientiert den Menschen über die Richtung wie auch die Geschwindigkeit einer *Bewegung*. Seine Wahrnehmungsschwelle hängt vom Ausmaß und von der Geschwindigkeit der Winkeländerung ab. Sie ist an den proximalen Gelenken (z.B. Schultergelenken) deutlich besser als an den distalen Gelenken (z.B. Fingergelenken). Als Kraftsinne wird das Abschätzungsvermögen für das Ausmaß an Muskelkraft bezeichnet, das aufgewendet werden muss, um eine Bewegung durchzuführen oder um gegen einen Widerstand eine Gelenkstellung einzuhalten. Der **Kraftsinne** erlaubt es unter anderem z.B. die Schwere gehobener Gewichte mit etwa 3-10% Genauigkeit abzuschätzen. Hautrezeptoren scheinen bei dieser Sinnesleistung eine geringe Rolle zu spielen, da die Schätzung schlechter wird, wenn das Gewicht auf die Haut gelegt wird.

Im folgenden werden die an der Propriozeption beteiligten Rezeptoren subkutaner Strukturen (Gelenke, Muskeln, Sehnen) betrachtet [Sch85a; Bir96]. In den **Gelenken** kommen als Gelenkrezeptoren sowohl freie Nervenendigungen als auch mechanosensitive Rezeptoren – ähnlich den Ruffini- oder Pacini-Körperchen der Haut – vor. Sie übermitteln vor allem Angaben über Richtung und Geschwindigkeit einer Gelenkbewegung (Bewegungssinn), aber für den Stellsinn spielen sie kaum eine Rolle. Innerhalb der **Muskeln** lie-

gen parallel zu den Muskelfasern die länglichen spindelförmigen Muskelspindeln. Sie wirken als Dehnungsrezeptoren, die bei Dehnung oder Kontraktion der Muskeln gestreckt oder gestaucht werden. Sie messen vorwiegend die Länge des Muskels (Stellungs-, Bewegungs- und Kraftsinn). Muskelspindeln, deren Erregung das getreueste Abbild des Dehnungsreizes für längere Zeit geben, haben die längste Adaptionszeit. An der Grenze zwischen Muskel und Knochen, am **Sehnenansatz** befinden sich die Golgi-Sehnenorgane. Sie wirken ebenfalls als Dehnungsrezeptoren und registrieren vorwiegend die Spannung.

Keines der angesprochenen propriozeptiven Rezeptorsysteme ist alleine in der Lage, die notwendige Information für die verschiedenen *Qualitäten* der Exterozeption und der Propriozeption zu vermitteln. Voraussetzung dafür ist die gleichzeitige Aktivierung verschiedener Rezeptorsysteme und die zentrale Integration der afferenten Zuflüsse. Diese integrative Aufarbeitung setzt teilweise bereits in den Rezeptoren selbst ein [Sch85a; Sch98; Sch00]. Abbildung A-5 zeigt das Zusammenspiel der *afferenten* und *efferenten* Systeme.

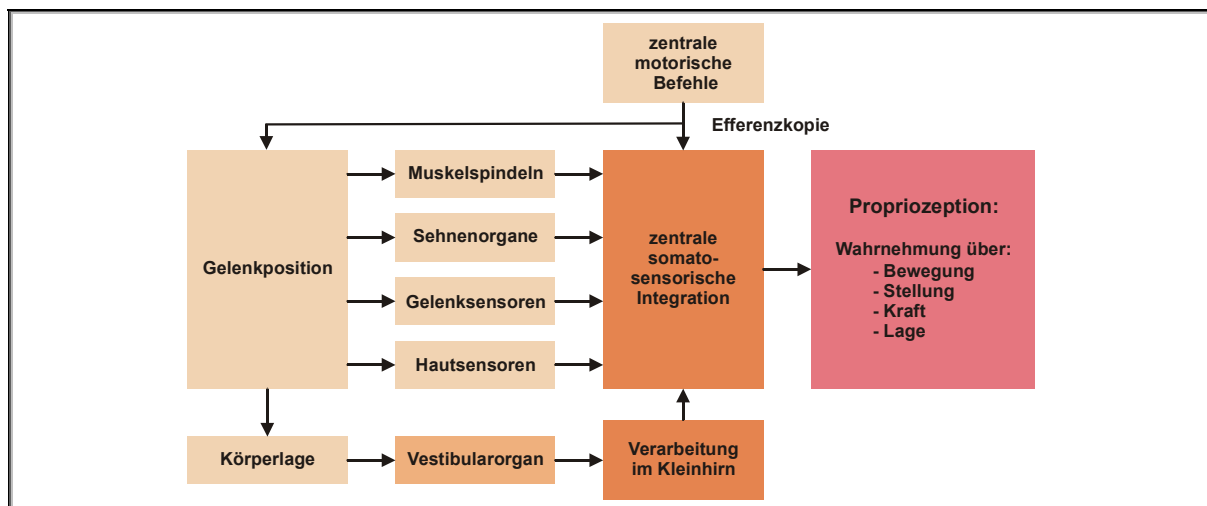


Abbildung A-5 Übersicht über die afferenten und efferenten Systeme, die bei der Propriozeption zusammenwirken

## A.2 Sensomotorische Ergänzungen

### A.2.1 Komponenten der Sensomotorik

Die Bewegung entwickelt sich aus einem mehrstufigen zentralnervösen Plan: Entschlussphase - Programmierungsphase – Bewegungsdurchführung (vgl. Abbildung A-6).

Am Beginn der Bewegung steht der Handlungsantrieb, der eine Folge ineinandergreifender, sequentieller und parallelablaufender neuronaler Prozesse aktiviert. In der Entschlussphase realisiert das *Zentralnervensystem* (ZNS) den Handlungsantrieb und entwickelt eine Strategie, mit der diese Handlung durchgeführt werden könnte. In der anschließenden Programmierungsphase wird die Strategie in ein Bewegungsprogramm umgesetzt. Das Programm ist eine neuronale Repräsentation der geplanten Bewegung mit Spezifizierung der zeitlichen Abläufe und der Aktivierungsstärke. Bei der Bewegungsdurchführung werden die spezifizierten neuronalen Systeme aktiviert. Sie bringen die jeweiligen Muskelgruppen in Aktion und koordinieren Kontraktion bzw. Erschlaffung. Paral-

lel dazu kontrollieren sie die Übertragung in den *afferenten* sensorischen Systemen. In Abbildung A-6 sind die Phasen einer Bewegung (*Willkürbewegung*) und die in diesen Phasen realisierten Funktionen den beteiligten neuronalen Systemen gegenübergestellt. Die Funktion, das Zusammenspiel und die Struktur der beteiligten neuronalen Systeme werden anschließend genauer erläutert.

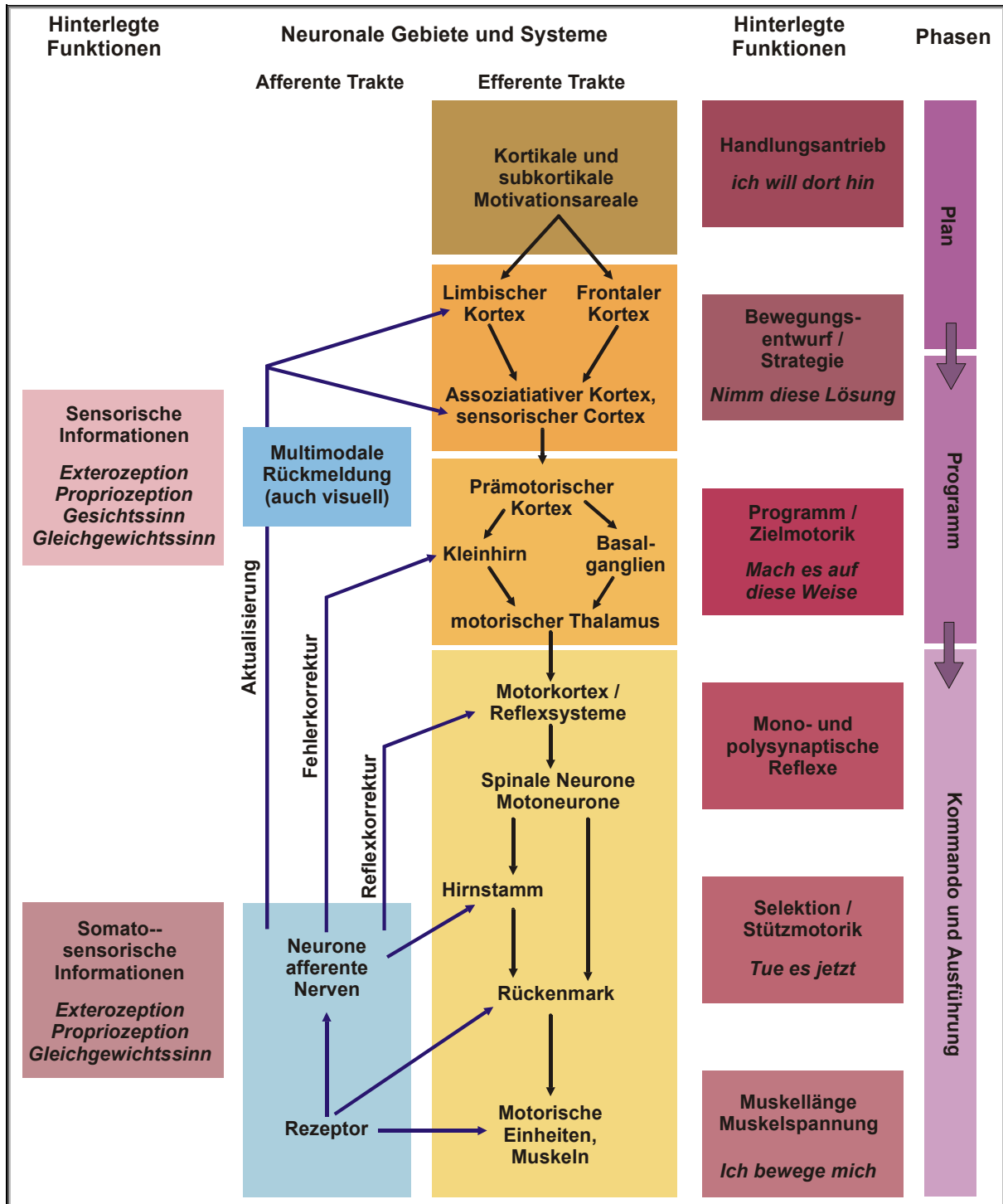


Abbildung A-6 Motorisches System im Überblick

Die in Abbildung A-6 dargestellten sensorischen Rückmeldungen sind integraler Bestandteil der motorischen Bewegungskommandos. Die Verarbeitungsvorgänge laufen in und zwischen den Systemen parallel ab, ein System kann an verschiedenen Komponenten der Bewegungsentwicklung beteiligt sein. Bereits während der Realisation einer Bewegung laufen die Prozesse für eine folgende Bewegung ab [Nit73], so dass von einer kaskadierenden Form der Informationsverarbeitung gesprochen werden kann. Die Rückmeldung der Bewegung von den exterozeptiven als auch den propriozeptiven rezeptiven Feldern, die im Gebiet des innervierten Muskels liegen, wird auch als Reafferenz bezeichnet. Die Reafferenz trägt zur Steuerung der Programmierung und der Durchführung der Bewegung bei [Hei90].

Bei Sendung eines motorischen Befehls an die Extremitäten wird zur Optimierung der motorischen Ausführung eine Kopie des motorischen Befehls, eine „Efferenzkopie“, erstellt. Im Kleinhirn wird die Efferenzkopie mit den exterozeptiven und propriozeptiven Rückmeldungen des Bewegungs- und Programmierungsablaufs verglichen und es werden gegebenenfalls Korrektursignale erarbeitet [Sch98; Sch00]. Das Kleinhirn ist sowohl bei der Planung als auch der Durchführung der Motorik beteiligt. Durch die Efferenzkopie und durch die enge Verzahnung in der Ausführungsphase von sensorischem Input und motorischem Output auf rezeptiver und spinaler Ebene können Muskellänge und Muskelspannung konstant gehalten werden bzw. den motorischen Kommandos ohne Mitwirkung *kortikaler* Strukturen (Großhirnrinde) angepasst werden. Bedingt durch die zeitliche Nervenleitung zwischen Reizeinwirkung und Reaktion sind die Korrekturzeiten bei spinaler Steuerung deutlich kürzer als bei kortikaler Steuerung. Auf *spinaler* Ebene (Rückenmarksebene) werden elementare Haltungs- und Bewegungsabläufe, die sich im Laufe der Entwicklung als stereotype Reaktionen (Reflexe) auf sensible Reize ausgebildet haben, gesteuert.

Tabelle A-3 verdeutlicht den Unterschied zwischen kortikaler und spinaler Kontrolle von Bewegungen [Hei94].

*Tabelle A-3 Merkmale einer supraspinalen und spinalen Fehlerkontrolle von Bewegungen*

	Fehlerkontrolle	
	Kortikal	Spinal
<b>Korrekturzeiten</b>	120 – 200 ms	30 - 80 ms
<b>Aufmerksamkeitsabhängig</b>	Ja, bewusst	Nein, unbewusst
<b>Gleichzeitige Korrekturen</b>	Eine	Viele

## A.2.2 Sensomotorik im Nervensystem

Das Nervensystem lässt sich der Funktion nach in zwei Teilbereiche untergliedern: Das willkürliche Nervensystem (Zentrales und Peripheres Nervensystem) erlaubt die bewusste Steuerung der Muskeln, das autonome oder unwillkürliche Nervensystem dagegen lässt sich mit dem Willen nicht beeinflussen und steuert die Tätigkeit von Herz, glatter Muskulatur und Drüsen.

Für die willkürlichen Bewegungen von Kopf, Gliedmaßen und Rumpf sorgen entweder Nervenimpulse, die im motorischen Feld der Gehirnrinde entstehen (kortikale Impulse) und von den Schädelnerven weitergeleitet werden, oder Signale, die ihren Ursprung im Rückenmark haben (spinale Impulse) und von dort zu den Skelettmuskeln weitergeleitet werden. Bei diesem Vorgang reizen Nervenzellen einerseits die beteiligten Muskeln, und



andererseits werden die Zellen gehemmt, die für die Anregung der entgegenwirkenden Muskeln zuständig sind. Ein Nervenimpuls ist eine elektrische Veränderung in einer Nervenzelle oder Nervenfaser. Er wird in Millivolt gemessen, dauert ein paar Millisekunden und lässt sich mit Elektroden aufzeichnen.

Manche Bewegungen sind auch eine unmittelbare Reaktion auf äußere Reize. Bei einem leichten Schlag aufs Knie zuckt das Bein, und wenn Licht in die Augen fällt, verengt sich die Pupille. Solche unwillkürlichen Reaktionen werden Reflexe genannt. Verschiedene Nervenenden, die als Rezeptoren bezeichnet werden, senden ständig Impulse an das Zentralnervensystem. Es gibt drei Arten von Rezeptoren: Exterozeptoren reagieren auf Schmerz, Temperatur, Berührung und Druck; Interozeptoren sind empfindlich für Veränderungen im inneren Zustand des Organismus und Propriozeptoren nehmen Veränderungen von *Bewegung*, *Körperhaltung* und Muskelspannung wahr. Diese Impulse fließen ebenso in bestimmte Gehirnregionen wie die Signale der spezialisierten Rezeptoren für Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten (vgl. Abbildung A-7).

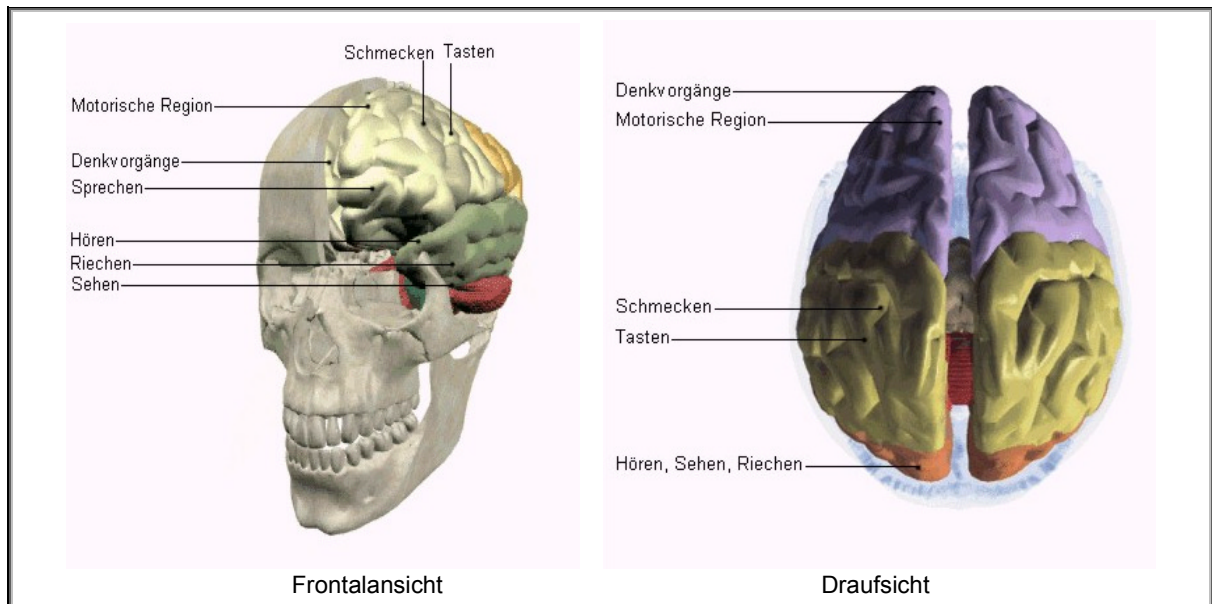


Abbildung A-7 Funktionelle Anatomie des Gehirns

### Motorische und sensorische Areale der Großhirnrinde (Kortex)

Die Areale der Großhirnrinde haben vor allem die Funktion, sensorische und motorische Informationen zu verarbeiten. Je nach ihrer Position in der Hierarchie der neuronalen Informationsverarbeitung werden sie in primäre, sekundäre und tertiäre Areale eingeteilt (vgl. Abbildung A-8). Die primären sensorischen Areale empfangen ihre Signale über nur wenige Umschaltstellen von den Sinneszellen in der Peripherie [Deu95]. Um die primären Areale herum liegen die nachgeschalteten sensorischen und motorischen Felder höherer Ordnung. Diese sekundären oder tertiären sensorischen Zentren integrieren die Informationen aus den verschiedenen primären Arealen. Sie verarbeiten etwa verschiedene Aspekte einer einzelnen Sinnesmodalität, zum Beispiel Bewegung und Tiefe beim Sehen. Die primären, sekundären und tertiären Areale sind wiederum von den Feldern des sogenannten Assoziationskortex umgeben. Bei den Primaten nehmen diese Assoziationsfelder den weitaus größten Bereich der Hirnrinde ein. Hier werden die verschiedenartigen Informationen zu einer sinnvollen Szenerie oder Handlung zusammengeführt [Sch97].

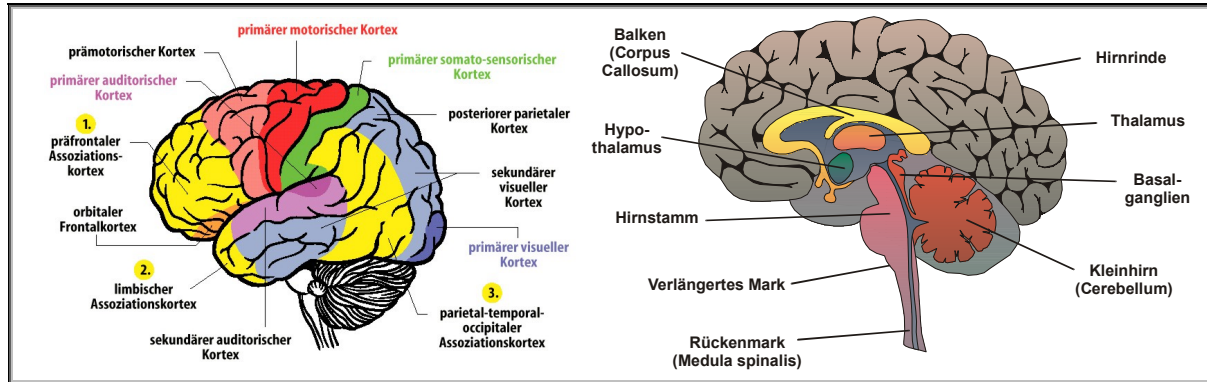


Abbildung A-8 Motorische und sensorische Areale der Großhirnrinde

Die Lokalisation der somatosensorischen Repräsentation des Körpers im Gehirn ist in Abbildung A-9 dargestellt. Wird die jeweilige Körperregion in das betreffende Areal im primären sensorischen Kortex eingezeichnet, so erhält man das Abbild eines Menschen (Homunculus), der sich in seinen Proportionen allerdings sehr vom echten Körpervorbild unterscheidet. Einige Regionen sind im Vergleich zur natürlichen Größe sehr gering ausgeprägt, andere dagegen deutlich überrepräsentiert. Hierbei ist vor allem das sensorische Handareal zu nennen, das bei keinem andern Säugetier oder Primaten in dieser Form ausgeprägt ist. Die verzerrten Proportionen spiegeln die Unterschiede in der Innervationsdichte (vgl. A.1.4) der einzelnen Körperregionen wieder. Eine entsprechende somatope (körperähnliche) Repräsentation findet sich im primären motorischen Rindenfeld, im prämotorischen und im supplementär motorischen Rindenfeld [Hei90; Hei94].

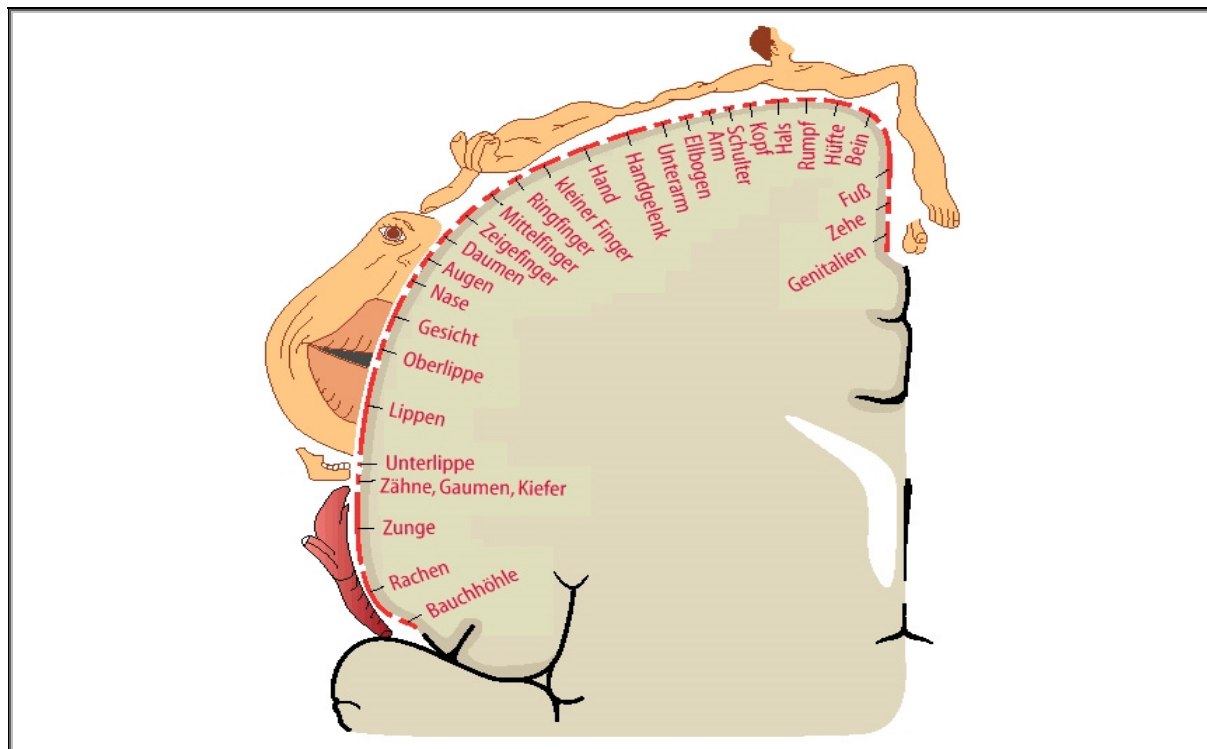


Abbildung A-9 Somatope (körperähnliche) Abbildung des Menschen im somato-sensorischen Kortex (Homunculus)



## Kortikale motorische Strukturen

An der Bewegungsplanung sind die Assoziationsfelder des Großhirns (Kortex) beteiligt. Bewegungsprogramme für zielgerichtete Bewegungen werden unter Beteiligung subkortikaler Strukturen wie *Basalganglien* und Kleinhirn entwickelt und über den Thalamus auf den motorischen Kortex projiziert. Die Bewegungsausführung erfolgt über den motorischen Kortex, den Hirnstamm, das verlängerte Mark und das Rückenmark. In Folge wird die Muskellänge und/oder Muskelspannung der Skelettmuskulatur verändert. Für die Ziel-, bzw. Willkürmotorik ist die motorische Rinde von besonderer Bedeutung. Im benachbarten somatosensorischen Kortex befinden sich die wichtigsten Projektionsareale der Exterozeption (Tastsensibilität), der Propriozeption (Tiefensensibilität) und der Nozizeption (Schmerzsensibilität), die für zielgerichtete Bewegungen von Bedeutung sind. Die topografische Nähe von sensorischen und motorischen Rindenfeldern weist deutlich auf die enge Verknüpfung von Sensorik und Motorik hin, die auch bei der Kontrolle von Bewegungen erforderlich ist.

Mittels der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) ist in Abbildung A-10 die regionale Durchblutungsänderung im Gehirn eines 24-jährigen männlichen Probanden im primären sensomotorischen Kortex bei einer gezielten Aktivierung durch Fingerbewegungen dargestellt. Die Aktivierung der Hirnareale erfolgt aufgrund der Kreuzung der Nervenfasern in der *Pyramidenbahn* kontralateral zur Stimulation, d.h., bei Bewegungen der linken Hand wird das rechte motorische Handareal aktiv, bei Bewegungen der rechten Hand das linke. Aufgrund der internationalen radiologischen Konvention erscheint die linke Körperhälfte rechts im Bild (feet first). Die Aktivierung wird durch einen wiederholten zyklischen Wechsel aus Stimulations- und Ruhephasen erreicht [Sti01].

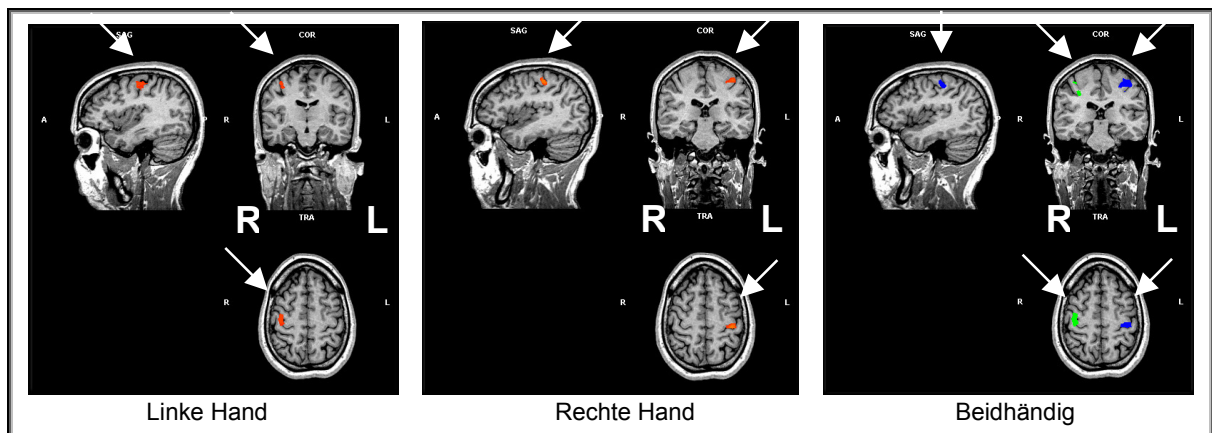


Abbildung A-10 Funktionelle Magnetresonanztomographie des primären sensomotorischen Kortex bei gezielter Aktivierung durch Fingerbewegungen

## Supraspinale und spinale motorische Strukturen

Die Steuerung einer gewollten Bewegung ist gebunden an Strukturen des Gehirns, die unterhalb der Großhirnrinde liegen. Die Verbindung dieser Strukturen veranschaulicht Abbildung A-11 [Hei94].

Für den Bewegungsantrieb sind Signale des limbischen Systems und des motorischen Areals im Vorderhirn verantwortlich. Die an der Kontrolle der Bewegung durch Aufmerksamkeit und Wahrnehmung beteiligten Strukturen liegen in den posterioren und lateralen Feldern der Hirnhemispäre. Um den raumzeitlichen Ablauf einer Willkürbewegung zu

steuern, werden intakte Funktionen der Basalganglien, des Hirnstamms und des Kleinhirns benötigt. Der motorische Kortex ist allein nicht in der Lage, diese Bewegungen zu erzeugen. Signale aus verschiedenen Gebieten der Großhirnrinde erreichen diese subkortikalen Strukturen (Basalganglien) und werden dort sowohl direkt zum Rückenmark als auch rückkoppelnd zur Großhirnrinde weitergeleitet (Efferenzkopie). Im Thalamus werden die Signale mit anderen Informationen verglichen und dann zum prämotorischen und motorischen Rindenfeld weitergeleitet. Von dort gelangen dann die Signale zum Rückenmark. Die zur Steuerung der Willkürbewegung wichtigste Verbindung zwischen den supraspinalen Hirnstrukturen und den spinalen Strukturen des Rückenmarks ist die *Pyramidenbahn*.

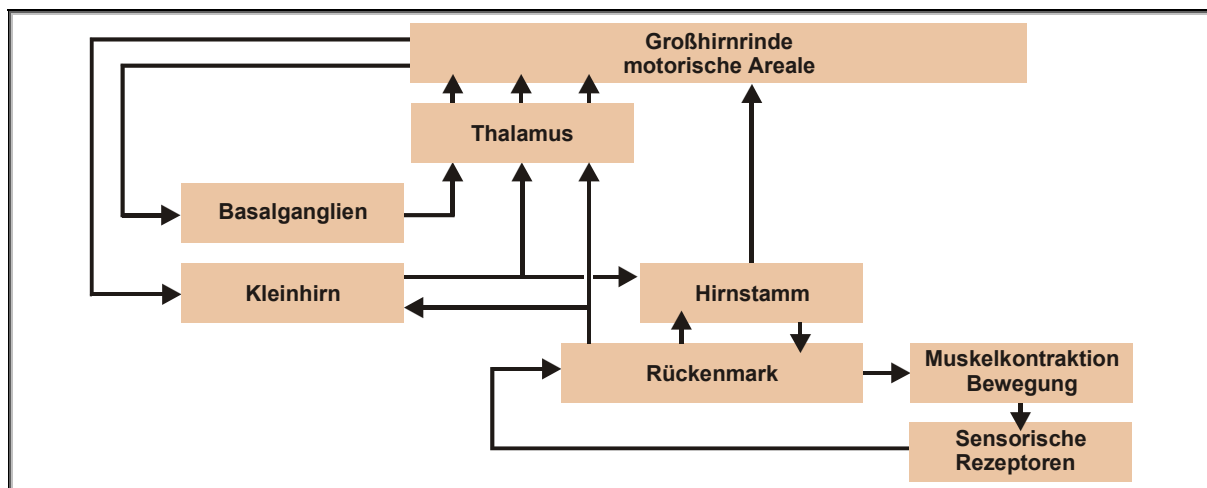


Abbildung A-11 Verbindung zwischen supraspinalen und motorischen Strukturen

Ziel aller motorischen Aktionen ist, die Muskellänge oder/und Muskelspannung der Skelettmuskulatur zu verändern. Hierzu werden die Erregungen über absteigenden Bahnen (z.B. Pyramidenbahn) auf die spinalen Motoneurone umgeschaltet. Im Rückenmark verlaufen ca. 500.000 Motoneurone. Die spinalmotorischen Strukturen erfüllen nicht nur efferente Aufgaben. Über Propriozeptoren in Muskeln und Gelenken werden ebenfalls Signale an das Rückenmark zurückgesendet, welche dort für die Steuerung der Muskelkontraktion verarbeitet werden. Es werden zwei verschiedene Arten von Motoneuronen in der Spinalmotorik unterschieden: Alpha-Motoneurone sind für die afferente *Innervation* der Muskeln verantwortlich und Gamma-Motoneurone sind für die efferente motorische Innervation der Muskeln verantwortlich. Bei der Zielmotorik werden beide Motoneuronenarten gemeinsam aktiviert.

### A.2.3 Komponenten des Erlernens von Bewegungen

Beim Erlernen von einfachen Bewegungen wird unterschieden, ob die Umsetzung von motorischen Kommandos in Körperbewegungen (Körpertransformation) oder in Werkzeugbewegungen (Werkzeugtransformation) zu lernen ist (Werkzeuge können Fahrräder, Türklinken, Koordinatengeber etc. sein) [Hei94]. Die einzelnen Komponenten des Erlernens sind in Abbildung A-12 dargestellt.

Bei der **Körpertransformation** ist die Umsetzung der motorischen Kommandos in Körperbewegungen abhängig von der vorangehenden Lernerfahrung (z.B. beim Tanzen). Die Lernerfahrung ist notwendig, da die Beziehung zwischen Muskelkontraktion und resultierender Körperbewegung notwendig ist. Es kann z.B. dieselbe Daumenbewegung durch

unterschiedliche Beteiligung von unterschiedlichen Muskeln bewirkt werden. Voraussetzung für die Körpertransformation ist die sensomotorische Rückmeldung der motorischen Kommandos (Reafferenz).

Bei der **Werkzeugtransformation** muss die Umsetzung von Körperbewegungen in Werkzeugbewegungen erlernt werden. Dies stellt zusätzliche Anforderungen an den Lernenden. Er muss für verschiedene Werkzeuge verschiedene Transformationen erlernen und diese ständig abrufbar haben. Das Werkzeug kann Eigenbewegungen in verschiedene Richtungen transformieren. Der Schwierigkeitsgrad beim Erlernen von Richtungstransformationen durch ein Werkzeug hängt davon ab, ob die tatsächliche *Bewegungsrichtung* mit den Erwartungen des Benutzers übereinstimmt. Die Erwartungen werden neben den persönlichen Lernerfahrungen von den Konventionen der Gesellschaft bestimmt. Ein Beispiel dafür ist das „Herunterdrücken der Türklinke – Öffnen der Tür“. Beim Erlernen von Werkzeugtransformationen, insbesondere wenn das Werkzeug ein indirekt wirkender Koordinatengeber ist, spielt neben der sensomotorischen die visuelle Rückmeldung eine besondere Rolle, da die Werkzeugbewegungen meist nur visuell über das *Positioniersymbol* auf dem Bildschirm wahrgenommen werden.

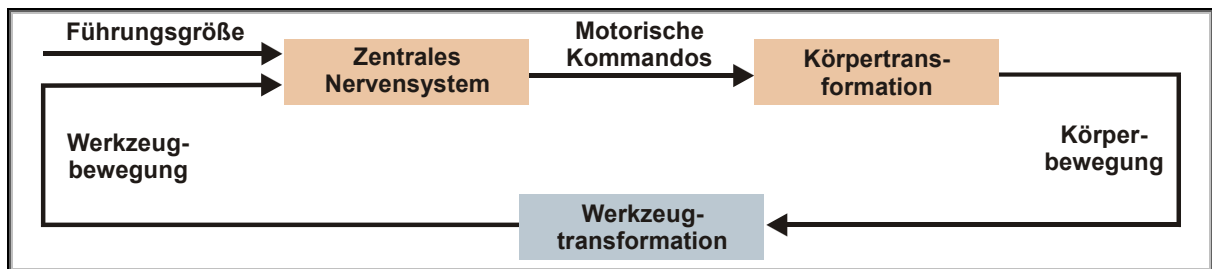


Abbildung A-12 Komponenten des Erlernens von Bewegungen

## A.3 Ergonomische Ergänzungen

### A.3.1 Körperstellung und allgemeine Bezeichnungen des menschlichen Körpers

Die *Körperstellung* wird definiert als räumliche Konstellation zwischen den auf den Körpermittelpunkt bezogenen Ebenen zu einem Bezugsgerüst, dessen Ursprung in dem Mittelpunkt des durch die Arbeitsaufgabe festgelegten Bewegungsraumes liegt. Somit gibt die Körperstellung an, wie die Körperebenen zur Arbeitsaufgabe hin ausgerichtet sind. In Abbildung A-13 sind die wichtigsten Körperebenen, ihre anatomischen *Bezeichnungen* und Raumlage dargestellt [Pla99].

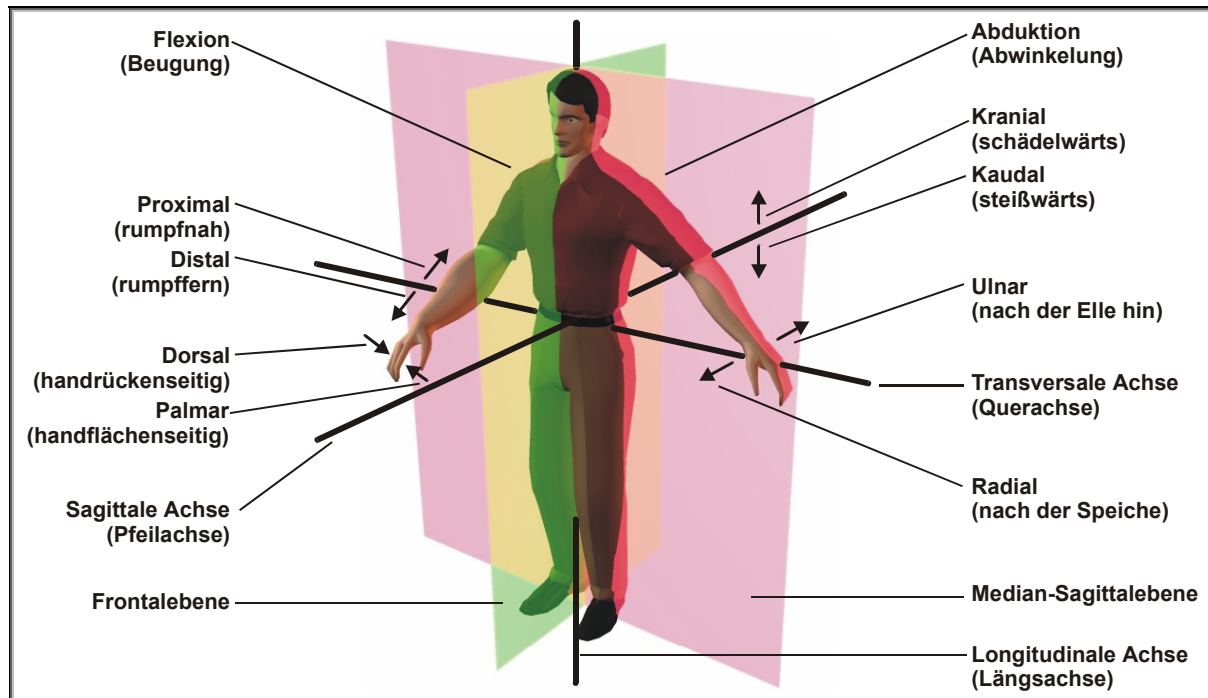


Abbildung A-13 Bezeichnung und Lage der wichtigsten Körperachsen, Körper-ebenen und Körperrichtungen im Raum

### A.3.2 Kopplungsarten und Reibung

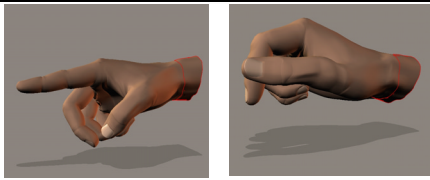



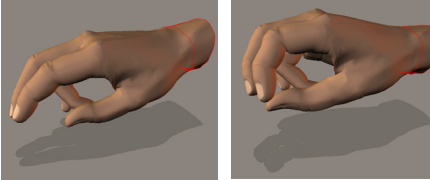
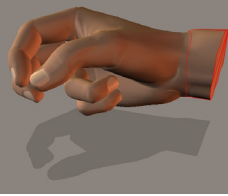
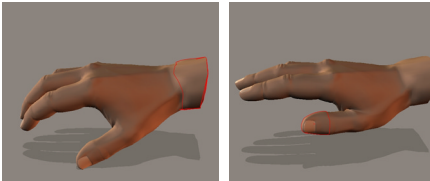
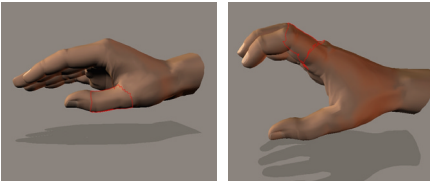

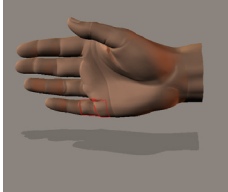
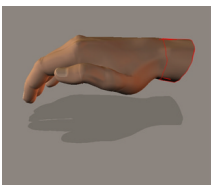

Die **Kopplungsart** bezeichnet die Form der Kraftübertragung von der Hand oder den Fingern auf den Griff. Sie gibt an, ob die Kraftübertragung unmittelbar oder mittelbar erfolgt. Bei unmittelbarer Kraftübertragung (Formschluss) wirkt die Kraft senkrecht zur Berührfläche der Hand, bei der mittelbaren Kraftübertragung (Reibschluss) wirkt die Kraft in Richtung der Berührfläche. Bei formschlüssiger Kopplung kann meist eine höhere Kraft als bei reibschlüssiger Kopplung übertragen werden, da bei reibschlüssiger Kraftübertragung im Allgemeinen durch die schwächeren Fingerglieder bzw. die Hand erst eine zur Wirkrichtung senkrechte Normalkraft übertragen werden muss. Bei der Handhabung von Interaktionsgeräten werden die meist sehr geringen Kräfte durch Reibschluss übertragen [Bul94].

Nach der DIN 50281 wird die **Reibung** folgendermaßen definiert: „Reibung ist ein Widerstand, der die Relativbewegung zwischen zwei aufeinandergleitenden, rollenden oder wälzenden Körper hemmt (Bewegungsreibung) oder verhindert (Ruhereibung).“ Des Weiteren wird zwischen verschiedenen Kontaktzuständen unterschieden. Es gibt Trockenreibung, Flüssigreibung und Mischreibung. Durch die natürliche Feuchtigkeit der Haut ist die Paarung Hand / Arbeitsmittel eine Art Mischreibung. Eine besondere Problematik der Paarung Hand / Arbeitsmittel liegt darin, dass es sich um die Kopplung zwischen einem meist festen (Arbeitsmittel) und einem nachgiebigen Körper (Hand) handelt [Bei90; Bul97]. Aussagen zu dieser Reibpaarung, werden deswegen stets stärker relativiert werden müssen, als die Reibprozesse zwischen festen Körpern, z.B. Stahl und Grauguss. Allerdings erzeugen individuelle Handeigenschaften (z.B. *Anthropometrie* der Hand, Handtyp im Hinblick auf Fettgewebeanteil, Handschweiß, etc.) Randbedingungen, die keine vergleichbar deterministischen Aussagen erlauben.

### A.3.3 Greifen von Objekten

In Tabelle A-4 sind die nach der Art der Verbindung mit dem Gegenstand klassifizierten **Greifarten** dargestellt [Bul94; Feg92].

Tabelle A-4 Systematik der Greifarten

Kontakt-Griff	Zufassungs-Griff	Umfassungs-Griff
1 Finger	2 Finger	2 Finger
	 Daumen gegenübergestellt      Daumen quergestellt	
Daumen	3 Finger	3 Finger
	 Daumen gegenübergestellt      Gleichverteilt	
Hand	5 Finger	4 Finger
	 Daumen gegenübergestellt      Gleichverteilt	
Handkamm	Hand	Hand
		

Die Einstellung der **Greifkraft** erfolgt proaktiv auf Grund des sensomotorischen Gedächtnisses. An den nachfolgenden Korrekturen sind die exterozeptiven Rezeptoren der Haut und propriozeptiven Rezeptoren der Hand so entscheidend beteiligt, dass die Hand als ein eigenständiges Sinnesorgan angesehen werden muss. So wird z.B. die Griffkraft für das Halten eines Glases fortlaufend dem Füllungsgrad der Glases angepasst. Dies geschieht dadurch, dass die winzigen Rutschbewegungen des Glases von den Pacini-Körperchen registriert und die Griffstärke anschließend reflektorisch verstärkt wird. Diese reflektorische Anpassung erfolgt mit einer typischen Latenz von ca. 60 ms. D.h., es handelt sich dabei um spinalgesteuerte Reflexe, möglicherweise unter Einschluss supraspinaler Strukturen. In vergleichbarer Form sind auch die anderen kutanen und muskulären Rezeptoren der Hand in die Einstellung der Greifkraft und ihre fortlaufende Anpassung an die sich ändernden Verhältnisse eingebunden. Ein Patient mit völligem Verlust der extero-

zeptiven und propriozeptiven Sensibilität kann z.B. nicht aus einem Plastikbecher trinken, da er die Greifkraft nicht an die Weichheit des Bechers anpassen kann [Bir96; Sac01].

### A.3.4 Belastung des Hand-Arm-Systems

**Mechanische Belastungen** können durch sich ständig wiederholende, durch feinmotorische komplexe Bewegungsabläufe oder durch extreme Abwinkelungen hervorgerufen werden. Sie können z.B. dazu führen, dass die Sehnen in der Hand durch die Überbeanspruchung anschwellen und dabei den mittleren Handnerv beim Durchtritt durch den Karpaltunnel in die Hohlhand einengen (CTS, Carpal-Tunnel-Syndrom). Das macht sich durch Missempfindungen wie Kribbeln, Prickeln oder Taubheitsgefühl in der Hand bemerkbar. Bei RSI-Patienten fehlt häufig eine normale Informationsübertragung aus dem Hand/Arm-Bereich. Ursache hierfür kann eine Reizüberflutung der Exterozeptoren und der Propriozeptoren sein. Die Bewegungen an den Interaktionsgeräten sind einseitig und erfordern unter Umständen komplexe Bewegungsmuster. Auch eine Reizüberdeckung kann die Informationsübertragung beeinträchtigen, z.B. überdeckt Schmerz die normale Berührempfindung. Mit zunehmenden Schmerzen in den oberen Gliedmaßen wird die Feinmotorik eingeschränkt und es ist keine exakte Positionierung des Koordinatengebers mehr möglich. Treten starke Beschwerden auf, neigen Patienten oft dazu, den Gebrauch der Hände zu reduzieren. Durch Schonhaltungen und Schutzkontraktionen der Muskulatur bei Überlastung werden motorische Beeinträchtigungen weiter provoziert (vgl. [Jür81; Jür79]).

Die **Interferenzeffekte** zwischen Wahrnehmung und Motorik lassen sich durch die Plastizität (Veränderbarkeit) des zentralen Nervensystems (ZNS) erklären [Sor94; Mau94]. Da das Bedienen von Interaktionsgeräten eine repetitive hochfrequente gleichbleibende *haptische* Information für das ZNS darstellt, kann eine sogenannte nutzungsbedingte Reorganisation der Großhirnrinde stattfinden. Im sensorischen Gebiet der Großhirnrinde ist die gesamte Körperoberfläche auf rezeptiven Feldern abgebildet, d.h., Informationen aus einem bestimmten Gebiet werden in dem entsprechenden rezeptorischen Feld empfangen. Probanden zeigen nach der tausendfach wiederholten Durchführung einer Greifbewegung deutliche Veränderungen dieser Felder. Einzelne Gebiete vergrößern sich und Felder für einzelne Finger überschneiden sich. Bei chronischen Rückenschmerzpatienten z.B. verändert sich die Repräsentation des Rückens im Gehirn und hier kann ein Zusammenhang zwischen Reorganisation und Schmerz festgestellt werden. Für die Reorganisation der rezeptiven sensorischen Felder ist ebenfalls das Prinzip der klassischen Konditionierung verantwortlich. Durch die Verknüpfung bestimmter Reize oder Umgebungsinformation mit Körperreaktionen kann der Mensch ein Verhalten aufbauen, das ihm Vorteile bringt. Solche Lernprozesse erfolgen durch alltägliche Situationen und meist ohne bewusste Steuerung. Die Tätigkeit an Interaktionsgeräten stellt einen solchen zunächst neutralen Reiz dar. Tritt dieser wiederholt mit schädigenden Reizen, wie Minderdurchblutung der Unterarme, auf, die zu Spannungen und Schmerzen führt, wird der Reiz "Benutzung von Interaktionsgeräten" mit der Reaktion "Spannungen spüren" verknüpft. Wird diese Erfahrung mehrfach gemacht, kann eine stabile Verknüpfung zwischen dem Gebrauch von Interaktionsgeräten und den Spannungen auftreten, auch wenn die eigentliche Schädigung nicht mehr vorhanden ist. So verliert die Verknüpfung ihren ursprünglichen Effekt der Warnfunktion vor gefährlichen Situationen.



## A.4 Ergänzungen zur Interaktion

### A.4.1 Mouse

Die zweidimensionale Bewegung der Mouse auf einer in der Regel horizontalen Arbeitsunterlage wird in elektrische Impulse umgewandelt und an den Rechner gesendet. Die Impulse werden dort so umgesetzt, dass sich das Positioniersymbol auf dem Bildschirm analog zu den Bewegungen der Mouse verschiebt. Die Bewegung kann sowohl relativ als auch absolut erfolgen. Die Bedeutung der Moustasten ist programmabhängig. Die linke Taste entspricht jedoch meist dem funktionsauslösenden Schaltelement. Die Handfläche liegt bei der Benutzung flach auf dem Gehäuse der Mouse, der Zeigefinger ruht auf einem Schaltelement. Das Hand-Arm-System bewegt das gesamte Interaktionsgerät (vgl. Abbildung A-14). Der Kontaktgriff der Hand ermöglicht prinzipiell<sup>41</sup> eine große Genauigkeit bei kleinem Zeitaufwand (vgl. Abschnitt A.3.3).

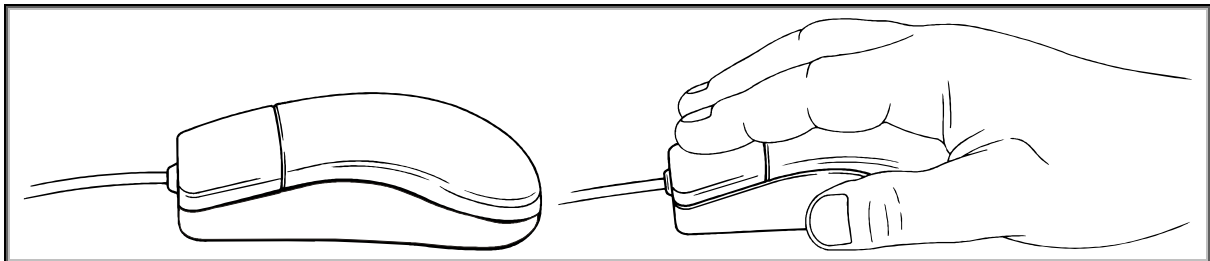


Abbildung A-14 Interaktionsgerätegruppe Mouse [VDI/VDE3850-2]

Die Umsetzung der Bewegung der Mouse in elektrische Signale erfolgt durch mechanische, optomechanische, optische oder induktive Sensoren. Rein mechanische Prinzipien werden heute kaum noch eingesetzt.

Bei mechanischen und optomechanischen Wirkprinzipien erfolgt die Umsetzung der Bewegung der Mouse in elektrische Signale über eine Kugel im Inneren der Mouse (vgl. Abbildung A-15, Bild A - C).

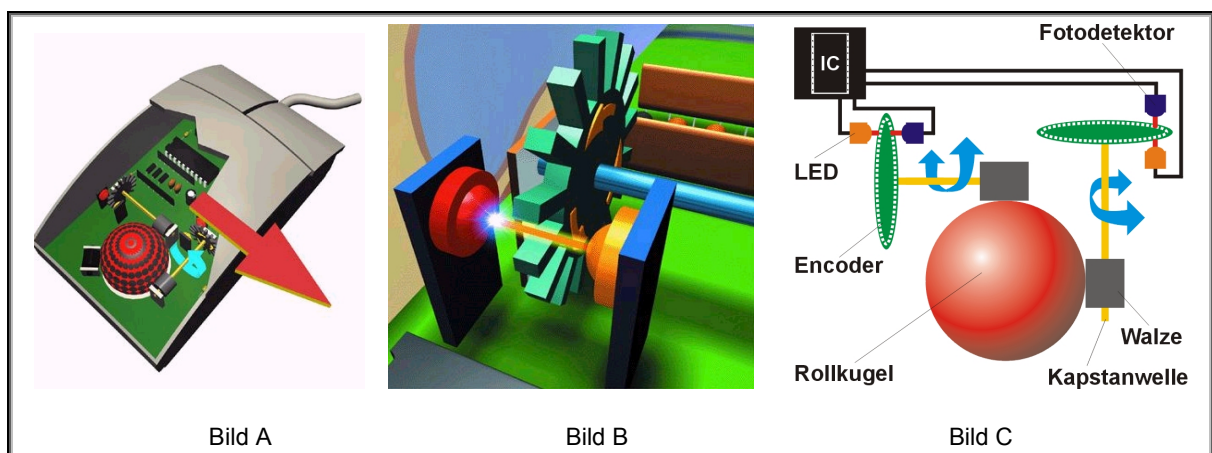


Abbildung A-15 Funktionsprinzip der optomechanischen Mouse

<sup>41</sup> Weitere Faktoren sind hier Reibung bzw. Gleitfähigkeit zwischen Mouse und Unterlage, Mouse-Form und Mouse-Größe [Bul97; Bei90].

Die Kugel wird über die Arbeitsfläche gerollt und treibt dabei über zwei rechtwinklig angeordnete Wellen (Kapstanwellen) zwei Lochscheiben (Encoder) an, mit jeweils einer Impulsfolge für horizontale und vertikale Bewegungen. Beim rein mechanischen Prinzip, das kaum noch eingesetzt wird, werden durch Metallkontakte (Potentiometer) elektrische Impulse erzeugt, beim optomechanischen Prinzip durch eine Gabellichtschranke (vgl. Abbildung A-15).

Die optische Mouse der ersten Generation verwendet als Unterlage ein lichtreflektierendes Raster auf dem sie bewegt wird. An der Unterseite der Maus befindet sich eine Leuchtdiode, die bei Bewegungen über die „Lochmaske“ der Rasteroberfläche Impulse erzeugt, die von einer Photodiode aufgenommen und in x/y-Koordinaten umgewandelt werden. Die heutige Technologie (vgl. Abbildung A-16) ist weitgehend unabhängig von der Unterlage (Bild A).

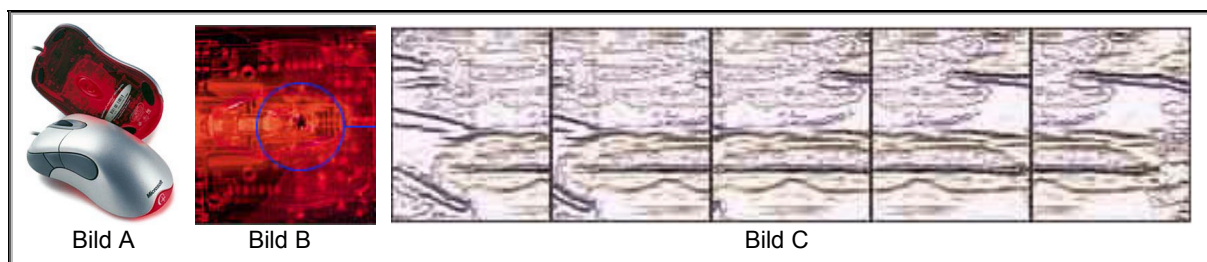


Abbildung A-16 Funktionsprinzip optische Maus (Beispiel: Microsoft IntelliMouse)

Eine Digitalkamera (Bild B) auf der Unterseite der Mouse nimmt 1500 Einzelbilder pro Sekunde von der durch eine LED (in diesem Fall Rot) erhellten Arbeitsfläche auf (Bild C) und leitet sie an einen digitalen Signalprozessor (DSP) weiter. Der DSP berechnet aus den Aufnahmen aufgrund der Strukturänderungen an der Oberfläche die Bewegungsrichtung der Mouse (image correlation processing). Dadurch arbeitet die Mouse auf nahezu allen Oberflächen außer auf spiegelndem Untergrund, weil dort keine Strukturen erkannt werden<sup>42</sup>. Aktuelle Modelle sind teilweise mit zwei Kameras ausgestattet und verfügen mit 6.000 Bildern pro Sekunde über eine höhere Genauigkeit (vgl. [Gob94]).

Die optomechanische und optische Mouse finden vorwiegend Anwendung im Bürobereich. Induktive Technologien eignen sich aufgrund ihrer gekapselten Bauweise mit hoher Schutzart für industrielle Umgebungen.

#### A.4.2 Trackball (Rollkugel)

Der Trackball ist vergleichbar mit einer umgedrehten Mouse. Mit den Fingern wird eine rollbar gelagerte Kugel von ca. 2 - 10 cm Durchmesser, die in ein stationäres Gehäuse eingelassen ist, als Positionierelement bewegt. Das Schaltelement befindet sich vor oder hinter dem Positionierelement und wird meist mit dem Daumen betätigt.

Die Bewegung wird nach den bei der Mouse vorgestellten Prinzipien mechanisch, optomechanisch oder optisch in elektrische Signale umgesetzt, die an den Rechner übermittelt werden, der die Position des Positioniersymbols auf dem Bildschirm bestimmt (vgl. [Hed94]).

---

<sup>42</sup> Umgerechnet in Rechenleistung sind das 18 Millionen Rechenoperationen in der Sekunde (MIPS, million instructions per second). Als Mitte der 80er Jahre die ersten 386-PCs auf den Markt kamen, hatten sie ca. 6 MIPS, 1998 leisteten die einfachen Pentium-Prozessoren etwa 150 MIPS.



Trackballs existieren in diversen Größen und werden neben herkömmlichen Anwendungsgebieten im Bürobereich und auch in entsprechender Schutzart im industriellen Bereich eingesetzt.

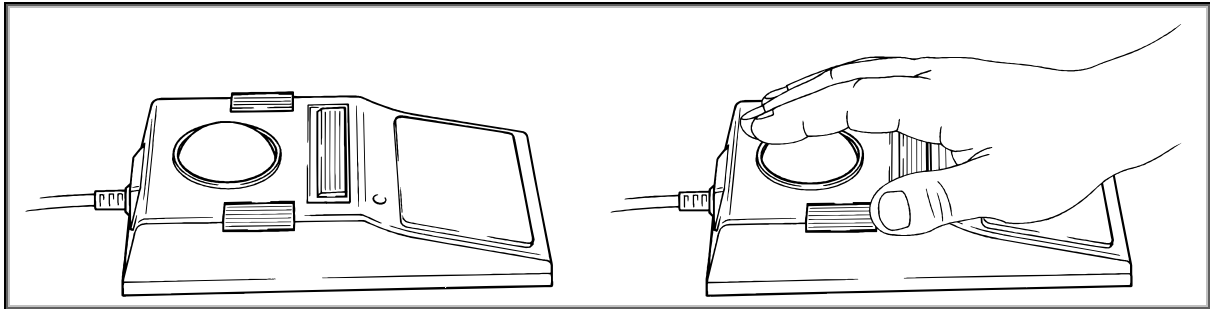


Abbildung A-17 Interaktionsgerätegruppe Trackball [VDI/VDE3850-2]

### A.4.3 Mousepad (Fingerm Maus)

Bei Mousepads (Touchpad oder Folienmaus) wird die Bewegung des Fingers auf einer Sensorfläche erfasst, die als Positionierelement fungiert. Das Schaltelement ist seitlich oder frontal angeordnet. Die Position des Fingers wird dabei meist relativ erfasst, d.h., der Folienbereich entspricht nicht dem Bildschirmbereich. Bei einigen *Ausführungsformen* werden neben den X/Y-Signalen noch Signale über die Kraft bzw. den Impuls, mit der die Folie berührt wird, ausgewertet. In diesem Fall stellt die Sensorfläche ein zum seitlichen Schaltelement redundantes Schaltelement dar.



Abbildung A-18 Interaktionsgerätegruppe Mousepad [VDI/VDE3850-2]

Die Bedienung des Positionierelements erfolgt meist mit dem Mittel- oder Zeigefinger und die Bedienung des Schaltelements mit dem Daumen derselben Hand oder mit einem Finger der anderen Hand.

Das Mousepad ist im Bereich mobiler Rechner sehr stark verbreitet. Da es keine beweglichen Teile hat, ist es verschmutzungsunempfindlich, wodurch es sich auch gut für den industriellen Einsatz eignet.

### A.4.4 Mousebutton (Maus-Knopf)

Der Mousebutton (Maus-Knopf) ist ein Knopf von ca. 20 mm Durchmesser, der sich in Anlehnung an das Funktionsprinzip eines Joysticks in zwei Freiheitsgraden kippen lässt (*isotonisches* oder *isometrisches* Wirkprinzip). Durch Neigung des Knopfes orthogonal zur Z-Achse bzw. Kraftaufbringung auf den Knopf werden Signale erzeugt, die zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden.

Bedient werden kann der Mousebutton abhängig von der *Ausführungsform* mit dem Daumen, mit dem Zeigefinger oder einem anderen Finger (Fingerspitzen von ein bis zwei Fingern), indem er in die gewünschte Richtung gedrückt wird.

Da es keine nennenswert beweglichen Teile gibt, ist er bei zusätzlicher Kapselung verschmutzungsunempfindlich, weswegen er auch im Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt wird.

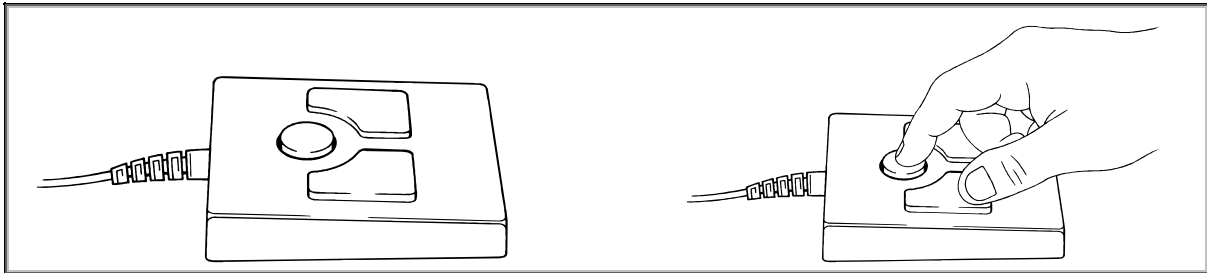


Abbildung A-19 Interaktionsgerätegruppe Mousebutton [VDI/VDE3850-2]

#### A.4.5 Mousestick (Maus-Steuerknüppel)

Der Mousestick (Track-Point oder Maus-Stift) ist ein kleiner Joystick (isotonisches oder isometrisches Wirkprinzip). Entsprechend der aufgebrachten Kraft bzw. der Auslenkung orthogonal zur Z-Achse werden Signale erzeugt, die im Rechner in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden. Das Positionierelement besteht aus einem kleinen Gummiknopf von ca. 5 mm Durchmesser mit zwei Freiheitsgraden. Schaltelemente sind seitlich oder frontal angeordnet.

Bedient wird der Mousestick mit nur einem Finger, indem er in die gewünschte Richtung gedrückt wird. Er findet vielfach Verwendung im Bereich mobiler Rechner. Da keine nennenswert beweglichen Teile vorhanden sind, ist er bei zusätzlicher Kapselung verschmutzungsunempfindlich, weswegen er auch im Maschinen- und Anlagenbau verwendet wird.

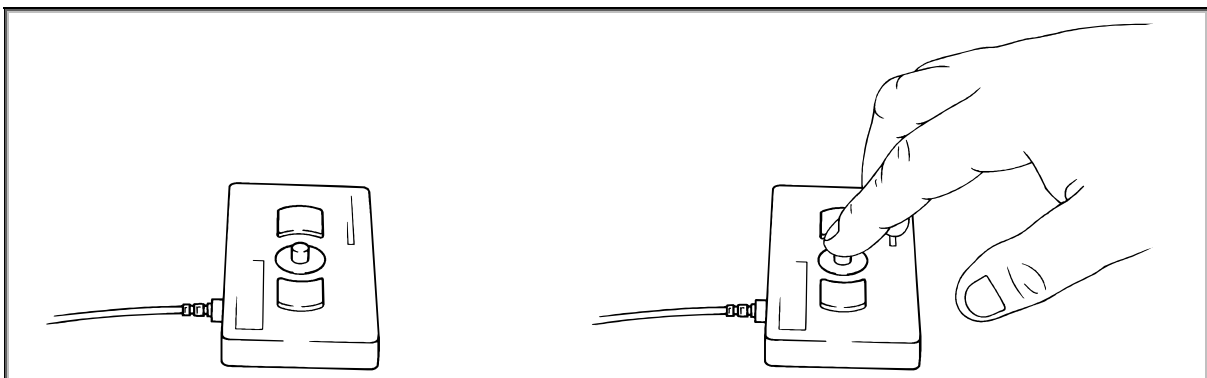


Abbildung A-20 Interaktionsgerätegruppe Mousestick [VDI/VDE3850-2]

#### A.4.6 Joystick (Steuerknüppel)

Der Joystick kann in zwei Freiheitsgraden bewegt werden (isotonisches oder isometrisches Wirkprinzip). Entsprechend der aufgebrachten Kraft bzw. der Auslenkung orthogonal zur Z-Achse werden Signale erzeugt, die im Rechner in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden. Die Steuerung kann dabei digitalen oder analogen Charakter haben. Das Positionierelement ist ein Hebel und meist so groß, dass er mit der gesamten Hand umfasst

werden kann. Das Schaltelement kann sich auf dem Hebel oder seitlich/frontal vor dem Gelenkpunkt des Hebels befinden [Cha94 ; Bau98].

Abhängig von der Ausführungsform umfassen zur Bedienung des Positionierelements Daumen, Zeige- und Mittelfinger den Hebel oder die gesamte Handfläche. Das Schaltelement wird mit Daumen oder Zeigefinger der umfassenden Hand oder mit der zweiten Hand betätigt.

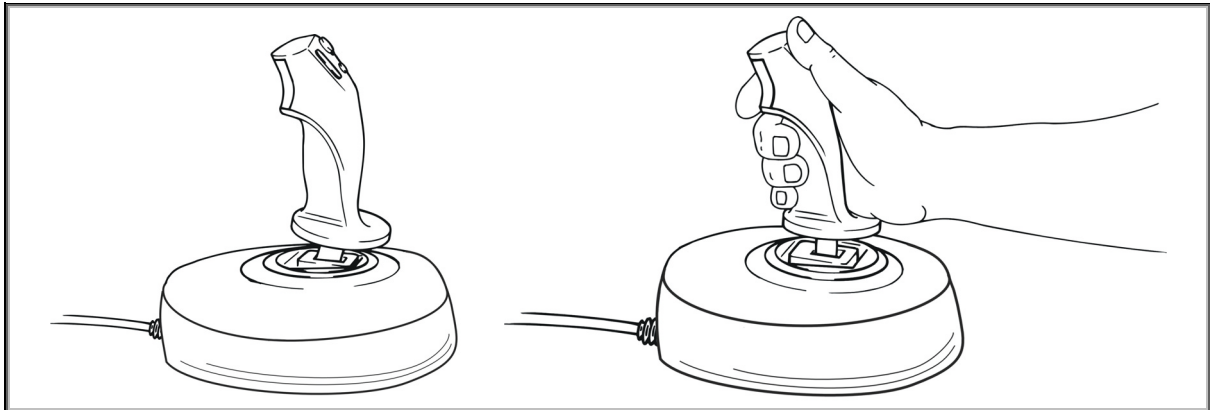


Abbildung A-21 Interaktionsgerätegruppe Joystick [VDI/VDE3850-2]

Einsatz findet der Joystick im Wesentlichen für Zielverfolgungsaufgaben oder zum Steuern von räumlichen zweidimensionalen Bewegungen bei Geräten wie z.B. Robotern, Baumaschinen oder Kränen. Ebenso kann der Joystick zur Achspositionierung bei Werkzeugmaschinen verwendet werden.

#### A.4.7 Digitizing Tablet (Graphiktablett)

Das Digitizing Tablet (Graphik- oder Digitalisiertablett) ist eine flache Tafel. Mit einem Zeigegerät (entweder in Stift-Form oder in Form einer Computermaus, die dann als Puck bezeichnet wird) können einzelne Positionen in einem begrenzten Bereich des Tablett angefahren werden (resistives, induktives, kapazitives oder sonographisches Wirkprinzip). Es kann in einen Positionsbereich und in einen Befehlsbereich mit festen Schaltflächen (Aktionsbereich) eingeteilt sein. Im Positionsbereich wird die jeweilige Position absolut oder relativ in X/Y-Koordinaten umgesetzt. Schaltflächen lösen Aktionen direkt aus.

Das Positionierelement wird durch das Zusammenwirken von Zeigegerät und Positionsbereich gebildet. Das Schaltelement befindet sich auf dem Zeigegerät und wird als Taste mit dem Zeigefinger betätigt oder es ist in die Stiftspitze integriert und wird durch Druck auf die Unterlage betätigt (vgl. [Bro85; Bux85]).

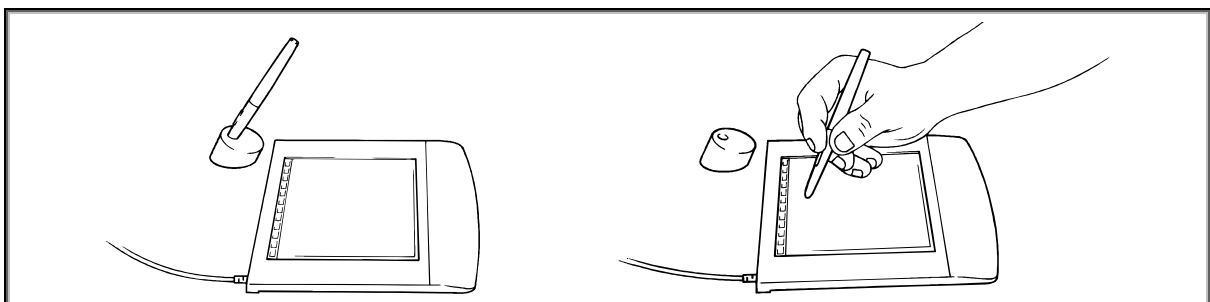


Abbildung A-22 Interaktionsgerätegruppe Digitizing Tablet [VDI/VDE3850-2]

Das Digitizing Tablet ist ein gebräuchliches Interaktionsgerät im CAD-Bereich, kann aber auch für Maschinensteuerungen verwendet werden.

#### A.4.8 Touchscreen (Berührempfindlicher Bildschirm)

Touchscreens sind nach derzeitigem Stand der Technik flächige, durchsichtige und berührungsempfindliche Sensoren in Kapazitäts-, Widerstands-, Infrarot- oder Oberflächenwellentechnologie. Sie werden in der Regel vor LC-Displays oder Monitoren montiert. Durch leichtes Berühren mit dem Finger oder einem Stift in der Funktion als Positionier- und Schaltelement können Daten direkt auf dem Bildschirm eingegeben oder Funktionen ausgelöst werden. Der Sensor arbeitet mit einem Controller und einem Softwaretreiber zusammen (vgl. [Pot88]). Die Berührung wird vom Sensor registriert, vom Controller verarbeitet und über den Treiber in das Betriebssystem transportiert. Die sensorischen Flächen sind programmierbar und können mit änderbaren Funktionen belegt werden. Touchscreens erreichen hohe Schutzklassen (IP 65 möglich) und sind daher gut in problematischen Umgebungen (Korrosion, Hygieneanforderungen, Verschmutzung) einsetzbar.

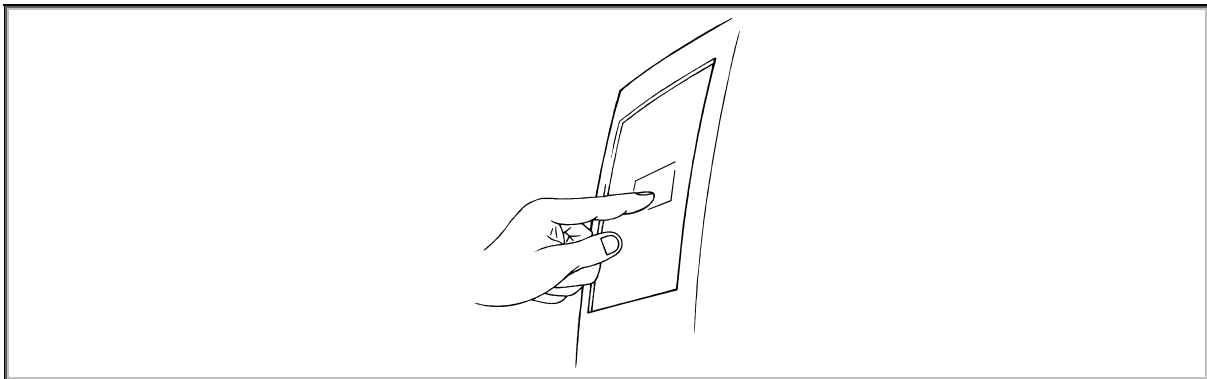


Abbildung A-23 Interaktionsgerätegruppe Touchscreen [VDI/VDE3850-2]

Bei Touchscreens mit Kunststoffoberfläche ist die Lichtdurchlässigkeit gegenüber Glas eingeschränkt. Abhängig von der verwendeten Technologie variiert die Lichtdurchlässigkeit zwischen 70% und 90%. Touchscreens haben besonders beim Einsatz vor gekrümmten Monitoren das Problem, dass speziell im Randbereich Parallaxenfehler auftreten. Alle auf analoger Basis arbeitenden Technologien erfordern gelegentliches Neukalibrieren.

Da diese Technik eine intuitive Bedienung ohne zusätzliche Geräte (Sehen-und-Zeigen) bei entsprechender Gestaltung der *Benutzungsoberfläche* erlaubt, werden Touchscreens im POI-Bereich (Point of Information) als auch bei industriellen Anwendungen eingesetzt.

#### A.4.9 Display-Control Gain (D/C Gain)

Das **Display-Control Gain** (D/C Gain, oder „Anzeige-Steuerungs Zunahme“) ist das Verhältnis zwischen der Längenänderung bei der Bewegung des Positioniersymbols auf dem Bildschirm (Display) und der Längenänderung bei der Bewegung des Positionierelements eines Koordinatengebers (Control). Ein D/C Gain von 2,0 bedeutet z.B. dass das Positioniersymbol (Zeiger) sich auf dem Bildschirm 2 cm bewegt, wenn das Positionierelement (Computermaus) 1 cm bewegt wird. Teilweise wird auch der Reziprokwert **Control-Display Ratio** (C/D Ratio, oder Steuerungs-Anzeige Verhältnis) verwendet [Dou97].

Abhängig ist das Display-Control Gain vom verwendeten Koordinatengeber (technische Übertragungsfunktion, Softwaretreiber) und von den im Betriebssystem vorgenommenen

Einstellungen für das koordinatengebende Interaktionsgerät. Unter Windows 98 ist hier insbesondere der bei „Geschwindigkeit“ eingestellte Wert von Bedeutung.

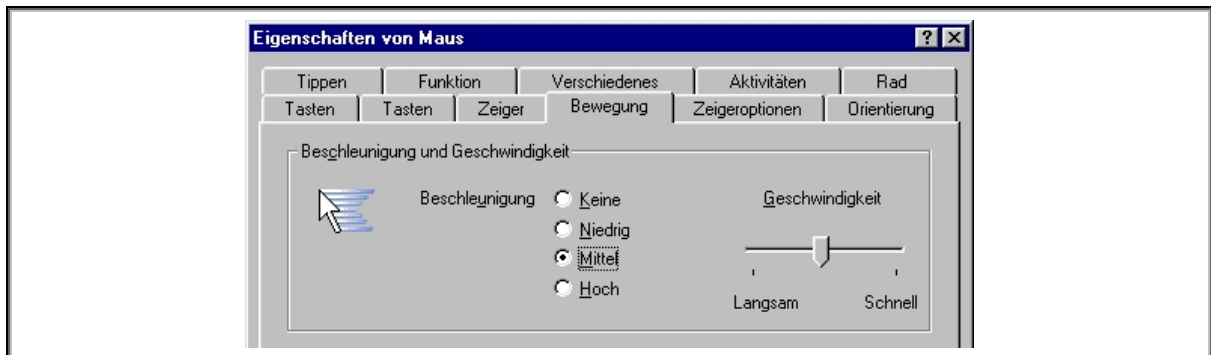


Abbildung A-24 Einstellung des Display-Control Gain unter Windows 98

Tabelle A-5 zeigt beispielhaft verschiedene Werte für das Display-Control Gain, welche mit einer Microsoft INTELLIMOUSE<sup>®</sup> EXPLORER bei einem 14 Zoll-Display in horizontaler Bewegungsrichtung ermittelt wurden.

Tabelle A-5 Verschiedene Einstellungen des Display-Control Gain

Geschwindigkeits-Einstellung	Beschleunigungseinstellung D = 285 mm							
	Keine		Niedrig		Mittel		Hoch	
	C [mm]	D/C	C [mm]	D/C	C [mm]	D/C	C [mm]	D/C
Langsam	250	1,14	250	1,14	250	1,14	250	1,14
Mittel	34	8,38	34	8,38	34	8,38	34	8,38
Hoch	18	15,83	18	15,83	18	15,83	18	15,83

In vielen Studien wurde versucht durch Variation des Display-Control Gain bestimmte Leistungsparameter wie Bewegungszeit oder Genauigkeit zu optimieren. Für alle D/C-Werte zwischen 1 und 32 konnten bei verschiedenen Studien für beschleunigte und unbeschleunigte Übertragungsfunktionen **keine signifikanten Unterschiede** in den Bewegungszeiten gefunden werden [Lan76; Arn88; Arn90; Buc80; Arn85; Arn86; Arn87; Mac91a; Dou97; Kan88]. Hinsichtlich der Genauigkeit benötigen die Benutzer bei kleinem D/C-Werten **tendenziell** weniger Zeit für Feinpositionierungsaufgaben und mehr Zeit für die Grobpositionierung. Bei großen D/C-Werten verhält es sich umgekehrt, hier benötigen die Benutzer mehr Zeit für Feinpositionierungsaufgaben und weniger Zeit für die Grobpositionierung. Abbildung A-25 veranschaulicht diesen Zusammenhang [Jel90].

Wird die Erfahrung der Benutzer mit in diese Betrachtungen einbezogen, so kann daraus die Hypothese abgeleitet werden, dass ungeübte Benutzer, die keine Erfahrung mit der Bedienung von Interaktionsgeräten haben (und daher auch noch nicht über entsprechende motorische Bewegungsmuster verfügen), Koordinatengeber eher bei kleinen D/C-Werten bedienen sollten. Ihnen wird es damit erleichtert, diese leicht und genau zu *positionieren*. Für erfahrene Nutzer wären dementsprechend höhere D/C-Werte besser.

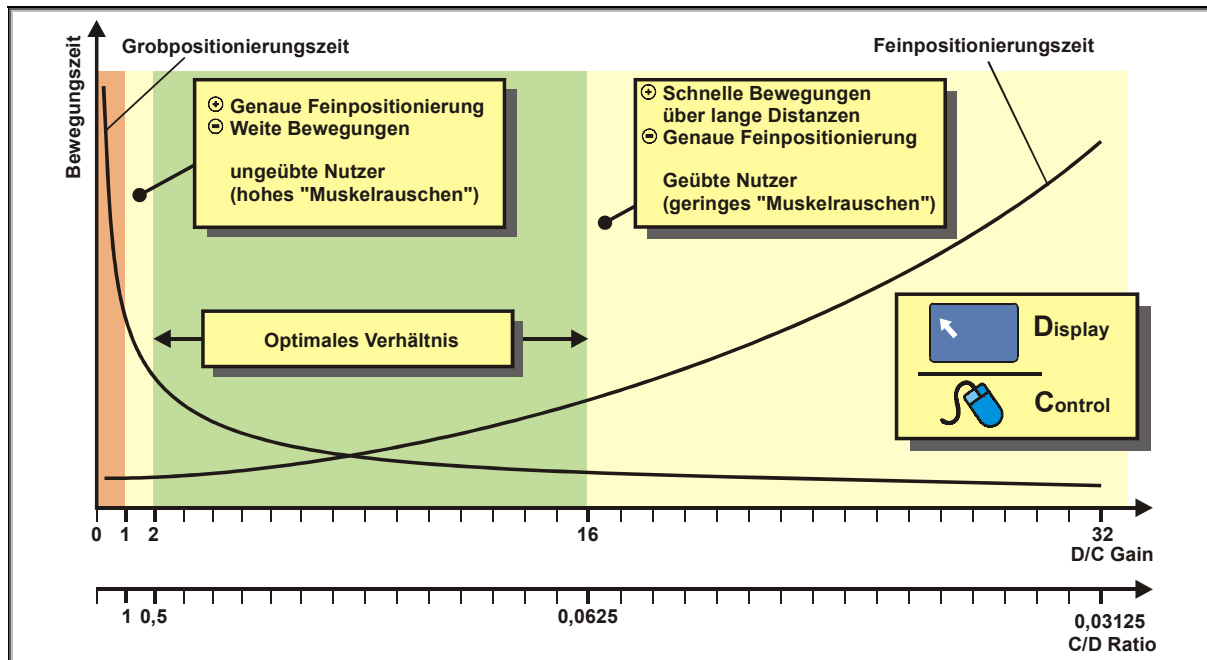


Abbildung A-25 Geschwindigkeit und Genauigkeit bei verschiedenen Display-Control Gain

## A.5 Ergänzungen zur Modellierung

### A.5.1 Modellbildung

In fast allen wissenschaftlichen Disziplinen dienen Modelle durch Prinzipien wie Abbildung, Vereinfachung und Veranschaulichung als Mittel des Erkenntnisgewinns und der Kommunikation. Modelle sind Abbildungen von Originalen, im Modell wird eine Untermenge der Elemente des Originals abgebildet und Modelle ersetzen Originale für bestimmte Individuen innerhalb bestimmter Zeitintervalle zu bestimmten Zwecken. Für Ingenieure kann z.B. ein elektronischer Schaltplan als Modell das reale Gerät bei Diagnoseaktivitäten ersetzen, andere Personen können die verwendete Symbolik nicht verstehen (Individuenbezug). Dies kann sich mit zunehmender Ausbildung ändern (Zeitbezug) und zum Erlernen der Funktion eines Gerätes ist der Schaltplan denkbar ungeeignet (Zweckbezug) [Dut93; See91]. Einige Modelle sind evaluierend, mit ihnen können die Eigenschaften eines Originals überprüft werden. Andere Modelle sind generativ, sie unterstützen den Entwicklungsprozess selbst. Bis zu einem gewissen Grad werden in der Praxis alle Modelle generativ verwendet. Der Ingenieur hat beispielsweise weniger präzise strukturelle Modelle beim Schaltplanlayout eingesetzt, bevor er ein detailliertes Analyseprogramm einsetzt [Dix95].

### A.5.2 Kognitive Modelle

#### GOMS – Model Human Processor (MHP, CARD, 1983)

In der von CARD entworfenen **GOMS**-Modellierung (Goals, Operators, Methods and Selection Rules) wird ein Modell menschlicher Informationsverarbeitung definiert (MHP, *Model Human Processor*). Detaillierte Informationen zu GOMS finden sich in [Car83; Dix95; Sta96; Joh96].

Das Modell der menschlichen Informationsverarbeitung ist eine Annäherung an menschliche Informationsverarbeitungsprozesse, um ein Ingenieurmodell einer informationsverarbeitenden Einheit zu erhalten. Es abstrahiert Teile des menschlichen Gehirns und seiner Struktur. MHP vereinfacht psychologische Theorien und empirische Daten. Das menschliche Verhalten wird ausschließlich gedächtnisbezogen anhand von Verarbeitungseinheiten, Parametern sowie statischen und dynamischen Verbindungen beschrieben (vgl. Abbildung A-26).

Drei Subsysteme werden unterschieden: Wahrnehmungs- oder perzeptuelles System, Bewegungs- oder motorisches System und Erkenntnis- oder kognitives System. Komponenten sind jeweils Prozessoren und Speicher. Parameter des Gedächtnissystems (Speicher) sind die Speicherkapazität ( $\mu$ ), Zerfallszeit gespeicherter Daten ( $\delta$ ) und die Codierungsart ( $\kappa$ , physikalisch, akustisch, visuell, semantisch). Der Hauptparameter eines Prozesses ist seine Zykluszeit ( $\tau$ ). Den einzelnen Parametern werden Schätzwerte zum Betrieb des MHP zugewiesen. Das Modell ist bezüglich komplexer Fertigkeiten bzw. fehlerhafter Leistungen limitiert und erlaubt nur die Vorhersage der Zeit, die benötigt wird, um bestimmte Antworten zu geben. Die Intention dieses Modells ist, eine Benutzungsaufgabe zu analysieren und danach das Modell zu verwenden, um Leistungsvorhersagen für das Verhalten zu erhalten, das mit dieser Aufgabe verbunden ist [Car83; Sta96]. Schwachstellen des Modells sind: Es wird lediglich zwischen auditivem und visuellem Speicher unterschieden, der motorische Speicher fehlt. *Haptische* Komponenten des perzeptuellen Systems, sowie spinale, supraspinale und einige kortikale Kommunikationsverbindungen werden wie die Verarbeitung von Bildinformationen nicht berücksichtigt (vgl. [Kie97]).

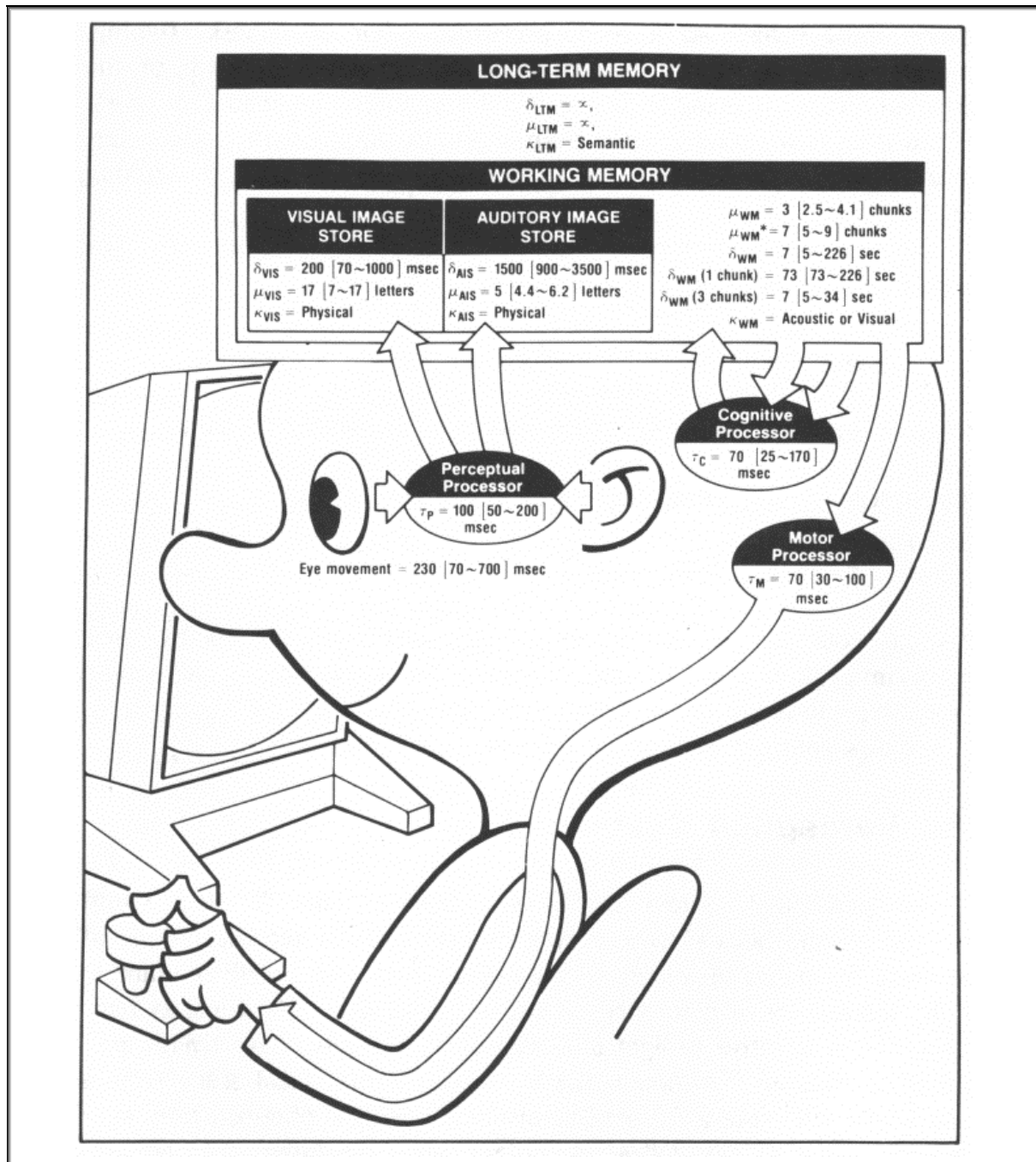


Abbildung A-26 Modell der menschlichen Informationsverarbeitung (MHP, Model Human Processor) nach [Car83] mit folgender Notation: Mittelwert [untere Grenze ~ obere Grenze]

Da der Schwerpunkt beim MHP auf visuellen und akustischen Informationsverarbeitungsprozessen liegt und haptische Interaktionen nicht berücksichtigt sind, wird dieses Modell in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

### Cognitive Complexity Theory (CCT, KIERAS, 1985)

Die kognitive Komplextheorie (CCT, Cognitive Complexity Theory) von KIERAS verwendet die grundlegenden Prinzipien von GOMS und ergänzt das Modell so, dass es genauere Vorhersagen leistet [Kie85; Dix95; Sta96]. GOMS und CCT sind zwei kognitive Modellie-



rungsversuche, bei denen die Darstellung und Verarbeitung von Wissen nach Zielen orientiert erfolgt [Car83; Kie85]. Die abstrakteste Aufgabe (Unit Task) erwartet vom Anwender keine Fähigkeiten zur Problemlösung, sie arbeiten damit auf einer relativ niedrigen Hierarchiestufe [Ras00]. Da beide Theorien kein menschliches Problemlösungsverhalten modellieren, versagen sie bei der Erklärung des Verhaltens an der Benutzungsschnittstelle. Der Bewertende weiß zwar mit Hilfe von Regeln, wie es zu einem bestimmten Verhalten kommt, es kann aber nicht bestimmt werden, warum dies so ist. Ebenfalls können keine Aussagen darüber getroffen werden, welche Art von Wissen zur Aufgabenbewältigung innerhalb eines interaktiven Systems erforderlich ist.

### **UML (Booch, Rumbaugh, Jacobson, 1999)**

**UML** (Unified Modeling Language) ist die Vereinigung und natürliche Weiterentwicklung bestehender objektorientierter Modellierungssprachen. Ihren Ursprung hat UML in der technischen Systementwicklung, es ist eine standardisierte Notation für die Analyse, Darstellung, Entwicklung und Dokumentation von Produkten softwareintensiver Systeme [Boo99; Oes01]. UML ist **kein Modell** an sich, aber da einzelne Darstellungsformen, wie z.B. das Aktivitätsdiagramm oder das erweiterte Aktivitätsdiagramm, für die Formulierung von Absichten und Vorgehensweisen der Anwender auf der Verständnisebene verwendet werden kann, kann es zu den kognitiven Modellen gerechnet werden [Eis01]. Mit Hilfe von UML können verschiedene Dimensionen eines Systems modelliert werden. Dabei stellt jede Dimension eine andere Sichtweise auf das System dar. Die Verhaltensdimension modelliert das Verhalten eines Systems über den Zeitraum der Systemnutzung, zu einem bestimmten Zeitpunkt oder generell ohne Zeitbeschränkung. Die Strukturdimension zeigt die Objekte bzw. Objektarten eines Systems sowie deren Beziehungen untereinander. Die Funktionalitätsdimension bildet die Arbeitsweise eines Systems aus unterschiedlichen Blickwinkeln ab. Innerhalb von UML werden neun Arten von Standarddiagrammen definiert, dabei stellt jede Art eine eigene Sicht aus einem bestimmten Blickwinkel auf den relevanten Teil eines Systemmodells dar. Ein vollständiges Bild des Systems ergibt sich bei gemeinsamer Betrachtung der Diagramme aller Arten. Detaillierte Informationen zur Verwendung von UML als Modellierungswerkzeug von Interaktionen und zum systemtechnischen Ansatz finden sich in [Eis01].

## **A.5.3 Psychomotorische Modelle**

### **Regulation der Zielmotorik (WOODWORTH, 1899)**

Bei koordinierten Bewegungen werden die Bewegungstypen kontrollierte Bewegungen (geführte Bewegungen) und ballistische Bewegungen (Zielbewegungen) unterschieden [Ber67]. Kontrollierte Bewegungen folgen einem vorgegebenen Verlauf möglichst exakt. Sie können als kontinuierliches Regelkreissystem betrachtet werden. Es existiert keine Initialphase und der Zielpunkt wandert ständig [Kee68b; Kee73]. Beispiele sind Autofahren, Führen von Sägen oder Schreiben. Bei ballistischen Bewegungen spielt der Verlauf der Bewegung keine direkte Rolle, sondern es kommt auf das Erreichen eines Zielpunktes bzw. auf den exakten Zeitpunkt des Eintreffens an. Beispiele sind die Handhabung von Gegenständen, Schalterbetätigung oder die Bewegung eines indirekten Koordinatengabers zu einem Steuer-/Menüfeld.

Ballistische und kontrollierte Bewegungsprogramme arbeiten in der Stütz- und Zielmotorik eng zusammen. Bereits 1899 wurde von WOODWORTH das in Abbildung A-27 dargestellte Bewegungsmodell für die Annäherung an einen Zielpunkt entwickelt [Mey90; Woo99].

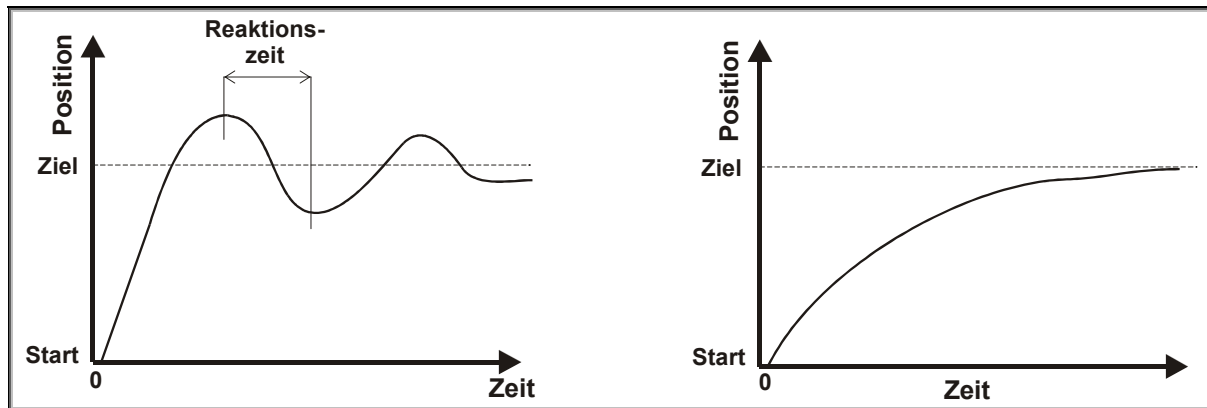


Abbildung A-27 Oszillatorische Annäherung an einen Zielpunkt. Links: Schnelle Bewegung. Rechts: vorsichtige Annäherung

Zielmotorische Bewegungen bestehen danach aus einer Phase der anfänglichen Grobabschätzung (initial impulse) und, bei Annäherung an den Zielpunkt, einer nachfolgenden Phase der laufenden Feinabstimmung (current control). Die erste Phase basiert anhand der Vorabschätzung des voraussichtlichen Verlaufs auf der Entscheidung für ein Aktivierungsmuster für die Startphase. Die zweite Phase entspricht der einer kontrollierten Bewegung zur Zielerreichung. Hierbei wird ständig die Abweichung zwischen Soll- und Istposition ermittelt. Daraus werden die Weiterführung der Bewegung bzw. die notwendigen Korrekturen bestimmt. Auf diese Weise nähert sich die Bewegung im Laufe der Zeit immer mehr dem Bewegungsziel. Dies erklärt die alltägliche Erfahrung, dass um so mehr Zeit zur Zielerreichung benötigt wird, je genauer der Zielpunkt zu treffen ist. Die Präzision einer Zielbewegung ist umgekehrt proportional ihrer Geschwindigkeit. Dieses Verhältnis wird in der Literatur auch als Geschwindigkeits-Genauigkeits-Verhältnis oder Speed-Accuracy-Tradeoff (SAT) bezeichnet [Mey90].

Die Geschwindigkeit des „Einregelns“ hängt weiterhin von der Reaktionszeit – d.h., der Verzögerung von der Wahrnehmung bis zur Reaktion – ab. Je kürzer die Reaktionszeit, desto schneller erfolgt das „Einschwingen“. Die menschliche Reaktionszeit über den visuellen Kanal liegt bei 0,2 bis 0,4 Sekunden, so dass für Bewegungen mittlerer Genauigkeit mindestens 1 bis 1,5 Sekunden einzukalkulieren sind. Der Zeitbedarf für die Gesamtbewegung hängt weiterhin von der zu überbrückenden Distanz ab. Eine schnellere Anfangsbewegung – um einer größeren Entfernung entgegen zu wirken – bringt jedoch insgesamt keinen Zeitgewinn, da die Bewegung dadurch ungenauer wird und somit die nachfolgende „Einschwingphase“ entsprechend mehr Zeit benötigt.

Die zeitliche Struktur von Bewegungen wird weniger von den zu überbrückenden Entfernungen als vielmehr von der Komplexität des Bewegungsverlaufs und seinen Zielkriterien bestimmt. Dies erklärt sich durch den Zeitbedarf für die Initialisierung der Aktivitätsmuster und für die Ausprägung der Regelungsmechanismen in den jeweiligen Bewegungsabschnitten. Die hierfür notwendige Zeit bestimmt die Ausführungsgeschwindigkeit stärker als die eigentliche Umsetzung der Bewegung.

### Abhängigkeit von Zielentfernung und Zielgröße (FITTS, 1954)

Das Gesetz von FITTS ist eine Methode zur Modellierung von schnellen Zielbewegungen, wobei ein Objekt (z.B. die Hand) von einer spezifischen Startposition zu einer definierten Zielposition, an der es stoppt, bewegt wird. Neben verschiedenen Körperteilen kann es auch in den beschriebenen Grenzen für die manuelle Benutzung von Werkzeugen ange-

wendet werden. Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit bei zielgerichteten Bewegungen ist in Abbildung A-28 dargestellt.

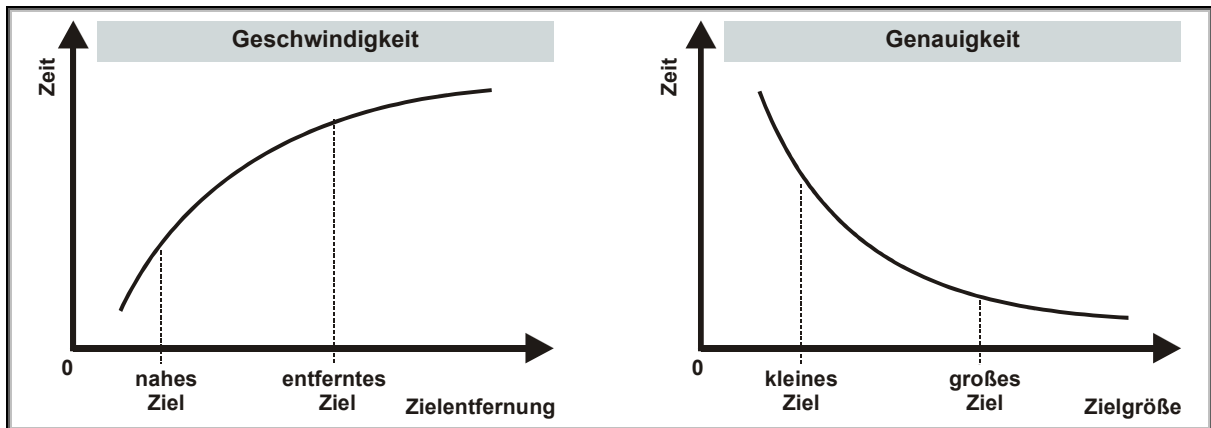


Abbildung A-28 Modell der Abhängigkeit von Zielentfernung und Zielgröße (1954)

### Das Modell iterativer Korrekturen (CROSSMAN & GOODEVE, 1963/1983<sup>43</sup>)

FITTS empirische Formel wurde akzeptiert, seine theoretische Ableitung aber kritisiert. Es wurden Zweifel daran geäußert, dass bei schnellen Bewegungen in der Initialphase ein „neuromotorisches Rauschen“ (beschrieben bei FITTS durch die Konstanten  $a$  und  $b$ ) existiert [Cro63]. CROSSMAN und GOODEVE wendeten in dem in Abbildung A-29 dargestellten Modell iterativer Korrekturen (DICM, Deterministic Iterative Corrections Model) das Prinzip von regelmäßigen Korrekturen bei ballistischen Bewegungen (auch Abtast-Regelung genannt) auf die Genauigkeit von gezielten Bewegungen an [Spa90].

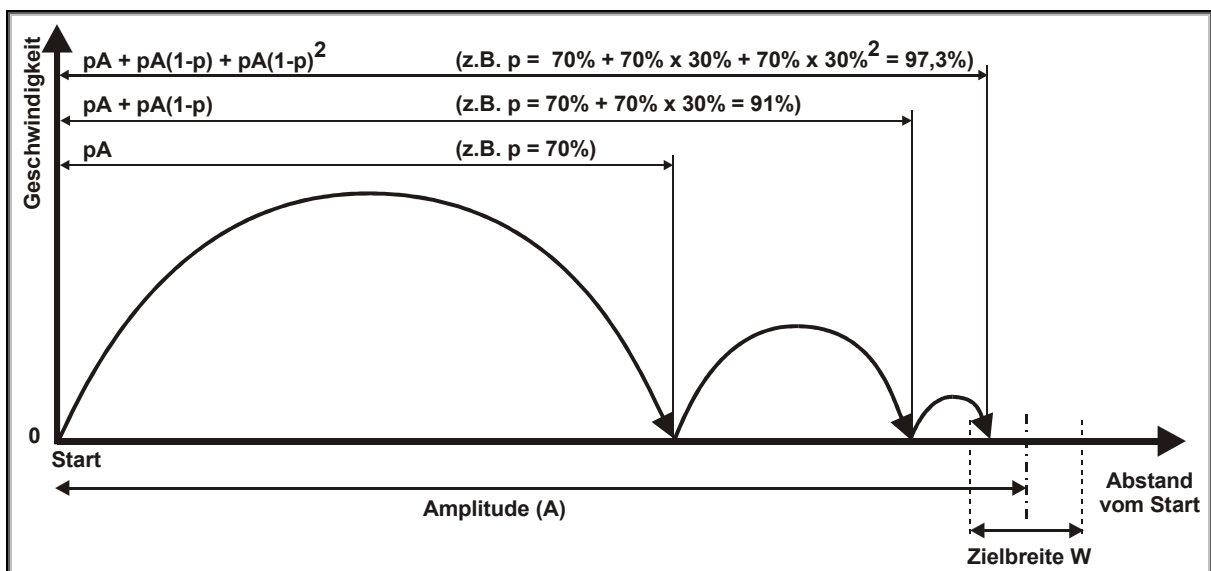


Abbildung A-29 Das Modell iterativer Korrekturen (1963)

In dem in Abbildung A-29 dargestellten Modell wird angenommen, dass eine Zielbewegung zu einem Ziel mit der Entfernung  $A$  (Amplitude) und der Zielbreite  $W$  (Width) aus

<sup>43</sup> Der Aufsatz von CROSSMAN und GOODEVE ist die im Bereich der Psychomotorik wahrscheinlich am häufigsten zitierte unveröffentlichte Arbeit; die Veröffentlichung erfolgte erst mit zwanzigjähriger Verspätung im Jahr 1983 [Cro63 ; Spa90].

einer Folge von Teilbewegungen  $n$  mit konstanter Dauer  $t$  besteht. Jede Teilbewegung überbrückt den Anteil  $p$  (Percent) an der Reststrecke, nach der ersten Teilbewegung ist also die Strecke  $pA$  zurückgelegt, nach der zweiten die Strecke  $pA + pA(1-p)$ , usw. Die Zielbewegung endet, wenn die Summe der Weiten aller Teilbewegungen größer oder gleich  $A - 0.5W$  ist.

Damit ergibt sich annähernd folgender Zusammenhang für die nach diesem Modell vorhergesagte Bewegungszeit  $MT$  (Movement Time):

$$MT = b \log_2(2A/W) \quad (\text{A.1})$$

Wobei: 
$$b = -1/\log(1-p) \quad (\text{A.2})$$

CROSSMAN und GOODEVE zeigten, dass die Zahl der erforderlichen Teilbewegungen und damit die Bewegungszeit etwa linear mit dem Schwierigkeitsindex  $ID$  (Index of Difficulty,  $ID = \log_2(2A/W)$ ) ansteigt. Allerdings ist das Modell iterativer Korrekturen als Begründung der Formel von Fitts nicht zutreffend. Nach dem Modell ist z.B. die Weite der ersten Teilbewegung ( $pA$ ) nur von der Entfernung des Ziels abhängig, nicht aber von der Breite. Die Breite des Ziels soll sich nur auf die Anzahl der Teilbewegungen auswirken. Tatsächlich hängt aber schon die erste identifizierbare Teilbewegung von den Genauigkeitsanforderungen ab. Ein kleineres Ziel hat also einen von vornherein anderen Bewegungsablauf zur Folge und wirkt sich nicht nur in mehreren Teilbewegungen aus. Ebenso sind die angenommenen Teilbewegungen bei gezielten Bewegungen nicht immer vorhanden [Spa90; Dou97].

### Das Modell optimierter Teilbewegungen (MEYER ET. AL., 1988, 1990)

Das Modell optimierter Teilbewegungen (SOS, Stochastic Optimized Submovement Model) kann als eine Weiterentwicklung des Modells iterativer Korrekturen angesehen werden (vgl. Abbildung A-30). Es liefert eine umfassende Theorie des Geschwindigkeits-Genauigkeits-Verhältnisses bei schnellen Willkürbewegungen und integriert wieder den Begriff des „neuromotorischen Rauschens“ [Mey88; Mey90; Dou97].

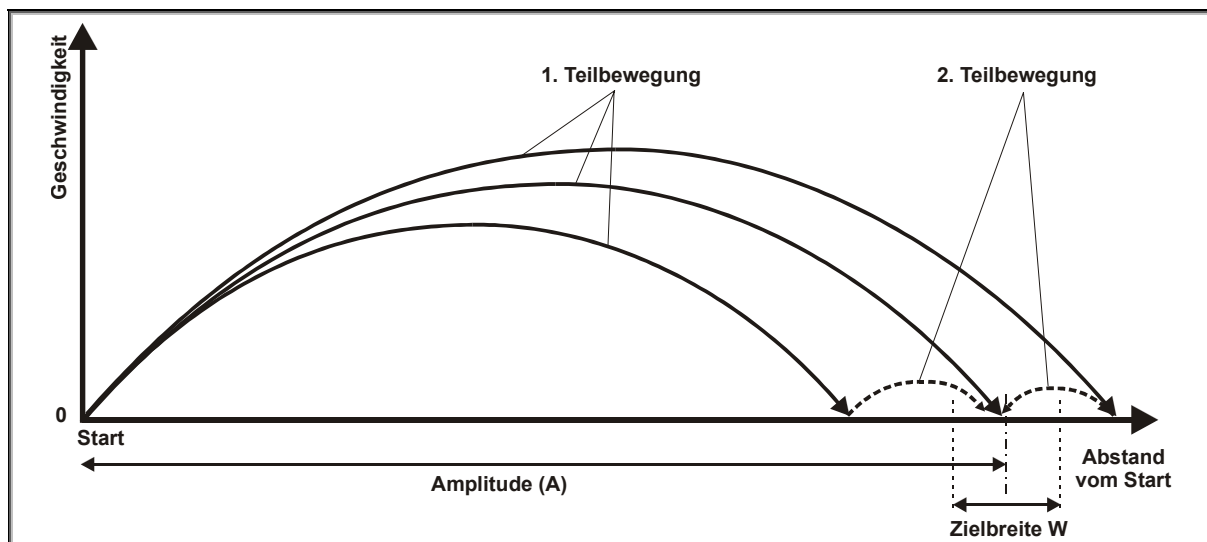


Abbildung A-30 Das Modell optimierter Teilbewegungen (1988)

Nach dem Modell zweier optimierter Teilbewegungen beginnt eine Bewegung mit einer ersten Teilbewegung, die unter Minimierung der Bewegungsdauer so geplant wird, dass das Ziel erreicht wird (in Abbildung A-30 die mittlere Linie) [Mey88]. Wenn die Teilbewe-

gung erfolgreich verläuft, ist die Bewegung beendet. Neuromotorisches Rauschen kann jedoch eine Verfehlung des Ziels verursachen (in Abbildung A-30 die obere und untere Linie). In diesem Fall erfolgt eine zweite, korrigierende Teilbewegung. Weiter wird angenommen, dass die Endpunkte der Teilbewegungen aufgrund des motorischen Rauschens streuen, und dass dieses Rauschen proportional zur durchschnittlichen Bewegungsgeschwindigkeit wächst.

Das Optimierungsproblem besteht darin, dass einerseits eine höhere Geschwindigkeit der Teilbewegungen einen Zeitgewinn bedeutet, andererseits aber eine niedrigere Geschwindigkeit der ersten Teilbewegung die Wahrscheinlichkeit verringert, dass Korrekturbewegungen nötig werden und eine niedrigere Geschwindigkeit der zweiten Teilbewegung die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass das Ziel erreicht wird. Die mathematische Lösung des Optimierungsproblems bei  $n$  statt maximal zwei Teilbewegungen ergibt sich als eine Potenzfunktion. Diese vorhergesagte Bewegungszeit nähert sich mit wachsendem  $n$  asymptotisch der Formel von FITTS [Mey90]:

$$MT = a + b (AW)^{1/n} \quad (\text{A.3})$$

Derzeit ist das Modell optimierter Teilbewegungen das beste Modell, um die von FITTS aufgestellte Formel zu erklären. Bei genauigkeitsorientierten Aufgaben wird die Anzahl der Teilbewegungen sehr klein; das Verhältnis wird durch eine lineare Funktion ausgedrückt. Bei geschwindigkeitsorientierten Aufgaben werden aufgrund des neuromotorischen Rauschens mehr Teilbewegungen benötigt, um das Ziel zu erreichen; das Verhältnis wird durch logarithmische bzw. Potenzfunktionen ausgedrückt. Dabei ist die mittlere Dauer der ersten Teilbewegung und die Fehlerrate abhängig vom Schwierigkeitsindex (ID). Allerdings wurde dieses Modell für *isotonische* Bewegungen entwickelt und seine Verwendung für *isometrische* Bewegungen ist umstritten [Dou97].

## A.5.4 Gerätemodelle

### KLM - Keystroke Level Model (CARD, 1980)

Das Modell auf der Ebene eines Tastendrucks (KLM, Keystroke Level Model) verwendet die empirischen Daten über das motorische System des Menschen innerhalb der physischen Interaktion [Car80]. Ziel des KLM sind Aussagen über die zeitliche Ausführung einfacher Befehlsfolgen (sogenannte Unit Tasks), die im Allgemeinen nicht länger als 20 Sekunden dauern, z.B. „Ändern der Schriftart“. Komplexere Aufgaben, wie z.B. „Erstellen eines Briefes“, müssen in Unteraufgaben unterteilt werden, damit das KLM sie in physische Aktionen abbilden kann.

KLM ist mit dem GOMS-Modell verwandt und kann als ein GOMS Modell sehr niedriger Ebene angesehen werden (vgl. Abschnitt A.5.2). Das Modell zerlegt die Ausführungsphase in fünf verschiedene physisch-motorische Operatoren, einen mentalen und einen Systemantwort-Operator. Bei der Ausführung einer Aufgabe treten die verschiedenen Operatoren abwechselnd auf. Tabelle A-6 beschreibt die einzelnen Operatoren des KLM.

In der Literatur sind für verschiedene Einsatzgebiete Beispiele aufgeführt, welche Zeiten die einzelnen Operatoren annehmen können [Car80; Dix95]. Das Modell sagt die Gesamtzeit voraus, die in der Ausführungsphase verbraucht wird, indem die einzelnen Zeitkomponenten der jeweiligen Aktivitäten addiert werden. KLM dient damit als heuristisches quantitatives Maß zur Berechnung von Interaktionszeiten.

Dennoch ist der Bereich möglicher Anwendungen relativ klein, da KLM zwar viel über Mikro-Interaktionen, aber nichts über komplexere Dialoge aussagt. Ein weiterer Nachteil liegt in der fehlenden Berücksichtigung der mentalen Aktivitäten während der Ausführungsphase – der Benutzer wird als Experte betrachtet. Ebenso ist fraglich, ob das vom Analytischen entworfene Modell auch die wirklichen Bedienschritte des Benutzers wiedergibt, denn eine Aufgabe kann über verschiedene Bedienwege gelöst werden und auch Experten verwenden nicht immer die schnellstmögliche Bearbeitungsreihenfolge.

Tabelle A-6 Operatoren des Keystroke Level Models (KLM)

Operator		Beschreibung
K	Key	Tastendruck, Tastatur
B	Button	Drücken einer Maustaste
P	Point	Bewegen des Koordinatengebers (nach FITTS LAW oder mit vorgegebenen Werten)
H	Home	Umgreifen zwischen Koordinatengeber und Tastatur
D	Draw	Zeichnen von Linien mit einem Koordinatengeber
M	Mental	Mentale Vorbereitung für eine physische Aktion
R	Response	Systemantwort, die ignoriert werden kann, wenn der Benutzer nicht darauf warten muss, z.B. beim Schreiben eines Textes

### Bewegungsmodelle beim Positionieren und Selektieren

In Abbildung A-31 ist das Bewegungsmuster beim *Positionieren* und das typische Auslöseverhalten einer Taste beim *Selektieren/Aktivieren* dargestellt. Das Auslöseverhalten von Tasten sollte so gestaltet sein, dass ein ungewolltes Mehrfachauslösen (Prellen) durch das übliche, leichte Muskelzittern vermieden wird. Dazu haben Tasten eine sogenannte Auslösehysterese, d.h., der Schließpunkt der Taste ist nicht derselbe wie der Öffnungspunkt. Dadurch wird das ungewollte, sofortige Wiederschließen vermieden. Die nötige Anschlagkraft für Tasten liegt im Bereich von 0,25 -1,47 N, der nötige Tastenweg bei 1–6 mm [Her94].

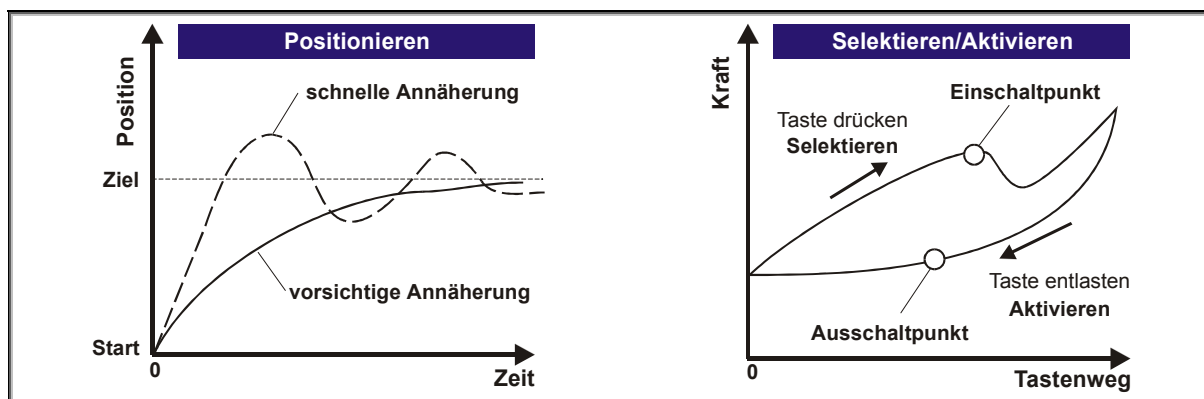


Abbildung A-31 Bewegungsmodelle beim Positionieren und Selektieren/Aktivieren

### FITTS LAW und seine Variationen

Nachfolgend wird dargestellt, wie durch die Variation von Gleichungen die psychomotorischen Modelle bei der Evaluation von Interaktionsgeräten eingesetzt werden.

Bei dem originalen Gesetz von FITTS wird als Schwierigkeitsindex ID der  $\log_2(2A/W)$ -Term benutzt (vgl. Gleichung (2.1) und (2.2)). Diese Form wurde gewählt, damit der Term unabhängig von der Zielentfernung (A) und der Zielbreite (W) für die vorhandenen Zielent-

fernungen und -breiten nicht negativ werden kann. Der ID wird gerade dann Null, wenn A gleich  $W/2$  ist. In diesem Fall liegen Start- und Zielobjekt direkt nebeneinander. A kann somit niemals kleiner sein als  $W/2$ , da sonst die Startposition innerhalb des Zielobjektes liegen würde [Fit64].

WELFORD schlug beispielsweise im Jahre 1968 folgende Variation vor [Wel68]:

$$MT = a + b \log_2(A/W + 0,5) \quad (A.4)$$

$$ID = \log_2(A/W + 0,5) \quad (A.5)$$

Er begründete seine Modifikation dadurch, dass sich so ein kleinerer numerischer Wert für die erste Konstante a ergibt unter der Annahme, dass sich für einen ID von Null eine MT in der Nähe von Null einstellt. Diese Gleichung wurde von CARD erstmals für die Evaluation von Interaktionsgeräten benutzt [Car78]. CARD zitierte die Anwendung von FITTS LAW mit den ermittelten Leistungsindizes als Beispiel dafür, dass die Mensch-Maschine-Interaktion nun als Wissenschaft mit „harten“ und fundamentalen metrischen Fakten einzuordnen ist [Gil90].

MACKENZIE und BUXTON verwendeten 1992 eine Variante in Anlehnung an SHANNON [Mac92a; Mac92b], welche die Herleitung des Gesetzes von FITTS aus der Informationstheorie hervorheben sollte:

$$MT = a + b \log_2(A/W + 1) \quad (A.6)$$

$$ID = \log_2(A/W + 1) \quad (A.7)$$

Diese Variante hat den Vorteil, dass der Schwierigkeitsindex ID nicht Null werden kann, was sowohl bei FITTS als auch bei WELFORD bei bestimmten Kombinationen von Zielentfernung und Zielbreite der Fall sein kann. Ebenso wie die Daten von FITTS ergeben die Daten von CARD bei Verwendung dieser Gleichung einen höheren Korrelationskoeffizienten. Allerdings wird ihm vorgeworfen, dass er die informationstheoretische Natur von FITTS Gesetz zu wörtlich adaptiert [Dou97]:

*„While Shannon’s work on information theory was a good analogy to apply to the problems of human movement, there is no evidence at all that the theory applies to pointing tasks.“*

Alle Gleichungen unterscheiden sich lediglich in dem logarithmischen Term, also beim Schwierigkeitsindex, d.h., in allen Variationen bewirkt eine größere Bewegungsdistanz eine Erhöhung der Bewegungszeit und eine Verkleinerung der Objektbreite eine Verkürzung der Bewegungszeit. WELFORDS und MACKENZIES Gleichungen passen sich den Daten insbesondere bei niedrigen Schwierigkeitsindizes besser an als die Gleichung von FITTS [Dou97].

In der Studie von JAGACINSKI wurden bewegte Objekte untersucht. Hier wurde folgende Gleichung gefunden, wobei v die Geschwindigkeit des sich bewegenden Objekts ist und c, d, e empirisch ermittelte Konstanten sind [Jag80a; Jag80b]:

$$MT = c + dA + e(v + 1) (1/W - 1) \quad (A.8)$$

Für  $v = 0$ :  $MT = c + dA + e(1/W - 1) \quad (A.9)$

Gleichung (2.11) lieferte dabei auch für stationäre Ziele bessere Ergebnisse in der speziellen Aufgabenstellung als die FITTS Gleichung.

KVALSETH stellte 1981 eine Variante in Potenzform vor [Kva81a; Kva81b]:

$$MT = a W^b A^c \quad (A.10)$$

Aus dieser wird mit  $c = -b$ :  $MT = a (AW)^c \quad (A.11)$

Bei Gleichung (2.13) erzielen Werte für  $c$  zwischen 0,25 und 0,5 oft eine bessere Übereinstimmung mit den Versuchsdaten, als die Gleichung von FITTS [Mey90].

Von EPPS wurden die drei sehr gegensätzlichen Gleichungen von FITTS, JAGACINSKI und KVALSETH hinsichtlich der Korrelation miteinander verglichen und er fand den besten Korrelationskoeffizienten zwischen Gleichung und empirischen Werten bei der Gleichung von KVALSETH [Kva76; Kva77]. Bei den Gleichungen von FITTS und JAGACINSKI ergaben sich allerdings bessere Varianzwerte, d.h., hier war die Streuung der Werte um den Mittelwert geringer [Epp86].

OEL beschreibt 2001 den Zusammenhang zwischen Bewegungszeit, Zielentfernung und Zielgröße wie KVALSETH als Potenzgesetz (erweitert um einen Exponentialfaktor) mit vier empirisch zu ermittelnden Konstanten  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  [Oel01]:

$$MT = a W^b A^c e^{(d \log W \log A)} = a W^b A^k \quad (\text{A.12})$$

Mit:  $k = c + d \log_2 W \quad (\text{A.13})$

OEL führt aus, dass die Gleichung von FITTS als Approximation der von ihm ermittelten Gleichung gesehen werden kann. Der Vergleich dieser Gleichung für das Interaktionsgerät Mouse mit den Daten von FITTS, WELFORD, KVALSETH und MACKENZIE ergibt bessere Korrelationskoeffizienten als bei den jeweils dort verwendeten Gleichungen. Dies wird darauf zurückgeführt, dass hier mehr Konstanten enthalten sind. Das hat den Vorteil, dass dadurch ein bestimmtes Verhalten besser modelliert werden kann und so auch kleine Zielbreiten berücksichtigt werden. Allerdings steigt dadurch auch der Berechnungsaufwand und die Offensichtlichkeit der Berechnung sinkt [Oel01].

MACKENZIE und BUXTON erweiterten FITTS LAW für zwei- und dreidimensionale Aufgaben, hierzu wurde der Schwierigkeitsindex in zwei Versionen modifiziert, die eine gute Korrelation mit den empirischen Daten ergaben [Mac92c ; Mac94; Kva81b]. Bei der ersten Version werden bei rechteckigen Zielen Zielbreite ( $W1$ ) und Zielhöhe ( $W2$ ) einbezogen und das Minimum von beiden in die Formel eingesetzt.

$$MT = a + b \log_2(A/\min\{W1,W2\} + 1) \quad (\text{A.14})$$

$$ID = \log_2(A/\min\{W1,W2\} + 1) \quad (\text{A.15})$$

Diese Version könnte nach MACKENZIE und BUXTON auch bei dreidimensionalen Aufgaben in 3D-Benutzungsflächen, z.B. für die Manipulation von Quadern, erweitert werden<sup>44</sup>:

$$MT = a + b \log_2(A/\min\{W1,W2,W3\} + 1) \quad (\text{A.16})$$

$$ID = \log_2(A/\min\{W1,W2,W3\} + 1) \quad (\text{A.17})$$

Bei der zweiten Version wird die Zielweite  $W^*$  im Winkel der Idealrichtung (linear vom Startpunkt zum Zielpunkt) der Handbewegung bestimmt, damit wird eine zweidimensionale Aufgabe auf eine eindimensionale Aufgabe reduziert:

$$MT = a + b \log_2(A/W^* + 1) \quad (\text{A.18})$$

$$ID = \log_2(A/W^* + 1) \quad (\text{A.19})$$

Beide Versionen basieren auf der Variante nach SHANNON. Nachteilig ist bei der ersten Version, dass nur rechteckige Zielformen betrachtet werden, und in der zweiten Version, dass in der Praxis die Bewegung der Hand nicht immer ideal linear zum Ziel verläuft. Eine

<sup>44</sup> Ein Überblick über die menschliche Leistungsfähigkeit beim Gebrauch von Interaktionsgeräten mit sechs Freiheitsgraden, wie sie z.B. bei 3D-Systemen eingesetzt werden, wird in [Zha95] gegeben.



weitere Schwierigkeit besteht darin, exakt den Winkel zum Ziel festzulegen und daraus die Zielbreite  $W^*$  abzuleiten. In den Versuchen wurde der Winkel von der Zielmitte abgetragen, aber die Benutzer positionierten nicht immer genau in der Zielmitte.

### FITTS LAW – Vergleich verschiedener Studien

In Tabelle A-7 ist ein Ausschnitt, der mittels der verschiedenen Studien empirisch ermittelten Versuchsergebnisse dargestellt [Bal97; Bux85; Dou94; Wel76; War87; War89; Lan75; Lan76; Epp86; Car78; Jag85; Jag89; Mac89; Mac91; Mac91b; Wel61; Wel69; Dru92; Joh94; Ker77].

Hinsichtlich der Lerneffekte macht es z.B. einen großen Unterschied, ob die Probanden bereits vorher mit entsprechenden Eingabegeräten gearbeitet haben und so mit dem Gerät vertraut sind oder ob sie totales Neuland betreten. Erhebliche Abweichungen können auch in der Art der Testauswertung liegen. So unterscheiden beispielsweise CARD ET AL. und DOUGLAS & MITHAL zwischen einer Lern- und einer Testphase. Die durchschnittliche Bewegungszeit (MT) wird ausschließlich aus den Daten der Testphase berechnet, um so ein bereinigtes Ergebnis zu erhalten. MACKENZIE dagegen bildet bei seiner Testauswertung den Mittelwert über alle Testdaten und berücksichtigt dadurch auch Lern- und Ermüdungseffekte [Dou97].

*Tabelle A-7 Interstudialer Vergleich der Leistungsindizes IPs für verschiedene Interaktionsmedien*

Interaktionsmedium	Untersuchung	IP (Bit/s)	Verwendete Gleichung	Bemerkung
Hand	FITTS (1954)	10,6	FITTS	Tipp-Experiment mit Metallstift (1 oz = 28,35 g)
Finger	LANGOLF (1976)	38	FITTS	
	BALAKRISHNAN & MACKENZIE (1997)	2,96	MACKENZIE	
Handgelenk	LANGOLF (1976)	23	FITTS	
	BALAKRISHNAN & MACKENZIE (1997)	4,08	MACKENZIE	
Arm	LANGOLF (1976)	10	FITTS	
Vorderarm	BALAKRISHAN & MACKENZIE (1997)	4,14	MACKENZIE	Bewegung ab dem Ellbogen
Nacken	LANGOLF (1976)	5	FITTS	
Mouse	CARD, ENGLISH & BURR (1978)	10,4	WELFORD	
	EPPS (1986)	2,6	FITTS	
	DOUGLAS & MITHAL (1997)	4,2	WELFORD	
	MACKENZIE (1991)	4,5	MACKENZIE	
Joystick	JAGACINSKI & MONK (1985)	5,0	JAGACINSKI	Isometrisch; Positionssteuerung
	CARD, ENGLISH & BURR (1978)	4,5	WELFORD	Isometrisch, Geschwindigkeitssteuerung
	EPPS (1986)	1,2	FITTS	Isometrisch, Geschwindigkeitssteuerung
	DOUGLAS & MITHAL (1997)	2,0	WELFORD	Isometrisch, Geschwindigkeitssteuerung, ein Finger
Trackball	EPPS (1986)	2,9	FITTS	Relative Positionierung
	MACKENZIE (1991)	3,3	MACKENZIE	
Mousepad	EPPS (1986)	2,3	FITTS	Absolute Positionierung
	EPPS (1986)	1,6	FITTS	Relative Positionierung
	MACKENZIE (1991)	4,9	MACKENZIE	Absolute Positionierung
Foot Pedal	DRURY (1975)	11,8	WELFORD	
Eye Tracker	WARE & MIKAELIAN (1987)	13,7	WELFORD	

Da es nicht möglich ist, die Ergebnisse (z.B. die IP's) mehrerer Studien miteinander zu vergleichen, rät MACKENZIE zum Vergleich von IP-Verhältnissen [Mac91b]. Schwierig bei dieser Art des Vergleiches ist allerdings, dass nicht alle Studien die gleichen Geräte bzw. Gerätetypen untersucht haben. Die Mehrzahl der Studien hat lediglich ein oder zwei Geräte untersucht, wobei die Mouse und der Joystick deutlich überwiegen. Die folgende Tabelle zeigt das Verhältnis zwischen Mouse und Joystick aus fünf unterschiedlichen Studien.

Tabelle A-8 Verhältnis Mouse zu Joystick

	Card et al. (1978)	Epps (1986)	Rutledge & Selker (1990)	Douglas & Mithal (1994)	Mithal (1995)
IP Mouse	10,4	2,6	8,33	4,15	8,13
IP Joystick	4,5	1,2	4,35	1,97	5,75
Verhältnis Mouse : Joystick	2,31	2,16	1,91	2,10	1,41

Aus der Tabelle A-8 ist ersichtlich, dass trotz großer Unterschiede bezüglich der einzelnen IP's die Verhältnisse etwa den Wert 2 annehmen. Der Verhältniswert stellt kein absolutes Maß dar, sondern gibt die relative Leistungsfähigkeit zweier Geräte wieder. Das bedeutet, dass die Mouse einen etwa um den Faktor 2 höheren Leistungsindex IP erzielt als der Joystick. Allerdings funktioniert diese Art des Vergleiches nicht immer wie Tabelle A-9 zeigt.

Tabelle A-9 Verhältnisse zwischen Mouse, Mousepad und Trackball

	Epps (1986)	MacKenzie (1991)
IP Mouse	2,6	4,5
IP Mousepad (absolut)	2,3	4,9
IP Mousepad (relative)	1,6	-
IP Trackball	2,9	3,3
Verhältnis Mouse : Mousepad (absolut)	1,1	0,9
Verhältnis Mouse : Mousepad (relativ)	1,6	-
Verhältnis Mouse : Trackball	0,9	1,4
Verhältnis Trackball : Mousepad (absolut)	1,3	0,7

Problematisch ist, dass in den Studien die versuchsbedingten und benutzungsbedingten Faktoren nicht immer vollständig angegeben sind. Wird z.B. in der Studie von EPPS der IP der Mouse zu den IP's der Mousepads ins Verhältnis gesetzt, so ergibt die Abhängigkeit vom Positioniermodus bereits unterschiedliche IP-Verhältnisse (1,1 für das absolute Mousepad und 1,6 für das relative Mousepad). Werden die IP-Verhältnisse von Mouse zu Trackball interstudial miteinander verglichen, so wird deutlich, dass auch der Verhältniswert der Leistungsindizes nicht immer geeignet ist, um Geräte zu vergleichen. So ist nach EPPS mit einem IP-Verhältnis von 0,9 der Trackball das schnellere Gerät wohingegen nach MACKENZIE die Mouse mit einem IP-Verhältnis von 1,4 das schnellere Gerät ist.

## Anhang B Ergänzungen zu den experimentellen Untersuchungen

### B.1 Testsoftware

#### B.1.1 Erste Schritte

Das Testprogramm für die DEVICE- und FITTS-Methodik wurde basierend auf den in dieser Arbeit vorgestellten Konzepten am Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung an der Universität Kaiserslautern entwickelt und in Visual Basic programmiert. Beide Testmethoden sind in die Software eingebunden und können getrennt voneinander ausgeführt werden (die Software ist optimiert für eine Auflösung von 800 x 600 Pixel bei einem 10,4" Display). Nachdem das Programm gestartet wird, erscheint zunächst eine Startgrafik (Bild A in Abbildung B-1). Durch Selektieren eines Koordinatengebers auf der Startgrafik wird der Benutzer in das eigentliche Programm geführt und gelangt ins Hauptmenü.

Im Hauptmenü können diejenigen Interaktionsgeräte ausgewählt werden, die getestet werden sollen (Eingabegeräte, Input Devices). Die Bezeichnung des markierten Interaktionsgerätes wird in der Protokolldatei den Merkmalswerten zu diesem Gerät zugeordnet. Die Auswahl der Bezeichner dieser Geräte hat keinen Einfluss auf die Treiber dieser Geräte oder die Geräte selbst (Bild B in Abbildung B-1).

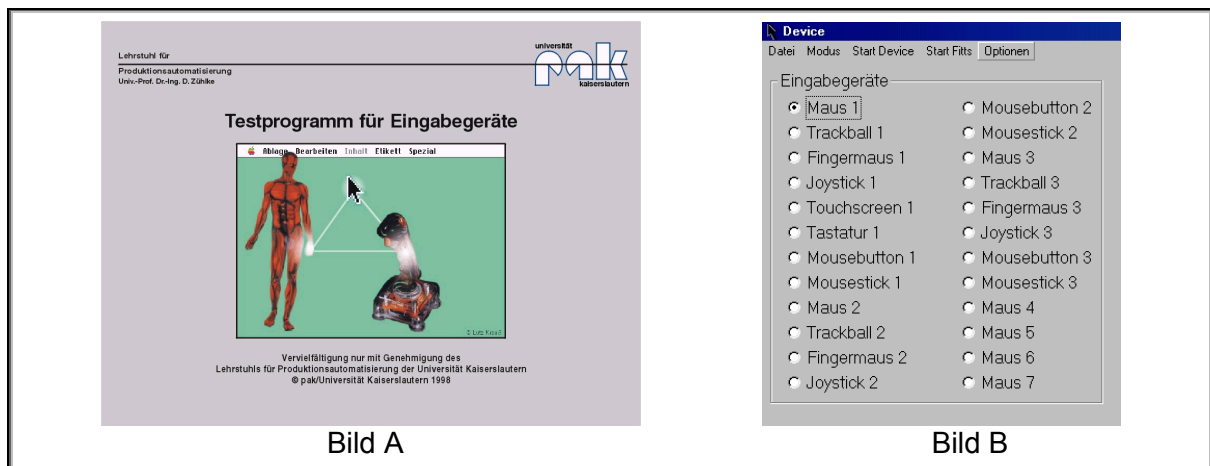


Abbildung B-1 Startbildschirm und Hauptmenü

Unter dem Menüpunkt „Datei“ können Messwerte in einer bestimmten Datei gespeichert und das Programm kann beendet werden. Bei „Modus“ steht „Übungsmodus“ und „Evaluationsmodus“ zur Verfügung. Im „Übungsmodus“ werden Daten während der Aufgabebearbeitung nicht protokolliert. Im „Evaluationsmodus“ wird nach Beendigung der Testaufgaben gefragt, ob und wohin die protokollierten Daten gespeichert werden. Über die Menüpunkte „Start Device“ bzw. „Start Fitts“ kann man die jeweiligen Testaufgaben starten. Unter dem Menüpunkt „Optionen“ gibt es die Möglichkeit, neben der „Sprache“ „Testeinstellungen“ und „Genauigkeitseinstellungen“ für die FITTS-Aufgaben vorzunehmen.

Die Software ist in den Sprachen Englisch, Deutsch und Spanisch verfügbar. Weitere Sprachen sind einfach implementierbar, da diese in einer Text-Editor-Datei ohne Programmierkenntnisse verändert werden können.

### B.1.2 DEVICE CLICK-Aufgaben

Die DEVICE-Aufgaben werden mittels *Start Device* im Hauptmenü gestartet. Hier können vorgegebene Aufgabenreihenfolgen, Einzelaufgaben oder selbst definierte Aufgabenreihenfolgen ausgewählt werden. In Abbildung B-2 sind die CLICK-Aufgaben dargestellt.

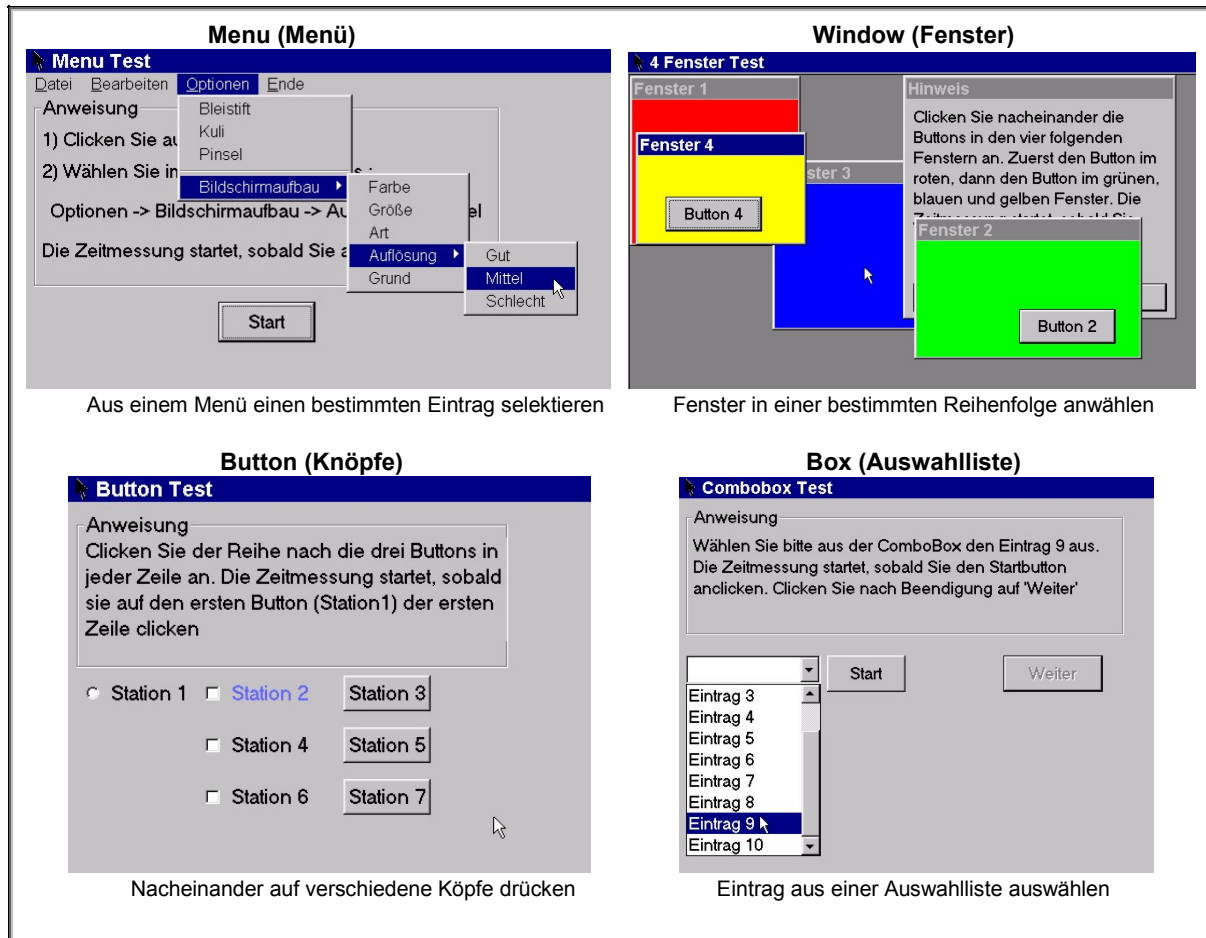


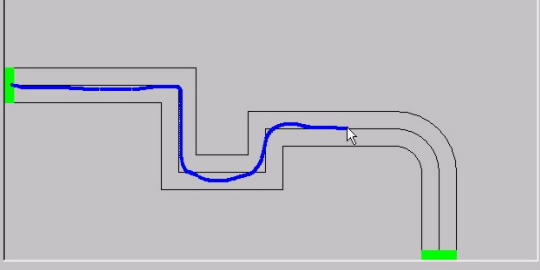
Abbildung B-2 DEVICE CLICK-Aufgaben

### B.1.3 DEVICE DRAG&DROP-Aufgaben

**Curve (Linie)**

**Genauigkeits Test**

Anweisung  
Zeichnen Sie die mittlere Linie nach. Die Zeitmessung startet, sobald sie mit der Maus in den unteren Rahmen klicken und endet, sobald Sie die Maustaste wieder loslassen.



Vorgegebene Linie nachziehen

**Text (Text):**

**Text Markieren**

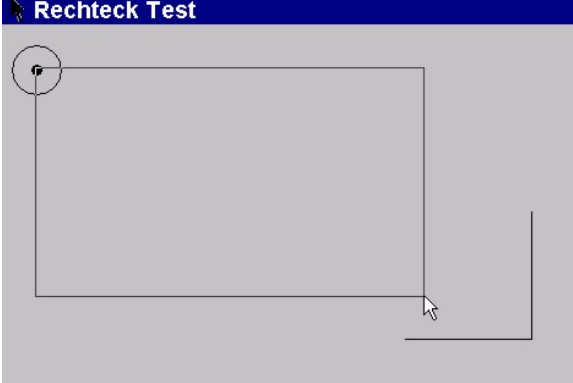
Anweisung  
Markieren Sie bitte untenstehenden Text Von START bis ENDE (einschließlich). Die Zeitmessung startet, sobald Sie in das Textfenster klicken. Nachdem der Text markiert wurde, klicken Sie bitte auf den Button 'Kopieren'

Dies ist ein ganz normaler Text und er soll von START bis zu dem eine Zeile weiter unten stehenden ENDE markiert werden.

Textabschnitt markieren und kopieren

**Rectangular (Rahmen):**

**Rechteck Test**



Rahmen bis zu einer vorgegebenen Position auf eine bestimmte Größe aufziehen

Abbildung B-3 DEVICE DRAG&DROP-Aufgaben

### B.1.4 FITTS-Aufgaben

Basierend auf dem Originalexperiment von FITTS sowie [ISO9241-9] ist ein Testprogramm mit verschiedenen Aufgaben erstellt worden, das im folgenden näher erläutert wird.

#### Start des Programms und Programmoptionen

Die FITTS-Aufgaben werden mittels „Start Fitts“ im Hauptmenü gestartet. Hier können vorgegebene Aufgabenreihenfolgen, Einzelaufgaben oder selbst definierte Aufgabenreihenfolgen ausgewählt werden. In Abbildung B-4 sind die Optionen und Parameter der FITTS-Aufgaben dargestellt. In „Optionen“ können vom Versuchsleiter Eingaben bezüglich der Testmodalitäten vorgenommen werden (Bild A). Hierunter fallen insbesondere die Maße für die Größe der Objekte sowie für die Abstände. Der Menüpunkt „Testeinstellungen“ zeigt schematisch für die verschiedenen Aufgaben die Parameter (Bild B). Weiterhin kann hier ausgewählt werden, ob die Zeitdauer (Time) oder die Anzahl der Aktionen (Hits)

den Versuch begrenzt (Bei den durchgeführten Versuchen werden 14 Aktionen pro Versuch durchgeführt). Diese Einstellungen können in dem Fenster gespeichert und geladen werden. Über einen Texteditor ist es möglich, diese Einstellungen in der Datei „default\_configuration.ini“ zu verändern. Die Parameter für die Abstands-Breiten-Konstellation werden unter „Genauigkeitseinstellungen“ eingetragen (Bild C) (in Tabelle B-1 sind die Parameter der einzelnen Aufgaben und in Tabelle B-2 die verwendeten Abstands-Breiten-Konstellationen dargestellt). In dieser Version des Programms sind maximal sechs Breiten- und Abstandsvariationen möglich. Die Parameter können in dem Fenster gespeichert und geladen werden. Über einen Texteditor können diese Einstellungen in der Datei „default\_precision.ini“ verändert werden. Durch das Aktivieren des Begriffes „Start Fitts“ in der Menüleiste öffnet sich die Aufgabenauswahl (Bild D).

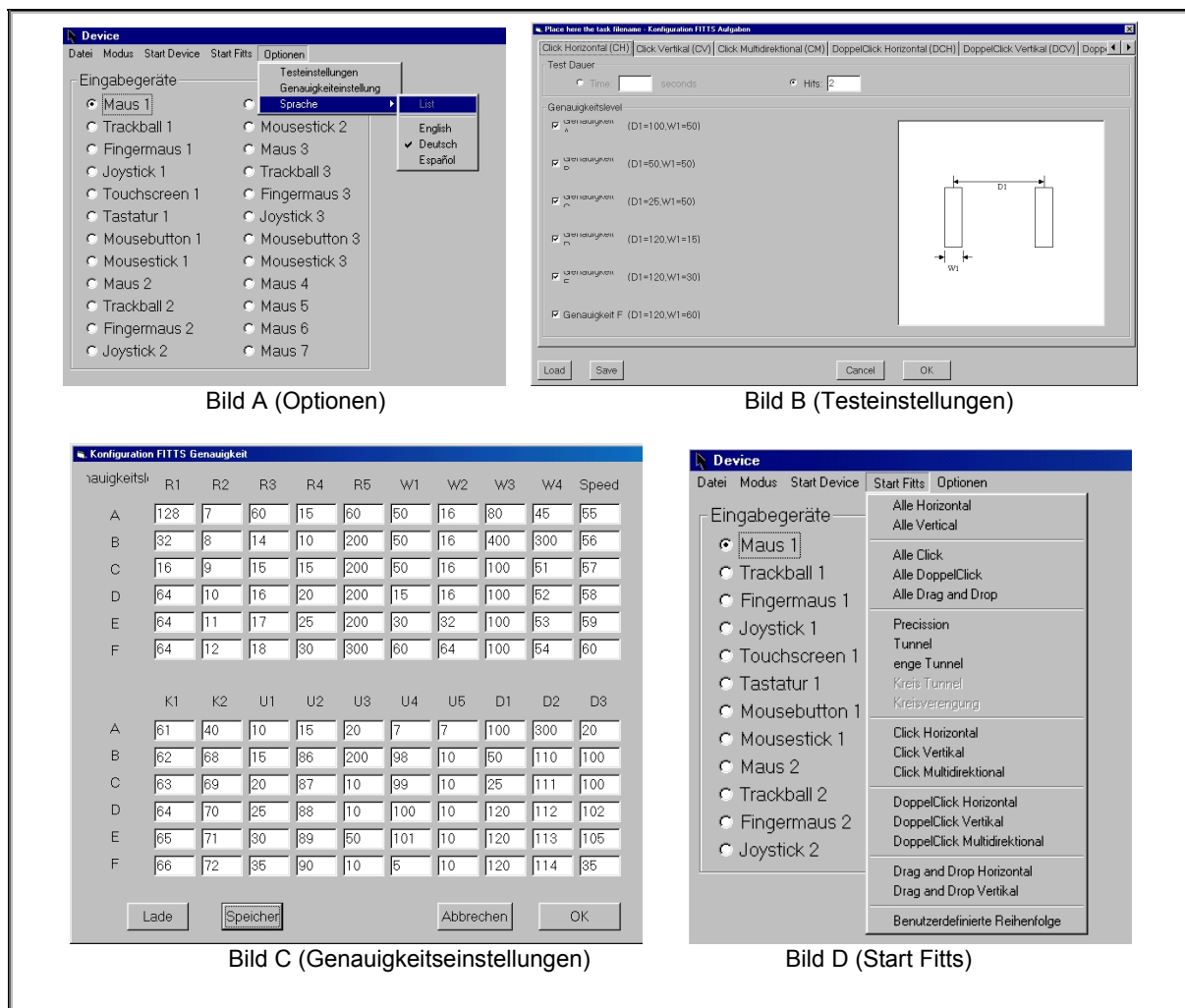


Abbildung B-4 Optionen und Parameter bei FITTS

Bei den FITTS-Aufgaben wird unterschieden zwischen horizontalen, vertikalen und multidirektionalen Aufgaben. Diese stehen als CLICK-, DRAG&DROP- und DOUBLECLICK-Aufgaben zur Verfügung. Weiterhin sind einige andere Präzisionsaufgaben in dem Programm enthalten. Die Parametereinstellungen und die Aufgabenbeschreibungen für alle FITTS-Aufgaben sind in Tabelle B-1 abgebildet.

Tabelle B-1 Parametereinstellungen für FITTS

Aufgabentyp	Aufgabenbeschreibung	Darstellung
<b>Horizontal</b> <b>CH</b> <b>DDH</b> <b>DCH</b>	<p>Bei CLICK Horizontal (CH) besteht die Aufgabe darin, abwechselnd die beiden Objekte durch das Auslösen des Schaltelements zu aktivieren. Bei DRAG&amp;DROP Horizontal (DDH) muss das eine Objekt auf das andere gezogen werden.</p> <p><b>Einstellungsparameter sind:</b>  der Objektabstand <math>D1</math>  die Objektbreite <math>W1</math></p>	
<b>Vertikal</b> <b>CV</b> <b>DDV</b> <b>DCV</b>	<p>Bei CLICK Vertikal (CV) besteht die Aufgabe darin, abwechselnd die beiden Objekte durch das Auslösen des Tasters zu aktivieren. Bei DRAG&amp;DROP Vertikal (DDV) muss das eine Objekt auf das andere gezogen werden.</p> <p><b>Einstellungsparameter sind:</b>  der Objektabstand <math>D1</math>  die Objektbreite <math>W1</math></p>	
<b>Multidirektional</b> <b>CM</b> <b>DDM</b> <b>DCM</b>	<p>Bei CLICK Multidirektional (CM) führen die Objekte eine Kreisbewegung aus. Das erscheinende Objekt ist durch Auslösen des Tasters zu aktivieren.</p> <p><b>Einstellungsparameter sind:</b>  der Kreisradius <math>R1</math>  die Objektbreite <math>W2</math></p>	
<b>Tunnel</b> <b>DDT</b>	<p>Die Aufgabe besteht darin, die Kugel ohne Berührung der Außenwände von links nach rechts durch die Röhre zu ziehen.</p> <p><b>Einstellungsparameter sind:</b>  die Länge <math>D2</math>  die Breite <math>W3</math>  der Kugeldurchmesser <math>U2</math></p>	
<b>Enger Tunnel</b> <b>DDET</b>	<p>Die Aufgabe besteht darin, die Kugel ohne Berührung der Außenwände von links nach rechts durch die Röhre zu ziehen (wie oben, nur mit enger werdenden Röhrenwänden).</p> <p><b>Einstellungsparameter sind:</b>  die Länge <math>D2</math>  die Anfangsbreite <math>W3</math>  die Endbreite <math>W4</math>  der Kugeldurchmesser <math>U3</math></p>	
<b>Kreis</b> <b>DDK</b>	<p>Die Aufgabe besteht darin, die Kugel durch den Ring zu ziehen, wobei die Außenwände nicht berührt werden dürfen.</p> <p><b>Einstellungsparameter sind:</b>  der Innenringradius <math>R3</math>  die Ringbreite <math>K2</math>  der Kugeldurchmesser <math>U5</math></p>	
<b>Enger Kreis</b> <b>DDEK</b>	<p>Die Aufgabe besteht darin, die Kugel durch den Ring zu ziehen, wobei die Außenwände nicht berührt werden dürfen (wie oben, nur mit variierenden Ringbreiten).</p> <p><b>Einstellungsparameter sind:</b>  der Innenringradius <math>R4</math>  die kleinste Ringbreite <math>D3</math>  die größte Ringbreite <math>R5</math>  der Kugeldurchmesser <math>U4</math></p>	

## Verwendete Abstands-Breiten-Parameter

Das Gesetz von FITTS besagt, dass die Bewegungszeit (MT) bei Zielaufgaben linear abhängig ist von der Bewegungsamplitude (A) und der Zielbreite (W). Durch Variation der Parameter A und W ergeben sich verschiedene Abstands- und Breitenkonstellationen, die den Grad der Schwierigkeit (ID, Index of Difficulty) wiedergeben. Das Programm bietet die Möglichkeit, sechs Abstands-Breiten-Konstellationen pro Eingabegerät durchzuführen. Für die Aufgaben CLICK Horizontal (CH), CLICK Vertikal (CV), DRAG&DROP Horizontal (DDH), DRAG&DROP Vertikal (DDV), CLICK Multidirektional (CM) werden die in Tabelle B-2 angegebenen Zielentfernungen und Zielbreiten verwendet.

Tabelle B-2 Abstands-Breiten-Konstellation für die FITTS-Aufgaben CH, CV, DDH, DDV und CM

Aufgabentyp CH, CV, DDH und DDV							Aufgabentyp CM						
Abstand				Index of Difficulty (ID)			Abstand				Index of Difficulty (ID)		
Zielentfernung (A)		Zielbreite (W)		FITTS (1954)	WELFORD (1960)	MACKENZIE (1992)	Zielentfernung (A)		Zielbreite (W)		FITTS	WELFORD	MACKENZIE
Pixel	mm	Pixel	mm	Bit	Bit	Bit	Pixel	mm	Pixel	mm	Bit	Bit	Bit
100	33,0	50	16,5	2(1)	1,3(1)	1,6(1)	128	42,2	16	5,3	4	3,1	3,2
50	16,5	50	16,5	1	0,6	1	32	10,6	16	5,3	2(2)	1,3(2)	1,6(2)
25	8,25	50	16,5	0	0	0,6	16	5,3	16	5,3	1(2)	0,6(2)	1(2)
120	39,6	15	5,0	4	3,1	3,2	64	21,1	16	5,3	3	2,2	2,3
120	39,6	30	9,9	3	2,2	2,3	64	21,1	32	10,6	2(1)	1,3(1)	1,6(1)
120	39,6	60	19,8	2(2)	1,3(2)	1,6(2)	64	21,1	64	21,1	1(1)	0,6(1)	1(1)

Diese Parameter<sup>45</sup> werden so gewählt, dass sich nach der Original-Gleichung (2.1) von FITTS ganzzahlige Schwierigkeitsindizes (ID) ergeben. Die ID's für WELFORD und MACKENZIE ergeben sich aus den jeweiligen Gleichungen (vgl. Anhang A.5.4). Die Rechenvorschriften von FITTS, WELFORD und MACKENZIE werden gewählt, da sie den gebräuchlichsten Variationen von FITTS LAW entsprechen.

## Versuchsaufgaben im Programm

Abbildung B-5 zeigt die horizontalen, vertikalen und multidirektionalen Testaufgaben im Überblick in der Form wie sie die Versuchspersonen sehen. Mit den Versuchspersonen werden in der Versuchsreihe 2001 die Aufgaben CLICK Horizontal (CH), DRAG&DROP Horizontal (DDH), CLICK Vertikal (CV), DRAG&DROP Vertikal (DDV) sowie CLICK Multidirektional (CM) durchgeführt. Die Aufgaben des Typs DOUBLECLICK (DCH, DCV, DCM), DRAG&DROP Multidirektional (DDM), DRAG&DROP Genauigkeit, DRAG&DROP Tunnel und DRAG&DROP Enge Tunnel werden aus Zeitgründen nicht in die Versuchsreihe aufgenommen.

<sup>45</sup> Die angegebenen Maße in Millimeter beziehen sich auf einen 10,4 Zoll großen Bildschirm mit einer Auflösung von 800 x 600 Pixel (dpi) bei einer Pixelgröße (dot size) von 0,33 x 0,33 mm<sup>2</sup>. Ein Abstand von 100 Pixel entspricht einer Entfernung von 33 mm bzw. 3,3 cm. Die Umrechnung von Pixel nach cm wird allgemein folgendermaßen definiert [Bec02]: „Ist ein Bild p Pixel breit, der Bildschirm hat eine Auflösung von dpi (dots per inch, also Pixel pro inch) und wird für die Bilder der Vergrößerungsfaktor f festgelegt, so ergibt sich die Breite in cm folgendermaßen:  $cm = f \times p \times 2.54 / dpi$ “.



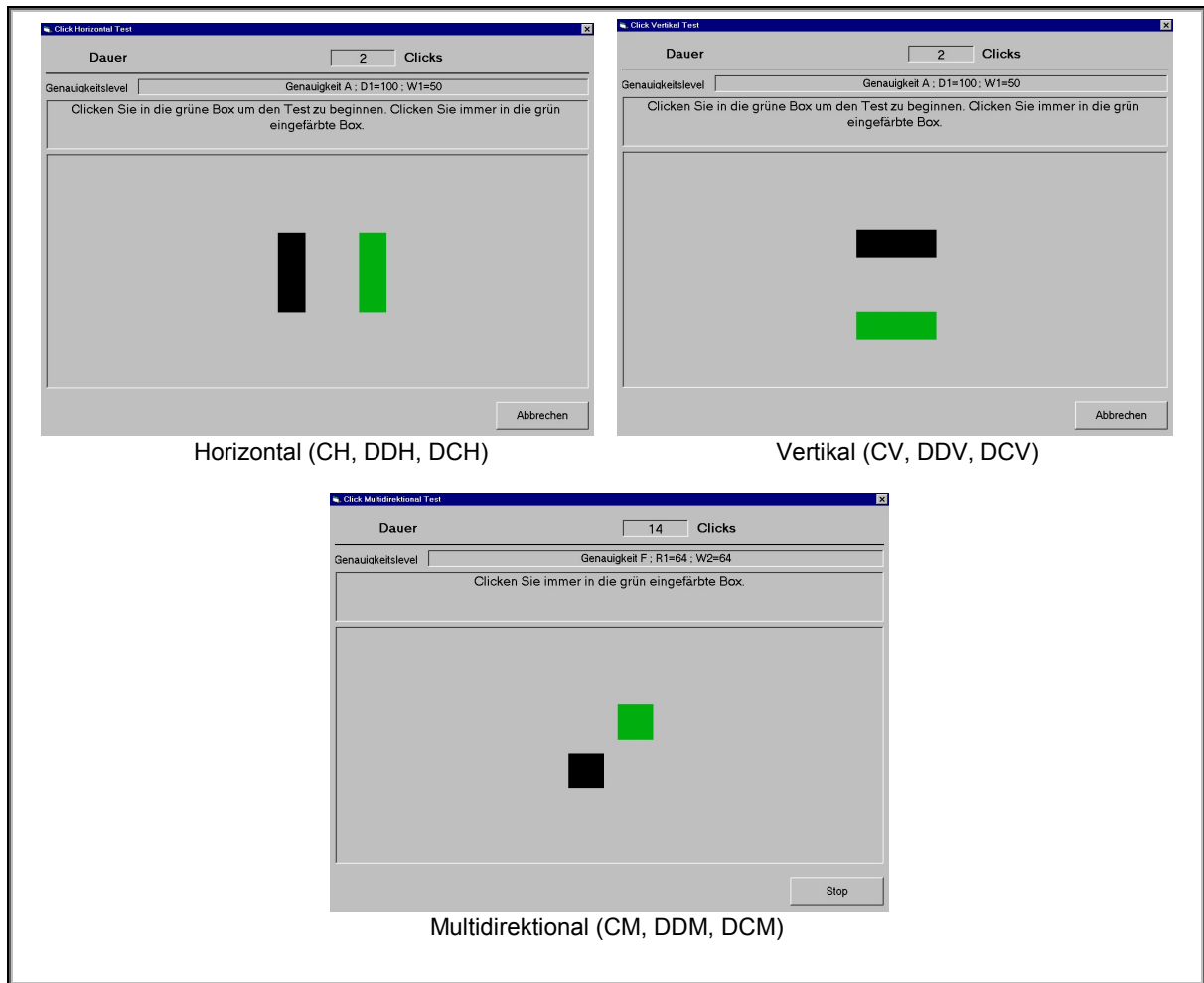


Abbildung B-5 Fitts-Aufgaben

### Weitere Auswertungsparameter

Neben dem Leistungsindex können aus der Protokolldatei auch Angaben über die Auszeit und über die Positioniergenauigkeit gemacht werden. Die Auszeit (Time Out) gibt an, wie lange die Versuchsperson benötigt, um eine Fehlaktion zu revidieren. Um die Positioniergenauigkeit zu bestimmen, wird ein Koordinatensystem in die Objektmittelpunkte gelegt. Dadurch ist es möglich, Angaben über die Position des durchschnittlichen Aktivierungspunktes bei den CLICK-Aufgaben zu machen. Die Koordinaten des Auftreffpunktes – gemessen vom Koordinatenursprung – werden durch das Programm aufgezeichnet und in der Protokolldatei ausgegeben. Bei den **Referenzgeräten** I-MAUS, MOUSETRACK und HULAPOINT werden neben den horizontalen auch die vertikalen und multidirektionalen CLICK-Aufgaben ausgewertet. Die Auftreffkoordinaten werden in Pixel ausgegeben. Gerätespezifische Angaben zur Treffgenauigkeit befinden sich in [Bec02].

## B.2 Versuchsdurchführung

### B.2.1 Informationen für die Versuchspersonen

#### Erste Informationen zum Test von Eingabegeräten

Hallo,

und herzlich willkommen zum Test von Eingabegeräten. Der folgende Text wird Ihnen erläutern, was Sie alles in den folgenden Minuten erwartet.

#### Warum wird getestet?

In vorhergehenden Untersuchungen wurde festgestellt, dass einige Eingabegeräte, die der Mensch am Rechner benutzt, nicht immer gut geeignet sind. Sie erfordern z.B. einen gewissen Platzbedarf und sind empfindlich für Verschmutzungen. Hier müssen folglich alternative Eingabegeräte gefunden werden. Wir haben einige Eingabegeräte zusammengestellt und möchte Sie bitten, diese anhand unterschiedlicher Aufgabenstellungen zu testen.

#### Was wird getestet?

Die verschiedenen Eingabegeräte reagieren unterschiedlich und fühlen sich unterschiedlich an, mit einigen Eingabegeräten werden Sie besser zurechtkommen als mit anderen. Genau diese Unterschiede interessieren uns. Wir wollen testen, wie gut die einzelnen Eingabegeräte zur Bearbeitung unterschiedlicher Anforderungen geeignet sind.

Deshalb werden Sie gebeten, sieben typische Personal Computer-Aufgaben mit diesen unterschiedlichen Eingabeelementen zu lösen. Dabei wird die Zeit, die Sie zur Lösung der Aufgabe benötigen, vom Rechner ermittelt.

#### Wie wird getestet?

Das Eingabegerät wird durch ihre Hand bzw. ihren Finger bewegt. Je nachdem, wie sie ihre Hand bzw. ihren Finger bewegen, bewegt sich auch der Zeiger (Pfeil) auf dem Bildschirm. Der Zeiger auf dem Bildschirm wird vom Eingabeelement gesteuert. Nur Bewegungen am Eingabeelement haben *Bewegungen des Zeigers am Bildschirm* zur Folge.

Knöpfe auf dem Bildschirm können Sie *auswählen*, wenn sich der Zeiger über dem Objekt befindet. Indem Sie eine Taste auf dem Eingabeelement drücken, werden diese Objekte *ausgewählt*.

Wenn Sie etwas *verschieben* wollen, müssen Sie das gewünschte Objekt mit dem Zeiger *anwählen*, mit der Taste *auswählen* und mit der gedrückt gehaltenen Taste am Eingabeelement *bewegen*.

#### Ist etwas unklar?

Wenden Sie sich bitte an den Betreuer, er steht für ihre Fragen gerne zur Verfügung.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit und viel Spaß !

Abbildung B-6 An die Versuchspersonen verteilte erste Informationen

## B.2.2 Fragebogen

<b>Fragebogen zur Bewertung von Eingabeelementen</b>		
<i>Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, Universität Kaiserslautern</i>		
<b>Identifikation</b>		
Nummer Versuchsperson:		
Alter:		
Bemerkung:		
Geschlecht:	<input type="radio"/> Männlich	<input type="radio"/> Weiblich
Erfahrung:	<input type="radio"/> Anfänger	<input type="radio"/> Fortgeschritten
Bedienhaltung:	<input type="radio"/> Aufrecht	<input type="radio"/> Sitzend
Geräteposition:	<input type="radio"/> Horizontal	<input type="radio"/> Vertikal
Jahr – Block - Nummer:		
Versuchsleiter:		
Datum:		
<b>Fragen zur persönlichen Erfahrungen mit Eingabeelementen</b>		
Haben Sie Erfahrungen im Umgang mit Rechnern (PC's)?	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
Haben Sie Erfahrung im Umgang mit Windows?	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
<i>Die folgenden drei Fragen beantworten Sie bitte nur, wenn Sie Erfahrung im Umgang mit Rechnern haben.</i>		
⇒ Wie lange arbeiten Sie schon an Rechnern (Jahre)?		
⇒ Wie oft sitzen Sie am Rechner (täglich, wöchentlich, monatlich, ...)?		
⇒ Wie viel Ihrer täglichen Zeit verbringen Sie mit Rechnern (Stunden)?		
<b>Mit welchen Eingabeelementen haben Sie schon gearbeitet?</b>		
Tastatur	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
Maus	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
Joystick	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
Touchscreen	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
mit anderen Eingabeelementen	<input type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein
Wenn Ja, mit welchen?		

Abbildung B-7 Fragebogen – Demografische Daten

Bewertung von Eingabeelementen hinsichtlich ihrer Merkmale					
<b>Bitte beurteilen Sie folgende <i>Eigenschaften</i> der Eingabeelemente. Benutzen Sie dazu eine fünfstufige Skala (1-2-3-4-5) von sehr gut (1) bis sehr schlecht (5).</b>					
		X.1	X.2	X.3	X.4
Standsicherheit					
Formgebung					
Robustheit					
Handhabbarkeit (Gesamteindruck)					
Erlernbarkeit					
Steuerbarkeit (Positionieren)					
Rückmeldung auf Betätigung (Selektieren)					
Manipulierbarkeit (Manipulieren)					
<b>Bitte beurteilen Sie die <i>Tauglichkeit</i> der Eingabeelemente für die von Ihnen gelösten Aufgaben. Benutzen Sie dazu eine fünfstufige Skala (1-2-3-4-5) von sehr gut (1) bis sehr schlecht (5). Als Hilfestellung können Sie die auf dem Tisch dargestellten Aufgabenabbildungen benutzen.</b>					
		X.1	X.2	X.3	X.4
Menüpunkt auswählen (Menu)					
4 Fenster anwählen (Window)					
Knöpfe drücken (Button)					
Rahmen ziehen (Rectangular)					
Text markieren (Text)					
Kurve nachziehen (Curve)					
Eintrag aus Auswahlliste wählen (Box)					
<b>Bitte beurteilen Sie die <i>Einsatzfähigkeit</i> der Eingabeelemente für folgende Aufgabenstellungen. Benutzen Sie dazu eine fünfstufige Skala (1-2-3-4-5) von sehr gut (1) bis sehr schlecht (5).</b>					
		X.1	X.2	X.3	X.4
Objekt anwählen (Zeiger bewegen)					
Objekt auswählen (Taste drücken)					
Objekt markieren (Zeiger bewegen & Taste drücken)					
Objekt verschieben					
<b>Hatten Sie Probleme irgendwelcher Art bei der Benutzung des Eingabeelementes?</b>					
		X.1	X.2	X.3	X.4
Finger	Ja				
	Nein				
Hand	Ja				
	Nein				
Hand-Innenfläche	Ja				
	Nein				
Arm	Ja				
	Nein				
Schulter	Ja				
	Nein				
<b>Haben Sie Hinweise oder Bemerkungen zu den von Ihnen getesteten Eingabeelementen?</b>					

Abbildung B-8 Fragebogen – Merkmale von Interaktionsgeräten

<b>Rangordnung</b>		
<b>Bitte stellen Sie eine Persönliche Rangreihenfolge der von Ihnen getesteten Eingabeelemente zusammen. Beginnen Sie mit dem Eingabeelement, welches Ihnen am besten gefallen hat.</b>		
<b>Rangplatz</b>	<b>Name des Eingabeelementes (ID)</b>	<b>Bemerkungen</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

Abbildung B-9 Fragebogen – Rangordnung

### B.2.3 Beobachtungsprotokoll

Beobachtungsprotokoll				
Dateiname			Versuchsperson/Block	
<b>Wie oft wurde vorher mit den Eingabeelementen geübt?</b>				
ID Eingabeelement	_.1	_.2	_.3	_.4
1. Versuch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Versuch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Versuch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
n. Versuch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Welche Hilfsmittel werden zur Bedienung verwendet?</b>				
ID Eingabeelement	_.1	_.2	_.3	_.4
Zwei Hände	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stift	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Andere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Welche Beobachtungen werden gemacht?</b>				
ID Eingabeelement	_.1	_.2	_.3	_.4
<b>Menu</b>				
Verrutschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falscher Menüpunkt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkung				
<b>Window</b>				
Falsche Reihenfolge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D&D (Fenster4)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkung				
<b>Button</b>				
Positionieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falsche Reihenfolge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkung				
<b>Rectangular</b>				
Verrutschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Loslassen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkung				
<b>Text</b>				
Verrutschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Loslassen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkung				
<b>Curve</b>				
Verrutschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Loslassen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkung				
<b>Box</b>				
Positionieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D&D (Slider)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bemerkung				

Abbildung B-10 Beobachtungsprotokoll

## B.2.4 Nomenklatur

Mittels der dargestellten Nomenklatur kann auf die Rohdaten der Versuchsreihen 1998 und 2001 zugegriffen werden.

*Tabelle B-3 Nomenklatur der Dateibezeichnung DEVICE 1998*

Versuchsperson	Position	Block (+ Nr.)	Versuchs-Anzahl
PXX	_X_	_BLX(.X)_	VXX
Legende:	Position	Block	Versuch
Ausprägung	Aufrecht A	Block 1 _BL1_	Versuch 1 V01
	Sitzen S	Block 2 _BL2_	Versuch 2 V02
		Block 3 _BL3_	Versuch 3 V03
Beispiel:			
<b>P01_A_BL1.4_V01.XLS:</b> Person 01; stehend; Block 1, 4. Gerät; Versuch 1			

*Tabelle B-4 Nomenklatur der Dateibezeichnung DEVICE 2001*

Test	Versuchsperson	Position	Block (+ Nr.)	Versuchs-Anzahl
D	PXX	_X_	_BLX(.X)_	VXX
Legende:	Position	Block	Versuch	
Ausprägung	Aufrecht A	Block 1 _BL1_	Versuch 1 V01	
	Sitzen S	Block 2 _BL2_	Versuch 2 V02	
		Block 3 _BL3_	Versuch 3 V03	
Beispiel:				
<b>D_P01_A_BL1.4_V01.XLS:</b> DEVICE; Person 01; stehend; Block 1, 4. Gerät; Versuch 1				

*Tabelle B-5 Nomenklatur der Dateibezeichnung FITTS 2001*

Test	Versuchsperson	Block (+ Nr.)	Aufgabe	Hit [bzw. time]	
F	PXX	_BLX(.X)_	_X_	HX [bzw. TX]	
Legende:	Block		Aufgabe	Hit [bzw. Time]	
Ausprägung	Block 1	_BL1_	CLICK Hor. _CH_	Hit 10	H10
	Block 2	_BL2_	CLICK Ver. _CV_	Hit 20	H20
	Block 3	_BL3_	CLICK Multid _CM_	Hit 30	H30
	Block 4	_BL4_	D&D Hor. _DDH_	Time 10	T10
			D&D Ver. _DDV_	Time 20	T20
Beispiel:					
<b>F_P01_BL1.4_A_H(X).XLS:</b> FITTS; Person 01; Block 1, 4. Gerät; Aufgabe A; Hit(Anz.)					

Abbildung B-11 Nomenklatur der Codierung der Interaktionsgeräte 1998

Gerätegruppe + Einzelgerät	Bezeichnung in dieser Arbeit	Kurzbezeichnung	Bezeichnung Testsoftware	Jahr + Block + Nummer	Firma
<b>Bezeichnungen der Interaktionsgeräte für die Versuchsreihe 1998</b>					
Mouse : I-Maus	I-MAUS	M:IM	Maus 1	98.1.1	Hoka/Rittal
Mouse : Anir-Maus	ANIR-MAUS	M:AM	Maus 2	98.1.4	ANIMAX
Mouse : MicroPoint	MICROPOINT	M:MP	Maus 3	98.5.2	Altra
Trackball : TB5	TB5	TB:TB	Trackball 1	98.1.2	EAE
Trackball : MouseTrack Evolution	EVOLUTION	TB:MTE	Trackball 2	98.3.1	ITAC
Trackball : Mousetrack Industrial	MOUSETRACK	TB:MTI	Maus 5	98.4.4	ITAC
Mousepad : SmartCad Trackpad	TRACKPAD	MP:STP	Fingermaus 1	98.2.1	Cirque
Mousebutton : CyberClick	CYBERCLICK	MB:CC	Mousebutton 3	98.1.3	RUWIDO
Mousebutton : DuraPoint	DURAPPOINT	MB:DP	Mousebutton 1	98.2.3	Interlink Electronics
Mousebutton : HulaPoint	HULAPPOINT	MB:HP	Mousebutton 2	98.4.1	Texas Industrials Peripherals
Mousebutton : MicroModule (Button)	MICROBUTTON	MB:MMB	Mousestick 3	98.4.2	Interlink Electronics
Mousestick : MicroModule (Stick)	MICROSTICK	MS:MMS	Mousestick 1	98.2.2	Interlink Electronics
Mousestick : MicroJoystick	MICROJOYSTICK	MS:MJ	Mousestick 2	98.3.3	Interlink Electronics
Joystick : Industrie-Maus	INDUSTRIE-MAUS	J:IM	Joystick 1	98.3.2	ISH
Joystick : Industrie-Joystick	INDUSTRIE-JOYSTICK	J:IJ	Joystick 2	98.4.3	R & R
Digitizing Tablet : SmartPen Tablet	SMARTTABLET	DT:ST	Maus 4	98.5.1	Micromedia
Touchscreen : AccuTouch	ACCU TOUCH	TS:AT	Touchscreen 1	98.3.4	ELO
Keyboard : Cherry (QWERTZ)	CHERRY	K:C	Tastatur 1	98.2.4	Cherry
<b>Bezeichnungen der Interaktionsgeräte für die Versuchsreihe 2001</b>					
Mouse:I-Maus	I-MAUS	M:IM	Maus 1	01.1.2	Hoka/Ritta
Mouse:Micropoint Ergo	MICROPOINT ERGO	M:MPE	Maus 4	01.4.2	Altra (+ Modifikationen)
Mouse:Trackbar	TRACKBAR	M:TB	Maus 2	01.1.1	Celltrix
Trackball:Mousetrack Industrial	MOUSETRACK	TB:MTI	Trackball 1	01.1.3	ITAC
Trackball:Logitech	LOGITECH	TB:L	Trackball 3	01.4.1	Logitech
Trackball:TB5 Ergo	TB5 ERGO	TB:TBE	Trackball 2	01.3.2	modifizierte Geräte
Trackball:Mini	MINI	TB:M	Fingermaus 1	01.2.3	GeBE Computer
Mousebutton:HulaPoint	HULAPPOINT	MB:HP	Mousebutton 2	01.4.3	Texas Industrials Peripherals
Mousebutton:Mobile Button	MOBILE BUTTON	MB:MB	Mousebutton 1	01.2.1	GeBE Computer
Mousebutton:Buttonstick Ergo	BUTTONSTICK ERGO	MB:BSE	Joystick 1	01.3.1	modifizierte Geräte
Mousepad:Touchpad Ergo	TOUCHPAD ERGO	MP:TPE	Maus 3	01.3.3	modifizierte Geräte
Touchscreen:AccuTouch	ACCU TOUCH	TS:AT	Touchscreen 1	01.2.2	ELO



### B.2.5 Permutationsplan

Bei den Versuchsreihen wird die Aufgabenreihenfolge der DEVICE-Versuchsaufgaben permutiert, um durch die Bearbeitungsreihenfolge induzierte Abhängigkeiten zu vermeiden.

Tabelle B-6 Permutationsplan der Aufgabenreihenfolge von DEVICE 1998 und DEVICE 2001

Aufgabenreihe	Reihenfolge	Nummer	Inhalt
Aufgabenreihe A	1-2-3-4-5-6-7	Aufgabe 1	Menü auswählen
Aufgabenreihe B	3-5-7-2-6-1-4	Aufgabe 2	Fenster anwählen
Aufgabenreihe C	7-1-6-5-2-4-3	Aufgabe 3	Buttons drücken
Aufgabenreihe D	4-2-1-5-3-7-6	Aufgabe 4	Rahmen ziehen
		Aufgabe 5	Text markieren
		Aufgabe 6	Linie nachziehen
		Aufgabe 7	Eintrag aus Auswahlliste wählen

In den Permutationsplänen der Aufgabendarbietung sind die Blöcke und die Nummern der Interaktionsgeräte sowie die Aufgabenreihen angegeben.

Tabelle B-7 Permutationsplan der Aufgabendarbietung DEVICE 1998

VP	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16	
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32																
Block 1	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D
	2	B	3	C	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	2	B	3	C
	3	C	4	D	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	3	C	2	B	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	1	A	2	B
	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	2	B	3	C	1	A	4	D	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A
Block 2	2	B	3	C	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A
	3	C	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	2	B	3	C	2	B
	4	D	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	3	C	2	B	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C
	1	A	2	B	3	C	4	D	2	B	3	C	1	A	4	D	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	4	D
Block 3	3	C	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	2	B
	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	2	B	3	C	2	B	3	C
	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	3	C	2	B	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D
	2	B	3	C	4	D	2	B	3	C	1	A	4	D	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	4	D	1	A
Block 4	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C
	1	A	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	2	B	3	C	2	B	3	C	4	D
	2	B	2	B	4	D	1	A	3	C	2	B	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A
	3	C	4	D	2	B	3	C	1	A	4	D	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	4	D	1	A	2	B
Block 5	1	A	1	A	2	B	2	B	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D
	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	2	B	3	C	2	B	3	C	4	D	1	A
	2	B	4	D	1	A	3	C	2	B	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	2	B
	4	D	2	B	3	C	1	A	4	D	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	4	D	1	A	2	B	3	C
Block 6	2	B	2	B	3	C	3	C	4	D	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	1	A
	4	D	4	D	1	A	1	A	2	B	2	B	4	D	1	A	2	B	3	C	2	B	3	C	4	D	1	A	3	C	3	C
	1	A	3	C	2	B	4	D	1	A	3	C	3	C	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	2	B	2	B	4	D
	3	C	1	A	4	D	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	4	D	1	A	4	D	1	A	2	B	3	C	4	D	2	B

Tabelle B-8 Permutationsplan der Aufgabendarbietung für DEVICE 2001

VP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																
Block 1	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A						
	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C
	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B
Block 2	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B
	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A
	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C
Block 3	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C
	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B
	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A
Block 4	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A	2	B	3	C	1	A
	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B
	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C	1	A	2	B	2	B	3	C	1	A	3	C

Tabelle B-9 Permutationsplan der Aufgabendarbietung für FITTS 2001

VPN	1		2		3		4		5		6		7		8	
	9	10	11	12	13	14	15	16								
Block 1	1	CH-DDH	2	A-B	3	A-B	1	CH-DDH	2	A-B	3	A-B	1	CH-DDH	2	A-B
	2	A-B	3	B-A	1	CH-DDH	3	A-B	1	CH-DDH	2	B-A	2	A-B	3	B-A
	3	B-A	1	CH-DDH	2	B-A	2	B-A	3	B-A	1	CH-DDH	3	B-A	1	CH-DDH
Block 2	2	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH	2	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH	2	DDH-CH	3	DDH-CH
	3	CH-DDH	1	CH-DDH	3	CH-DDH	1	CH-DDH	2	CH-DDH	2	CH-DDH	3	CH-DDH	1	CH-DDH
	1	DDH-CH	2	DDH-CH	2	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH	2	DDH-CH
Block 3	3	DDH-CH	1	DDH-CH	2	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH	2	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH
	1	CH-DDH	3	CH-DDH	1	CH-DDH	2	CH-DDH	2	CH-DDH	3	CH-DDH	1	CH-DDH	3	CH-DDH
	2	DDH-CH	2	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH	3	DDH-CH	1	DDH-CH	2	DDH-CH	2	DDH-CH
Block 4	1	CH-DDH	2	CH-DDH	3	A-B	1	CH-DDH	2	CH-DDH	3	A-B	1	CH-DDH	2	CH-DDH
	3	A-B	1	DDH-CH	2	CH-DDH	2	DDH-CH	3	A-B	1	CH-DDH	3	A-B	1	DDH-CH
	2	DDH-CH	3	A-B	1	DDH-CH	3	A-B	1	DDH-CH	2	DDH-CH	2	DDH-CH	3	A-B

**Legende:**

<b>A</b>	Alle CLICK-Aufgaben (Click Horizontal, Click Vertikal, Click Multidirektional)
<b>B</b>	Alle DRAG&DROP-Aufgaben (D&D Horizontal, D&D Vertikal)
<b>CH</b>	CLICK Horizontal
<b>DDH</b>	DRAG and DROP Horizontal

## B.3 DEVICE – Kennwerte und Merkmalswerte

### B.3.1 Pointing Device Index (pak-PDI)

Der pak Kennwert für Eingabegeräte - der Pointing-Device-Index (pak-PDI) - gibt die Qualität und die Tauglichkeit eines Eingabegerätes im Vergleich zu einer Standard-Maus wieder. Die Maus wird als Referenz gewählt, da sie einen defacto-Standard bei direkt-manipulativen Bedienoberflächen darstellt. Der pak-Index wird zu der Gruppe der untersuchten Personen referenziert, d.h., er kann sowohl für die Gruppe der gesamten Versuchspersonen, die Gruppe der Anfänger oder die Gruppe der Fortgeschrittenen gebildet werden. Durch den modularen Aufbau des Indizes lassen sich leicht Kennziffern für die verschiedenen Aufgaben, die unterschiedliche Anforderungen an das Eingabeelement stellen, ermitteln.

Es werden zwei Arten von Kennwerten unterschieden:

**pak-PDI<sub>C</sub>** Dieser Kennwert gibt die Tauglichkeit eines untersuchten Eingabegerätes für einfache CLICK Aufgaben (C) im Vergleich zur Standard-Maus wieder.

**pak-PDI<sub>D</sub>** Dieser Kennwert gibt die Tauglichkeit eines untersuchten Eingabegerätes für komplexe DRAG & DROP Aufgaben (D) im Vergleich zur Standard-Maus wieder.

Zur Berechnung des pak-PDI müssen bestimmte Werte bekannt sein. Diese lassen sich mit dem pak-Softwareprogramm zur Untersuchung von Eingabeelementen ermitteln. Die benötigten Werte sind:

- Zeit gültiger Versuch (time valid attempt)  $t_i$
- Zeit gesamt (time totally)  $t_t$
- Anzahl der Versuche (number of attempts)  $N_a$
- Punkte gültig (points valid)  $P_v$
- Punkte ungültig (points invalid)  $P_i$

Die Formel zur Berechnung des pak-Index ist nach folgendem Schema aufgebaut:

$$\text{pak-PDI} = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^n (A_{\text{task},i} + B_{\text{task},i} + C_{\text{task},i} + \dots + N_{\text{task},i})$$

X entspricht der Anzahl der Summanden (A, B, C, ..., N). Die einzelnen Summanden repräsentieren den jeweiligen Messwert bezogen auf die Aufgabe (task) und die Testperson (i). Die Größe n gibt den Umfang der untersuchten Personengruppe wieder. Je kleiner der Index ist, desto besser ist das Eingabeelement geeignet, um die jeweilige Aufgabe zu erfüllen. Am Beispiel des **pak-PDI<sub>C</sub>** wird die Formel erläutert.

- Der erste Summand in der Formel gibt die von der Testperson benötigte Gesamtzeit ( $t_t$ ) im Verhältnis zur von der Testperson für den letzten Versuch (Lösungszeit) benötigten Zeit ( $t_i$ ) wieder.

- Der zweite Summand gibt die von der Testperson benötigte Zeit ( $t_i$ ) für den letzten Versuch im Verhältnis zur von den Testpersonen dieser Gruppe durchschnittlich benötigten Zeit wieder.
- Der dritte Summand gibt die von der Testperson benötigte Anzahl an Versuchen ( $N_a$ ) im Verhältnis zu den von den Testpersonen dieser Gruppe durchschnittlich benötigten Anzahl an Versuchen wieder.

Der **Wert 1,00** für ein Eingabeelement bezogen auf eine Testperson ergibt sich, wenn alle Summanden in der jeweiligen Formel 1,00 werden. Dafür sind folgende Voraussetzungen notwendig:

- Der erste Summand wird 1,00, wenn die Gesamtzeit ( $t_t$ ) gleich der Lösungszeit ( $t_l$ ) ist, d.h., die Testperson benötigt idealerweise nur einen Versuch zum Lösen der Aufgabe.
- Die Testperson benötigt die gleiche Zeit ( $t_i$ ) zum Lösen der Aufgabe wie ihre spezifische Referenzgruppe im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen, der zweite Summand wird gleich 1,00.
- Die Testperson benötigt die gleiche Anzahl an Versuchen ( $N_a$ ) wie ihre spezifische Referenzgruppe im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen, der dritte Summand wird gleich 1,00.

Ein **kleinerer Wert als 1,00** ergibt sich, wenn einer oder mehrere der Summanden einen Wert kleiner gleich 1,00 haben. Dies ist der Fall, wenn ein oder mehrere der folgenden Faktoren zutreffen:

- Die Gesamtzeit ( $t_t$ ) ist gleich der Lösungszeit ( $t_l$ ), d.h., die Testperson benötigt idealerweise nur einen Versuch zum Lösen der Aufgabe, der erste Summand wird gleich 1.
- Die Testperson benötigt weniger Zeit ( $t_i$ ) zum Lösen der Aufgabe als ihre spezifische Referenzgruppe im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen, der zweite Summand wird kleiner als 1,00.
- Die Testperson benötigt eine geringere Anzahl an Versuchen ( $N_a$ ) als ihre spezifische Referenzgruppe im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen, der dritte Summand wird kleiner als 1,00.

Ein **höherer Wert als 1,00** ergibt sich, wenn einer oder mehrere der Summanden einen Wert größer gleich 1,00 haben. Dies ist der Fall, wenn ein oder mehrere der folgenden Faktoren Punkte zutreffen:

- Der erste Summand wird größer als 1, wenn die Gesamtzeit ( $t_t$ ) größer der Lösungszeit ( $t_l$ ) ist, d.h., die Testperson benötigt mehr als einen Versuch zum Lösen der Aufgabe.
- Die Testperson benötigt mehr Zeit ( $t_i$ ) zum Lösen der Aufgabe als ihre spezifische Referenzgruppe im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen, der zweite Summand wird größer als 1,00.
- Die Testperson benötigt eine höhere Anzahl an Versuchen ( $N_a$ ) als ihre spezifische Referenzgruppe im Mittel benötigt, um die Aufgabe zu lösen, der dritte Summand wird größer als 1,00.

### B.3.2 PDI für CLICK-Aufgaben

$$\text{pak-PDI}_C = \frac{1}{12} \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{t,\text{menu},i}}{t_{l,\text{menu},i}} + \frac{t_{l,\text{menu},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{menu},\text{mouse},i}} + \frac{N_a}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{menu},\text{mouse},i}} \right) + \right. \\
 \left. \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{t,\text{window},i}}{t_{l,\text{window},i}} + \frac{t_{l,\text{window},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{window},\text{mouse},i}} + \frac{N_a}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{window},\text{mouse},i}} \right) + \right. \\
 \left. \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{t,\text{button},i}}{t_{l,\text{button},i}} + \frac{t_{l,\text{button},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{button},\text{mouse},i}} + \frac{N_a}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{button},\text{mouse},i}} \right) + \right. \\
 \left. \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{t,\text{box},i}}{t_{l,\text{box},i}} + \frac{t_{l,\text{box},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{box},\text{mouse},i}} + \frac{N_a}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{box},\text{mouse},i}} \right) \right)$$

mit:

n	Anzahl der Versuche der Probanden der jeweiligen Nutzergruppe
$t_l$	Zeit gültiger Versuch (time valid attempt)
$t_t$	Zeit gesamt alle Versuche (time totally all attempts)
$N_a$	Anzahl Versuche (number of attempts)
menu	Aufgabe: Menüeintrag auswählen
window	Aufgabe: Fenster anwählen
button	Aufgabe: Knöpfe drücken
box	Aufgabe: Eintrag aus Auswahlliste auswählen
mouse	Die Einzelwerte werden auf die Mittelwerte der jeweiligen Nutzergruppe für die Standard-Maus referenziert.

### B.3.3 PDI für DRAG&DROP-Aufgaben

$$\text{pak-PDI}_D = \frac{1}{9} \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_{i,\text{curve}i}}{P_{v,\text{curve}i}} + \frac{t_{t,\text{curve}i}}{t_{l,\text{curve}i}} + \frac{t_{l,\text{curve}i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{curvemouse}i}} + \frac{N_a}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{curvemouse}i}} \right) + \right. \\
 \left. \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{t,\text{text},i}}{t_{l,\text{text},i}} + \frac{t_{l,\text{text},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{text,mouse},i}} + \frac{N_a}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{text,mouse},i}} \right) + \right. \\
 \left. \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{t,\text{rectng},i}}{t_{l,\text{rectng},i}} + \frac{t_{l,\text{rectng},i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{l,\text{rectng},\text{mouse},i}} + \frac{N_a}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{a,\text{rectng},\text{mouse},i}} \right) \right)$$

mit:

n	Anzahl der Versuche der Probanden der jeweiligen Nutzergruppe
t <sub>l</sub>	Zeit gültiger Versuch (time valid attempt)
t <sub>t</sub>	Zeit gesamt alle Versuche (time totally all attempts)
N <sub>a</sub>	Anzahl Versuche (number of attempts)
P <sub>i</sub>	Punkte ungültig (points invalid)
P <sub>v</sub>	Punkte gültig (points valid)
curve	Aufgabe: Eine gegebene Linie nachfahren
text	Aufgabe: Textabschnitt markieren
rectng.	Aufgabe: Rahmen auf vorgegebene Größe aufziehen
mouse	Die Einzelwerte werden auf die Mittelwerte der jeweiligen Nutzergruppe für die Standard-Maus referenziert.

### B.3.4 Referenzwerte

Die Referenzwerte wurden in den Versuchsreihen DEVICE 1998 und DEVICE 2001 am Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung, Universität Kaiserslautern ermittelt. Sie geben die arithmetisch gemittelten Merkmalswerte für die jeweilige Referenzgruppe von Versuchspersonen (VP) an.

Tabelle B-10 Referenzwerte für die I-MAUS

Referenzwerte I-MAUS		1998									2001
Gruppe von Versuchspersonen		Alle VP	VP 1-16	VP 17-32	VP 1-8, 17-24	VP 9-16, 25-32	VP 1-8	VP 9-16	VP 17-24	VP 25-32	VP 1-16
Aufgabentyp	Einzel-aufgabe	Mittelwerte für Zeit gültiger Versuch $t_i$ [s]									
CLICK	Menu	9,231	6,250	12,212	10,373	8,089	5,533	6,967	15,212	9,211	5,226
	Window	14,653	9,115	20,192	16,982	12,325	8,170	10,060	25,794	14,590	9,209
	Button	9,501	7,400	11,601	9,475	9,526	6,921	7,879	12,030	11,173	7,761
	Box	5,569	3,528	7,610	5,575	5,562	2,899	4,156	8,251	6,968	3,524
DRAG & DROP	Curve	17,612	12,965	22,260	17,716	17,509	11,494	14,435	23,938	20,582	10,44
	Text	5,437	3,139	7,736	6,154	4,720	2,952	3,326	9,356	6,115	3,488
	Rectng.	5,429	3,277	7,581	5,415	5,443	3,050	3,505	7,780	7,382	4,106
Referenzwerte I-MAUS		1998									2001
Gruppe von Versuchspersonen		Alle VP	VP 1-16	VP 17-32	VP 1-8, 17-24	VP 9-16, 25-32	VP 1-8	VP 9-16	VP 17-24	VP 25-32	VP 1-16
Aufgabentyp	Einzel-aufgabe	Mittelwerte für Anzahl Versuche $N_a$ [s]									
CLICK	Menu	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Window	1,219	1,188	1,250	1,125	1,313	1,125	1,250	1,125	1,375	1,750
	Button	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Box	1,125	1,125	1,125	1,063	1,188	1,125	1,125	1,000	1,250	1,063
DRAG & DROP	Curve	1,219	1,313	1,125	1,188	1,250	1,125	1,500	1,250	1,000	1,133
	Text	1,094	1,063	1,125	1,063	1,125	1,000	1,125	1,125	1,125	1,000
	Rectng.	1,375	1,125	1,625	1,438	1,313	1,000	1,250	1,875	1,375	6,250

## B.4 FITTS – Kennwerte und Merkmalswerte

### B.4.1 Berechnung des Index of Performance

Die einzelnen Datenpunkte, bestehend aus Bewegungszeit (MT, Movement Time) und Schwierigkeitsindex (ID, Index of Difficulty), werden in ein x,y-Koordinatensystem eingetragen und eine Ausgleichsgerade wird berechnet. Es ergibt sich – aufgrund der sechs Abstands-Breiten-Konstellationen die in Abbildung B-12 abgebildete Punktwolke aus sechs Punktepaaren. Beim Schwierigkeitsindex 2 existieren 2 Wertepaare, da zwei unterschiedliche Abstands-Breiten-Konstellationen zu dem gleichen ID führen. Da bei der Bestimmung der Regressionsgeraden bei zwei identischen X-Werten nur der bessere Wert (in diesem Fall der Schwierigkeitsindex 2(2)) in die Berechnung einfließt, wird der Schwierigkeitsindex 2(1) bei den folgenden Betrachtungen nicht berücksichtigt.

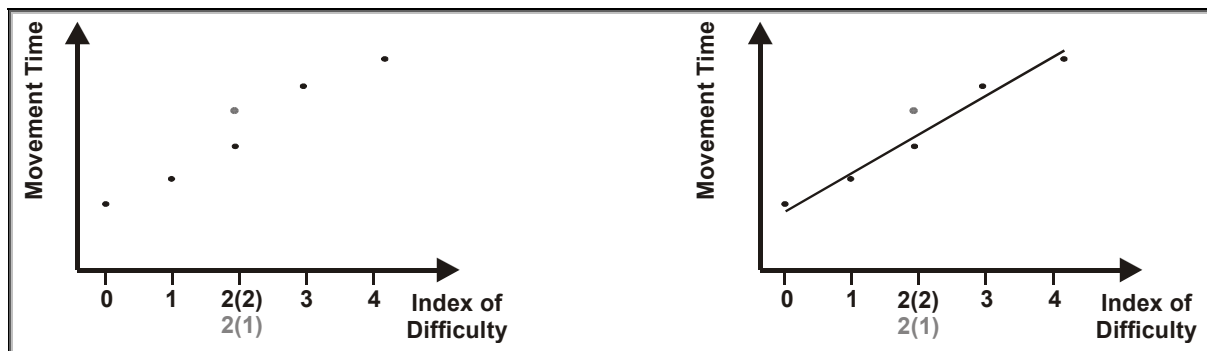


Abbildung B-12 Punktwolke mit linearer Regression

Zunächst werden die Daten beider Merkmale als Punktwolke in einem Koordinatensystem dargestellt. MT wird auf der senkrechten y-Achse, der ID an der waagrechten x-Achse aufgetragen. In einem zweiten Schritt wird durch lineare Regression eine Gerade so in die Punktwolke gelegt, dass sie stellvertretend für alle Punkte der Punktwolke steht, diese also in bestmöglicher Form zusammenfassend beschreibt. Diese Regressionsgerade ist diejenige Gerade, die nach dem von GAUß formulierten „Kriterium der kleinsten Quadrate“ dem Gesamttrend aller Punkte am ehesten entspricht (Regressionsanalyse vgl. Abschnitt B.7.1). Da der Leistungsindex den Reziprokwert der Steigung der Regressionsgeraden darstellt, ist der IP anschließend leicht zu bestimmen ( $y = mx + b \Rightarrow IP = 1/m$ ).

## B.5 Testgütekriterien

### B.5.1 Axiome der Testtheorie

Kennzeichnend für eine Testtheorie sind ihre Annahmen über die gemessenen Testwerte. Für die klassische Testtheorie lassen sich diese Grundannahmen in fünf Axiomen ausdrücken. Auf der Basis dieser Axiome sind die Testgütekriterien definierbar, die die Qualität eines Tests angeben: *Objektivität*, *Reliabilität*, *Validität* und *Utilität*. Testgütekriterien und Itemkennwerte sind von entscheidender Bedeutung für die Neukonstruktion und Veränderung eigener Tests. Aber auch bei der Verwendung bereits publizierter Instrumente, die in unveränderter Form übernommen werden, ist es oftmals empfehlenswert, die Testgüte anhand der eigenen Stichprobe nachzuprüfen.



Die Kriterien der klassischen Testtheorie lassen sich sowohl auf Tests im engeren Sinne – die eine Individualdiagnose anhand von Normwerten anstreben – als auch auf Fragebögen anwenden, die eher die Funktion von Forschungsinstrumenten haben und bei denen statt individueller Werte primär Aggregatwerte (v.a. Gruppenmittelwerte) interessieren. Fragebögen, die den Kriterien der klassischen Testtheorie genügen, werden auch psychometrische Fragebögen genannt. Psychometrische Fragebögen sind in der Forschungspraxis die Regel, während im Alltag oftmals ad hoc- Fragebögen verwendet werden (z.B. sog. „Psychotests“ in Zeitschriften), deren testtheoretische Eigenschaften unbekannt sind.

Grundlegend für die klassische Testtheorie sind die folgenden **fünf Axiome**, die sich auf die Eigenschaften des Messfehlers beziehen:

- *Axiom 1:* Das Testergebnis (Score:  $X$ ) setzt sich additiv aus dem „wahren Wert“ (True Score:  $T$ ) und dem Messfehler (Error Score:  $E$ ) zusammen:  $X = T + E$ . Beispiel: Das Intelligenztestergebnis einer Person setzt sich zusammen aus ihrer „wahren“ Intelligenz und Fehlereffekten (Müdigkeit, Unkonzentriertheit).
- *Axiom 2:* Bei wiederholten Testanwendungen kommt es zu einem Fehlerausgleich, d.h., der Mittelwert ( $\mu$ ) des Messfehlers ist Null:  $\mu(E) = 0$ . Der Mittelwert mehrerer unabhängiger Messungen an demselben Untersuchungsobjekt ist folglich messfehlerfrei und repräsentiert den wahren Wert:  $\mu(X) = \mu(T) + \mu(E) = T + 0 = T$ . Da die wahre Merkmalsausprägung sich bei wiederholten Messungen an demselben Untersuchungsobjekt nicht ändert, gilt  $\mu(T) = T$ . Würde man bei einer Person immer wieder die Intelligenz messen, so wäre der Mittelwert dieser Messungen der „wahre“ Intelligenzwert, weil Fehlerschwankungen (z.B. besserer Wert durch richtiges Raten, schlechterer Wert durch Müdigkeit) sich auf längere Sicht „ausmitteln“.
- *Axiom 3:* Die Höhe des Messfehlers ist unabhängig vom Ausprägungsgrad des getesteten Merkmals, d.h., wahrer Wert und Fehlerwert sind unkorreliert:  $\rho_{T, E} = 0$ . Fehlereinflüsse durch die „Tagesform“ (Motivation, Wachheit etc.) sind bei Personen mit hoher und niedriger Intelligenz in gleicher Weise wirksam.
- *Axiom 4:* Die Höhe des Messfehlers ist unabhängig vom Ausprägungsgrad anderer Persönlichkeitsmerkmale ( $T'$ ):  $\rho_{T', E} = 0$ . Die Messfehler eines Intelligenztests sollten z.B. nicht mit Testangst oder Konzentrationsfähigkeit korrelieren.
- *Axiom 5:* Die Messfehler verschiedener Testanwendungen (bei verschiedenen Personen oder Testwiederholungen bei einer Person) sind voneinander unabhängig, d.h., die Fehlerwerte sind unkorreliert:  $\rho_{E, E'} = 0$ . Personen, die bei einer Testanwendung besonders müde sind, sollten bei einer Testwiederholung keine analogen Müdigkeitseffekte aufweisen.

Es ist bedeutsam, dass es sich bei Axiomen grundsätzlich um Festsetzungen bzw. Definitionen handelt und nicht um empirische Tatsachen. Ob sich „wahrer“ Wert und Fehlerwert tatsächlich „in Wirklichkeit“ additiv verknüpfen, ist nicht beweisbar. Ein Kritikpunkt an der klassischen Testtheorie lautet, dass ihre Axiome unrealistisch seien. Dennoch – und dies belegen die zahlreichen, nach den Richtlinien der klassischen Testtheorie entwickelten Tests – scheint sich die Axiomatik in der Praxis zu bewähren.

## B.5.2 Objektivität

Bei standardisierten quantitativen Verfahren, die von geschulten Versuchsleitern unter kontrollierten Bedingungen eingesetzt und ausgewertet werden, ist davon auszugehen,

dass perfekte *Objektivität* vorliegt. Ein Test oder ein Fragebogen ist objektiv, wenn verschiedene Testanwender bei den selben Personen zu den gleichen Resultaten gelangen, d.h., ein objektiver Test ist vom konkreten Testanwender unabhängig. Ein Test wäre also nicht objektiv, wenn in die Durchführung oder Auswertung, z.B. besonderes Expertenwissen oder individuelle Deutung des Anwenders einfließen, die intersubjektiv nicht reproduzierbar sind. Die Objektivität (Anwenderunabhängigkeit) eines Tests gliedert sich in drei Unterformen: **Durchführungsobjektivität**, **Auswertungsobjektivität** und **Interpretationsobjektivität**.

Die **Durchführungsobjektivität** betrifft die identische Reproduzierbarkeit des Untersuchungsablaufs in allen Aspekten (z.B. Einstimmung auf Untersuchung, Beantwortung von Fragen, emotionale Stimmung des Versuchsleiters): Verletzt wäre die Forderung nach Durchführungsobjektivität, wenn dieselbe Person die Aufgabenstellung bei einem Versuchsleiter nicht versteht, während sie bei einem anderen Untersucher problemlos arbeiten kann. Eine hohe Durchführungsobjektivität wird durch standardisierte Instruktionen (Bearbeitungsanweisungen für die Probanden) erreicht, die dem Testanwender während der Durchführung des Tests keinen individuellen Spielraum lassen. Versuchsinstruktionen – aber auch die Beantwortung von Rückfragen – sind in der Regel vorgegeben und sollten vom Testanwender auswendig gelernt oder zumindest sicher abgelesen werden.

Für eine hohe **Auswertungsobjektivität** sollte die Auswertung der Ergebnisse ebenfalls unabhängig von der Person des Versuchsleiters sein. Verschiedene Auswerter sollten bei der Auswertung desselben Versuchsprotokolls zu exakt denselben quantitativen Ergebnissen kommen.

Um **Interpretationsobjektivität** zu erreichen, dürfen individuelle Deutungen nicht in die Interpretation der gemessenen *Variablen* einfließen. Stattdessen wird sich bei der Interpretation an vorgegebenen Vergleichswerten bzw. sogenannten Normen orientiert, die anhand repräsentativer Stichproben ermittelt werden und als Vergleichsmaßstab dienen. So besitzt die Analyse von mehrdimensionalen Tabellen oder das Berechnen und Vergleichen von statistischen Kennwerten bereits einen bestimmten interpretativen Stellenwert.

### B.5.3 Reliabilität

Die *Reliabilität* (Zuverlässigkeit) gibt den Grad der Messgenauigkeit (Präzision) eines Instrumentes an. Die Reliabilität ist umso höher, je kleiner der zu einem Messwert gehörende Fehleranteil ist. Perfekte Reliabilität würde bedeuten, dass der Test in der Lage ist, den wahren Wert ohne jeden Messfehler zu erfassen. Dieser Idealfall tritt in der Praxis leider nicht auf, da sich Fehlereinflüsse durch situative Störungen, Müdigkeit der Probanden oder Missverständnisse nie ganz ausschließen lassen. Allgemein geht das Konzept der Reliabilität davon aus, dass die Messung eines Merkmals mit Messfehlern behaftet ist.

Wie kann nun die Messgenauigkeit bzw. Reliabilität eines Tests quantifiziert werden, wenn doch stets nur messfehlerbehaftete Messwerte verfügbar und die „wahren“ Werte unbekannt sind? Wie will man erkennen, ob in einer Messwertreihe mit Intelligenztestergebnissen ein großer Fehleranteil (= unreliable Messung) oder ein kleiner Fehleranteil (= reliable Messung) „steckt“?

Zur Lösung dieses Problems wird auf die Axiome der klassischen Testtheorie (s.o.) zurückgegriffen. Ein vollständig reliabler Test müsste nach wiederholter Anwendung bei denselben Personen zu exakt den gleichen Ergebnissen führen (perfekte Korrelation bei-

der Messwertreihen), sofern der „wahre“ Wert unverändert ist (was bei zeitstabilen Persönlichkeitsmerkmalen und Eigenschaften vorausgesetzt werden kann). Weichen die Ergebnisse wiederholter Tests voneinander ab bzw. sind sie unkorreliert, werden hierfür Messfehler verantwortlich gemacht. Da Messfehler sowohl von den wahren Werten, von anderen Merkmalen als auch voneinander unabhängig sind (Axiome 3,4 und 5), können die Messungen nur unsystematische Abweichungen zwischen den Messwerten zweier Messzeitpunkte erzeugen. Diese unsystematischen Abweichungen konstituieren die sog. Fehlervarianz. Je größer die Fehlervarianz, umso mehr Messfehler fließen in die Testwerte ein. Umgekehrt spricht eine niedrige Fehlervarianz für hohe Messgenauigkeit. Je größer die Ähnlichkeit bzw. der korrelative Zusammenhang zwischen beiden Messwertreihen, umso höher ist der Anteil der systematischen, gemeinsamen Variation der Werte und umso geringer ist gleichzeitig der Fehleranteil. Messwertunterschiede sind dann nicht „zufällig“, sondern systematisch; sie gehen auf „wahre“ Merkmalsausprägungen zurück und konstituieren die sog. „wahre Varianz“.

#### **B.5.4 Validität**

Die *Validität* (Gültigkeit) gibt den Grad der Genauigkeit an, mit dem ein Test dasjenige Merkmal tatsächlich misst, das er messen soll oder zu messen vorgibt. Eine Schiebellehre misst zwar sehr genau (hohe Reliabilität), ist aber zur Untersuchung der *Gebrauchstauglichkeit* von Interaktionsgeräten nicht gültig (fehlende Validität). Es wird zwischen **Inhaltsvalidität**, **Kriteriumsvalidität**, **Konstruktvalidität** und **sozialer Validität** unterschieden.

**Inhaltsvalidität** (Face Validity, Augenscheinvalidität, Logische Validität) ist erfüllt, wenn der Test alle wesentlichen Bereiche, die indikativ für das zu überprüfende Konstrukt gesehen werden, beinhaltet. Dies trifft insbesondere auf Tests für sensorische und motorische Fertigkeiten zu. Bei derartigen Verfahren wird meistens gänzlich auf eine Validierung an einem Außenkriterium verzichtet. Die Höhe der Inhaltsvalidität eines Tests kann nicht numerisch bestimmt werden, sondern beruht allein auf subjektiven Einschätzungen. Strenggenommen handelt es sich bei der Inhaltsvalidität deswegen auch nicht um ein Testgütekriterium, sondern nur um eine Zielvorgabe, die bei der Testkonstruktion bedacht werden sollte [Sch93].

Bei der **Kriteriumsvalidität** (kriterienbezogene Validität) sollte das Testergebnis mit einem sogenannten Außenkriterium korrelieren, das mit dem gleichen Konstrukt, wie das, das der Test eigentlich messen soll, in Zusammenhang stehen sollte. Sie ist definiert als Korrelation zwischen den Testwerten und den Kriteriumswerten einer Stichprobe. Bei der Kriteriumsvalidität handelt es sich oft um einen Beobachtungssachverhalt, der erst zu einem späteren Zeitpunkt gemessen werden kann, oder für den kein adäquates Außenkriterium genannt werden kann.

Der **Konstruktvalidität** kommt besondere Bedeutung zu, da Inhaltsvalidität kein objektiver Kennwert ist und Kriteriumsvalidität mangels geeigneter Außenkriterien nur selten durchführbar ist. Bei der Konstruktvalidität sollte das Testergebnis mit anderen Indikatoren für das gleiche Konstrukt hoch korrelieren, mit Indikatoren für ein anderes Konstrukt aber gering. In [Mes80] wird darauf hingewiesen, dass im Rahmen einer Konstruktvalidierung kriterienbezogene und inhaltliche Validitätsaspekte integrierbar sind.

Bei der **sozialen Validität** wird ermittelt, ob die Betroffenen das Vorgehen als akzeptabel und fair und die Integrität und Würde respektierend empfinden. Aus der Sicht der Betroffenen sollten die Ergebnisse bei verständlichem Feedback richtig eingeschätzt werden.

Weiterhin sollte der Test Spielräume haben, um Stärken zu zeigen, und die Möglichkeit bieten, sich selbst kennenzulernen und weiterzuentwickeln.

## B.5.5 Utilität

Unter dem Begriff Utilität (Versuchsökonomie) wird nach [Spr87] die Angemessenheit, aber auch die Nützlichkeit und Zweckmäßigkeit eines Verfahrens zusammengefasst. Diesem Gütekriterium wird eine sehr hohe Bedeutung zugemessen, allerdings hat es noch keinesfalls das theoretische Niveau der klassischen Testgütekriterien erreicht. Die in Tabelle B-11 wiedergegebenen Indikatoren stellen damit nur eine Orientierungshilfe dar.

Tabelle B-11 Utilitäts-Indikatoren

Indikator	Fragestellung
Validitätsgewinn	Welchen Informationszuwachs bietet die neue Untersuchungsmethode gegenüber bereits vorhandenen Informationen?
Informationskosten	In welchem Verhältnis stehen der Aufwand (z.B. Risiko, Belastung, Zeitaufwand, Kosten, Geld der Untersuchung und der Nutzen der zu erwartenden Informationen?
Informationsumfang	Wie groß ist die zu erwartende Informationsmenge, und welche weiteren Verwendungsmöglichkeiten bieten die Ergebnisse?
Folgen der Fehlentscheidung	Welches Risiko entsteht bzw. welcher Schaden kann mit welcher Wahrscheinlichkeit entstehen, wenn diese Informationen nicht gewonnen werden?
Entscheidungsumfang	Wie groß ist die Anzahl der auf Basis der Ergebnisse treffbaren Entscheidungen?
Sequentielle Entscheidungsmöglichkeit	Ist es möglich den Informationsgewinnungsprozess an der Stelle anzuhalten, an der ausreichender Informationsumfang erzielt wurde?
Applikationsfähigkeit	An welche Einschränkungen ist die Anwendbarkeit der Untersuchungsmethode gebunden?

Während Validität bedeutet, durch Theoriebildung und geeignete Versuchsoperationalisierung das zu messende Konstrukt möglichst präzise zu erfassen, fordert die Versuchsökonomie einen minimalen Aufwand, um alle Merkmale der Gebrauchstauglichkeit zu erfassen. Damit verhält sich das Kriterien-Paar Utilität und Validität bezüglich der Zielsetzungen gegenläufig.

## B.6 Mathematische und statistische Grundlagen

### B.6.1 Streuungsmaße

**Varianz und Standardabweichung:** Zur Messung der Streuung werden bei der Varianz die quadrierten Entfernungen der mindestens intervallskalierten Merkmalswerte zum arithmetischen Mittel herangezogen. Sie werden addiert und durch die Anzahl der Merkmalsträger dividiert. Die Varianz wird auch als mittlere quadratische Abweichung bezeichnet. Dimension der Varianz ist das Quadrat der Merkmalswerte. Die Standardabweichung ist die positive Quadratwurzel aus der Varianz, sie hat die gleiche Einheit wie die Merkmalswerte [Bou01].

**Variationskoeffizient:** Der Variationskoeffizient ist ein dimensionsloses Streuungsmaß. Er wird gebildet, indem die Standardabweichung durch den Mittelwert dividiert und dieser Quotient mit 100 multipliziert wird; die Angabe des relativen Variationskoeffizienten  $VK_r$  erfolgt in Prozent. Er ist vor allem dann von Bedeutung, wenn verschiedene Verteilungen (mit verschiedenen Einheiten) miteinander verglichen werden. Haben z.B. zwei Verteilungen unterschiedliche Mittelwerte und zugleich unterschiedliche Streuungen, so ist oft auf

den ersten Blick nicht zu erkennen, welche der Verteilungen enger streut. Durch den dimensionslosen Variationskoeffizienten wird dies aber sofort deutlich [Mon99]. In nicht zu kleinen Stichproben aus normalverteilten *Grundgesamtheiten* sollte der Variationskoeffizient nicht größer sein als 33% [Sac99].

### B.6.2 Statistische Messskalen

Auf der **metrischen Skala** (Kardinalskala) sind als Skalenwerte reelle Zahlen abgetragen. Die Skalenwerte sind entsprechend ihrem Zahlenwert in auf- oder absteigender Folge auf der Skala angeordnet. Die metrische Skala wird nach der Art des Nullpunktes in Intervallskala und Verhältnisskala untergliedert. Auf der **Intervallskala** ist der Skalenwert Null ein mehr oder weniger willkürlich gewählter Nullpunkt. Da er keinen absoluten Nullpunkt darstellt, kann zwischen zwei Merkmalswerten der einfache Abstand (Intervall), aber nicht der relative Abstand (Verhältnis) gemessen werden (z.B. Uhrzeit, Celsius-Temperatur). Auf der **Verhältnisskala** entspricht der Skalenwert Null dem natürlichen, absoluten Nullpunkt, negative Werte sind damit unmöglich und ein Merkmalswert kann als ein vielfaches eines anderen Merkmalswertes ausgedrückt werden (z.B. Gewicht, Alter, Versuchsdauer). Auf der **Ordinalskala** (Rangskala) sind als Skalenwerte Klassenbezeichnungen abgetragen. Die Skalenwerte stehen nicht gleichwertig nebeneinander, sondern sind in auf- oder absteigender Reihenfolge (Rangordnung) auf der Skala angeordnet (z.B. Schulnoten) [Bou01].

In der vorliegenden Untersuchung werden mittels des generellen Instrumentariums (Versuchsaufgaben DEVICE und FITTS) metrische Merkmale (genauer verhältnisskalierte Merkmale) und ordinalskalierte Merkmale beim individuellen Instrumentarium (Fragebogen) ermittelt.

### B.6.3 Vertrauens- und Irrtumswahrscheinlichkeit

Bei verschiedenen Stichproben werden die im Allgemeinen aus den Stichproben ermittelten Schätzwerte (z.B. der Mittelwert  $\mu$ ) variiert. Zu diesem Schätzwert lässt sich ein Intervall angeben, das sich über die nächstkleineren und nächstgrößeren Werte erstreckt und das vermutlich auch den Parameter der Grundgesamtheit enthält. Dieses Intervall um den Schätzwert, das den Parameter mit einschließen soll, heißt Vertrauensbereich (Mutungsbereich, Konfidenzbereich). Durch Veränderung der Größe des Vertrauensbereiches mit Hilfe eines entsprechenden Faktors lässt sich festlegen, wie sicher die Aussage ist, dass der Vertrauensbereich den Parameter der Grundgesamtheit enthält. Wird der Faktor so gewählt, dass die Aussage **in 95% aller gleichartigen Fälle zu Recht** und in 5% aller gleichartigen Fälle zu Unrecht besteht, dann wird gesagt: Mit der Aussage- oder **Vertrauenswahrscheinlichkeit P von 95%** enthält der Vertrauensbereich den Parameter der Grundgesamtheit. Je größer P ist, umso größer auch der Vertrauensbereich. In 5% aller Fälle wird damit die Behauptung, der Parameter liege im Vertrauensbereich, falsch sein. Der Faktor wird folglich so gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit hierfür einen kleinen Wert  $\alpha$  nicht überschreitet ( $\alpha \leq 5\%$ ,  $\alpha \leq 0,05$ ). Dieser Wert  $\alpha$  wird als **Irrtumswahrscheinlichkeit** oder Überschreitungswahrscheinlichkeit bezeichnet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  und die Vertrauenswahrscheinlichkeit P ergänzen sich zum Wert 1 ( $P = 1 - \alpha$ ). Durch die Wahl eines Wertes der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  wird das Signifikanzniveau festgelegt [Sac99].

## B.6.4 Signifikanz

Der Signifikanztest reduziert sich auf den einfachen Vergleich der Größe des empirisch ermittelten, statistischen Testwertes mit demjenigen Wert, der von der entsprechenden Testwerteverteilung  $\alpha$  % ( $\alpha = 1\%$  oder  $\alpha = 5\%$ ) abschneidet. Ist der empirische Testwert größer als der kritische Tabellenwert, beträgt die Wahrscheinlichkeit des empirischen Testwertes sowie die Wahrscheinlichkeit aller extremeren Testwerte unter der Annahme  $H_0$  sei richtig, weniger als  $\alpha$  %. Das Ergebnis ist statistisch signifikant ( $\alpha \leq 5\%$ ) bzw. statistisch sehr signifikant ( $\alpha \leq 1\%$ ) [Bor95]. Übliche **Signifikanzniveaus** (Irrtumswahrscheinlichkeiten) sind  $\alpha = 0,05$ ,  $\alpha = 0,01$  und  $\alpha = 0,001$ , je nachdem wie schwerwiegend die Entscheidung ist, die aufgrund der Stichprobe gefällt wird. Für besondere Fälle, vor allem dann, wenn bei den untersuchten Vorgängen Gefahr für Menschenleben besteht, muss eine sehr kleine Irrtumswahrscheinlichkeit vorgegeben werden [Sac99]. Der vorliegenden Untersuchung wird ein Signifikanzniveau von 0,05 zugrundegelegt [ISO9241-9].

Es wird beim Signifikanztest folglich die Wahrscheinlichkeit überprüft, mit der Stichprobenergebnisse auftreten können, wenn die Nullhypothese ( $H_0$ : zwei Grundgesamtheiten stimmen hinsichtlich eines Parameters überein, die Differenz ist Null) gilt. Es werden nur diejenigen extremen Ergebnisse betrachtet, die bei Gültigkeit der Nullhypothese höchstens mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% vorkommen. Gehört das gefundene und berechnete Stichprobenergebnis zu diesen Ergebnissen, ist das Stichprobenergebnis „praktisch“ nicht mit der Nullhypothese vereinbar. Deshalb wird in diesem Fall die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese akzeptiert. Ein signifikantes Ergebnis sagt also nichts über die Wahrscheinlichkeit von Hypothesen aus, sondern „nur“ etwas über die Wahrscheinlichkeit von statistischen Kennwerten bei Gültigkeit der Nullhypothese [Bor95].

## B.7 Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen

### B.7.1 Regressionsanalyse

Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen X und Y interessieren v. a. die Fragen, ob ein Zusammenhang besteht (Regressionsanalyse), von welcher Form der Zusammenhang ist (Regressionsanalyse) und von welcher Stärke bzw. Intensität der Zusammenhang ist (Korrelationsanalyse).

Die **Regression** untersucht die **Abhängigkeit** zweier beobachteter quantitativer Merkmale. Erst wenn bekannt ist, dass zwei oder mehrere Merkmale miteinander zusammenhängen, kann das eine Merkmal zur Vorhersage des anderen eingesetzt werden. In der Regressionsrechnung (Dependenzanalyse) wird eine *Variable*, traditionellerweise die Y-Variable, als die abhängige und die andere, also X, als die unabhängige Variable betrachtet. Prinzipiell stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, um die Abhängigkeit der y-Werte von den x-Werten zu beschreiben, beispielsweise können

- die für die verschiedenen x-Werte resultierenden bedingten Verteilungen der y-Werte aufgestellt werden oder
- statt der bedingten Verteilungen spezielle daraus gewonnene Lageparameter in Abhängigkeit von den x-Werten registriert werden, so etwa die bedingten Modalwerte (bei nominalen Daten) oder die bedingten arithmetischen Mittel (bei kardinalen Daten) oder

- die Werte dem Streudiagramm (nach einem plausiblen Prinzip) durch eine möglichst einfache Funktion angepasst werden.

Obwohl der letztere Fall nur für kardinalskalierte Merkmale sinnvoll ist, besitzt er die größte praktische Bedeutung. Je nachdem, ob ein linearer oder nichtlinearer Funktionstypus verwendet wird, gelangt man zur linearen Regression oder zur nichtlinearen Regression. Die nichtlineare Regression beschreibt andere Formen der Abhängigkeit, wie z.B. progressives oder degressives Verhalten.

In dieser Arbeit wird aufgrund des linearen Charakters der FITTS-Gleichungen die **lineare** Regression betrachtet, bei der die Abhängigkeit durch eine Gerade, die **Regressionsgerade**, beschrieben wird. Der Regressionskoeffizient ist die Steigung dieser Geraden. Er lässt sich mit Hilfe der nachfolgend dargestellten Gleichung (B.1) aus den Daten der Stichprobe berechnen. Zur Bildung der Gleichung wird angenommen, X und Y seien kardinalskalierte Merkmale (X entspricht im Fall der FITTS-Gleichungen dem Index of Difficulty ID und Y der Movement Time MT). Die Beobachtungswerte  $x_i$  seien nicht alle miteinander identisch; d.h., die mittlere quadratische Abweichung  $s_x^2$  sei positiv. Nach dem von C. F. GAUß benutzten Prinzip der kleinsten Quadrate ist die Gerade

$$y = a + bx$$

dann dem Streudiagramm am besten angepasst, wenn die Quadratsumme

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (\text{B.1})$$

minimal ausfällt. Abbildung B-13 zeigt ein Streudiagramm, einen typischen Beobachtungspunkt  $\{x_i, y_i\}$  sowie die Gerade, über deren Parameter a, b geeignet verfügt werden muss. Beim Gütemaß (B.1) wird für jeden Beobachtungspunkt  $\{x_i, y_i\}$  der in vertikaler Richtung genommene Abstand zwischen dem empirisch beobachteten Wert  $y_i$  und dem auf der Geraden liegenden Wert  $a + bx_i$  quadriert.

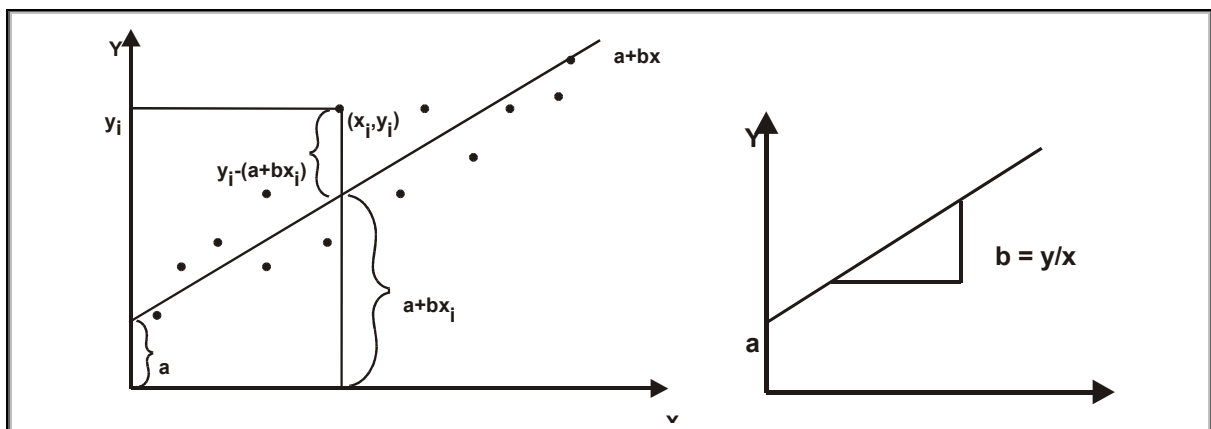


Abbildung B-13 Prinzip der kleinsten Quadrate und Geradengleichung

## B.7.2 Korrelationsanalyse

Die Regressionsanalyse dient dem Erkennen des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen. Die Korrelationsanalyse hat darüber hinaus die Aufgabe, die Stärke (Intensität, Ausmaß, Grad) des Zusammenhangs festzustellen, d.h., durch sie wird ermittelt, wie ausgeprägt der Einfluss des einen Merkmals auf das andere Merkmal ist. Die Korrelations-

rechnung behandelt die beiden Merkmale bzw. die Variablen  $X$  und  $X$  symmetrisch; sie wird deshalb auch als Interdependenzanalyse bezeichnet.

### Anwendung bei FITTS

Bei FITTS wird nach Berechnung der Regressionsgeraden, der Korrelationskoeffizient  $r$  bestimmt. Der Korrelationskoeffizient ist ein Maß für den Grad der linearen Abhängigkeit zweier Merkmale. Je näher der Korrelationskoeffizient (der nur Werte zwischen  $-1$  und  $+1$  annehmen kann) betragsmäßig bei  $1$  liegt, desto besser schmiegt sich die Punktwolke an die Regressionsgerade an. Je näher er bei  $0$  liegt, desto bauchiger ist die Punktwolke.  $r$  hat das gleiche Vorzeichen wie der Regressionskoeffizient, d.h., aus dem Vorzeichen von  $r$  kann man ablesen, ob die Regressionsgerade steigt oder fällt. Wenn  $r = 0$  ist, verläuft die Gerade parallel zur  $x$ -Achse. In diesem Fall werden die beiden Merkmale unkorreliert genannt. Anschaulich bedeutet das, gleichgültig welcher Wert auf der  $x$ -Achse ausgewählt wird, der zugehörige  $y$ -Wert der Regressionsgeraden ist immer der Gleiche. Die Grenzfälle  $r = 1$  bzw.  $r = -1$  liegen genau dann vor, wenn alle Punkte der Punktwolke auf einer Geraden liegen (vgl. Abbildung B-14). Diese Gerade ist dann mit der Regressionsgeraden identisch. Für  $r = 1$  steigt sie, für  $r = -1$  fällt sie.

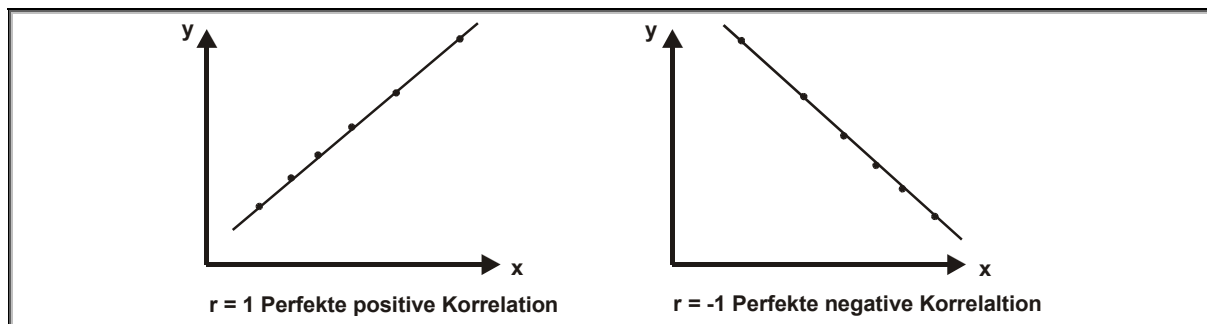


Abbildung B-14 Perfekte Korrelationen

### Anwendung bei DEVICE

Ziel der in dieser Arbeit durchgeführten Korrelation ist es, die Reproduzierbarkeit der Messwerte zwischen zwei zeitlich auseinanderliegenden Versuchsreihen 1998 und 2001 zu untersuchen und die Kennwerte mit den Beurteilungen durch die Versuchspersonen zu vergleichen (Vergleich generelles und individuelles Instrumentarium). Bei der vorliegenden Untersuchung wird durch einen  $t$ -Test festgestellt (vgl. Mittelwertdifferenzentest Abschnitt B.7.3), dass ein Zusammenhang besteht und dass ermittelte Werte derselben Grundgesamtheit entstammen. Mittels der Korrelationsanalyse wird die Stärke der wechselseitigen Beeinflussung ermittelt. Abhängig von der verwendeten Messskala wird zwischen dem Korrelationskoeffizienten  $r$  von BRAVAIS-PEARSON und dem Rangkorrelationskoeffizienten  $r_s$  von SPEARMAN unterschieden.

### Korrelationskoeffizient $r$ von BRAVAIS-PEARSON

Sind beide Merkmale mindestens **intervallskaliert**, steht als bekannteste Kennziffer der Korrelationskoeffizient  $r$  (Produkt-Moment-Koeffizient, Maßkorrelation) von **BRAVAIS-PEARSON** zur Auswahl (AUGUSTE BRAVAIS: 1811-1863; KARL PEARSON: 1857-1936). Der Korrelationskoeffizient  $r$  von BRAVAIS-PERSON ist ein Maß für die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen  $X$  und  $Y$ . Dadurch lässt sich feststellen, ob es eine Beziehung zwischen zwei Merkmalsausprägungen gibt und wie stark sie ist. In dieser Arbeit



sind die Merkmalsausprägungen die Versuchsergebnisse von 1998 und 2001. Der Korrelationskoeffizient entspricht der normierten Kovarianz zweier Merkmale (seine Herleitung findet sich in [Sac93, Bou01]):

$$r = \text{Cov}(X, Y) / (\text{Var}(X) \cdot \text{Var}(Y))^{1/2} \quad (\text{B.2})$$

wobei: Cov = Kovarianz (Mittelwert der für alle Datenpunktpaare gebildeten Produkte der Abweichungen)

Var = Varianz (ausgehend von einer Stichprobe)

Der Korrelationskoeffizient von BRAVAIS-PEARSON ist auf den Wertebereich  $-1 \leq r \leq +1$  normiert. Das Vorzeichen von  $r$  informiert entsprechend der zugrundeliegenden Kovarianz über die Richtung des linearen Zusammenhangs. Der Betrag von  $r$  informiert über die Stärke des linearen Zusammenhangs. Bei positiven  $r$  ist der Zusammenhang der Merkmale  $X$  und  $Y$  positiv bzw. gleichläufig. Wird der Merkmalswert  $x$  größer, so wird der Merkmalswert  $y$  tendenziell ebenfalls größer. Bei negativem  $r$  ist der Zusammenhang der Merkmale  $X$  und  $Y$  negativ bzw. gegenläufig. Wird der Merkmalswert  $x$  größer, so wird der Merkmalswert  $y$  tendenziell kleiner.

Besteht zwischen den beiden Merkmalen ein extrem starker Zusammenhang, dann nimmt  $r$  den Wert  $+1$  bzw.  $-1$  an. Je näher der Betrag von  $r$  bei  $1$  liegt, desto stärker ist der lineare Zusammenhang, desto enger streuen die Merkmalswertkombinationen um die Regressionsgerade. Je näher der Betrag von  $r$  bei  $0$  liegt, desto schwächer ist der lineare Zusammenhang, desto weiter streuen die Merkmalswertkombinationen um die Regressionsgerade. Eine Zuordnung von verbalen Attributen bzw. qualitativen Urteilen zu den Werten von  $r$  ist objektiv nicht möglich. Unstrittig ist eine Zuordnung der Attribute stark bis sehr stark ab einem Betrag von ca. 90% ( $r \geq 0,9$ ). Bei einem Betrag kleiner ca. 10% ( $r \leq 0,1$ ) kann von einem schwachen bis sehr schwachen Zusammenhang gesprochen werden [Bou01]. Ein Korrelationskoeffizient von Null spiegelt statistische Unabhängigkeit der Merkmale  $X$  und  $Y$  wieder.

Der Korrelationskoeffizient lässt jedoch keine Aussagen darüber zu, welches Merkmal als verursachend für ein anderes Merkmal anzusehen ist, d.h., er darf nicht kausal im Sinne von Ursache und Wirkung interpretiert werden. Es sind vier grundsätzliche Interpretationsmöglichkeiten einer Korrelation denkbar [Bac90]:

- A Das Merkmal  $X$  ist verursachend für den Wert des Merkmals  $Y$  ( $X \rightarrow Y$ ). In diesem Fall wird von einer kausal-interpretierbaren Korrelation gesprochen, da eine eindeutige Wirkungsrichtung von  $X$  auf  $Y$  unterstellt wird.
- B Das Merkmal  $Y$  ist verursachend für den Wert des Merkmals  $X$  ( $Y \rightarrow X$ ). In diesem Fall wird ebenfalls von einer kausal-interpretierbaren Korrelation gesprochen, da eine eindeutige Wirkungsrichtung von  $Y$  auf  $X$  unterstellt wird.
- C Die Abhängigkeit der Merkmale  $X$  und  $Y$  ist teilweise bedingt durch den Einfluss einer hypothetischen (exogenen) Größe  $Z$ , die hinter diesen Variablen steht ( $Z \rightarrow X$ ,  $Z \rightarrow Y$ ,  $X \rightarrow Y$ ). In diesem Fall kann die errechnete Korrelation nur zum Teil kausal interpretiert werden, da  $Y$  nicht nur direkt von  $X$  beeinflusst wird, sondern auch von der hypothetischen Größe  $Z$ , die das Merkmal  $Y$  sowohl direkt als auch indirekt (über  $X$ ) beeinflusst.
- D Der Zusammenhang zwischen den Merkmalen  $X$  und  $Y$  resultiert allein aus einer hypothetischen (exogenen) Größe  $Z$ , die hinter den Merkmalen steht ( $Z \rightarrow X$ ,  $Z \rightarrow Y$ ). In diesem Fall wird von einer kausal nicht interpretierbaren Korrelation zwischen  $X$  und

Y gesprochen, da die Korrelation zwischen beiden Merkmalen allein aus dem Einfluss der hypothetischen Größe Z resultiert.

### Rangkorrelationskoeffizient $r_s$ von SPEARMAN

Zur Messung der Stärke des Zusammenhangs von zwei Merkmalen, von denen eines genau und das andere mindestens **ordinalskaliert** ist, wird der Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$  von **SPEARMAN** (CHARLES EDWARD SPEARMAN: 1863-1945) verwendet. Bei ordinalskalierten Merkmalen können die Merkmalsträger hinsichtlich eines jeden Merkmals in eine natürliche Rangordnung gebracht werden. Der Grad des Zusammenhangs zwischen den beiden Merkmalen kann dann festgestellt werden, indem die beiden Rangordnungen auf den Grad ihrer Übereinstimmung verglichen werden; er ist unabhängig von den verwendeten Maßsystemen. Der Rangkorrelationskoeffizient von SPEARMAN ist bei kleinem Stichprobenumfang und nicht binomialverteilten Messwerten exakt. Außerdem wird die Wirkung von Ausreißern, die die Größe des Korrelationskoeffizienten von BRAVAIS-PEARSON stark beeinflussen können, abgeschwächt. Der Koeffizient von SPEARMAN ist aus dem Korrelationskoeffizienten von BRAVAIS-PEARSON hergeleitet worden [Bou01, Mon99]:

$$r_s = 1 - ((6 \cdot \sum (D_i^2) / (n^3 - n)) \quad (B.3)$$

Mit:  $D_i = Rg x_i - Rg y_i =$  Differenz zwischen zwei Rangplätzen

Wobei:  $Rg x_i =$  Rangziffer des Merkmalsträgers  $i$  hinsichtlich Merkmal X

$Rg y_i =$  Rangziffer des Merkmalsträgers  $i$  hinsichtlich Merkmal Y

$n =$  Anzahl der Beobachtungen

Der Rangkorrelationskoeffizient von SPEARMAN ist entsprechend dem Korrelationskoeffizienten von BRAVAIS-PEARSON zu interpretieren. Im Unterschied zum Korrelationskoeffizienten von BRAVAIS-PEARSON misst der Rangkorrelationskoeffizient von SPEARMAN allerdings den Zusammenhang zwischen den Merkmalen X und Y nicht direkt, sondern indirekt, da der Zusammenhang zwischen den Rangziffern ermittelt wird. Er misst, wie stark die Tendenz ausgeprägt ist, dass mit einem höheren Rangplatz für Merkmal X ein höherer (oder niedrigerer) Rangplatz für Merkmal Y verbunden ist.

Die Signifikanz von  $r$  und  $r_s$  kann Tabelle B-12 entnommen werden [Sac99]. In dieser Tabelle sind die Schranken in Abhängigkeit des Signifikanzniveaus (z.B.  $\alpha = 0,05$ ) und der Anzahl der Beobachtungen ( $n$ ) angegeben.

Tabelle B-12 Kritische Werte für den Korrelationskoeffizienten

Kritische Werte für den Korrelationskoeffizienten $r$ nach BRAVAIS-PEARSON					Kritische Werte für den Korrelationskoeffizienten $r_s$ nach SPEARMAN				
n	$\alpha$ (zweiseitig)				n	$\alpha$ (zweiseitig)			
	0,10	0,05	0,02	0,01		0,10	0,05	0,02	0,01
3	0,988	0,997	0,9995	0,9999	3	-	-	-	-
4	0,900	0,950	0,980	0,990	4	-	-	-	-
5	0,805	0,878	0,934	0,959	5	0,900	-	-	-
6	0,729	0,811	0,882	0,917	6	0,829	0,886	0,943	-
7	0,669	0,754	0,833	0,874	7	0,714	0,786	0,893	0,929
8	0,622	0,707	0,789	0,834	8	0,643	0,738	0,833	0,881
9	0,582	0,666	0,750	0,798	9	0,600	0,700	0,783	0,833
10	0,549	0,632	0,716	0,765	10	0,564	0,648	0,745	0,794
11	0,521	0,602	0,685	0,735	11	0,536	0,618	0,709	0,818
12	0,497	0,576	0,658	0,708	12	0,497	0,591	0,703	0,780
13	0,476	0,553	0,634	0,684	13	0,475	0,566	0,673	0,745
14	0,458	0,532	0,612	0,661	14	0,457	0,545	0,646	0,716
15	0,441	0,514	0,592	0,641	15	0,441	0,525	0,623	0,689
16	0,426	0,497	0,574	0,623	16	0,425	0,507	0,601	0,666
17	0,412	0,482	0,558	0,606	17	0,412	0,490	0,582	0,645
18	0,400	0,468	0,542	0,590	18	0,399	0,476	0,564	0,625
19	0,389	0,456	0,528	0,575	19	0,388	0,462	0,549	0,608
20	0,378	0,444	0,516	0,561	20	0,377	0,450	0,534	0,591
21	0,369	0,433	0,503	0,549	21	0,368	0,438	0,521	0,576
22	0,360	0,423	0,492	0,537	22	0,359	0,428	0,508	0,562
23	0,352	0,413	0,482	0,526	23	0,351	0,418	0,496	0,549
24	0,344	0,404	0,472	0,515	24	0,343	0,409	0,485	0,537
25	0,337	0,396	0,462	0,505	25	0,336	0,400	0,475	0,526
26	0,330	0,388	0,453	0,496	26	0,329	0,392	0,465	0,515
27	0,323	0,381	0,445	0,487	27	0,323	0,385	0,456	0,505
28	0,317	0,374	0,437	0,479	28	0,317	0,377	0,448	0,496
29	0,311	0,367	0,430	0,471	29	0,311	0,370	0,440	0,487
30	0,306	0,361	0,423	0,463	30	0,305	0,364	0,432	0,478
31	0,301	0,355	0,416	0,456	31	0,300	0,358	0,425	0,470
32	0,296	0,349	0,409	0,449	32	0,295	0,352	0,418	0,463
33	0,291	0,344	0,403	0,442	33	0,291	0,347	0,411	0,455
34	0,287	0,339	0,397	0,436	34	0,286	0,341	0,405	0,448
35	0,283	0,334	0,392	0,430	35	0,282	0,336	0,399	0,442
36	0,279	0,329	0,386	0,424	36	0,278	0,331	0,393	0,435
37	0,275	0,325	0,381	0,418	37	0,274	0,327	0,388	0,429
38	0,271	0,320	0,376	0,413	38	0,270	0,322	0,382	0,424
39	0,267	0,316	0,371	0,408	39	0,267	0,318	0,377	0,418
40	0,264	0,312	0,366	0,403	40	0,263	0,314	0,373	0,413

Sowohl beim Korrelationskoeffizienten von BRAVAIS-PEARSON als auch beim Rangkorrelationskoeffizient von SPEARMAN wird von der Annahme ausgegangen, dass der **Korrelationskoeffizient der Grundgesamtheit** ( $\rho$ ), aus der die zwei Stichproben stammen, **Null** ist; d.h., die beiden Stichproben korrelieren nicht. Diese Hypothese wird **Nullhypothese** ( $H_0$ ) genannt ( $H_0: \rho = 0$ ). Die Nullhypothese  $H_0$  ( $\rho = 0$ ) wird auf dem gewählten Signifikanzniveau abgelehnt, wenn der empirisch ermittelte Korrelationskoeffizient  $r_{emp}$  größer oder

gleich dem in der Tabelle vorgegebenen Korrelationskoeffizient  $r_{\text{tab}}$  ist. Eine Übersicht zur Beurteilung der Korrelationskoeffizienten wird in Abbildung B-15 gegeben.

Für den Korrelationskoeffizienten $r$ gilt:	
$ r_{\text{emp}}  \geq r_{\text{tab}}$	$H_0 (r = 0)$ wird abgelehnt, d.h., die Merkmale X und Y korrelieren.
Für den Rangkorrelationskoeffizienten $r_s$ gilt:	
$ r_{s, \text{emp}}  \geq r_{s, \text{tab}}$	$H_0 (r_s = 0)$ wird abgelehnt, d.h., die Merkmale X und Y korrelieren.
Zur verbalen Beschreibung der Größe des Betrags der Korrelationskoeffizienten sind folgende Abstufungen üblich:	
0,0 bis 0,2	sehr geringe Korrelation
0,2 bis 0,5	geringe Korrelation
0,5 bis 0,7	mittlere Korrelation
0,7 bis 0,9	hohe Korrelation
0,9 bis 1,0	sehr hohe Korrelation

Abbildung B-15 Beurteilung der Korrelationskoeffizienten

### B.7.3 Mittelwertdifferenzentest (t-Test)

Die Enge des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen wird mit den Korrelationskoeffizienten quantifiziert, deren statistische Bedeutsamkeit wird von einem Signifikanztest, wie z.B. dem Mittelwertdifferenzentest, überprüft [Bor95]. Der Mittelwertdifferenzentest (t-Test, Student-t-Test) wird vor allem bei kleinen Stichprobenumfängen verwendet, um die Mittelwerte zwischen zwei Merkmalen oder zwei Stichproben X und Y zu vergleichen. Es wird dabei untersucht, ob zwei Stichproben aus zwei Grundgesamtheiten stammen, die den gleichen Mittelwert haben. Voraussetzung ist, dass die Grundgesamtheiten, aus denen die Stichproben gezogen werden, normalverteilt sind und die beiden Grundgesamtheitsvarianzen gleich sind. Sollten die beiden Varianzen nicht identisch sein, gilt die t-Verteilung immer noch näherungsweise [Mon99]. Beim t-Test wird von der Annahme ausgegangen, dass die **Mittelwerte zweier Stichproben gleich** sind ( $\mu_x = \mu_y$ , mit  $\mu_{x,y}$  = Populationsmittelwerte). Diese Hypothese, dass zwei Grundgesamtheiten hinsichtlich eines Parameters übereinstimmen, wird **Nullhypothese** ( $H_0$ ) genannt. Es wird angenommen, dass die wirkliche Differenz Null ist. Da statistische Tests in der Regel nur Unterschiede, jedoch keine Übereinstimmung zwischen zu vergleichenden Grundgesamtheiten feststellen können, wird die Nullhypothese in der Regel aufgestellt, um verworfen zu werden; in diesem Fall wird die Alternativhypothese ( $H_A$ ) akzeptiert [Mon99].

Aus dem t-Test kann einerseits die Übereinstimmung bzw. die **Korrelation zwischen zwei Stichproben (t-Wert)** und andererseits die **Signifikanz der Übereinstimmung (P-Wert)** erfasst werden.

## t-Wert

Zunächst wird die Vorgehensweise zur Überprüfung der Stichprobenkorrelation zwischen zwei Stichproben mittels der **t-Werte** beschrieben. Indem die Abweichung der Mittelwerte der Stichprobe durch die Standardfehler der Mittelwerte dividiert wird, ergibt sich der errechnete t-Wert einer Stichprobe als empirische Prüfgröße [Bor95; Mon99 ; Sac99]:

$$t_{\text{emp}} = (\mu_X - \mu_Y) / (s_X^2/n_X + s_Y^2/n_Y)^{1/2} \quad (\text{B.4})$$

wobei:  $\mu_X, \mu_Y$  = Populationsmittelwerte der Merkmalswerte  $x_i$  und  $y_i$   
 $s_X, s_Y$  = Standardabweichung der Merkmalswerte  $x_i$  und  $y_i$  (Zufallsstichprobe)  
 $n_X, n_Y$  = Anzahl der Merkmalswerte

Der so errechnete t-Wert wird verglichen mit einem theoretischen t-Wert, der sich aus der in Tabelle B-13 abgebildeten t-Tabelle ergibt. In der t-Tabelle wird der theoretische t-Wert durch die Freiheitsgrade und der Wahl einer Vertrauenswahrscheinlichkeit ermittelt [Sac99]. Die t-Tabelle enthält Schranken der t-Verteilung. Diese Tabelle gibt über einen bestimmten Freiheitsgradbereich die Wahrscheinlichkeiten an, t-Werte auf bestimmten Signifikanzniveaus rein zufällig zu überschreiten. So ergibt sich z.B. bei 5 Freiheitsgraden (FG = 5) und bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit P von 5% ( $\alpha = 0,05$ ) für  $t_{\text{tab}} = \pm 2,571$ . Abbildung B-16 veranschaulicht die Verteilung des Testwertes t grafisch.

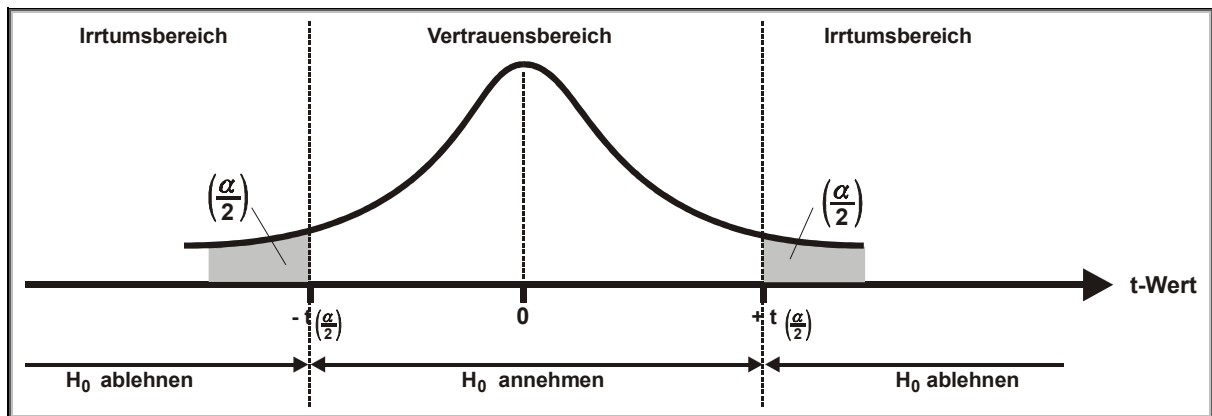


Abbildung B-16 Annahme und Ablehnungsbereich der Nullhypothese  $H_0$  bei zweiseitigem Test

Die Anzahl der Freiheitsgrade (FG) ist definiert durch die Zahl „frei“ verfügbarer Beobachtungen, dem Stichprobenumfang ( $n$ ) minus der Anzahl der *unabhängigen Variablen* ( $a$ ):  $FG = n - a$ . Beim Mittelwertdifferenzentest mit zwei Zufallsstichprobenmittelwerten ergibt sich der Freiheitsgrad zu  $FG = n_1 + n_2 - 2$  [Mon99].

Tabelle B-13 Schranken der t-Verteilung

Schranken $t_{\alpha,FG}$ der t-Verteilung								
Freiheits- grad FG	Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ für zweiseitige Fragestellung							
	0,50	0,25	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001
1	1,00	2,41	6,31	12,71	31,82	63,66	318,31	636,62
2	0,816	1,60	2,92	4,30	6,97	9,92	22,33	31,60
3	0,765	1,42	2,35	3,18	4,54	5,84	10,21	12,92
4	0,741	1,34	2,13	2,78	3,75	4,60	7,17	8,61
5	0,727	1,30	2,01	2,57	3,37	4,03	5,89	6,87
6	0,718	1,27	1,94	2,45	3,14	3,71	5,21	5,96
7	0,711	1,25	1,89	2,36	3,00	3,50	4,79	5,41
8	0,706	1,24	1,86	2,31	2,90	3,36	4,50	5,94
9	0,703	1,23	1,83	2,26	2,82	3,25	4,30	4,78
10	0,700	1,22	1,81	2,23	2,76	3,17	4,14	4,59
11	0,697	1,21	1,80	2,20	2,72	3,11	4,03	4,44
12	0,695	1,21	1,78	2,18	2,68	3,05	3,93	4,32
13	0,694	1,20	1,77	2,16	2,65	3,01	3,85	4,22
14	0,692	1,20	1,76	2,14	2,62	2,98	3,79	4,14
15	0,691	1,20	1,75	2,13	2,60	2,95	3,73	4,07
16	0,690	1,19	1,75	2,12	2,58	2,92	3,69	4,01
17	0,689	1,19	1,74	2,11	2,57	2,90	3,65	3,96
18	0,688	1,19	1,73	2,10	2,55	2,88	3,61	3,92
19	0,688	1,19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,58	3,88
20	0,687	1,18	1,73	2,09	2,53	2,85	3,55	3,85
21	0,686	1,18	1,72	2,08	2,52	2,83	3,53	3,82
22	0,686	1,18	1,72	2,07	2,51	2,82	3,51	3,79
23	0,685	1,18	1,71	2,07	2,50	2,81	3,49	3,77
24	0,685	1,18	1,71	2,06	2,49	2,80	3,47	3,74
25	0,684	1,18	1,71	2,06	2,49	2,79	3,45	3,72
26	0,684	1,18	1,71	2,06	2,48	2,78	3,44	3,71
27	0,684	1,18	1,70	2,05	2,47	2,77	3,42	3,69
28	0,683	1,17	1,70	2,05	2,47	2,76	3,41	3,67
29	0,683	1,17	1,70	2,05	2,46	2,76	3,40	3,66
30	0,683	1,17	1,70	2,04	2,46	2,75	3,39	3,65
40	0,681	1,17	1,68	2,02	2,42	2,70	3,31	3,55
60	0,679	1,16	1,67	2,00	2,39	2,66	3,23	3,46
120	0,677	1,16	1,66	1,98	2,36	2,62	3,17	3,37
$\infty$	0,674	1,15	1,64	1,96	2,33	2,58	3,09	3,29

Ungerichtete Hypothesen werden über zweiseitige t-Tests geprüft; der zweiseitige Test ist auf dem 5% Niveau statistisch signifikant [Sac99]. Bei einem zweiseitigen Test markieren die Werte  $t_{\text{tab}(\alpha/2)}$  und  $-t_{\text{tab}(\alpha/2)}$  diejenigen t-Werte einer t-Verteilung, die von den Extremen der Verteilungsfläche jeweils  $\alpha/2$  % abschneiden. Diese Punkte werden als Schranken, Seiten oder Rückweisungspunkte bezeichnet. Empirische Werte, die in diesen Extrembereich fallen, haben damit insgesamt höchstens eine Wahrscheinlichkeit von  $\alpha$  % unter der Voraussetzung, dass die Nullhypothese richtig ist. Ist der errechnete t-Wert größer oder gleich dem theoretischen t-Wert, dann ist die Nullhypothese zu verwerfen. Befindet sich der empirisch ermittelte t-Wert jedoch im Annahmebereich der Nullhypothese  $H_0$ , dann sind das Stichprobenergebnis und die Nullhypothese besser miteinander zu vereinbaren und die Nullhypothese  $H_0$  wird beibehalten:  $\mu_X = \mu_Y$ . Wenn z.B. der t-Wert mit  $t_{\text{emp}} = -0,893$

berechnet wird und  $t_{\text{tab}} = \pm 2,571$  beträgt, so liegt  $t_{\text{emp}}$  innerhalb der Schranken von  $t_{\text{tab}}$  und die Nullhypothese  $H_0$ , dass es nur eine Grundgesamtheit gibt und beide Stichproben dieser Grundgesamtheit entstammen, ist bestätigt ( $|t_{\text{emp}}| \leq |t_{\text{tab}}|$ :  $H_0 (\mu_X = \mu_Y)$  wird beibehalten).

### P-Wert

Neben der Ermittlung der t-Werte gibt der t-Test die Signifikanz der Übereinstimmung an. Dies erfolgt in Form der Irrtumswahrscheinlichkeit in den Seiten der Normalverteilung. Hier wird die empirisch ermittelte Irrtumswahrscheinlichkeit – also die Wahrscheinlichkeit für den empirischen Befund oder einen noch weiter von der Nullhypothese abweichenden Befund – mit der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit verglichen [Mon99]. Die **empirische Irrtumswahrscheinlichkeit** wird als **P-Wert** bezeichnet. Der P-Wert ist die Wahrscheinlichkeit, eine mindestens so große Prüfgröße, wie die aus den Daten berechnete zu erhalten, wenn in Wirklichkeit die Nullhypothese gilt; d.h., der P-Wert ist die Wahrscheinlichkeit, mit der man sich irrt, wenn die Nullhypothese verworfen wird. Der P-Wert (nominales Signifikanzniveau für  $H_0$ ) ist somit die wahre aus den Daten gewonnene (empirische) Irrtumswahrscheinlichkeit, die **nicht** verwechselt werden darf mit der vor Testbeginn festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  (auch  $\alpha$ -Fehler genannt) und der ebenfalls damit festgelegten Vertrauenswahrscheinlichkeit P. Ist die empirische Irrtumswahrscheinlichkeit (P-Wert) kleiner als die vorgegebene Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau), so muss die Nullhypothese verworfen werden, andernfalls ist sie bestätigt [Sac99].

Der P-Wert gibt die Wahrscheinlichkeit der Daten an, für die die Nullhypothese wahr ist. Wenn z.B. der P-Wert weniger als 0,05 bei einem Signifikanzniveau von 5% beträgt, ist die Nullhypothese zurückzuweisen. Ist der P-Wert bei einem Signifikanzniveau von 5% größer als 0,05, kann die Nullhypothese nicht zurückgewiesen werden, sie wird angenommen. Das Ergebnis des P-Wertes ist damit signifikant auf dem vor Testbeginn festgelegten Signifikanzniveau (z.B. einem Niveau von 5 % oder  $\alpha = 0,05$ ) [Sac99]. Im Programm Microsoft Excel steht zur Ermittlung des P-Wertes die Funktion TTEST zur Verfügung. Eine Übersicht zur Beurteilung der t-Test-Werte wird in Abbildung B-17 gegeben.

Für den t-Wert ( $t_{\text{emp}}$ ) gilt:

$$|t_{\text{emp}}| < |t_{\text{tab}}|$$

$H_0 (\mu_X = \mu_Y)$  wird beibehalten, d.h., die Merkmale X und Y korrelieren.

Für den P-Wert ( $P\text{-Wert}_{\text{emp}}$ ) gilt:

$$P\text{-Wert}_{\text{emp}} \geq \alpha_{\text{festgelegt}}$$

$H_0 (\mu_X = \mu_Y)$  wird beibehalten, d.h., die Merkmale X und Y korrelieren.

Abbildung B-17 Beurteilung der t-Test-Werte

### B.7.4 Varianzquotiententest (F-Test)

Der Varianzquotiententest untersucht anhand der Varianzen aus zwei unabhängigen Stichproben, ob beide Stichproben aus einer Grundgesamtheit stammen. In der Nullhypothese wird angenommen, der Quotient zweier Grundgesamtheitsvarianzen sei eins ( $H_0: s_X^2 / s_Y^2 = 1$  oder  $s_X^2 = s_Y^2$ ).

Zur Überprüfung wird die größere der beiden Varianzen in den Zähler gesetzt ( $F_{\text{emp}} = s_X^2 / s_Y^2$ ). Der Quotient  $F_{\text{emp}}$  ist Ausprägung einer Zufallsvariablen, die einer F-Verteilung mit den Freiheitsgraden  $FG_1 = n_1 - 1$  und  $FG_2 = n_2 - 1$  folgt ( $n_1$  und  $n_2$  sind die Umfänge der beiden voneinander unabhängigen Stichproben). Aus Tabellen können in Abhängigkeit von den beiden jeweiligen Freiheitsgraden Rückweisungspunkte ( $F_{\text{tab}}$ ) für verschiedene Signifikanzniveaus herausgelesen werden.

Wenn der Quotient aus zwei Stichprobenvarianzen ( $F_{\text{emp}}$ ) den kritischen F-Wert ( $F_{\text{tab}}$ ) unterschreitet, dann wird die Nullhypothese, dass sich die Stichprobenvarianzen nicht zufällig voneinander unterscheiden, also beide Stichproben aus einer Grundgesamtheit stammen, bestätigt (vgl. Abbildung B-18).

Für den t-Wert ( $F_{\text{emp}}$ ) gilt:

$$|F_{\text{emp}}| < |F_{\text{tab}}|$$

$H_0 (s_X^2 = s_Y^2)$  wird beibehalten, d.h., die Merkmale X und Y entstammen einer Grundgesamtheit.

Für den P-Wert ( $P\text{-Wert}_{\text{emp}}$ ) gilt:

$$P\text{-Wert}_{\text{emp}} \geq \alpha_{\text{festgelegt}}$$

$H_0 (s_X^2 = s_Y^2)$  wird beibehalten, d.h., die Merkmale X und Y entstammen einer Grundgesamtheit.

Abbildung B-18 Beurteilung der F-Test-Werte



## Anhang C Vergleich der Versuchsergebnisse

### C.1 Ergebnisse der Versuchsaufgaben DEVICE

#### C.1.1 PDI-Kennwerte 1998 für das Merkmal Erfahrung

*Tabelle C-1 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für das Merkmal Erfahrung (Fortgeschrittene: VP 1-16 und Anfänger: VP 17-32) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben 1998*

Aufgabentypen		CLICK				DRAG&DROP			
Merkmalswerte		Fortgeschrittene		Anfänger		Fortgeschrittene		Anfänger	
Gerätegruppe	Gerät	PDI <sub>C</sub>	Rang	PDI <sub>C</sub>	Rang	PDI <sub>D</sub>	Rang	PDI <sub>D</sub>	Rang
Mouse	I-MAUS	1,02	2	1,02	2	1,05	1	1,10	2
	ANIR-MAUS	1,02	1	1,06	4	1,46	9	1,09	1
	MICROPOINT	1,06	3	1,18	8	1,09	2	1,64	16
Trackball	TB5	1,15	6	1,07	5	1,21	3	1,12	4
	EVOLUTION	1,18	8	1,10	6	1,28	5	1,12	3
	MOUSETRACK	1,11	5	0,96	1	1,43	7	1,31	9
Mousepad	TRACKPAD	1,34	9	1,28	13	1,41	6	1,34	13
Mousebutton	CYBERCLICK	1,62	17	1,41	17	1,77	15	1,99	18
	DURAPPOINT	1,44	13	1,28	14	1,67	14	1,32	10
	HULAPPOINT	1,52	15	1,27	11	1,59	12	1,18	5
	MICROBUTTON	1,75	18	1,54	18	1,83	17	1,51	15
Mousestick	MICROSTICK	1,44	12	1,30	15	1,43	8	1,29	6
	MICROJOYSTICK	1,52	16	1,25	10	1,54	10	1,32	11
Joystick	INDUSTRIEMAUS	1,36	11	1,21	9	1,80	16	1,30	8
	INDUSTRIEJOYSTICK	1,47	14	1,28	12	1,56	11	1,29	7
Digitizing Tablet	SMARTTABLET	1,16	7	1,11	7	1,21	4	1,33	12
Touchscreen	ACCUTOUCH	1,08	4	1,04	3	1,92	18	1,89	17
Keyboard	CHERRY	1,34	10	1,34	16	1,59	13	1,39	14

### C.1.2 PDI Kennwerte 1998 für das Merkmal Bedienung

Tabelle C-2 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für das Merkmal Bedienung (Stehend: VP 1-8; 17-24 und Sitzend: VP 9-16; 25-32) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

Aufgabentypen		CLICK				DRAG&DROP			
Merkmalswerte		Aufrecht		Sitzend		Aufrecht		Sitzend	
Gerätegruppe	Gerät	PDI <sub>c</sub>	Rang	PDI <sub>c</sub>	Rang	PDI <sub>D</sub>	Rang	PDI <sub>D</sub>	Rang
Mouse	I-MAUS	1,01	3	1,03	1	1,06	1	1,09	2
	ANIR-MAUS	1,04	4	1,04	2	1,45	15	1,05	1
	MICROPOINT	1,16	8	1,09	4	1,28	8	1,42	9
Trackball	TB5	1,06	5	1,12	6	1,13	2	1,18	3
	EVOLUTION	1,08	7	1,19	7	1,15	3	1,20	4
	MOUSETRACK	0,98	1	1,05	3	1,26	6	1,42	10
Mousepad	TRACKPAD	1,27	13	1,34	9	1,35	13	1,34	5
Mousebutton	CYBERCLICK	1,39	17	1,62	17	1,98	17	1,72	15
	DURAPPOINT	1,25	11	1,44	15	1,27	7	1,67	14
	HULAPPOINT	1,30	14	1,42	13	1,29	10	1,38	6
	MICROBUTTON	1,47	18	1,78	18	1,46	16	1,77	18
Mousestick	MICROSTICK	1,31	15	1,38	12	1,28	9	1,39	7
	MICROJOYSTICK	1,26	12	1,43	14	1,30	11	1,52	11
Joystick	INDUSTRIEMAUS	1,16	9	1,36	10	1,31	12	1,74	17
	INDUSTRIEJOYSTICK	1,23	10	1,46	16	1,25	5	1,54	12
Digitizing Tablet	SMARTTABLET	1,07	6	1,20	8	1,16	4	1,40	8
Touchscreen	ACCU TOUCH	1,00	2	1,10	5	2,05	18	1,74	16
Keyboard	CHERRY	1,32	16	1,37	11	1,36	14	1,59	13

### C.1.3 PDI Kennwerte 1998 und 2001 für das Merkmal Gerätegestaltung

#### Gerätegruppe Mouse

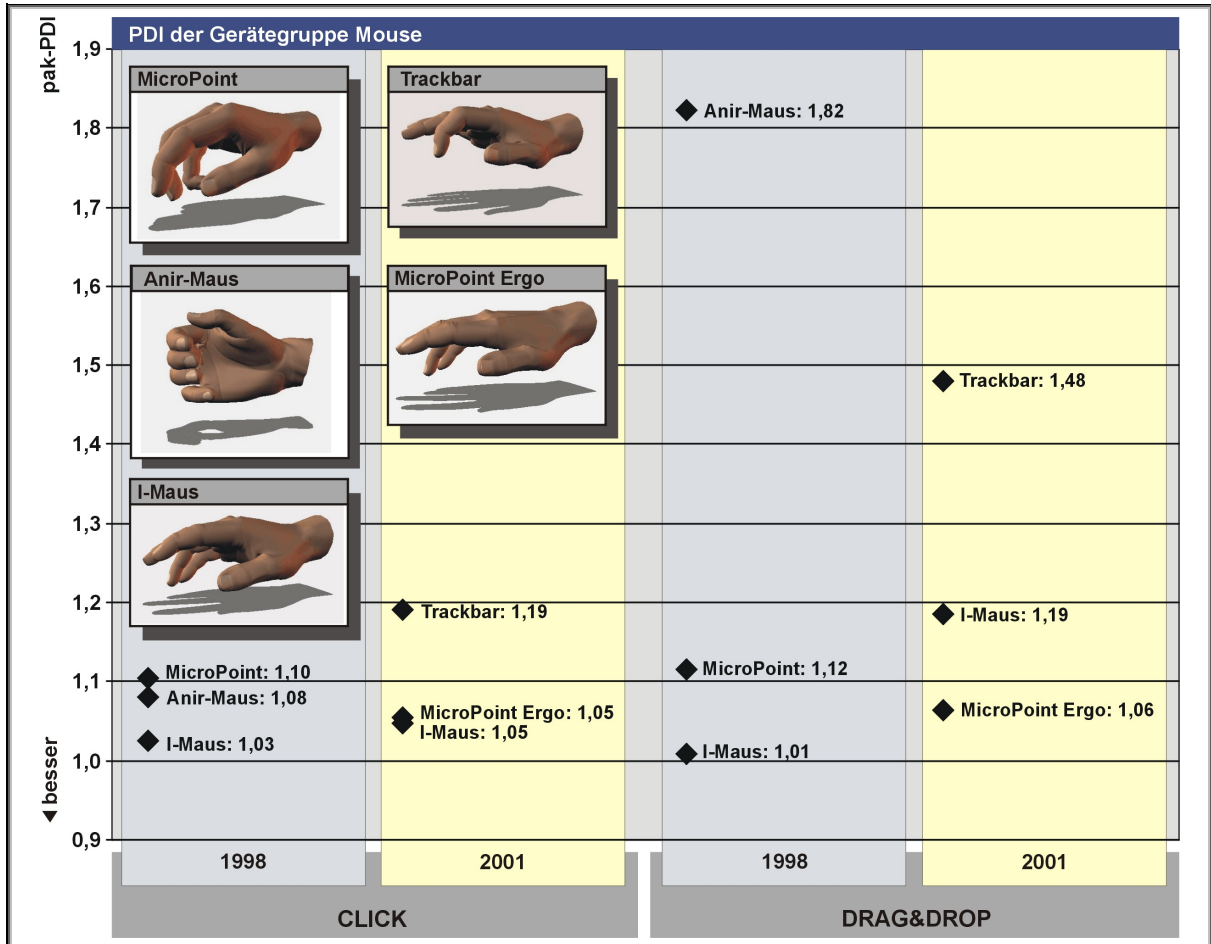


Abbildung C-1 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für die Gerätegruppe Mouse für das Merkmal Gerätegestaltung (1998: VP 1-8 und 2001: VP 1-16) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

## Gerätegruppe Trackball

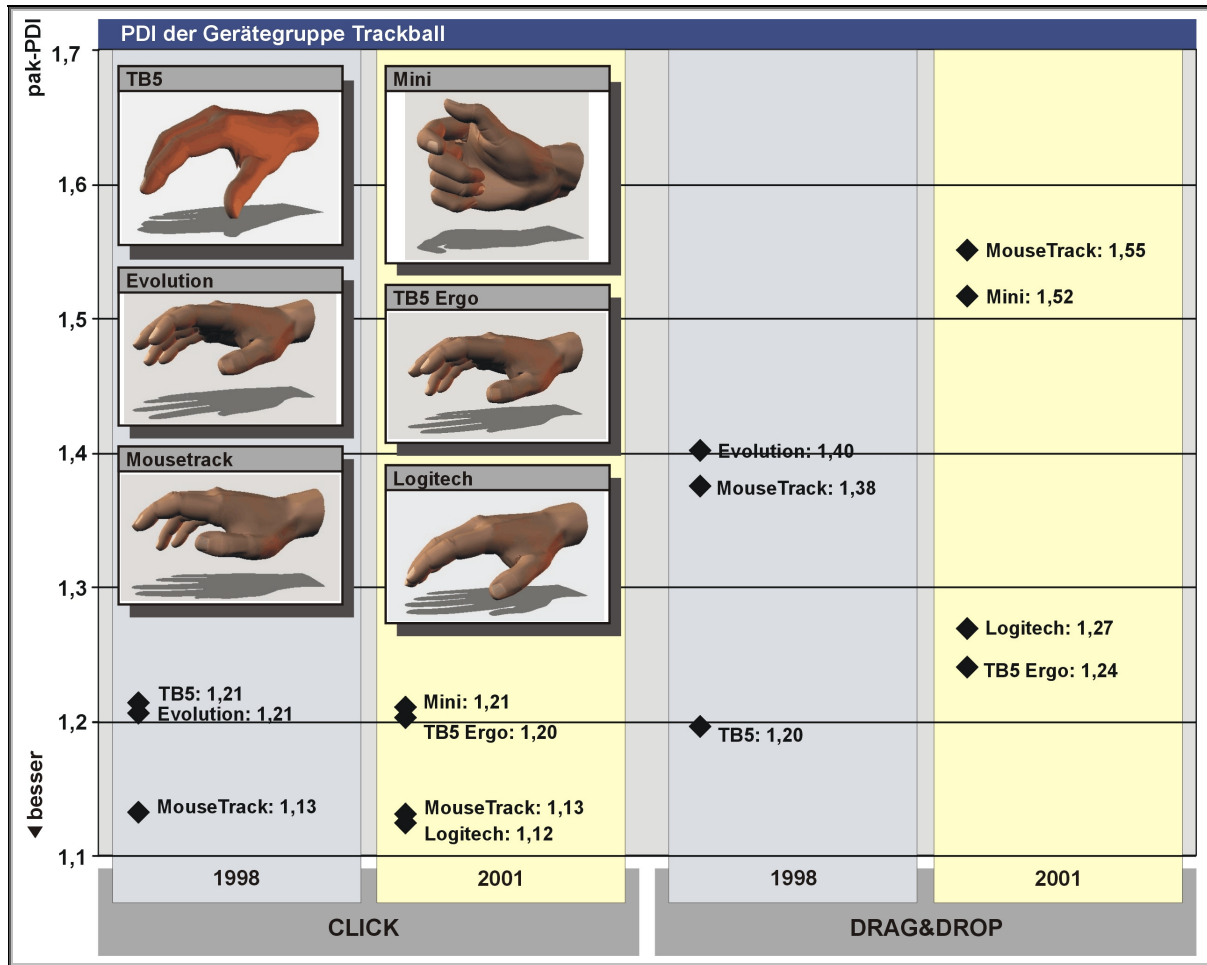


Abbildung C-2 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für die Gerätegruppe Trackball für das Merkmal Gerätegestaltung (1998: VP 1-8 und 2001: VP 1-16) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

### Gerätegruppe Mousebutton

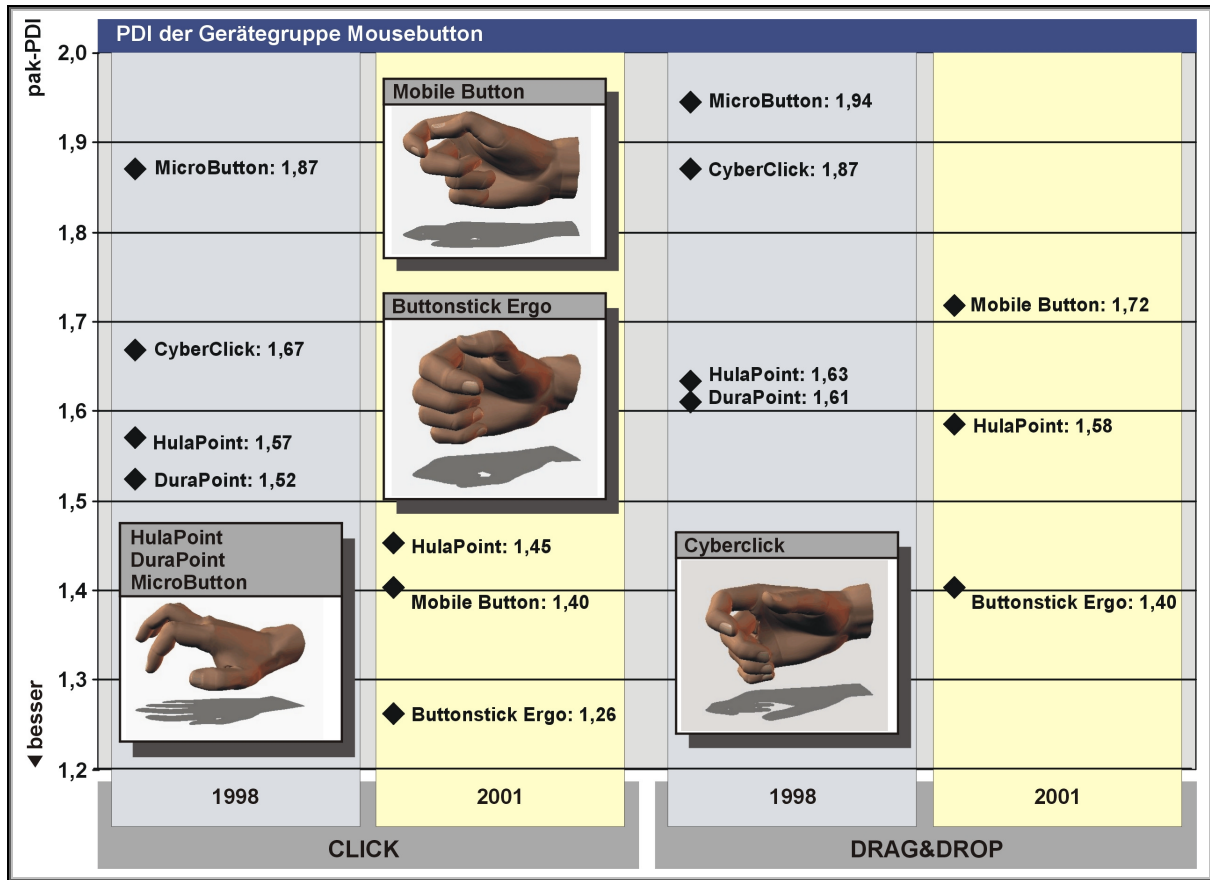


Abbildung C-3 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für die Gerätegruppe Mousebutton für das Merkmal Gerätegestaltung (1998: VP 1-8 und 2001: VP 1-16) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

### Gerätegruppe Mousestick und Joystick

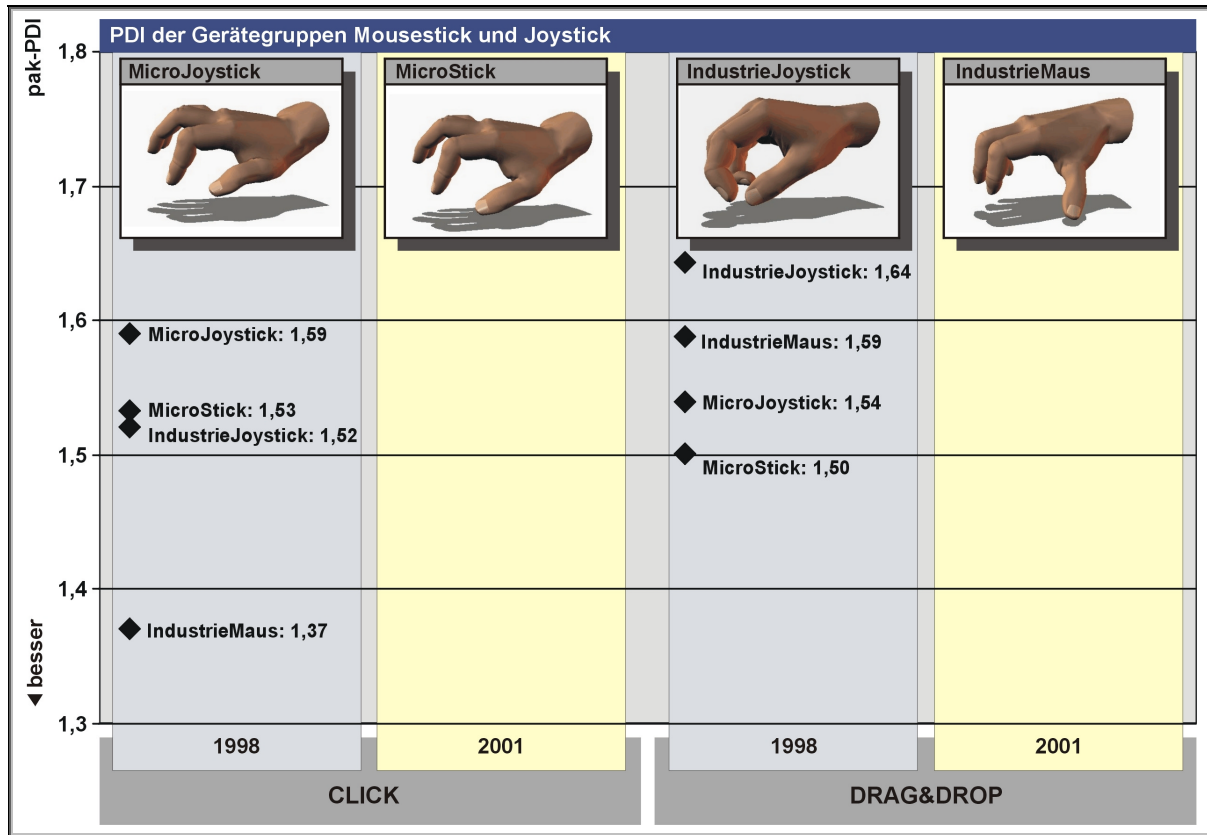


Abbildung C-4 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für die Gerätegruppe Mousestick und Joystick für das Merkmal Gerätegestaltung (1998: VP 1-8 und 2001: VP 1-16) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

### Gerätegruppen Mousepad, Digitizing Tablet, Touchscreen und Keyboard

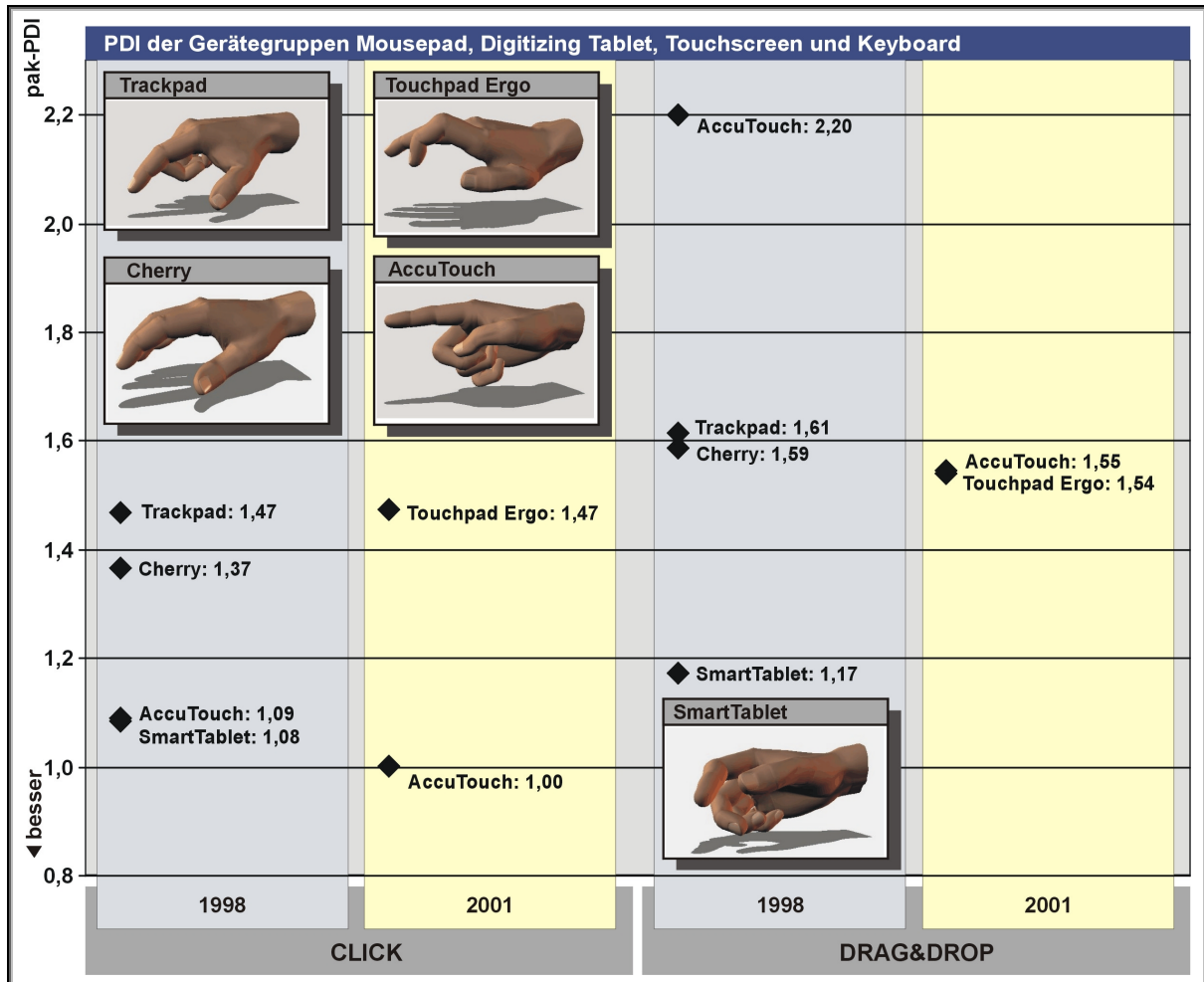


Abbildung C-5 Vergleich des pak-PDI nach Einzelgeräten für die Gerätegruppen Mousepad, Digitizing Tablet, Touchscreen und Keyboard für das Merkmal Gerätegestaltung (1998: VP 1-8 und 2001: VP 1-16) für CLICK- und DRAG&DROP-Aufgaben

## C.2 Ergebnisse der Versuchsaufgaben FITTS 2001

Tabelle C-3 Korrelationskoeffizienten  $r$  der durch lineare Regression ermittelten IP's für FITTS-Versuchsaufgaben für FITTS (F), WELFORD (W), MACKENZIE (M) für die Referenzgeräte

Aufgabentypen		CLICK									DRAG&DROP					
Aufgaben		CH			CV			CM			DDH			DDV		
ID-Gleichungen		F	W	M	F	W	M	F	W	M	F	W	M	F	W	M
		$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$	$r$
Mouse	I-MAUS	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,94	0,94	0,94	0,35	0,30	0,27
	MICROPOINT ERGO	0,99	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	0,94	0,92	0,91	-	-	-
	TRACKBAR	0,87	0,91	0,92	-	-	-	-	-	-	0,54	0,56	0,58	-	-	-
Trackball	MOUSETRACK	0,96	0,98	0,99	0,90	0,93	0,94	0,93	0,93	0,93	0,59	0,58	0,58	0,87	0,86	0,85
	LOGITECH	0,92	0,95	0,96	-	-	-	-	-	-	0,94	0,96	0,98	-	-	-
	TB5 ERGO	0,95	0,97	0,98	-	-	-	-	-	-	0,75	0,69	0,66	-	-	-
	MINI	0,91	0,94	0,95	-	-	-	-	-	-	0,50	0,53	0,54	-	-	-
Mousebutton	HULAPoint	0,88	0,92	0,93	0,87	0,90	0,92	1,00	0,99	0,99	0,91	0,89	0,87	0,70	0,75	0,78
	MOBILE BUTTON	0,95	0,97	0,98	-	-	-	-	-	-	0,75	0,73	0,72	-	-	-
	BUTTONSTICK ERGO	0,89	0,92	0,94	-	-	-	-	-	-	0,74	0,70	0,67	-	-	-
Mousepad	TOUCHPAD ERGO	0,94	0,95	0,96	-	-	-	-	-	-	0,96	0,96	0,96	-	-	-
Touchscreen	AccuTouch	0,91	0,94	0,96	-	-	-	-	-	-	0,69	0,73	0,76	-	-	-
Mittelwerte über Geräte		<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,92</b>	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,77</b>	<b>0,77</b>	<b>0,76</b>	<b>0,64</b>	<b>0,64</b>	<b>0,63</b>
		FITTS (F) $ID=\log_2(2A/W)$			WELFORD (W) $ID=\log_2(A/W+0,5)$			MACKENZIE (M) $ID=\log_2(A/W+1)$								
Mittelwerte über Aufgaben		0,845			0,851			0,854								



### C.3 Beurteilung des Versuchsinstrumentariums

#### C.3.1 Vergleich DEVICE 1998 mit DEVICE 2001

##### Analyse der Streuungsmaße

Tabelle C-4 Streuungsmaße des pak-PDI für die Gruppe „Fortgeschrittene, aufrecht“ von den Versuchsreihen 1998 (VP 1-8) und den Versuchsreihen 2001 (VP 1-16) für alle Aufgaben

	Versuchsergebnisse 1998 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-8)				Versuchsergebnisse Geräte 2001 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-16)			
	PDI Mittelwert	Varianz	Standard- ab- weichung	Variations- koeffizient [%]	Mittelwert	Varianz	Standard- ab- weichung	Variations- koeffizient [%]
	$\mu$	$s^2$	s	V	$\mu$	$s^2$	s	V
<b>PDI Aufgabentypen</b>								
CLICK	1,36	0,06	0,25	<b>18,34</b>	1,21	0,02	0,15	<b>12,52</b>
DRAG&DROP	1,54	0,09	0,31	<b>19,76</b>	1,43	0,03	0,19	<b>13,01</b>
<b>PDI Einzelaufgaben</b>								
Menü	1,30	0,05	0,23	<b>17,52</b>	1,27	0,04	0,20	<b>15,39</b>
Fenster	1,37	0,07	0,27	<b>19,39</b>	1,14	0,02	0,14	<b>12,49</b>
Knöpfe	1,35	0,06	0,24	<b>18,05</b>	1,20	0,04	0,19	<b>15,62</b>
Auswahlliste	1,41	0,12	0,35	<b>24,56</b>	1,24	0,02	0,13	<b>10,46</b>
Rahmen	1,74	0,28	0,53	<b>30,62</b>	1,60	0,10	0,31	<b>19,32</b>
Text	1,41	0,10	0,32	<b>22,40</b>	1,20	0,02	0,15	<b>12,86</b>
Linie	1,48	0,25	0,50	<b>34,14</b>	1,50	0,08	0,28	<b>18,61</b>

##### Korrelationsanalyse für alle Aufgaben

Tabelle C-5 Korrelation des pak-PDI für die Gruppe „Fortgeschrittene, aufrecht“ (n = 4;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{\text{tab}} = 0,950$ ) für alle Aufgaben

Gerätegruppe	Versuchsergebnisse 1998 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-8)				Versuchsergebnisse Geräte 2001 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-16)				Korrelation 1998 - 2001  $r_{\text{emp}} [\%]$
	Mouse	Track- ball	Mouse- button	Touch- screen	Mouse	Track- ball	Mouse- button	Touch- screen	
	I-MAUS	MOUSE- TRACK	HULA POINT	ACCU- TOUCH	I-MAUS	MOUSE- TRACK	HULA POINT	ACCU- TOUCH	
<b>PDI Aufgabentypen</b>									
CLICK	1,03	1,13	1,57	1,09	1,05	1,13	1,45	1,00	<b>97,33%</b>
DRAG&DROP	1,01	1,38	1,63	2,20	1,19	1,55	1,58	1,55	<b>70,47%</b>
<b>PDI Einzelaufgaben</b>									
Menü	1,00	1,06	1,53	1,09	0,99	1,12	1,64	1,04	<b>98,80%</b>
Fenster	1,03	1,05	1,58	1,00	1,21	1,08	1,27	0,94	<b>70,83%</b>
Knöpfe	1,02	1,19	1,59	1,18	1,00	1,10	1,47	0,97	<b>94,52%</b>
Auswahlliste	1,05	1,21	1,58	1,09	1,00	1,23	1,43	1,06	<b>97,16%</b>
Rahmen	1,00	1,79	1,94	2,24	1,50	2,26	1,65	1,52	<b>13,76%</b>
Text	1,00	1,16	1,53	1,35	0,99	1,25	1,48	1,16	<b>85,62%</b>
Linie	1,03	1,18	1,44	3,01	1,00	1,38	1,63	1,96	<b>87,39%</b>

## Korrelationsanalyse für die Aufgabe Rahmen

Tabelle C-6 Korrelation der einzelnen Merkmalswerte für die Aufgabe Rahmen ( $n = 4$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{tab} = 0,950$ )

	Versuchsergebnisse 1998 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-8)				Versuchsergebnisse Geräte 2001 Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-16)				Korrelation 1998 - 2001
Gerätegruppe	Mouse	Track- ball	Mouse- button	Touch- screen	Mouse	Track- ball	Mouse- button	Touch- screen	$r_{emp}$ [%]
Gerät	I-MAUS	MOUSE- TRACK	HULA- POINT	ACCU- TOUCH	I-MAUS	MOUSE- TRACK	HULA POINT	ACCU- TOUCH	
<b>Zeit letzter Versuch [s]</b>									
Rahmen	3,05	5,79	7,24	4,78	4,11	5,37	7,68	5,39	<b>94,16%</b>
<b>Gesamtzeit [s]</b>									
Rahmen	3,05	11,04	14,92	14,80	8,65	12,32	8,94	9,89	<b>22,54%</b>
<b>Anzahl der Versuche [Stück]</b>									
Rahmen	1,00	1,38	1,25	2,50	6,25	4,75	1,06	1,69	<b>-55,33%</b>

## t-Test-Analyse der Kennwerte und Merkmalswerte für alle Aufgaben

Tabelle C-7 Vergleich der Kennwerte und Merkmalswerte mittels des t-Tests (Freiheitsgrade: 22 ( $FG = n_1 + n_2 - 2$ ); Signifikanzniveau:  $\alpha = 0,05$ ; kritischer t-Wert:  $t_{tab} = 2,074$ ) für alle Aufgaben

t-Test:		1998: Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-8) 2001: Fortgeschrittene, aufrecht (VP 1-16)							
Gerätegruppe	Mouse		Trackball		Mousebutton		Touchscreen		
Gerät	I-MAUS		MOUSETRACK		HULAPPOINT		ACCU TOUCH		
	P-Wert	t-Wert	P-Wert	t-Wert	P-Wert	t-Wert	P-Wert	t-Wert	
<b>(a) Kennwerte</b>									
<b>PDI Aufgabentypen:</b>									
CLICK	0,775	-0,319	0,946	-0,069	0,203	1,359	0,322	1,003	
DRAG&DROP	<b>0,038</b>	<b>-2,632</b>	0,294	-1,078	0,741	0,321	0,080	1,509	
<b>PDI Einzelaufgaben</b>									
Menu	0,847	0,171	0,354	-1,160	0,444	-0,913	0,733	0,282	
Window	0,540	-0,845	0,849	-0,250	0,459	1,830	0,703	0,483	
Button	0,359	0,862	0,208	1,401	0,431	0,757	0,149	1,196	
Box	0,618	0,453	0,874	-0,134	0,215	1,135	0,858	0,202	
Rectangular	<b>0,036</b>	<b>-3,136</b>	0,244	-1,168	0,325	0,861	0,187	1,091	
Text	0,869	0,209	0,300	-1,253	0,797	0,293	0,313	1,159	
Curve	0,780	0,176	0,375	-1,166	0,384	-1,049	0,181	1,049	
<b>(b) Merkmalswerte</b>									
<b>Zeit letzter Versuch</b>									
Menu	0,681	0,362	0,464	-0,906	0,561	-0,685	0,648	0,461	
Window	0,369	-0,936	0,284	-1,128	0,726	0,322	0,090	1,477	
Button	0,185	-1,406	0,820	0,245	0,802	0,242	0,418	1,091	
Box	0,158	-1,602	0,058	-2,065	0,468	-0,711	0,905	-0,119	
Rectangular	<b>0,044</b>	<b>-2,386</b>	0,750	0,434	0,743	-0,368	0,653	-0,584	
Text	0,561	-0,767	0,067	-2,036	0,598	-0,623	0,863	0,213	
Curve	0,604	0,639	0,932	0,106	0,692	0,519	0,822	-0,299	
<b>Gesamtzeit</b>									
Menu	0,681	0,362	0,464	-0,906	0,561	-0,685	0,420	0,655	
Window	0,163	-1,913	0,191	-1,703	0,456	0,681	0,949	-0,078	
Button	0,516	-0,648	0,894	0,151	0,882	0,145	0,098	1,402	
Box	0,582	-0,558	0,326	-0,868	0,762	-0,297	0,734	-0,367	
Rectangular	<b>0,011</b>	<b>-3,923</b>	0,749	-0,282	0,152	1,159	0,500	0,541	
Text	0,561	-0,767	0,347	-0,678	0,448	-0,932	0,769	0,362	
Curve	0,768	-0,371	0,653	-0,569	0,511	0,607	0,194	1,160	
<b>Anzahl der Versuche</b>									
Menu	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,784	0,232	
Window	0,328	-1,387	0,376	-1,291	0,162	1,000	0,159	-2,007	
Button	1,000	0,000	0,620	0,447	0,492	-1,000	0,266	0,904	
Box	0,620	0,447	0,162	1,000	0,162	1,000	0,784	0,294	
Rectangular	<b>0,006</b>	<b>-4,317</b>	0,125	-0,393	0,207	1,070	0,316	0,805	
Text	1,000	0,000	0,492	-1,000	0,492	-1,000	0,561	0,607	
Curve	0,957	-0,055	0,857	-0,217	1,000	0,000	0,216	0,945	

### C.3.2 Vergleich DEVICE 2001 und FITTS 2001

Tabelle C-8 Korrelation der Merkmalswerte und Kennwerte von DEVICE 2001 und FITTS 2001 ( $n=12$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{tab} = 0,576$ ) für alle Aufgaben

Aufgabentypen	Einzelaufgaben	Merkmalswerte		Einzelaufgaben	Kennwerte
CLICK	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit Letzter Versuch	DEVICE	PDI
	FITTS	Zeit Click Horizontal (CH)		FITTS	IP <sub>CH</sub> (MacKenzie)
	Über ID's gemittelter Korrelationskoeffizienten r			Korrelationskoeffizienten r	
	Menü	0,289	0,345	PDI <sub>Menü</sub>	-0,119
	Fenster	0,286	0,318	PDI <sub>Fenster</sub>	-0,006
	Knöpfe	0,362	0,352	PDI <sub>Knöpfe</sub>	-0,191
	Auswahlliste	0,281	0,335	PDI <sub>Auswahlliste</sub>	-0,023
	Mittelwert	<b>0,304</b>	<b>0,338</b>	PDI <sub>C</sub>	<b>-0,134</b>
DRAG & DROP	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit Letzter Versuch	DEVICE	PDI
	FITTS	Zeit DRAG&DROP Horizontal (DDH)		FITTS	IP <sub>DDH</sub> (MacKenzie)
	Über ID's gemittelter Korrelationskoeffizient r			Korrelationskoeffizient r	
	Rahmen	0,272	0,455	PDI <sub>Rahmen</sub>	0,015
	Text	0,295	0,361	PDI <sub>Text</sub>	-0,028
	Linie	0,415	0,512	PDI <sub>Linie</sub>	0,010
	Mittelwert	<b>0,321</b>	<b>0,417</b>	PDI <sub>D</sub>	<b>0,006</b>

Tabelle C-9 Rangkorrelation der Merkmalswerte und Kennwerte von DEVICE 2001 und FITTS 2001 ( $n=12$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{S, tab} = 0,591$ ) für alle Aufgaben

Aufgabentypen	Einzelaufgaben	Merkmalswerte		Einzelaufgaben	Kennwerte
CLICK	FITTS	Zeit Click horizontal (CH)		FITTS	IP <sub>CH</sub> (MacKenzie)
	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit Letzter Versuch	DEVICE	PDI
	Über ID's gemittelter Rangkorrelationskoeffizient r <sub>s</sub>			Rangkorrelationskoeffizient r <sub>s</sub>	
	Menü	0,929	0,885	PDI <sub>Menü</sub>	0,545
	Fenster	0,835	0,905	PDI <sub>Fenster</sub>	0,028
	Knöpfe	0,931	0,910	PDI <sub>Knöpfe</sub>	0,350
	Auswahlliste	0,957	0,968	PDI <sub>Auswahlliste</sub>	0,545
	Mittelwert	<b>0,913</b>	<b>0,917</b>	PDI <sub>C</sub>	<b>0,469</b>
DRAG & DROP	FITTS	Zeit DRAG&DROP horizontal (DDH)		FITTS	IP <sub>DDH</sub> (MacKenzie)
	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit Letzter Versuch	DEVICE	PDI
	Über ID's gemittelter Rangkorrelationskoeffizient r <sub>s</sub>			Rangkorrelationskoeffizient r <sub>s</sub>	
	Rahmen	0,354	0,652	PDI <sub>Rahmen</sub>	-0,252
	Text	0,818	0,888	PDI <sub>Text</sub>	-0,112
	Linie	0,765	0,698	PDI <sub>Linie</sub>	0,427
	Mittelwert	<b>0,646</b>	<b>0,746</b>	PDI <sub>D</sub>	<b>0,070</b>

### C.3.3 Vergleich generelles und individuelles Instrumentarium

Tabelle C-10 Rangkorrelation der Merkmalswerte und Kennwerte von DEVICE 2001 und FITTS 2001 mit der Bewertung durch die Versuchspersonen ( $n=12$ ;  $\alpha = 0,05$ ;  $r_{S, tab} = 0,591$ ) für alle Aufgaben


Aufgabentypen	Einzel- aufgaben	Merkmalswerte		Einzel- aufgaben	Kennwerte
	Ranking VP	Rangplatz		Ranking VP	Rangplatz
	FITTS	Zeit CLICK Horizontal (CH) & Zeit DRAG&DROP Horizontal (DDH)		FITTS	IP (MacKENZIE)
	Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		
CLICK	CH	0,855		IP <sub>CH</sub>	0,434
D&D	DDH	0,800		IP <sub>DDH</sub>	-0,063
	Ranking VP	Rangplatz		Ranking VP	Rangplatz
	DEVICE	Gesamtzeit	Zeit Letzter Versuch	DEVICE	PDI
	Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		Rangkorrelationskoeffizient $r_s$		
CLICK	Menü	0,825	0,811	PDI <sub>Menü</sub>	0,790
	Fenster	0,790	0,853	PDI <sub>Fenster</sub>	0,580
	Knöpfe	0,825	0,832	PDI <sub>Knöpfe</sub>	0,825
	Auswahlliste	0,909	0,909	PDI <sub>Auswahlliste</sub>	0,804
	Mittelwert	0,837	0,851	PDI <sub>C</sub>	0,839
DRAG & DROP (D&D)	Rahmen	0,490	0,769	PDI <sub>Rahmen</sub>	0,706
	Text	0,916	0,951	PDI <sub>Text</sub>	0,860
	Linie	0,692	0,797	PDI <sub>Linie</sub>	0,545
	Mittelwert	0,699	0,839	PDI <sub>D</sub>	0,804



## Anhang D Steckbriefe der Interaktionsgeräte

### D.1 Mouse: I-MAUS

#### Eingabelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
I-MAUS	Rittal-Werk Rudolf Loh GmbH & Co. KG Auf dem Stützelberg D-35745 Herborn Germany  Phone: +49-2772-505-0 Fax: +49-2772-505319 Internet: <a href="http://www.rittal.de">http://www.rittal.de</a>	

#### Beschreibung

Durch eine induktive Wegerfassung arbeitet die I-Maus ohne Kugel. Ein Eindringen von Schmutzpartikeln ist durch die geschlossene Form von unten nicht möglich. Eine Schutzfolie über der Maus verhindert das Eindringen von Staub und Feuchtigkeit von oben an den Schaltelementen in das Gehäuse. Auf der über ein Kabel mit der Maus fest verbundenen Arbeitsunterlage wird die Maus in horizontaler Ebene bewegt. Die Bewegung erfolgt relativ, den Koordinaten des Mousepads sind keine Koordinaten auf dem Bildschirm fest zugeordnet. Die Handfläche liegt bei der Benutzung flach auf dem Gehäuse der Maus, der Zeigefinger ruht auf dem Schaltelement.

#### Eingabelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigelement	gesamtes Ge- häuse	Hand-Arm-System (Handinnenfläche)	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	linke Taste	linker Zeigefinger	nach unten drü- cken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	linke Taste & gesamtes Ge- häuse	linker Zeigefinger & Hand-Arm- System	nach unten drü- cken & bewegen	

#### Beurteilung

Die I-Maus dient als Referenzgerät. Die mit den anderen Geräten erzielten Merkmalswerte werden zu ihren Merkmalswerten in Beziehung gesetzt. Ihre Bedienung entspricht der einer Standardmaus. Erfahrene Nutzer haben mit ihrer Benutzung keine Probleme. Anfänger bedienen sie teilweise zweihändig, um das Verrutschen des Gehäuses beim Selektieren zu stoppen.

## D.2 Mouse: Anir-Maus


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>ANIR-MAUS</b>  Modell: Anir Mouse Pro	Animax International ASA Gladengveien 3B N-0603 Oslo Norway  Phone: +47-2266050-0 Fax: +47-2266050-1 Internet: <a href="http://www.animax.no">http://www.animax.no</a>	

### Beschreibung

Die ANIR-MAUS wird auf einer horizontal liegenden Arbeitsunterlage bewegt. Aufgrund ergonomischer Untersuchungen ist sie gestaltet wie ein Joystick. Die Hand umfasst die Maus in vertikaler Lage in Form einer Faust. Der Daumen liegt dabei auf dem Schaltelement. Die Umsetzung der relativen Bewegung der Maus in elektrische Signale und in eine Bewegung des Cursors am Bildschirm geschieht über eine Kugel an der Unterseite der Maus. Wird die opto-mechanische Signalerzeugung im Rahmen von Umbaumaßnahmen durch ein induktives Wirkprinzip ersetzt und das Schaltelement zum Gehäuseinneren abgedichtet, ist Prozesszuverlässigkeit hinsichtlich des Faktors Schmutz (Öl, Späne, Kühlschmiermittel) gegeben.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/ Zeigeelement</b>	gesamtes Ge- häuse	Hand-Arm-System (Handinnenfläche)	bewegen	
<b>Selektieren/ Schaltelement</b>	Taste oben	Daumen	nach links unten drücken	
<b>Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement</b>	Taste oben & gesamtes Ge- häuse	Daumen & Hand- Arm-System	nach unten drü- cken & bewegen	

### Beurteilung

Benutzt wird die Anir-Maus durch eine aufrechte Handhaltung, das Handgelenk wird durch das Gehäuse unterstützt wird. Dies entspricht dem Prinzip der neutralen Körperhaltung (keine bzw. sehr geringe Abwinkelung in den Körpergelenken) und es ist eine muskulaturschonende und ermüdungsfreie Benutzung möglich. Dieser Umfassungsgriff eignet sich zwar für Aufgaben mit großer Genauigkeit, erfordert aber auch einen hohen Zeitbedarf. Untersuchungen haben ergeben, dass hier nach einer gewissen Lernphase erhebliches Verbesserungspotential besteht und sie durch Gewöhnung bessere Ergebnisse als eine herkömmliche Standardmaus erzielt [Aar97].



## D.3 Mouse: MICROPOINT


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>MICROPOINT</b>  Modell: Felix PC 400	ALTRA 520 West Cedar Street, Rawlins, WY 82301 USA  Phone: +1-307-328-1342 Fax: +1-307-328-1346 Email: order@altra.com Internet: http://www.altra.com	

### Beschreibung

In ein stationäres Gehäuse ist ein beweglicher Knopf (Zeigeelement) eingebaut, der sich innerhalb einer Fläche von ca. 4 x 3,5 cm bewegen kann. Die Umsetzung der Bewegung des Zeigeelements in elektrische Signale und in eine Bewegung des Cursors am Bildschirm erfolgt mittels optischer Micropad-Technologie. Dabei entspricht jeder Punkt im Bewegungsraum einem Punkt der Bildschirmoberfläche. Im Vergleich zur Maus werden absolute Koordinaten übermittelt. Die Schaltelemente befinden sich auf dem Zeigeelement. Das Zeigeelement kann neben der X/Y-Bewegung eine Rotation um die Z-Achse zur Anpassung an die jeweilige Handstellung ausführen. Zur Benutzung umfassen Daumen und Mittelfinger das Zeigeelement, der Zeigefinger ruht auf dem Schaltelement.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Hand-System (Handgelenk)	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	linke Taste oben	Zeigefinger	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Taste oben & Knopf	Zeigefinger & Hand-Arm-System	nach unten drücken & bewegen	

### Beurteilung

Von den Versuchspersonen wird die absolute Positionierung als sehr positiv beschrieben. Als negativ wird die Form des Positionierelements und die Anordnung der Schaltelemente beurteilt. Ebenfalls kommen die Versuchspersonen überraschend gut mit der Sensibilität des Positionierelements zurecht. Beim Verschieben ist hier kaum Widerstand zu spüren. Für ein muskulaturschonendes und ermüdungsfreies Greifen des Positionierelements und Betätigen der Schaltelemente sind diese zu klein dimensioniert. Diese Kritikpunkte haben zur modifizierten Konstruktion des Gerätes MICROPOINT ERGO geführt.

## D.4 Mouse: MICROPOINT ERGO


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>MICROPOINT ERGO</b> Eigenkonstruktion  Basismodell: MicroPoint Felix PC 400	ALTRA 520 West Cedar Street Rawlins, WY 82301 USA  Tel: +1-307-328-1342 Fax: +1-307-328-1346 <a href="mailto:order@altra.com">order@altra.com</a> <a href="http://www.altra.com">http://www.altra.com</a>	

### Beschreibung

In ein stationäres Gehäuse ist eine Standardmaus als Zeigeelement eingebaut, die sich innerhalb einer Fläche von ca. 4 x 3,5 cm bewegen kann. Die Umsetzung der Bewegung des Zeigeelements in elektrische Signale und in eine Bewegung des Cursors am Bildschirm erfolgt mittels optischer Micropad-Technologie. Dabei entspricht jeder Punkt im Bewegungsraum einem Punkt der Bildschirmoberfläche. Im Vergleich zur Maus werden absolute Koordinaten übermittelt. Die Handhabung ist vergleichbar mit der einer Standardmaus. Die Hand liegt bei der Benutzung flach auf dem Gehäuse des Positionierelements, der Zeigefinger ruht auf dem Schaltelement.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/ Zeigeelement</b>	gesamtes Ge- häuse	Arm-Hand-System (Handinnenflä- chen)	bewegen	
<b>Selektieren/ Schaltelement</b>	Taste links	Zeigefinger links	nach unten drü- cken	
<b>Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement</b>	Taste links & gesamtes Ge- häuse	Zeigefinger links & Arm-Hand-System	nach unten drü- cken & bewegen	

### Beurteilung

Bei dem Gerät MICROPOINT ERGO wird im Vergleich zum MICROPOINT die Bauform des Aufbaus an eine herkömmliche Standardmaus angepasst und die Dämpfung des Positionierelements erhöht, damit diese auch bei geneigter Position die Stellung beibehält. Die Bedienung ist einer Standardmaus vergleichbar. Daher gehen die Versuchspersonen mit diesem Gerät wie mit einer herkömmlichen Computermaus um.

## D.5 Mouse: TRACKBAR


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>TRACKBAR</b>  Schiebemaus Modell: TrackbarPro Celltrix	Qualicom Software + Displaysysteme Pfännerhöhe 5 D-06242 Braunsbedra Germany  Tel: +49-(0)34633-22874 Fax . +49-(0)34633-22875 qualicom@t-online.de http://www.qualicom.de	

### Beschreibung

Mit den Fingern wird ein Schiebeelement bewegt das die horizontale Bewegung ermöglicht. Die vertikale Bewegung wird durch eine, in das Schiebeelement integrierte Rolle ermöglicht. Die Bewegung des Schiebe- bzw. Rollelements (Positionierelements) wird in elektrische Signale umgewandelt, die an den Rechner übermittelt werden und so die Position des Cursors auf dem Bildschirm bestimmen. Das zur Funktionsauslösung relevante Schaltelement befindet sich links vor dem Zeigeelement. Die Benutzung des Positionierelements erfolgt mittels des Zeige- oder Mittelfingers, während das Schaltelement mit der innenliegenden Fläche des Daumens betätigt wird.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Gleitschiene	Hand-Finger- System (Fingerin- nenflächen)	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen links	nach unten drü- cken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Taste links & Gleitschiene	Daumen & Hand- Finger-System	nach unten drü- cken & bewegen	

### Beurteilung

Die Benutzung des Gerätes TRACKBAR ist einfach und auch für ungeübte Nutzer schnell erlernbar. Das groß gestaltete Schaltelement ist so gelegen, dass der Daumen darauf ruhen kann und eine unbeabsichtigte Aktivierung möglich ist. Abhilfe würde hier eine Auflagefläche vor dem Gerät für den Handballen schaffen.

## D.6 Trackball: TB5

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>TB5</b>  Modell: Trackball TB.50	EAE electronics GmbH Dekan-Laist-Straße 52 D-55129 Mainz Germany  Phone: +49-6131-9175-0 Fax: +49-6131-9175-75	

### Beschreibung

Mit den Fingern wird eine Rollkugel von ca. 5 cm Durchmesser als Zeigeelement bewegt, die in ein stationäres Gehäuse eingelassen ist. Die Bewegung der Kugel wird in elektrische Signale umgesetzt, die an den Rechner übermittelt werden, um die Position des Cursors auf dem Bildschirm zu bestimmen. Das zur Funktionsauslösung relevante Schaltelement befindet sich am stationären Gehäuse links vor dem Zeigeelement. Es ist als Folientaster ausgearbeitet. Die Benutzung des Zeigeelements erfolgt mittels der Finger (insbesondere Zeige-, Mittel-, Ring- und kleiner Finger), während das Schaltelement mit der seitlichen Fläche des Daumens betätigt wird. Der Handballen ruht bei kleinen Händen auf dem Gehäuse.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Rollkugel	Hand-Finger-System (Fingerinnenfläche)	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste vorn links	Daumen (seitlich)	nach links unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Rollkugel & Taste vorn links	Daumen & Hand-Finger-System	nach unten drücken & bewegen	

### Beurteilung

Als positiv wird bei den Versuchen von den Versuchspersonen die exakte Positioniermöglichkeit des Cursors mittels der Rollkugel aufgrund ihres Eigengewichts (adäquate Schwergängigkeit) bewertet. Der Cursor verrutscht nicht, während das Schaltelement betätigt wird. Sehr negativ werden die Folientasten beurteilt. Die Benutzer erhalten kein adäquates Feedback über eine längerfristige Betätigung insbesondere bei DRAG&DROP-Aufgaben. Zudem wird die zur Betätigung notwendige Kraft als zu hoch beurteilt. Diese beiden Ursachen führen dazu, dass die Versuchspersonen während der Testaufgaben das Schaltelement loslassen und mehrere Versuche zum Lösen der Aufgabe benötigen bzw. die zweite Hand zu Hilfe nehmen, um das Schaltelement zu betätigen.

## D.7 Trackball: TB5 ERGO

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>TB5 ERGO</b> Eigenkonstruktion  Basismodell: TB.50-PS/2	EAE electronics GmbH Dekan-Laist-Strasse 52 D-55129 Mainz Germany  Tel: +49-(0)6131-9175-0 Fax: +49-(0)6131-9175-75	

### Beschreibung

Mit den Fingern wird eine Rollkugel von ca. 5 cm Durchmesser als Positionierelement bewegt, die in ein stationäres Gehäuse eingelassen ist. Die Bewegung der Kugel wird in elektronische Signale umgesetzt, die an den Rechner übermittelt werden, um die Position des Cursors auf dem Bildschirm zu bestimmen. Das zur Funktionsauslösung relevante Schaltelement befindet sich seitlich am stationären Gehäuse links unterhalb des Zeigelements. Es ist als Knopfschalter ausgearbeitet. Die Benutzung des Positionierelements erfolgt mittels der Finger (insbesondere Zeige-, Mittel- und Ringfinger), während das Schaltelement mit dem Daumen betätigt wird. Der Handfläche ruht dabei auf dem Gehäuse, das der Handform nachempfunden ist.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigelement	Rollkugel	Hand-Finger- System	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drü- cken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Taste links & Rollkugel	Hand-Finger- System & Daumen	nach unten drücken & bewegen	

### Beurteilung

Der selbstgebaute ergonomische TRACKBALL überzeugt durch Form und Bedienbarkeit. Die Handinnenfläche kann sich an das ergonomische Gehäuse anpassen, wodurch ein schmerzfreies Arbeiten ermöglicht wird. Verbesserungswürdig ist das Schaltelement, das größer gestaltet sein sollte, um der Anthropometrie verschiedener Handgrößen gerecht zu werden.

## D.8 Trackball: MOUSETRACK EVOLUTION

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<p><b>EVOLUTION</b></p> <p>Evolution MouseTrak Model: I-X6XXMP</p>	<p>ITAC Systems, INC. 3113 Benton Street Garland, TX 75042 USA</p> <p>Phone: +1-972-494-3073 Fax: +1-972-494-4159 Email: sales@mouse-trak.com Internet: http://www.mousetrak.com</p>	

### Beschreibung

Mit den Fingern wird eine Rollkugel von ca. 5 cm Durchmesser als Zeigelement bewegt, die in ein stationäres Gehäuse eingelassen ist. Die Bewegung der Kugel wird in elektrische Signale umgesetzt, die an den Rechner übermittelt werden, um die Position des Cursors auf dem Bildschirm zu bestimmen. Das zur Funktionsauslösung relevante Schaltelement befindet sich seitlich am stationären Gehäuse links vor dem Positionierelement. Es ist als Schalter in ausreichender Größe für verschiedene Handgrößen ausgearbeitet. Die Benutzung des Positionierelements erfolgt mittels der Finger (insbesondere Zeige-, Mittel-, Ring- und kleiner Finger), während das Schaltelement mit der innenliegenden Fläche des Daumens betätigt wird. Der Handballen ruht dabei auf dem Gehäuse, das der Handform nachempfunden ist.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/ Zeigelement</b>	Rollkugel	Hand-Finger- System (Fingerinnen- fläche)	bewegen	
<b>Selektieren/ Schaltelement</b>	Taste vorn links	Daumen (Innenfläche)	nach links unten drücken	
<b>Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement</b>	Rollkugel & Taste vorn links	Daumen & Hand-Finger- System	nach unten drü- cken & bewegen	


### Beurteilung

Als positiv wird bei den Versuchen von den Versuchspersonen die exakte Positioniermöglichkeit des Cursors mittels der Rollkugel aufgrund ihres Eigengewichts (adäquate Schwergängigkeit) bewertet. Der Cursor ändert seine Position nicht, während das Schaltelement betätigt wird. Von einigen Testpersonen wird die Gehäuseform als negativ bewertet, andere empfinden diese als angenehm.



## D.9 Trackball: MOUSETRACK INDUSTRIAL

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>MOUSETRACK</b>  Industrial MouseTrak Model: I-B9PIND	ITAC Systems, INC. 3113 Benton Street Garland, TX 75042 USA  Phone: +1-972-494-3073 Fax: +1-972-494-4159 Email: sales@mouse-trak.com Internet: http://www.mousetrak.com	

### Beschreibung

Mit den Fingern wird eine Rollkugel von ca. 5 cm Durchmesser als Zeigelement bewegt, die in ein stationäres Gehäuse eingelassen ist. Die Bewegung der Kugel wird in elektrische Signale umgesetzt, die an den Rechner übermittelt werden, um die Position des Cursors auf dem Bildschirm zu bestimmen. Das zur Funktionsauslösung relevante Schaltelement befindet sich seitlich am stationären Gehäuse links vor dem Zeigelement. Es ist als Schalter ausgearbeitet. Die Benutzung des Zeigelements erfolgt mittels der Finger (insbesondere Zeige-, Mittel-, Ring- und kleiner Finger), während das Schaltelement mit dem Daumen betätigt wird. Der Handballen ruht dabei auf dem Gehäuse.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/Zeigelement</b>	Rollkugel	Hand-Finger-System (Fingerinnenfläche)	bewegen	
<b>Selektieren/Schaltelement</b>	Taste vorn links	Daumen	nach unten drücken	
<b>Manipulieren/Zeige- und Schaltelement</b>	Rollkugel & Taste vorn links	Daumen & Hand-Finger-System	nach unten drücken & bewegen	

### Beurteilung

Der Trackball MOUSETRACK ist in seiner Bedienung ein komfortables Gerät. Doch zeigt er durch sein kantiges Gehäuse und das schlecht positionierte Schaltelement unnötige Schwächen. Eine angenehme Steuerung wird dann erreicht, wenn die zweite Hand für die Aktivierung des Schaltelements genutzt wird.

## D.10 Trackball: LOGITECH

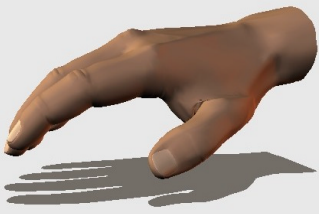
### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>LOGITECH</b>  Modell: TrackMan® Wheel	Logitech GmbH Streiflacher Strasse 7 D-82110 Germering Germany  Tel: +49-(0)89-89-467-0 Fax: +49-(0)89-89-467-200 <a href="http://www.logitech.de">http://www.logitech.de</a>	

### Beschreibung

Mit dem Daumen wird eine Rollkugel von ca. 3 cm Durchmesser als Zeigelement bewegt, die in ein stationäres Gehäuse eingelassen ist. Die Bewegung der Kugel wird in elektronische Signale umgesetzt, die an den Rechner übermittelt werden, um die Position des Cursors auf dem Bildschirm zu bestimmen. Das zur Bewegungsauslösung relevante Zeigelement befindet sich seitlich am stationären Gehäuse. Die Benutzung des Zeigelements erfolgt mittels des Daumens, während das Schaltelement mit dem Zeigefinger betätigt wird. Die Handfläche liegt bei der Benutzung flach auf dem Gehäuse, der Zeigefinger ruht auf dem Schaltelement.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigelement	Rollkugel	Hand-Finger-System	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Taste links & Rollkugel	Hand-Finger-System	nach unten drücken & bewegen	


### Beurteilung

Eine Kombination aus Trackball und Standard-Maus ist der Trackball von LOGITECH. Durch die gute Gestaltung des Gehäuses wird eine hervorragende Handhabbarkeit erreicht. Einziger Schwachpunkt ist der leichtgängige Trackball, der mit dem Daumen bewegt wird. Daraus resultiert die Schwierigkeit der exakten Positionierung bei wenig Zeitaufwand.



## D.11 Trackball: MINI

### Eingabelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>MINI</b>  Fingermaus Modell: Ringmaus TE 1040	GeBE Computer & Peripherie GmbH Mozart Strasse 14a D-82110 Germering Germany  Tel: +49-(0)89-894399-0 Fax: +49-(0)89-894399-11 gebecp@www.tastaturen.com http://www.tastaturen.com	

### Beschreibung

Mit den Fingern wird eine Rollkugel von ca. 2 cm Durchmesser als Zeigeelement bewegt, die in ein Gehäuse eingelassen ist. Die Bewegung der Kugel wird in elektronische Signale umgesetzt, die an den Rechner übermittelt werden, um die Position des Positioniersymbols auf dem Bildschirm zu bestimmen. Das zur Funktionsauslösung relevante Schaltelement befindet sich in dem Durchgriffsloch im Gehäuse. Es ist als Schalter ausgearbeitet. Die Benutzung des Zeigeelements erfolgt mittels des Daumens, während das Schaltelement mit dem Zeigefinger betätigt wird. Die Hand umfasst und fixiert das Gehäuse.

### Eingabelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/Zeigeelement</b>	Rollkugel	Daumen	bewegen	
<b>Selektieren/Schaltelement</b>	Taste in Eingriffsloch	Zeigefinger	nach unten drücken	
<b>Manipulieren/Zeige- und Schaltelement</b>	Taste in Eingriffsloch & Rollkugel	Daumen & Zeigefinger	nach unten drücken & bewegen	

### Beurteilung

Eine auf den ersten Blick gute Produktidee, die FINGERMAUS. Doch in der Handhabbarkeit kann der erste Eindruck nicht bestätigt werden. Die Hand muss die FINGERMAUS festhalten und sie gleichzeitig so fixieren, dass die Positionieroperation und die Aktivierungsoperation ohne Verrutschen durchgeführt werden kann. Mit zunehmender Zeit verkrampft die Hand und es treten Schmerzen auf, die eine weitere Steuerung mit diesem Gerät nicht mehr zulassen. Dieses Problem könnte mit einer Vergrößerung und/oder stabförmigen Gestaltung des Gehäuses aufgehoben werden. Positiv ist der sehr gut steuerbare Trackball, der in das Gehäuse eingelassen ist.

## D.12 Mousepad: SMARTCAD TRACKPAD

### Eingabelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>TRACKPAD</b>  SmartCad Modell: GDB410	Cirque Corporation 433 West Lawndale Drive Salt Lake City, UT 84115 USA  Phone: +1-801-467-1100 Fax: +1-801 467-0208 Email: <a href="mailto:anna@cirque.com">anna@cirque.com</a> Internet: <a href="http://www.cirque.com">http://www.cirque.com</a>	

### Beschreibung

Beim Mousepad SmartCad wird die Bewegung des Fingers auf einer druckempfindlichen Sensorfolie von 102 x 112 mm erfasst. Die Fläche der Sensorfolie fungiert als Zeigeelement. Die Position wird dabei relativ erfasst, d.h., der Folienbereich entspricht nicht dem Bildschirmbereich. Als Schaltelement ist eine bistabile Taste unterhalb bzw. auf der dem Benutzer zugewandten Seite der Eingabefläche angebracht. Die Bedienung des Zeigeelements erfolgt mit dem Zeigefinger und die Bedienung der Taste mit dem Daumen derselben Hand oder mit dem Zeigefinger der anderen Hand.

### Eingabelement und Bedienungsaufgaben

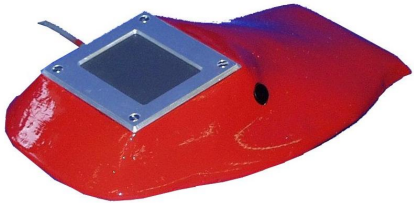
Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/ Zeigelement</b>	Sensorfolie	Zeigefinger	bewegen	
<b>Selektieren/ Schaltelement</b>	Taste vorn	Daumen	nach unten drücken	
<b>Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement</b>	Sensorfolie & Taste vorn	Zeigefinger & Daumen	bewegen & nach unten drücken	

### Beurteilung

Bei einfachen Zeigaufgaben erzielt das Mousepad ebenfalls gute Ergebnisse. Es zeigt aber Schwächen bei Bewegungsaufgaben, bei denen der Cursor bei gedrückter Bestätigungstaste bewegt werden muss. Dies lässt sich auf eine konstruktiv ungünstige Lösung zurückführen. Für diese ist die menschliche Fingerkoordination nicht geeignet. Mit dem Zeigefinger wird auf das betreffende Objekt gedeutet (Selektion). Die Aktivierung dieses Objektes (z.B. Zeichenstift oder Textmarker) muss nun mit einem anderen Finger über die Bestätigungstaste erfolgen. Dazu wird meist der Daumen verwendet, der nach hinten zurückgreifen muss. Verbesserungspotential besteht in einer ergonomischen Gestaltung des Schaltelementes als auch in einer ergonomischen Anordnung von Zeige- zu Schaltelement.

## D.13 Mousepad: TOUCHPAD ERGO


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>TOUCHPAD ERGO</b> Eigenkonstruktion  Basismodell: Touchpad	Interlink Electronics, Inc. 546 Flynn Road Camarillo, CA 93012 USA  Phone: 1-805-484-1331 Fax: 1-805-484-8989 Email: sales@InterlinkElec.com Internet: http://www.interlinkelec.com	

### Beschreibung

Beim Mousepad wird die Bewegung des Fingers auf einer druckempfindlichen Sensorfolie von 50 x 70 mm erfasst. Die Fläche der Sensorfolie fungiert als Zeigeelement. Die Position wird dabei relativ erfasst, d.h., der Folienbereich entspricht nicht dem Bildschirmbereich. Als Schaltelement ist ein Knopfschalter links unterhalb des Zeigelements angebracht. Die Bedienung des Zeigelements erfolgt mit dem Zeigefinger und die Bedienung des Schaltelements mit dem Daumen der selben Hand.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigelement	Sensorfolie	Zeigefinger	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Taste links & Sensorfolie	Zeigefinger & Daumen	nach unten drücken & bewegen	

### Beurteilung

Das ergonomische TOUCHPAD ist kein optimales Eingabegerät. Neben dem verbesserungsfähigen Gehäuse ist vor allem die Empfindlichkeit des TOUCHPADS zu bemängeln. Die Testpersonen haben Schwierigkeit, den Zeiger genau zu positionieren.

## D.14 Mousebutton: CYBERCLICK

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>CYBERCLICK</b>  Modell: Performance	ruwido austria GmbH & Co. Köstendorfer Straße 8 A-5202 Neumarkt a.W. Austria  Phone: +43-6216-4571 Fax: +43-6216-72-91 Email: ruwido-austria@magnet.at Internet: http://www.ruwido.com	

### Beschreibung

Der Mousebutton Cyberclick ist als Fernbedienung ausgearbeitet. Er kann vom Benutzer frei im Raum positioniert werden. Das Zeigeelement des Mousebuttons ist als flacher Knopf (eng. button) ausgearbeitet und befindet sich oben auf dem Gehäuse. Durch Neigung des Knopfes um seine Z-Achse werden über Schalter Impulse erzeugt, die zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden. Bedient wird der Mousebutton in dieser Ausführungsform mit dem Daumen, indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt, die Hand umfaßt dabei das Gehäuse. Das Schaltelement ist sowohl links vor dem Zeigeelement (Umgreifen des Daumens, bzw. zweite Hand zur Bedienung) als auch auf der Rückseite des Gehäuses (Bedienung mit Zeigefinger) verfügbar.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Daumen	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste oben/ Taste unten	Daumen/ Zeigefinger	nach unten drücken/ heranziehen	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Knopf & Taste unten (oder 2. Hand)	Daumen & Zei- gefing (oder 2. Hand)	bewegen & heranziehen	

### Beurteilung

Bei den Versuchen rutschen die Versuchspersonen relativ oft von dem vorn angebrachten sehr flachen Schaltelement mit geringem Hub ab. Meist wird daraufhin das Schaltelement neben dem Mousebutton mit der zweiten Hand betätigt. Als schwer wird bei den Versuchspersonen die Regelung der Geschwindigkeit des Mauszeigers mit dem *isometrischen* Mousebutton empfunden. Diese Druck-Geschwindigkeitsabhängigkeit ist den Versuchspersonen nicht bewusst und der Übergang zwischen den Geschwindigkeiten erfolgt zu abrupt.

## D.15 Mousebutton: DURAPPOINT

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
DURAPPOINT	Interlink Electronics, Inc. 546 Flynn Road Camarillo, CA 93012 USA  Phone: 1-805-484-1331 Fax: 1-805-484-8989 Email: sales@InterlinkElec.com Internet: http://www.interlinkelec.com	

### Beschreibung

Das Zeigeelement des Mousebuttons DURAPPOINT ist als flacher Knopf (eng. button) ausgearbeitet und befindet sich oben auf dem Gehäuse. Durch Neigung des Knopfes um seine Z-Achse werden über Schalter Impulse erzeugt, die zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden. Bedient wird der Mousebutton mit einem Finger (vorzugsweise Zeigefinger), indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt. Bei schwachem Druck bewegt sich der Mauszeiger langsam, bei starkem Druck bewegt sich der Mauszeiger auf dem Bildschirm schnell (isometrisches Wirkprinzip). Das Schaltelement ist links vor dem Zeigeelement (Bedienung mit dem Daumen, bzw. zweite Hand zur Bedienung) angeordnet.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Zeigefinger	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Knopf & Taste links	Zeigefinger & Daumen	bewegen & drücken	

### Bewertung

Der *isometrische* Mousebutton ist relativ schwergängig und die erzielten Auslenkungen aus der Mittellage sind für den Bediener nur über den aufgebrachten Druck bzw. die Bewegung des Cursors am Bildschirm zu registrieren, nicht über die Auslenkung an sich, da diese nur minimal ist. Die Druck-Geschwindigkeitsabhängigkeit ist den Versuchspersonen nicht bewusst und der Übergang zwischen den Geschwindigkeiten erfolgt zu abrupt. Ebenso erhält der Benutzer bei Betätigung des Schaltelements keine adäquate Rückmeldung.

## D.16 Mousebutton: HULAPoint


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
HULAPoint	Texas Industrial Peripherals 2621 Ridgepoint Drive Austin, TX 78765 USA  Phone: 1-512-837-0283 Fax: 1-512-837-0207 Internet: <a href="http://www.ikey.com">http://www.ikey.com</a>	

### Beschreibung

Das Zeigeelement des Mousebuttons Durapoint ist als Knopf mit Vertiefung zur Führung des Fingers ausgearbeitet und befindet sich oben auf dem Gehäuse. Durch Neigung des Knopfes um seine Z-Achse werden über Schalter Impulse erzeugt, die zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden. Bedient wird der Mousebutton mit einem Finger (vorzugsweise Zeigefinger), indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt. Das Schaltelement ist links vor dem Zeigeelement (Bedienung mit dem Daumen, bzw. zweite Hand zur Bedienung) angeordnet.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Zeigefinger	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Knopf & Taste links	Zeigefinger & Daumen	bewegen & drücken	

### Beurteilung

Der *isotonische* Mousebutton HULAPoint ist relativ leichtgängig. Dies wird von den Versuchspersonen im Vergleich zu den isometrischen Mousebuttons als positiv beurteilt. Erleichtert wird die Bedienung des Zeigeelements ebenfalls durch die Vertiefung, die eine gute Führung des Fingers gewährleistet. Schwierigkeiten bereitet die Lage von Schaltelement und Positionierelement zueinander; zum Aktivieren ist immer ein Umgreifen nötig. Eine „Zweihandbedienung“ erleichtert die Handhabung.



## D.17 Mousebutton: MICROBUTTON


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>MICROBUTTON</b>  Modell: MicroModule (Button)	Interlink Electronics, Inc. 546 Flynn Road Camarillo, CA 93012 USA  Phone: 1-805-484-1331 Fax: 1-805-484-8989 Email: sales@InterlinkElec.com Internet: http://www.interlinkelec.com	

### Beschreibung

Der Mousebutton MICROBUTTON entspricht im Wesentlichen dem Mousebutton DURAPPOINT. Im Unterschied dazu ist das Schaltelement links vom Zeigeelement angeordnet und das Zeigeelement ist leichtgängiger als beim DURAPPOINT. Durch Neigung des Knopfes um seine Z-Achse werden über Schalter Impulse erzeugt, die zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden. Bedient wird der Mousebutton mit einem Finger (vorzugsweise Zeigefinger), indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt. Bei schwachem Druck bewegt sich der Mauszeiger langsam, bei starkem Druck bewegt sich der Mauszeiger auf dem Bildschirm schnell (isometrisches Wirkprinzip).

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Zeigefinger	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Knopf & Taste links	Zeigefinger & Daumen	bewegen & drücken	

### Beurteilung

Der *isometrische* Button ist relativ schwergängig und die erzielten Auslenkungen aus der Mittellage sind für den Bediener nur über den aufgebrachten Druck bzw. die Bewegung des Cursors am Bildschirm zu registrieren, nicht über die Auslenkung an sich, da diese nur minimal ist. Die Druck-Geschwindigkeitsabhängigkeit ist den Versuchspersonen nicht bewusst und der Übergang zwischen den Geschwindigkeiten erfolgt zu abrupt. Ebenso erhält der Benutzer bei Betätigung des Schaltelements keine adäquate Rückmeldung.

## D.18 Mousebutton: MOBILE BUTTON


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>MOBILE BUTTON</b>  FID Button Modell: FID-824-511	GeBE Computer & Peripherie GmbH Mozart Strasse 14a D-82110 Germering Germany  Tel: +49-(0)89-894399-0 Fax: +49-(0)89-894399-11 gebecp@www.tastaturen.com http://www.tastaturen.com	

### Beschreibung

Das Zeigeelement des MOBILE BUTTON ist als flacher Knopf (engl. Button) mit Vertiefung zur Führung des Fingers ausgearbeitet und befindet sich oben auf dem Gehäuse. Durch Neigung des Knopfes um die z-Achse (isotonisches Wirkprinzip) werden über Schalter Impulse erzeugt, welche zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in x/y-Koordinaten umgesetzt werden. Bedient wird der Mousebutton mit einem Finger (vorzugsweise Zeigefinger), indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt. Die Hand umfasst das Gehäuse. Das Schaltelement befindet sich auf der Stirnseite des Gehäuses und kann mittels Zeigefinger ausgelöst werden.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Daumen	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste vorn	Zeigefinger	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Taste vorn & Knopf	Daumen & Zeigefinger	nach unten drücken & bewegen	


### Beurteilung

Der MOBILE BUTTON ist als „Einhandgerät“ konzipiert, aber als solches nicht einsetzbar. Das viel zu flache Gehäuse und das falsch positionierte Schaltelement bedingen eine schlechte Handhabbarkeit. Alle Testpersonen haben im Umgang mit dem MOBILE BUTTON große Probleme.



## D.19 Mousebutton: BUTTONSTICK ERGO

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>BUTTONSTICK ERGO</b> Eigenkonstruktion  Basismodell: FID-824-511	Interlink Electronics, Inc. 546 Flynn Road Camarillo, CA 93012 USA  Phone: 1-805-484-1331 Fax: 1-805-484-8989 Email: sales@InterlinkElec.com Internet: http://www.interlinkelec.com	

### Beschreibung

Das Zeigeelement des Buttonstick ist als flacher Knopf (engl. Button) mit Vertiefung zur Führung des Fingers ausgearbeitet und befindet sich oben auf dem Gehäuse. Durch Neigung des Knopfes um die z-Achse (isotonisches Wirkprinzip) werden über Schalter Impulse erzeugt, die zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in x/y-Koordinaten umgesetzt werden. Bedient wird der Mousebutton mit dem Daumen, indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt. Das Schaltelement ist auf der Rückseite des Gehäuses angebracht und kann mit dem Zeigefinger ausgelöst werden.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/Zeigeelement</b>	Knopf	Hand-Finger-System	bewegen	
<b>Selektieren/Schaltelement</b>	Taste links vorne	Zeigefinger	nach unten drücken	
<b>Manipulieren/Zeige- und Schaltelement</b>	Knopf & Taste links vorne	Hand-Finger-System & Zeigefinger	nach unten drücken & bewegen	

### Beurteilung

Dem ergonomisch gestalteten Buttonstick ist von den Testpersonen eine gute Handhabbarkeit bescheinigt worden. Das Positionierelement ist nicht perfekt, aber durch die Gesamtgestaltung des Geräts wird dieser Schwachpunkt aufgefangen. Vorschläge zur Verbesserung des Geräts sind zum einen das Positionierelement durch einen Mini-Trackball zu ersetzen und zum anderen das Schaltelement zu vergrößern.

## D.20 Mousestick: MICROSTICK


### Eingabelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>MICROSTICK</b>  Modell: MicroModule (Stick)	Interlink Electronics, Inc. 546 Flynn Road Camarillo, CA 93012 USA  Phone: 1-805-484-1331 Fax: 1-805-484-8989 Email: sales@InterlinkElec.com Internet: http://www.interlinkelec.com	

### Beschreibung

Der Mousestick MICROSTICK entspricht vom Wirkprinzip dem Mousebutton MICROBUTTON. Entsprechend der Auslenkung um die Z-Achse werden Impulse erzeugt, die zur Auswertung an den Rechner geleitet und dort in X/Y-Koordinaten umgesetzt werden. Das Zeigeelement besteht aus dem eigentlichen Knopf mit einem aufgesetzten kleinen Gummiknopf von ca. fünf Millimetern. Bedient wird das Zeigeelement mit einem Finger (Zeige- oder Mittelfinger), indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt (isometrisches Wirkprinzip). Das Schaltelement befindet sich links vom Zeigeelement und wird mit dem Daumen bedient.

### Eingabelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Zeigefinger	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Knopf & Taste links	Zeigefinger & Daumen	bewegen & drücken	

### Beurteilung

Ein großes Problem bei den Mousesticks stellt die Anordnung von Zeige- zu Schaltelement dar. Bei DRAG&DROP-Aufgaben müssen teilweise zwei Hände verwendet werden. Auch wird von den Probanden die fehlende Feinpositioniermöglichkeit bemängelt. Beim Ansteuern eines kleinen Ziels neigen die Probanden zum „Übersteuern“, das Ziel wird verfehlt. Eine mögliche Ursache besteht in der Kennlinienauslegung, hier sollten Möglichkeiten zur Kennlinieneinstellung vorhanden sein. Eine andere potentielle Ursache lässt sich durch die Gestaltung des Zeigeelements begründen. Die Probanden erhalten keine exakte haptische Rückmeldung über die Lage des Sticks bzw. die Mechanorezeptoren in der Fingerkuppe bzw. Fingerlinse können die Informationen aufgrund mangelnden Auflösungsvermögens nicht übertragen (vgl. [Val 84]).

## D.21 Mousestick: MICROJOYSTICK


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
MICROJOYSTICK	Interlink Electronics, Inc. 546 Flynn Road Camarillo, CA 93012 USA  Phone: +1-805-484-1331 Fax: +1-805-484-8989 Email: sales@InterlinkElec.com Internet: http://www.interlinkelec.com	

### Beschreibung

Der Mousestick MICROJOYSTICK ist ein kleiner isometrischer Joystick, d.h., die aufgebrauchte Kraft ist der Bewegung des Cursors auf dem Bildschirm proportional. Er findet zur Zeit vielfach Verwendung in tragbaren Personal Computern. Das Zeigeelement besteht lediglich aus einem kleinen Gummiknopf mit zwei Freiheitsgraden. Bedient wird der MicroJoystick mit nur einem Finger (Zeige- oder Mittelfinger), indem man ihn mit einer minimalen Bewegung in die gewünschte Richtung drückt. Im Vergleich zum Mousestick MICROSTICK ist der erforderliche Krafteinsatz etwas höher und die Auslenkung geringer. Links vor dem Zeigeelement befindet sich das Schaltelement, das mit dem Daumen bedient wird.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben


Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Knopf	Zeigefinger	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Knopf & Taste links	Zeigefinger & Daumen	bewegen & drücken	

### Beurteilung

Siehe MicroStick (Abschnitt D.20).

## D.22 Joystick: INDUSTRIE-MAUS

### Eingabelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>INDUSTRIE-MAUS</b>  Modell: IMA5/OEM	ISH Himmel und Partner GmbH Breitenbacher Straße 5 D-57271 Hilchenbach Germany  Phone: +49-2733-7066 Fax: +49-2733-8315	

### Beschreibung

Der Joystick Industrie-Maus IMA 5 ist ein analoger Joystick, der nach dem isotonischen Prinzip arbeitet. Der Hebel wirkt auf die Position eines Potentiometers, wobei die Größe der Auslenkung aus der Ruhelage die Geschwindigkeit des zu steuernden Objekts kodiert. Als Zuordnungsvorschrift dient eine monoton steigende Kennlinie, über die sich auch die Sensibilität des Joysticks einstellen lässt. Zur Bedienung des Zeigeelements umfassen Daumen, Zeige- und Mittelfinger den Stick oder die Handfläche ruht auf dem Stab. Die Positionierung erfolgt in beiden Fällen aus dem Handgelenk. Das seitlich angeordnete Schaltelement kann im ersten Fall bei Manipulations-Aufgaben mit der 2. Hand bedient werden oder es wird mittels des Daumens - wie im zweiten Fall - betätigt.

### Eingabelement und Bedienungsaufgaben

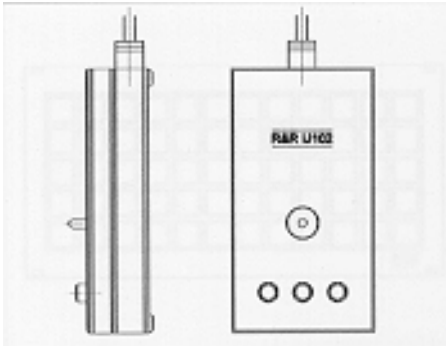
Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Stab	Finger-Hand- System	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drü- cken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Stab & Taste links	Zeigefinger & Daumen	bewegen & drücken	

### Beurteilung

Joysticks sind nützlich, wenn ein Objekt (Ziel) auf dem Bildschirm verfolgt werden soll. Der Umfassungsgriff eignet sich zwar für Aufgaben mit großer Genauigkeit, erfordert aber auch einen hohen Zeitbedarf. Damit sind sie für Positions- und Selektionsaufgaben nur bedingt verwendbar. Für den Menschen ist es sehr schwer, mit der bei den Joysticks üblichen Handhaltung (aufrechte, lockere Faust), in einer angemessenen Zeit das Positioniersymbol zu einem Zielobjekt zu bewegen.

## D.23 Joystick: INDUSTRIE-JOYSTICK

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>INDUSTRIE-JOYSTICK</b>  Modell: IJ105	R&R Ges. Für Rationalisierung und Re- chentechnik mbH Ob der Eck 4 D-78148 Gütenbach Germany  Phone: +49-7723-9186-0 Fax: +49-7723-9186-30	

### Beschreibung

Der Joystick Industrie-Joystick ist ein analoger Joystick, der nach dem isotonischen Prinzip arbeitet. Die Größe der Auslenkung aus der Ruhelage kodiert die Geschwindigkeit des zu steuernden Objekts. Der Hebel verschiebt über ein Gegenlager eine Scheibe, deren Position kapazitiv ermittelt wird. Das Zeigeelement wird mittels des Daumens und des Zeigefingers gegriffen bzw. nur mit dem Zeigefinger bedient. Das vor dem Zeigeelement angeordnete Schaltelement wird mit dem Daumen betätigt.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Stab	Finger-System	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste links	Daumen	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Stab & Taste links	Zeigefinger & Daumen	bewegen & drücken	

### Beurteilung

Ein Problem beim INDUSTRIE-JOYSTICK stellt die Anordnung von Zeige- zu Schaltelement dar. Bei DRAG&DROP-Aufgaben müssen teilweise zwei Hände verwendet werden. Für ein muskulaturschonendes und ermüdungsfreies Greifen des Positionierelements ist dieses zu klein dimensioniert.

## D.24 Digitizing Tablet: SMARTTABLET

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>SMARTTABLET</b> SmartPen Tablett Modell: SP0604	mikron GmbH Am Söldnermoos 17 D-85399 Hallbergmoos Germany  Phone: +49-0811-5539-0 Fax: 49-0811-5539-414 email: smartpen@mikron.de Internet: http://www.mikron.de	

### Beschreibung

Das Digitizing Tablet SMARTTABLET arbeitet nach dem magnetischen Prinzip. Das magnetische Tablett ermittelt die Impulse in einem magnetischen Feld mit Hilfe einer induktiven Schleife. Es liegt vor dem Benutzer flach auf dem Tisch. Mit einem Zeigegerät können einzelne Positionen in einem begrenzten Bereich des Tablett angefahren werden. Im Positionsbereich wird die jeweilige Position absolut in X/Y-Koordinaten umgesetzt. Das Zeigeelement wird wie ein Stift gehalten und das Schaltelement dabei mit dem Zeigefinger betätigt.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
Positionieren/ Zeigeelement	Stift	Hand-Arm-System	bewegen	
Selektieren/ Schaltelement	Taste am Stift	Zeigefinger	nach unten drücken	
Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement	Stift & Taste am Stift	Hand-Arm-System & Zeigefinger	bewegen & nach unten drücken	


### Beurteilung

Einer herkömmlichen Stiftbenutzung bei der Handlung Schreiben, Rechnen oder Zeichnen ist das Graphiktablett am ähnlichsten. Das Problem ist hier konstruktiver Natur. Das Schaltelement befindet sich in der Spitze des Stiftes, es ist zum Zeichnen von verschiedenen Linienstärken drucksensitiv ausgeführt. Weiterhin lässt es sich durch eine hohe Empfindlichkeit charakterisieren. Die Benutzer benötigten einige Zeit, bis sie ein Gefühl dafür bekommen, wie stark sie aufdrücken müssen. Ein weiteres Manko (bei einem industriellen Einsatz) besteht darin, dass der Stift nicht fest (z.B. über ein Kabel) mit dem System verbunden ist und dadurch schnell verloren gehen kann.



## D.25 Touchscreen: AccuTouch

### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>AccuTouch</b>  Touchscreen Modell: AccuTouch (Five-Wire-Resistive)	Elo TouchSystems, Inc. 6500 Kaiser Drive Fremont, CA 94555 USA  Phone: +1-510-739-4600 Phone: +1-1-800-557-1458 Fax: +1-510-739-5353 E-mail: <a href="mailto:eloinfo@elotouch.com">eloinfo@elotouch.com</a> Internet: <a href="http://www.elotouch.com">http://www.elotouch.com</a>	

### Beschreibung

Der Touchscreen AccuTouch ist nach der 5-Wire-Technologie (5-Draht-Widerstandstechnologie) aufgebaut, das auch eine Bedienung mit Handschuhen ermöglicht. Über vier an den Ecken angebrachte Elektroden wird auf einem leitenden Kunststofflayer ein abwechselnd horizontal und vertikal ausgerichtetes Feld aufgebaut (X- und Y-Achse befinden sich gemeinsam in einer Layer-Ebene). Bei Berührung kommt der Layer mit dem Glasträger in Kontakt und anhand der anliegenden Spannung lässt sich die Koordinate ermitteln. Der Touchscreen benötigt kein Hilfsmittel, das vom Benutzer aufgenommen werden muss. Er erlaubt die Eingabe direkt mit dem Finger oder einem anderen stumpfen Zeigeelement auf der Bildschirmoberfläche.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthropotomische Elemente	Durchgeführte anthropotomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/Zeigeelement</b>	gesamte Fläche	Hand-Arm-System	bewegen	
<b>Selektieren/Schaltelement</b>	spezielle Objekte	Finger	nach unten (vorn) drücken	
<b>Manipulieren/Zeige- und Schaltelement</b>	gesamte Fläche	Hand-Arm-System & Finger	bewegen & nach unten (vorn) drücken	

### Beurteilung

Der Touchscreen ist bei geeigneter Darstellung der Objekte (Objektgröße an den Finger angepasst) zum raschen Zeigen bei CLICK-Aufgaben (sequentielles Positionieren und Selektieren) aufgrund der optimalen Hand-Auge-Koordination gut geeignet. Seine Bedienung lässt sich in relativ kurzer Zeit erlernen. Nachteile werden deutlich, wenn er für DRAG&DROP-Aufgaben (z.B. Text markieren) oder für exakte Positionierungsaufgaben (z.B. kleine Windows-Dialogelemente wie Slider, Radio-Buttons) eingesetzt wird. Da beim Touchscreen die Orte zur Bedienung und Visualisierung zusammenfallen, muss bei der Systemgestaltung (Festlegung von Position und Neigungswinkel) zwischen Bedienpriorität und Visualisierungspriorität entschieden werden. Bei Bedienpriorität liegt der Fokus auf der Erreichbarkeit des Displays mit der Hand, bei Visualisierungspriorität auf der Einsehbarkeit des Displays durch den Nutzer (vgl. [VDI/VDE3850-2; VDI/VDE3850-3]).

## D.26 Keyboard: CHERRY


### Eingabeelement

Produktname	Firma/Anschrift	Darstellung
<b>CHERRY</b>  Tastatur QWERTZ (IBM-MF) Modell G81-3000	Cherry Mikroschalter GmbH Postfach 12 20 D-91271 Auerbach/Opf. Germany  Phone: +49-9643-18-0 Fax: +49-9643-18-262 Internet: <a href="http://www.cherry.de">http://www.cherry.de</a>	

### Beschreibung

Das Keyboard ist derzeit nach wie vor im industriellen Bereich am häufigsten als Eingabeelement anzutreffen. Es ist allerdings nur unter Verzicht auf wesentliche Vorteile der Fenstersysteme wie DRAG&DROP einsetzbar. Ebenso verbietet sich damit die Nutzung von "Slidern", "Rulern" o.ä. Gestaltungselementen. Mit dem Keyboard können keine Objekte manipuliert werden, weswegen DRAG&DROP-Aufgaben mit dem Keyboard nicht getestet wurden. Das Positionieren erfolgt auf vom System vorgegebenen Positionen in Abhängigkeit des Dialogfortschritts mit den Cursor-tasten oder mit der Tabulator-Taste als Quasi-Zeigelemente. Die jeweils aktive Position (und Funktion) ist für den Benutzer fokussiert und kann mit einem Schaltelement, wie z.B. der Bestätigungstaste (Enter), aktiviert werden.

### Eingabeelement und Bedienungsaufgaben

Vorgang/ Objekt	Beteiligte mechanische Elemente	Beteiligte anthro- potomische Elemente	Durchgeführte anthro- potomische Handlung	Typische Handhaltung
<b>Positionieren/ Zeigelement</b>	Tasten	Finger-System	nach unten drücken	
<b>Selektieren/ Schaltelement</b>	Tasten	Finger-System	nach unten drücken	
<b>Manipulieren/ Zeige- und Schaltelement</b>	-	-	-	



## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Lutz Krauß (www.arbeitsraum.de)  
Anschrift: Köhlerweg5  
72250 Freudenstadt  
Geburtsdatum: 05.02.1969  
Familienstand: Ledig  
Staatsangehörigkeit: Deutsch

### Schulbildung

08.75 – 07.79 Grundschule in Altneudorf  
08.79 – 06.88 Kurfürst-Friedrich-Gymnasium in Heidelberg

### Wehrdienst

07.88 – 09.89 Stabsbatterie Art. Kdo. 3 in Koblenz

### Studium

10.89 – 02.97 Studium Maschinenbau und Verfahrenstechnik an der Universität Kaiserslautern mit der Vertiefungsrichtung Konstruktionstechnik

### Praktische Tätigkeiten

05.93 – 05.95 Operativer Mitarbeiter im Bereich Galleyabwicklung bei der Lufthansa Service GmbH  
04.95 – 01.96 Studentische Hilfskraft am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik an der Universität Kaiserslautern

### Berufliche Praxis

11.96 – 03.97 Projektingenieur im Bereich Entwicklung bei KEIPER GmbH (Serienbetreuung Fahrzeugsitze)  
04.97 – 08.02 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion am Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung an der Universität Kaiserslautern

