

**Zur Psychophysiologie  
der labil/hypertonen  
Blutdruckregulation**

**J. Fahrenberg, F. Foerster,  
R. Heger, H. Darsow & U. Ewert**

**unter Mitwirkung von**

H.U. Becker, G. Braun, G. Brügner, I. Burgdorf, W. Dieterle,  
M. Franck, V. Höppner, G. Jansen, C. Käppler, W. Müller,  
J. Nelson, T. Scherer, A. Sondhauß, F. Wilmers

**Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Az Fa 54/10)**

Forschungsgruppe Psychophysiologie  
Psychologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Belfortstraße 20, D-78 Freiburg i.Br.

1991

# I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
<b>1. Theoretische Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Primäre Hypertonie	7
1.2 Literaturrecherche zum Thema Grenzwert-Hypertonie	10
1.3 Blutdruckvariabilität - deskriptive und definitorische Probleme	11
1.4 Psychophysiologische und hämodynamische Aspekte	15
1.5 Neuroendokrine Aspekte	26
1.6 Psychologische Aspekte	27
1.7 Forschungsstrategische Vorschläge	31
1.8 Ziele der eigenen Untersuchung	32
1.9 Untersuchungsplan	36
1.10 Hypothesen	43
<b>2. Versuchsplan und Methodik</b>	<b>45</b>
2.1 Übersicht	45
2.2 Probanden	45
2.3 Untersuchungsablauf	48
2.3.1 Voruntersuchung	48
2.3.2 Hauptuntersuchung im Polygraph-Labor	50
2.3.2.1 Phasen der Registrierung	51
2.3.2.2 Selbsteinstufungen	56
2.3.2.3 Verhaltensdaten	58
2.3.2.4 Auswertung des Kurzinterviews und der Kritik	58
2.3.2.5 Physiologische Variablen	59
2.3.2.6 Auswertung der Atemmanöver und des Kaltwasserversuchs	66
2.3.2.7 Catecholamine	67
2.3.3 Hauptuntersuchung im Kreislauf-Labor	68
2.3.3.1 Orthostase-Versuch und Ergometer-Versuch	68
2.3.3.2 Selbsteinstufungen	70
2.3.4 Psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring	72
2.4 Blutdruck - Methodik und Gruppierungen	76
2.4.1 Meßmethodik und Auswertung	76
2.4.2 Zuverlässigkeit der Blutdruck-Messung	79

	Seite	
2.4.3	Blutdruck und Körperbau	83
2.4.4	Ruhewerte des Blutdrucks	85
2.4.5	Gruppierungen nach Ruhewerten	86
2.4.6	Gruppierungen aufgrund des Orthostase-Versuchs	89
2.4.7	Gruppierungen aufgrund des Ergometer-Versuchs	93
2.4.8	Parametrisierung der Orthostase- und Ergometer-Reaktionsverläufe	94
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>101</b>
3.1	Übersicht	101
3.2	Deskriptiver Teil	102
3.2.1	Probanden	102
3.2.2	Psychologische Variablen	104
3.2.3	Physiologische Variablen	117
3.2.4	Kovarianzzerlegung	130
3.2.5	Vergleich der Hauptphasen	135
3.2.6	Zusammenhänge zwischen Blutdruck-Ruhewerten und anderen physiologischen Parametern (Belastungswerten)	137
3.2.7	Zusammenhänge zwischen Blutdruck-Ruhewerten und anderen physiologischen Parametern (Reaktionswerten)	140
3.2.8	Zusammenhänge zwischen physiologischen Reaktionswerten und familiärer Belastung, Catecholaminausscheidung, Persönlichkeitsmerkmalen	141
3.3	Hypothesen-Prüfungen	142
3.3.1	Beziehungen zwischen den Blutdruck-Gruppierungen	142
3.3.2	Gruppenunterschiede der Blutdruckregulation (Orthostase, Ergometer)	147
3.3.3	Blutdruck, Anamnesedaten und psychologische Variablen	150
3.3.4	Blutdruck und physiologische Aktivierungsprozesse	159
3.3.5	Reaktionsspezifitäten	174
3.4	Hämodynamische Reaktionstypen	183
3.5	Blutdruckregulation während Orthostase und Ergometerarbeit	192
3.6	Habituation der Orientierungsreaktion	194
3.7	Psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring	196
3.8	Labor-Feld-Verläufe von Herzfrequenz und Blutdruck	204

	Seite
<b>4. Diskussion der Ergebnisse</b>	209
<b>5. Zusammenfassung</b>	224
<b>A n h a n g</b>	
Anleitungen, Fragebogen, Übersichten	226
Tabellen	247
Abbildungen	326
<b>Literaturverzeichnis</b>	345

## 1. Theoretische Einleitung

### 1.1 Primäre Hypertonie

Bei ca 20% der erwachsenen Bevölkerung zwischen 30 und 69 Jahren besteht nach den Erhebungen der Münchner Blutdruckstudie eine Hypertonie, d.h. ein manifester Bluthochdruck oder eine durch Antihypertensiva erreichte Normotension (Stieber, Döring & Keil, 1982).

Erhöhter Blutdruck ist eine wesentliche Ursache für die verbreitete Morbidität und Mortalität an Herz-Kreislauf-Krankheiten wie Herzinsuffizienz, koronare Herzkrankheit, Apoplex, peripherer Arterienverschluß. Auch leichte Erhöhungen des Blutdrucks oder gelegentlich erhöhte Werte vergrößern das Risiko späterer Herz-Kreislauf-Erkrankungen (siehe Kannel, 1977; Pooling Project Research Group, 1978; Manger & Page, 1986).

Ätiologisch wird zwischen primärer (essentieller) Hypertonie und sekundärer Hypertonie, die renale, neuroendokrine, toxische u.a. Ursachen hat, unterschieden. Der Anteil der sekundären Hypertonien wird auf etwa 10 bis 20% geschätzt. Für die Pathogenese der primären Hypertonie werden - im Sinne der Mosaiktheorie von Page (1949) - verschiedene Faktoren verantwortlich gemacht: genetische Disposition, erhöhte Salz- und Alkohol-Aufnahme, Adipositas, psychosoziale Bedingungen (Überforderung, Stress, chronische Bereitstellungs- oder Abwehr-Reaktion), bestimmte Persönlichkeitsmerkmale und emotionale Konflikte. Diese Heterogenität der pathogenetischen Faktoren spiegelt den Sachverhalt wieder, daß Blutdruckerhöhungen durch verschiedene Mechanismen hervorgerufen werden können. In den Stadien der Hypertonieentwicklung, d.h. der initialen und der chronischen Phase, herrschen wahrscheinlich verschiedene Mechanismen vor; außerdem gibt es Hinweise für pathogenetisch heterogene Untergruppen der primären Hypertonie. Diese Uneinheitlichkeit der Ätiopathogenese im Querschnitt und im Verlauf kompliziert die Hypertonieforschung und könnte zumindest einen Teil der zahlreichen Widersprüche erklären (siehe Ritz & Gless, 1985; Just & Strauer, 1986; Manger & Page, 1986; Shapiro & Goldstein, 1986; Herd et al., 1987; Krantz et al., 1987).

### Grenzwert-Hypertonie

Allgemein angenommen wird ein Übergangsstadium zwischen normalem Blutdruck und dem Stadium der chronifizierten milden Hypertonie bzw. schweren Hypertonie mit Organveränderungen. Dieses Übergangsstadium ist durch leicht erhöhte systolische und/oder diastolische Blutdruckwerte oder durch labile, d.h.

gelegentlich erhöhte und gelegentlich normotone Blutdruckwerte gekennzeichnet. Noch nicht befriedigend geklärt sind die Fragen, wie es zu dieser Grenzwert-Hypertonie (Julius, 1977) kommt und wie sie sich hämodynamisch von den folgenden Stadien unterscheidet (Conway, 1984).

Als Erklärung für die spätere Phase der hypertoniebedingten Gefäßveränderungen wird die Theorie der strukturellen Autoregulation (Folkow, 1982) weit- hin akzeptiert. Anhaltende Blutdruckanstiege in den Arteriolen bewirken eine zunehmende Hypertrophie der glatten Muskulatur der Media und dadurch eine Abnahme des Lumens, was zu erhöhtem peripheren Widerstand führt. In einem circulus vitiosus führt der erhöhte Widerstand zu stärkerem Druckanstieg und erneuter Widerstandszunahme.

Zur Erklärung des initialen Stadiums existieren dagegen mehrere konkurrierende Annahmen. Einige Autoren bevorzugen Pathogenese-Konzepte, die sich hauptsächlich auf renale Funktionen, Volumenregulation (Plasma, Blut), Renin-Angiotensin-Aldosteron-System und andere Mechanismen beziehen. Andere Autoren bevorzugen Pathogenese-Konzepte, die von zentralen vegetativen Regulationen (neurogenen Einflüssen) ausgehen, wobei meist eine erhöhte Aktivität und Reaktivität des sympathisch-adrenergen Systems (generalisiert oder nur kardial) angenommen wird. Vorwiegend werden gesteigerte beta-adrenerge Einflüsse, aber auch alpha-adrenerge Einflüsse als relevant angesehen, während die vagalen Einflüsse auf die Herzfunktion bisher nur geringes Interesse fanden (siehe u.a. Bühler et al., 1981; Ritz & Gless, 1985; Manger & Page, 1986; Philip, 1986; Steptoe, 1987; Grossman & Brinkman, 1991).

Im Anfangsstadium der primären Hypertonie scheint nach konvergenter Auffassung der "peripheren" und der "zentralen" Pathogenese-Konzepte die Volumenregulation auffällig bzw. gestört zu sein. Hinsichtlich des Herz-Minuten-Volumens haben mehrere Untersucher bei Grenzwert-Hypertonikern höhere Mittelwerte gefunden. Diese Befunde regten zu dem in der Literatur verbreiteten Stadien-Konzept der hämodynamischen Veränderungen an (siehe Just & Strauer, 1986): Im Anfangsstadium besteht ein erhöhtes Herzminuten-Volumen bei normalem peripheren Widerstand (eine "hyperkinetische Dysregulation"). Im fortgeschrittenen Stadium kommt es zum Anstieg des peripheren Widerstands mit Normalisierung oder sogar leichter Erniedrigung des HMV. (Wäre aber dieser Übergang in den pathophysiologischen Mechanismen gesetzmäßig, dann müßten alle späteren Hypertoniker zuvor längere Zeit eine erhöhtes HMV aufweisen - was jedoch sehr fraglich ist.) Im Spätstadium sind dann Herzminu-

tenvolumen und Kontraktilität sowie das zentrale Blutvolumen verringert, der periphere Widerstand und der Blutdruck stark erhöht.

Befunde zur speziellen Hämodynamik der Grenzwert-Hypertoniker faßt u.a. Julius (1988) zusammen. Die frühe Phase ist durch hohes Herzminutenvolumen und hohe Herzfrequenz gekennzeichnet. Dieser hyperkinetische Zustand wird durch gesteigerte sympathische Erregung und herabgesetzte vagale Hemmung des Herzens verursacht. Für den neurogenen Ursprung dieser Kreislaufstörung spricht, daß sich die HMV-Werte bei vegetativer Blockade des Herzens durch Atropin und Propranolol normalisieren. Typische Verhaltensmuster, so Julius, lassen vermuten, daß es bei diesen Personen zu einer andauernden Aktivierung einer Abwehrreaktion kommt.

Julius (1988) erklärt den Übergang zur zweiten Phase durch eine sekundäre Reaktion auf die Blutdruckerhöhung. Das Herz ist als Folge der veränderten Rezeptorempfindlichkeit und herabgesetzten kardialen Compliance weniger erregbar, während umgekehrt die Erregbarkeit der Arteriolen wegen der vaskulären Hypertrophie bzw. wegen des veränderten Wand-Lumen-Verhältnisses angestiegen ist. Die in der zweiten Phase fehlende Erhöhung des Noradrenalin-Spiegels im Plasma sei ein Hinweis darauf, daß jetzt ein verringerter sympathischer Tonus ausreicht, die erhöhten Blutdruckwerte zu unterhalten. Hier sei ein negatives Rückkoppelungs-System zu sehen, das sich auf den Blutdruck und nicht auf den Blutfluß bezieht ("blood pressure-seeking behavior" of the central nervous system, S. 600).

Ein für die psychophysiologische Forschungsperspektive anregendes Konzept wurde durch v. Eiff (1967; v. Eiff & Piekarski, 1977) formuliert: die primäre Hypertonie entsteht aufgrund einer angeborenen Hyperaktivität des hypothalamisch-sympathischen Zentrums, wobei Persönlichkeit und Umwelteinflüsse für die Manifestation des Hochdrucks und spezielle periphere Mechanismen für die Fixierung dieses erhöhten Blutdrucks wesentlich sind.

Die psychophysiologische Forschung über die Grenzwert-Hypertonie ist in naheliegender Weise am stärksten von diesen Autoren, welche eine primär zentralnervöse (neurogene) Pathogenese annehmen, beeinflusst worden. Es ist jedoch zunehmend fraglich geworden, ob die implizierte, relative Einheitlichkeit (1) in der zentralen vegetativen Beeinflussung und (2) in der pathophysiologischen Adaptation der Hämodynamik vom Volumen-Hochdruck zum Widerstands-Hochdruck der empirischen Prüfung Stand hält.

Die differentielle Psychophysiologie kann hier mit ihren weiterentwickelten Konzepten und Methoden zur Aufklärung einiger Aspekte dieses empirisch noch so widersprüchlichen Bildes einer sehr verbreiteten Krankheit beitragen. Gerade in diesem Anfangsstadium der labil/hypertonen Blutdruckregulation sind auch psychophysiologische Untersuchungen unerlässlich, während für die pathophysiologischen, morphologischen und pharmakologischen sowie die klinischen und präventiven Aspekte andere Disziplinen zuständig sind.

### 1.2 Literaturrecherche zum Thema Grenzwert-Hypertonie

In der Datenbank MEDLARS (Index Medicus) sind - wie die Literaturrecherche zu Projektbeginn ergab - für den 5-Jahres-Zeitraum Januar 1981 bis Dezember 1985 insgesamt 14.924 Publikationen zum Thema Hypertonie enthalten. Beschränkte man sich einerseits auf Untersuchungen am Menschen und andererseits auf die Sprachen Deutsch und Englisch, so verblieben immerhin noch 5.747 Arbeiten. Eine weitere Reduktion ergab sich aus den anschließenden Spezifikationen: essentielle Hypertonie sowie Grenzwert-Hypertonie, milde Hypertonie usw.

Angesichts dieser Publikationsflut muß man sich fragen, ob es überhaupt noch sinnvoll und empirisch aussichtsreich sein kann, ein Arbeitsvorhaben auf diesem Gebiet zu beginnen bzw. einen früheren Ansatz (Delius & Fahrenberg, 1963) wiederaufzunehmen. So wurde diese Literaturanalyse unternommen, um zu prüfen, ob die Konzepte und Methoden des eigenen Untersuchungsansatzes stichhaltig und progressiv sind.

In jener Literaturanalyse zum Thema hypertoner Regulationsstörungen (Grenzwerthypertonie, labile und milde essentielle Hypertonie) wurden hauptsächlich die Publikationen des Zeitraums 1981 bis 1985 berücksichtigt, außerdem eine Anzahl wesentlicher Arbeiten aus den früheren Jahren, bis in die fünfziger Jahre zurückreichend. Nach primären Fragestellungen grob klassifiziert handelte es sich um 117 Arbeiten mit hämodynamischen und psychophysiologischen Analysen, 31 Arbeiten über Blutdruck-Variabilität (einschließlich Monitoring-Studien), 108 Arbeiten mit psychologischen Analysen, 35 Arbeiten zu neuroendokrin-biochemischen Aspekten und 14 Arbeiten mit epidemiologischer Orientierung (Doppel-Nennungen kommen vor). Therapiestudien wurden ausgeklammert.

Bei der Literaturanalyse ergaben sich Eindrücke und Schlußfolgerungen zu den hier wichtigen Teilgebieten der Forschung über hypertone Regulationsstörungen: (1) Blutdruckvariabilität - deskriptive und definitorische Probleme, (2) Psychophysiologische und hämodynamische Aspekte, (3) neuroendokrine Aspekte (beschränkt auf Catecholamine und Renin), (4) psychologische Aspekte, (5) forschungsstrategische Vorschläge. Diese Quintessenz wird thesenartig formuliert, dementsprechend teilweise vereinfacht, und soll nicht durch zahlreiche Literaturzitate, sondern nur durch Hinweise auf wichtige Sammelreferate und einige markante Einzelarbeiten belegt werden. Hierfür werden auch einige wichtige neuere Arbeiten aus dem Zeitraum von 1986 bis 1990 berücksichtigt.

### 1.3 Blutdruckvariabilität - deskriptive und definitorische Probleme

Durch Vergleich von Klinikwerten mit Selbstmessungen und durch 24-Stunden-Monitoring sind die Variabilität des Blutdrucks und die oft große Dynamik der Blutdruckänderungen heute besser dokumentiert (siehe u.a. Krönig, 1976; Weber & Drayer, 1984; de Leeuw & Birkenhäger, 1986). Zu den wichtigsten Einflüssen gehören - außer Alter, Körperbau, Trainingszustand, Na- und Alkohol-Aufnahme - vor allem situative Bedingungen (Körperlage, Art und Dauer der "Ruhebedingungen" oder der Aktivität; Gewöhnung an die Messung und eventuelle Interaktion mit dem Untersucher) und meßmethodische Effekte (z.B. die direkte oder die indirekte Messung auskultatorisch nach Riva Rocci/Korotkoff oder oszillometrisch, Phase 4 oder 5 als Kriterium des diastolischen Blutdrucks, spezielle Meßfehler und Artefakte, siehe u.a. Frohlich et al., 1988; Fahrenberg & Foerster, 1989; Shaper, Ashby & Pocock, 1988)

So muß es zu großen Abweichungen zwischen dem in Klinik, Praxis oder Labor gemessenen Gelegenheitswert, dem basalen Wert des Individuums unter optimalen Ruhebedingungen bzw. nachts und dem 24-Stunden-Mittelwert kommen, aber auch zu erheblichen Abweichungen zwischen den initialen und den später gemessenen Blutdruckwerten. Liegen die späteren Werte tiefer, so wird meist ein Gewöhnungseffekt oder eine Regression zur Mitte angenommen.

Es gibt nicht den individualcharakteristischen Blutdruckwert, sondern einzelne Meßwerte, deren Reproduzierbarkeit auch unter äquivalenten Bedingungen eingeschränkt ist und deren Generalisierbarkeit (siehe Llabre et al., 1988) auf andere Situationen wahrscheinlich gering ist. Dieser Sachverhalt bietet definitorische Probleme für die ärztliche Praxis und für die Forschung, z.B. in Therapie- und Längsschnitt-Studien, d.h. überall dort, wo für Klassifikationen,

Prognosen, Therapieindikation, Suche nach Prädiktoren von Krankheitsrisiken usw., individuelle Blutdruckwerte verwendet werden.

Laut Empfehlung der WHO-Kommission (1978) sollen wenigstens drei Blutdruckmessungen zu wenigstens zwei verschiedenen Gelegenheiten vorgenommen werden. Unter dem Vorbehalt, daß es keine klare Abgrenzung geben kann, wird der normale Blutdruck beim Erwachsenen im Sitzen als systolisch  $\leq 140$  mmHg und diastolisch (Phase 5)  $\leq 90$  mmHg definiert sowie Hypertonie als systolisch  $\geq 160$  mmHg und/oder diastolisch  $\geq 95$  mmHg. Der Begriff Grenzwert-Hypertonie (borderline hypertension) bezeichnet Blutdruckwerte zwischen diesen beiden Bereichen, d.h. systolisch  $> 140$  und  $< 160$  mmHg und/oder diastolisch  $> 90$  und  $< 95$  mmHg.

In einer Fußnote wird außerdem erwähnt, daß einige Kliniker Blutdruckwerte, die manchmal über und manchmal unter 140/90 mmHg liegen, als Grenzwert-Hypertonie definieren. Eine neuere WHO/ISH-Kommission (1983) definiert milde Hypertonie mit einem diastolischen Blutdruck (Phase 5), der persistent zwischen 90 und 105 mmHg liegt - bei jeweils wenigstens drei Messungen in einem Zeitraum von wenigstens drei Minuten und Protokollierung der niedrigsten Ablesung. Falls bei einer Person ein solcher Wert beobachtet wird, sollen Kontrollmessungen zu wenigstens zwei weiteren Gelegenheiten über einen Zeitraum von vier Wochen vorgenommen werden. Die Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. (1981) empfiehlt, die Beurteilung des Blutdrucks auf den Durchschnittswert aus mindestens 3 Messungen an 2 verschiedenen Tagen zu stützen und vor allem in Grenzfällen häufigere Messungen vorzunehmen.

Mit Grenzwert-Hypertonikern sind also jene Personen gemeint, welche weder normotone Werte haben, noch eine fixierte (chronische) essentielle Hypertonie, sondern dazwischenliegende und/oder instabile Gelegenheitswerte. Trotz der WHO-Empfehlungen sind offensichtlich auch in neueren Untersuchungen über sog. Grenzwert-Hypertoniker auch andere Klassifikationen gebräuchlich, welche u.a. auf Alter und Hospitalisierung Rücksicht nehmen oder den sehr schmalen Grenzbereich, genau genommen 141 bis 159/91 bis 94 mmHg, etwas erweitern (siehe Laaser, 1985), z.B. auf 130/80 bis 160/95 (Egan & Julius, 1983).

Die Messungen des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (Phase 5) sind für Zwecke des Screenings oder der Klassifikation wechselseitig nicht ersetzbar, da trotz substantieller interindividueller Korrelation ( $r = .70$  in der großen epidemiologischen Studie von Shaper et al., 1988) bei einigen Personen erhebliche Diskrepanzen bestehen können. Die Korrelation der beiden diastoli-

schen Werte (Phase 4 und Phase 5) ist ungleich höher ( $r = .98$  nach Lichtenstein et al., 1986), doch gibt es auch hier Personen mit deutlichen Diskrepanzen beider Werte (in jener Studie bei 9% 5 mmHg oder mehr und bei 1% 10 mmHg oder mehr).

Zur Häufigkeit der Grenzwert-Hypertonie gibt es Angaben und Schätzungen von mehreren Autoren (Literatur siehe Loßnitzer, 1984). Beim Vergleich dieser Prozentsätze sind jedoch kritische Vorbehalte nicht nur hinsichtlich der unterschiedlichen Definition und der notwendigen Differenzierung nach Altersgruppen und Geschlecht, sondern auch hinsichtlich der Vorselektion und hinsichtlich der Meßsituation (Dauer der Ruhe, situative Bedingungen) und Meßmethodik angebracht. Aufgrund der Angaben von Julius (1977), Studer et al. (1980) und Hentschel et al. (1981) kann bei männlichen Studenten in der Altersgruppe von 18 bis 25 Jahre bzw. unterhalb des 30. Lebensjahres eine Prävalenz von etwa 8 bis 10 Prozent angenommen werden.

Bei nachträglicher Durchsicht der Daten einer früheren Freiburger Untersuchung an 125 Studenten verschiedener Fakultäten (Fahrenberg et al., 1979) ergab sich, daß in der anfänglichen Ruhephase vor Beginn des Experiments 14% der Probanden als grenzwertig einzustufen wären, allerdings allein wegen erhöhter Werte des systolischen Blutdrucks. Von 58 Sport-Studenten einer anderen Untersuchung traf dies für ebenfalls 14% zu. Am Beispiel dieser Meßwerte läßt sich jedoch erkennen, daß genaue Angaben über die Meßbedingungen erforderlich sind. Diese Probanden waren einerseits durch eine Vorbereitungsphase von mindestens einer Stunde in einem Zustand körperlicher Ruheadaptation, andererseits jedoch in der Antizipation der psychophysiologischen Untersuchung. Obwohl diese Meßbedingungen von denen epidemiologischer Studien abweichen, könnten sie vielleicht laborintern als Standard gelten.

Epidemiologische Studien sprechen dafür, daß zwischen den Blutdruckwerten und dem Risiko kardiovaskulärer Krankheiten (Koronarkrankheit, Apoplex) eine lineare Beziehung bestehen könnte, d.h. auch "Grenzwerte" des Blutdrucks auf ein Risiko hinweisen (Kannel & Gordon, 1976). Sogar das Auftreten einzelner erhöhter Werte ist mit einer gesteigerten Herz-Kreislauf-Mortalität assoziiert (Kannel, Sorlie & Gordon, 1980). Insofern könnte bereits die "Situationshypertonie", wie auch Schmidt (1982) argumentiert, ein Risikofaktor sein.

Der von Julius & Conway (1968) geprägte Begriff der Grenzwert-Hypertonie ist jedoch in mehrfacher Hinsicht problematisch. Julius & Conway meinten Personen, bei denen der diastolische Wert manchmal über und manchmal unter

90 mmHg liegt. Der Begriff "labil" sei ungeeignet, weil die Variabilität des Blutdrucks nicht generell erhöht sei (siehe auch Mancia & Zanchetti, 1983). Zunächst scheint es, trotz der Empfehlung der WHO-Kommissionen, schwierig zu sein, diesen Grenzwert-Bereich festzulegen und einheitlich zu verwenden. Zweitens ist es aufgrund der wenigen vorliegenden longitudinalen Studien sehr fraglich, ob "frühe" Grenzwert-Hypertonien tatsächlich regelmäßig in fixierte Hypertonien übergehen. Dies scheint aufgrund von follow-up Studien über 6 bis 28 Jahre nur für eine Minderheit (ca 10 bis 36%) zu gelten (Übersicht siehe Loßnitzer, 1984). Höhere Quoten sind jedoch dann zu erwarten, wenn auffällige ergometrische Belastungsergebnisse vorliegen (Franz, 1986). Drittens muß diese Klassifikation der Grenzwert-Hypertonie schon deswegen unbefriedigend bleiben, weil ja vielfach gerade die in sich relativ unzuverlässige Instabilität eines Meßwertes in das Kriterium eingeht (siehe auch Wietlisbach et al., 1988).

Die Unzuverlässigkeit dieses Kriteriums führt auch zu praktischen Schwierigkeiten in wissenschaftlichen Untersuchungen, denn mehrere Autoren berichten, daß die anfänglich als Grenzwert-Hypertoniker angesehenen Personen schließlich (aufgrund von Gewöhnungseffekten, Regression zur Mitte und anderen Einflüssen) zu Normotonikern würden (z.B. Burstyn et al., 1981; Neus et al., 1981; WHO/ISH, 1982; Linß, 1985; de Leeuw et al., 1983; Drummond, 1985). Statt jener Instabilität der Blutdruckwerte wären u.U. die absolute Abweichung zwischen dem 1. und dem 3. Meßwert oder die Regressionslinie über alle Meßwerte aus allen Gelegenheiten, also die eigentliche Zeitreihe, informativer als die Protokollierung des niedrigsten Wertes, ohne die zeitliche Ordnung bzw. den Trend zu berücksichtigen. Allerdings schließen Kannel et al. (1980) aus den Daten der Framingham-Studie, daß die während einer Stunde registrierte "Labilität" des Blutdrucks kein entscheidendes Merkmal sei, sondern neben dem Mittelwert, auch das Minimum oder das Maximum dieser Werte effiziente Prädiktoren späterer kardiovaskulärer Erkrankungen sind.

Blutdruck-Monitoring-Studien (z.B. Horan et al., 1981; siehe jedoch Mancia et al., 1983) sprechen dafür, daß sich Grenzwert-Hypertoniker von Normotonikern durch höheres Niveau und größere absolute und prozentuale Reaktionen der systolischen und diastolischen Werte unterscheiden, während die Varianz der einzelnen Messungen nicht wesentlich größer zu sein scheint. Solche Zeitreihen von Blutdruckwerten können biometrisch jedoch durch verschiedene Variabilitätsmaße, auch in Beziehung zu den Ausgangswerten, noch besser beschrieben und die Dynamik der Blutdruckänderungen könnte genauer erfaßt werden.

Als Schlußfolgerung ergibt sich, daß die Klassifikation der hypertonen Regulationsstörungen in Grenzwert-Hypertoniker und leichte (milde) Hypertoniker (Jeweils noch ohne kardiovaskuläre Veränderungen im Sinne von WHO Grad II) unbefriedigend ist, weil es eine statische Einteilung aufgrund weniger und fragwürdiger Gelegenheitswerte ist und semantisch eine ungewisse Etikettierung darstellt. Aktuelle Blutdruckwerte (Gelegenheitswerte) sind fragwürdige Prädiktoren des habituellen Blutdruckniveaus, sie sagen nichts aus über belastungsabhängige Reaktionen oder den Regulationstyp, d.h. das Auslenkungs- und Einschwing-Verhalten bei Belastung (Antizipation, Start, Belastung, Erholung) und die nächtliche Entspannung.

Trotz der meßmethodischen Einwände gegen das ambulante Monitoring sind multiple Messungen in verschiedenen Situationen und Bestimmungen des 24-Stunden-Mittelwertes wesentliche Ergänzungen der üblichen Blutdruckmessung in Praxis, Klinik oder Labor. Gerade die Labilität der Blutdruckregulation, die situationsabhängigen Reaktionen und die mehr oder minder generalisierten, reproduzierbaren Niveauverschiebungen des systolischen, des diastolischen und des mittleren Blutdrucks - auch im Tag-Nacht-Verlauf - gilt es noch genauer zu beschreiben und zu typisieren.

Angesichts der divergierenden Definitionen und angesichts der uneinheitlichen Terminologie auf diesem Gebiet wird in der Darstellung des eigenen Projektes die umständlichere Bezeichnung labile/hypertone Regulationsstörung des Blutdrucks bzw. labile/hypertone Blutdruckregulation bevorzugt. Auf diese Weise wird statt der definitiv klingenden Klassifikation "Grenzwert-Hypertonie" an die fortdauernde Aufgabe erinnert, die Variabilität des Blutdrucks und die beginnende Abweichung vom statistischen Erwartungswert der Vergleichsgruppe zu analysieren. (In der folgenden Literaturübersicht wird allerdings der jeweils von den Autoren im Zusammenhang benutzte Begriff, d.h. meist Grenzwert-Hypertonie, übernommen).

#### 1.4 Psychophysiologische und hämodynamische Aspekte

In einer tabellarischen Übersicht fassen Just & Strauer (1986) die Veränderungen im Frühstadium der Hypertonie zusammen: labiler Blutdruck, erhöhtes bis stark erhöhtes Herzminutenvolumen, normales bis etwas erhöhtes Schlagvolumen, erhöhte bis stark erhöhte Kontraktilität und Herzarbeit, normale bis etwas erhöhte Herzfrequenz, normaler bis etwas erniedrigter Gesamt-Gefäßwi-

derstand, leicht erhöhtes "zentrales" Blutvolumen und normales bis etwas erniedrigtes Gesamtplasmavolumen.

Eine Zusammenfassung der umfangreichen neueren Literatur kann auch in diesem Bereich nur thesenartig formuliert werden. Es sind hier mehrere Forschungsansätze mit verschiedenen Konzepten und Methoden hervorzuheben: kreislaufphysiologische Untersuchungen, psychophysiologische Laboruntersuchungen mit nicht-invasiver Meßmethodik und ambulantes Monitoring des Blutdrucks.

Die Hämodynamik von grenzwertigen und hypertensiven Personen ist in zahlreichen Untersuchungen analysiert worden. Wenn diese Arbeiten in medizinischen Institutionen durchgeführt wurden, dann standen die kreislaufphysiologischen Messungen im Vordergrund, oft mit invasiver Methodik und nicht selten auch mit Messungen der Volumenregulation und neuroendokriner Parameter, z.B. Plasma-Catecholaminen, oder mit pharmakologischen Rezeptorblockaden, verbunden. Neben körperlichen Belastungen, z.B. Handgriffversuch, Kaltwasserversuch, Ergometerarbeit, wurden auch mentale Belastungen wie das Kopfrechnen benutzt, doch interessierten primär die Unterschiede der Hämodynamik.

Im psychophysiologischen Labor haben dagegen die psychologischen Konzepte, die durch bestimmte Aufgabentypen, Befindlichkeits-Einstufungen, Fragebogenskalen für Persönlichkeitseigenschaften und Belastungsverarbeitung (Coping) repräsentiert sind, oft eine größere Bedeutung. Die kardiovaskulären Messungen wurden in der Regel nicht-invasiv durchgeführt und beschränkten sich oft auf die Registrierung von Blutdruck und Herzfrequenz, eventuell noch Pulswellengeschwindigkeit oder Finger-Plethysmogramm. Es existieren nur wenige Multi-Parameter-Studien und insgesamt nur sehr wenige Untersuchungen, in denen die hämodynamischen Analysen und die Konzepte der differentiellen Psychophysiologie zusammengebracht wurden.

Zunehmendes Interesse fand ein dritter Forschungsansatz: das ambulante Monitoring von Blutdruck und Herzfrequenz. Mit dieser Methodik können nicht nur Niveau und Variabilität des Blutdrucks, z.B. über 24 Stunden im Alltag, erfaßt, sondern auch die meßmethodisch bedingte Reaktivität und die situativ-emotional bedingte Reaktivität (im Sinne einer Symptom-Kontext-Analyse) untersucht werden. Blutdruckmessungen im Labor (bzw. Klinik und ärztlicher Praxis) und unter naturalistischen Bedingungen divergieren nicht selten, so daß sich die empirische Generalisierbarkeit von Blutdruckmessungen und kri-

sorting of steel balls during noise and reaction-time tasks have all reported greater BP reactivity in HT than NT. Studies using the cold pressor test have generally reported only few reactivity differences between HT and NT. Conflicting results could reflect variations in study design, study populations, sampling procedures, drug treatment, or simply indicate that some HT subgroups are hyperreactive, whereas others are not."

Tatsächlich ist erst allmählich die Einsicht gewachsen, daß über das Geschlecht und das Alter hinaus, weitere relevante Personenmerkmale existieren, welche mit dem gemessenen Blutdruck konfundiert sind und explizit beschrieben bzw. statistisch kontrolliert werden müssen: Körperbauunterschiede in Größe, Gewicht, Oberarmumfang bzw. Körpermasse und Körperoberfläche; das Lebensalter; individuelle Unterschiede in der Aufnahme von Kochsalz, Alkohol, Koffein, Nikotin usw.

Wenn außerdem einige der Untersucher relativ kleine Gruppen von Probanden oder Patienten untersucht haben, kann es nicht ausbleiben, daß durch große Heterogenität wesentlicher Merkmale und durch sog. Ausreißereffekte besondere und inkonsistente Befunde zustande kommen.

Fredrikson (1986) stellte fest, daß Gruppenunterschiede der Blutdruckreaktivität seltener berichtet wurden, wenn beide Gruppen aus derselben Population stammen und die hypertonen Personen zugleich mit der Kontrollgruppe durch ein Screening gewonnen wurden. Es gibt empirische Hinweise, daß die Präselektion einen wesentlichen Effekt haben könnte, z.B. durch Bevorzugung sich selbst als krank fühlender Hypertonie-Patienten im Vergleich zur Population aller Hypertoniker. Die Untersuchung von Steptoe, Melville & Ross (1983) ist eine der wenigen, welche die hypothetischen Präselektionseffekte durch ein großangelegtes Screening und Nicht-Information der Probanden über ihren aktuellen Blutdruck zu kontrollieren versuchte.

#### Herzfrequenz und Herzminutenvolumen

Viele - wenn auch nicht alle - Untersucher berichten, daß die Gruppe der Grenzwert-Hypertoniker eine höhere Herzfrequenz, eine höhere Herzfrequenzreaktivität und ein höheres Herzminutenvolumen aufweisen als normotone Vergleichsgruppen. Zur Herzfrequenz und Herzfrequenzreaktivität nahm Fredrikson (1986) in seinem Sammelreferat noch nicht ausdrücklich Stellung, während Pickering & Gerin (1988) in ihrer Übersicht die Widersprüche zwischen verschiedenen Autoren erkennen lassen. Erst durch die aktuelle Meta-Analyse von Fredrikson & Matthews (1990) wurde der Herzfrequenz-Effekt besser ge-

sichert. Erneut sind jedoch die Problematik einfacher Differenzwerte und die mögliche Heterogenität der Untersuchungsgruppen zu bedenken.

In einer aktuellen Untersuchung von 20 jungen Männern mit leicht erhöhtem systolischen Blutdruck beobachteten Sims & Carroll (1990) im Vergleich zu 25 Kontrollpersonen auch höhere Ruhewerte der Herzfrequenz und der metabolischen Aktivität ( $VO_2$ ,  $VCO_2$ ), jedoch - von der Herzfrequenz abgesehen - keine höheren physiologischen Reaktionswerte (DIFF) bei zwei psychologischen Laboraufgaben. Bei diesen Aufgaben zeigten die Probanden mit den erhöhten Blutdruckwerten signifikant größere Diskrepanzen zwischen der aktuellen und der aufgrund einer Ergometerbelastung aus den metabolischen Daten geschätzten Herzfrequenz.

Zur Frage, ob Grenzwert-Hypertoniker unter Ruhebedingungen ein erhöhtes Schlagvolumen aufweisen, sind die Befunde inkonsistent (z.B. Julius & Essler, 1975; Schulte & Neus, 1983; Linß, 1985; Lund-Johansen, 1987). Es ist also nicht geklärt, ob eine beobachtete HMV-Erhöhung auch durch ein erhöhtes Schlagvolumen oder vielleicht nur durch eine erhöhte Herzfrequenz bedingt ist.

#### Weitere kardiovasculäre Parameter

Die inkonsistente Befundlage (siehe auch Conway, 1984; Linß, 1985; Loßnitzer, 1984; Just & Strauer, 1986) ist auch für andere kardiovasculäre Maße festzustellen, u.a.:

- Baroreceptor-Sensibilität (Sleight, 1983; Kotchen et al., 1989);
- Kontraktilität des linken Ventrikels, Anspannungs- und Austreibungszeiten (Esler et al., 1977; Lehner et al., 1979; Messerli et al., 1982; de Leeuw et al., 1983; Saito, 1983);
- Elastizität der Arterien, insbesondere die Compliance der Aorta (Ventura et al., 1984; Bouthier et al., 1985);
- peripherer Widerstand (Safar et al., 1973; Zweifler & Nicholls, 1982 (Sullivan et al., 1984); Santangelo, Falkner & Kushner, 1989);
- Pulswellengeschwindigkeit (Steptoe et al., 1984; Levenson et al., 1985).

#### Generalisierte sympathische Aktivierung

Fredriksons eigene Arbeiten gehören zu den wenigen, welche eine Anzahl physiologischer Parameter auf Gruppenunterschiede prüften, um der Hypothese einer generalisierten sympathischen Aktivierung nachzugehen. Beim Vergleich von je 14 milden Hypertonikern und Normotonikern mittleren Alters während auditiver Buchstabenidentifikation und Kopfrechnen bzw. während Kaltwasser-

versuch und Handgriffversuch fanden sich weder in Parametern des Blutflusses und des Gefäßwiderstandes in der Hand und im Unterarm, noch in der elektrodermalen Aktivität oder in den Urin-Catecholaminen signifikante Gruppenunterschiede (Fredrikson et al., 1982, 1985).

Dagegen existieren einige andere Untersuchungen, in denen solche Gruppenunterschiede in Meßwerten der elektrodermalen Aktivität, der peripheren Durchblutung oder in anderen vegetativen Meßwerten beobachtet wurden. Die Inkonsistenzen sind jedoch offensichtlich, wobei ungeklärt ist, ob heterogene Populationen mit speziellen Untergruppen, (Richter-Heinrich et al., 1975; Jern, 1983; Eliasson et al., 1983; Steptoe et al., 1984), die Versuchsdurchführung oder die Auswertungsmethodik verantwortlich sind. Die Frage "generalized sympathetic arousal or cardiospecific activation?" (Fredrikson, 1986) ist weiterhin offen. Die Inkonsistenz der Befunde läßt zumindest eine relativ geringe Effektstärke vermuten.

#### Individualspezifische Reaktionsmuster

Mit individualspezifischem Reaktionsmuster ist eine genetisch bedingte und/oder erworbene Disposition gemeint, relativ unabhängig von der Art der Stimulation (z.B. in einer Serie üblicher Laboraufgaben) maximale Reaktionswerte in einer bestimmten Funktion oder sogar eine Reaktionsstereotypie zu zeigen. Aufgrund der Untersuchungen von Engel & Bickford (1961) und Fredrikson et al., (1985) ergibt sich die Hypothese, daß Grenzwert-Hypertoniker und Hypertoniker im Vergleich zu Normotonen relativ mehr ISR-Verhalten in kardiovaskulären Funktionen, insbesondere in Blutdruckvariablen, also Symptomspezifität erkennen lassen.

#### Zentralnervöse Funktionen

Fast alle psychophysiologischen Arbeiten zur Hypertonie befaßten sich mit kardiovaskulären Variablen. Zentralnervöse Funktionen wurden dagegen nur sehr selten untersucht (Richter-Heinrich, 1964; Richter-Heinrich et al., 1975; Zbrozyna, 1982). Diese Arbeiten führen zu Hypothesen über veränderte Wahrnehmungsschwellen und mögliche Unterschiede in der Schwellenadaptation, u.U. auch in der Habituation der Orientierungsreaktion und bei der Ausbildung bedingter Reaktionen.

#### Kardiovaskuläre Dynamik

Zur Beurteilung des Blutdruckverhaltens von labil/grenzwertig-hypertonen Personen reichen Ruhewerte und einfache Reaktions- bzw. Belastungswerte

während solcher Laboraufgaben wie Kopfrechnen oder Kaltwasserversuch nicht aus. Wesentliche Kennzeichen der Blutdruckregulation sind u.U. erst durch dynamische Funktionsprüfungen mit intensiveren Belastungen oder durch genauere Analysen des Reaktionsverlaufs und der hämodynamischen Wechselbeziehungen zu erkennen.

Sowohl die submaximale Belastung am Ergometer (z.B. 75 oder 100 Watt) als auch der Orthostase-Versuch werden zur Beschreibung der Kreislaufregulation verwendet; sie dienen aus der Sicht einiger Autoren zur Diagnostik der Grenzwert-Hypertonie (z.B. Frohlich et al., 1967; Safar et al., 1973; Hull et al., 1977, 1981; Payen et al., 1982; Dlin et al., 1983; Schulte et al., 1983; Linß, 1985; Benbassat & Froom, 1986; Franz, 1986; Jette, Landry & Blümchen, 1987; Wijnen et al., 1988).

Hier sollen nur die Schlußfolgerungen, die sich bei kritischer Lektüre dieser Arbeiten ergeben, formuliert werden: wieder beherrschen Inkonsistenzen das Bild. Die Befunde gelten nicht systematisch, sondern nur für Untergruppen, die sich bereits primär (z.B. im Blutdruck oder HMV) unterscheiden. Die inkrementelle Validität dieser Funktionsprüfungen ist noch nicht geklärt worden. Ein adäquates Kriterium jedoch wäre nur in follow-up Studien zu gewinnen. Aber selbst dann, wenn solche prognostischen Aspekte einbezogen werden (Franz, 1986), fehlen noch der systematische Vergleich mit einfacheren Belastungsprüfungen bzw. jeweils die Analyse der inkrementellen Validität.

Auffällige Reaktionsverläufe, d.h. eine längere Dauer (höhere Persistenz, langsames Recovery) der kardiovaskulären Funktionssteigerung, insbesondere der Blutdruck- und Herzfrequenzerhöhung wurde von mehreren Autoren beschrieben (z.B. Davidoff et al., 1982; Eliasson et al., 1983; Fredrikson et al., 1985).

Hinreichend geklärt ist diese Annahme jedoch nicht, da Amplitude und Dauer solcher Reaktionen konfundiert sind. Auch zu anderen Aspekten der Hämodynamik, z.B. über die Sofortreaktion in der ersten Minute des Orthostase-Versuchs oder über differentielle Effekte in den kardiovaskulären Veränderungen während typischer Laboraufgaben, existieren noch zu wenig Anhaltspunkte.

#### Blutdruckvariabilität im Alltag

Das ambulante Blutdruck-Monitoring hat wesentlich zur realistischen Beschreibung von individuellen Differenzen des Blutdruckverhaltens beigetragen

(siehe Weber & Drayer, 1984; Meyer-Sabellek, Weber, 1988; Krönig, 1976; Anlauf et al., 1991).

Diese Untersuchungen belegen die möglichen Diskrepanzen zwischen Gelegenheitswerten, die in der Arztpraxis oder im Labor gemessen werden, und den habituellen Werten (z.B. Gerardi et al., 1985; White, 1986; Bialy et al., 1988; Lattuada et al., 1990) oder zeigen in systematischen Labor-Feld-Vergleichen, wie gering die statistische Vorhersagbarkeit ist (z.B. Morales-Ballejo et al., 1988; Van Egeren & Sparrow, 1989).

Zweifellos sind diese Studien noch mit erheblichen Methodenproblemen verbunden, weil die Blutdruckmessungen im Feld mit Bewegungsaktivität, Lagewechsel, emotionalen und anderen Veränderungen assoziiert sind (z.B. James et al., 1986; Clark et al., 1987; Langewitz et al., 1987; Crowther et al., 1987; Van Egeren & Sparrow, 1989; Shapiro et al., 1990; Gellman et al., 1990).

Die Ergebnisse des ambulanten Blutdruckmonitorings sind möglicherweise bessere Prädiktoren der Hypertonieentwicklung als die "Gelegenheitswerte" der Messungen unter Standardbelastungen (siehe u.a. Pessina et al., 1985; Weber, 1988, 1989). Außerdem ist zu berücksichtigen, daß es unter den Grenzwert-Hypertonikern mehr sog. "white coat" oder "office" Blutdruckreaktoren (bei normalen Tages-Mittelwerten) geben könnte als unter Normotonikern (Pickering et al., 1988; Lattuada et al., 1990).

Aus dem 24-Stunden-Monitoring können über Mittelwert und Varianz der Blutdruckwerte hinaus - wie die zitierte Literatur genauer zeigt - verschiedene Statistiken und Parameter abgeleitet werden. So meinen z.B. Zachariah et al. (1988), daß die Blutdruck-Belastung (hier definiert als Prozentsatz der ambulanten Messungen, die 140 bzw. 90 mmHg übersteigen) mehr Relevanz als der Mittelwert hat (siehe auch de Leeuw & Birkenhäger, 1986; Anlauf et al., 1991). Andererseits wird sich die mittlere Belastung des Herzens und der Gefäße direkt aus der Summation des mittleren Blutdrucks über die Zeit bzw. als Druck x Zeit-Produkt während der 24 Stunden schätzen lassen. Die Bedeutung individueller Differenzen der nächtlichen Blutdruck-Absenkung (Entspannungsfähigkeit) ist noch kaum diskutiert (Pickering, 1987, 1988; Lavie, Schmieder & Messerli, 1988). Diese Entspannungsverläufe des Blutdrucks und die unter dem Gesichtspunkt der momentanen und chronischen Gefäßbelastung gewichteten 24-Stunden-Blutdruckwerte könnten wichtige Prädiktoren der Hypertonieentwicklung sein.

### Inkonsistenz der Befunde

Seit Jahrzehnten wird von vielen Autoren die Auffassung vertreten, daß ein pathophysiologisch relevantes Anfangsstadium der Hypertonie mit erhöhter Herzleistung und generalisierter sympathischer Aktivitätssteigerung existiert. Ein erhöhtes Herzminutenvolumen, erhöhte Herzfrequenz und erhöhte Catecholaminwerte im Plasma und Urin sind jedoch nur bei einem Teil jener Personen, die nach den üblichen Blutdruck-Kriterien als Grenzwert-Hypertoniker eingestuft werden, anzutreffen.

Für die charakteristischen Inkonsistenzen, die sich auch bei den psychologischen Untersuchungsbefunden wiederholen werden, sind mehrere Erklärungshypothesen denkbar. Diese schließen sich wechselseitig nicht aus:

- Unreliabilität des Gruppierungskriteriums;
- ungeeignete Festsetzung der Grenzwerte, so daß zu viele falsche Positive einbezogen sind;
- schematische, dichotome Gruppierung in grenzwertige und normotone Personen (mit wesentlichem Informationsverlust), ohne das vorhandene Meßwert-Kontinuum zu verwenden oder die dynamische Blutdruckregulation angemessen zu berücksichtigen;
- mangelnde Beachtung bzw. Kontrolle wichtiger Personenmerkmale und Kovariablen, u.a. Alter, Geschlecht, Gewicht, Alkohol-, Koffein- und Salzaufnahme, körperliche Aktivität, eventuell auch Motive der Teilnahme an der Untersuchung und u.U. für die Präselektion oder Reaktionsbereitschaften wichtige Einstellungen, laienhafte bzw. implizite Krankheitskonzepte;
- zu geringe Gruppengröße (bzw. zu geringe Homogenität), um hypothetische Unterschiede bestätigen zu können;
- mangelnde Detektion von Ausreißern, welche bei den üblichen Kleinstichproben-Plänen leicht zu Fehleinschätzungen führen können;
- mangelnde interne Validität der Untersuchung aus verschiedenen Gründen, u.a. unzureichende Validität und Reliabilität der ausgewählten Parameter, Fehlen charakteristischer Anforderungen (Aufgaben);
- mangelnde externe Validität der im Labor provozierten Herz-Kreislauf-Veränderungen;
- Fehlen von ambulanten Blutdruck-Messungen;
- unzureichende Datenanalyse-Konzepte, z.B. hinsichtlich der Berücksichtigung von Kovariablen, der Unterscheidung von Ruhe-, Reaktions- und Belastungswerten mit angemessener Analyse der Ausgangswert-Beziehungen;

- Existenz pathogenetisch heterogener Untergruppen und/oder Nebeneinander verschiedener pathophysiologischer Stadien in der fälschlich als einheitlich angesehenen Population der "Grenzwert-Hypertoniker".

#### Gruppierungsvorschläge

Es mangelt in der Literatur nicht an Vorschlägen, wie die behauptete Heterogenität der Grenzwert-Hypertoniker (und auch der milden Hypertoniker) durch Gruppierungen überwunden werden könnte. Viele dieser Vorschläge sind ad hoc zu bestimmten Untersuchungen entstanden, systematische Replikationsstudien oder Nachweise, inwiefern sich diese Gruppen auch in anderen Merkmalen oder in Reaktionsverläufen unterscheiden, fehlen in der Regel. Der Forschungsstand reicht noch nicht aus, innerhalb der Grenzwert-Hypertoniker von pathophysiologisch einheitlichen Untergruppen zu sprechen.

Als mögliche Gruppierungskriterien wurden u.a. vorgeschlagen:

- erhöhtes Schlagvolumen unter Ruhebedingung bei u.U. normalem HMV ("hyperkinetisches Herzsyndrom", Gorlin, 1962);
- erhöhtes Herzminutenvolumen (Julius & Hanson, 1974), HMV-Index  $> M + 1$  SD der Normotonen (Jern, 1983);
- Anstieg des diastolischen Blutdrucks im Kaltwasserversuch (u.a. Wood et al., 1984; Horwitz, 1984);
- Hyperreaktivität der Herzfrequenz auf Stress (Falkner et al., 1981);
- erhöhte Blutdruckreaktion verbunden mit höherem Anstieg in TPR, während SV nicht ansteigt oder sogar sinkt ("hot reactor type III", Eliot et al., 1982); von Rüddel et al. (1988) als  $PM > M + SD$  und  $TPR > 0$  operationalisiert;
- stabile Vasokonstriktion im Vergleich zu eher variabler Amplitude des Finger-Plethysmogramms (Svenson & Theorell, 1983);
- belastungspositive Blutdruckwerte  $> 200/100$  mmHg bei Ergometerarbeit 100 Watt (u.a. Franz, 1986);
- orthostatischer Reaktionstyp (u.a. Frohlich et al., 1967; Safar et al., 1973);
- große/geringe Veränderungen des totalen peripheren Widerstandes während Kopfrechenversuchs; Anstieg im mittleren Blutdruck oder in der Blutdruckamplitude um mindestens 10% oder im Schlagvolumen um 10% (Rüddel et al., 1988);
- Berücksichtigung der simultanen Veränderungen mehrerer hämodynamischer Parameter durch Clusteranalysen der Reaktionswerte (Rüddel et al., 1988);

- hämodynamische Regulationstypen unter Ruhebedingungen (Linß, 1985): eukinetisch, hyperkinetisch (HF, PAMP, HMV, SV, Kontraktilität erhöht, TPR gleich oder erniedrigt, Austreibungsfraktion gleich oder erhöht) und hypokinetisch (PD, TPR erhöht, PAMP, HMV erniedrigt, HF, SV, Austreibungsfraktion, Kontraktilität gleich oder erniedrigt); als Grenzwert der hyperdynamen Regulation wird ein HMV (IKG) von mehr als 5.2, als Grenzwert der hypodynamen Regulation ein HMV von weniger als 3.2 l/min/m<sup>2</sup> in Ruhe genannt (Linß & Eisenberg, 1988);
- erhöhte Plasma-Renin-Aktivität und Plasma-Noradrenalin-Werte in Ruhe (Esler et al., 1975);
- Catecholamin-Reaktionstypen (Netter & Neuhäuser, 1982);
- familiäre (genetische) Disposition zu Bluthochdruck bzw. familiärer Aggregation von gesteigerter Blutdruckreaktivität (Falkner et al., 1979; Matthews et al., 1988; Weidman & Beretta-Piccoli, 1988; Parati et al., 1989);
- individuelle Reaktionsprofile bei sequentiellen Tests mit verschiedenen Antihypertensiva, da die klinisch häufig beobachtete Heterogenität der Pharmakawirkungen verschiedene Untergruppen vermuten läßt (Laragh et al., 1988).

In ähnlicher Weise wie durch diese Gruppierungsvorschläge hinsichtlich der Personenunterschiede wurden in der psychophysiologischen Hypertonieforschung auch bestimmte Aufgaben hervorgehoben, welche sich speziell zur Diskrimination von hypertensivem Reaktionsverhalten eignen sollen: etwa der Kaltwasserversuch wegen der primär alpha-adrenerg vermittelten Blutdruckreaktionen oder der Rechenversuch, der anscheinend vor allem beta-adrenerg vermittelte Kreislaufänderungen bedingt (z.B. Schulte & Neus, 1983). Diskutiert werden in diesem Zusammenhang psychologische Klassifikationsversuche, insbesondere Aufgaben, die "sensorische Aufnahme" im Gegensatz zu "sensorischer Abwendung" (intake-rejection im Sinne von Lacey) oder aktive im Gegensatz zu passiver Bewältigung (active - passive coping) nahelegen (siehe Obrist et al., 1986; Sherwood et al., 1986). Die empirischen Befunde sind widersprüchlich (siehe Steptoe, Rüdell & Neus, 1985; Fredrikson, 1986), wie angesichts dieser sehr vereinfachenden Charakterisierung von Anforderungssituationen auch kaum anders zu erwarten ist. Grundsätzlich bleibt es aber eine methodisch sehr wichtige Frage, welche Aufgaben bzw. Anforderungen funktionell eher das sympathisch-beta-adrenerge oder das alpha-adrenerge System ansprechen (siehe Stemmler, 1990). Erst dann könnte geprüft werden, welcher Aufgabentyp - auf vergleichbarem Aktivierungsniveau - besser zu diskriminieren vermag.

### 1.5 Neuroendokrine Aspekte

Die meisten der in diese Literaturanalyse eingegangenen Arbeiten befaßten sich mit der naheliegenden Hypothese, daß Grenzwert-Hypertoniker und Hypertoniker im Vergleich zu Normotonen als Anzeichen gesteigerter Aktivität des sympathischen Nervensystems sowohl höhere Ausgangswerte als auch höhere belastungsbedingte Reaktionswerte (Differenzwerte) von Noradrenalin und Adrenalin im Plasma und im Urin haben müßten. Es gibt mehrere Untersuchungen, welche diese Erwartungen bestätigen, jedoch auch eindeutig negative Befunde in gut kontrollierten Studien (hospitalisierte Patienten mit Na-Diät). Diese Inkonsistenzen lassen noch daran zweifeln, daß die Erhöhung des Catecholaminspiegels tatsächlich ein regelmäßiger Sachverhalt ist (Übersichten: Goldstein, 1983; Julius et al., 1984; Esler et al., 1985; Cerasola et al., 1987; Neuhäuser-Metternich, 1988). Philip (1986) stellt fest, daß mit der Entwicklung genauerer Bestimmungsmethoden der Prozentsatz der Arbeiten, in denen erhöhte Catecholaminwerte im Plasma oder Urin von Hypertonikern nachgewiesen werden konnte, abnahm. Goldsteins (1983) Metaanalyse scheint dennoch wahrscheinlich zu machen, daß bei jüngeren Hypertonikern erhöhte Adrenalin- und Noradrenalin-Werte im Plasma (und wahrscheinlich auch im Urin, siehe Philipp, 1986) vorliegen.

Die Werte der Plasma-Catecholamine sind altersabhängig (Messerli et al., 1981; Pfeiffer et al., 1983). Perini et al. (1990) verwendeten Werte, die u.a. für Körpermaße, maximale Wattleistung, Na-Ausscheidung und sogar für Zustands-Angst adjustiert waren, und beobachteten dennoch höhere Plasmawerte des Noradrenalins und Adrenalins bei Grenzwert-Hypertonikern.

Aufgrund der Niveauewerte und Verläufe der Adrenalin- und Noradrenalin-Werte im Plasma haben Netter & Lienert (1984, Netter & Neuhäuser, 1982) durch Konfigurationsfrequenzanalyse orthogonaler Polynomkoeffizienten sog. Catecholamin-Reaktionstypen analysiert. Diese Reaktionstypen wurden für Vergleichsuntersuchungen an Hypertonikern und Normotonikern genutzt, u.a. um Unterschiede in psychologischen Merkmalen herauszuarbeiten.

Auch für die Plasma-Renin-Aktivität und für Aldosteron-Bestimmungen sind systematische Gruppenunterschiede berichtet worden, doch erneut gilt, daß diese nicht regelmäßig nachweisbar sind (z.B. Lebel et al., 1984; Meier et al., 1981; Saito et al., 1984; Cerasola et al., 1987; Julius, 1988).

## 1.6 Psychologische Aspekte

Bis in die Gegenwart kreisen viele der psychologischen Untersuchungen um die von Alexander (1939), Saul (1939) und Schachter (1957) ausgehende und - je nach gewählter Operationalisierung - vielfältig modifizierte Behauptung, daß Hypertoniker in pathogenetisch wesentlicher Weise durch spezifische Störungen im Bereich der Aggressivität gekennzeichnet sind: vereinfacht gesagt durch Aggressionshemmung und chronisch unterdrückten Ärger. Auf diese Weise würde es zu einer anhaltenden Aktivierung des sympathischen Nervensystems und folglich auch des Kreislaufs, einschließlich des Blutdrucks, kommen.

Die empirische Prüfung dieser Hypothese ist, wie die methodologische Diskussion lehrt, schwierig, und die Untersuchungsergebnisse sind inkonsistent. Während einige Autoren Aggressionshemmung (suppressed hostility) und unterdrückten Ärger oder "nach innen" gerichteten Ärger (anger in) feststellten, berichten andere sogar erhöhte Aggressivität (z.B. Ploeg et al., 1985) oder beobachteten eher allgemeine Ängstlichkeit, deprimierte Stimmung und vielfältige körperliche und persönliche Beschwerden. Auch in neueren Übersichten wird außer der Stress-Hypothese (siehe Hodapp & Weyer, 1982) der Persönlichkeitsbereich Aggressivität hervorgehoben (Weiner, 1977; Harrell, 1980; Diamond, 1982; Taylor & Fortmann, 1983; Cullen, 1984; Krantz & Manuck, 1984; Chesney & Rosenman, 1985; Vaitl, 1985; Langosch, 1989; Sommers-Flanagan & Greenberg, 1989; Neuhäuser-Metternich, 1988; Shapiro, 1988; Light, 1987; Herrmann et al., 1990; Schwenkmezger & Lieb, 1991). Zugleich wird aber die Zuverlässigkeit der Befunde diskutiert und eingeschränkt. Die Klärung dieser Arbeitshypothesen wird sicher auch durch die fragwürdige Validität der Untersuchungsinstrumente erschwert. Es darf nicht angenommen werden, daß Aggressivitätsskalen aus Persönlichkeitsfragebogen, Selbsteinstufungen der habituellen Ärger-Reaktionen, ad hoc entworfene Ärger-Fragen, standardisierte Eigenschafts- und Zustands-Skalen für Ärgergefühle, projektive Tests wie der Rosenzweig-Picture-Frustration-Test oder die Ergebnisse von diagnostischen Rollenspielen hier eine konvergente Validität aufweisen können. Multitrait-Multimethod-Analysen für diesen Konstruktbereich fehlen noch, doch müssen aufgrund solcher Untersuchungen in anderen Bereichen auch hier fundamentale Diskrepanzen zwischen diesen multiplen Operationalisierungen erwartet werden. Folglich wäre es irreführend, global von "Aggressivität" usw. zu sprechen, wenn nur ein spezielles Verfahren benutzt wurde.

Da nur sehr selten Hypertoniker mit anderen Patientengruppen verglichen wurden, und sich die Aussagen meist auf den Vergleich zwischen hypertonen Patienten und Normotonikern beschränken, ist über die Spezifität der psychologischen Befunde kaum etwas zu sagen. Gerade unter den psychologischen Untersuchungen fallen viele durch eine unzureichende Kontrolle von Geschlecht, Alter und Diagnose auf, obwohl die Konfundierung vieler Test- bzw. Persönlichkeitsmerkmale mit solchen Merkmalen bekannt ist (z.B. de Frank et al., 1987). Die Untersuchung von Duijkers et al. (1988) gibt ein gutes Beispiel für die - leider erst selten praktizierte - schrittweise Auspartialisierung von Kovariablen ("confounders"): Alter, Alkoholkonsum, körperliche Aktivität, Körperbau, Schulbildung. Theoretisch bleibt schließlich offen, weshalb gerade (und nur?) Ärgergefühle das sympathische Nervensystem und den Kreislauf betreffen sollen, während das für andere intensive Emotionen nicht gelten soll (siehe jedoch u.a. James et al., 1986; Melamed, 1987).

Selbst wenn sich Unterschiede in Persönlichkeitsmerkmalen oder emotionalem Verhalten zuverlässig nachweisen ließen, wäre damit über die Kausalität noch nichts ausgesagt. Die psychologischen Veränderungen könnten Ursache oder auch Folge der pathophysiologischen Veränderungen, z.B. des erhöhten Blutdrucks und der erhöhten sympathisch-adrenergen Aktivität sein. So zeigen nach Beobachtungen von King et al. (1986) Hypertoniker ein anderes Verhalten bei der Durchführung psychologischer Tests (test taking behavior).

Auch die neueren Untersuchungen über emotionale Faktoren bzw. Persönlichkeitseigenschaften von Hypertonikern (mögliche Unterschiede in sensorischen und kognitiven Funktionen fanden nur selten Interesse, siehe Elias & Streeten, 1980), sind dem grundsätzlichen Einwand ausgesetzt, daß weder die Spezifität solcher psychologischen Befunde noch überhaupt deren ätiologische Relevanz in diesem post-hoc Forschungsansatz geklärt werden können. Dies müßte in einer prospektiven Studie, mindestens jedoch bei labil/hypertonen Personen vor der Chronifizierung der Hypertonie und vor der Ausbildung des Krankheitsverhaltens bzw. der Patientenrolle geschehen.

Während also die Spezifitätslehre in der Nachfolge Alexanders weiterhin vertreten wird (Harburg et al., 1973; Baer et al., 1979; Mc Clelland, 1979; Gentry et al., 1982; Ploeg et al., 1985; Manuck et al., 1985; Perini et al., 1986; Johnson et al., 1987; Dimsdale et al., 1986; Goldstein et al., 1988; Koskenvuo et al., 1988) sind durch einige neuere Untersuchungen Alternativerklärungen gestützt worden, weshalb sich in manchen der Erhebungen die Hypertoniker psychologisch auffälliger zeigten als die normotonen Kontrollgruppen. Mehrere

größere Erhebungen, bei denen Präselektions-Effekte und Diagnose-Zuschreibungen wahrscheinlich eine geringere Rolle spielten als bei den meisten anderen Studien, konnten die behaupteten psychologischen Auffälligkeiten der Grenzwert-Hypertoniker und Hypertoniker, d.h. aggressive, nervöse, ängstliche, psychosomatische Beschwerden nicht bestätigen (z.B. Haynes et al., 1978; Sandberg & Bliding, 1976; Goldberg et al., 1980).

Das Wissen über die Diagnose "Hypertonie" (labeling) hat wahrscheinlich einen Effekt auf die subjektiven Beschwerden, Gesundheitsorgen, Stimmung und Morbiditäts-Einschätzung (siehe Haynes et al., 1978; Wagner & Strogatz, 1984; Milne et al., 1985; Shapiro et al., 1987; Wenger, 1988). So könnten die in einigen Hypertoniker-Gruppen beobachteten Auffälligkeiten auch als Folgen des Patienten-Status und als unspezifische psychologische Reaktion interpretiert werden (Kidson, 1973; Weyer & Hodapp, 1977; Monk, 1980; Drummond, 1982; Santonastoso, 1984; Dimenäs et al., 1989; Coelho et al., 1989; Jokiel et al., 1987; Thomas & Kircaldy, 1988).

Die seit langem diskutierte Frage, ob Hypertoniker hypertoniespezifische subjektive Beschwerden z.B. Schwindelgefühl, Benommenheit (dizziness) empfinden (siehe Reek et al., 1982; Pennebaker et al., 1982), ist wahrscheinlich durch solches Wissen über den Status, also durch die Etikettierung als "Hypertoniker", kompliziert. Hypertoniker, die nicht in Behandlung sind, nennen weniger allgemeine körperliche Beschwerden (Berglund et al., 1975), so daß die Bereitschaft, körperliche Beschwerden zu äußern, eine wichtige Bedingung möglicher Präselektion ist.

Der individuellen Einstellung zur Krankheit und den damit assoziierten Schemata, d.h. impliziten Krankheitskonzepten und Behandlungserwartungen (naive Kausaldeutungen, "Laienätiologie", Attributionsstilen) muß eine wesentliche Rolle für die Beteiligung an Screening-Untersuchungen, für die Bereitschaft sich als behandlungsbedürftig zu definieren und auch tatsächlich behandeln zu lassen, zugeschrieben werden (siehe King, 1982; Keil, Hense & Stieber, 1985; Meyer, Leventhal & Gutmann, 1985).

Deshalb werden solche impliziten Konzepte und der individuelle Definitionsprozeß zum "Hypertoniker" auch die potentiellen Forschungsergebnisse mitbestimmen:

- (1) als eine Bedingungskonstellation der Präselektion bzw. Bereitschaft zur Teilnahme an der Untersuchung;
- (2) als eine Bedingungskonstellation der Selbstdarstellung bzw. Selbstbeurteilung in der medizinischen oder psychologischen Anamnese sowie in allen Un-

tersuchungsverfahren, welche direkt oder indirekt mit solchen subjektiven Einstellungen, Hypothesen und Kausalattributionen konfundiert sein können.

Es ist kaum anzunehmen, daß diese Einflüsse zufällig wirken, wahrscheinlicher sind systematische Effekte, welche scheinbare Gruppenunterschiede in anderen Merkmalen zur Folge haben könnten. Die angemessene methodische Konsequenz wäre die - allerdings nicht leicht zu erfüllende - Forderung nach einer "attributionstheoretischen Kontrollgruppe", um Vorwissen und Kausaldeutungen zu kontrollieren, oder die Untersuchung aller Personen einer definierten Population.

Bisher gibt es keine Untersuchung zur Psychologie der Grenzwert-Hypertoniker oder Hypertoniker, welche den konkurrierenden theoretischen Sichtweisen durch entsprechende Datenerhebung und Kontrollen relevanter Kovariablen gerecht wird. Falls sich überhaupt zuverlässige Unterschiede in psychologischen Merkmalen feststellen lassen - sind diese Effekte zu erklären durch:

- überdauernde, prädisponierende Persönlichkeitseigenschaften;
- chronifizierte Abwehr- oder Überforderungs-Reaktionen (Stress);
- konflikthafte gehemmte oder unterdrückte Aggressivität (Ärgerimpulse);
- somatopsychische Wirkungen der pathophysiologischen Veränderungen;
- von Einstellungen und Motiven abhängige Prozesse der Präselektion, die zu scheinbaren Gruppenunterschieden führen;
- von individuellem Vorwissen, Kausalattributionen usw. abhängige Verzerrungen der psychologischen Selbstdarstellung;
- die Selbst- oder Fremddiagnose als Hypertoniker mit entsprechenden Etikettierungseffekten;
- das habituelle oder sich weiter ausformende Krankheitsverhalten der so diagnostizierten Hypertoniker?

Wegen der schwer zu widerlegenden Einwände hinsichtlich Krankheitsverhalten, Attributionsstilen und Präselektionseffekten sind Analogstudien über die Psychophysiologie des Ärgers und der Frustration bei normotonen Personen interessant (z.B. Huber et al., 1988; Weidner et al., 1989; Stemmler, 1990).

Stemmlers Untersuchungsdesign zeichnet sich durch den multivariaten Forschungsansatz und durch die Verwendung von Pharmaka zur partiellen Blockade von jeweils zwei der drei vegetativen Rezeptorsysteme (alpha-, beta- und cholinerges System) aus. Seine Ergebnisse weisen darauf hin, daß der durch frustrierende Interaktion herbeigeführte Ärgereffekt ein Reaktionsprofil hervorruft, das primär durch beta-adrenerge Aktivierung und vagalen Rückzug

sowie durch einen geringen Anstieg der alpha-adrenergen Einflüsse gekennzeichnet ist.

### 1.7 Forschungsstrategische Vorschläge

Die auffälligen Divergenzen in der Forschungsliteratur über hypertone Regulationsstörungen haben immer wieder zu kritischen Übersichten und Strategieempfehlungen geführt. Die Inkonsistenzen sowohl der hämodynamischen und neuroendokrinen als auch der psychologischen Untersuchungsergebnisse veranlaßten mehrere Autoren, eine Heterogenität der Grenzwert-Hypertoniker, aber auch der Patienten mit milder Hypertonie, zu postulieren.

So haben mehrere Forscher - meist post hoc - versucht, homogenere Untergruppen zu bilden, die eher den Zugang zu den pathogenetisch und prognostisch wesentlichen Prozessen öffnen könnten. Als Klassifikationskriterien dienten u.a. die Familienanamnese hinsichtlich Hypertonie und anderen Herz-Kreislauf-Krankheiten, Herzminutenvolumen und totaler peripherer Widerstand, Catecholaminwerte, Plasma-Renin-Aktivität, Baroreflex-Sensitivität, Unterschiede in pharmakologisch induzierten Reaktionen (siehe Abschnitt 1.4). In der Regel fehlen jedoch systematische Diskrimanzanalysen hinsichtlich anderer Parameter und Replikationsstudien an hinreichend großen Gruppen.

In dieser Aufgliederung der heterogenen Sammelgruppe "primäre Hypertonie" wird von mehreren Autoren eine vordringliche Aufgabe gesehen, wobei entweder an die dichotome Gruppierung nach einzelnen hämodynamischen oder neuroendokrinen Funktionen gedacht ist oder bereits eine mehrdimensionale Gruppierung durch Clusteranalysen geeigneter Datensätze vorgenommen wird (siehe Weiner, 1977; Netter & Neuhäuser, 1982; Netter & Lienert, 1984; Wehner, 1984; Weder & Julius, 1985).

Außerdem wurde vorgeschlagen:

- ein prozeßorientiertes Forschungsmodell, das Reaktionen und Bewältigungsweisen bei verschiedenen Belastungen berücksichtigt (Lazarus, 1978);
- dynamische Profile der hämodynamischen Reaktionsverläufe während psychologischer und physiologischer Belastungen (Cullen, 1984);
- Spezifitätsanalysen zur Beschreibung individualspezifischer Muster (Fredrikson et al., 1985);

- multiple Blutdruck-Messungen in verschiedenen Situationen, um habituelle Mittelwerte und Diskrepanzen unter Alltagsbedingungen (siehe Weber & Drayer, 1984) und die nächtliche Absenkung (siehe auch Pickering, 1988) erfassen zu können.

Genau dies sind Aufgaben für die differentielle Psychophysiologie, die hier einen substantiellen Beitrag leisten könnte, während die Aufklärung der pathophysiologischen Mechanismen anderen Disziplinen vorbehalten ist.

### 1.8 Ziele der eigenen Untersuchung

Die labil/hypertone Blutdruckregulation soll nach den Konzepten und Methoden der differentiellen Psychophysiologie unter verschiedenen, mentalen, emotionalen und körperlichen Belastungen, im Labor und im Alltag, umfassender und genauer als bisher beschrieben werden. In der Annahme, daß die sog. Grenzwert-Hypertoniker keine homogene Gruppe bilden, muß eine Gruppierung nach Reaktionsmustern und Reaktionsverläufen versucht werden.

Die hervorstechenden Inkonsistenzen der psychophysiologischen Forschung zur Grenzwert-Hypertonie fordern dazu heraus, bei der Planung in besonderem Maße auf die interne und externe Validität zu achten.

In vorausgegangenen Freiburger Arbeiten sind - in Auseinandersetzung mit der älteren Aktivierungs- und Stress-Theorie sowie mit Eysencks Persönlichkeitstheorie - mehrere theoretische methodologische Prinzipien formuliert worden (Fahrenberg et al., 1979, 1984; Fahrenberg & Foerster, 1989; Foerster et al., 1983; Myrtek, 1984). Nur stichwortartig werden hier diese Arbeitsgebiete und Probleme genannt, welche auch die Planung der gegenwärtigen Untersuchung leiten: Multi-Parameter-Methodik statt Verwendung einzelner Indikatoren; unterschiedliche Belastungen (Aufgaben) im Labor sowie Registrierung unter naturalistischen Bedingungen im Alltag mit Labor-Feld-Vergleichen; Kovarianzzerlegungen der Aktivierungsparameter, Unterscheidung von Aktivierungskomponenten, Analyse von Reaktionsmustern (sog. Spezifitätsanalyse stimulus-, individual- und motivationsspezifischer Muster); Entwicklung nicht-invasiver Meßmethodik insbesondere für die kardiovaskuläre Psychophysiologie; Weiterentwicklung bzw. Konstruktion geeigneter Laboraufgaben; Reaktionsskalisierung unter Berücksichtigung von Ausgangswert u.a.

Im Kern der Untersuchung geht es um die Prüfung der Hypothese: Personen mit labil/hypertoner und mit normotoner Blutdruckregulation unterscheiden sich in psychologischen und physiologischen Parametern der Aktivierungsprozesse, die durch standardisierte Belastungen im Labor oder durch die Ereignisse des Tageslaufs (im 24 Stunden-Monitoring) bedingt sind. Diese Unterschiedshypothese erstreckt sich außerdem auf Anamnesedaten und Persönlichkeitsmerkmale.

Diese allgemeine Zielsetzung läßt sich in mehrere Fragestellungen und Nebenfragestellungen aufgliedern, u.a.

(1) Zuverlässigkeit und konvergente Validität der Gruppierungen nach Blutdruckwerten. Wie zuverlässig sind die Gruppierungen nach Ruhewerten bzw. nach "Grenzwert"-Hypertonie? Stimmen diese Gruppierungen mit den Ergebnissen eines Orthostase-Versuchs und den Ergebnissen einer submaximalen Ergometer-Belastung überein oder handelt es sich um verschiedene Aspekte des individuellen Blutdruckverhaltens? Welche Kovariablen müssen berücksichtigt werden?

(2) Gruppenvergleich hinsichtlich physiologischer Parameter. Es wird triviale Unterschiede im Blutdruckniveau geben, aber bereits die Annahme der höheren Blutdruckreaktivität oder der langsameren Einschwingvorgänge ist umstritten. Sind die hypothetischen Gruppenunterschiede eher solche der Herzfunktion oder auch solche des peripheren Widerstandes, gibt es Belege für eine generalisierte Erregungssteigerung des sympathischen Systems, und existieren auch Unterschiede in neuromuskulären und motorischen Funktionen?

(3) Gruppenvergleich hinsichtlich physiologischer Reaktionsmuster. Lassen sich mit der Methodik der sog. Spezifitätsanalyse Unterschiede nachweisen; gibt es z.B. bei den labil/hypertonen Personen mehr individualspezifische Reaktionsmuster im kardiovaskulären Bereich?

(4) Gruppenvergleich hinsichtlich physiologischer Reaktionsverläufe. Existieren Unterschiede in der hämodynamischen Anpassung, u.a. in der Sofortreaktion und im Einschwingen nach Belastung (Erholungsverlauf, Regelgüte)? Für solche Analysen bieten sich vor allem die Blutdruck- und Herzfrequenz-Veränderungen während des Orthostase- und des Ergometer-Versuchs an; zunächst ist jedoch die Gruppierung und Parametrisierung solcher Reaktionsverläufe voranzubringen.

(5) Gruppenvergleiche hinsichtlich Anamnesedaten und Persönlichkeitsmerkmalen. Außer den häufiger genannten Risikomerkmale könnten explorativ weitere

anamnestische Daten und Persönlichkeitsmerkmale geprüft werden, u.a. Lebensgewohnheiten, körperliche Beschwerden, Merkmale des allgemeinen psychovegetativen Syndroms und der Beanspruchung. Da der Konstruktbereich Erregbarkeit, Aggressivität, Ärger und Hemmung zumindest forschungsgeschichtlich eine besondere Bedeutung hat, sollen hier teilweise neue psychologische Operationalisierungen versucht werden.

(6) Labor-Feld-Vergleiche und Vorhersagbarkeit des alltäglichen Blutdruckverhaltens aus Ruhe- und Reaktionswerten des Labors. Welche externe Validität haben die Blutdruckmessungen im Labor hinsichtlich des 24-Stunden-Blutdruckmonitorings? Welche Vorhersagen aufgrund psychologischer Variablen sind möglich, und bestehen Gruppenunterschiede in der Befindlichkeit und in den anderen physiologischen Daten der Feldregistrierungen?

(7) Als wichtige Aufgabe wird die Weiterentwicklung der Ansätze zur Gruppierung labil/hypertoner Probanden angesehen. Dies kann deduktiv durch Gruppierung nach hämodynamischen Reaktionen (HF, HMV, TPR) oder induktiv durch statistische Verfahren der Taxometrie (Clusteranalyse, Faktorenanalyse u.a.) versucht werden (siehe auch Netter & Neuhäuser, 1982). Die induktive Suche nach einer Minitypologie in anscheinend heterogenen Personengruppen ist eine Aufgabenstellung, die auch in anderen Bereichen gefordert wird (z.B. Krauth & Lienert, 1973; Kareev, 1982; Sixtl, 1985). Wie sollen aber die Untergruppen mit gleichartigen Individualparametern bzw. gleichartigen Reaktionsverteilungen identifiziert werden? Es mangelt nicht an explorativen statistischen Verfahren (Krauth, 1983; Oldenbürger, 1983), sondern an überzeugenden Kriterien zur Einschränkung der relativen Beliebigkeit solcher Gruppierungsschritte. Sowohl bei den hypothesengeleitet vorgegebenen als auch bei den taxometrisch gewonnenen Untergruppen stellt sich die grundsätzlich wichtige und schwierige Frage nach der externen Validität dieser Gruppierungen bzw. der Heuristik dieser Minitypologie. Neben den praktischen Problemen (erforderliche Zellenbesetzung, Parallelisierung hinsichtlich sonstiger Merkmale wie Alter und Geschlecht) und der Replizierbarkeit der Minitypologie ist vor allem zu klären, welche Kriterien für die Validität maßgeblich sein sollen, und wie dies zufallskritisch zu prüfen ist, da diese abhängigen Variablen nicht mit den Einteilungskriterien konfundiert sein dürfen.

Für diese gründlichen Analysen der labil/grenzwertigen Blutdruckregulation und möglicher Begleitphänomene sollen die Möglichkeiten der differentiellen kardiovaskulären Psychophysiologie genutzt werden. Die wichtigsten Hypothe-

sen werden in Abschnitt 1.10, d.h. nach der Darstellung des Untersuchungsplans, explizit formuliert.

Nebenfragestellungen ergeben sich u.a. im Anschluß an vorausgegangene Untersuchungen des Freiburger Labors. Dazu gehören:

- die Fortsetzung der Multi-Parameter-Analysen mit Kovarianzzerlegungen und induktiver Beschreibung von Aktivierungskomponenten;
- Bewertung einzelner Aktivierungsparameter und rationale Parameterselektion;
- Vergleich der Reaktionsprofile der gewählten Aufgaben bzw. Belastungen;
- Versuche zur Parametrisierung von Reaktionsverläufen;
- Spektralanalysen der Zeitreihen kardiovaskulärer Signale einschließlich Kohärenzbeschreibungen;
- Weiterentwicklung des multimodalen psychophysiologischen Monitorings.

Der hier skizzierte Untersuchungsplan entspricht dem allgemeinen Forschungsansatz der differentiellen Psychophysiologie, deren Konzepte und Methodik in den vorausgegangenen Projekten ausgearbeitet wurden.

Es gibt andere Forschungsstrategien und mögliche psychophysiologische und biobehaviorale Beiträge zur Grenzwert-Hypertonie. Drei Ansätze sind besonders hervorzuheben:

- die Analyse der Interaktion von speziellen Aufgabenanforderungen und kardiovaskulären Reaktionen, z.T. von Konzepten wie aktives-passives-Coping, Typ-A-Verhalten geleitet (Obrist, 1981; Sherwood et al., 1986; Krantz & Manuck, 1984; Steptoe et al., 1984; Shapiro & Goldstein, 1986);
- die neueren Arbeiten zur Frage des Lernens (klassisch oder operant) von Blutdruckreaktionen (siehe Hamm & Vaitl, 1986; Weyer, 1988; Vaitl, Lipp & Schmidt, 1990), wobei durch Engel (1986) ein anregender Essay über den Kreislauf als "Verhalten" gegeben wurde;
- die Baroreceptor-Reinforcement-Hypothese mit der Annahme, daß der akute Blutdruckanstieg in aversiven Situationen über die Baroreceptor-Stimulation zu einer Reduktion der Schmerzempfindlichkeit führt, mit der Konsequenz, daß diese Blutdruckreaktionen u.U. gelernt werden (Dworkin, 1988; Kessler & Pietrowsky, 1988).

Das eigene Projekt hat einen anderen Schwerpunkt. Auf die spezielle Analyse der Sensibilität und Modulation des Baroreceptoren-Reflexes wurde auch deswegen verzichtet, weil für eine gründliche Untersuchung zusätzlich auch invasive Methoden notwendig sind. Dagegen bilden die Zusammenhänge zwischen speziellen Aufgabenanforderungen und individuellen Kreislaufreaktionen auch

hier ein wichtiges Thema. Statt der simplen Dichotomisierung in aktives und passives Coping, was aus differentiell-psychologischen und praktischen Gründen sehr unbefriedigend ist, sollen diese Person-Aufgaben-Beziehungen auf andere Weise - differenzierter hinsichtlich verschiedener Aufgaben und begleitender Selbsteinstufungen sowie Fragebogendaten - erfaßt werden.

Auf differenzierte Analysen neuroendokriner Parameter im Plasma muß aus mehreren Gründen verzichtet werden, doch sollen zumindest die Adrenalin- und Noradrenalin-Werte im Urin, deren Gültigkeit nicht von vornherein unterlegen zu sein scheint (Ward & Mefford, 1985; Philipp, 1986), bestimmt werden.

Differenzierte Blocker- bzw. Rezeptor-Studien, welche dem fortgeschrittenen Wissensstand über die Taxonomie dieser Systeme gerecht werden, liegen ohnehin außerhalb des Bereichs dieser Untersuchung (siehe Mills & Dimsdale, 1988; Parkinson, 1990; Stemmler, 1990).

### 1.9 Untersuchungsplan

Wegen der auffälligen Inkonsistenzen der bisherigen psychophysiologischen Forschung zur Grenzwert-Hypertonie muß die Untersuchung mit besonderen methodischen Absicherungen und zufallskritischen Auswertungsstrategien angelegt werden. Deshalb ist, trotz des Aufwandes, ein Zwei-Gruppen-Plan mit einer angemessenen Anzahl von labil/hypertonen und normotonen Personen und eine Replikation der gesamten Untersuchung mit identischer Methodik an einer zweiten Personenauswahl zweckmäßig.

#### Untersuchungs- und Vergleichs-Gruppe

Um eine möglichst große Homogenität der labil/hypertonen und der normotonen Personen in anderen relevanten Merkmalen zu erreichen, sollen sie durch ein geeignetes Screening aus derselben Population männlicher Studenten gewonnen werden. Da hierbei mehr Merkmale zu beachten sind als durch eine Parallelisierung zu kontrollieren wären, ist post hoc die statistische Kontrolle von Kovariablen notwendig. Eine adäquate Kontrolle u.U. relevanter Einstellungen und Schemata, die sich auf populäre und implizite Auffassungen über Bluthochdruck (Ursachen, Risiko, Prognose) beziehen, wird jedoch nicht möglich sein. Es ist unrealistisch, die teilnehmenden Personen hinsichtlich ihrer Blutdruckwerte "blind" halten zu wollen, da nicht wenige, insbesondere wahrscheinlich die grenzwertig-hypertonen Personen frühere Messungen und even-

tuelles Vorkommen von Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-Krankheiten in der Familie erinnern werden. Jedoch werden Studenten der Psychologie, die u.U. mehr Vorwissen über psychosomatische und psychophysiologische Hypothesen zur Hypertonie haben, ausgeschlossen. Da die Teilnahme am Screening und an der folgenden Untersuchung freiwillig ist, können die hypothetischen Prozesse der Präselektion nach individueller Ausprägung von Gesundheitssorgen, psychovegetativen Störungen, subjektiv bereits erfolgter Etikettierung als hypertonie-gefährdeter Mensch bzw. als "Hypertoniker", nach positiver Einstellung zu Vorsorgeuntersuchungen usw. methodisch grundsätzlich nicht kontrolliert werden.

Die Gruppierung der freiwilligen Untersuchungsteilnehmer erfolgt aufgrund der durch wiederholte Messungen an verschiedenen Tagen bestimmten Ruhewerte. Bei der Vergleichsgruppe der normotonen Probanden handelt es sich natürlich nicht um eine Kontrollgruppe im experimentellen Sinn, da ja eine Randomisierung ausgeschlossen ist.

Für die Auswahl von labil/hypertonen Personen (Grenzwert-Hypertonikern) statt von jüngeren Patienten mit milder Hypertonie waren methodologische Überlegungen maßgeblich. Das pathophysiologische Übergangsstadium ist psychophysiologisch-ätiopathogenetisch besonders interessant. Der Patienten-Status würde durch die nicht gering zu schätzenden labeling-Prozesse, wegen der Schwierigkeiten der Parallelisierung und aus praktischen Gründen wahrscheinlich mehr Probleme bereiten. Bei der Beschränkung auf grenzwertige Personen müssen jedoch die Risiken hingenommen werden, die sich aus der Unsicherheit des Kriteriums und aus der wahrscheinlich geringen Effektstärke der hypothetischen psychologischen und physiologischen Veränderungen für die interne Validität der Untersuchung ergeben.

### Replikation

Die gesamte Untersuchung wird mit identischer Methodik an einer zweiten Gruppierung von labil/hypertonen und normotonen Personen wiederholt, um die Ergebnisse der ersten Untersuchung zu überprüfen. Im Hinblick auf diese Replikation können in der ersten Untersuchung außer den expliziten Hypothesen auch explorative Analysen verfolgt werden, wobei auf die strikte Adjustierung des  $\alpha$ -Niveaus in diesem Stadium verzichtet wird.

Beide Untersuchungsabschnitte können in einer abschließenden Auswertung zusammengefaßt werden, was auch hinsichtlich der Besetzungshäufigkeiten der angestrebten Untergruppen wünschenswert ist.

Auch die Meßwiederholung an denselben Personen, z.B. im Abstand eines Jahres, wäre interessant, doch muß gegenwärtig eine breitere empirische Basis Vorrang gegenüber der Verlaufsanalyse haben (die als follow-up ohnehin noch langfristiger anzulegen wäre). Für diese Entscheidung sind die durchgängigen Inkonsistenzen der publizierten Befunde zur Grenzwert-Hypertonie maßgeblich.

#### Multimodales Assessment

Die hypothetischen Gruppenunterschiede sollen nicht allein für die explizit formulierten kardiovaskulären Aktivierungsparameter geprüft werden. Darüber hinaus wird eine relativ umfassende, weitgehend explorativ und induktiv orientierte Beschreibung geplant, um weitere Gruppenunterschiede zu erfassen, konvergierende Befunde zu suchen und neue Hypothesen für die Replikationsstudie zu formulieren.

Deshalb wird ein multimodales Assessment geplant: In multiplen Ableitungen (Mehrkanal-Registrierungen) und Selbsteinstufungen (Item-Listen) sollen physiologische und psychologische Merkmale des Aktivierungsprozesses in verschiedenen Settings bzw. Situationen erfaßt werden. Dieser Untersuchungsplan sieht sowohl Ruhe- und Belastungssituationen im Labor als auch naturalistische Bedingungen des individuellen Tageslaufs vor. Die Erweiterung der multisituationalen Laboruntersuchung durch ein psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring ist ein wesentlicher Fortschritt auf diesem Gebiet.

Das multimodale Assessment ist zwar aus theoretischen und praktischen Gründen zu rechtfertigen (siehe Abschnitt 1 und Fahrenberg, 1987), doch bringt dieser "multiplistische" Ansatz (Cook, 1985) abgesehen vom Arbeitsaufwand auch besondere Anforderungen an die Datenanalyse-Konzepte und Strategien zufallskritischer Prüfung mit sich. Eine auch für multivariate Analysen hinreichende Anzahl von Personen und zusätzliche Absicherungen - wie die identische Replikation der gesamten Untersuchung - sind für diesen Ansatz wesentlich.

#### Auswahl der Aufgaben/Belastungen

Es gibt eine Vielfalt von Aufgaben und Belastungen, die zur Provokation von Herz-Kreislauf-Veränderungen eingesetzt werden; in der überwiegenden Zahl der Untersuchungen werden jedoch - oft ohne besondere Begründung - nur wenige verwendet (siehe Fredrikson, 1986). Verschiedentlich sind mögliche Gesichtspunkte zur Klassifikation solcher Laboraufgaben gegeben und auch Präferenzen formuliert worden (z.B. Steptoe, 1985; Fahrenberg & Foerster, 1989;

Schneiderman, Weiss & Kaufmann, 1989; Stemmler, 1990). Es ist auch deutlich geworden, daß die von einigen Autoren bevorzugte Klassifikation, z.B. Kopfrechnen als "beta-adrenerg stimulierende Aufgabe" zu oberflächlich und u.U. irreführend ist.

Stemmlers (1990) Analysen sind durch pharmakologische Bedingungsvariation und durch Modellierungen von Aktivierungskomponenten anhand einer Multi-Parameter-Studie wesentlich gründlicher. Für die Alpha-Komponente ergab keine der verwendeten Aufgaben besondere Effekte. Für die Beta-Komponente ist zu differenzieren: Anstieg von "Beta 1" bei Antizipation von Satzergänzung und Kaltwasser-Versuch; Abnahme von "Beta 2" bei Kaltwasser-Test, Lärm, Sprechaufgaben; Abnahme von "Beta 3" bei Kaltwasser-Test, Handgriff, Kopfrechnen. Für die vagale Komponente wurde Abnahme während Sprechaufgaben, Handgriff und Kopfrechnen festgestellt. Diese Versuche zur empirischen Diskrimination bzw. Validierung solcher Aufgaben zeigen in plausibler Weise, daß relativ komplexe psychologische Aufgaben, bei denen zweifellos auch Rahmenbedingungen, Instruktion, Intensität und andere Charakteristika des Versuchs berücksichtigt werden müssen, keine einfachen Systemeffekte, z.B. im Sinne eines "beta-adrenergen" Tests, repräsentieren können.

Die folgenden Aufgaben wurden für diese Untersuchung ausgewählt, um ein breites Spektrum von mental, emotional und körperlich aktivierenden Bedingungen zu schaffen:

- eine Serie von akustischen Reizen zur Auslösung von Orientierungsreaktionen und zur Prüfung der Habituation (in Anlehnung an Turpin & Siddle, 1981);
- Kopfrechnen unter Lärmbedingungen in Anlehnung an das Bonner Labor (v. Eiff, 1976; Rüdell et al., 1988) als verbreitete und wirksame Belastung, die nicht durch Sprechaktivität oder Motorik kompliziert ist;
- Konzentrationsversuch mit zunehmender Schwierigkeit als "Überforderungsparadigma" in Anlehnung Walschburger et al. (1980) und an Kuhmann et al. (1985), um Mißerfolgserlebnisse und u.U. Überforderung, d.h. Versagen und Resignation, zu induzieren (siehe Dieterle, 1988);
- eine freie Rede mit Kritik an der Untersuchung, u.U. auch zur Provokation von latenten oder manifesten Ärgertendenzen und von verbal-aggressivem Verhalten geeignet, mit sprachfreier Vorbereitungsphase und Sprechphase - jeweils unter Zeitdruck;
- Handgriffversuch als einfaches Verfahren zur Steigerung des Blutdrucks, insbesondere des diastolischen Blutdrucks, der Herzfrequenz und des Herzminutenvolumens (siehe z.B. Costa et al., 1987);

- Atemanhalteversuch und Atempreßversuch (Valsalva-Manöver), um die Dynamik von Tachykardie und gegenregulatorischer Bradykardie zu beschreiben, wobei die Dynamik der Blutdruckregulation nicht-invasiv kaum zu erfassen ist (siehe auch Eckberg, 1980; Eckoldt et al., 1976);
- Kaltwasserversuch als traditionelles Verfahren, um die Vasoconstriction der Hautgefäße und den Blutdruck zu stimulieren und - bei anhaltender Exposition - eine Schmerzreaktion zu provozieren (siehe z.B. Rüdgel et al., 1984).

Am Anfang und am Ende der Untersuchung im Polygraph-Labor sind Ruhephasen vorgesehen, um möglichst basale Meßwerte zu erhalten und mögliche intraexperimentelle Trends prüfen zu können. Den Aufgaben und Belastungen gehen in der Regel Phasen mit Anleitungen voraus, außerdem sind Erholungsphasen vorgesehen.

Eine Permutation der Aufgaben und Belastungen wird nicht vorgenommen, da die Untersuchung nicht den Vergleich der Bedingungen, sondern die Beschreibung interindividueller Unterschiede als primäres Ziel hat, so daß die Vergleichbarkeit der Bedingungsabfolge - wie bei einer "Testbatterie" - wesentlich ist.

Im zweiten Untersuchungsteil, der im Kreislauf-Labor stattfinden soll, werden zwei dynamische Kreislauf-Funktionsprüfungen durchgeführt:

- Orthostase-Versuch mit passivem Kippen als weit verbreitete Methode zur Prüfung der Stehreaktion d.h. Umverteilung des Blutvolumens mit reflektorischer Gegenregulation vor allem des diastolischen Blutdrucks und der Herzfrequenz;
- Ergometer-Versuch, wobei durch dosierte submaximale Belastung von 100 Watt am Fahrradergometer das Verhalten von Blutdruck und Herzfrequenz während dynamischer Körperarbeit erfaßt werden soll (siehe Franz, 1986) - als "Goldstandard" bei der Prüfung von Kreislaufveränderungen (Buell et al., 1986).

Insgesamt haben diese oft verwendeten, innerhalb des Labors (aber nicht zwischen den Laboratorien) standardisierten Aufgaben für die teilnehmenden Probanden meist keine besondere persönliche Relevanz und provozieren - von den Atemmanövern und der Ergometerarbeit abgesehen - kein hohes Reaktionsniveau. Als zweckmäßige Ergänzung wurde deshalb ein psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring unter weitgehend unbeschränkten, naturalistischen Alltagsbedingungen geplant.

### Psychologische Variablen und Anamnesedaten

Die Auswahl der psychologischen Variablen wird von drei theoretischen Perspektiven, die für dieses Forschungsgebiet hervorragende Bedeutung haben, geleitet. Es sind drei Merkmalsgruppen:

- Risikomerkmale,
- allgemeines psychovegetatives Syndrom,
- Ärger und Aggressivität.

Durch einen Fragebogen zur Anamnese, zur Familienanamnese und zu Lebensgewohnheiten sollen Informationen über Risikomerkmale, u.a. familiäre Belastung, Übergewicht, Bewegungsmangel, Alkoholkonsum, gewonnen werden. Einige dieser Merkmale kommen u.U. als wichtige Kovariable in Betracht.

Beim psychovegetativen Syndrom und noch deutlicher bei Ärger/Aggressivität handelt es sich um Konstruktbereiche, die durch einen einzelnen Indikator nicht hinreichend repräsentiert werden können. Nur näherungsweise können durch die Kombination von standardisierten Fragebogen und Selbsteinstufungen wesentliche Subkonstrukte erfaßt werden. Die Validitätsprobleme von Fragebogen sind unverkennbar, wenn es um den Konstruktbereich Ärger/Aggressivität geht, weil in der psychosomatischen Theorie der Hypertonie gerade dem latenten, gehemmten bzw. unterdrückten Ärger spezifische Wirkung zugeschrieben wird. Hier wird ein multimodales Assessment notwendig; in der geplanten Untersuchung ist jedoch keine systematische Analyse möglich, sondern nur eine "Anreicherung" der relevanten Fragebogen-Skalen des FPI-R, d.h. Erregbarkeit, Aggressivität und Gehemmtheit, durch weitere Indikatoren dieses Konstruktbereichs:

- Skalen, welche die habituelle und aktuelle Ärgertendenz erfassen sollen und bei Ausdruck des Ärgers zwischen "Ärger nach innen" und "Ärger nach außen" unterscheiden (Skalenentwicklungen von Spielberger et al., 1983; Schwenkmezger & Hodapp, 1986);
- Selbsteinstufungen des Befindens während des Untersuchungsablaufs als "ärgerlich" oder "belästigt";
- Fremdeinstufungen und Selbsteinstufungen der Ärgertendenz und des Ärgerausdrucks auf der Grundlage eines kurzen Interviews;
- die Anzahl der geäußerten Kritikpunkte sowie Fremdeinstufungen manifeste und latente Ärgertendenzen in der aufgegebenen freien Rede, welche Kritik an der Untersuchung provozieren soll.

Eine Korrelationsmatrix dieser Variablen könnte Aufschluß darüber geben, inwieweit für die Indikatoren und bei dieser Personengruppe eine konvergente Validität anzunehmen ist.

Schließlich werden auf der psychologischen Seite auch einige Verhaltensdaten, vor allem Leistungskennwerte aus dem Konzentrationsversuch, gewonnen, welche für Prozeßanalysen verfügbar sind.

### Physiologische Variablen

Die kardiovasculären Veränderungen können in diesem Projekt nur mit nicht-invasiven Methoden gemessen werden. Diese Methoden haben bestimmte Vorzüge, aber auch Nachteile, weil für wichtige hämodynamische Parameter wie das Schlagvolumen nur Schätzwerte verfügbar sind und der arterielle Blutdruck mit der herkömmlichen Manschetten-Methode nur in Intervallen von mindestens einer Minute gemessen werden kann. Die Volumenregulation und neuroendokrine Parameter im Plasma können nicht bestimmt werden.

Auf der anderen Seite gilt, daß die gegenwärtigen Möglichkeiten der nicht-invasiven Methoden zur differenzierten Beschreibung von hämodynamischen Reaktionsverläufen noch nicht angemessen genutzt worden sind. Durch geeignete Analysen und Parameterkombination kann u.U. eine höhere Validität erreicht werden als es für einzelne kardiovasculäre Parameter anzunehmen ist. Die nicht-invasiven Messungen sind in der Regel relativ einfach durchzuführen, so daß routinemäßig eine größere Anzahl von Personen untersucht werden kann und anschließend auch multivariate statistische Konzepte anzuwenden sind.

Eine Übersicht über die verfügbaren nicht-invasiven Methoden für die kardiovasculäre Psychophysiologie (Fahrenberg & Foerster, 1989) entstand zusammen mit einer Multiparameter-Studie (Fahrenberg & Foerster, 1991) als Vorarbeit zu dem gegenwärtigen Projekt. Die Methodik ist mit den einzelnen Schritten der Registrierung und Parametrisierung, mit den Methoden- und Auswertungsproblemen ausführlich beschrieben, so daß hier der Hinweis auf dieses Buch genügen kann.

Über die kardiovasculären Funktionen hinaus sollen auch andere physiologische Aktivierungsvariablen, u.a. die elektrodermale Aktivität, Atemaktivität, Bewegungsaktivität und neuromuskuläre Funktionen im Elektromyogramm des Unterarms und der Lidschlag-Aktivität registriert werden. Schließlich sollen die Möglichkeiten des vorhandenen klinisch-chemischen Labors genutzt werden,

um aus dem Sammelurin des Untersuchungszeitraums Adrenalin- und Noradrenalin-Werte zu bestimmen.

### Anthropometrische Variablen

Zu verschiedenen Kontrollzwecken, aber auch im Hinblick auf individuelle Unterschiede in der Körperhaltung wurde eine Anzahl von Meßwerten des Körperbaus und der Körperhaltung erhoben.

### 1.10 Hypothesen

Die Untersuchung wird von mehreren expliziten Hypothesen geleitet, die sich trotz vieler Inkonsistenzen aus der Literatur ergeben.

Aus der Population der männlichen Studenten der Freiburger Hochschulen werden durch ein Screening und durch weitere Vormessungen Probanden ausgewählt, die sich im Ruhewert des Blutdrucks unterscheiden. Zwischen den labil/hypertonen und den normotonen Probanden werden Gruppenunterschiede erwartet:

1. in den Reaktionswerten des systolischen, diastolischen und mittleren Blutdrucks während verschiedener mentaler und emotionaler Belastungen;
2. in der Blutdruckregulation während des Orthostase-Versuchs und während des Ergometer-Versuchs;
3. in der Herzfrequenz (Ruhe-, Reaktions- und Erholungswerte);
4. in anderen kardiovaskulären Parametern, insbesondere Indizes des hyperkinetischen Syndroms bzw. eines erhöhten beta-adrenergen und alpha-adrenergen Erregungsniveaus: Schlagvolumen, Herzminutenvolumen, Systolenzeiten PEP und LVET, Heather-Index, Pulswellengeschwindigkeit;
5. in verminderter respiratorischer Arrhythmie (als Index verringerter vagaler Einflüsse auf das Herz);
6. auch in nicht-kardiovaskulären Parametern, die eine erhöhte (generalisierte) sympathische Aktivierung anzeigen, d.h. Parametern der elektrodermalen Aktivität, Adrenalin- und Noradrenalin-Ausscheidung im Urin;
7. in weiteren physiologischen Aktivierungsvariablen, d.h. Atemfunktionen, Bewegungsaktivität und neuromuskulären Funktionen;

8. in psychologischen Aktivierungsvariablen, d.h. Selbsteinstufungen der Befindlichkeit und der Körperwahrnehmungen während der Registrierungen;
9. in der Familienanamnese hinsichtlich Hochdruck und Herz-Kreislauf-Krankheiten.
10. in der habituellen Salzaufnahme und anderen möglichen Risikomerkmale wie Alkohol, Nikotin, Bewegungsmangel, Arbeitsbelastung;
11. in psychologischen Merkmalen des allgemeinen psychovegetativen Syndroms, d.h. Fragebogen-Skalen und Selbsteinstufungen zum Bereich Beanspruchung, körperliche Beschwerden, Gesundheitssorgen, Emotionalität;
12. in Merkmalen des Bereichs Erregbarkeit, Ärger, Aggressivität und Hemmung;
13. in psychologischen Variablen und physiologischen Meßwerten des psychophysiologischen 24-Stunden-Monitorings;
14. in der größeren Häufigkeit individualspezifischer Reaktionsmuster in ausgewählten kardiovaskulären Variablen;
15. in der langsameren Habituation der Orientierungsreaktion auf eine Serie akustischer Stimuli.

Im Ergebnisteil des Berichts geht der Prüfung dieser Hypothesen ein umfangreicher deskriptiver Teil mit gründlicher Beschreibung der empirischen Basis voraus.

## 2. Versuchsplan und Methodik

### 2.1 Übersicht

Das Projekt hat mehrere Ziele und gliedert sich in mehrere Abschnitte: Screening zur Auswahl von Probanden, Voruntersuchung, Hauptuntersuchung im Polygraph-Labor und im Kreislauf-Labor sowie psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring. An diesem letzten Untersuchungsabschnitt konnten nicht alle Probanden teilnehmen, weil anfangs nur eine Gerätekonfiguration verfügbar war. Die Auswahl der Probanden, die wichtigsten Einzelheiten des Datenerhebungs-Plans und der Methodik werden im folgenden dargestellt. Die Dokumentation im Anhang enthält u.a. die speziellen Fragebogen, die Anleitungen, Variablenlisten und weitere Tabellen.

### 2.2 Probanden

Die Auswertung für das Blutdruck-Screening erfolgte durch Handzettel und Anzeigen, welche zu einer ersten Blutdruckmessung an dem Meßstand (Stavomed BMC 5000, Speidel & Keller, Jungingen) als Voraussetzung für die eventuelle Teilnahme an der geplanten Untersuchung einluden. Mit dankenswerter Unterstützung der Freiburger Universitätsbibliothek (Direktor Prof. Dr. W. Kehr) und des Studentenwerks (Geschäftsführer H.J. Müller-Klute) konnte das Screening in der Universitätsbibliothek bzw. in der Mensa stattfinden.

Männliche Studenten mit grenzwertig erhöhtem bzw. labilem Blutdruck wurden bevorzugt - neben Studenten mit normotonomem Blutdruck als Vergleichsgruppe - zur Voruntersuchung in das Labor der Forschungsgruppe Psychophysiologie eingeladen, falls außerdem die folgenden Bedingungen erfüllt waren:

- Alter zwischen 20 und 30 Jahren,
- Muttersprache Deutsch,
- Körpergewicht zwischen ca 60 bis 90 kg,
- Student der Freiburger Universität und Hochschulen mit Ausnahme von Studenten der Psychologie,
- keine Teilnahme an früheren Untersuchungen der Forschungsgruppe Psychophysiologie.
- zur Zeit nicht in ärztlicher Behandlung.

Die im Sitzen automatisch gemessenen Blutdruckwerte sind wegen der äußeren Bedingungen und wegen der Meßmethodik nur sehr grobe Informationen, welche jedoch zweckmäßig waren, um den Aufwand der Voruntersuchung zur Auswahl

labil/grenzwertiger Probanden zu verringern. Aufgrund von mehr als 1000 Einzelmessungen an einem großen Personenkreis, der auch Frauen und wegen des Alters nicht infrage kommende Männer umfaßte, wurden 122 Studenten zur Voruntersuchung eingeladen.

Die Voruntersuchung bestand aus dem Beantworten von Fragebogen, Blutdruckmessung im Untersuchungsraum (liegend), Kurzinterview mit Blutdruckmessung und EKG-Registrierung, Zeigen des Polygraph- und des Kreislauf-Labors mit Demonstration der wesentlichen Aufgaben und Anforderungen der Hauptuntersuchung.

Aufgrund dieser Voruntersuchung wurden 84 Studenten in die Untersuchung aufgenommen. Gründe für die Nicht-Aufnahme waren in wenigen Fällen akute Erkrankung (Erkältung) oder die Angabe, wegen Herz-Kreislauf-Störungen in ärztlicher Behandlung zu sein; in der Mehrzahl waren die normotonen Blutdruckwerte für die Zurückweisung maßgeblich. Da sich bei nicht wenigen potentiellen Teilnehmern die Blutdruckwerte im Vergleich zum Screening deutlich normalisiert hatten, wurden sie nicht aufgenommen, um den Anteil der labil/grenzwertigen Probanden zu maximieren.

Da das Projekt aus drei größeren und relativ selbständigen Abschnitten unter verschiedenen Versuchsleitern bestand, wurde in jedem Abschnitt die maximale Anzahl gut auswertbarer Registrierungen verwendet:

im Polygraph-Labor N=81,

im Kreislauf-Labor N=84 (siehe Darsow, 1991),

24-Stunden-Monitoring N=62 (siehe Heger, 1990).

Im vorliegenden Bericht geht es, da die anderen Abschnitte bereits in den zitierten Arbeiten dargestellt sind, um die Schnittmenge der 81 Probanden, von denen - außer Fragebogen und Kurzinterview - die Registrierungen in beiden Laboratorien vorliegen. Für 52 dieser 81 Probanden konnten hinreichend lange Feldregistrierungen von mindestens 20 Stunden Dauer und mit mindestens acht Eingaben von Selbsteinstufungen gewonnen werden (siehe auch Fahrenberg, Heger, Foerster & Müller, 1991).

Zur Beschreibung dieser Probanden sind in Tabelle 2.1 Mittelwerte und Standardabweichungen ausgewählter Variablen zusammengestellt, so daß auch ein Vergleich und eine Fortschreibung entsprechender Statistiken der vorausgegangenen Untersuchungen möglich sind (siehe Fahrenberg et al., 1984, S. 51/52).

Die Probanden nahmen als freiwillige, durch ein detailliertes Informationsblatt unterrichtete Versuchspersonen für ein Gesamthonorar von DM 150.- für alle Untersuchungsabschnitte einschließlich Feldregistrierung teil.

Tabelle 2.1: Ausgewählte Variablen zur Beschreibung der Probanden: Alter, Semesterzahl, anthropometrische Variablen, Testwerte des Freiburger Persönlichkeitsinventars FPI-R und der Freiburger Beschwerdenliste FBL.

	M	SD		M	SD
Alter	23.9	2.4	Körpergröße	181.1	6.9
Semesterzahl	7.0	4.2	Körpergewicht	74.4	7.7
			Obesity-Index	125.4	126.1
FPI-R Lebenszufriedenheit	6.3	3.3	FBL Allgemeinbefinden	19.2	4.1
Soziale Orientierung	7.3	2.3	Emot. Reaktivität	18.3	4.5
Leistungsorientierung	6.4	2.4	Herz-Kreislauf	14.0	5.0
Gehemmtheit	5.7	3.3	Magen-Darm	16.1	3.9
Erregbarkeit	5.8	3.0	Kopf-Hals	17.0	4.9
Aggressivität	4.4	2.4	Anspannung	20.9	5.7
Beanspruchung	5.0	3.1	Sensorik	19.1	5.6
Körperl. Beschwerden	3.1	2.5	Schmerz	15.2	4.6
Gesundheitssorgen	4.0	2.4	Motorik	16.8	5.2
Offenheit	8.4	2.1	Haut	13.8	4.6
Extraversion	7.7	3.6	Beschwerden Summe	170.4	32.0
Emotionalität	6.5	3.5			

Anmerkung: Im Vergleich zur Normstichprobe (Männer 16-24 Jahre) des FPI-R entsprechen die Mittelwerte der Probanden einem Stanine-Wert 5 bei den Skalen BEAN und OFF, einem Stanine-Wert 6 (oberer Normbereich) bei den Skalen SOZ, GEH, ERR, KÖRP, GES und EMOT, einem Stanine-Wert 4 (unterer Normbereich) bei den Skalen LEB, LEI, AGGR und EXTR.

## 2.3 Untersuchungsablauf

### 2.3.1 Voruntersuchung

Die Voruntersuchung gliedert sich in das Ausfüllen der Fragebogen und den Laborteil mit Blutdruckmessung, Kurzinterview und Demonstrationen.

Den Probanden wurde zunächst ein Informationsblatt über die allgemeine Zielsetzung des Projekts und über die Untersuchungsabschnitte und Termine gegeben, und eventuelle Fragen wurden beantwortet. Anschließend erhielten sie die folgenden Fragebogen:

		Anzahl der Items	Skalen
LGW	Gesundheitszustand und Lebensgewohnheiten	37	-
ZLU	Zeitdruck, Leistungsmotivation, Ungeduld	14	2
	Familienanamnese	144	9
	Salzaufnahme	2	-
FBL	Freiburger Beschwerdenliste (Fahrenberg & Hampel, 1982)	79+28	11
SE	Selbsteinstufungen (zu Übungszwecken) Zustands- und Veränderungs-Einstufungen	14	-
FPI-R	Freiburger Persönlichkeitsinventar (Fahrenberg, Hampel & Selg, 1989)	138	12
AxGA1	Fragebogen zur Selbstschreibung Ärger-Ausdruck Innen/Außen (Hodapp, 1986, nach Spielberger, siehe auch Schwenkmezger & Hodapp, 1986)	17	2
STPI-GA2	Fragebogen zur Selbstbeschreibung Angst, Ärger, Neugier (Hodapp, 1988, nach Spielberger)	57	3
SVF	Stress-Verarbeitungs-Fragebogen (Janke, Erdmann & Boucsein, 1985)	114	20

Die Itemschlüssel der Skalen aus ZLU, AxGA1 und STPI-GA2 befinden sich mit Angaben zur Konsistenz im Anhang.

Die Blutdruckmessung fand nach dem Ausfüllen der Fragebogen im Vorraum des Labors nach 5 Minuten ruhigen Liegens (ohne Anwesenheit anderer im Raum) statt. Der Blutdruck wurde sorgfältig auskultatorisch unter Verwendung eines geeichten Quecksilbermanometers (Erkameter) zweimal gemessen, wobei der systolische und der diastolische Wert in Phase 4 und in Phase 5 protokolliert wurden. Zu Beginn des Untersuchungszeitraums wurden sowohl normotone als

auch grenzwertig hypertone Studenten in die Untersuchung aufgenommen, später vorzugsweise solche mit erhöhtem Blutdruck.

Anschließend wurde der Proband nach kurzer Erläuterung des Polygraphen in die klimatisierte Untersuchungskabine geführt. Während des Anlegens der EKG-Elektroden, der Armmanschette und des Korotkoff-Mikrophons wurden diese Erläuterungen fortgesetzt. Die Blutdruckmessung in bequemer Sitzlage wurde mit einem geeichten Blutdruckautomaten (Tensiomat FIB 4/6, Boucke, Tübingen) durchgeführt, nachdem die optimale Position des Mikrophons und die optimale Verstärkereinstellung durch Probieren und ggf. wiederholtes Justieren im Vergleich der Gerätemessung mit der auskultatorischen Kontrollmessung festgestellt wurden. Während des Kurzinterviews wurde das EKG fortlaufend registriert. Die Blutdruckmessung wurde nach der Formulierung bestimmter Fragen vom Interviewer mittels Fernbedienung ausgelöst. Sie fällt in die Pause vor der Antwort, z.T. auch in die Sprechaktivität der Antwort.

Im Interview wurde einleitend, um den Zusammenhang mit dem Thema der Untersuchung herzustellen, nach Kreislaufkrankheiten in der Familie des Probanden gefragt. Es folgten drei Versuche zur Schätzung der eigenen Herzfrequenz. Die folgenden Fragen sollen Körperwahrnehmungen während verschiedener Emotionen bzw. Situationen explorieren: eine Situation mit starkem Herzklopfen ohne körperliche Anstrengung, körperliche Reaktionen während Angst und Ärger, Ärgerausdruck nach außen oder innen, körperliche Reaktionen bei "Stress" und psychologische Bewältigungsformen. Schließlich wurde nach individualspezifischen Körpersymptomen bei Emotionen und Stress bzw. nach Körperfunktionen maximaler Reaktivität gefragt. Das Interview-Schema ist im Anhang enthalten. Fragen und Antworten wurden - mit Zustimmung der Probanden - auf Tonband zwecks späterer inhaltlicher Auswertung aufgezeichnet.

Der Unterabschnitt zur Prüfung der Herzwahrnehmung verlangte von den Probanden, ihren Herzschlag zu zählen bzw. zumindest zu schätzen: in einem vom Interviewer durch optische Signale vorgegebenen Intervall von 35, 25 und 45 Sekunden. Da mehrere Probanden kaum Schätzungen zu geben vermochten und die Versuchsanordnung Fehlerquellen in der Größenordnung von einigen Sekunden hat, sind die erhaltenen Werte nur als grobe Informationen anzusehen. In der Replikationsstudie wurde auf diesen Abschnitt verzichtet. Die Instruktion wurde in Anlehnung an Weitkunat, Schandry, Sparrer & Beck (1987) formuliert.

Nach dem Kurzinterview, das abwechselnd einer von zwei Interviewern E oder F führte, wurden dem Proband die Aufgaben demonstriert und z.T. auch praktisch geübt, um mit dem jeweiligen Prinzip und den Geräten vertraut zu ma-

chen. Praktisch geübt wurden nicht nur die Atemmanöver und der Handgriff-Versuch, sondern mittels eines verkürzten Demo-Programms auch die PC-gestützten Aufgaben des Rechenversuchs, Konzentrationsversuchs und die Skalen zur Selbsteinstufung der Ausgangslage sowie der erlebten Veränderungen während der Untersuchung. Nicht demonstriert wurde die Aufforderung, Kritik an der Untersuchung zu üben.

Entsprechend wurden anschließend im Kreislauf-Labor Ergometer und Atemmasken demonstriert. Auf der Kippliege wurde der Proband einmal in waagerechte und dann wieder in senkrechte Position gekippt, um die sonst mögliche Schreck- bzw. Start-Reaktion im Hauptversuch zu reduzieren.

### 2.3.2 Hauptuntersuchung im Polygraph-Labor

Die Untersuchung im Polygraph-Labor soll individuelle Unterschiede der Blutdruckregulation bei verschiedenen mentalen, emotionalen und körperlichen Belastungen erfassen. Darüberhinaus interessieren physiologische, insbesondere hämodynamische Reaktionsmuster, aber auch psychologische Unterschiede in den Selbsteinstufungen und Verhaltensdaten.

Die Untersuchungen fanden im Zeitraum vom 24. Juni bis 5. August und 13. Oktober bis 27. Oktober 1987 statt. Es gab am Tag zwei Untersuchungstermine: 8 Uhr und 11 Uhr mit einer durchschnittlichen Dauer von ca 4 1/2 Stunden für die Untersuchung im Polygraph- und Kreislauf-Labor.

Nach der Begrüßung wurde der Proband gebeten, seine Blase zu entleeren. Händewaschen mit warmem Wasser diente zur Vorbereitung der Haut für die EDA-Elektroden und zum Anwärmen für die Fingerplethysmogramm-Registrierung. Es wurde ein kurzer Fragebogen vorgelegt, um das "Augenblickliche Befinden vor der Untersuchung" (siehe Anhang), u.a. Schlafdauer, Allgemeinbefinden und Erwartungsspannung zu erfassen. Im Hinblick auf die vorgesehene Urinsammlung war ein Glas mit ca 150 ml natriumarmem Mineralwasser zu trinken. Nach 5 Minuten ruhigen Liegens im Vorraum des Labors wurde der Blutdruck auskultatorisch zweimal gemessen.

Anschließend wurden die Elektroden für die Impedanzkardiographie, für die Ableitung der EDA und des EMG angebracht und Körpermaße bestimmt: Körpergröße, Gewicht, Brustumfang (exspiratorisch), Elektrodenabstand E2/E3 vorne und hinten, Abstände Jugulum-Processus Xiphoideus, Jugulum-Herzschall-Maximum, Jugulum-Carotis Pulsstelle, Jugulum-Oberrand des Ohrs, Jugulum-Radialis Pulsstelle, Jugulum-Fingerspitze des Zeigefingers, Fingervolu-

men im Plethysmograph-Zylinder, Oberarm (Bizeps)-Umfang in Höhe der Brachialis-Pulsstelle. Die relevanten Punkte wurden mit Farbstift markiert, um das Anbringen der Pulsaufnehmer zu erleichtern.

In der Untersuchungskabine wurden die Pulsaufnehmer für Ohrpuls, Carotispuls, Radialis puls und Fingerpuls unter Signalkontrolle mittels Oszilloskop, außerdem das Herzschatall-Mikrofon, Blutdruck-Manschette und Korotkoff-Mikrofon, der Atemgürtel, die EKG-Elektroden (II. Ableitung) und der Fühler für die Fingertemperatur angelegt. Die Justierung der Pulsaufnehmer, speziell die Anbringung des Korotkoff-Mikrophons mit den notwendigen Kontrollmessungen sowie die Proberegistrierungen nahmen ca eine halbe bis zu einer Stunde in Anspruch, so daß die Probanden um ihr Verständnis für diese schwierigen Vorarbeiten gebeten wurden. Nach initialen Aktivierungseffekten haben diese relativ lange Vorbereitung und die Eingewöhnung bei der Voruntersuchung wahrscheinlich verhältnismäßig basale Ausgangswerte in der Phase "Anfängliche Ruhe" ermöglicht.

Das Datenaufnahme-Programm PDE47A für 16 Kanäle (Autor: W. Müller) beginnt mit Eichroutinen für das IKG ( $dz/dt$ ,  $Z_0$ ), EKG, EMG-Lid, EMG-Arm, Fingerpulsamplitude, EDA. Ohne spezielle Eichung wurden aufgenommen: Blutdruck-Korotkoff-Geräusche und Manschettendruck (Geräteeichung), Ohr-Puls, PKG, Carotis-Puls, Radialis-Puls, Pneumogramm, Temperatur von Kabine und Finger (mit Referenztemperatur), Bewegungsaktivität.

Mit dem Programm PDE47A wurden während des Versuchs das Tonband (Uher Royal) mit den gesprochenen Instruktionen und der PC gesteuert. Auf dem PC AMIGA wurden mit dem Programm "Studie 47" (Autor: G. Brügner) die schriftlichen Instruktionen, die Aufgaben und die Skalen für die Selbsteinstufungen dargestellt und die mittels Tastatur eingegebenen Antworten bzw. Reaktionen gespeichert.

Die Untersuchungskabine ist schallgedämmt und vollklimatisiert: Temperatur  $25 \pm 1$  Grad,  $55 \pm 5\%$  relative Feuchte; Schallpegel 35 dB(A) nach DIN 45633, Dämmung von Außengeräuschen 50-60 dB, Grundhelligkeit ca 8 lux am Auge des Probanden. Außentemperatur, Raumtemperatur und relative Feuchte in der Kabine wurden täglich protokolliert.

### 2.3.2.1 Phasen der Registrierung

Die Tabelle 2.2 gibt eine Übersicht über die 12 Phasen der Registrierung mit ihren Unterphasen und den Segmenten der Datenaufnahme, die insgesamt 2995

Sekunden (60 Minuten) dauerte. Mit den Instruktionen, Selbsteinstufungen und Pausen beansprucht dieser Untersuchungsabschnitt durchschnittlich 90 Minuten.

Im Anhang befinden sich eine Übersicht über die Dauer aller Unterphasen, Anleitungen, Pausen, Befindenseinstufungen und die Zeitpunkte der insgesamt 30 Blutdruckmessungen sowie die Anleitungen, die teils vom Tonband und teils durch den PC AMIGA gegeben wurden.

Die Phasen Anfängliche Ruhe (210s), Pause vor dem Handgriffversuch (30s) und Endruhe (120s) sollten die Registrierung relativ niedriger, basaler Werte ermöglichen.

Anfängliche Ruhe ARU. Der Proband wird gebeten, möglichst ruhig, ohne zu sprechen und mit geöffneten Augen zu sitzen, damit die Ruhewerte registriert werden können. Nach dieser Ruhephase werden die ersten Selbsteinstufungen mittels Skalen bzw. Tastatur erbeten. Der Proband wird aufgefordert, sich sein augenblickliches Befinden gut einzuprägen, da es als Bezugsbasis der späteren Einstufungen dient.

Habituation HAB. Es wurde ein Aufmerksamkeitsparadigma in Anlehnung an Turpin & Siddle (1983) verwendet, bei dem auf Töne geachtet werden soll. Die Stimuli von 1000 Hz und zwei Sekunden Dauer haben einen Pegel von ca 80-85 dB(A), der mit einem Precision Sound Level Meter Type 2206 (Brüel & Kjaer, Kopenhagen) am Ohr des Probanden in Richtung Schallquelle bei diffussem Hintergrundpegel von ca 45 dB(A) gemessen wurde. Die Interstimulus-Intervalle (ISI von offset bis onset) der 10 Stimuli betragen 20, 30, 20, 20, 25, 30, 25, 30, 25 und 10 Sekunden Nachlauf.

Rechenversuch RE. Nach der Anleitung werden auf dem Bildschirm ein- und zweistellige Zahlen zur fortlaufenden Addition bzw. Subtraktion dargeboten, wobei über eine Lautsprecherbox Lärm verschiedener Qualitäten (siehe Fahrberg et al., 1979) mit einem Pegel von ca 70 bis 80 dB(A) in den Maxima zu hören ist. Nach 250 Sekunden wird die Zahlenfolge abgebrochen und nach den Ergebnissen gefragt. Es folgen eine Erholungsphase und die Befindenseinstufung. Der Proband soll mit dem Cursor in einer Liste von sieben möglichen Ergebnissen die richtige Zahl kennzeichnen. Die Anzahl der Operationen und die erreichte Prämie werden automatisch mitgeteilt.

Atemanhalten AA. Nach der Anleitung soll der Atem expiratorisch 30 Sekunden angehalten werden, wobei die auf dem Bildschirm dargestellte 30-Sekun-

Tabelle 2.2: Phasen und Unterphasen der Registrierung im Polygraph-Labor. Dauer der Untersuchung ohne die Vorbereitung ca 90 Minuten, davon 2995 s Datenaufnahme. Der Habituationsversuch wurde getrennt ausgewertet.

Phase	Unter-		Name	Datenaufnahme		
	Nr.	Name		Dauer von s	bis	s
1	1.	ARU	<u>Anfängliche Ruhe</u>	210	1	210
2	-	HAB	<u>Habituationsversuch</u>	290	-	-
3		RE	<u>Rechenversuch</u>			
3.1	2.		Anleitung und Pause	60	1	60
3.2	3.		Rechnen	180	71	250
4	4.	REE	<u>Erholung nach Rechnen</u>	60	1	60
5		AA	<u>Atemanhalteversuch</u>			
5.1	5		Anleitung und Pause	25	1	25
5.2	6		Atemanhalten	25	31	55
5.3	7		Erholung	55	66	120
6		KON	<u>Konzentrationsversuch</u>			
6.1	8.		Pause 1	60	1	60
6.2	9.		Phase 1	240	71	310
6.3	10.		Pause 2	60	321	380
6.4	11.		Phase 2	240	381	620
6.5	12.		Pause 3	60	631	690
6.6	13.		Phase 3	300	701	1000
7	14.	KONE	<u>Erholung nach Konz.Vers.</u>	60	1	60
8		AP	<u>Atempreibversuch</u>			
8.1	15		Anleitung und Pause	55	1	55
8.2	16		Atempreibversuch	25	61	85
8.3	17		Erholung	60	96	155
9		HG	<u>Handgriffversuch</u>			
9.1	18		Pause	30	1	30
9.2	19		Anleitung und Pause	25	36	60
9.3	20.		Handgriffversuch	55	71	125
9.4	21.		Erholung	45	131	175
10		KRI	<u>Kritik</u>			
10.1	22		Anleitung	50	1	50
10.2	23.		Vorbereitung	60	51	110
10.3	24.		Sprechen	90	111	200
10.4	25.		Erholung	60	201	260
11		KW	<u>Kaltwasserversuch</u>			
11.1	26		Anleitung und Pause	60	1	60
11.2	27.		Phase 1	55	81	135
11.3	28.		Phase 2	55	136	190
11.4	29.		Erholung	50	201	250
12	30.	ERU	<u>Endruhe</u>	120	1	120

115  
✓

den-Uhr real 33 Sekunden läuft, um ein möglichst nicht durch Artefakte beeinträchtigt Segment von 30 Sekunden zu erhalten. Anschließend folgen eine Erholungsphase und Selbsteinstufungen.

Konzentrationsversuch KON. Zu Beginn wird die an der rechten Armlehne fixierte Tastatur auch auf dem Bildschirm angezeigt, um noch einmal an die Funktionen zu erinnern. Der Proband soll die auf dem Bildschirm erscheinenden Matrizen mit 36 zweistelligen Zahlen inspizieren und möglichst schnell eine der vier entsprechenden Tasten drücken, wenn die Zahl 43 oder die Zahl 63 oder beide oder keine dieser Zahlen vorkommt. Es gibt richtige und falsche bzw. verspätete ("Zeit vorbei") Reaktionen. Das Ergebnis wird optisch und akustisch zurückgemeldet und zusätzlich noch durch den Stand der als Geldsäule (Markstücke und 10 Pfennig-Münzen) dargestellten Prämie, die mit einem Einsatz von DM 4.50 beginnt und sich bei richtiger oder falscher Reaktion jeweils um eine 10 Pfennig-Münze ändert.

Durch einen Algorithmus, der in Anlehnung an W. Kuhmann, Gießen, von G. Brügner programmiert wurde, verändern sich die Vorgabezeiten der Matrizen in Abhängigkeit von der Leistung der Probanden. Je mehr richtige Reaktionen gegeben wurden, desto kürzer werden die Vorgabezeiten, d.h. desto schwieriger wird die Aufgabe (siehe auch Dieterle, 1988), andererseits werden bei häufigen Fehlreaktionen die Vorgabezeiten verlängert. Auf diese Weise kann ein bestimmtes Erfolgsniveau eingestellt und in etwa gehalten werden (Tracking-Paradigma).

Nach einer Trainingsphase, die zwei Minuten und maximal 10 Matrizen dauert, folgen, jeweils durch 60 Sekunden Pause getrennt, drei Aufgabenphasen von 240, 240 und 300 Sekunden Dauer. Die Erfolgsquoten der drei Phasen wurden als 80%, 50% und 30% vorgegeben.

Es folgen eine Erholungsphase, die Rückmeldung der Prämie und Selbsteinstufungen, die hier noch zusätzliche Fragen zur Einschätzung der eigenen Leistung und Überforderung enthalten.

Atempreßversuch AP. Das Valsalva-Manöver wird mit einem Manometer kontrolliert. Der Proband, der dies in der Voruntersuchung geübt hatte, bläst über ein Pappmundstück, das an einem Schwenkarm vor den Mund gezogen wird, in ein System, das ein Leck mit einem Druckabfall von ca 10 mm in 1 Sekunde aufweist. Um den markierten Skalenwert auf dem großen Manometer (hier 40 mmHg) zu halten, wird der Proband genötigt, nicht nur zu pressen, sondern zu

pusten. Die auf dem Bildschirm dargestellte 30-Sekunden-Uhr läuft real 35 Sekunden. Es folgen Erholungszeit und Selbsteinstufungen.

Handgriffversuch HG. Der Handgriff des eigens konstruierten Dynamometers soll mit der linken Hand maximal zusammengedrückt und, wenn irgend möglich, so gehalten werden. Die dargestellte 60-Sekunden-Uhr läuft real 63 Sekunden.

Kritik KRI. In dieser Phase wird der Proband aufgefordert, offen und direkt zu sagen, was an dem bisherigen Untersuchungsablauf und am Umgangsstil gestört oder geärgert hat (siehe Text der Anleitung im Anhang). Die wichtigsten Kritikpunkte sollen zunächst im Stillen vorbereitet und dann in einer freien Rede vorgetragen werden (Tonbandaufzeichnung). Die Uhr läuft 60 Sekunden für die Antizipation und 90 Sekunden für das Sprechen. Es folgen Erholungsphase und Selbsteinstufungen.

Kaltwasserversuch KW. Der Proband wird gebeten, mit der linken Hand den Deckel des Isoliergefäßes zu öffnen und nach dem Startsignal die Hand bis zum Handgelenk einzutauchen. Die Wassertemperatur ist durch zwei sog. Kälteakkus und ein externes Magnetrührwerk auf ca +4° Celsius stabilisiert. Der Proband soll eine Taste am Boden der Wanne drücken, damit der Tendenz, die Hand aktiv zu bewegen, entgegengewirkt wird. Außerdem wird speziell dieser Untersuchungsabschnitt durch das Fenster der Kabine beobachtet. Die dargestellte 120-Sekunden-Uhr läuft real 124 Sekunden, um trotz der Artefakte beim Eintauchen bzw. Herausziehen der Hand ca 120 Sekunden Datenaufnahme zu ermöglichen. Anschließend kann der Proband seine Hand an einem Handtuch abtupfen und durch den von außen eingeschalteten Föhn anwärmen lassen.

Nach einer Erholungsphase beginnen die Selbsteinstufungen mit speziellen Fragen zum Schmerzempfinden und Durchhaltevermögen in diesem Kaltwasserversuch.

Endruhe ERU. Der Proband wird gebeten, sich für die Registrierung der Ruhewerte am Ende der Untersuchung völlig zu entspannen. Nach dieser Phase folgen die letzten Selbsteinstufungen.

Nach der Registrierung werden die Elektroden und andere Aufnehmer abgenommen, und dem Probanden wird am Polygraphen sein Registrierstreifen gezeigt und etwas erläutert. Bevor der nächste Untersuchungsabschnitt im Kreislauf-Labor beginnt, beantwortet der Proband den ersten Teil des "Fragebogens zum Versuchserleben", in dem nach einer Beurteilung des gesamten Versuchs sowie bestimmter Bedingungen und Aufgaben unter dem Gesichtspunkt, wie unange-

nehm oder störend es war, gefragt wird (siehe Anhang). Schließlich wird die Urinprobe für die Catecholamin-Bestimmung im Labor gesammelt.

### 2.3.2.2 Selbsteinstufungen

Die Befindenseinstufungen im Polygraph-Labor wurden nach den einzelnen Phasen erbeten, wobei bestimmte Items nach jeder Phase, andere Items nur nach bestimmten Phasen verwendet wurden. Nach der Anfänglichen Ruhe erschien auf dem Bildschirm der Text "Mein Befinden in der Anfänglichen Ruhe war ..." und es folgten nacheinander 11 Items mit jeweils siebenstufigen graphischen Skalen, für die Zustandsskalierung mit den Abstufungen: völlig, fast völlig, überwiegend, ziemlich, etwas, ein bißchen, gar nicht (die siebenstufigen Beschwerden-Items haben die Abstufungen sehr stark, stark ...). Das in oberster Position vorgegebene Markierungs-Kreuzchen kann mit Cursortasten bewegt und an die zutreffende Position gebracht werden, wobei vor der endgültigen Eingabe noch eine Abfrage zwecks möglicher Korrektur erfolgt. Die Probanden waren aus der Voruntersuchung mit dieser Eingabe vertraut.

Die Items für die Zustandsskalierung lauten:

1 körperlich angespannt	KANG
2 geistig angespannt	GANG
3 emotional angespannt	EANG
4 gut gelaunt	GUTG
5 ärgerlich	AERG
6 belästigt	BELAE
7 misstrauisch	MISSM
8 nervös	NERV
9 Herzklopfen	HERZK
10 Hände kalt	HKALT
11 Hände feucht	HFEU

Nach den Belastungen wurden elfstufige Skalen zur retrospektiven Veränderungsskalierung verwendet mit den Abstufungen "im Vergleich zur anfänglichen Ruhe fühlte ich mich ..." +5 viel mehr .../ 0 unverändert/ -5 viel weniger ... Auch diese Art der Selbsteinstufung war in der Voruntersuchung erläutert und geübt worden.

Nach der Rechenversuch-Erholungsphase: Item 1-11, außerdem (12) Atmung schneller ATM, (13) körperliche Reaktionen insgesamt KOERP.

Nach dem Atemanhalten: Item 1, 9, außerdem (14) unregelmäßiger Puls PULSU, (15) Blutandrang zum Kopf BLAND, (16) Schwindelgefühl SCHWI, Item 13.

Nach der Konzentrationsversuch-Erholungsphase zuerst spezielle Items: angestrengt bei Aufgaben (Skala 1-7, 7 = maximal), bei der 3. Serie mehr angestrengt (7 = sehr viel mehr), eigene Leistung (7 = klarer Erfolg), eigene Leistung im Vergleich zu anderen (7 = viel besser), am Schluß überfordert (7 = völlig), noch länger mitgemacht (Skala 1-5, 5 = viele Minuten), anschließend Item 1-13.

Nach dem Atempreßversuch: Item 1, 9, 14-16, 13.

Nach dem Handgriffversuch: Item 1, 9, 14-16, 13.

Nach der Kritik: Item 1-13

Nach dem Kaltwasserversuch zuerst spezielle Items: Kälte schmerzhaft (7 = sehr stark), noch durchhalten können (Skala 1-3, 3 = ja), dann Items 1, 9, 14-16, 13.

Nach der Endruhe: Item 1-13.

Über den PC-Bildschirm wurden dem Probanden außerdem die Ergebnisse der Leistungstests zurückgemeldet.

### Mini-Skalen

Da es für die vier Phasen REE, KONE, KRI und ERU Blöcke von 13 identischen Items gibt, für vier weitere Phasen AA, AP, HG und KW Blöcke von 6 identischen Items und für diese acht Phasen 3 identische Items, wurden durch Mittelung von Items der Zustands- bzw. Veränderungs-Einstufung Miniskalen gebildet.

ANG ist ein Aggregat aus KANG, GANG und EANG für jede Phase. KANG Be, GANG Be usw. sind Aggregate dieses Items über alle sieben Belastungsphasen (ohne ARU). ANG Be ist das Aggregat von KANG Be, GANG Be und EANG Be, d.h. aller Anspannungs-Einstufungen des Versuchs nach ARU. HAND ist ein Aggregat der Items Hände kalt und Hände feucht, BLUT ist ein Aggregat der Items Blutandrang zum Kopf und Schwindelgefühl.

### 2.3.2.3 Verhaltensdaten

Protokolliert wurden für den Rechenversuch Anzahl und Genauigkeit (Stufen 0 bis 3 hinsichtlich der Abweichung vom richtigen Ergebnis), die Teilzeiten des Konzentrationsversuchs in den drei Versuchsphasen und die Prämien für den Rechenversuch und für den Konzentrationsversuch. Die Prämie für den Rechenversuch wurde als Produkt aus der Anzahl der Operationen und der Genauigkeit berechnet: bei richtigem Gesamtergebnis Faktor 7, bei geringer Abweichung (Stufe 1) Faktor 4, bei größerer Abweichung (Stufe 2) Faktor 2 und bei großer Abweichung (Stufe 3) Faktor 1. Dieses Produkt ergab den auszahlenden Geldbetrag; die Prämie für den Konzentrationsversuch ergibt sich aus dem letzten Stand der Geldsäule.

In einem sekundären Auswertungsschritt wurden die Reaktionszeit (Mittelwert, Standardabweichung), die Vorgabezeit, die Anzahl bearbeiteter Matrizen, die Anzahl richtiger Reaktionen, der Prämienstand, Prozent richtiger und falscher Reaktionen, Prozent Zeitüberschreitungen berechnet, wobei jeweils vier Parameter vorliegen: Phase 1 (240s), Phase 2 (240s), Phase 3 (Sekunde 1-240) und vollständige Phase 3 (300 s). Außerdem wurden Differenzen Phase 2/3 und Regressionsgeraden für Phase 3 (9. zu 13. Minute) berechnet.

### 2.3.2.4 Auswertung des Kurzinterviews und der Kritik

Das auf Tonband aufgezeichnete Kurzinterview und die von den Probanden nach stiller Vorbereitung als "freie Rede" gegebene Kritik an der Untersuchung wurden von C. Käßler und F. Wilmers mit einem eigens entwickelten Kategoriensystem inhaltsanalytisch und hinsichtlich einiger quantitativer Merkmale ausgewertet.

Die Kategorien für das Kurzinterview richten sich nach den Fragen bzw. Themen des Interviews: u.a. Lokalisierung der Herzwahrnehmung, körperliche Reaktion auf Angst, Ärger und Stress, Ärgerausdruck, psychologische Verarbeitung von Stress, individuelle körperliche Symptomatik. Außerdem wurden die Antwortlatenzen auf die Fragen nach Angst, Ärger und Stress bestimmt und die Offenheit des Probanden, die Tendenz zur sozialen Erwünschtheit der Antworten, Differenzierungsfähigkeit, Anspannung (von Proband und Interviewer) eingestuft. Zu den Segmenten der sechs Fragen (siehe Interviewleitfaden im Anhang) sowie zur Anfangs- und Endruhe liegen Herzfrequenz- und Blutdruckwerte vor.

Die Kategorien für die Kritik beziehen sich einerseits auf die Inhalte der allgemeinen und speziellen Kritik, andererseits auf verschiedene Aspekte des emotionalen Ausdrucks, insbesondere Anspannung und Ärger, sowie formale Variablen wie Sprechproduktivität, Sprechtempo und Sprechstörungen. Die Stilunterschiede dieser Kritik regten zu dem Versuch an, psychologisch zwischen manifester und latenter Kritik und ebenso zwischen manifestem Ausdruck und Hinweisen auf latente Tendenz von Ärger, Angst, Unwohlsein und Anspannung zu unterscheiden.

Nach gemeinsamer Einarbeitung beider Einstufer anhand von fünf Aufzeichnungen wurden die restlichen Aufzeichnungen der gesprochenen Kritik unabhängig voneinander ausgewertet, so daß für diesen Teil der Auswertung Interrater-Reliabilitäten dieser Fremdeinstufungen geschätzt werden konnten. Die beiden Einstufungen des manifesten emotionalen Ausdrucks korrelierten  $r = .78$  (5-stufige Skala) und hinsichtlich des latenten emotionalen Ausdrucks  $r = .52$ , die Einstufungen hinsichtlich manifester Kritik  $r = .76$  und latenter Kritik  $r = .61$ , hinsichtlich Anspannung  $r = .72$  und Sozialer Erwünschtheits-Tendenz  $r = .77$ .

Die Variablen dieser psychologischen Zusatzauswertungen sind im Anhang aufgeführt und in dem separaten "Arbeitsbericht zur Auswertung von Kurzinterview und Phase Kritik" (Käppler & Wilmers, 1989) genauer beschrieben.

#### 2.3.2.5 Physiologische Variablen

Die physiologischen Registrierungen wurden mit einem Polygraphen (Hellige, Freiburg) vorgenommen, der mit verschiedenen, serienmäßigen und speziellen Kopplern bzw. Vorverstärkern ausgestattet ist. Zur Registrieranlage gehören ein Blutdruckautomat (Infraton-Tensiomat FIB 4/6, Boucke, Tübingen) und ein Impedanzkardiograph (Instrumentation for Medicine, IFM, Greenwich, Conn., USA; Diefenbach, Frankfurt). Das Registrierprogramm mit Kanalbelegung, Eichung und Filterung ist im Anhang dokumentiert.

Auf dem Polygraphen wurden 15 Kanäle mit 10 mm/s zur Artefaktkontrolle und als Auswertungshilfe mitgeschrieben. Über eine Filterbank und einen AD-Wandler (14 bit, 512 Hz) wurden 16 Kanäle auf Digitalband zwecks off-line-Analyse aufgezeichnet (Laborrechner Hewlett Packard 1000/65).

## Ableitprogramm

Registriert wurden:

EKG	Elektrokardiogramm (II. Abl.)	AgAgCl Klebeelektroden
IKG	Impedanzkardiogramm	Al-Mylar Bandelektroden
PKG	Phonokardiogramm	Mikrophon KHM Diefenbach
BD	Blutdruck	Korotkoff-Mikrophon
ATM	Pneumogramm	Atemgürtel, Druckwandler
CAR	Carotis Pulskurve	Infraton Pulsabnehmer (Boucke)
OHR	Ohr Pulskurve	Optoelektron. Wandler (HP 780-16)
RAD	Radialis Pulskurve	Optoelektron. Wandler (Klenk)
FIN	Finger Pulskurve (PVA)	Infraton Kapsel (Boucke)
LID	Lidschlag EMG	AgAgCl Klebeelektroden
EMG	Elektromyogramm (Arm)	AgAgCl Klebeelektroden
EDA	Elektrodermale Aktivität	AgAgCl Klebeelektroden
BEW	Bewegungsaktivität (Stuhl)	Weg-Spannungs-Wandler
TEMP	Temperatur (Finger, Raum)	Thermowiderstand Pt 100

Die Registrieremethodik der meisten dieser Biosignale ist anlässlich einer vorausgegangenen Methodenstudie ausführlich beschrieben worden (Fahrenberg & Foerster, 1989, S. 226-241): interessierende Signalcharakteristik, Ableitstelle und Vorbehandlung, Aufnehmer und Koppler mit Grenzfrequenzen bzw. Filterung, wichtige Artefaktquellen, Abtaststrategie und Interpolationsfehler. Entsprechende Informationen für die dort nicht registrierten Signale LID, EMG, EDA und BEW sind im Anhang dokumentiert. Für die Definition einer elektrodermalen Reaktion (SCR) wurde hier eine Mindestamplitude von 0.1 MikroSiemens/cm<sup>2</sup> gesetzt. Die hier besonders wichtige Meß- und Auswertungsmethodik für den Blutdruck ist in einem eigenen Abschnitt 2.4 dargestellt.

## Primärauswertung

Die Grundauswertung der Signale erfolgte mit dem Programmsystem BIO 14 (Autor F. Foerster; siehe auch Foerster, 1984) im Dialogbetrieb. In einem ersten Schritt wurden die RR-Abstände des EKG, ggf. mit interaktiven Korrekturen, ausgewertet und anschließend die Parametrisierungen der Biosignale in Schlag-zu-Schlag-Analyse bzw. in 10-Sekunden-Segmenten für EDA, LID und Atmung. Die Blutdruckregistrierung (Druckkurve und Korotkoff-Töne) wurden mit dem eigenständigen Programm BIO 19 ausgewertet. Beide Programme sind mit den wichtigsten Parametrisierungen und Beispielen an anderer Stelle be-

schrieben (Fahrenberg & Foerster, 1989, S. 242-287). Auf das EKG, das IKG und alle Pulskurven wird ein RR-Abstandszentrierter Hochpass IBIHIP (Interbeat Interval Dependent High Pass) angewendet, um Nulllinien-Schwankungen, welche die Schlag-zu-Schlag-Analyse verfälschen würden, zu kompensieren (verzerrungsfreier Filter im Gegensatz zur hardwaremäßigen AC-Kopplung).

Die Parametrisierung führte zu 65 Variablen (ohne Blutdruck), die zunächst zur Übersicht graphisch dargestellt (Programm PLBIG) und dann einer mehrstufigen Datenkontrolle unterzogen wurden.

### Datenkontrollen

Anhand des vorliegenden Plots wurde, auch unter Berücksichtigung des Registrierstreifens vom Polygraphen, entschieden, welche Signale nachzuarbeiten waren, u.a. bei Auswertungslücken, extremen Werten oder auffälligen Veränderungen (Springen) des Meßwertverlaufs, insbesondere am Übergang von Phasen bzw. in den bewegungsaktiven Phasen der Atemmanöver. Schwierige Parameter sind u.a. die P-Welle des EKG, der Fußpunkt des IKG (wegen des häufig problematischen Notch-Punktes) und der Fingerpuls. Nach Korrekturen in dieser Primärauswertung wurden mit dem Programm KGB47 interaktiv bei Inspektion des gesamten Signalverlaufs in den einzelnen Phasen einzelne Ausreißer signal- und phasenweise Missing Data gesetzt.

Im folgenden Schritt wurden die PLBIG-Plots erneut inspiziert, mit den Versuchsprotokollen und Registrierstreifen verglichen, um die Plausibilität der Auswertung auf der Ebene ganzer Phasen zu prüfen. Phasen eines Records wurden insgesamt Missing Data gesetzt, wenn

- Versuchsabschnitte falsch durchgeführt waren; dies kam hauptsächlich beim Atemanhalteversuch, seltener beim Atempreßversuch oder - durch Abbruch - beim Kaltwasserversuch vor;
- aufgrund des Registrierstreifens und Protokolls deutlich war, daß wegen der u.U. erforderlichen Justierung eines Pulsaufnehmers, insbesondere für den Radialispuls, Amplitudenmaße nicht mehr vergleichbar waren,
- unplausible Meßwerte auftraten, z.B. wegen des defekten Thermowiderstandes bei drei Probanden Fingertemperaturen über 37° Celsius.

Mit dem Programm SAM08 wurden die Primärauswertungen zum sog. Phasenfile mit 30 Phasen und 90 Variablen zusammengefaßt. Dabei wurden, um eine befriedigende Zuverlässigkeit der Datenbasis zu erreichen, erneut Missing-Data-Setzungen nach zwei Kriterien vorgenommen:

- (1) bei allen vom EKG und IKG abhängigen Parametern müssen mindestens 25% der möglichen Daten vorhanden sein und mindestens ein Datum in jedem 10-Sekunden-Segment;
- (2) bei allen anderen Parametern müssen mindestens 25% der möglichen Daten vorhanden sein.

Diese Kriterien führten zu einem Datenverlust von ca 5%, je nach Parameter und Phase.

Der Phasenfile wurde mit dem Programm PLOBF geplottet, so daß individuelle Ausreißer im Vergleich zu Mittelwert und Variabilität (2.58 Standardabweichungen als 1% Konfidenzintervall) deutlich werden. Eine weitere Perspektive gibt der File der Residuen nach Subtraktion der individuellen und situativen Mittelwerte, welcher die individuellen Reaktionen eines Probanden intraindividuell auf Mittelwert und Variabilität (3.29 Standardabweichungen als 1% Konfidenzintervall) bezogen darstellt. Auffällige Meßwerte wurden auf Plausibilität geprüft und, falls Fehler bei der Datenaufnahme und Auswertung wahrscheinlich waren, Missing Data gesetzt.

In einem letzten Schritt wurde nach der Plausibilität der Phasen-Mittelwerte der physiologischen Variablen im Vergleich zu vorausgegangenen Untersuchungen im Freiburger Labor gefragt. Dieser Vergleich richtet sich speziell auf die beiden Phasen "Anfängliche Ruhe" und "Rechenversuch".

Tabellen im Anhang dokumentieren die hauptsächlichen Schritte der Datenkontrolle: Tabelle A die Missing-Data-Statistik für Phasen, Tabelle B und C für Variablen und Personen vor und nach Anwendung der genannten Kriterien (1) und (2) und Tabelle D mit einer kombinierten Statistik. Zwei weitere Tabellen E bis G dienen dem Vergleich der Phasen-Mittelwerte ARU bzw. RE mit vorausgegangenen Untersuchungen.

Das SAM08-Programm leistete noch weitere Schritte der Datenorganisation

- das Einfügen der Blutdruckwerte in den Phasenfile (zur Blutdruckauswertung siehe 2.4);
- das für spezielle Fragestellungen wichtige Sortieren von sieben ausgewählten Parametern (RR, LVET, RZ, IKE-E, SV, Heather-Index PEP) nach den vier Atemphasen Inspiration, inspiratorische Pause, Expiration und expiratorische Pause (28 zusätzliche Variablen);
- die Berechnung von abgeleiteten Variablen, Indizes usw.

Tabelle 2.3: Variablenliste Studie 47 Polygraph-Labor

Nr.	Abkürzung	Variable	Dimension
1	PS	Systolischer Blutdruck	mmHg
2	PD4	Diastolischer Blutdruck (Phase 4)	mmHg
3	PD5	Diastolischer Blutdruck (Phase 5)	mmHg
4	PM4	Mittlerer Blutdruck (mit PD4)	mmHg
5	PM5	Mittlerer Blutdruck (mit PD5)	mmHg
6	PAMP4	Blutdruck-Amplitude (mit PD4)	mmHg
7	PAMP5	Blutdruck-Amplitude (mit PD5)	mmHg
8	TPR4	Totaler peripherer Widerstand (mit PD4)	mmHg
9	TPR5	Totaler peripherer Widerstand (mit PD5)	mmHg
10	HF	Herzfrequenz (harmon. Mittel)	Schl/Min
11	RR	R-R-Abstand	ms
12*	HF-MQSD	Herzfrequenz MQSD	Schl/Min
13	HF-BT	Herzfrequenz, abs. Power .02-.08 Hz	$\ln((\text{Schl/Min})^2)$
14	HF-BB	Herzfrequenz, abs. Power .09-.17 Hz	$\ln((\text{Schl/Min})^2)$
15	HF-BA	Herzfrequenz, abs. Power .13-.42 Hz	$\ln((\text{Schl/Min})^2)$
16	RSA1	RSA-Maß, peak-valley, RR	$\ln$ ms
17	RSA2	RSA-Maß, peak-valley, (HF) <sup>2</sup>	$\ln((\text{Schl/Min})^2)$
18	EP Ampl	EKG P-Amplitude	$\mu$ V
19	ER Ampl	EKG R-Amplitude	$\mu$ V
20	EJ80 Ampl	EKG J+80 ms Amplitude	$\mu$ V
21	ET Ampl	EKG T-Amplitude	$\mu$ V
22	EPQI	EKG PQ Intervall (Pa bis Qa)	ms
23	EPQS	EKG PQ Strecke (Pe bis Qa)	ms
24	EQT	EKG QT Zeit (Qa bis Te)	ms
25	EQTc	EKG QT Bazett standardisiert	$\sqrt$ ms
26	HT1 Ampl	Herzton 1, Ampl. d. Einhüllenden	Einheiten
27	IA Ampl	IKG A-Amplitude	0.1 $\Omega$ /s
28	IE Ampl	IKG E-Amplitude	0.1 $\Omega$ /s <sup>2</sup>
29	IX Ampl	IKG X-Amplitude	0.1 $\Omega$ /s
30	PEP	PEP (EKG-R bis IKG Fp)	ms
31	LVET	LVET (IKG Fp bis X Gipfel)	ms
32	PELV	Quotient PEP/LVET	%
33	R-Z-Zeit	RZ-Zeit (EKG-R bis IKG-E Gipfel)	ms
34	I Heather	IKG Heather-Index	0.1 $\Omega$ /s <sup>2</sup>
35	I AWG	IKG Auswurfgeschwindigkeit	0.1 $\Omega$ /s
36	SV1 Index	Schlagvolumen-Index (Nulldurchgang)	(ml)
37	SV2 Index	Schlagvolumen-Index (Fußpunkt)	(ml)
38	HMV1 Ind	Herzmin. Volumen-Index (Nulldurchgang)	(l/Min/m <sup>2</sup> )
39	HMV2 Ind	Herzmin. Volumen-Index (Fußpunkt)	(l/Min/m <sup>2</sup> )
40	PWG Car	Pulswellengeschw. (EKG-R bis Carotis 20%)	m/s
41	PWG Ohr	Pulswellengeschw. (EKG-R bis Ohr 20%)	m/s
42	PWG Rad	Pulswellengeschw. (EKG-R bis Radialis 20%)	m/s
43	PWG Fin	Pulswellengeschw. (EKG-R bis Finger 20%)	m/s
44	Car Ampl	Amplitude Carotispuls	Einheiten
45	Ohr Ampl	Amplitude Ohrpuls	Einheiten
46	Rad Ampl	Amplitude Radialispuls	Einheiten
47*	Fin Ampl	Amplitude Fingerpuls	Einheiten
48	AF	Atemfrequenz (Erwartungswert)	Züge/Min
49	AA	Atemaktivität	Einheiten
50	AFO	Atemform-Parameter (rel. Power)	%
51	SCL	EDA DC Signal tonische Aktivität	$\ln$ $\mu$ S
52*	ACS	EDA AC Signal phasische Aktivität	$\mu$ S

---

Nr.	Abkürzung	Variable	Dimension
53	SC Freq	SCR Anzahl	Anz/Min
54	SC Ampl	SCR Amplitude	µS
55	LID ton	Lid tonische Aktivität	.01 µV
56	LID phas	Lid gesamte Aktivität	.01 µV
57	LID Freq	Lidschläge Anzahl	Anz/Min
58	LID Ampl	Lidschläge Amplitude	.01 µV
59*	EMG	EMG extensor digitorum	µVxs
60	BEW	Bewegungen (Stuhl)	Einheiten
61	T-Fing	Temperatur Finger	°C
62	T-Raum	Temperatur Raum	°C
63	T-FmR	Temperatur Finger minus Raum	°C

---

Anmerkung:

Die mit \* gekennzeichneten Variablen wurden nach  $(x^\lambda - 1)/\lambda$  transformiert, wobei  $\lambda$  aufgrund empirischer Approximation als  $\lambda = -.25$  bestimmt wurde.

### Abgeleitete Variablen und Indizes

Als sekundäre Variablen berechnet wurden (siehe Fahrenberg & Foerster, 1989):

Herzfrequenz MQSD

Herzfrequenz-Variabilität Band "Temperatur" (.02-.08 Hz)

Herzfrequenz-Variabilität Band "Blutdruck" (.08-.17 Hz)

Herzfrequenz-Variabilität Band "Atmung" (.13-.42 Hz)

Respiratorische Sinusarrhythmie RSA1 (Tal-Gipfel, auf RR bezogen)

Respiratorische Sinusarrhythmie RSA2 (Tal-Gipfel, auf HF<sup>2</sup> bezogen)

P-Q-Intervall des EKG (Pa bis Qa)

P-Q-Strecke des EKG (Pe bis Qa)

Q-T-Zeit (Qa - Te)

Q-T-Zeit (Bazett-Standardisierung auf  $\sqrt{RR}$ )

Pre-Ejection-Period PEP (EKG-R bis IKG Fußpunkt E)

Left-Ventricular-Ejection Time LVET (IKG: Fußpunkt E bis Gipfel X)

Quotient PELV (PEP/LVET)

R-Z-Zeit (EKG-R bis IKG Gipfel E)

Heather Index (IKG-E Amplitude vom Fußpunkt/ R-Z Zeit)

Auswurfgeschwindigkeit AWG (hier: E-Ampl./ (Zeit Fp bis Gipfel E))

Schlagvolumen Index SV1 (mit Nulldurchgang)

Schlagvolumen Index SV2 (mit Fußpunkt)

Herzminutenvolumen Index (mit Nulldurchgang)/ Körperoberfläche

Herzminutenvolumen Index (mit Fußpunkt)/ Körperoberfläche

Pulswellengeschwindigkeiten PWG (unter Verwendung der gemessenen Distanzen vom Jugulum bis zum Pulsaufnehmer und vom Jugulum bis zum Processus Xiphoideus als Referenzpunkt, 20% Punkt des Pulskurvenanstiegs als Referenz)

Mittlerer Blutdruck ( $PD + 0.33 (PS-PD)$ ), Blutdruckamplitude ( $PS-PD$ ) und totaler peripherer Widerstand TPR ( $80 \times PM/HMV$ ) wurden sowohl mit PD4 als auch mit PD5, d.h. aufgrund Phase 4 und Phase 5 des diastolischen Blutdrucks berechnet.

Die HMV-Indizes sind auf die Körperoberfläche bezogen, welche mittels der Formel  $F = \text{Länge}^{0.725} \times \text{Gewicht}^{0.425} \times 7.184 \times 10^{-3}$  geschätzt wird.

Die Inspektion der Verteilungs-Statistiken der physiologischen Variablen ergab, daß in einigen Fällen Transformationen zweckmäßig sind. Beide RSA-Maße wurden wie auch bei anderen Untersuchern (mündl. Mitteilung von P. Grossman) logarithmisch transformiert. In einer kleinen Methodenstudie wurde

dann für die Variablen HF-MQSD, HF-BT, HF-BB, HF-BA, Amplitude des Fingerpulses PVA, SCL und ACS der EDA-Registrierung und für das Arm-EMG durch schrittweise Variation die optimale Transformation gesucht. Die Tabelle F im Anhang zeigt, daß entweder die ln-Transformation oder die Transformation  $(x^\lambda - 1)/\lambda$  mit  $\lambda = -.25$  geeignet sind. Die nicht-transformierten Variablen wurden für an sich interessante Vergleichsstudien beibehalten.

Die endgültige Liste der 63 physiologischen Variablen mit Abkürzungen und Dimensionierung ist in der Tabelle 2.3 festgehalten.

### 2.3.2.6 Auswertung der Atemmanöver und des Kaltwasserversuchs

Die beiden Atemmanöver, d.h. der Atemanhalteversuch und der Atempreßversuch nach Valsalva, erfordern die genaue Mitarbeit der Probanden, welche trotz der Übung während der Voruntersuchung nicht bei allen erreicht wurde. Der Kaltwasserversuch wurde von einigen Versuchspersonen vorzeitig abgebrochen, so daß diese Phase für die Auswertung in zwei Segmente zu je 60 Sekunden unterteilt werden mußte.

Anhand der Protokolle und der Registrierstreifen, welche die Atmung bzw. die Bewegungsaktivität erkennen lassen, wurde zunächst entschieden, welche Versuche instruktionsgemäß ausgeführt waren. Beim Atemanhalteversuch waren dies N= 60, beim Atempreßversuch N= 77 und beim Kaltwasserversuch in der 1. Minute N= 81 und in der 2. Minute N= 75. Die relativ große Zahl mißglückter Atemanhalteversuche ist teils auf falsche Technik, d.h. inspiratorisches statt expiratorisches Anhalten oder zu späte Expiration, teils auf zu kurzes Atemanhalten (< 30s) zurückzuführen.

Durch interaktive Auswertung am Graphik-Bildschirm wurden die folgenden Parameter bestimmt:

- RR-Minimum in ms während AA und AP, welches in der Regel am Ende dieser Unterphase (Nr. 6 bzw. 16) liegt;
- RR-Maximum in ms während der anschließenden Erholungsphase, wobei das Untersegment mit der ersten kräftigen Inspiration bzw. Rückkehr zur Normalatmung nicht ausgewertet und gelegentlich vorkommende späte Maxima bis zum dritten Atemzug berücksichtigt wurden;
- Fingertemperatur in 0.01 °C in den entsprechenden Segmenten der Atemmanöver.

Diese Auswertung führte für jedes Atemmanöver zu zwei Indizes, die als Differenzen Maximum-Minimum in ms für die Herzfrequenz und in .01 °C für die Fingertemperatur definiert sind.

Eine entsprechende Auswertung für andere Parameter, z.B. EDA, Pulsamplituden und EKG-Parameter wurde, da anfängliche Versuche unsystematische Resultate ergaben, nicht weitergeführt. Auch die vorgesehene Auswertung der Reaktionsdynamik der Herzfrequenz und der Fingertemperatur (an der nicht eingetauchten Hand) beim Kaltwasserversuch wurde nicht unternommen, da der systematische Vergleich wegen der sehr ausgeprägten Unterschiede in der Latenz der Reaktionen und wegen der Bewegungsartefakte am Phasenübergang zur Erholung fragwürdig ist.

Bei der Auswertung der Atemmanöver zeigten sich typische Reaktionsabläufe der Herzfrequenz. Am deutlichsten ist dies beim Atempreßversuch: 67 Probanden zeigen beim Pressen deutliche Abnahme und in der Erholungsphase deutliche Zunahme der RR-Intervalle, 7 Probanden keine oder nur geringe Abnahme, jedoch deutliche Zunahme, 3 Probanden zeigten atypische Verläufe. Dieser Ablauf von Beschleunigung und Verlangsamung der Herzfrequenz zeigt sich im Atemanhalteversuch nur bei 25 Probanden, einige reagieren beim Atemanhalten kaum, sondern erst in der Erholungsphase, andere reagieren zwar, lassen aber kaum eine Gegenregulation erkennen.

Während der Atempreßversuch in der Regel zuverlässig und valide durchgeführt wurde, führten die zahlreichen Ausfälle und atypischen Verläufe beim Atemanhalteversuch zu methodischen Bedenken und Vorbehalten und legen Verbesserungen und Kontrollen nahe.

#### 2.3.2.7 Catecholamine

Vor Beginn der Untersuchung im Polygraph-Labor wurden die Probanden aufgefordert, ihre Blase zu entleeren und danach 150 ml kohlesäurefreies und natriumarmes Mineralwasser zu trinken. Die zweite Blasenentleerung fand unmittelbar nach der Registrierung im Polygraph-Labor, d.h. ca zwei Stunden später statt. Das Urinvolumen wurde gemessen, eine Probe von ca 100 ml mit Salzsäure auf einen pH-Wert zwischen 3 bis 4 eingestellt und bei -18°C bis zur Analyse gelagert.

Die Adrenalin- und Noradrenalin-Bestimmung erfolgte fluorimetrisch nach der Trihydroxyindol-Reaktion (Säulentest, Bio-Rad, München) im eigenen Labor (A.

Sondhauß, MTA). Die statistische Qualitätskontrolle wurde mit den Kontrollurinen (quantitative control urine I und II) dieser Firma durchgeführt.

Von 72 Probanden konnten Adrenalin und Noradrenalin im Urin bestimmt werden.

### 2.3.3 Hauptuntersuchung im Kreislauf-Labor

#### 2.3.3.1 Orthostase-Versuch und Ergometer-Versuch

Die Untersuchung im Kreislauf-Labor soll Unterschiede der Blutdruckregulation bei körperlicher Belastung erfassen. Die aus den Ergebnissen abgeleiteten Gruppierungen werden ein wichtiges Bezugssystem für die Datenanalyse und Interpretation im gesamten Projekt geben.

Als dynamische Funktionsprüfungen der Blutdruckregulation wurden der Orthostase-Versuch (mit einer Wiederholung zur Prüfung der Reproduzierbarkeit der Messungen) und die submaximale Ergometrie gewählt. Zu diesen Versuchsabschnitten wurden Selbsteinstufungen von Körperwahrnehmungen und Beschwerden erhoben. Die Methodik sowie die für eine spezielle Fragestellung zusätzlich erhobenen, zahlreichen Meßwerte zur Beschreibung des Körperbaus und der Körperhaltung sind ausführlich von Darsow (1991) beschrieben worden.

Der Proband wurde nach einer Information über den allgemeinen Ablauf auf der Kippliege plaziert und mit der Blutdruckmanschette und den Aufnehmern, d.h. EKG-Elektroden und Ohrpuls-Aufnehmer, versehen. Nach Proberegistrierungen und Eichungen begann die Datenaufnahme (8-Kanal Polygraph, Hellige, Freiburg, und Laborrechner Hewlett Packard 1000/65 mit Programm CPd47E von W. Müller). Zunächst wurden in einer Ruhephase von 4 Minuten fortlaufend die Herzfrequenz und minütlich auskultatorisch der Blutdruck registriert, dann wurde die Liege in ca 4 Sekunden von der Horizontalen auf 75° gekippt. Herzfrequenz und Blutdruck (am linken Arm) wurden während der folgenden 7 Minuten weiterregistriert (siehe Tabelle 2.4). Anschließend wurde - wieder in der Horizontalen - eine Atemmaske für die Messung von Atemfrequenz, expiratorischem Atemzugvolumen und Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxydabgabe im offenen System angelegt (Pneumotest mit CO<sub>2</sub>-Analysator, Jäger, Würzburg, und CO<sub>2</sub>-Analysator, Hartmann & Braun, Frankfurt, mit Korrekturen für Tages-Luftdruck). Außerdem wurde das Pneumogramm mittels Atemgürtel registriert, um alle Atemphasen (inspiratorisch und expiratorisch) für die spätere Auswertung der respiratorischen Sinusarrhythmie RSA nach Gipfel-Tal-Methode zu erfassen.

Für die submaximale Fahrrad-Ergometer-Belastung wurde der Proband auf die Ergometerliege verlagert. Er trat im Liegen zuerst 4 Minuten bei 50 Watt, dann 4 Minuten bei 100 Watt, seine Schultern waren mit Schulterstützen fixiert und für die Hände gab es verstellbare Handgriffe zum Festhalten (wirbelstromgebremstes, programmierbares Ergometer, Mijnhardt, Holland). Ein Anzeigeeinstrument meldete die Anzahl der Umdrehungen, die vom Probanden im Bereich von 50 U/Min gehalten werden sollen. Das Ableitprogramm entspricht dem Orthostase-Versuch 2, doch wurde der Blutdruck nur in der 3. und 4. Minute jeder Belastungsstufe und minütlich in der 5 Minuten dauernden Erholungsphase gemessen.

Die Orthostase-Versuche und der Ergometer-Versuch dauerten mit Vorbereitungen und Pausen insgesamt ca eine Stunde.

Tabelle 2.4: Phasen der Registrierung im Kreislauf-Labor. Dauer der Datenaufnahme 2100 s, Dauer der Untersuchung ca eine Stunde

P h a s e	Daten- aufnahme s	Ableitprogramm
<u>Orthostase-Versuch1</u>		
OR1 Ruhe 1	240	EKG (Nehb anterior)
Kippvorgang	4	Blutdruck auskult. (PS, PD4, PD5) minütlich (11 Messungen)
OS1 Stehen 1	420	Ohrpuls (nicht ausgewertet)
<u>Orthostase-Versuch2</u>		
OR2 Ruhe 2	240	EKG Blutdruck auskult. (PS, PD4, PD5)
Kippvorgang	4	minütlich (11 Messungen) Atmung mit Maske und Gürtel
OS2 Stehen 2	420	Atemphasen, AF, AZV, AMV, O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
<u>Ergometer-Versuch</u>		
Ruhe	(180)	-
E50 Belastung 50 Watt	240	EKG Blutdruck auskult. (PS, PD4, PD5)
E100 Belastung 100 Watt	240	3., 4. Minute jeder Belastungsstufe minütl. in Erholung (insges. 9 Messg.)
EE Erholung	300	Atmung mit Maske und Gürtel Atemphasen, AF, AZV, AMV, O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>

Wegen technischer Fehler sind bei vier Probanden das Segment 50-Watt-Belastung, bei einem Proband das Segment 100-Watt-Belastung und - wegen Kollaps - bei einem Probanden die 9. - 11. Minute des ersten Orthostase-Versuchs nicht ausgewertet worden. Außerdem fehlen bei einigen Probanden einzelne Werte von Kreislauf- und Atmungs-Variablen, doch wurde keine spezielle Missing-Data-Statistik angelegt, da sich die Sekundäranalyse weitgehend auf Mittelwerte stützt. Der Range der Blutdruckwerte wurde aus praktischen Gründen auf systolisch 250 bis 50 und diastolisch 180 bis 30 mmHg begrenzt.

Bei neun Probanden wurden im Kreislauf-Labor relativ hohe Raumtemperaturen  $>24^{\circ}$  Celsius und bei vier Probanden relativ hohe Luftfeuchtigkeit  $\geq 60\%$  protokolliert.

Die Auswertung der physiologischen Registrierungen wurde mit dem Programm BIO 14 (F. Foerster) vorgenommen. Die Tabelle 2.5 gibt eine Übersicht über die 42 physiologischen Variablen aus dem Kreislauf-Labor. Nach den notwendigen Datenkontrollen wurden mit SAM08 ein Minuten-File MIN mit 35 Minuten und ein Zehn-Sekunden-File ZES mit 78 10-s-Segmenten gebildet. Außerdem wurde ein Sekunden-File SEK für den Ausschnitt 60 Sekunden vor und 60 Sekunden nach dem Kippen angelegt, um die Sofortreaktion der Herzfrequenz (Orthostase-Versuch 2 außerdem noch Atemaktivität) zu erfassen und auch graphisch darzustellen. Auch die Blutdruck- und Herzfrequenz-Verläufe wurden für alle Probanden gezeichnet, um einen Eindruck von der Variabilität der Reaktionen im Hinblick auf die anschließenden Gruppierungen zu gewinnen.

In einer speziellen Methodenstudie von Becker (1991) wurde die Parametrisierung der Reaktionsverläufe, gestützt auf Vorarbeiten von Foerster und von Fimm (1989), durch Anpassung von e-Funktionen und Polynomen erprobt.

An den Registrierungen des Orthostase-Versuchs 2 und des Ergometer-Versuchs wurde für 60 Probanden eine zusätzliche Auswertung der RSA nach sog. peak-valley-Methode nach Grossman (Programm BIO 21/22, Autor F. Foerster) vorgenommen (siehe auch Darsow & Grossman, 1990).

### 2.3.3.2 Selbsteinstufungen

Nach den Funktionsprüfungen erhielten die Probanden einen Fragebogen mit siebenstufigen Skalen zur Einstufung von Körperwahrnehmungen und Beschwerden (siehe Anhang): 16 Items beziehen sich auf den Orthostase-Versuch (u.a. Schwindelgefühl, Schwarzwerden vor den Augen, Herzklopfen, Unwohlsein und Druck im Magen), 8 Items beziehen sich auf den Ergometer-Versuch (u.a.

Tabelle 2.5: Variablenliste Studie 47 Kreislauf-Labor

Nr	Abkürzung	Variable	Dimension
1	AF-VFr	Atemfrequenz Vorzugsfrequenz	Züge/Min
2	AF-EW	Atemfrequenz Erwartungswert	Züge/Min
3	AA	Atemaktivität	Einheiten
4	AFO	Atemform-Parameter (rel. Power)	%
5	AF-MA	Atemfrequenz (Maskenatmung)	Züge/Min
6	AZV	Atemzugvolumen	ml
7	AMV	Atemminutenvolumen	l
8	VO <sub>2</sub>	Sauerstoffaufnahme	ml/Min
9	VCO <sub>2</sub>	Kohlendioxidabgabe	ml/Min
10	EO <sub>2</sub>	Atemäquivalent AMV/O <sub>2</sub>	ml/ml
11	RQ	Respiratorischer Quotient VCO <sub>2</sub> /VO <sub>2</sub>	ml/ml
12	RSA	RSA-Maß (Range über je 10s)	ms
13	RR	RR-Abstand	ms
14	HF	Herzfrequenz (harmon. Mittel)	Schl/Min
15	HF Std	Herzfrequenz Standardabweichung	Schl/Min
16	HF-MQSD	Herzfrequenz MQSD	Schl/Min
17	HF-MVW	Herzfrequenz mittl. Vorzeichenwechsel	Anz./Min
18	HF-BT	Herzfrequenz, abs. Power .02-.08 Hz	(Schl/Min) <sup>2</sup>
19	HF-BB	Herzfrequenz, abs. Power .09-.17 Hz	(Schl/Min) <sup>2</sup>
20	HF-BA	Herzfrequenz, abs. Power .20-.33 Hz	(Schl/Min) <sup>2</sup>
21	E-PA	EKG P-Amplitude	µV
22	E-PAs	EKG P-Amplitude, standardisiert	µV
23	E-RA	EKG R-Amplitude	µV
24	E-TA	EKG T-Amplitude	µV
25	E-TAs	EKG T-Amplitude, standardisiert	µV
26	E-J80	EKG J+80ms Amplitude	µV
27	E-J80s	EKG J+80ms Amplitude, standardisiert	µV
28	E-PQi	EKG PQ Intervall (Pa bis Qa)	ms
29	E-PQs	EKG PQ Strecke (Pe bis Qa)	ms
30	E-Pi	EKG P Dauer	ms
31	E-QRi	EKG QR Zeit (Qa bis R)	ms
32	E-QSi	EKG QS Zeit (Qa bis Se)	ms
33	E-QTi	EKG QT Zeit (Qa bis Te)	ms
34	E-Ti	EKG T Dauer	ms
35	E-QTZ	EKG QT Bazett standardisiert	√ms
36	PS	Systolischer Blutdruck	mmHg
37	PD4	Diastolischer Blutdruck (Phase 4)	mmHg
38	PD5	Diastolischer Blutdruck (Phase 5)	mmHg
39	PM5	Mittlerer Blutdruck (mit PD5)	mmHg
40	PAMP5	Blutdruck-Amplitude (mit PD5)	mmHg
41	HMVI	Index PAMP5 x HF	Einheiten
42	PRO	Index HF/AF	Einheiten
43	Alter	Alter	Jahre
44	Druck	Luftdruck	mmHg
45	Temp.	Raumtemperatur	°C
46	Feuchte	Relative Feuchte	%

Schwitzen, Erschöpfung, Schmerzen in der Beinmuskulatur, Durst) und 4 Items fragen nach dem Allgemeinbefinden während der letzten Stunde. Schließlich erhielt der Proband noch einmal den "Fragebogen zum Versuchserleben", um auch die letzten Untersuchungsabschnitte im Vergleich zu jenen im Polygraph-Labor zu bewerten. Der Itemschlüssel der Skalen VERS1 und VERS2 ist im Anhang enthalten.

Es folgten dann die anthropometrischen Messungen (siehe Darsow, 1991).

#### **2.3.4 Psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring**

Bei 52 der 81 Probanden konnte ein psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring von mindestens 20 Stunden Dauer und mit mindestens 8 Eingaben von aktuellen Selbsteinstufungen durchgeführt werden. Die Methodik ist von Heger (1990) entwickelt und ausführlich beschrieben worden (siehe auch Fahrenberg, Heger, Foerster & Müller, 1991).

Das psychophysiologische Monitoring begann in der Regel unmittelbar nach der Untersuchung im Kreislauf-Labor mit dem Anlegen der Systeme. Die Systemfunktionen und die für die Versuchsperson wesentlichen Bedienungsweisen wurden gründlich erläutert und geübt, außerdem wurde ein kleines Manual zum Nachlesen mitgegeben. Treppensteigen diente als Standardbelastung unter Quasi-Laborbedingungen.

Die Konfiguration besteht aus dem Taschencomputer (CASIO PB 1000) mit LCD-Anzeige zur Eingabe des standardisierten Protokolls der Selbsteinstufungen, dem kleinen Diktiergerät (SONY WM202) für zusätzliche freie Kommentare und dem 4-Kanal-Meßwertspeicher (PAR-PHYSIO-PORT, PAR Elektronik GmbH, Berlin) zur kontinuierlichen Registrierung von Herzfrequenz, Atemfrequenz und Bewegungsaktivität sowie, in einstellbaren Intervallen, von systolischem und diastolischem Blutdruck. Für die EKG-Ableitung wurden Einmalelektroden (ARBO Typ H64) in der Nehb-Anordnung verwendet. Der Atemgürtel (piezoelektronisches Wandler-System auf elastischem Gurt-System Klenk) ist über den unteren EKG-Elektroden mit Klebestreifen am Rücken des Probanden befestigt, um ein Abrutschen zu vermeiden. Der Aktivitätsaufnehmer (dreiachsiger Piezoaufnehmer, im Ausgang parallel geschaltet, Firma PAR) wurde in dieser Untersuchung an der Innenseite des linken Unterarms mit Klebevlies befestigt; in einer späteren Untersuchung wurde die Position am Oberschenkel bevorzugt.

Das Korotkoff-Mikrofon wurde nach sorgfältiger Suche des Maximalpunktes an der A. brachialis links angebracht und mit Klebevlies gegen Verrutschen gesichert. Die Blutdruckmanschette wurde am Oberarm so plaziert, daß das Mikrofon ca 2 cm von dem unteren Manschettenrand abgedeckt ist (zur Präzision der Blutdruckmessung siehe Langewitz, Dähnert & Rüdell, 1987). Über die Details der Verkabelung, der Initialisierung und Prüfung des Systems, Anleitung der Versuchsperson und primäre Datenorganisation informiert die Dissertation von Heger (1990). Dort werden auch die Erfahrungen mit der Konfiguration, Beobachtungen über Meßfehler und Batterieprobleme sowie Verbesserungsmöglichkeiten beschrieben.

Den Versuchspersonen wurden für die folgenden 24 Stunden, abgesehen vom Verzicht auf Duschen und Baden, keine besonderen Restriktionen auferlegt. Allerdings schränkt die mit der Umhängetasche ca 2 kg wiegende Gerätekonfiguration die Bewegungsfreiheit ein. Doch sind z.B. Fahrradfahren und einige Sportarten möglich, sofern während der Blutdruckmessung der linke Arm ruhig gehalten wird. Die Blutdruckmessungen werden im Abstand von 15 Minuten automatisch ausgelöst und bei vom System erkannten Fehlern wiederholt; beim Zubettgehen sollte die Versuchsperson das System auf das Meßintervall von 60 Minuten und morgens wieder auf 15 Minuten umschalten. Für die Selbsteinstufungen im Tagesablauf wurde in dieser Untersuchung ein Intervall von 60 Minuten gewählt, jedoch waren die Versuchspersonen instruiert, bei besonderen Ereignissen von sich aus zusätzliche Blutdruckmessungen auszulösen und Selbsteinstufungen zu geben. In dem von der Startminute festgelegten, stündlichen Intervall meldete sich der Taschencomputer und wiederholte das Signal über einen Zeitraum von fünf Minuten. Erfolgte bis dahin keine Eingabe, so wurde dies registriert und nach weiteren 60 Minuten erneut aufgefordert. Der Abfragezyklus wurde bis 22.30 beibehalten und morgens nach 7.30 fortgesetzt. Individuell konnte das Schema durch zusätzliche Eingaben - unmittelbar vor Zubettgehen wurde dies ohnehin von jedem Probanden erwartet - oder durch "Überhören" der ersten morgendlichen Signale modifiziert und dem eigenen Tageslauf angepaßt werden. Die Latenzzeit vom Startsignal bis zum Beginn der Eingabe und die Eingabedauer jeder Selbsteinstufung wurden registriert.

Bei besonderen Ereignissen sollte die Versuchsperson nicht nur zusätzliche Blutdruckmessungen auslösen und Selbsteinstufungen vornehmen, sondern auch über das an der Kleidung befestigte, kleine Stereomikrofon auf das Diktiergerät sprechen. Bei der Rückgabe der Systeme wurde durch ein Interview und durch einen Fragebogen mit 20 fünfstufigen Items (siehe Anhang) eine Nach-

befragung über den Tagesablauf, über besondere Ereignisse und über das Erleben der Untersuchung unternommen.

Die 19 Items der Selbsteinstufungen (siehe Anhang) wurden sukzessiv auf dem Display (4 Zeilen zu 32 Zeichen) des Taschencomputers dargeboten und waren mittels Cursor zu beantworten. Die drei sehr vereinfachten Setting-Variablen lauten dichotom: Arbeit - Freizeit, gewohnt - ungewohnt, allein - nicht allein. Es folgen neun Items, die sich auf das augenblickliche Befinden beziehen, z.B. körperlich angespannt, vergnügt, Herzklopfen, Ärger, Stress. Anschließend wird eine zusammenfassende Selbsteinstufung für den Zeitraum seit der letzten Befragung erbeten, um auch Ereignisse bzw. Befindensänderungen in diesem Intervall erfassen zu können. Die retrospektiven Einstufungen beziehen sich z.B. auf das Erleben von Ärger, Freude, Stress, angenehme Kontakte zu anderen Menschen sowie auf körperliche Bewegung als wichtige Kontrollvariable.

Die Auswahl dieser Items ergab sich aus gemeinsamen psychologischen Überlegungen und Erprobungen. Da ein möglichst breites Spektrum von Befindensänderungen erfaßt werden sollte, konnten nur einige Items, die den im Polygraph-Labor verwendeten Items (siehe Abschnitt 2.3.3.2) entsprechen, verwendet werden. Identisch sind: körperlich, geistig und emotional angespannt, mißmutig, Herzklopfen. Ähnlich formuliert sind: Stimmung vergnügt, locker bzw. gut gelaunt, retrospektiv "Ärger" bzw. ärgerlich; inhaltlich vergleichbar sind: retrospektiv "Freude" bzw. gut gelaunt, retrospektiv "Stress" bzw. belästigt.

In einer Anschlußstudie von Käßler (1990) wurde ein erweiterter und verbesserter Itempool verwendet, um die Lokalität, die Tätigkeiten und die Körperposition genauer zu erfassen und zugleich verhältnismäßig redundante Items der Befindenseinstufung zu eliminieren.

Als physiologische Variablen liegen nach Auslesen des Meßwertspeichers (einschließlich graphischer Darstellung des Tagesverlaufs) mittels der PAR-Software Minuten-Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/Min.), der Atemfrequenz (Züge/Min.) und der Bewegungsaktivität (Einheiten mit einem individuell von 0-100 normierten Range des unbearbeiteten Aktivitätssignals) sowie systolische und diastolische Werte jeder Blutdruckmessung (mmHg) vor.

#### Datenkontrollen und Segmentierungen

Die unerläßlichen Datenkontrollen wurden visuell sowie aufgrund statistischer Analysen der Verteilungen vorgenommen. Bei Feldregistrierungen kann es, eher

noch als im Labor, nicht ausbleiben, daß in Abhängigkeit von vielen Einflüssen Artefakte auftreten oder Daten fehlen.

Die Registrierung der Herzfrequenz und die Eingabe der Selbsteinstufungen bereiteten die geringsten Probleme. Einzelne Blutdruckmessungen, deren Maxima im individuellen Verlauf und nach Kontextinformationen nicht plausibel waren, wurden eliminiert. Da das System bereits eine Fehlerdiagnostik vornimmt, brauchten aufgrund der nachträglichen Inspektion nur noch 2% der Werte eliminiert zu werden (siehe Heger, 1990). Die Atemfrequenz konnte wegen spezieller Probleme beim Anlegen des Gürtels und Aufnehmerdefekten nur bei 23 Versuchspersonen befriedigend registriert werden, insbesondere nachts ist diese Ableitung oft unbrauchbar. Besondere Schwierigkeiten bereitet auch die Registrierung der Aktivität, deren Meßwerte auch nach den inzwischen vorgenommenen Verbesserungen (Aufnehmerposition, Integrationsverfahren, siehe Käßpler, 1990) zwischen Personen kaum und innerhalb Personen nur mit Vorbehalten hinsichtlich des jeweiligen Bewegungsmusters vergleichbar sind. Von den Sony-Toncassetten waren wegen Bedienerfehler und technischer Defekte nur 42 kodierbar.

Die vorgesehene Synchronisierung von Selbsteinstufung und Blutdruckmessung wurde wegen der unterschiedlichen Latenzzeiten vom Piepsen bis zur Eingabe und wegen der spontanen Eingaben nicht befriedigend erreicht. Die direkte Synchronisierung beider Systeme ist technisch nicht ohne weiteres möglich. Folglich wurden durch Mittelung über Zeitfenster von 5 bzw. 30 Minuten vor dem Startsignal (Piepsen) für die Selbsteinstufung nachträglich zwei Aggregate gebildet. So können einerseits die nur intermittierend gemessenen Blutdruckwerte besser mit den psychologischen Variablen verknüpft und andererseits für die sieben Items der retrospektiven Selbsteinstufung überhaupt erst die adäquateren zeitlichen Intervalle geschaffen werden. Zusätzlich wurde für ein Zeitfenster von 5 Minuten vor jeder nächtlichen Blutdruckmessung ein Mittelwert gebildet, um zuverlässigere Schätzungen der Herzfrequenz, Atemfrequenz und Aktivität zu gewinnen.

Die allgemeine Segmentierung der Registrierung erfolgte nach (1) Tagesaktivität, (2 bis 4) morgens, tagsüber oder abends ruhend, aber nicht schlafend, (5) Nachtruhe, wahrscheinlich schlafend, und (6) Segment der Basalwerte, d.h. die letzten beiden Stunden der Nachtruhe. Bei dieser Segmentierung wurden in visueller Analyse die charakteristischen Verläufe der Biosignale sowie ergänzend und eventuell korrigierend die Informationen aus der Nachbefragung und

aus den Selbsteinstufungen und freien Kommentaren verwendet. Einzelheiten der Aggregation und Segmentierung wurden von Heger (1990) beschrieben.

Die Tabelle I im Anhang gibt eine Übersicht über die Dauer der Registrierung in den hauptsächlichen Segmenten und die Anzahl verwertbarer Blutdruckmessungen, Eingaben und Kommentare.

## **2.4 Blutdruck – Methodik und Gruppierungen**

### **2.4.1 Meßmethodik und Auswertung**

Der Blutdruck ist die zentrale Variable dieser Untersuchung. Es war jedoch unmöglich, in den verschiedenen Untersuchungsabschnitten dieselbe Meßmethodik zu verwenden. Deshalb sind – über die anderen Fehlerquellen der nicht-invasiven Blutdruck-Messung hinaus – methodenbedingte und untersucherbedingte Varianzen anzunehmen.

Beim Screening in der Mensa oder Universitätsbibliothek wurde der geeichte Blutdruck-Meßautomat Stavomed BMC 5000 (Speidel & Keller, Jungingen) verwendet, der den systolischen Blutdruck PS und den diastolischen Blutdruck PD (wahrscheinlich Phase 5) erfaßt. Im Sitzen ist der Arm durch die Manschette, die am Gerät angebracht ist, einzuführen. Der Manschettendruck wird automatisch auf 165 mmHg oder, falls dies nicht ausreicht, höher aufgepumpt und mit 4 bis 5 mmHg/s abgelassen. Die Korotkofftöne werden registriert und zur Bestimmung von PS und PD verwendet, wobei der Algorithmus vom Hersteller nicht angegeben wird. PS, PD und Herzfrequenz werden digital angezeigt und gleichzeitig mit Daten und Uhrzeit ausgedruckt. Für Kontrollmessungen wurde in diesem Untersuchungsabschnitt die auskultatorische Methode mit Stethoskop und Quecksilber-Manometer (Erkometer, Tischgerät) verwendet.

Alle Untersucher, die Blutdruck-Messungen machten, waren zuvor von der beteiligten medizinisch-technischen Assistentin (A. Sondhauß) mittels Doppelstethoskop trainiert worden, wobei speziell auf gleichmäßige Ablassgeschwindigkeit ca 3 mmHg/s und die Unterscheidung der Phase 4 und 5 geachtet wurde.

In der Voruntersuchung wurden im Vorraum die Ruhewerte nach 5 Minuten Liegen zweimal auskultatorisch (Erkometer Standgerät 1, mit Quecksilber-Manometer, Nr. 266/211) bestimmt (meist A. Sondhauß). Während des anschließenden Kurzinterviews in der Kabine wurde der geeichte Blutdruckautomat In-

fraton-Tensiomat FIB 4/6 (Boucke, Tübingen) benutzt. Die Anbringung des Mikrophons über dem palpatorisch zu bestimmenden Maximum der arteriellen Pulsation der Brachialis und die Verstärkung der Korotkofftöne wurden u.U. verändert, um den gleichzeitig auskultatorisch bestimmten Blutdruck möglichst gut anzunähern. Die Messung erfolgte in halb sitzender halb liegender Position am linken Arm. Zur rechnergestützten Auswertung der Druck- und Korotkoff-Kanäle diente das Programm BIO 19. Da bei mehreren Probanden während des Kurzinterviews keine automatische Datenaufnahme über den Laborrechner existiert, wurden PS, PD4 und PD5 in diesem Abschnitt generell durch Interpolation der Eichmarken am Registrierstreifen bestimmt (F. Wilmers).

In der Hauptuntersuchung im Polygraph-Labor wurden die Ruhewerte im Vorraum ebenfalls auskultatorisch (meist A. Sondhauß) und die übrigen Blutdruck-Werte in der Kabine mit dem Tensiomat FIB 4/6 gemessen. Bei fünf Probanden mußte anhand der Registrierstreifen interpoliert werden, da der Korotkoff-Kanal zum Rechner falsch geschaltet war.

Bei der Hauptuntersuchung im Kreislauf-Labor wurde der Blutdruck während Ruhe, Orthostase und Ergometer-Belastung auskultatorisch (mit Erkameter Standgerät 2, Nr. 690) gemessen (H. Darsow).

Im psychophysiologischen 24-Stunden-Monitoring wurde der Blutdruck mit dem Physio-port (Par Elektronik, Berlin) automatisch unter Verwendung der Korotkoff-Töne gemessen (v. Kiparski & Steffens, 1985; Langewitz, Dähnert & Rüdell, 1987). Das System hat ein spezielles Verfahren zur Optimierung des Druckabfalls und verfügt außerdem über Fehlermeldungen. Der vom Hersteller nicht genau mitgeteilte Algorithmus soll die Phase 5 erfassen und begrenzt den Meßbereich automatisch systolisch auf 230 bis 70 mmHg und diastolisch auf 220 bis 50 mmHg.

Bei auskultatorischer Messung sind verschiedene Fehlerquellen zu bedenken (siehe Fahrenberg & Foerster, 1989), u.a. Auskultationsort und unterschiedliches Andrücken des Stethoskops, Diskrimination der unter- und überschwelligen Korotkoff-Töne, unterschiedliches Ablassen des Manschettendrucks und Ablesefehler. Die Messung mit dem Tensiomat hat demgegenüber den Vorteil, daß zu jedem Korotkoff-Ton der geeichte Manschettendruck interpoliert werden kann und die aufgezeichnete Amplitude der Korotkoff-Töne zur Unterscheidung der Phasen 3, 4 und 5 (entsprechend PS, PD4, PD5) dient. Darüberhinaus kann nach Bertram, v. Wallenberg & Meyer-Erkelenz (1982) die Formanalyse der Korotkoff-Töne genutzt werden, um ein zusätzliches Kriterium für die Phase 4

zu erhalten, denn vor der großen systolischen Welle ist eine kleinere negative Welle zu erkennen, die beim Leisewerden der Korotkoff-Töne verschwindet.

Das Blutdruck-Auswertungsprogramm BIO 19 (Autor: F. Foerster) leistet die Analyse des Korotkoff-Signals und des Manschettendrucks, wobei interaktive Kontrollen notwendig sind. Zusätzlich wird im Programm ein diskriminanzanalytisches Verfahren zur intraindividuellen Absicherung verwendet. Die einzelnen Segmente, d.h. Prä systole, Systole bis Phase 4, Phase 4 bis Diastole und Postdiastole werden anhand der vorliegenden Parameter optimal getrennt, um dann die Korotkoff-Töne an den Grenzen der Segmente neu zuzuordnen (siehe Fahrenberg & Foerster, 1989, S. 266-278).

Die interaktive Anwendung des Programms BIO 19 auf die 30 Blutdruckmessungen im Polygraph-Labor verlangte jedoch viel Zeit und ließ nicht selten einen erheblichen Entscheidungsspielraum. Die Phase 3 mit lauter werdendem Geräusch ist - wie bei der auskultatorischen Messung - gewöhnlich gut festzulegen, während die Entscheidung hinsichtlich Phase 4, d.h. deutliches Leiserwerden und Tieferwerden, und Phase 5, d.h. Verschwinden der Korotkoff-Töne oft schwierig ist: nicht bei allen Messungen ist eine deutliche Dynamik vorhanden, der erste Knick in der Amplitudenfolge kann bereits die Phase 5 anzeigen, nicht bei allen Registrierungen ist die beschriebene negative prä systolische Welle deutlich ausgeprägt. Als wichtige Hilfsinformation dienten die während der Untersuchung bei jeder Blutdruckmessung mitprotokollierten, vom Boucke-Gerät synchron zu den Korotkoff-Tönen abgelesenen Meßwerte.

Ein Inter-Auswerter-Vergleich aufgrund von 20 Blutdruck-Records führte zu der Entscheidung, die Auswertung nur mit einem Auswerter nach entsprechendem Training und Diskussionen durchzuführen. Zur visuellen Ausreißerkontrolle wurden die Blutdruck-Werte mit den Programmen PLOBF und IPSAT sowohl absolut ( $\pm 2.58$  SD) als auch ipsativ (Eliminierung der Mittelwerte der Phase und des Probanden) dargestellt, um - nach gemeinsamer Diskussion von auffälligen Werten - eventuell Ausreißer als Missing Data zu setzen.

### Bezeichnung der Blutdruckwerte

- PS systolischer Blutdruck Phase 3, deutliches Auftreten der Korotkoff-Töne, .
- PD4 diastolischer Blutdruck, Phase 4, Leiserwerden (bei BIO 19 Auswertung mit speziellen Signalerkennungsroutinen von Foerster, z.T. in Anlehnung an Bertram et al., 1982, entsprechend auch bei visueller Interpolation),
- PD5 diastolischer Blutdruck Phase 5, Verschwinden der Korotkoff-Töne
- PAMP4 Blutdruckamplitude PS-PD4
- PAMP5 Blutdruckamplitude PS-PD5
- PM4 mittlerer Blutdruck  $PD4 + 0.3 \times (PS - PD4)$
- PM5 mittlerer Blutdruck  $PD5 + 0.3 \times (PS - PD5)$

PD4 wurde bei auskultatorischer Messung notiert, falls akustisch wahrnehmbar, und bei Anwendung des BIO 19 bzw. visueller Interpolation gewonnen, falls auswertbar. Die ursprünglich als 'blank' kodierten, von PD5 nicht unterscheidbaren PD4-Werte wurden nachträglich durch die jeweiligen PD5-Werte ersetzt, um den File homogen zu gestalten. Das Physioport-System liefert grundsätzlich keine PD4-Werte, deshalb bleiben diese Variablen, und genauso die PD4-Variablen aus der Boucke-Kalibrierung, blank.

### Vergleichbarkeit der Blutdruck-Messungen

Der Blutdruck wurde zwar möglichst sorgfältig und immer am linken Arm mit Druckablaß-Geschwindigkeit von ca 3 mmHg/s gemessen, doch gibt es die erwähnten meßmethodischen Unterschiede auskultatorischer und automatischer Messung, vom Untersucher bzw. vom Auswerter abhängige Schwellenurteile, Unterschiede der inneren und äußeren Bedingungen während der Messung einschließlich Unterschieden der Körperlage. Deshalb bestehen Vorbehalte, wenn die 10 Messungen aus Screening und Voruntersuchung, die 32 Messungen aus dem Polygraph-Labor, die 31 Messungen aus dem Kreislauf-Labor und die durchschnittlich 61 Messungen während des Monitorings (davon ca 8 Messungen während der Nachtruhe) verglichen werden.

#### 2.4.2 Zuverlässigkeit der Blutdruck-Messung

Für die auskultatorischen Messungen mit Stethoskop fand - wie erwähnt - ein Training aller Untersucher, durchgeführt durch A. Sondhauß, statt.

Die relativ höchste Zuverlässigkeit wird angenommen für die auskultatorischen Messungen mit Quecksilber-Manometer (Standgerät) und Stethoskop:

(1) im Vorraum zum Polygraph-Labor anlässlich Vor- und Hauptuntersuchung (Sondhauß) und (2) im Kreislauf-Labor während der beiden Ruhephasen des Orthostase-Versuchs (Darsow).

Die Screening-Messungen haben aus mehreren Gründen wahrscheinlich die größte Fehlervarianz.

Die Messungen mit Boucke FIB/BIO 19 und mit Physioport haben spezifische Methodenprobleme. In die Korrekturen und notwendigen Missing-data-Setzungen ist hier sehr viel Mühe investiert worden, doch ist es nur realistisch, bei den apparativen Messungen die intraindividuellen Vergleiche für deutlich zuverlässiger zu halten als die interindividuellen. Bei den auskultatorischen Messungen spielen Personenunterschiede selbstverständlich ebenfalls eine Rolle, doch übertreffen die Probleme guter Mikrophon-Lokalisierung sowie Signalerkennung mit EDV wahrscheinlich in der Regel die Fehlerquellen der Stethoskop-Anwendung.

Es sind zu diesen Reliabilitätsaspekten vielfältige und z.T. aufwendige Methodenstudien denkbar. Auf solche Methodenstudien mußte hier aus mehreren Gründen verzichtet werden.

Das Freiburger Eichamt verlangt (laut Auskunft April 1988) nur eine Genauigkeit von  $\pm 3.5$  mmHg. Boucke-System und Quecksilber-Manometer tragen gültige Eichmarken. Ein Vergleich zwischen Standgerät Nr. 226 und Boucke-System (60 cm Schlauch) ergab eine befriedigende Übereinstimmung der Ableisungen  $\pm 2$  mm. Der Druckabfall des Boucke-System ergab nach Manometerablesung (Standgerät Nr. 226) ca 3.5 mm bei Geräteeinstellung "3 mm". Die Abmessungen der aufblasbaren Manschetten-Teile betragen: (1) bei den Standgeräten 13 x 24 cm, (2) beim Boucke-System 12 x 27 cm. Es wurde nur die normale Größe verwendet, jedoch der Oberarm-Umfang zusätzlich gemessen, um dessen Einfluß kontrollieren zu können.

Der Datensatz erlaubt keine Meßfehlerschätzungen im engeren Sinn aufgrund paralleler Messung, sondern nur Aussagen über die zeitliche Stabilität (Reproduzierbarkeit) und transituationale Generalisierbarkeit der Messungen:

(1) über verschiedene Meßzeitpunkte (Minuten) in äußerlich unveränderter Situation

- erste und zweite Messung nach 5 Minuten Liegen im Vorraum,
- Messungen im Minutenabstand (Kreislauf-Labor), vor allem in der Ruhephase vor dem Orthostase-Versuch,

- (2) über verschiedene Tage, d.h. Ruhewerte der Voruntersuchung und der Hauptuntersuchung,
  - (3) über verschiedene Situationen (und Tage), d.h. Untersuchungsabschnitte im Labor und im Feld sowie deren Phasen,
- Jeweils unter Berücksichtigung der Meßmethodik.

In der Tabelle 2.6 sind die Ergebnisse von 16 Blutdruckmessungen in ausgewählten Ruhesituationen des gesamten Untersuchungsablaufs vom Screening bis zur Feldregistrierung zusammengestellt, um die Reproduzierbarkeit der Ruhewerte unter verschiedenen Aspekten zu prüfen. Die Mittelwerte aus Screening, Kurzinterview und Nachtruhe sind hier mit den übrigen Mittelwerten nicht direkt vergleichbar, weil nur von 52 bzw. 66 Probanden Meßwerte vorliegen, jedoch sind die Korrelationskoeffizienten, die nur für die vorhandenen Wertepaare (Programm MISEX) berechnet wurden, interpretierbar.

Die Mittelwerte der Meßwert-Paare aus sukzessiven Ruhemessungen in der Voruntersuchung und in der Hauptuntersuchung sowie die vier Mittelwerte der Ruhe vor Orthostase 1 sind untereinander praktisch identisch; die Korrelationskoeffizienten liegen zwischen .94 und .98 für PS (siehe Tabelle 2.6) und zwischen .87 und .94 für PD4 bzw. .85 und .96 für PD5. Die kurzzeitigen Stabilitätskoeffizienten der automatischen Messung sind nicht generell niedriger als bei auskultatorischer Messung: im Abstand einer Minute während der Endruhe im Polygraph-Labor .95 für PS, .93 für PD4 und .85 für PD5.

Mittelwertunterschiede bestehen dagegen zwischen den Ruhemessungen, wenn Belastungen wie das Kurzinterview, die Orthostase oder die gesamte Belastungsfolge im Labor dazwischen liegen; hier sind auch die Korrelationskoeffizienten geringer.

Zwischen den Ruhemessungen im Vorraum und der Ruhemessung in der Kabine besteht beim ersten Termin ein Unterschied von -9/-14/-18 mmHg für PS/PD4/PD5 und beim zweiten Termin -8/-6/-9 mmHg. Für diesen Effekt könnten die Meßmethode (auskultatorisch bzw. automatisch) oder die andere Körperlage (liegend/zurückgelehnt sitzend) verantwortlich gemacht werden. Die Korrelationskoeffizienten .86/.41/.50 beim ersten und .71/.68/.62 beim zweiten Termin sprechen für die Annahme, daß es sich nicht nur um einen konstanten Unterschied zwischen den Meßmethoden, sondern um einen komplexen Effekt, der bei PD4 und PD5 auffälliger ist, handelt.

Sorgfältige Meßreihen an einer Person ergaben, daß die Übereinstimmung der Meßmethoden bei optimaler Justierung des Mikrophons im Bereich der Ablese

Tabelle 2.6: Reproduzierbarkeit der Blutdruckmessungen in ausgewählten Situationen: Screening, Voruntersuchung (2 Ruhewerte im Vorraum, Ruhe vor und nach Kurzinterview), Hauptuntersuchung (2 Ruhewerte im Vorraum, Anfangs- und Endruhe in der Kabine, 4 Ruhewerte der Orthostase 1 und 1 Ruhewert aus Orthostase 2), Nachtruhe der Feldregistrierung: Mittelwerte und Standardabweichungen von PS, PD4 und PD5, Korrelationskoeffizienten des PS.

	Sitzend Methode		PS		PD4		PD5	
	Liegend		M	s	M	s	M	s
1 Screening <sup>1)</sup>	S	Stavomed	153.4	17.4	-	-	82.1	15.6
2 VU Ruhe 1	L	ausk.	134.0	15.8	91.5	15.1	79.3	11.6
3 VU Ruhe 2	L	ausk.	134.4	16.5	92.6	13.8	80.0	11.1
4 VU Ruhe vor KI <sup>2)</sup>	S/L	Boucke	125.4	18.0	78.8	12.8	62.2	11.8
5 VU Ruhe nach KI <sup>2)</sup>	S/L	Boucke	127.3	17.5	82.0	12.5	67.9	14.0
6 HU Ruhe 1	L	ausk.	130.5	13.1	88.7	11.3	73.9	11.0
7 HU Ruhe 2	L	ausk.	130.4	12.9	88.8	9.7	74.5	10.2
8 HU ARU	S/L	Boucke	122.0	13.9	82.6	9.3	65.9	11.6
9 HU ERU1	S/L	Boucke	128.4	15.6	87.4	13.5	70.2	12.7
10 HU ERU2	S/L	Boucke	128.6	16.4	87.7	12.7	68.6	11.9
11 HU OR 1/1	L	ausk.	137.5	14.8	89.5	10.6	84.4	12.1
12 OR 1/2	L	ausk.	137.5	14.8	89.2	11.3	83.6	13.3
13 OR 1/3	L	ausk.	137.2	14.8	89.8	11.7	84.4	12.3
14 OR 1/4	L	ausk.	137.4	14.3	89.1	11.4	83.8	12.5
15 HU OR 2/1	L	ausk.	132.2	12.7	86.0	10.8	80.8	11.9
16 Nachtruhe <sup>3)</sup>	L	Physioport	121.8	10.7	-	-	68.8	9.1

Anmerkungen:    <sup>1)</sup> N = 53            <sup>2)</sup> N = 66            <sup>3)</sup> N = 52

Korrelationskoeffizienten des systolischen Blutdrucks

1 Screening	<u>1</u>
2 VU Ruhe 1	67 <u>2</u>
3 VU Ruhe 2	67 98 <u>3</u>
4 VU vor KI	50 85 86 <u>4</u>
5 n. KI	56 80 78 89 <u>5</u>
6 HU Ruhe 1	66 86 86 80 81 <u>6</u>
7 HU Ruhe 2	67 84 84 79 79 98 <u>7</u>
8 HU ARU	52 72 70 62 67 72 71 <u>8</u>
9 HU ERU1	49 61 61 68 75 68 67 78 <u>9</u>
10 ERU2	59 62 63 68 75 68 68 77 95 <u>10</u>
11 HU OR 1/1	48 63 63 51 48 67 67 57 48 48 <u>11</u>
12 1/2	55 66 65 57 56 69 69 60 52 54 96 <u>12</u>
13 1/3	54 68 67 56 55 72 72 60 53 55 95 97 <u>13</u>
14 1/4	56 65 64 53 55 72 72 61 55 54 94 96 97 <u>14</u>
15 HU OR 2/1	52 63 62 56 54 70 70 58 51 48 75 77 76 80 <u>15</u>
16 Nachtruhe	17 55 54 46 39 60 58 49 52 53 55 56 52 56 <u>57</u>

genauigkeit  $\pm 2$  mm liegen kann, und daß die unterschiedliche Länge der Schlauchzuleitungen zur Manschette keine Rolle spielt. In der Literatur (siehe Fahrenberg & Foerster, 1989) gibt es jedoch Hinweise, daß bei eventuell höherem Andruck des Mikrophons (das unter dem unteren Manschettenrand liegt) höhere Werte gemessen werden können. Der systolische und diastolische Blutdruck ist im Stehen höher als im Sitzen und im Sitzen höher als im Liegen (Carel et al., 1983; Gellman et al., 1990; siehe dagegen Krönig, 1976), doch befanden sich die Versuchspersonen in der Kabine in halbliegender Position. Die methodenkritischen Überlegungen führten zur Schlußfolgerung, daß mehrere Effekte zusammenwirken und wahrscheinlich die zwischen Vorraum und Kabine über einen längeren Zeitraum von ca. einer Stunde stattfindende Eingewöhnung und Beruhigung des Probanden einen wesentlichen Anteil hat.

Hinweise zur zeitlichen Stabilität bzw. transsituationalen Generalisierbarkeit sind für den systolischen Blutdruck PS aus der Tabelle 2.6 zu entnehmen; die Koeffizienten für PD4 und PD5 sind in derselben Größenordnung.

Die größten Divergenzen bestehen - wie zu erwarten - zwischen Screening und Nachruhe. Die Stabilitätskoeffizienten zwischen äußerlich identischen Ruhesituationen bei Vor- und Haupt-Untersuchung betragen ca. .85 für PS, aber nur ca. .30 für PD4 und ca. .55 für PD5 bei auskultatorischer Messung. Je nach zeitlichem Abstand und Meßsituation ergibt sich eine große Variabilität der Korrelationskoeffizienten. Immerhin korreliert aber der mittlere systolische Wert der Nachruhe zu .60 und der mittlere diastolische Wert zu .61 mit den Ruhemessungen 1 der Hauptuntersuchung, die in der Regel am selben Tag stattfand.

Für die Gruppierung unter dem Gesichtspunkt grenzwertig erhöhten Blutdrucks werden hier, um drei verschiedene Untersuchungsbedingungen zu repräsentieren, zwei Ruhewerte aus der Voruntersuchung (Ruhe 1 und 2 im Vorraum) und vier Ruhewerte aus der Hauptuntersuchung (Ruhe 1 und 2 im Vorraum sowie Ruheminuten 1 und 2 des Orthostase-Versuchs 1) ausgewählt: die Variablen 2, 3, 6, 7, 11 und 12 der Tabelle 2.6.

#### **2.4.3 Blutdruck und Körperbau**

Viele Untersucher haben eine positive Korrelation zwischen dem Umfang des Oberarms und den gemessenen Blutdruckwerten beobachtet, wobei die Koeffizienten für den systolischen Blutdruck oft höher sind als für den diastolischen Blutdruck (Literatur siehe Fahrenberg & Foerster, 1989). Es soll deshalb ein optimales Verhältnis zwischen Oberarmumfang und Blutdruckmanschette ge-

währleistet sein, damit auch bei größerem Oberarm immer eine ausreichende Kompression der Arterie erreicht werden kann. Je nach Oberarmumfang sind verschiedene Manschettengrößen zu verwenden oder zumindest nachträglich Korrekturtabellen, welche bei ungeeigneter Manschettengröße je nach Oberarmumfang einige mmHg zu addieren oder zu subtrahieren gestatten (Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V., 1981; Frohlich et al., 1988; Literaturübersicht: Wechsler & Ditschuneit, 1986).

Bei der Bewertung dieser Korrelationskoeffizienten ist jedoch zu bedenken, daß sie einerseits Meßfehler aufgrund unzureichender Kompression der Arterie, andererseits reale konstitutionelle Zusammenhänge anzeigen können.

Die Blutdruckwerte und anthropometrischen Daten der vorliegenden Untersuchung erlauben es, einige Aspekte dieses Methodenproblems, das auch für die beabsichtigten Gruppierungen nach Blutdruckwerten relevant ist, zu beschreiben.

Die folgende Tabelle 2.7 gibt Statistiken einiger anthropometrischer Variablen und läßt erkennen, daß die Verwendung einer zweiten, größeren Manschette, die von einem Oberarmumfang von 33 cm an empfohlen wird, noch nicht angezeigt war. Der relativ kleine Bereich der Körperbaumaße dieser Probanden muß bei der Interpretation der Befunde bedacht werden.

Tabelle 2.7: Ausgewählte anthropometrische Variablen (N=81)

Variable	M	SD	Bereich
Grösse	181.1	6.9	162.0- 196.0
Gewicht	74.4	7.7	57.5- 93.5
Oberarmumfang	26.6	1.8	22.5- 31.0
Brustumfang	88.7	4.2	79.0- 99.0
Brusttiefe	18.6	1.6	14.0- 22.0
Taillenumfang	75.7	4.6	64.0- 89.0
Beckenumfang	81.1	5.0	71.0- 92.0
Obesity-Index	1253.6	126.1	966.0-1632.0
Rees-Eysenck-Index	1055.0	49.1	957.0-1185.5

Die Korrelationsmatrix dieser anthropometrischen Variablen mit Ruhewerten des Blutdrucks aus verschiedenen Untersuchungsabschnitten führt zu den folgenden Ergebnissen:

- (1) Der Oberarmumfang korreliert hier in der Größenordnung .20 bis .30 mit PS und PD5, tendenziell etwas geringer mit PD4 ( $r \geq .22$   $p \leq .05$ ).
- (2) Positive Korrelationen in dieser Größenordnung bestehen auch zwischen Blutdruckwerten und Brustumfang bzw. Brusttiefe (relativ geringer bei automatischen Blutdruckmessungen mit dem Boucke-System).
- (3) Gewicht, Größe und Beckenumfang korrelieren nur mit PS signifikant; Obesity-Index und Rees-Eysenck-Index korrelieren nicht mit Blutdruckwerten.
- (4) Einige der Korrelationskoeffizienten zwischen Alter (trotz der Restriktion auf 20 bis 30 Jahre) und Blutdruckwerten sind signifikant, dagegen sind hier Alter und Gewicht nicht korreliert.
- (5) Der Oberarmumfang korreliert .64 mit dem Gewicht, .59 mit Brustumfang, .57 mit Taillenumfang, .56 mit Obesity-Index, .46 mit Beckenumfang, .40 mit Brustbreite, .31 mit Brusttiefe, -.31 mit Rees-Eysenck-Index und .10 mit Größe.
- (6) Betrachtet man z.B. die beiden Ruhemessungen der Voruntersuchung, so wird PS am besten von Größe bzw. Oberarmumfang, PD4 von Brustumfang bzw. Brusttiefe, PD5 von Oberarmumfang bzw. Brustumfang vorhergesagt (jeweils in der Größenordnung von .25).

Durch Auspartialisierung des Körpergewichts aus der Beziehung zwischen Oberarmumfang und Blutdruckwerten (z.B. VU Ruhewert 1 des PS) reduziert sich der Koeffizient (von .25 auf .15) und wird insignifikant. Dennoch läßt sich korrelationsstatistisch nicht entscheiden, ob nur die körperliche Fülle (insbesondere Gewicht und Thoraxgröße) oder auch die damit zusammenhängende, u.U. nicht ausreichende Kompression der Arterien maßgeblich ist. Die geringen Unterschiede hinsichtlich PS und PD sprechen hier gegen die Meßfehler-Hypothese, andererseits hat der Oberarmumfang von allen geprüften Variablen die tendentiell höchsten Zusammenhänge mit dem Blutdruck.

Bei den geplanten Gruppierungen nach Ruhewerten und Reaktionswerten des Blutdrucks sind diese Zusammenhänge mit dem Alter bzw. Gewicht und Größe, die ihrerseits .58 korrelieren, zu berücksichtigen, denn auch die Gruppierung in normotone und grenzwertige Probanden wird mit Körperbauvariablen konfundiert sein.

#### **2.4.4 Ruhewerte des Blutdrucks**

Aufgrund der deskriptiven Ergebnisse und methodischen Überlegungen wurde entschieden, insgesamt sechs Messungen aus drei verschiedenen Untersuchungsabschnitten als Ruhewerte zu definieren: die beiden Messungen im Vor-

raum zu Beginn der Voruntersuchung und zu Beginn der Hauptuntersuchung sowie zwei Messungen zu Beginn des Orthostase-Versuchs. Es handelt sich jeweils um auskultatorische Messungen nach 5 Minuten bzw. mindestens 5 Minuten Liegen.

Von diesen sechs Meßwerten für PS, PD4, PD5, PM4, PM5, PAMP4 und PAMP5 wurden Mittelwert, Standardabweichung und Maximum berechnet, außerdem zu diesen Rohwerten des Blutdrucks auch Standardwerte durch Auspartialisierung von (1) Alter, (2) Gewicht, (3) Größe und (4) Oberarmumfang.

#### 2.4.5 Gruppierungen nach Ruhewerten

Die 81 Probanden wurden nach ihren Ruhewerten in normotone und grenzwertig/labile Personen ("Grenzwert-Hypertoniker") gruppiert. Hierfür wurden die Meßwerte (Rohwerte) der insgesamt sechs Messungen in drei Situationen verwendet und nicht die Standardwerte, damit die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchern gewahrt bleibt.

Die Gruppierung richtet sich nach zwei Kriterien:

(1) nach dem WHO Expert Committee (1978)

"Normal adult blood pressure is arbitrarily defined as a systolic pressure equal or below 140 mmHg (18.7 kPa), together with a diastolic (fifth Korotkoff phase) equal to or below 90 mmHg (120 kPa). Hypertension in adults is arbitrarily defined as a systolic pressure equal to or greater than 160 mmHg (21.3 kPa) and/or diastolic (fifth phase) equal to or greater than 95 mmHg (12.7 kPa). The term "borderline hypertension" is used to denote blood pressure values between the normal and hypertensive ranges as described above." (1978, p. 9). Zur Messung wird empfohlen, "that for the clinical classification of hypertension at least three blood pressure readings be taken on at least two different occasions, under conditions to be described later ... (1978, p. 8).

(2) nach den Richtlinien der Deutschen Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. (1981)

Die Grenzwerte von 140/90 mmHg für den Normotoniker stimmen überein, jedoch wird für die Messung präzisiert: "Die Beurteilung des Blutdrucks soll sich auf den Durchschnittswert aus mindestens 3 Messungen an 2 verschiedenen Tagen stützen; vor allem in Grenzfällen sind häufigere Messungen ratsam" (1981, S. 2).

Wenn mehrere Messungen vorliegen, können also Abweichungen zwischen den Gruppierungen auftreten, weil entweder (a) das Maximum an jedem Tag bzw. aus jeder Situation oder (b) der Mittelwert jedes Tages bzw. jeder Situation oder (c) der Mittelwert über alle einzelnen Messungen den Grenzwert überschreiten soll.

Von den 81 Probanden haben 55 (68%) mindestens einmal unter den sechs Ruhewerten einen systolischen Wert  $> 140$  und/oder einen diastolischen Wert (PD5)  $> 90$  mmHg (Gruppierung GWHT1). Bei 21 Probanden ist nur PS, bei 6 Probanden nur PD5 erhöht. Wird die Gruppierung nach den Mittelwerten aller sechs Ruhewerte vorgenommen, so haben 36 Probanden (44%) einen Mittelwert PS  $> 140$  und/oder PD5  $> 90$  mmHg (Gruppierung GWHT6). Bei 26 Probanden ist nur PS, bei 4 Probanden nur PD5 erhöht.

Wie zu erwarten, folgen aus den GWHT6-Kriterien höhere mittlere Blutdruckwerte der GWHT-Gruppen (siehe Tabelle 2.8). Die Gruppen NT und GWHT unterscheiden sich im Alter, tendenziell auch im Gewicht und Oberarmumfang, so daß diese Beziehungen bei inferenzstatistischen Aussagen berücksichtigt werden müssen. Die Gruppenunterschiede der Blutdruckwerte sind jedoch - wie die entsprechenden Berechnungen mit standardisierten Blutdruckwerten erkennen lassen - nur zu einem geringen Anteil durch diese Kovariaten aufzuklären. Die Gruppen unterscheiden sich nicht konsistent in der Varianz der Blutdruckwerte.

Die beiden Gruppierungen nach Ruheblutdruck GWHT1 und GWHT6 werden für die folgenden Analysen verwendet, außerdem für manche Fragestellungen die Gruppierung in 26 normotone Probanden, 19 mit leicht erhöhtem und 36 mit erhöhtem Blutdruck. Nur drei Probanden erfüllen mit Gesamt-Mittelwerten von 145/98, 150/95 und 152/99 das Diastolen-Kriterium der WHO-Definition von Hypertonie. Eine Auszählung, welche sich nur auf die beobachteten Minima unter den sechs Messungen stützt, würde 12 grenzwertige Probanden (alle aufgrund PS  $> 140$ ) ergeben. Diese Statistiken zeigen, daß es sich bei diesen "Grenzwert-Hypertonikern" um Personen mit relativ leicht erhöhtem Blutdruck handelt, folglich auch die Bezeichnung als labil/hypertone Probanden angemessener ist.

Außer dieser Gruppierung NT/GWHT wurde noch eine Quartil-Gruppierung vorgenommen, indem die Probanden für jede der Blutdruckvariablen der sechs Messungen in eine Rangordnung gebracht und die Rangsummen dann in Quartile gegliedert wurden. Die abgeleiteten Indizes RUBLPSQ, RUBLPDQ und RUBLQ geben also Quartilgruppen (1 bis 4) für PS und PD5 wider (siehe Tabelle 2.8).

Tabelle 2.8: Gruppierung aufgrund der Ruhewerte des Blutdrucks nach den Kriterien GWHT1 und GWHT6 bzw. nach den Quartilgruppen PSQ und PD5Q: Konstitutionelle Merkmale und Blutdruck-Statistiken.

Variable	NT	GWHT1	p	NT	GWHT6	p
	N=26	N=55		N=45	N=36	
Alter	23.1	24.3	.030	23.5	24.6	.040
Gewicht	72.0	75.5	.051	73.1	76.0	.088
Größe	180.3	181.5	.453	180.0	182.5	.112
Oberarmumfang	25.8	27.0	.002	26.4	27.0	.115
Mittelwerte (6 Messungen)						
Rohwerte						
PS	119.5	140.9	.000	124.7	145.8	.000
PD4	82.6	93.6	.000	85.6	95.6	.000
PD5	72.2	82.6	.000	75.8	83.6	.000
PM5	88.0	102.0	.000	92.1	104.4	.000
Standardwerte						
sPS	122.8	139.3	.000	126.3	143.7	.000
sPD4	84.5	92.7	.000	86.5	94.5	.000
sPD5	74.5	81.5	.000	76.7	82.6	.002
sPM5	90.6	100.8	.000	93.2	102.9	.000
Standardabweichungen (6 Messungen)						
Rohwerte						
PS	8.39	8.69	.824	9.52	5.29	.001
PD4	6.30	8.16	.145	8.29	6.98	.289
PD5	5.93	9.08	.019	8.66	8.75	.906
PM5	5.85	6.90	.352	7.84	5.79	.612
Standardwerte						
sPS	8.28	8.94	.665	8.87	6.22	.294
sPD4	6.70	8.11	.282	8.13	6.88	.304
sPD5	6.64	8.66	.133	8.28	8.13	.877
sPM5	6.45	6.78	.768	7.34	5.59	.926

	RUBL				p	PS				p
	Quartile					Quartile				
	N=	1	2	3		4	1	2	3	
	20	20	20	21		21	19	21	20	
Alter	23.2	23.9	23.9	24.8	.209	23.1	23.9	23.8	25.1	.069
Gewicht	69.1	76.7	74.5	77.0	.003	72.6	73.2	76.2	75.3	.393
Größe	178.2	182.0	180.1	184.1	.034	181.5	180.1	182.6	180.1	.596
Oberarmumfang	25.4	27.2	27.0	26.0	.004	26.0	26.2	27.2	27.2	.043
Mittelwerte (6 M.)										
PS	115.5	130.4	140.4	149.1	.000	123.3	133.0	137.9	142.2	.000
PD4	81.0	90.4	95.0	93.8	.000	79.4	87.9	93.4	99.9	.000
PD5	71.7	80.9	83.0	81.4	.000	67.2	76.9	82.9	90.5	.000
PM5	86.3	97.4	102.2	104.0	.000	85.9	95.6	101.2	107.7	.000
Standardabweichungen (6 M.)										
PS	4.66	4.25	2.91	3.58	.206	13.60	13.22	9.45	7.87	.057
PD4	6.07	7.16	9.06	7.30	.382	5.73	4.54	5.40	4.88	.762
PD5	6.50	7.73	10.74	8.71	.174	6.31	2.48	2.03	3.89	.000
PM5	5.32	5.98	7.48	6.34	.519	5.72	5.01	3.13	4.17	.062

Auch für diese Gruppierungen sind signifikante, allerdings für PS und PD5 nicht konsistente Zusammenhänge mit Gewicht, Größe und Oberarmumfang festzustellen.

#### 2.4.6 Gruppierungen aufgrund des Orthostase-Versuchs

Der Orthostase-Versuch soll zur Beurteilung der individuellen Blutdruck-Regulation beitragen. Aus den umfangreichen Analysen zu diesem Abschnitt der Untersuchung (siehe auch Darsow, 1991) werden hier Gruppierungen nach vier Prinzipien ausgewählt.

##### (1) Gruppierung nach Thulesius (1976)

Nach Thulesius sind die Veränderungen des systolischen Blutdrucks und der Herzfrequenz zu berücksichtigen. Er verwendet den Gesamtverlauf und gelegentlich auch die Messungen nach der 1., 3. und 7. Minute der Stehreaktion, während hier die Mittelwerte über 4 Minuten Ruhe und über 7 Minuten Stehen herangezogen werden.

Es wird ein Normbereich definiert, der durch Herzfrequenz-Reaktionen  $DHF \leq 20$  und systolische Blutdruck-Reaktion  $DPS \geq -10$  und  $\leq +10$  gekennzeichnet ist.

				N in	
				Orthostase	
				(1)	(2)
<u>THU 76</u>	(1) Hyperton	$DPS > 0$	$DHF > 20$	9	18
	(2) Normoton	$DPS \geq -10$ und $\leq +10$	$DHF \leq 20$	21	22
	(3) Sympathikoton	$DPS < 0$	$DHF > 15$	48	41
	(4) Leicht asympathikoton	$DPS < -10$	$DHF < 15$	2	0
	(5) Kollaps			1	0

Hier sind nur die Gruppen 1 bis 3 hinreichend besetzt.

##### (2) Gruppierung nach Myrtek et al. (1974)

Nach Myrtek sind primär die Blutdruckamplitude und der mittlere Blutdruck, jeweils unter Verwendung von PD4, zu berücksichtigen. Für die Gruppierung müssen Grenzen festgelegt werden, wobei auf zweckmäßige Verteilungen zu achten ist. Da in Myrteks Untersuchung (N=107) der Mittelwert im Liegen mit 122/79 deutlich unter dem gegenwärtigen Mittelwert 137/89 liegt, werden hier mit  $\pm 0.67 \times SD$  (= 50% der Verteilung) neue "Normbereiche" gebildet:

DPS        -1.1 bis -12.1 (bei M = -6.6, SD = 8.2)  
 DPD4      +19.3 bis +8.9 (bei M = +14.1, SD = 7.8)  
 DPM4      +11.2 bis 3.0 (bei M = 7.1, SD = 6.1)  
 DPAMP4   -14.0 bis -27.2 (bei M = -20.6, SD = 6.6)

Als zusätzliche Regeln wurden festgelegt:

(a) Wenn PS  $\phi$  und PD4  $\uparrow$ , dann erfolgt bei hohem Anstieg von PM Einstufung 1. PS-Anstiege kleiner als Mittelwert werden nur ausnahmsweise, wenn PD4 sehr stark erhöht ist, berücksichtigt.

(b) Wenn PS  $\uparrow$  und PD4  $\phi$ , dann wie (a).

(c) Wenn PS  $\phi$  und PD4  $\downarrow$ , dann bei kleiner Veränderung von PM Einstufung 4.

(d) Wenn PS  $\downarrow$  und PD4  $\phi$  oder  $\uparrow$ , dann bei kleiner Veränderung von PM Einstufung 3 oder 4.

				N in	
				Orthostase	
				(1)	(2)
<u>MYR</u>	(1) Hyperton	PS $\uparrow$	PD $\uparrow$	17	29
	(2) Normoton	PS $\phi$	PD $\phi$	50	40
	(3) Hypoton	PS $\downarrow$	PD $\uparrow$	6	6
	(4) Hypodynam	PS $\downarrow$	PD $\downarrow$	7	6
	(5) Kollaps			1	0

Hier sind vor allem die Gruppen 1 und 2 besetzt.

### (3) Modifizierte Gruppierung nach Myrtek

Die von Myrtek modifizierte Einteilung stützt sich auf die Veränderung D = Stehen-Liegen des mittleren Blutdrucks PM4 und der Blutdruckamplitude PAMP4. Auf diese Weise soll berücksichtigt werden, daß Orthostase-Beschwerden dann auftreten, wenn entweder PM stark absinkt oder ansteigt bzw. das Herzminutenvolumen nicht ausreichend ist. Die Grenzen werden für die vorhandenen Verteilungen festgelegt. Falls eine Person in zwei der folgenden Kategorien fällt, ist die Gruppierung nach PM maßgeblich.

				N in	
				Orthostase	
				(1)	(2)
<u>MYRTE</u>	(1) Hyperton	D PM4	$\geq + 7$	32	43
		D PAMP4	$\leq 15$		
(2) Normoton	D PM4		-5 bis + 6	14	9
		D PAMP4	$\leq 15$		
(3) Hypoton	D PM4		-5 bis + 6	30	28
		D PAMP4	$\geq 16$		
(4) Hypodynam	D PM4		$\leq - 6$	4	1
		D PAMP4	$\leq 15$		
(5) Vagovasale Reaktion			—	1	0

Hier sind vor allem die Gruppen 1 bis 3 besetzt, so daß eine bessere Diskrimination erreicht ist. Hypodynamie Reaktionen wurden bei diesen 81 Probanden kaum beobachtet.

#### (4) Gruppierung nach Weckenmann (1981)

Diese Gruppierung verwendet die Blutdruckamplitude und die Herzfrequenz im 10-Minuten-Stehetest. Der sog. Orthostasequotient ist anhand empirischer Befunde definiert:  $OQ = (PAMP + 52.5)/HF$  (Mittelwerte der Stehphase, PAMP wahrscheinlich anhand PD5 definiert).  $OQ > 1$  entspricht stabiler,  $OQ < 1$  labiler Regulation. Je nach Herzfrequenz wird zwischen bradykard bzw. tachykard Labilen unterschieden. Hier werden entsprechend die Mittelwerte über 7 Minuten Stehen verwendet.

				N in	
				Orthostase	
				(1)	(2)
<u>WECK</u>	(1) Tachykard Labile		$OQ < 1, HF > 95$	11	12
	(2) Stabile		$OQ > 1,$	41	45
	(3) Bradykard Labile		$OQ < 1, HF < 95$	28	24

Bei dieser Einteilung sind die Gruppen 1-3 hinreichend besetzt.

#### Reproduzierbarkeit der Gruppierungen

Die Reproduzierbarkeit der Gruppierungen läßt sich durch Vergleich der Ergebnisse der beiden Orthostase-Versuche beurteilen - mit dem Vorbehalt, daß es sich nicht um eine identische Wiederholung handelt. Abgesehen von dem Zeitintervall, den eventuell persistierenden Kreislauffeffekten und der Erfah-

rung des ersten Versuchsdurchgangs, die u.U. eine weitere Adaptation bedingt, ist hervorzuheben, daß den Probanden für den zweiten Orthostase-Versuch eine Atemmaske für die Atemfunktions-Messungen angelegt wurde. Mögliche Effekte bzw. Rückwirkungen sind schwer abzuschätzen, so daß der Vergleich beider Versuche nur bedingt als Prüfung der Reproduzierbarkeit gelten kann und primär die relativen Unterschiede zwischen diesen wiederholten Einteilungsversuchen zu bewerten sind.

Die Gruppierungen THU76, MYR und MYRTE sind fünfstufig mit hinreichender Besetzung von jeweils zwei bis drei Gruppen, die Gruppierung WECK ist dreistufig. Die statistische Prüfung wurde deshalb mittels Kontingenzkoeffizienten nur für die drei ersten Stufen der Gruppierungen THU76, MYR und MYRTE vorgenommen. Die Ergebnisse lauten:

Gruppierung THU	(1-3) N = 78	C = .59 (korr. .72)	p < .01
MYR	(1-3) N = 71	C = .56 (korr. .68)	p < .01
MYRTE	(1-3) N = 75	C = .30 (korr. .36)	p = .12
WECK	(1-3) N = 80	C = .75 (korr. .91)	p < .01

Demnach ist die Gruppierung nach Weckenmann (1981) am besten reproduzierbar, gefolgt von den Gruppierungen nach Thulesius (1976) und Myrtek et al. (1974). Zum Vergleich werden in Tabelle 2.9 einige Korrelationskoeffizienten r zwischen Variablen des ersten und des zweiten Orthostase-Versuchs genannt.

Tabelle 2.9: Reproduzierbarkeit von Kennwerten des Orthostase-Versuchs.

	Mittelwert	Differenz	ALS-Werte
	Stehen	Liegen/Stehen	Liegen/Stehen
	(5.-11.Min.)	(1.-4./5.-11.Min.)	(4./5. zu 15./16.Min.)
HF	.96	.86	.73
PS	.83	.72	.47
PD4	.80	.57	.42
PD5	.83	.58	.43
PM5	.84	.66	-
PAMP5	.79	.56	-

Die geringere Reproduzierbarkeit der Differenzen geht in alle Gruppierungen, die auf Reaktionswerten beruhen, ein; umgekehrt haben die von Belastungs- (Verlaufs-) Werten ausgehenden Gruppierungen einen bias durch die habituellen Unterschiede im Blutdruckniveau.

#### 2.4.7 Gruppierungen aufgrund des Ergometer-Versuchs

Die submaximale Ergometerbelastung mit 50 und 100 Watt soll die Kreislaufregulation unter dosierter Arbeitsbelastung prüfen. Die Beurteilung und Gruppierung nach Franz (1986) bezieht sich auf die positiven und negativen Belastungsreaktionen und den sog. hämodynamischen Reaktionstyp. Da Franz keinen präzisen Algorithmus für die Gruppierung beliebiger Meßwertkombinationen angibt, werden hier noch zusätzliche Entscheidungsregeln formuliert.

Die Gruppierung in positive/negative Belastungsreaktion richtet sich gemäß Franz (1986, S. 69) nach PS und PD4 bei 100 Watt:

EXPOS	PS > 200	und	PD4 > 100
EXNEG	PS ≤ 200	und	PD4 ≤ 100

unter der Voraussetzung, daß die Herzfrequenz innerhalb der Grenzen 110-130 liegt (1986, S. 88). Als ergänzendes Kriterium dient die Persistenz der Blutdruckerhöhung über normotone Werte am Ende der Erholungsminute > 140/90 (1986, S. 69). Da in der vorliegenden Untersuchung mit  $112 \pm 10.7$  - eventuell wegen besseren Trainingszustands der Probanden - eine deutlich niedrigere Herzfrequenz beobachtet wird als von Franz ( $126 \pm 13$ ), sind die von Franz genannten Schranken nicht anwendbar, auch die entsprechende Anpassung der Schranken auf 101-123 würde noch einige Probanden mit auffällig erhöhten oder erniedrigten Herzfrequenzen ergeben. Da sich diese jedoch etwa gleichmäßig auf die Gruppierung nach Blutdruckwerten verteilen, wird insgesamt auf die Herzfrequenz als zusätzliches Gruppierungskriterium verzichtet.

Als ergänzende Kriterien werden hier definiert:

(a) nur PS > 200, (b) nur PD4 > 100, (c) Erholungswert in der 5. Minute > 140/90 oder hier nur PS > 140 oder PD4 > 90, wobei jedoch die Abweichung des jeweils anderen Wertes nicht 20 oder mehr mmHg unterhalb dieser Grenzen sein darf.

Es resultieren für die erste Einteilung nach Franz zwei Gruppen:

<u>FRANZ 1</u>	(1) Belastungspositiv (Hauptkriterium oder 2 von 3 ergänzenden Kriterien)	N = 20
	(2) Belastungsnegativ	N = 59

In einer zweiten Gruppierung wird zwischen der Ausprägung der Belastungsreaktion genauer differenziert

<u>FRANZ 2</u>	(0) Hauptkriterium EX POS	N = 6
	(1) mit 2 der 3 ergänzenden Kriterien	N = 14
	(2) mit 1 der 3 ergänzenden Kriterien	N = 21
	(3) Belastungsnegativ	N = 38

Während Franz nur die Grenzwert-Hypertoniker nach der Belastungsreaktion unterteilt, werden hier die Normotonen ebenfalls beurteilt, wie die folgende zweidimensionale Gruppierung zeigt:

		Belastungsreaktionen			
		0	1	2	3
Grenzwert-Hypertoniker GWHT6	N =	5	11	12	8
Normotone	N =	1	3	9	30
Summe	N =	6	14	21	38

Hämodynamischer Reaktionstyp nach Franz (1986, S. 56)

Typ A	PS > (M + 1 SD)	PD4 ≤ M	N = 8
Typ B	übrige Probanden		N = 69
Typ C	PS < M	PD4 > (M ± 1 SD)	N = 2

Die Einstufung erfolgte nach den Mittelwerten des PS  $179.6 \pm 18.5$  und PD4  $94.7 \pm 12.6$  für N = 84.

Diese Einteilung differenziert hier kaum zwischen den Probanden und wird deswegen nicht weiter berücksichtigt.

#### 2.4.8 Parametrisierung der Orthostase- und Ergometer-Reaktionsverläufe

Die in Abschnitt 2.4.6 und 2.4.7 beschriebenen Gruppierungen der Kreislaufregulation während Orthostase und Ergometerbelastung verwenden nur grobe Informationen. Entweder sind es mittlere Belastungswerte (Stehreaktion über 7 Minuten sowie 2 Minuten der 100 Watt Belastung) oder Mittelwertunterschiede im Vergleich zu mittleren Ruhewerten. Der Reaktionsverlauf wird nicht berücksichtigt, so daß weder die individuell sehr verschieden ausgeprägte Sofortreaktion in der ersten Minute der Orthostase, noch das Einschwingverhalten während und das Erholungsverhalten nach diesen Belastungen einbezogen werden. Die zum Teil willkürlich gesetzten oder stichprobenabhängigen Gruppierungskriterien und die problematischen Gruppenbesetzung regten dazu an, über solche Gruppierungen hinaus nach geeigneten Maßstäben zur Beschreibung solcher Regulationsunterschiede als Kontinua zu suchen.

An den graphisch (siehe Anhang) dargestellten Blutdruck-Verläufen (über die 7 Minuten) und an den Sofortreaktionen (60 Sekunden vor und nach dem Kippvorgang) wurden Messungen und Einstufungen von Regulationsmerkmalen vorgenommen. Ausführliche Analysen wurden zur Parametrisierung der Orthostase-Reaktion und der Ergometer-Erholungsphase durchgeführt, um die relative Eignung von e-Funktionen und Polynomen zur Kurvenanpassung zu prüfen und in zwei Stufen vorgenommene Ipsatisierungen der Verläufe (Level, Scatter) zu berücksichtigen. Die Ergebnisse sind in einem Arbeitsbericht ausführlich dokumentiert (Becker, 1991).

#### Blutdruck-Verlauf während der Orthostase

Eingestuft wurde der Verlauf der minütlich über jeweils 7 Minuten gemessenen Blutdruckwerte:

- (1) die Steigung von PS, PD4 und PD5 von der 1. bis zur 7. Minute, wobei alle drei Variablen mit gleichem Gewicht in die Einstufungen eingingen: 1 aufsteigende Tendenz, 2 eher gleichbleibend und 3 absteigende Tendenz;
- (2) die "Regelgüte" des Blutdrucks mit Einstufungen zwischen 1 relativ hohe Regelgüte" des Blutdrucks und 4 geringe Regelgüte bzw. deutlichste Regulationsstörung. Dieser Versuch, eine Einstufung des komplexen Merkmals "Regelgüte bei Kompensation des orthostatisch bedingten Blutdruckabfalls" vorzunehmen, stützt sich primär auf den Verlauf des PD4, PD5 und des PS, außerdem auf PAMP und sekundär auf die Herzfrequenz. Die Einstufungen berücksichtigten die relative Konstanz der Blutdruckwerte während des Stehens, den Betrag der Veränderung (orientiert an 1.0, 1.5 und 2.0 SD-Einheiten), den Betrag der Veränderung relativ zur individuellen Ausgangslage und zum statistischen Durchschnittsverlauf (Graphik mit  $M \pm 1$  SD), Variabilität des Verlaufs (einfacher Trend vs Unregelmäßigkeit des Einschwingvorgangs), Eindruck von Verlaufsgestalt und Regelfläche.

#### Sofortreaktion im Orthostase-Versuch

An der Graphik des Herzfrequenz-Verlaufs (Schlag-zu-Schlag-Darstellung) wurden durch Messungen oder Einstufungen bestimmt:

- (1) die Differenz der Herzfrequenz HF in den 60 Sekunden vor und nach dem Kippvorgang, jeweils auf die atemabhängigen relativen Maxima bezogen;
- (2) die Zeit bis zum Eintreten des Maximums der Sofortreaktion (SR SEC) während der 60 Sekunden nach dem Kippvorgang;
- (3) die Veränderung in der "Regelgüte" des Herzfrequenz-Verlaufs mit Einstufungen zwischen 1 (Verlauf regelmäßiger als zuvor) und 3 (Verlauf sehr viel

unregelmäßiger durch Veränderungen in Frequenz und Amplitude der Wellen, mit Störungszeichen - jeweils in der letzten Minute vor dem Kippvorgang);

(4) Veränderung in der Regelgüte der Atmung (Pneumogramm bei Orthostase-Versuch 2) mit Einstufungen zwischen 1 und 3 analog zur Regelgüte der Herzfrequenz;

(5) Veränderung der Kopplung von Atmung und Herzfrequenz mit Einstufungen zwischen 1 (bessere Kopplung als zuvor) und 3 (sehr viel schlechtere Kopplung mit Veränderungen in der Synchronie von Atmung und Herzfrequenz, Amplituden- und Frequenzverhältnissen, HF-Wellen mit halbiertes oder gedrittelter Frequenz);

(6) Veränderung des Atemmusters von Inspiration und Expiration mit Einstufungen zwischen 1 (uncharakteristisch), 2 (einmalige tiefe Einatmung), 3 (einmalige tiefe Atmung) und 4 (beides).

Da einige dieser Parameter für beide Orthostase-Versuche vorliegen, können Korrelationen berechnet werden, die jedoch nur mit Vorbehalten als Zuverlässigkeitshinweise interpretiert werden dürfen, da es sich um keine identische Wiederholung des Versuchs handelt.

#### Clusteranalytische Gruppierung der Orthostase-Verläufe

Die in verschiedener Hinsicht unbefriedigenden Ergebnisse bei der Gruppierung der Orthostase-Reaktionen regten zu einer Clusteranalyse der Verläufe an, um zumindest die Minutenwerte statt nur die Mittelwerte zu berücksichtigen.

Die Clusteranalysen mit dem Algorithmus nach Ward (Programm HGROUPE) wurden an den 11 Datenpunkte umfassenden Verläufe von Orthostase-Versuch 1 und 2 mit euklidischen Distanzen als (Un-)Ähnlichkeitsmaß durchgeführt: (1) an den Rohwerten, (2) an den semi-ipsatisierten Werten, d.h. nach Eliminierung des individuellen Mittelwertes und (3) an den voll-ipsatisierten Werten, d.h. nach Eliminierung der individuellen Standardabweichung. Auf diese Weise wurden Level + Scatter + Shape, Scatter + Shape bzw. Shape allein betrachtet. Bei der Entscheidung über die Anzahl der Gruppen wurden drei oder vier Gruppen mit hinreichender Gruppenbesetzung angestrebt und hilfsweise auch der Fehlerterm der Clusteranalyse berücksichtigt (Becker, 1991).

Die nur an den Variablen Herzfrequenz und mittlerer Blutdruck PM5 durchgeführten, sechs explorativen Clusteranalysen führten in der Regel zu vier Gruppen, ausgenommen HF Orthostase 1 ipsatisiert, PM5 Orthostase 1 semi-ipsatisiert mit drei Gruppen. Die Gruppen unterscheiden sich untereinander bei

jeder dieser Gruppierungen paarweise sehr signifikant  $p < .001$  in ihren Verläufen (MANOVA mit Bonferoni-Adjustierung).

In den nicht-ipsatisierten Verläufen dominieren die Niveauunterschiede von Herzfrequenz bzw. mittlerem Blutdruck.

Die drei Gruppen nach semi-ipsatisierten Blutdruckwerten zeigen bemerkenswerte Verläufe: Gruppe 3 (N=28) hat zuerst relativ große negative Abweichungen und in Orthostase entsprechend positive Abweichungen mit ansteigendem Trend (wie HF Gruppe 4). Die Gruppe 2 (N=14) zeigt nur geringe Variation um den Mittelwert, während die Gruppe 1 (N=40) die stärkste Dynamik aufweist: in Ruhe negative Abweichungen, allerdings geringer als Gruppe 3, in der Orthostase dann zunächst ebenso starke positive Abweichungen wie Gruppe 3, dann ein Einschwingen auf den Mittelwert. Aufgrund der semi-ipsatisierten Werte könnten die HF-Gruppe 4 und die PM5-Gruppe 3 als relativ schlecht und die HF-Gruppen 1 und 2 und die PM5-Gruppe 2 und 1 als relativ gut reguliert angesehen werden. Die Gruppen aufgrund der semi-ipsatisierten Werte lassen Ausgangswertbeziehungen erkennen: Die Gruppen mit relativ großen negativen Abweichungen der HF vom Mittelwert in Ruhe haben in der Orthostase auch relativ höhere positive Abweichungen der Herzfrequenz; die Gruppe 4 (N=6) sogar mit zunehmender Tendenz bis zur 11. Minute.

Die drei HF-Gruppen aufgrund der voll-ipsatisierten Werte unterscheiden sich in der Gestalt: Gruppe 2 (N=18) und ähnlich Gruppe 1 (N=30) erreichen in der 1. Minute der Orthostase höhere Werte, werden dann jedoch in der 5. Minute von der Gruppe 3 (N=34), deren Herzfrequenz weiterhin ansteigt, übertroffen. Der Blutdruckverlauf aufgrund der voll-ipsatisierten Werte zeigt interessante Unterschiede zwischen den Gruppen. Die größte Dynamik findet sich bei der Gruppe 3 (N=13): zu Anfang relativ niedrig, dann überschießend in der Orthostase mit Tendenz zu Gegenregulation und baldigem Einschwingen. Gruppe 1 (N=22) hat den Anstieg etwas später und sinkt dann deutlicher ab. Gruppe 2 (N=39) steigt weniger stark an, bleibt dann aber bei höheren Abweichungen als die anderen Gruppen. Die Gruppe 4 (N=8) zeigt bis in die 3. Minute der Orthostase hinein relativ geringe Abweichungen, dann jedoch markante negative Abweichungen mit kurzer Gegenregulation.

Bei der Prüfung der Reproduzierbarkeit dieser Gruppierungen über beide Orthostase-Versuche ergaben sich korrigierte Kontingenzkoeffizienten von .95 für nicht-ipsatisierte Verläufe der HF bzw. .79 für entsprechende PM5-Gruppierungen. Wegen der nicht eindeutigen Zuordnung der auf Streuung und Gestalt

beruhenden Gruppierungen zwischen Orthostase 1 und 2 werden hierfür keine Kontingenzkoeffizienten berechnet.

### Anpassung von e-Funktionen und Polynomen

An den individuellen Reaktionsverlauf während Orthostase 1, Orthostase 2 und an den Erholungsverlauf (Recovery) nach 100 Watt Ergometerbelastung wurden mit dem Programm ANPAS (Autor F. Foerster) zwei Kurven angepaßt:

(1) Eine e-Funktion  $f(t) = a + b \cdot \exp((t_0 - t) \cdot \alpha)$

a = Asymptote (entspricht etwa dem Mittelwert);

b = Verstärkung

b > 0 abfallend,

b < 0 ansteigend;

alpha = Änderungsgeschwindigkeit

alpha > 0 Asymptote rechts,

alpha < 0 Asymptote links,

(2) Anpassung eines Satzes von Legendre Polynomen. Die Gewichte geben die Ausprägung des konstanten Anteils bzw. Ausprägung und Richtung des linearen, quadratischen, kubischen usw. Anteils an.

Als Maß der Anpaßgüte dient der relative Fehler.

Ausgewählt wurden die Minuten-Mittelwerte von 14 Variablen der Blutdruckmessung und des EKG, deren gemittelte Verläufe deutliche Einschwingvorgänge erkennen ließen: PS, PD4, PD5, PM5, PAMP5, PAMPxHF, HF, HFSTD, R-, T- und J+80 Amplitude, PQ-Intervall (Pa - Qa) und PQ-Strecke (Pe - Qa) sowie QT-Zeit.

Die Schätzung der Funktionen ist von der Anzahl verfügbarer Datenpunkte abhängig. Zwar sind hier von den Orthostase-Versuchen je 11 Minuten-Mittelwerte vorhanden, doch bilden vier Mittelwerte die Basislinie, von welcher der Reaktionsverlauf - als Zuwachs - beginnt. In der Erholungsphase nach der Ergometerbelastung gibt es nur fünf Meßwerte. Bei den EKG-Variablen ist eine höhere Auflösung aufgrund der Schlag-zu-Schlag-Analyse möglich, doch kann der Blutdruck nicht-invasiv nicht häufiger als in Minuten-Abständen gemessen werden. Die folgenden Analysen sind folglich als explorative Versuche zu verstehen (siehe auch Becker, 1991).

Es wurden e-Funktionen und Polynome an 8-Minuten-Segmente der beiden Orthostase-Versuche angepaßt, die nur aus der letzten Minute Ruhe und den sieben Minuten der Orthostase bestehen, d.h. ohne Basislinie dem typischen Bild der Wachstumskurve besser entsprechen. Explorativ wurden solche An-

passungen auch an dem noch kürzeren Segment der Erholung nach Ergometer-Belastung mit fünf Datenpunkten vorgenommen. In der Tabelle 2.10 sind ausgewählte Ergebnisse zur Anpassung der e-Funktionen dargestellt. Die Reaktionsverläufe der Herzfrequenz in der Orthostase haben sämtlich ein  $\alpha > 0$  und ein  $b < 0$ , d.h. Verläufe im Sinne einer Wachstumskurve mit Wölbung nach oben bei unterschiedlicher Änderungsgeschwindigkeit und Anpaßgüte. Die Verteilungen der individuellen Parameter (alpha und relativer Fehler) sind mit deutlichen Decken-Boden-Effekten wegen der geringen Anzahl von Datenpunkten bei den Herzfrequenz-Verläufen schmalgipflig, aber nicht schief.

Tabelle 2.10: Anpassung von e-Funktionen an die individuellen Reaktionsverläufe von Herzfrequenz und mittlerem Blutdruck: Koeffizienten alpha und b sowie relativer Fehler (N = 75 bis 81).

	Koeffizient alpha				Koeffizient b			Relativer Fehler			
	M	Bereich	Exzeß		M	Bereich	Exzeß	M	Bereich	Exzeß	
HF O1	1.77	0.05	12.57	***	-25.7	-44.2	-11.2	5.4	0.4	17.3	**
O2	2.10	0.21	12.57	***	-26.5	-47.5	-10.9	5.0	0.3	19.5	***
ER	3.69	0.27	22.00	***	-	-	-	1.9	0.0	8.6	***
PM O1	4.37	-6.29	12.57	*	-7.4	-25.3	15.1	46.5	3.5	95.7	
O2	5.37	-6.29	12.57	*	-9.1	-25.4	18.7	46.9	2.0	99.3	
ER	3.22	-11.00	22.00	**	-	-	-	39.9	1.3	99.6	

\*\*\* p < .001    \*\* p < .01    \* p < .05

Die Reaktionsverläufe des mittleren Blutdrucks sind heterogener wie aus dem größeren Variationsbereich des Koeffizienten b mit negativen und positiven Werten, d.h. ansteigend und abfallend, zu erkennen ist. Da auch alpha negative Werte annehmen kann und die Anpassungen generell schlechter sind, folgt aus diesen Ergebnissen, daß der Verlauf von PM nicht durch einen einzelnen (kontinuierlichen Parameter) gekennzeichnet werden kann, sondern eine Gruppierung nach alpha und b vorgenommen werden muß. Dies spiegelt die heterogenen Orthostase-Regulationen wider und verlangt weitere Analysen. Hier werden für die anschließenden explorativen Berechnungen vor allem die Koeffizienten alpha und der relative Fehler bei Anpassung einer e-Funktion an den individuellen Herzfrequenz-Verlauf während Orthostase und Ergometer-Erholung verwendet.

### Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurden verschiedene Versuche zur Gruppierung und Parametrisierung der Reaktionsverläufe von Herzfrequenz und Blutdruck während dynamischer Funktionsprüfungen beschrieben. Die auf den ersten Blick einfach erscheinende Aufgabe ist aus mehreren Gründen noch nicht befriedigend zu lösen. Die in der Literatur beschriebenen Gruppierungsansätze sind mit erheblichen definitorischen Problemen und z.T. willkürlich erscheinenden Abgrenzungen belastet. Komplexe Einstufungen der Regulation anhand der Graphik individueller Verläufe sind mit vielen Unsicherheiten verbunden. Die clusteranalytischen Verfahren verlangen problematische Vorentscheidungen über die Anzahl der Gruppen und die Datenbasis, z.B. das Ausmaß der Ipsatisierung. Die Anpassung von e-Funktionen oder Polynomen verlangt noch mehr Datenpunkte als vorhanden sind und wird, zumindest beim Blutdruck, nicht zu einem Kontinuum der "Regelgüte", sondern erneut zu mehrdimensionalen Gruppierungen führen. Im Ergebnisteil werden einige Zusammenhänge zwischen diesen Gruppierungen und Parametrisierungen sowie einige Beziehungen zu anderen Variablen dargestellt. Es ist jedoch offensichtlich, daß diese methodische Aufgabe noch nicht abgeschlossen ist, sondern weitere Analysen an größeren Datensätzen, welche einerseits mehr Personen mit deutlichen Regulationsstörungen umfassen und andererseits eine bessere Auflösung der Blutdruck-Reaktionsverläufe geben, folgen müssen.