

FORSCHUNGSBERICHTE
des
PSYCHOLOGISCHEN INSTITUTS
der
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG I. BR.

Nr. 150

Die Messung des Finger-Blutdrucks

Eine Methodenstudie mit zwei Geräten

Jochen Fahrenberg

Forschungsgruppe Psychophysiologie
Psychologisches Institut
der Universität Freiburg
Belfortstrasse 20
D-79085 Freiburg i. Br.

2000

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Summary	4
1 Einleitung	5
2 Pilotstudie zur Orientierung	13
2.1 Fragestellungen	13
2.2 Untersuchungsmethodik	13
2.3 Ergebnisse	15
2.4 Diskussion	19
3. Methodenstudie	23
3.1 Fragestellungen	23
3.2 Untersuchungsmethodik	23
3.3 Ergebnisse	29
3.4 Diskussion	47
Literaturverzeichnis	
Anhang	

Zusammenfassung

Die Methode zur nicht-invasiven, kontinuierlichen Messung des Finger-Blutdrucks mit dem PortapresTM Model 2.0 (TNO, BioMedical Instrumentation, Amsterdam) hat ein wichtiges Fenster auf die Blutdruckdynamik geöffnet. Die hohe zeitliche Auflösung im Vergleich zu den diskontinuierlichen Messungen, z. B. mit oszillometrischer Methodik, wird jedoch durch eine geringere Genauigkeit beeinträchtigt. Neuere Reviews von Imholz et al. (1998) und Silke and McAuley (1998) haben festgestellt, daß die Genauigkeit, insbesondere der systolischen Meßwerte im Vergleich zu intra-arteriellen Messungen, unzureichend ist.

Die Genauigkeit der Messungen kann ergänzend noch auf eine andere Weise geprüft werden: durch die kontinuierliche Messung des Finger-Blutdrucks mit zwei Geräten. Die vorliegende Methodenstudie beruht auf solchen simultan an der linken und an der rechten Hand durchgeführten Messungen. Weitere Vergleichsmöglichkeiten ergaben sich durch oszillometrische, an beiden Oberarmen durchgeführte Messungen des Brachialis-Blutdrucks mit Meßwiederholungen in den Untersuchungsphasen.

An der Untersuchung nahmen 31 normotone Männer teil. Die Messungen erfolgten in liegender Position während Ruhe, leichter Ergometerarbeit und Erholung. Die Gerätekonfiguration bestand aus je zwei Portapres- und SpaceLabs Geräten und dem Vitaport2 als Datenrekorder. Die Reproduzierbarkeit der interindividuellen Meßwerte wurde durch Meßwiederholungen bestimmt. Die Übereinstimmung der Meßergebnisse beider Geräte als Genauigkeit (accuracy) wurde durch die Berechnung der mittleren Differenz (Erwartungswert = 0) geprüft. Außerdem wurden die Differenzen der Geräte gegen den Mittelwert beider Geräte in einem Diagramm mit Übereinstimmungsgrenzen ± 2 SD (limits of agreement) dargestellt und der Standardfehler der mittleren Differenz (precision) berechnet.

Der Vergleich der beiden Portapres-Geräte ergab für systolische Meßwerte unter Ruhebedingungen als Mittelwert der Abweichungen beider Geräte (Genauigkeit) von 3.1 mm Hg (SEM = 1.3) und eine Standardabweichung der Differenzen (Präzision) von 7.4 mit Übereinstimmungsgrenzen von - 17.9 bis +11.6 mm Hg. Die entsprechenden Statistiken für den diastolischen Blutdruck lauten: Genauigkeit 2.8 mm Hg (SEM = 1.3) und SD = 7.3 mit Übereinstimmungsgrenzen von - 11.7 bis + 17.3. Zur Kontrolle wurden die entsprechenden Statistiken auch für die Herzfrequenz berechnet: Genauigkeit 0.6 bpm (SEM = 0.1) mit SD = 0.6 und Übereinstimmungsgrenzen von - 0.5 bis +1.7. Die Genauigkeit und Präzision der oszillometrischen Messung sind deutlich besser.

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß es sich bei den Abweichungen zwischen beiden Geräten nicht um einen konstanten Fehler im Sinne eines eventuell bei der Analyse von Veränderungen (Blutdruck Tracking) zu vernachlässigenden Offset handelt. Die mittlere Differenz scheint zwar gering und fast vernachlässigbar zu sein, doch zeigen die weiten Grenzen des Übereinstimmungsbereichs an, daß die Messungen zweifelhaft und oft nicht ausreichend genau sein werden. Die oszillometrisch gewonnenen Meßwerte sind relativ genauer.

Die mit dem PortapresTM Model 2.0 gemessenen Werte sollten ausdrücklich als "Finger-Blutdruck" bezeichnet werden. Die Anwender müssen entscheiden, ob die bei speziellen Fragestellungen erwünschte hohe zeitliche Auflösung auf Kosten der Genauigkeit zu rechtfertigen ist. Begleitende oszillometrische Messungen könnten Referenzwerte liefern.

Summary

The Finapres™- /Portapres™ methodology (TNO, BioMedical Instrumentation) has opened an essentially new window for the investigation of blood pressure dynamics. The higher resolution in time (beat-to-beat analysis) as compared to intermittent oscillometric measurement is an important advantage, however, the doubtful precision of finger blood pressure measurement appears to be a serious drawback. Recent reviews by Imholz et al. (1998) and Silke and McAuley (1998) regarding the Finapres/Portapres methodology, stated that the precision, especially in systolic blood pressure measurement, was not sufficient when compared to intra-arterial measurement.

The measurement precision can be evaluated further by obtaining continuous recordings with two devices at the same time. The present method study was based on simultaneous measurement at the left hand and at the right hand. Further comparisons were made possible by BP measurements with the oscillometric method obtained repeatedly during certain intervals

The study included 31 normotensive male participants. The recordings were made in supine position during rest, physical exercise (ergometer work) and during recovery. The recording devices included two Portapres Model 2.0, two SpaceLabs Mod 90207 and the Vitaport 2. The agreement of measurements was examined by testing the mean difference of measures and statistical tests on the assumption $M_{diff} = 0$. Agreement plots were derived depicting the difference of methods (A - B) against the mean of methods referring to a $M \pm 2$ SD interval of agreement.

The findings for the systolic BP measurement using the Portapres devices (during rest) showed an average difference (accuracy) between Portapres devices of 3.1 mm Hg (SEM = 1.3) and a standard deviation of differences (precision) of 7.4 with limits of agreement ($M \pm 2$ SD) - 17.9 to +11.6 mm Hg. The corresponding values for diastolic BP were: accuracy 2.8 mm Hg (SEM = 1.3 and SD = 7.3) with limits of agreement - 11.7 to + 17.3. As a reference, corresponding values were also computed for heart rate measures: accuracy 0.6 bpm (SEM = 0.1 and SD = 0.6) with limits of agreement - 0.5 to +1.7.

The findings show that the discrepancies were not due to a constant offset (bias) which might be eventually disregarded in practice. The mean difference between measures seems to be negligible, however, the large confidence interval ± 2 SD, that is, low precision of single measures, indicated that finger-blood pressure data lacked a sufficient accuracy in the present study. Obviously, the accuracy and precision of oscillometric measurements were superior to the finger BP measurements.

In concluding, BP measurements which are obtained with the Portapres™ Model 2.0 should be explicitly stated as finger blood pressure. It is up to the user, depending on the particular research issue, where time resolution may be highly desirable, whether or not, or to what extent the obvious drawback in measurement precision can be tolerated. Standard oscillometric measurements may be included in continuous finger blood pressure recordings to provide reference values.

1 Einleitung

Die kontinuierliche Blutdruckmessung am Finger mit dem Portapres™ Model 2.0 (TNO BioMedical Instrumentation, Amsterdam) hat ein neues Fenster auf die Blutdruckdynamik unter Alltagsbedingungen geöffnet. Deshalb sind Untersuchungen zur Evaluation dieser Methodik notwendig.

Viele Labor-Feld-Vergleichsuntersuchungen haben nachdrücklich gezeigt, wie fragwürdig Schlußfolgerungen aufgrund einzelner Messungen unter Labor- bzw. Klinik-Bedingungen sind. Das ambulante Monitoring des Blutdrucks ist heute für die Hypertensiologie, aber auch für die Psychophysiologie unentbehrlich geworden. Der aktuellen psychophysiologischen Forschung steht hier eine Methodik zur Verfügung, das Blutdruckverhalten als integrale Komponente von Verhaltensmustern, u.a. auch bei den oft nur Minuten dauernden Blutdruckveränderungen während emotionaler und mentaler Beanspruchung zu messen.

Die Variabilität des arteriellen Blutdrucks hat zunehmendes Interesse gefunden, denn es gibt zahlreiche Hinweise, daß der Grad der Blutdruck-Variabilität ein wichtiger Prädiktor des klinischen Verlaufs einer Hypertonie ist (siehe u. a. Meredith, Perloff, Mancia & Pickering, 1995; Verdecchia, Clement, Fagard, Palatini & Parati, 1999). Die Blutdruck-Variabilität ist ein wichtiger Aspekt der hämodynamischen Regulation (Schmidt, Engel & Blümchen, 1992). Auch aus verhaltenswissenschaftlicher und psychologischer Sicht ist die Untersuchung der zeitlichen Veränderung des Blutdrucks interessanter als nur die Messung des Blutdruck-Niveaus vorzunehmen. Die im ambulanten Monitoring üblichen Meßintervalle von 15 oder 20 Minuten sind wahrscheinlich oft unzureichend. Die aus diesen Messungen abgeleiteten Variabilitätsmaße, vor allem die Standardabweichung der ca. 50 Meßwerte eines Tages, können die wahre Variabilität und situationsabhängige Dynamik nicht ausreichend repräsentieren. Aus der psychophysiologischen Laborforschung ist bekannt, daß emotionale Aktivierung und mentale Anstrengung bei einigen Individuen starke Blutdruck-Reaktionen auslösen. Diese Anstiege dauern oft nur kurze Zeit und werden deshalb im zeitlichen Raster des üblichen Monitoring nicht erfaßt.

Mit der Entwicklung der Finapres™ und Portapres™ Model 2.0 Systeme (TNO BioMedical Instrumentation, Amsterdam) wurde eine kontinuierliche, nicht-invasive Messung des Blutdrucks am Finger möglich (Langewouters, 1993; Wesseling, 1988, 1993, 1996; Wesseling, Settels & de Wit, 1986;). Diese Meßsysteme haben auch einen neuen Zugang zur Dynamik der Blutdruckregulation unter Alltagsbedingungen eröffnet. Das kontinuierliche 24-Stunden-Monitoring kann, wie u. a. die großen Untersuchungen von Schmidt und Jain (1996) und von Scheuch, Berndt, Knöpfel und Seibt (1998) gezeigt haben, auch mit einer größeren Anzahl von Personen unter Alltagsbedingungen durchgeführt werden. Die nicht-invasive beat-to-beat Analyse von Blutdruckänderungen hat auch im Labor neue Möglichkeiten, z. B. zur Untersuchung der Barorezeptoren-Funktion und anderer schneller Reaktionsverläufe, geschaffen und bedeutet — über die ursprünglichen klinischen Anwendungen hinaus — auch eine wichtige Bereicherung der Methodik der kardiovaskulären Psychophysiologie (Fahrenberg, 2001, Man in't Veld, van Montfrans, Langewouters, Li & Mancia, 1995, Rüdgel & Curio, 1995).

Seit der Einführung der Finapres/Portapres-Systeme für kontinuierliche Messung des Blutdrucks am Finger gibt es eine Diskussion über die Zuverlässigkeit dieser Messungen. In der Praxis zeigten sich neben hoher Übereinstimmung mit oszillometrischen Messungen des Brachialis-Blutdrucks nicht selten irritierende Diskrepanzen. Es wurden Abweichungen zwischen Portapres-Messungen und intra-arteriellen Messungen (Radialis, Brachialis) beobachtet und ähnlich auch

zwischen Portapres-Messungen und oszillometrischen sowie auskultatorischen Messungen am Oberarm. Die Ergebnisse der Methodenstudien sind widersprüchlich, wobei die Kommentare und Schlußfolgerungen zunehmend kritisch wurden. Offensichtlich handelt es sich bei den Diskrepanzen nicht um einen konstanten Fehler.

Die Reliabilität der Messungen ist jedoch nicht auf einfache Weise festzustellen, denn es sind mehrere wichtige Einflußgrößen zu berücksichtigen. Selbstverständlich muß bei den nicht-invasiven Vergleichsmessungen kritisch gefragt werden, ob sich diese tatsächlich als Referenzmethode eignen, da sie ihrerseits erhebliche Unsicherheiten und Probleme aufweisen. Genaue Vergleichsmessungen unter Berücksichtigung solcher Einwände haben sich als relativ schwierig erwiesen.

Wenn es grundsätzlich um die Evaluation der Methodik der Blutdruckmessung am Finger geht, sind die vier, u. a. von Kenner (1988) genannten Aspekte der Messung zu bedenken:

- Genauigkeit (accuracy) im Vergleich zu den "wahren" Werten einer Referenzmethode,
- Reproduzierbarkeit,
- Amplituden-Auflösung,
- zeitliche Auflösung.

Der erste und der zweite Aspekt entsprechen in etwa den Begriffen Parallel-Test-Reliabilität (wobei allerdings keine "wahren" Werte existieren) bzw. der Retest-Reliabilität in der Testkonstruktion. Die Amplituden-Auflösung kann bei den hier verglichenen Meßmethoden insgesamt als befriedigend gelten. Die hohe zeitliche Auflösung der Finapres-/Portapres-Geräte ist natürlich allen anderen nicht-invasiven Methoden überlegen. Als weiterer Aspekt wird oft die Genauigkeit bei der Wiedergabe einer Meßwertänderung (Tracking) genannt, denn bei einem konstanten Fehler könnte dennoch ein zuverlässiges Tracking (mit einem bias (offset) des Mittelwertes) möglich sein. Wenn jedoch die Meßgenauigkeit unzureichend ist und die Werte über einen sehr weiten Bereich streuen, wird auch das Tracking unzuverlässig sein.

Statistische Analysen der Meßgenauigkeit

Bei der Beurteilung der Blutdruckmessungen wurden verschiedentlich Prozentangaben verwendet: wie viel Prozent der Messungen mit Methode A liegen im Bereich von ± 5 mm Hg (oder 10) der Referenzmethode B? Außerdem wurden Scattergramme mit Konfidenzintervallen (Konturogramme) verwendet (siehe u. a. O'Brien & O'Malley, 1991). Die Hypothese "Differenz (A-B) = 0" ist statistisch zu prüfen. Da die Genauigkeit der Messung im mittleren Bereich praktisch wichtiger als im Extrembereich ist, kann der Meßfehler für verschiedene Bereiche, z. B. unter 100, zwischen 100 und 150, über 150 mm Hg angegeben werden.

Die Genauigkeit einer Messung wird oft als Regressionslinie (A- und B-Messung mit ± 2 Standardabweichungen) angegeben. Diese Darstellung hat jedoch Nachteile: (1) der Korrelationskoeffizient zeigt die Enge der Beziehung, aber nicht die Übereinstimmung an, da Mittelwertunterschiede unberücksichtigt bleiben, (2) die Höhe des Koeffizienten hängt von dem Range der Meßwerte ab und (3) können hohe Koeffizienten trotz schlechter Übereinstimmung der Messungen gefunden werden.

Bland und Altman (1986) schlugen vor, die Differenz zwischen den beiden Methoden A und B (X-Achse) gegen den Mittelwert von A und B (X-Achse) mit einem Intervall von ± 2 SD in einem Diagramm darzustellen. Dieser Bereich gibt die "limits of agreement" an. Falls die Differenzen in

diesem Bereich als vernachlässigbar angesehen werden können, sind die Methoden A und B austauschbar (siehe auch die Beispiele bei Bland & Altman, 1986). Die Grenzen der Übereinstimmung stammen ja aus einer bestimmten Untersuchung. Unter der Normalverteilungsannahme hinsichtlich der Differenzen kann der Standardfehler dieser Differenz geschätzt werden.

Der Mittelwert der Differenzen zweier Methoden (mittlere Abweichung) wird als accuracy und die Standardabweichung der Differenzen als precision definiert (siehe auch Imholz, Wieling, van Montfrans & Wesseling, 1998; Jellema et. al., 1996; Silke & McAuley, 1998).

Vergleich mit intra-arteriellen Messungen

In einem Review haben Imholz et al. (1998) die Untersuchungen, in denen Finger-Blutdruck und intra-arteriell gemessener Brachialis-Blutdruck verglichen wurden, zusammengefaßt:

"The weighted accuracy of finger arterial pressure measurement among these studies comprising a total of 1031 subjects was

- 0.8 ± 11.7 mm Hg (range - 48 to 30 mm Hg) for systolic pressure,
- 1.6 ± 8.5 mm Hg (range - 20.1 to 18.5 mm Hg) for mean pressure, and
- 1.6 ± 7.7 mm Hg (range - 13.4 to 25 mm Hg) for diastolic pressure ..." (p. 607).

"Although the accuracy of finger blood pressure in our review showed considerable scatter, the weighted accuracy of finger blood pressure among the 43 studies investigated remain within the 5 mm Hg limit of the American Association for the Advancement of Medical Instruments. The precision is too low for systolic and mean pressures and does not meet the acceptable limits of the 8 mm Hg of the AAMI recommendations Although for diastolic pressure the accuracy and precision values are within the AAMI limits the overall performance does not permit finger blood pressure measurements for assessment of absolute blood pressure levels in individual patients." (p. 610).

"For the assessment of beat-to-beat changes in blood pressure and assessment of blood pressure variability Finapres proved a reliable alternative for invasive measurements when mean and diastolic pressures are concerned. Differences in systolic pressure are larger and reach statistical significance but are not of clinical relevance." (p. 610)

Die Abweichungen sind also im Mittelwert relativ gering, doch bestehen aufgrund der großen Standardabweichungen der Differenzen (weite Grenzen des Übereinstimmungsbereichs) ein hohes Risiko von Fehlmessungen und Fehlbewertungen.

In einer Reanalyse von Finapres-Daten aus 20 Studien kamen Silke und Mc Auley (1998) zu den folgenden Ergebnissen und Schlußfolgerungen hinsichtlich der Übereinstimmung mit intra-arteriellen Messungen (IAP) an der Radialis oder Brachialis. Diese Ergebnisse beruhen auf einer neuen Methode, durch Schätzung robuster Parameter zu einer besseren Beurteilung der Meßgenauigkeit zu kommen:

"Based on 449 patients and 4490 re-samples, the average Finapres systolic bias (IAP - Finapres) was 2.2 mm Hg (s.d. ± 12.4) with limits of agreement (bias ± 2 s.d.) of - 22.6 and 26.9 mm Hg. The average precision was 12.1 mm Hg (s.d. ± 8.4). The Finapres diastolic bias was - 0.3 mm Hg (s.d. ± 7.9) with the limits of agreement - 16.1 and 15.5 mm Hg. The average precision was 7.6 mm Hg (s.d. ± 5.3). The average Finapres mean arterial pressure bias was 2.1 mm Hg (s.d. ± 8.6)

with precision of 7.6 mm Hg (s.d. \pm 5.3). The calculated percentage of Finapres systolic values expected to fall within \pm 5 or \pm 10 of the direct intra-arterial pressure was 35.9% and 73.1%, respectively. The calculated precision of the Finapres systolic pressure between 0—5 mm Hg was 1.6% and between 0—10 mm Hg 36.4%. The comparable values for Finapres diastolic BP values were 63.5% and 92.8% and for precision 23.1 % and 79.2%.

The Finapres device can provide an accurate estimate of diastolic and mean arterial pressure compared with the intra-arterial record; the apparent inaccuracy of the Finapres systolic pressure may have a physiological explanation. When the Finapres device is used in experimental or in clinical situations, then calibration against a reliable reference arterial pressure is desirable to obviate the possibility of an 'offset' error." (p.403).

In einer weiteren Arbeit, die sich auf den Vergleich von Messungen mit dem Portapres Gerät und intra-arteriellen Messungen bei 39 Patienten unter verschiedenen klinischen Bedingungen bezog, gelangten Hirschl, Woisetschlager, Waldenhofer, Herkner und Beer (1999) zu dem Schluß, daß die Messung des Finger-Blutdrucks ein genaues und präzises Verfahren zum Monitoring des Blutdrucks darstellt. Allerdings räumen die Autoren ein, daß bei 11.4 % ihrer 3118 Messungen (MAP) die Veränderung des Finger-Blutdrucks in entgegengesetzter Richtung zur Referenz erfolgte.

Die Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen, so läßt sich zusammenfassend feststellen, sind überwiegend kritisch, bleiben aber etwas widersprüchlich. Deshalb stellt sich über die pragmatische Frage nach der Übereinstimmung der Meßmethoden die Aufgabe, die maßgeblichen Bedingungen für solche Abweichungen aufzuklären. In Tabelle 1.1. sind einige Methodenstudien zur Reliabilität genannt.

Tabelle 1.1 Finapres- und Portapres-Reliabilitätsstudien

Übereinstimmung mit intra-arterieller (Brachialis-) Messung	u.a. Imholz et al. (1993), Omboni et al. (1993), Rongen et al. (1995), Hirschl et al. (1996), Imholz (1996), Jellema et al. (1996)
Auswahl, Platzierung, Rotation, Fixierung der Manschette	Jones et al. (1993)
Fingertemperatur (Erwärmung, Kühlung)	Tanaka & Thulen (1993)
Suche nach Kovariaten zur Erklärung der Diskrepanzen	Imholz (1995)
Übereinstimmung mit auskultatorischer Messung	Musso et al. (1996)
"Level shift filtering"-Methode	Wesseling (1996)
Drift (verzögerte Erholung)	Ristuccia et al. (1997)
Übereinstimmung mit oszillometrischer und auskultatorischer (Schlag- zu Schlag) Messung	Fahrenberg et al. (1997), Scheuch et al. (1998)
24-Stunden Reproduzierbarkeit	Voogel & Montfrans (1997)
Spektralanalyse des Finger- und Brachialis-Blutdrucksignals	Castiglioni et al. (1997)
24-Stunden Blutdruck-Variabilität	Omboni et al. (1998)
Ungenauigkeit bei der Erfassung von Effekten vasoaktiver Pharmaka	Bos et al. (1995), O'Callaghan et al. (1998)

In der Literatur werden verschiedene Erklärungshypothesen für die Abweichungen genannt, doch ist offensichtlich keine allein maßgeblich. Es handelt sich um einen Komplex von Einflüssen und z. T. voneinander abhängenden Einflüssen (Tabelle 1.2)

Tabelle 1.2 Einfluß auf die Messung des Finger-Blutdrucks

Gefäßtonus (Vasokonstriktion, kalte Finger),
Einfluß der Immobilisierung der Hand auf die Durchblutung,
Stauung durch die Fingermanschette,
Fingertemperatur (habituell, klimabedingt, manschettenbedingt),
Druckgradient zwischen A. brachialis und Finger,
Transmission und Verzerrung der Pulswelle zur Peripherie,
Seitenunterschiede rechts /links
Plazierung und Fixierung der Manschette
Finger-Switching
Höhendifferenz zum Herzen
Kalibrierung der Meßsysteme
Synchronisierung der Messungen

Diese Methodenprobleme sollen hier nicht weiter diskutiert werden (siehe Imholz et al., 1995, 1998; Langewouters, Settels, Roelandt & Wesseling, 1998; sowie Fahrenberg, 1997).

Vergleich mit anderen nicht-invasiven Meßmethoden

Die Reliabilität der Messung des Finger-Blutdrucks wurde bisher als Genauigkeit im Vergleich zur arteriellen Messung evaluiert. Es gibt andere methodische Aspekte (siehe Tabelle 1.2), welche direkt untersuchbar sind. Im Hinblick auf das ambulante Blutdruck-Monitoring stellt sich außerdem die wichtige Frage, inwieweit die Meßwerte des Portapres2-Systems mit anderen nicht-invasiven Methoden übereinstimmen.

In einem Arbeitsbericht wurden die eigenen Erfahrungen mit kontinuierlicher Blutdruckmessung am Finger (Portapres2) im Vergleich zu oszillometrischer (SpaceLabs 90207) und auskultatorischer Technik (Boucke Tensiomat FIB 4/6 Zweikanal-Registrierung) zusammengefaßt (Fahrenberg, 1997).

"Die kontinuierlich mit dem Portapres 2 am Finger gemessenen Blutdruckwerte weichen deutlich von den auskultatorisch (Boucke Tensiomat FIB 4/6) oder oszillometrisch (SpaceLabs 90207) an der A. brachialis bestimmten Werten ab. Die Abweichungen sind nicht konstant, d.h. sie variieren auch intraindividuell und sie liegen in einer Größenordnung (z.T. über 10 oder auch über 20 mm Hg), die jenseits der Fehlerquellen solcher Vergleichsstudien praktisch relevant sind. Andererseits gibt es immer wieder Registrierungen mit bemerkenswert hoher Übereinstimmung.

Die Untersuchungsserie ergab keine deutlichen Hinweise, daß das Wechseln der Finger (Switching), die zeitweise Entlastung eines Fingers von der Manschette, Unterschiede der Fingertemperatur (im hier untersuchten Bereich), oder andere der diskutierten Einflüsse die entscheidenden Ursachen der beobachteten Diskrepanzen sind. Die Feststellungen beziehen sich aufgrund dieser Methodenstudien nur auf Registrierungen von bis zu zwei Stunden, nicht jedoch auf 24-Stunden-Aufzeichnungen." (Fahrenberg, 1997, S. 3).

Der mit dem Portapres 2 gemessene Druck sollte explizit als Fingerblutdruck bezeichnet werden. Für bestimmte Fragestellungen sind orientierende Messungen mit oszillometrischer oder mit auskultatorischer Technik, zweckmäßig.

Auch die Untersuchungsergebnisse von Scheuch et al. (1998) zeigen, daß Meßwerte des Finger-Blutdrucks und oszillometrische Meßwerte des Brachialis-Blutdrucks empirisch als zwei imperfekt korrelierte Indikatoren des arteriellen Blutdrucks anzusehen sind. In der Praxis kann es von Fall zu Fall eine hochgradige Übereinstimmung der Messungen, aber auch sehr deutliche Abweichungen geben. Diese Abweichungen können in einer Größenordnung liegen, die nicht nur in der Forschung, sondern auch klinisch relevant sind.

Schlußfolgerungen

Angeichts der inkonsistenten Ergebnisse und Methodenprobleme können verschiedene allgemeine Schlußfolgerungen gezogen werden:

(1) In vielen Untersuchungen kommt es primär auf intraindividuelle Veränderungen an, so daß ein "tracking" dieser Veränderungen ausreicht. Dieses Argument setzt jedoch voraus, daß der Fehler, d.h. die Abweichung von der Referenzmethode, konstant bleibt. Die Ergebnisse mehrerer Untersuchungen sprechen jedoch dafür, daß es sich nicht um einen konstanten Fehler (offset error) handelt.

(2) Es könnte versucht werden, die Portapres-Meßmethodik durch Signalanpassung, Filterung u. a. Verfahren so zu verbessern, daß der konventionell verwendete Brachialis-Blutdruck optimal geschätzt wird. Diesem Zweck dient die Entwicklung des FinOmeter (TNO Institute of Applied Physics, Amsterdam).

(3) Da es gegenwärtig keine andere geeignete Methode zur kontinuierlichen nicht-invasiven Messung der Blutdruckdynamik gibt, wird diese Methodik unter den notwendigen Vorbehalten verwendet. Die hohe zeitliche Auflösung und die Möglichkeit, unter Alltagsbedingungen zu messen, sind wichtige Vorzüge. Deshalb sind weiterführende Methodenstudien zur Evaluation und Optimierung der Anwendung notwendig.

Eine allgemeine Schlußfolgerung ist bei diesem Stand der Methodenevaluation wichtig:

Es sollte grundsätzlich von Finger-Blutdruck gesprochen werden, um Mißverständnisse zu vermeiden.

Effekte der Körperposition und Bewegungsaktivität

Die Körperposition und die körperliche Bewegungsaktivität haben einen großen Einfluß auf den Blutdruck. Deswegen sind bei der Evaluation von 24-Stunden-Blutdruck-Protokollen Informationen über solche Einflüsse wichtig. Diese Informationen fehlen jedoch in der Regel.

So wird in der Literatur zwischen Patienten mit nächtlicher Absenkung oder ohne nächtliche Absenkung des Blutdrucks ("dipper" und "non-dipper") unterschieden (siehe Pickering, 1991). Diese Effekte können jedoch auch durch die jeweilige Körperlage im Bett verursacht sein, wenn sich die relative Höhe der Manschette zur Herz-Ebene ändert (hydrostatischer Effekt).

Schwan und Pavek (1989) beobachteten bei 20 Männern zwischen den wiederholten Blutdruckmessungen im Abstand von 20 Minuten während der Nacht eine mittlere Differenz des systolischen Blutdrucks von 7 ± 5.7 (Range 0 — 23) und des diastolischen Blutdrucks von 6 ± 5.0 (Range 0 — 20) mm Hg. Eine zweite Untersuchung dieser Autoren zeigte, daß die systematische Variation der Körperlage zu deutlichen Unterschieden des Blutdrucks führen kann (Tabelle 1.3).

Tabelle 1.3: Blutdruckunterschiede bei verschiedenen Körperlagen im Bett (Schwan & Pavek, 1989, p. S63)

Vergleich zwischen	Systolisch	Diastolisch
Flach liegend – rechte Seite	15 ± 5.1	12 ± 5.5
Gewicht unten – rechte Seite	10 ± 6.6	9 ± 5.4
Linke Seite – rechte Seite	10 ± 6.2	13 ± 6.6
Flach liegend – linke Seite	5 ± 6.8	0 ± 6.8
Flach liegend – Gesicht unten	5 ± 7.1	3 ± 6.0
Linke Seite – Gesicht unten	1 ± 5.9	3 ± 6.8
Generelle Blutdruckdifferenz	9 ± 6.1	9 ± 6.5

Anmerkung: Die oszillometrische Messung mit dem SpaceLabs Gerät erfolgte am linken Arm. In jeder Bedingung wurde drei mal gemessen.

Die während des Schlafs eingenommene Körperlage ist folglich ein wichtiger Einflußfaktor auf die Blutdruckmessung. Die geplante Methodenstudie bot die Gelegenheit, diese Effekte hinsichtlich der Finger-Blutdrucks im Vergleich zum Oberarm-Blutdruck zu überprüfen.

Zielsetzungen der Methodenstudien

Die Genauigkeit einer Blutdruck-Messung ist am besten durch zeitgleiche (simultane/parallele) Messung unter Verwendung zweier Geräte zu prüfen. Solche simultanen Messungen sollten in einer Pilotstudie und in einer anschließenden Methodenstudie durchgeführt werden. Hierbei konnte außer dem eigenen Portapres2-Gerät ein zweites Gerät eingesetzt werden. Herrn Dr. Frey (Leiter der Klinischen Forschung, Herz-Zentrum Bad Krozingen) und Herrn Dr. Suciú sei an dieser Stelle noch einmal für diese Unterstützung gedankt.

In der Pilotstudie sollten Erfahrungen mit solchen doppelten Messungen und Hinweise auf die relative Größe der Effekte verschiedener Einflußfaktoren gewonnen werden, um die anschließende Methodenstudie besser planen zu können. Wie ist die Reproduzierbarkeit der Messungen? Welche Rolle spielen die Auswahl der Finger, die Kompression, die Umschaltung zwischen Fingern und die Fingertemperatur? Inwieweit besteht eine Übereinstimmung mit dem sphygmomanometrisch am Oberarm gemessenen Blutdruck?

Empirisch können nicht alle dieser Effekte konstant gehalten oder als Kovariate erfaßt werden. Angesichts der Vielzahl von Bedingungen und möglichen Vergleichen mußte eine Auswahl

getroffen werden. In der Methodenstudie im Anschluß an diese Pilotstudie wurde — ohne Switching — nur an den Mittelfingern der rechten und der linken Hand parallel gemessen. Diese Methodenstudie schließt an die früheren Untersuchungen an (Fahrenberg, 1997). Deshalb wurden hier einige Details der Kalibrierung, Registrierung und Auswertung nicht noch einmal dargestellt.

Die Methodenstudie hat mehrere Ziele:

1. Prüfung der Genauigkeit (accuracy und precision) der Messung des Finger-Blutdrucks durch parallele Messungen.
2. Prüfung der Reproduzierbarkeit der Meßwerte über Ruhebedingungen und leichte körperliche Belastung.
3. Vergleich zwischen Messungen des Finger-Blutdrucks und des oszillometrisch am Oberarm gemessenen Blutdrucks.
4. Untersuchung des Effektes von Änderungen der Körperlage (Drehung) im Liegen.

Frau Eleonore Szabo und Herrn Benjamin Scheibehenne ist für die Mithilfe bei den Registrierungen und Herrn Dipl.-Math. Friedrich Foerster für die Unterstützung bei der Datenorganisation aus den verschiedenen Systemen und bei einigen Schritten der Datenanalyse zu danken.

2 Pilotstudie zur Orientierung

2.1 Fragestellungen

Die Pilotstudie hatte mehrere Fragestellungen:

- (1) Reproduzierbarkeit (Kurzzeit-Stabilität)
Gibt es Unterschiede im Verlauf einer kontinuierlichen Messung?
- (2) Effekt der Position.
Gibt es Unterschiede zwischen den Fingern?
- (3) Effekt der Kompression
Gibt es Unterschiede, die auf die anhaltende Kompression der Gefäße (Stauung) zurückzuführen sind?
- (4) Effekt der Umschaltung (Switching)
Gibt es Unterschiede, die auf die Umschaltung (Switching) zwischen den Fingern zurückzuführen sind?
- (5) Fingertemperatur
Gibt es Zusammenhänge zwischen den Veränderungen von Finger-Blutdruck und Fingertemperatur?
- (6) Finger-Blutdruck und Brachialis-Blutdruck
Gibt es Unterschiede zwischen dem Finger-Blutdruck (Portapres2) und dem Brachialis-Blutdruck (Boucke/Tensiomat)?

2.2 Untersuchungsmethodik

Die Untersuchung folgte einem Meßwiederholungs-Plan, in welchem nach den Kalibrierungen vier Phasen der Registrierung, eine längere Pause und erneut drei Phasen der Registrierung vorgesehen sind. Das Gerät A maß kontinuierlich während der gesamten Untersuchung den Blutdruck am Mittelfinger der nicht-dominanten Hand. Das Gerät B wurde zwischen den Phasen vom Ringfinger auf den Zeigefinger (und zurück) umgeschaltet. Dieses Switching mit der automatischen Anpassung des PHYSIOCAL-Algorithmus dauerte in der Regel 4 bis 5 Minuten, so daß erst anschließend relativ stabile Blutdruckwerte erreicht waren. Während der ca. 40 Minuten dauernden Pause waren alle Fingermanschetten bis auf die des Mittelfingers geöffnet, ähnlich waren in der Schlußphase Mittelfinger und Zeigefinger entlastet, um Stauungseffekte erkennen zu können.

Die Tabelle 2.1 veranschaulicht den Untersuchungsablauf. Die statistischen Analysen mit Korrelationen und t-Tests für abhängige Messungen haben angesichts der geringen Anzahl von Versuchspersonen nur eine explorative Funktion.

Kalibrierungen wurden vorgenommen: Portapres2-Pulssignal: intern elektrisch mit Square-Wave-Generator und intern mit dem Präzisionsmanometer. Boucke-Tensiomat: Kalibrierung des Manschettendruck-Signals mit dem Präzisionsmanometer des Portapres2, außerdem durch Vergleichsmessungen mit einem Erkameter-Quecksilber-Manometer.

Da die auskultatorischen Messungen kontralateral zur Messung des Fingerblutdrucks vorgenommen wurden, mußte der Seitenunterschied berücksichtigt werden. Für diesen Zweck wurden zu Untersuchungsbeginn zwei SpaceLabs-Monitore 90207 eingesetzt, da nur ein Boucke-Tensiomat vorhanden ist.

Tabelle 2.1: Protokoll der Untersuchung zur Reliabilität der Finger-Blutdruckmessung mit zwei Portapres2 Geräten

Phasen der Untersuchung												
	Gerät Porta- pres	Seite	Kalib 1 60 s	Kalib 2 60 s	1 120 s	2 120 s	3 120 s	4 120 s	5 Pause ca 40 min	6 120 s	7 120 s	8 120 s
Ring- finger	B	re		X		X		X	offen		X	X
Mittel- finger	A	li	X		X	X	X	X		X	X	offen
Zeige- finger	B	li	X		X		X		offen	X		offen
Kleiner Finger	A	re		X					offen			X
Ober- arm	Boucke Tensiomat	re		T1	T2	T3	T4	T5		T6	T7	T8

Anmerkungen: Zu Beginn wurden Kalibrierungen vorgenommen. Mit dem Gerät A wurde dann am Mittelfinger kontinuierlich in den Phasen 1 bis registriert. Das Gerät B wurde mehrfach zwischen Ringfinger und Zeigefinger umgeschaltet. Nach jedem Switching wurde abgewartet bis beim PhysioCal-Algorithmus die Anzeige 70 erschien. Anschließend wurde ein Segment von 120 Sekunden (unmittelbar vor der sphygmomanometrischen Messung mit dem Boucke-System mittels Mikrophon) gemittelt. Die Fingermanschetten waren in bestimmten Phasen der Untersuchung geöffnet. — Am Mittelfinger wurde kontinuierlich die Temperatur gemessen.

Die Ausgangssignale des Portapres2-Geräts (Pulssignal SBP, MBP, DBP, HF) und des Boucke-Tensiomat (Korotkow-Geräusche, Manschettendruck-Marken) wurden mit einem Vitaport2-System aufgezeichnet. Außerdem wurde mit YSI 4499E Sensoren die Fingertemperatur am Mittelfinger und am Zeigefinger unter der Blutdruckmanschette registriert. Im Protokoll wurde der mit einem Maßband bestimmte Umfang der Finger und die entsprechende Auswahl der Fingermanschette notiert.

Im Gegensatz zu der vorausgegangenen Methodenstudie (Fahrenberg, 1997) wurde hier auf eine Phase leichter körperlicher Belastung (Ergometer ca 60 Watt) zur Variation des Blutdrucks verzichtet, um multiple Effekte und zusätzliche Artefakte zu vermeiden. Deshalb war die intraindividuelle Varianz relativ gering. Die Probanden saßen während der Registrierung in einem bequemen Stuhl, der Unterarm ruhte auf der Armlehne. Der mittlere Abstand zur Herzhöhe betrug ca. 10 cm.

Probanden

Als freiwillige Probanden nahmen N= 13 gesunde Männer (Studierende der Universität) an der ca zweistündigen Untersuchung mit einem Honorar von 15,- DM/Stunde teil. Die anfänglichen Blutdruckmessungen ließen erkennen, daß diese Probanden normotone oder leicht erhöhte Werte hatten. Die interindividuelle Varianz war also relativ gering.

Die Messungen des Fingerumfangs ergaben:

Mittelfinger	52 - 65 mm	(M = 58, SD = 4.0)
Zeigefinger	51 - 65 mm	(M = 57, SD = 4.2)
Ringfinger	50 - 57 mm	(M = 52, SD = 2.6)
Kleiner Finger	45 - 53 mm	(M = 49, SD = 3.2)

Aufgrund dieser Messungen wurden die empfohlenen Fingermanschetten verwendet:

45 - 55 mm	kleine Manschette S
55 - 65 mm	mittlere Manschette M

Die Manschetten waren zu Fingern und zu Geräten fest zugeordnet.

Durch die SpaceLabs-Messungen (in der Regel als Mittelwert der 2. und 3. Messung von drei Messungen zu Untersuchungsbeginn) wurden Seitenunterschiede festgestellt:

systolisch (linker - rechter Arm)	- 3 bis - 15 mm (M = -9 mm Hg),
diastolisch (linker - rechter Arm)	+ 7 bis - 7 mm (M = -1 mm Hg).

Diese Seitenunterschiede sind beim Vergleich zwischen dem Finger-Blutdruck und den kontralateralen Messungen mit der auskultatorischen Methode (Boucke Tensiomat) zu berücksichtigen, wobei angenommen wird, daß die oszillometrisch festgestellten Seitenunterschiede auch für die auskultatorischen Messungen gelten. Die am Oberarm gemessenen Werte wurden hinsichtlich des Seitenunterschieds korrigiert.

2.3 Ergebnisse

In der Phase 1 wurden an den Fingern bzw. am Oberarm Meßwerte gewonnen, welche hinsichtlich Größenordnung und Varianz relativ übereinstimmen (Tabelle 2.2). Die systolischen Werte am Oberarm zeigen jedoch über die Phasen 1 bis 8 (entspricht T2 bis T8) eine geringere Varianz.

Tabelle 2.2: Statistiken der Blutdruckwerte

	Systolisch			Diastolisch*		
	M	SD	Range	M	SD	Range
Messung in der Phase 1 (bzw. Phase 2 und T2) n = 13						
Ringfinger (Phase 2)	120	10	101-136	70	8	56-80
Mittelfinger (Phase 1)	126	11	102-141	71	8	54-84
Zeigefinger (Phase 1)	119	11	102-139	68	7	55-77
Oberarm (T2)	126	11	110-148	62	8	52-76
				82*	8	68-94
Messungen in den Phasen 1 bis 8 n = 91 (max)						
Ringfinger	124	13	98-144	74	8	56-88
Mittelfinger	131	14	102-159	75	9	54-94
Zeigefinger	121	13	96-145	70	9	52-88
Oberarm	126	9	108-148	60	9	41-87
				81*	9	64-107

Anmerkungen: Die Messungen am Oberarm wurden seitenkorrigiert. *Außer dem diastolischen Blutdruckwert der Phase 5 wurde auch der Wert der Phase 4 einbezogen.

Die Abbildung (im Anhang) läßt deutliche Unterschiede in der intraindividuellen Variabilität erkennen – und zwar unterschiedlich für Mittelfinger und Oberarm. Die Messungen am Mittelfinger zeigen außerdem einen Trend, welcher am Oberarm fehlt; dieser Trend könnte die höhere Varianz des Finger-Blutdrucks zumindest teilweise erklären.

Reproduzierbarkeit

Die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 2.3 zeigen, daß die individuellen Unterschiede der systolischen und diastolischen Werte des Finger-Blutdrucks über die Untersuchungsphasen reproduzierbar sind. Die Koeffizienten sanken dabei von ca .90 zwischen benachbarten Phasen auf ca .70 bis .80 zwischen der jeweils ersten zur letzten Untersuchungsphase ab. Die auskultatorischen Messungen des systolischen und in etwa auch des diastolischen (Phase 4) Blutdrucks waren in vergleichbarer Weise reproduzierbar, nicht jedoch die Werte des diastolischen Blutdrucks (Phase 5).

Tabelle 2.3: Reproduzierbarkeit der Blutdruckwerte (Kurzzeit-Stabilitäten) über die acht Untersuchungsphasen (N = 13).

		Untersuchungsphasen																		
		1/2	1/3	1/4	1/6	1/7	2/3	2/4	2/6	2/7	2/8	3/4	3/6	3/7	4/6	4/7	4/8	6/7	6/8	7/8
Ringfinger	SBP	—	—	—	—	—	.78	—	.82	.79	—	—	—	—	.79	.83	—	—	.94	
	DBP	—	—	—	—	—	.68	—	.72	.49	—	—	—	—	.80	.67	—	—	.91	
Mittelfing.	SBP	.87	.80	.63	.76	.73	.84	.83	.82	.82	—	.91	.92	.87	.87	.86	—	.95	—	—
	DBP	.91	.86	.75	.71	.64	.89	.71	.77	.71	—	.89	.88	.84	.79	.79	—	.96	—	—
Zeigefing.	SBP	—	.75	—	.81	—	—	—	—	—	—	—	.80	—	—	—	—	—	—	—
	DBP	—	.85	—	.76	—	—	—	—	—	—	—	.84	—	—	—	—	—	—	—
Kleiner F.	SBP	—	*)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.35
	DBP	—	*)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.19
Oberarm	SBP	.92	.77	.81	.88	.85	.86	.90	.77	.86	.71	.94	.80	.76	.80	.82	.65	.86	.92	.74
	DB4	.83	.75	.73	.62	.54	.78	.74	.71	.63	.66	.84	.85	.64	.93	.54	.92	.73	.90	.52
	DBP5	.57	.79	.79	.39	.39	.58	.48	.77	.19	.75	.89	.51	.41	.39	.52	.59	.39	.88	.44

Anmerkung: Es liegen nicht für alle Phasen Messungen vor. Die Korrelationskoeffizienten für Messungen am kleinen Finger beziehen sich auf die Phasen 2 und 8.

Einen weiteren Hinweis auf die Zuverlässigkeit der Messung lieferten die Korrelationen über alle vorliegenden Meßwert-Paare zwischen Fingern: SBP Mittelfinger/Zeigefinger .86 (n = 52), Mittelfinger/Ringfinger .75 (n = 39), Ringfinger/kleiner Finger .76 (n = 26); DBP Mittelfinger/Zeigefinger .76 (n = 52), Mittelfinger/Ringfinger .79 (n = 39), Ringfinger/kleiner Finger .63 (n = 26).

Genauigkeit

Zwischen den Fingern existierten deutliche, über die Phasen noch zunehmende Unterschiede (Tabelle 2.4). Am Mittelfinger wurden systolisch zwischen 5 und 15 mm Hg und diastolisch zwischen 2 und 8 mm Hg höhere Werte gemessen als am Ring- und Zeigefinger. Viele dieser Differenzen sind signifikant. Da jedoch Manschetten und Geräte nicht permutiert waren, kann nicht völlig ausgeschlossen werden, daß die Unterschiede gerätebedingt sind.

Tabelle 2.4: Mittelwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks bei der Kalibrierung und in den Untersuchungsphasen.

	Ring- finger	t- Test	Mittel- finger	t- Test	Zeige- finger	Kleiner Finger	Oberarm
Kalibrierung 1	—		122	*	117	—	
			67		65		
Kalibrierung 2	116		—		—	119	125
	67					69	81
							62
Phase 1	—		126	**	119	—	126
			71	*	68		82
							62
Phase 2	120	**	127		—	—	126
	70		72				80
							61
Phase 3	—		131	***	123	—	127
			74	*	70		80
							57
Phase 4	125	*	130		—	—	128
	74		74				82
							57
	unter- brochen				unter- brochen		
Phase 6	—		137	***	122	—	126
			80	***	72		80
							61
Phase 7	124	**	137		—	—	125
	76	**	80				80
							60
Phase 8	127		—		—	128	126
	77					77	83
							60

Anmerkungen: Bei den auskultatorischen Messungen am Oberarm wurde zwischen diastolischen Werten Phase 4 und Phase 5 unterschieden. Die Ergebnisse der Mittelwert-Vergleiche zwischen den Fingern (t-Tests) sind in die Tabelle eingetragen. Signifikante Veränderungen der Blutdruckwerte eines Fingers wurden festgestellt:

Ringfinger: SBP Phase 2/8 p = .01; DBP 2/4 p = .05, 2/7 p = .004, 2/8 p = .01;

Mittelfinger: SBP Phase 1/3 p = .02, Phase 1/6 p = .001, Phase 1/7 p = .006, Phase 4/6 p = .01;

DBP 1/3 p = .01, 1/6 p = .001, 1/7 p = .006, 2/3 p = .05, 4/6 p = .006;

Zeigefinger: DBP 1/3 p = .05, 1/6 p = .05.

*p ≤ .05 **p ≤ .01 ***p ≤ .001

Unterschiede zwischen den Fingern und den Untersuchungsphasen

Die Blutdruckmessungen am Mittelfinger, an dem kontinuierlich gemessen wurde, lassen eine differentielle Veränderung relativ zum Ring- und Zeigefinger erkennen (Tabelle 2.4). Der systolische und diastolische Wert stiegen von der Kalibrierung bis zur letzten Messung in Phase 7 an. Die Unterschiede zwischen Phase 1 und 7 betragen +11/+9 mm Hg und sind sehr signifikant

($p = .001$). Der deutlichste Anstieg besteht zwischen Phase 4 und Phase 6, während sich die Werte der anderen Finger vor und nach der Unterbrechung zwischen Phase 4 und 6 nicht signifikant unterscheiden. Die kontinuierliche Messung scheint also über den Meßzeitraum zu einer Zunahme des Finger-Blutdrucks zu führen. Dies gilt auch für den Ring- und Zeigefinger sowie auch den kleinen Finger, aber nicht für den Oberarm. Die auskultatorischen Messungen am Oberarm zeigen eine hohe Konstanz über die Meßreihe, so daß es sich bei den beobachteten Veränderungen des Finger-Blutdrucks wahrscheinlich um lokale Effekte handelt.

Die Finger unterschieden sich in ihrem Umfang, mit Ausnahme von Mittelfinger und Zeigefinger, sehr signifikant ($p < .001$) voneinander. Zwischen dem Umfang des Mittelfingers und dem systolischen bzw. diastolischen Blutdruck in Phase 1 wurde keine signifikante Beziehung beobachtet, dies gilt ebenso für den Oberarm-Umfang und die auskultatorischen Messungen.

Fingertemperatur

Die Messungen der Fingertemperatur ergaben anfänglich einen sehr signifikanten Unterschied von 1.0 bzw. 0.6 Grad zwischen Mittelfinger und Zeigefinger (Tabelle 2.5). Während der Meßphasen glichen sich die Fingertemperaturen bis zur Phase 4 aneinander an, gingen jedoch in Phase 4 und 7 (Manschette des Zeigefingers geöffnet) bzw. Phase 8 (beide Manschetten geöffnet) wieder auseinander. Die kontinuierliche Abnahme der Temperatur am Mittelfinger (von der Kalibrierung bis zur Phase 7 um 3.7 Grad) mit Wiederzunahme in der letzten Phase, d.h. nach Öffnung der Manschette um 0.9 Grad, und der analoge Verlauf am Zeigefinger lassen sich als Effekte der Stauung interpretieren. Die ca. 40 Minuten dauernde Phase 5 führte an beiden Fingern, d.h. auch am nicht gestauten Zeigefinger, zu einer Temperaturabnahme von 1.0 bzw. 1.2 Grad. Der relativ enge Zusammenhang beider Temperaturmeßreihen wird aus der Korrelation aller Meßwertpaare deutlich: .77 ($n = 143$).

Tabelle 2.5: Fingertemperaturen

	Mittelfinger		Zeigefinger		t-Tests
	M	SD	M	SD	
vor der	34.2	1.6	33.2	1.4	***
Kalibrierung	34.3	1.6	33.7	1.5	***
Phase 1 Anfang	34.0	1.9	33.9	2.7	*
Ende	33.0	1.9	33.2	1.9	**
Phase 2	33.4	2.0	33.4	2.2	
Phase 3	32.7	2.4	32.7	2.5	
Phase 4	32.3	2.8	31.9	3.3	
Phase 6 Anfang	31.3	4.0	30.7	4.3	
Ende	31.0	4.0	30.4	4.1	
Phase 7	30.5	4.1	30.1	4.4	
Phase 8	31.4	4.5	29.9	4.5	**

Anmerkungen: Die Manschette am Mittelfinger war in Phase 8, die Manschette am Zeigefinger in Phase 2, 4, 7 und 8 geöffnet.

Effekt der Umschaltung

Der Trend der Meßwerte war am Mittelfinger deutlicher ausgeprägt (Zunahme von Phase 1 zu Phase 7 um 11/9 mm Hg) als am Ringfinger (4/6 mm Hg) oder Zeigefinger (3/4 mm Hg). Dieser Effekt wurde als Folge der Stauung interpretiert. Hierfür spricht auch die Konstanz der Messungen am Oberarm. Werden die Messungen aus den Kalibrierungsphasen einbezogen, so sind die Trends, hier auch für die beiden Messungen am kleinen Finger, noch deutlicher (siehe Tabelle 2.4).

Da nach der Umschaltung zwischen Fingermanschetten eine Vergleichsmessung erst nach dem Ablauf des PHYSIOCAL möglich ist, kann der Effekt des Switchings nur indirekt beurteilt werden. Das Switching zwischen den Fingern reduziert den Anstieg der Blutdruckwerte, aber verhindert ihn nicht völlig. Die Meßwerte am kleinen Finger, die in der Relation zum Ringfinger recht konstant bleiben, scheinen, da sie ebenfalls ansteigen, für einen generellen Trend, der für alle Finger zutrifft, zu sprechen.

Finger-Blutdruck und Brachialis-Blutdruck

Die beiden Methoden stimmen hinsichtlich Größenordnung und Varianz der Meßwerte in etwa überein. Die Korrelationen zwischen Mittelfinger und Oberarm sind jedoch interindividuell gering und nicht signifikant: systolisch zwischen $r = +.20$ und $r = -.11$, diastolisch Phase 4 zwischen $r = .41$ und $r = .03$, diastolisch Phase 5 zwischen $r = .44$ und $r = .00$ ($N = 13$). Dementsprechend sind auch die Korrelationen Mittelfinger/Oberarm über den gesamten Datensatz ($13 \times 6 = 78$ Meßwertpaare) gering: systolisch $r = .03$, diastolisch (Phase 4) $r = .16$ und diastolisch (Phase 5) $r = .01$ (ähnlich für die anderen Finger).

Diese Diskrepanzen sind, zumindest beim systolischen Blutdruck, nicht auf eine mangelnde Reproduzierbarkeit der interindividuellen Unterschiede rückführbar, denn die Reproduzierbarkeit der Messungen über die Phasen ist in einer Größenordnung von .90 zwischen benachbarten Phasen als befriedigend anzusehen. Die diastolischen Werte der auskultatorischen Messung, insbesondere in Phase 5, sind allerdings weitaus schlechter reproduzierbar (Tabelle 2.2). Für den geringen Zusammenhang beider Meßmethoden scheint zusätzlich noch die differentielle Veränderung verantwortlich zu sein, denn die Meßwerte des Finger-Blutdrucks zeigten einen Trend, der beim Oberarm-Blutdruck fehlt. Dies ist auch aus den typischen Verläufen der Abbildungen 2.2 (im Anhang) zu erkennen.

2.4 Diskussion

Die inter- und intraindividuelle Variabilität der Blutdruckmessungen war in dieser Pilotstudie nicht groß, aber hinreichend, um einige methodische Aspekte zu evaluieren. Die Messungen an den Fingern und am Oberarm ergaben insgesamt, wenn von der geringeren Varianz der systolischen Werte am Oberarm abgesehen wird, Mittelwerte und Varianzen in ähnlicher Größenordnung. Die Reproduzierbarkeit der Messungen ist für aufeinander folgende Phasen als befriedigend zu bezeichnen – ausgenommen die diastolischen Meßwerte am Oberarm. Über den Untersuchungszeitraum sinken die Koeffizienten ab, was als Hinweis auf differentielle Verläufe zu verstehen ist.

Problematisch ist jedoch die Genauigkeit dieser Messungen, welche aufgrund der Mittelwerte und Korrelationskoeffizienten zunächst nicht hinreichend zu bewerten ist. In dieser orientierenden Pilotstudie war es nicht möglich, die Genauigkeit in der Übereinstimmung beider Geräte zu prüfen, da zunächst verschiedene Bedingungsvariationen vorgenommen wurden. Die Pilotstudie

lieferte aber Hinweise auf mögliche Einflußgrößen bei dieser Versuchsanordnung.

Die Analyse zeigte, daß es zwischen den Fingern deutliche Mittelwertunterschiede gibt. Es kann zwar nicht ausgeschlossen werden, daß Wechselwirkungen zwischen Finger, Manschette und Gerät existieren, doch handelt es sich wahrscheinlich ganz überwiegend um unterschiedliche Trends: eine deutliche Zunahme beim Mittelfinger und eine geringere Zunahme beim Ring- und Zeigefinger.

Die Zunahme der Blutdruckwerte an den Fingern ist wahrscheinlich auf die Kompression zurückzuführen. Diese Schlußfolgerung wird durch die Messung der Fingertemperatur und durch den Vergleich mit den relativ konstanten systolischen Werten des Oberarm-Blutdrucks gestützt. Die Abkühlung durch Kompression und Immobilisierung der Hand scheint alle Finger zu betreffen. Das Switching kann also den Trend über den Untersuchungszeitraum reduzieren, aber nicht völlig verhindern.

Die Untersuchungsergebnisse stimmen mit dem Befund von Ristuccia, Grossman, Watkins und Lown (1997) überein. In dieser Untersuchung wurden ein Trend des Finger-Blutdrucks beobachtet und eine viel größere Abnahme (Recovery) bei Probanden, welche standardisierte Fingerübungen durchführten, um die Effekte lokaler vaskulärer Veränderungen zu reduzieren. Ohne solche Maßnahmen würde es zu einer Verzerrung der Baseline vor einer neuen Untersuchungsphase kommen.

Die problematischen Konsequenzen längerer Kompression (bzw. zu häufiger Messungen) auf die Blutdruckmessung ist im Prinzip – auch für die Messung an der Brachialis mit Oberarmmanschette – bekannt. Deswegen gibt das Portapres2-System die Möglichkeit des automatischen Switching im Abstand von 15, 30 oder 60 Minuten.

Die gegenwärtige Untersuchung läßt aber vermuten, daß der Effekt der Kompression auch durch häufiges Switching nicht zu eliminieren ist. Allerdings war die Hand hier weitgehend, d.h. bis auf kleinere Lockerungsbewegungen in der Untersuchungsphase 5, ruhig gestellt, so daß die Abkühlung begünstigt war.

In dieser Pilotstudie wurden nur geringe Korrelationen zwischen Finger-Blutdruck und dem ebenfalls nicht-invasiv gemessenen Oberarm-Blutdruck gefunden. Dies ist aufgrund anderer Arbeiten nicht unerwartet (siehe Fahrenberg, 1997), doch ist die Abweichung zweier Methoden zur Messung des "Blutdrucks" irritierend. Eine Ursache dieser Diskrepanz ist in den differentiellen Trends des Finger-Blutdrucks zu sehen – abgesehen von anderen Bedingungen (u.a. Druckgradient Brachialis/Finger, Manschettenprobleme, Auswertungsprobleme und die Synchronisation der Messungen). Die Unterschiede bestanden jedoch, wenn auch geringer ausgeprägt, bereits in der ersten Phase. Da die Reproduzierbarkeit beider Messmethoden, zumindest für den systolischen Blutdruck, befriedigend ist, sind physiologische Ursachen dieser Diskrepanzen sowie differentielle Verläufe anzunehmen.

Die Untersuchungsbefunde müssen relativiert werden, weil in dieser Pilotstudie nur eine kleine Anzahl von normotonen Probanden unter Ruhebedingungen untersucht wurde. Eine größere interindividuelle Varianz und auch eine größere intraindividuelle Varianz sind wünschenswert. Die Provokation von Blutdruckänderungen durch mentale und körperliche Belastungen würde jedoch Nebeneffekte einführen, welche den Meßwiederholungsplan mit Parallelmessungen komplizieren würde.

Die Untersuchungsergebnisse dieser Pilotstudie legen die folgenden Schlußfolgerungen nahe:

1. Messungen des Finger-Blutdrucks mit dem Portapres Gerät sind, wenn die interindividuellen Unterschiede betrachtet werden, in einem Meßwiederholungsplan ausreichend reproduzierbar.
2. Die Genauigkeit dieser Messungen erscheint sehr problematisch. Es ergaben sich Hinweise auf mehrere Bedingungen, welche die Genauigkeit (als Übereinstimmung beider Geräte) beeinträchtigen: die Position bzw. die Selektion des Fingers, die Kompression des Fingers, die Umschaltung von Finger zu Finger und die Fingertemperatur.
3. Die Effekte der Kompression bzw. Vasokonstriktion (Abkühlung) könnten durch automatisches Switching im Abstand von 30 (oder 15) Minuten reduziert, aber nicht eliminiert werden. Dabei entstehen Datenlücken von jeweils ca. 5 Minuten, die eine kontinuierliche Registrierung u. U. erheblich beeinträchtigen würden.
4. Die Meßwerte des Finger-Blutdrucks können erheblich von den Vergleichsmessungen mit der sphygmomanometrischen oder oszillometrischen Technik abweichen. Diese Diskrepanzen sind wahrscheinlich nicht allein auf die speziellen Probleme solcher Vergleichsmessungen (u. a. zeitliche Auflösung, Synchronisierung) zurückzuführen. Deswegen ist zu überlegen, ob in der Praxis regelmäßige Kontrollmessungen am Oberarm zweckmäßig sind, wenn ein Bezug zum Brachialis-Blutdruck hergestellt werden soll.

In der anschließenden Methodenstudie soll vor allem der Aspekt der Genauigkeit untersucht werden. Dabei wird auf einen Wechsel der Finger verzichtet und die Registrierung jeweils nur am Mittelfinger der linken und der rechten Hand durchgeführt ohne die Manschette zeitweilig zu öffnen und ohne Manöver zur Förderung der Durchblutung.

3 Methodenstudie

3.1 Fragestellungen

Die wichtigste der einleitend genannten Fragestellungen ist der Vergleich der mit den zwei Portapres-Geräten gemessenen Blutdruckwerte. Die simultan an den Mittelfingern der linken und der rechten Hand gemessenen Werte sind nicht nur korrelativ, sondern auch durch Genauigkeitsdiagramme nach Bland und Altman (1986) zu evaluieren. Zu Vergleichszwecken werden auch die gemessenen Herzfrequenzen entsprechend ausgewertet. Um die intraindividuelle Varianz zu erhöhen, sollen die Messungen unter Ruhebedingungen und anschließend bei körperlicher Belastung am Ergometer durchgeführt werden.

Der Finger-Blutdruck soll mit zeitlich zugeordneten Messungen des Brachialis-Blutdrucks mit oszillometrischer Methode, jeweils am Ende einer Untersuchungsphase, verglichen werden. Die oszillometrische Methode wird außerdem verwendet, um eventuelle Seitenunterschiede des Blutdrucks berücksichtigen zu können. Der Vergleich von Portapres2 und SpaceLabs-Messungen hat einen praktischen Aspekt. Ist es empfehlenswert, beim Monitoring gelegentlich begleitende Messungen mit einem oszillometrischen System vorzunehmen, um Referenzwerte zu erhalten?

Die geplante Untersuchung bot die Gelegenheit, die Effekte einer Änderung der Körperlage auf die Meßwerte des Finger-Blutdrucks im Vergleich zum Oberarm-Blutdruck zu erfassen und die Ergebnisse von Schwan und Pavsek (1989) zu replizieren.

Durch Messung der Fingertemperatur soll der Versuch fortgesetzt werden, Beziehungen zwischen den Meßwerten der Finger-Blutdrucks (bzw. deren Abweichungen von Brachialis-Werten) und der Fingertemperatur zu erfassen. Die kontinuierlichen Temperaturmessungen werden unter der Fingermanschette des Mittelfingers und zur Kontrolle auch am Ringfinger jeder Hand vorgenommen.

Die Untersuchungsergebnisse aufgrund dieser Simultanmessungen mit zwei Geräten könnten dazu beitragen, die Genauigkeit der Messung des Finger-Blutdrucks noch auf eine andere Weise als nur durch den Vergleich mit intra-arteriellen Messungen zu prüfen. Die zu erwartenden Diskrepanzen zwischen dem Finger-Blutdruck und dem oszillometrisch bestimmten Oberarm-Blutdruck werden zu der Frage nach den praktischen Konsequenzen für das ambulante Monitoring unter Alltagsbedingungen führen.

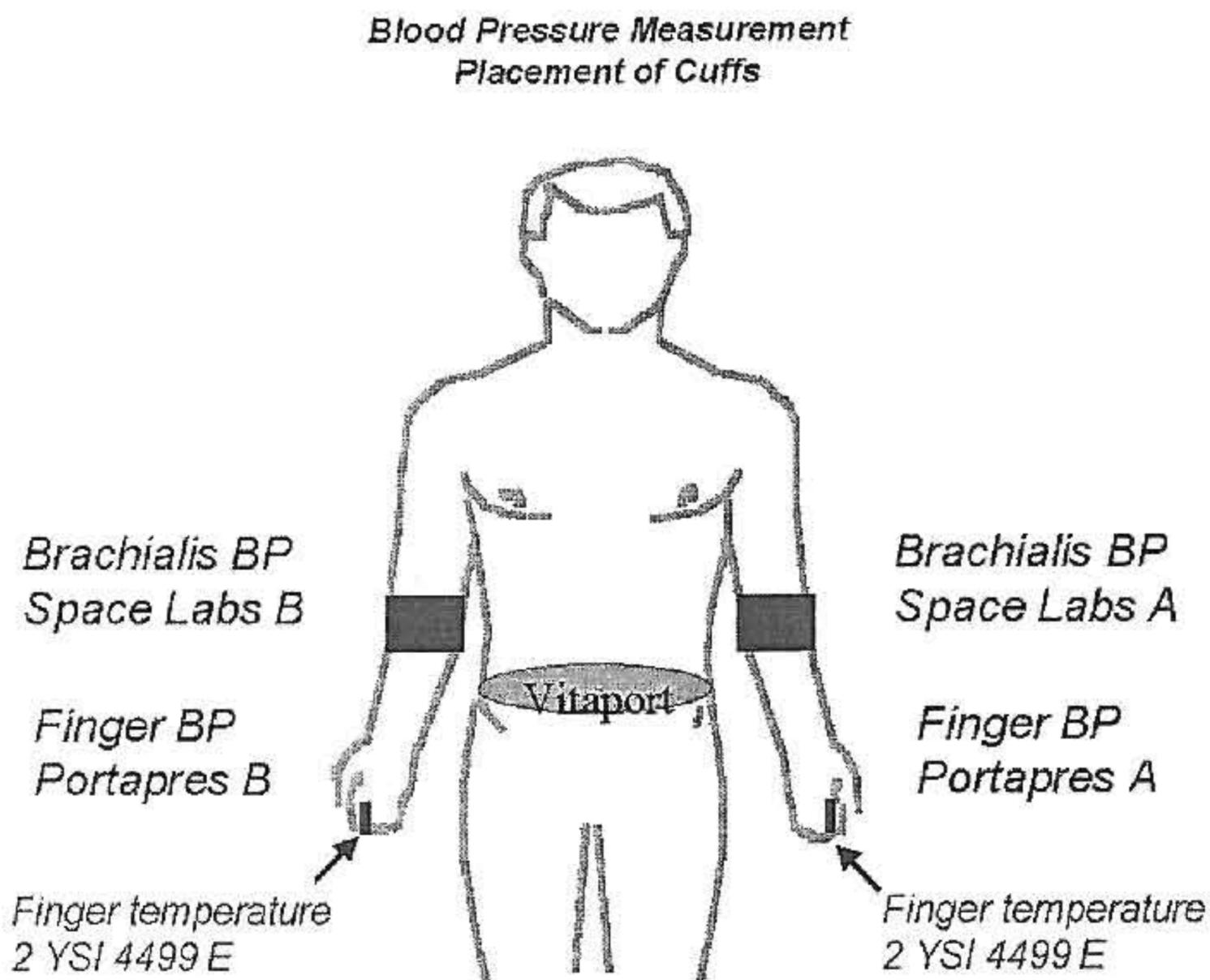
3.2 Untersuchungsmethodik

An der Untersuchung nahmen 31 normotone Männer im Alter von 21 bis 42 Jahren ($M = 27$) teil. Es handelte sich um Studierende verschiedener Fakultäten, die ein Teilnahmehonorar bekamen. Sie wurden informiert, daß Blutdruckmessungen am Finger und Oberarm unter verschiedenen Bedingungen vorgenommen würden, und stimmten der Untersuchung zu.

Die Messungen fanden im Liegen auf der Ergometerliege statt. Am linken und rechten Oberarm wurden die Manschetten der beiden oszillometrischen Geräte SpaceLabs Mod. 90207 (SpaceLabs™, Inc. Redmond, Washington, USA) verwendet. Am Mittelfinger der linken und der rechten Hand wurden die Manschetten der beiden Portapres™ Model 2.0 (TNO Biomedical Instrumentation, Amsterdam, Holland) Geräte angelegt, aber zunächst noch nicht angeschlossen. Zuvor waren auf die Innenseite der zweiten Phalangen der linken und der rechten Mittel- und

Ringfinger Temperaturfühler YSI 4499E (Yellowstone Springs Instruments Co., Inc.; Yellow Springs, USA) geklebt worden, so daß später eine Messung der Fingertemperatur unter Manschette, ohne das Fotoplethysmogramm zu stören, möglich war (Abbildung 3.1 zeigt die Anordnung der Geräte).

Abbildung 3.1 Anordnung der Geräte zur Blutdruck-Messung, der Manschetten und der Temperatursonden



Kalibrierungen der Blutdruck-Geräte wurden wie in den vorausgegangenen Untersuchungen vorgenommen (Fahrenberg et al., 1997). Die beiden Portapres-Geräte sind intern mit einem Präzisionsmanometer ausgestattet und einem Square-Wave-Generator, deren Signale im Vitagraph kontrolliert und dokumentiert wurden. Sowohl die Portapres als auch die SpaceLabs-Geräte wurden außerdem noch mit einem Quecksilbermanometer verglichen. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Abweichungen die Größenordnung von 2 mm Hg nicht übersteigen.

Der Umfang beider Oberarme und beider Mittelfinger wurde mit einem Bandmaß gemessen, um ggf. spezielle Blutdruckmanschetten auszuwählen. Es konnten jedoch bei allen Untersuchungsteilnehmern die normalen Manschetten benutzt werden. Beim Portapres links Nr. 921215, rechts Nr. 921210 (beide R fix).

Für die YSI 4499E Hautoberflächen-Sonden wird vom Hersteller eine Zeitkonstante von 1.1 s (bis zum Erreichen von 63 % des Betrags einer Temperaturänderung) angegeben. Das Signal wurde mit einem SPIL on-line-Programm (Brügner & Müller) für Vitaport 2 angepaßt und kalibriert.

Beim Vergleich der vier verwendeten Sensoren in einem Wasserbad; dessen Temperatur zwischen 21.5 und 35.0 Grad variiert und mit einem Quecksilber-Präzisions-Laborthermometer kontrolliert wurde, ergaben sich für die Meßwertänderungen relativ gute Übereinstimmungen. Zwischen den Sensoren existieren jedoch deutliche Unterschiede. Der Hersteller nennt eine Größenordnung von ± 0.3 Grad.

Tabelle 3.1: Vergleich der 4 YSI-Sensoren

	Nr.	Baseline	(1) Wasser 21.5 Grad	(2) Wasser 35.5 Grad	(3) Wasser 22.0 Grad	(4) Wasser 35.0 Grad	Differenz (1) zu (4)
Linke Hand							
Mittel- finger	1	23.4	21.0	35.9	21.3	35.6	14.6
Ring- finger	2	23.4	20.9	35.6	21.1	35.6	14.7
Rechte Hand							
Ring- finger	3	23.2	20.8	35.8	20.9	35.4	14.6
Mittel- finger	4	23.5	21.0	36.2	21.2	36.0	15.0
Differenz der Sensoren							
Max. Diff.		0.3	0.2	0.6	0.4	0.6	—

Anmerkung: Messung (9.8.1999) im Wasserbad (Ablesung Quecksilber-Labor-Thermometer)

Die Untersuchung begann mit der Aufzeichnung der Fingertemperatur der Mittelfinger unter der geöffneten Manschette bzw. an den beiden Ringfingern.

Durch zwei simultan ausgelöste Blutdruckmessungen am Oberarm im Abstand von zwei Minuten wurden mögliche Seitenunterschiede festgestellt. Falls die Meßwerte der beiden SpaceLabs-Geräte systolisch oder diastolisch um mehr als 5 mm Hg voneinander abwichen, wurde eine dritte Messung vorgenommen. Der Seitenunterschied wurde als Differenz der Mittelwerte am linken und rechten Arm bestimmt. Es ergaben sich nur minimale Unterschiede, systolisch links +0.6 mm Hg (+12 bis -5), und diastolisch links +1.3 mm Hg (+6 bis -3), die bei der weiteren Auswertung vernachlässigt werden konnten.

Anschließend wurden die Fingermanschetten an den Mittelfingern geschlossen und die Messung des Finger-Blutdrucks begonnen. Es wurde sorgfältig auf die optimale Position und den relativ festen Sitz der Manschetten geachtet und bei zweifelhaften Meßwerten eine Adjustierung der Manschetten vorgenommen. Die Messung erfolgte ohne Switching, und mit aktivem Physiological-Algorithmus. Die Anpassung des Systems wurde als erfolgreich angesehen, wenn Physiological den Wert 70 erreichte. Dies war, von einigen Ausnahmen abgesehen — u. a. wegen kalter Finger und wegen einiger Artefakte — in der Regel nach 4 bis 5 Minuten der Fall.

Jedem zweiten Untersuchungsteilnehmer wurde anschließend über die linke Hand ein gefütterter Handschuh ("Grill-Handschuh") gezogen, um die Temperaturbedingungen an den Fingern zu

variieren: n = 16 mit Handschuh, n = 15 ohne Handschuh.

Das Höhenkorrektur-System wurde verwendet, wobei jeweils zu Beginn ein Abgleich erfolgte. Der erste Sensor wurde lateral auf der mittleren Axillarlinie beim gedachten Schnittpunkt mit der horizontalen Mamillarlinie befestigt; der zweite Sensor wurde auf der Oberseite der Fingermanschette fixiert.

Die Registrierung umfaßte die folgenden Untersuchungsphasen (siehe Tabelle 3.2):

1. Ruhe	Rückenlage	20 min
1. Ergometer 80 Watt	- " -	5 min
2. Erholung	- " -	5 min
3. Liegen	linke Seite	3 min
4. Liegen	rechte Seite	3 min
5. Liegen	rechte Seite, Hände aufliegend	3 min

Am Ende jeder der 6 Phasen wurde simultan an beiden Armen eine SpaceLabs-Messung vorgenommen.

Tabelle 3.2: Untersuchungsphasen und Messungen

Untersuchungsphasen							
		Ruhe	Ergo- Meter	Erhol- ung	Liegen links	Liegen rechts	Liegen Hand unten
		20 min	5 min	5 min	3 min	3 min	3 min
Kontinuierliche Messungen							
Mittelfinger links	Portapres A						
Mittelfinger rechts	Portapres B						
Fingertemperatur (2 Mittel- und Ringfinger)	YSI 4499E						
Einzelne Messungen (am Ende jeder Phase)							
Oberarm links (Brachialis)	SpaceLabs A	X	X	X	X	X	X
Oberarm rechts (Brachialis)	SpaceLabs B	X	X	X	X	X	X

Es wurde bei der Seitenlage dafür gesorgt, daß die Oberarm-Manschetten und Schlauchzuleitungen nicht abgequetscht wurden. Die Hände lagen während der Phasen 1 bis 3 flach auf der Liege auf, wobei speziell während der Ergometerbelastung auf die Vermeidung von Bewegungsartefakten geachtet wurde. In der Phase 4 lag die rechte Hand flach auf dem Oberschenkel, entsprechend in Phase 5 die linke Hand, während sich die jeweils andere Hand auf der Liege befand. In Phase 6 lag auch die linke Hand auf der Liege, um eine bequemere "Schlafhaltung" zu ermöglichen. Auf eine Registrierung in Bauchlage wurde wegen der störenden Geräte verzichtet. Die Untersuchung dauerte insgesamt durchschnittlich 90 Minuten.

Die kontinuierliche Blutdruckregistrierung wurde (1) im Portapres-Gerät gespeichert und (2) über die Analogausgänge als AC-Signale auf einem 16-Kanal-Vitaport2 System (Vitaport GmbH, Erfstadt) aufgezeichnet. Dafür wurden die folgenden Signale ausgewählt (jeweils von System A und B): Pulssignal PULS, systolischer Blutdruck SYST, mittlerer Blutdruck MEAN, diastolischer Blutdruck DIAS, Herzfrequenz HR, Höhendifferenz der Sensoren HEIG. Die Kanalbelegung und die Vitaport2-Definitionsdatei sind im Anhang dokumentiert.

Die kontinuierliche Aufzeichnung der Fingertemperaturen wurde ausgewertet, indem (1) über die 6 Untersuchungsphasen gemittelt wurde und (2) im Vitagraph zu bestimmten Zeitpunkten Einzelwerte mit dem Cursor gemessen wurden. Diese Meßpunkte lagen vor Beginn der Untersuchung (bei noch geöffneten Fingermanschetten), zu Beginn und zu Ende der Ruhephase, am Ende der Erholungsphase und am Ende der Untersuchung (jeweils kurz bevor die SpaceLabs-Messung stattfand). Da mit Trends innerhalb der Phasen und über den gesamten Zeitraum zu rechnen war, sollten die Einzelmessungen zur Beschreibung dieses Trends beitragen.

Im Vitagraph wurde mit den Statistikfunktionen eine erste Auswertung durch Berechnung von Mittelwerten, SD u.a. Statistiken für jede der sechs Haupt-Phasen vorgenommen. Wegen fehlerhafter Aufzeichnungen fehlen die Temperaturdaten von drei Personen, von zwei weiteren fehlen die Daten des 4. Sensors TRR.

Tabelle 3.3 dokumentiert die 49 Variablen der Untersuchung und die Statistiken über alle Untersuchungsabschnitte (31 Personen x 8 Abschnitte = 248), wobei hier in den Phasen 1 und 2 nur die beiden SpaceLabs-Messungen zur Prüfung der Seitenunterschiede sowie die Fingertemperaturen enthalten sind. Die Phasen 3 bis 5 sind die hauptsächlichsten Phasen zur Evaluation der Blutdruckmessungen. An den Portapres-Registrierungen wurden weitere Segmentierungen mit einem zeitlichen Raster von 10 Sekunden und von 30 Sekunden vorgenommen.

Für die weitere statistische Auswertung wurden Programme aus dem SAS und dem SPSS verwendet sowie spezielle Programme zur Datenorganisation (Foerster).

Tabelle 3.3: Variablen der Untersuchung und Grundstatistiken über alle Untersuchungsphasen

Variable	Label	N	Mean	SD	Minimum	Maximum
VP_NR	Vp-Nummer	248	17.1290323	9.4949104	1.0000000	33.0000000
HAND	Handschuh: 1=nein, 2=ja	248	1.5161290	0.5007504	1.0000000	2.0000000
N_SEGK	Segmente: 1-8	248	4.5000000	2.2959214	1.0000000	8.0000000
TML	Temperatur Mittelf., links	144	32.9063194	2.4705062	22.9800000	36.1500000
TRL	Temperatur Ringf., links	144	33.5495139	2.5500735	21.7900000	35.8300000
TMR	Temperatur Mittelf., rechts	144	33.0100694	2.4627796	22.9800000	35.4600000
TRR	Temperatur Ringf., rechts	134	32.8520896	1.9368663	26.2400000	35.5000000
APULS_M	Puls, MW, links	186	73.2536183	12.2443795	42.0480000	108.7000000
APULS_S	Puls, SD, links	186	15.4327688	3.2976247	10.2420000	30.5070000
ASYST_M	Syst.Blutdr., MW, links	186	113.1488495	18.9310764	76.4270000	172.0000000
ASYST_S	Syst.Blutdr., SD, links	186	7.2762742	2.5982223	1.8220000	15.2000000
ADIAS_M	Diast.Blutdr., MW, links	186	57.3773226	11.0761042	29.2710000	89.1410000
ADIAS_S	Diast.Blutdr., SD, links	186	3.7498602	1.2898983	0.8220000	11.8240000
AMEAN_M	Mittl.Blutdr., MW, links	186	73.2140323	12.3321613	42.1110000	108.9000000
AMEAN_S	Mittl.Blutdr., SD, links	186	4.1374355	1.4199542	0.2490000	12.4960000
AHR__M	Herzfrequenz, MW, links	186	69.7293387	14.8596872	43.8230000	112.5000000
AHR__S	Herzfrequenz, SD, links	186	5.2877097	2.6343959	1.1870000	19.2460000
AHEIG_M	Sensor-Hoche, MW, links	186	93.4862312	6.8474433	71.5510000	104.3000000
AHEIG_S	Sensor-Hoche, SD, links	186	0.5075484	0.8357138	0	7.5900000
BPULS_M	Puls, MW, rechts	186	75.0813495	12.1443226	43.8430000	107.3000000
BPULS_S	Puls, SD, rechts	186	15.9726290	3.7575042	6.5820000	32.4000000
BSYST_M	Syst.Blutdr., MW, rechts	186	118.4315484	19.5488906	73.7020000	188.9000000
BSYST_S	Syst.Blutdr., SD, rechts	186	7.4613925	2.7329580	0.9000000	18.8000000
BDIAS_M	Diast.Blutdr., MW, rechts	186	58.2684892	11.2754242	25.8020000	88.8260000
BDIAS_S	Diast.Blutdr., SD, rechts	186	3.5395430	1.0545150	0.5130000	7.2360000
BMEAN_M	Mittl.Blutdr., MW, rechts	186	74.5352527	12.1570294	42.8320000	107.8000000
BMEAN_S	Mittl.Blutdr., SD, rechts	186	3.9375538	1.2574988	0.1430000	8.4910000
BHR__M	Herzfrequenz, MW, rechts	186	69.6509839	15.7527472	43.3290000	135.0000000
BHR__S	Herzfrequenz, SD, rechts	186	5.3057312	3.5751169	1.1050000	36.6000000
TMP1V_M	Temperatur, 1V, MW	168	33.0597321	2.1269377	23.0870000	36.1570000
TMP1V_S	Temperatur, 1V, SD	168	0.0979940	0.1175783	0.0100000	0.7130000
TMP2V_M	Temperatur, 2V, MW	168	33.9418690	1.6663406	23.4530000	35.8190000
TMP2V_S	Temperatur, 2V, SD	168	0.1867024	0.1612027	0.0050000	0.7910000
TMP3V_M	Temperatur, 3V, MW	168	33.0345952	1.9126918	23.1090000	35.4390000
TMP3V_S	Temperatur, 3V, SD	168	0.2399821	0.1612900	0.0020000	1.0180000
TMP4V_M	Temperatur, 4V, MW	161	32.5754224	1.9448523	26.2920000	35.2070000
TMP4V_S	Temperatur, 4V, SD	161	0.1361615	0.1039627	0.0250000	0.6520000
BHEIG_M	Sensor-Hoche, MW, rechts	174	96.4010000	2.9648390	89.0050000	103.9000000
BHEIG_S	Sensor-Hoche, SD, rechts	174	0.3844598	0.5351157	0.0940000	3.2880000
ASYST__	Systol.Blutdr., Spacelabs, links	246	118.7845528	12.4856785	87.0000000	144.0000000
AMEAN__	Mittl.Blutdr., Spacelabs, links	246	83.9837398	9.4562224	59.0000000	105.0000000
ADIAS__	Diastol.Blutdr., Spacelabs, links	246	67.4715447	9.3623869	41.0000000	90.0000000
AHR____	Herzfrequenz, Spacelabs, links	246	65.3120081	11.9967510	40.0000000	102.0000000
STUNDE_	Uhrzeit Spacelabs-Messung, Stunde, rechts	247	13.5991903	2.5908845	9.0000000	18.0000000
MINUTE_	Uhrzeit Spacelabs-Messung, Minute, rechts	247	25.7489879	17.2403428	0	59.0000000
BSYST__	Systol.Blutdr., Spacelabs, rechts	247	120.1740891	11.1802516	90.0000000	152.0000000
BMEAN__	Mittl.Blutdr., Spacelabs, rechts	247	85.6801619	8.6812884	60.0000000	108.0000000
BDIAS__	Diastol.Blutdr., Spacelabs, rechts	247	68.5789474	8.9010392	45.0000000	89.0000000
BHR_____	Herzfrequenz, Spacelabs, rechts	247	65.3603239	12.0562589	41.0000000	103.0000000

Anmerkung: Phase 1 und 2 enthalten nur Messungen der Fingertemperatur und des Oberarm-Blutdrucks; Phase 3 (Ruhe), Phase 4 (Ergometerarbeit) und Phase 5 (Erholung) sind die hauptsächlichen Untersuchungsphasen zur Evaluation des Blutdrucks, die Phasen 6 bis 8 dienen der Untersuchung des Lagewechsels.

3.3 Ergebnisse

Die Daten dieser Untersuchung erlauben Aussagen über die Genauigkeit der Blutdruckmessung am Finger und am Oberarm (Brachialis), indem die Messungen auf der linken und rechten Seite verglichen werden. Aus den Meßwiederholungen ist die Reproduzierbarkeit zu erkennen. Darüber hinaus kann die Übereinstimmung zwischen der Messung des Finger-Blutdrucks und des Brachialis-Blutdrucks analysiert werden. Zum Vergleich werden jeweils auch die Ergebnisse hinsichtlich der Herzfrequenz mitgeteilt. Da hier eine nahezu perfekte Übereinstimmung zu erwarten ist, die nur durch ungenaue Synchronisierung oder unterschiedliche Meßintervalle beeinträchtigt sein könnten, dienen diese Herzfrequenz-Ergebnisse als Vergleichsmaßstab der Genauigkeit sowie auch zur Kontrolle der statistischen Auswertungsschritte.

Die Ergebnisse beruhen auf den drei hauptsächlichen Untersuchungsphasen, für die durch die Abfolge von Ruhe, Ergometerarbeit und Erholung eine intraindividuelle Varianz induziert wurde. Die statistische Auswertung wurde hier ohne Rücksicht auf die Bedingungsvariation "Handschuh" vorgenommen, da die Fingertemperaturen auf diese Weise nur geringfügig beeinflusst wurden (siehe unten).

Mittelwerte und Reproduzierbarkeit der Messungen

Die Mittelwerte der Meßwerte über die 31 Untersuchungsteilnehmer sind für die Untersuchungsphasen 1 bis 6 in der Tabelle 3.4 aufgeführt. Diese Tabelle enthält auch die Korrelationen der Meßwiederholungen von Phase zu Phase sowie von Phase 1 zu 3 und Phase 1 zu 6, d. h. einen zeitlichen Abstand von durchschnittlich ca. 35 Minuten bzw. ca. 50 Minuten (von Phasenbeginn bis Phasenende gerechnet). Die Retest-Koeffizienten zwischen den am besten vergleichbaren Bedingungen, d. h. Ruhe und Erholung nach Ergometerarbeit (r_{13}) liegen fast alle über 0.90 und zeigen an, daß die individuellen Blutdruckunterschiede befriedigend reproduzierbar sind. Auffällig sind hier nur die Meßwerte des SpaceLabs Gerät B (0.73 bis 0.77), die offensichtlich mit der Erholung von der Ergometerarbeit zusammenhängen, denn zwischen Phase 1 und 2 waren diese Messungen besser reproduzierbar (0.80 bis 0.91).

Aus den Mittelwerten der Finger-Blutdruck-Messungen und der Herzfrequenz (Tabelle 3.4) ist zu sehen, daß die Ergometerarbeit eine Zunahme von systolisch 25 mm Hg und diastolisch 8 mm Hg und eine Pulssteigerung von 26 auslöste. Zum Zeitpunkt der SpaceLabs-Messung ist diese Reaktion bereits abgeschwächt (10/5 mm Hg, 5 bpm).

Zum Vergleich sind auch die Korrelationskoeffizienten zwischen Minuten-Mittelwerten innerhalb einer Phase interessant. So wurden z. B. an den segmentierten Portapres Records A zwischen der 1. und der 4. Minute der Phase 3 die folgenden Koeffizienten (Autokorrelation) berechnet: systolischer Blutdruck .95, diastolischer Blutdruck .97 und Herzfrequenz .96.

Die Koeffizienten für die im Abstand von zwei Minuten vorgenommenen Meßwiederholungen mit den SpaceLabs-Geräten anläßlich der Prüfung auf mögliche Seitenunterschiede betrugen .86, .79 und .86 für den systolischen, mittleren und diastolischen Blutdruck sowie .99 für die Herzfrequenz (Tabelle 3.5). Diese Autokorrelationen geben hier die Obergrenze der erreichbaren Koeffizienten der Reproduzierbarkeit an (bei unveränderter Position der Manschetten und Bedingungskonstanz).

Tabelle 3.4: Mittelwerte in den 6 Phasen und Korrelationskoeffizienten zwischen Phasen

	N	1	2	3	4	5	6	r ₁₃	r ₁₆
Finger-Blutdruck									
ASYST	31	113.5	138.7	114.7	113.0	96.7	102.4	.81	.69
AMEAN	31	73.3	84.5	75.4	78.8	62.5	64.8	.84	.80
ADIAS	31	57.4	65.7	59.5	63.7	48.3	49.8	.86	.80
AHR	31	65.5	92.0	66.6	64.0	65.1	65.3	.97	.95
AHEIG	31	9.6	9.5	9.5	9.6	9.8	8.1	.14	-.07
BSYST	31	116.7	144.0	117.1	100.2	116.2	116.4	.78	.81
BMEAN	31	70.5	83.0	73.8	61.9	78.8	64.1	.74	.84
BDIAS	31	54.1	63.7	57.5	46.7	63.5	79.3	.77	.87
BHR	31	64.9	91.6	66.1	63.8	64.4	64.6	.94	.95
BHEIG	29	9.5	9.5	9.5	9.9	9.7	9.7	-.07	.08
Brachialis Blutdruck									
ASYST	31	120.5	130.9	121.4	119.2	104.4	103.3	.61	.73
AMEAN	31	85.2	91.4	85.9	88.0	71.0	73.4	.63	.80
ADIAS	31	68.8	73.4	69.6	72.1	55.4	56.9	.62	.60
AHR	31	63.1	68.9	62.4	61.6	64.5	64.0	.95	.92
BSYST	31	120.6	130.6	120.2	104.3	119.2	118.4	.78	.68
BMEAN	31	85.3	90.7	85.1	70.9	89.1	89.0	.75	.79
BDIAS	31	67.6	73.2	68.5	53.4	72.6	72.7	.80	.77
BHR	31	63.6	68.7	62.9	62.4	63.8	63.9	.95	.89
Fingertemperatur									
Mittelf. links	28	33.5	33.1	33.1	33.1	32.8	33.1	1.00	.93
Ringf. links	28	34.5	33.5	34.3	34.1	34.1	33.6	.97	.72
Mittelf. rechts	28	33.9	32.4	33.1	33.6	32.6	33.0	.97	.83
Ringf. rechts	27	33.3	32.5	32.2	32.6	32.5	32.4	.96	.93

Anmerkungen: Die 6 Phasen sind: Ruhe, Ergometer, Erholung, Liegen linke Seite, Liegen rechte Seite, Liegen rechte Seite (Hand auf der Liege). Links System A, rechts System B. Als Finger-Blutdruck sind hier die Mittelwerte der Phasen eingetragen.

Diese Tabelle 3.5 zeigt auch die Korrelationskoeffizienten zwischen den Geräten und zwischen den Variablen (SYST, MEAN, DIAS und HR) bei den zu Beginn vorgenommenen Messungen zur Prüfung auf mögliche Seitenunterschiede.

Tabelle 3.5: Korrelationen zwischen Geräten (SpaceLabs A und B), zwischen Variablen und zwischen Meßwiederholungen bei der ersten Messung.

	A SYST	B SYST	A MEAN	B MEAN	A DIAS	B DIAS	A HF	B HF	r_{11}
A SYST	---								.94
B SYST	.86	---							.92
A MEAN	.79	.71	---						.84
B MEAN	.65	.74	.79	---					.88
A DIAS	.60	.61	.87	.82	---				.89
B DIAS	.59	.62	.80	.93	.86	---			.84
A HR	.23	.31	.39	.50	.48	.48	---		.97
B HR	.24	.31	.40	.53	.50	.51	.99	---	.96

Anmerkung: Die Messung wurde einleitend zur Prüfung von Seitenunterschieden im Liegen durchgeführt und nach ca. 2 Minuten wiederholt. $r > 0.35$ $p < .05$; $r > 0.45$ $p < .01$; $r > 0.56$ $p < .001$

Genauigkeit der Portapres2 Messung

Der Vergleich zwischen den Geräten A und B wurde auf mehreren Wegen durchgeführt:

1. durch Berechnung von Korrelationskoeffizienten innerhalb einer Phase bzw. über drei Phasen;
2. durch Mittelwertvergleiche innerhalb der Phasen;
3. durch Scatter Plots
4. durch Agreement Plots (Übereinstimmungs-Diagramme).

Die Messungen der Geräte A und B korrelieren hinsichtlich der Herzfrequenz perfekt miteinander. Die Koeffizienten für den systolischen Blutdruck liegen in der Größenordnung von .84 bis .90, für den diastolischen Blutdruck nur zwischen .70 und .73 (siehe Tabelle 3.6, auch mit Vergleichswerten für die beiden SpaceLabs-Geräte).

Tabelle 3.6: Übereinstimmung zwischen den Geräten A und B während Ruhe und über die drei Phasen (Ruhe, Ergometer, Erholung).

	Portapres A/B Phasen- Mittelwerte		SpaceLabs A/B Einzelwerte	
	Ruhe	3 Phasen	Ruhe	3 Phasen
Systolischer Druck	.84	.90	.86	.87
Mittlerer Druck	.75	.80	.84	.81
Diastolischer Druck	.70	.73	.83	.82
Herzfrequenz	1.00	1.00	.99	.99

Beim Vergleich der Mittelwerte der Untersuchungsphasen (Tabelle 3.7) zeigen sich mehrere signifikante Unterschiede zwischen den Geräten A und B. Zu der Ruhephase wurden mit dem Gerät A niedrigere systolische und höhere mittlere und diastolische Blutdruckwerte gemessen. Die mittleren Differenzen betragen dabei ca. 3 mm Hg. Auch die Herzfrequenzen unterscheiden sich um 0.6 bpm. Ähnliche Abweichungen treten in den folgenden Phasen nur hinsichtlich des systolischen Blutdrucks / Ergometer ($p = .003$) und der Herzfrequenz /Erholung ($p < .001$) auf. Die Effektstärken sind als klein, bei der Herzfrequenz sogar als gering anzusehen.

In einer Serie von Abbildungen mit Scatter Plots und Agreement Plots mit den Übereinstimmungsgrenzen (siehe Einleitung) sollen die Ergebnisse zur Genauigkeit der Messungen, vor allem in der Ruhephase der Untersuchung, veranschaulicht werden (Abbildungen 3.2 bis 3.7).

Die Scatter Plots der Meßwert-Paare A/B aus der Ruhebedingung mit einem Zeitraster von 10 s in Abbildung 3.2 zeigen die im Vergleich zu den Herzfrequenzen sehr viel größeren Abweichungen der Blutdruckmessungen. Die Gestalt dieser Scatter Plots, insbesondere bei den diastolischen Werten, macht den Eindruck, daß bei einigen Personen systematische Ungenauigkeiten existieren.

In den Agreement Plots (Übereinstimmungs-Diagrammen) sind die Differenzen der Meßwerte A und B (Y-Achse) auf den Mittelwert der Meßwerte A und B (X-Achse) bezogen (Abbildung 3.3). Die Hypothese, daß der Mittelwert der Differenzen $M_{Diff} = 0$ ist, muß für alle Variablen verworfen werden. Dies gilt für die 10-Sekunden-Segmente ebenso wie für den Phasen-Mittelwert (siehe Tabelle 3.8). In die Agreement Plots wurden die "Übereinstimmungsbereiche" $M \pm 2 SD$ der Meßwert-Differenzen eingetragen (Abbildungen 3.3 und 3.7).

Auch bei der Messung der Herzfrequenz in der Ruhephase gibt es Ungenauigkeiten und Ausreißer, wenn ein Konfidenzbereich von $M \pm 2 SD$ angenommen wird. Aber es ist eine relativ geringe Anzahl und die Abweichungen betragen 2 bis maximal 4 bpm. Dagegen gibt es sowohl bei der systolischen als auch bei den diastolischen Messungen wesentlich häufigere und größere Abweichungen, die z. T. mehr als 20 mm Hg erreichen.

Die mittleren Abweichungen (Ruhewerte) betragen beim systolischen Druck -3.9 und beim diastolischen Druck 2.6 mm Hg, was Effektstärken von $d = 0.30$ bzw. $d = 0.27$ entspricht (für die Herzfrequenz $d = 0.04$). Die deutlich geringere Übereinstimmung der Blutdruckmessungen wird auch aus der Abbildung 3.4 beim Vergleich von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck mit den Zeitrastern 10 s und 30 s in der Ruhephase deutlich.

Tabelle 3.7: Unterschiede zwischen den Methoden A und B zur Messung von Finger-Blutdruck und von Brachialis-Blutdruck

Variable	Ruhe						Erholung						Retest-Reliabilität							
	Ergometer			Ergometer			Ergometer			Ergometer			Ruhe/Erholung		Ruhe/Erholung					
	A	B	Diff A-B	t	p	A	B	Diff A-B	t	p	A	B	Diff A-B	t	p	A	B			
Systolischer Druck mm Hg	M	114	117	-3.1	2.37	.024	139	144	-5.3	3.18	.003	115	117	-2.4	1.41	.169	.76	.77	.89	.90
	SD	13	13				16	18				14	15							
Mittlerer Druck mm Hg	M	73	71	2.8	2.14	.040	84	83	1.5	1.16	.257	75	74	1.6	1.15	.261	.87	.85	.90	.93
	SD	10	11				10	11				11	11							
Diastolischer Druck mm Hg	M	57	54	3.2	2.40	.023	66	64	2.0	1.49	.146	60	58	2.0	1.28	.212	.89	.88	.91	.93
	SD	9	10				9	10				10	10							
Herzfrequenz bpm	M	66	65	0.6	5.91	.000	92	92	0.3	1.97	.058	67	66	0.6	5.13	.000	.76	.76	.95	.95
	SD	11	11				12	12				11	11							
Portapres Finger-Blutdruck																				
SpaceLabs Brachialis-Blutdruck																				
Systolischer Druck mm Hg	M	121	121	-96	0.12	.907	131	131	0.29	0.33	.746	121	120	1.23	1.16	.255	.85	.80	.93	.73
	SD	8	9				9	10				9	9							
Mittlerer Druck mm Hg	M	85	85	-13	0.20	.847	91	91	0.65	0.81	.427	86	85	0.63	0.68	.505	.80	.80	.93	.77
	SD	7	6				6	6				7	7							
Diastolischer Druck mm Hg	M	69	68	1.16	1.63	.114	73	73	0.26	0.33	.747	70	69	0.97	1.20	.241	.75	.85	.84	.73
	SD	7	7				7	6				7	7							
Herzfrequenz bpm	M	63	64	-48	1.19	.243	69	69	0.13	0.68	.502	62	62	0.13	0.56	.580	.93	.91	.96	.91
	SD	12	13				12	12				11	11							

Anmerkung: Konstitutionelle Seitenunterschiede waren zu vernachlässigen, denn der Seitenvergleich aufgrund zweier Messungen am Oberarm hatte nur geringfügige Unterschiede ergeben:

Systolisch (M = 125.1/124.5 mm Hg; SD = 8.68/8.62), t(30) = 0.880, p = 0.386; r_{tt}(29) = 0.90;

Diastolisch (M = 71.9/ 70.6 mm Hg; SD = 6.46/7.11), t(30) = 2.678, p = 0.012; r_{tt}(29) = 0.92.

Herzfrequenz (M = 68.9/ 69.0 bpm; SD = 12.5/12.5), t(30) = -3.49, p = 0.730; r_{tt}(29) = 0.997.

Tabelle 3.8 Übereinstimmung der Messungen mit Gerät A und B (Portapres sowie SpaceLabs).

	Differenzen und t – Test auf Diff = 0				SEM	Übereinstimmungsbereich $M \pm 2 SD$	
	M	SD	t	p			
Portapres Meßwerte der letzten Minute der Ruhephase							
Systolischer BD	-3.92	7.78	28.55	.000	1.31	-19.48	11.64
Mittlerer BD	2.30	7.24	17.96	.000	1.24	-12.18	16.78
Diastolischer BD	2.61	7.05	20.93	.000	1.22	-11.49	16.71
Herzfrequenz	0.58	0.66	50.31	.000	0.27	-0.74	1.90
Portapres Mittelwerte der Ruhephase							
Systolischer BD	-3.14	7.38	2.37	.024	1.33	-17.90	11.62
Mittlerer BD	2.80	7.27	2.14	.040	1.31	-11.74	17.34
Diastolischer BD	3.23	7.50	2.40	.023	1.35	-11.77	18.23
Herzfrequenz	0.60	0.57	5.91	.000	0.10	-0.54	1.74
Portapres Mittelwerte der drei Untersuchungsphasen							
Systolischer BD	-3.60	8.70	3.99	.000	0.90	-21.00	13.80
Mittlerer BD	1.98	7.43	2.57	.012	0.77	-12.48	17.24
Diastolischer BD	2.38	7.56	2.97	.004	0.80	-13.54	17.50
Herzfrequenz	0.50	0.75	6.52	.000	0.07	-1.00	2.00
SpaceLabs Meßwerte der letzten Minute der Ruhephase							
Systolischer BD	-0.09	4.56	0.12	.907	0.82	-9.21	9.03
Mittlerer BD	-0.12	3.69	0.20	.847	0.71	-7.50	7.26
Diastolischer BD	1.16	3.97	1.63	.114	0.66	-6.78	9.10
Herzfrequenz	-0.48	2.26	1.19	.243	0.41	-5.00	4.04
SpaceLabs Mittelwerte der drei Untersuchungsphasen							
Systolischer BD	0.47	5.10	0.879	.382	0.53	-9.73	10.67
Mittlerer BD	0.38	4.43	0.824	.412	0.46	-8.48	9.24
Diastolischer BD	0.79	4.24	1.793	.076	0.44	-7.69	9.27
Herzfrequenz	0.08	1.64	0.445	.657	0.17	-3.36	3.20

Genauigkeit der SpaceLabs Messungen

Bei den Messungen am Ende der Untersuchungsphasen bestanden zwischen den beiden Geräten nur minimale, nicht signifikante ($p > .05$) Mittelwertunterschiede (Tabelle 3.8). Die Korrelationskoeffizienten liegen in der Größenordnung von .81 bis .87 bzw. .99 für die Herzfrequenz (siehe Tabelle 3.6).

Die Grenzen der Übereinstimmung zwischen den Geräten A und B in der Ruhephase lassen die – im Vergleich zu den Portapres-Mittelwerten – bessere Übereinstimmung erkennen. Es gibt jedoch einige Ausreißer (Abbildung 3.8). Die Genauigkeits-Diagramme (Agreementplots) beziehen sich hier auf die 31 x 3 Meßwerte der drei Untersuchungsphasen. Die Blutdruckmessungen erreichen zwar nicht die Genauigkeit der Herzfrequenz, doch kann die Übereinstimmung der beiden oszillometrischen Messungen am Oberarm als befriedigend angesehen werden.

Übereinstimmung zwischen den Messungen des Finger-Blutdrucks und des Brachialis-Blutdrucks

Die Übereinstimmung beider Methoden konnte hier anhand der Messungen mit den SpaceLabs-Geräten am Ende der drei Phasen Ruhe, Ergometerarbeit und Erholung bestimmt werden. Als zeitlich benachbarte Meßwerte des Finger-Blutdrucks wurden aus diesen Phasen die Mittelwerte der letzten Minute der Portapres Registrierungen mit Gerät A und B herangezogen. In der Tabelle 3.9 sind die Verteilungen (M, SD), Korrelationskoeffizienten und Mittelwertunterschiede zusammengestellt.

Tabelle 3.9: Übereinstimmung zwischen Finger-Blutdruck (Portapres 2) und Oberarm-Blutdruck (SpaceLabs). Messungen unter Ruhebedingungen N = 31 mit t-Tests und Effektstärken.

Linker Arm	Finger-Blutdruck Letzte Minute		Oberarm-Blutdruck Einzelwerte		Korr Finger/ Oberarm r	Differenz Blutdruck Oberarm minus Finger				
	M	SD	M	SD		M	SD	t	p	d
Systolischer Druck	115.9	13.6	120.5	8.2	0.62	4.6	10.7	2.41	.022	0.43
Mittlerer Druck	73.6	9.7	85.2	6.5	0.60	11.6	7.8	8.31	.000	1.49
Diastolischer Druck	57.6	8.7	68.8	7.1	0.47	11.2	8.2	7.56	.000	1.37
Herzfrequenz	64.6	10.7	63.1	11.8	0.92	-1.5	4.5	1.86	.073	0.33
Rechter Arm										
Systolischer Druck	120.5	14.1	120.6	9.0	0.54	0.1	12.0	0.05	.964	0.00
Mittlerer Druck	72.0	10.1	85.3	6.4	0.59	13.3	8.2	9.00	.000	1.62
Diastolischer Druck	55.2	9.1	67.6	6.5	0.55	12.5	7.8	8.94	.000	1.61
Herzfrequenz	64.2	10.5	63.6	12.7	0.90	-0.6	5.7	0.56	.577	0.10

Die Übereinstimmung bzw. Abweichung zwischen den Messungen des Finger-Blutdrucks und den Messungen des Oberarm-Blutdrucks sind aus den Statistiken der Tabelle 3.9 (siehe auch Abbildung 3.6) zu entnehmen. Die Korrelationskoeffizienten liegen nur in mittlerer Größenordnung und es existieren — etwas unterschiedlich auf beiden Seiten — signifikante oder sehr signifikante Mittelwertunterschiede in den Blutdruckwerten mit Ausnahme des systolischen Blutdrucks am rechten Arm. Die zur Kontrolle dienenden Herzfrequenzen zeigen keinen signifikanten Unterschied. Die Abweichungen betragen links ca. 5 mm Hg systolisch und ca. 11 mm Hg diastolisch. Diese Unterschiede sind als mittlere bis große Effektstärken anzusehen.

Abbildung 3. 2: Korrelation der Meßwerte von Portapres A and B (N = 31, Ruhe, 10 s Segmente)

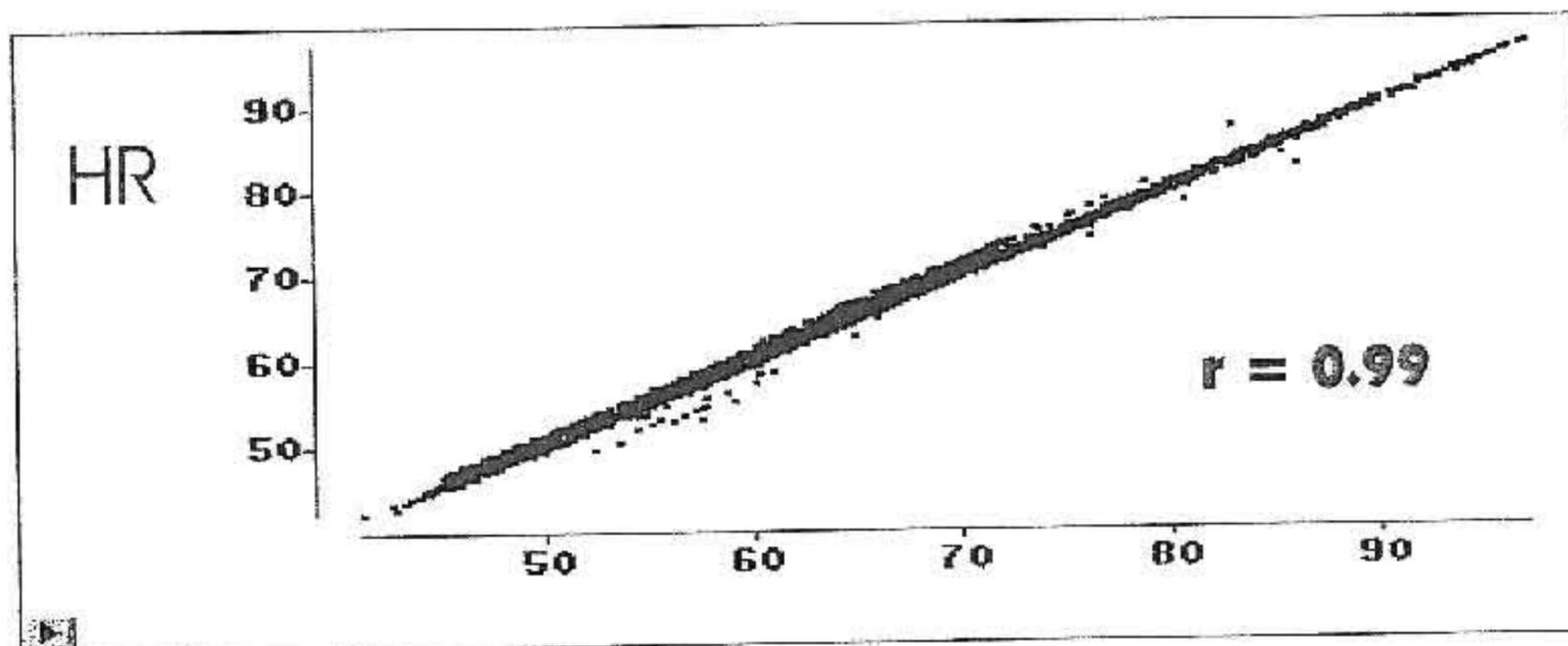
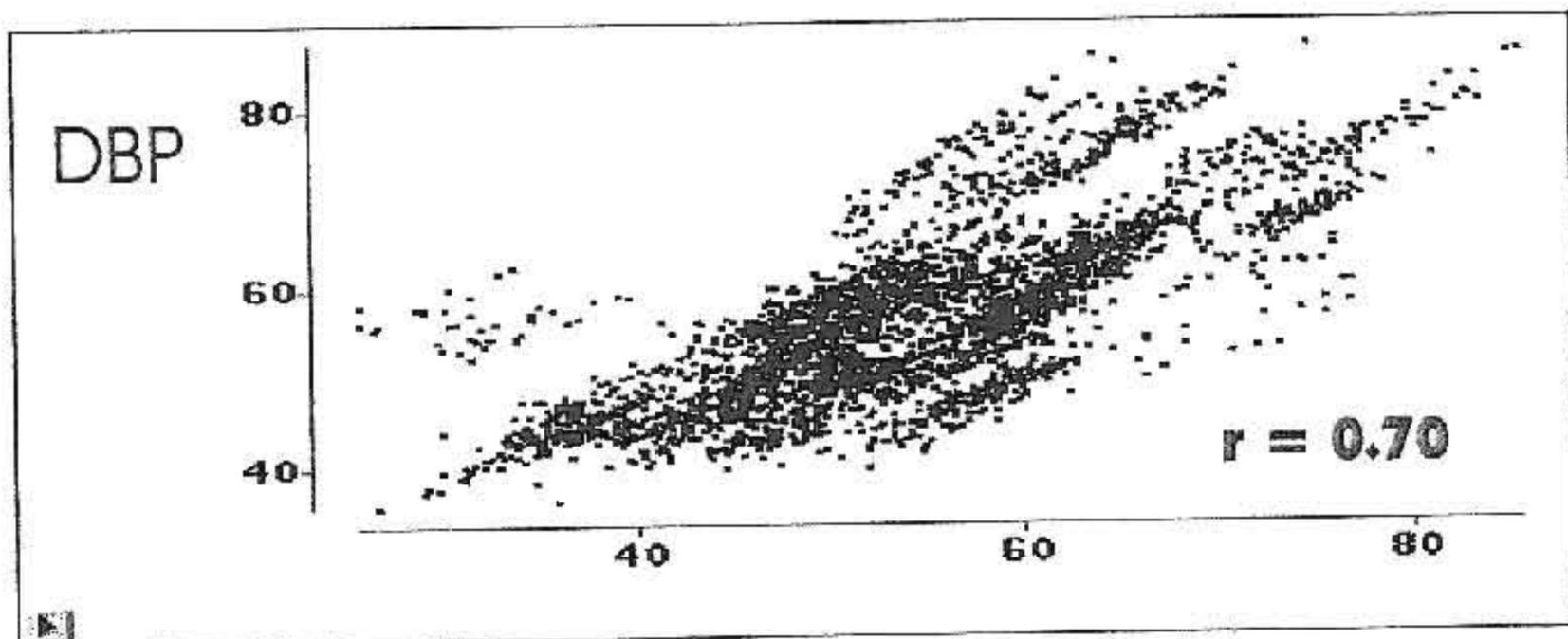
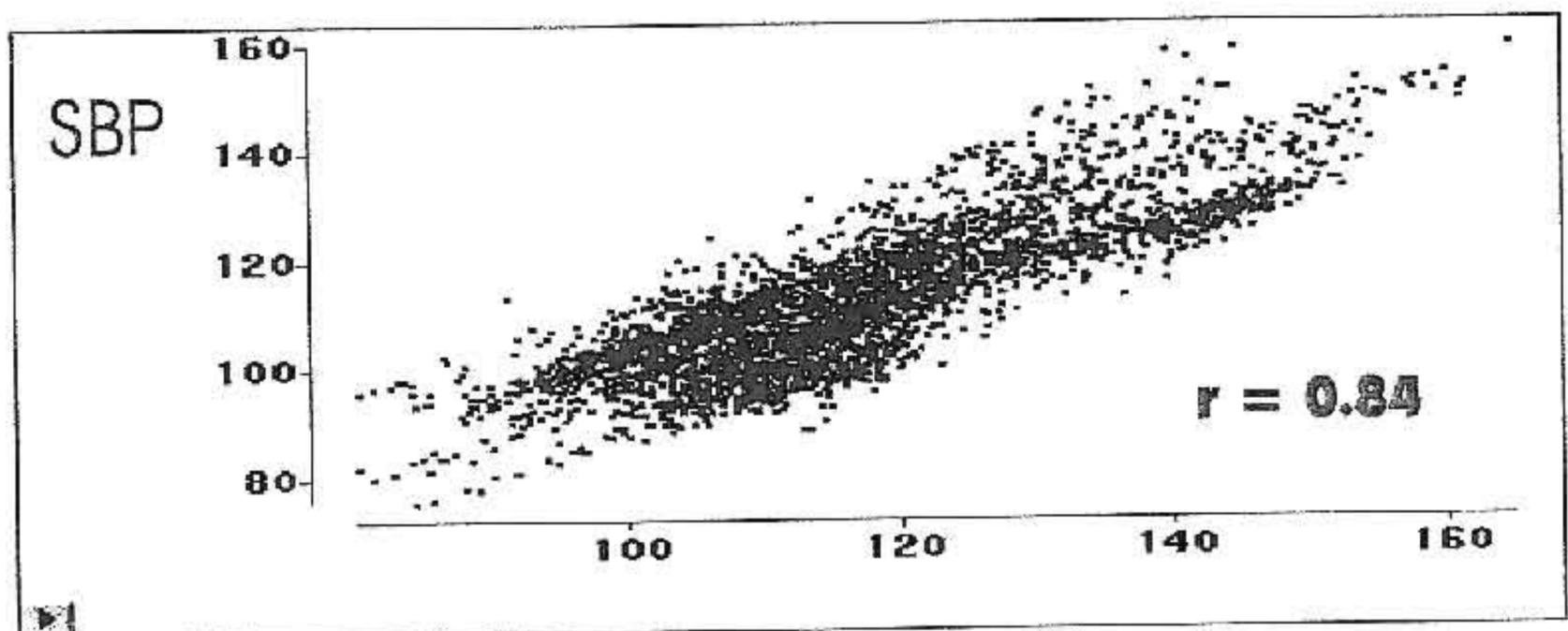


Abbildung 3.3: Portapres A und B Differenz vs. Mittelwert der Differenzen und Übereinstimmungsbereiche (10 s Segmente)

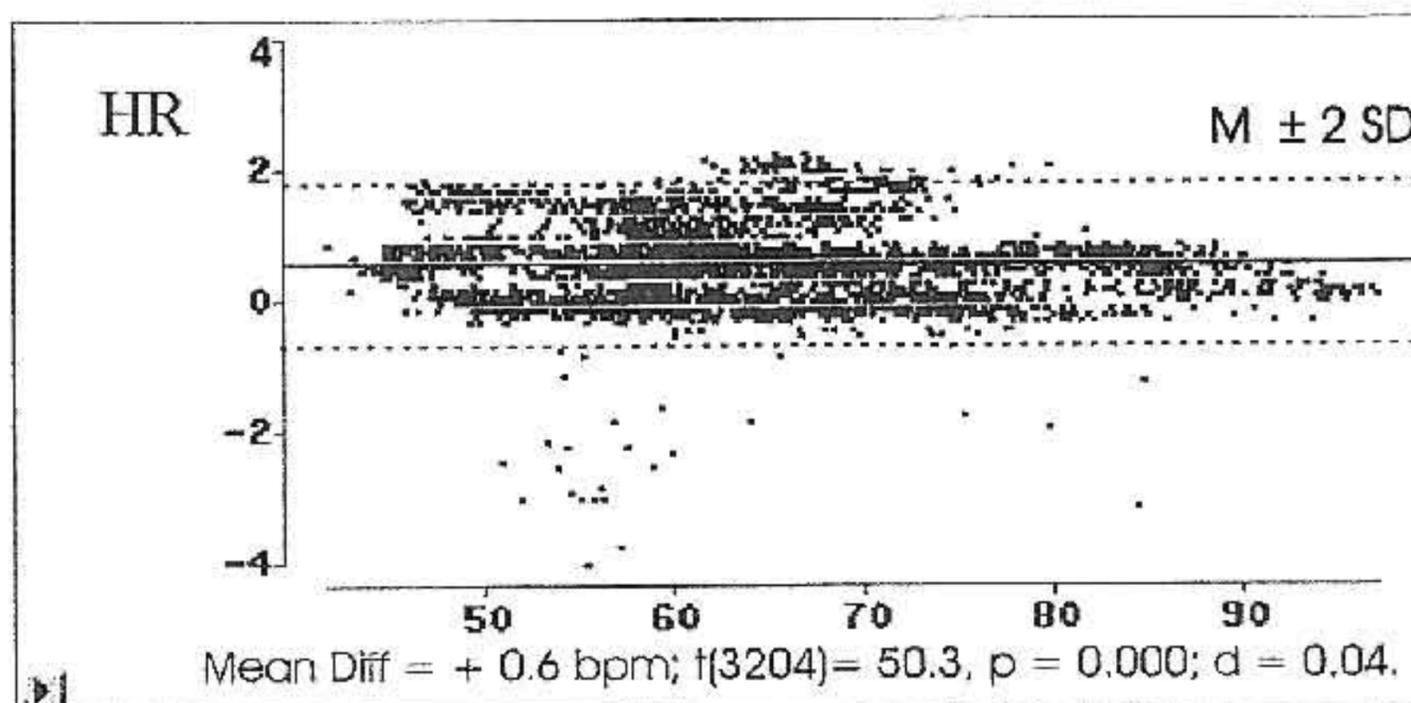
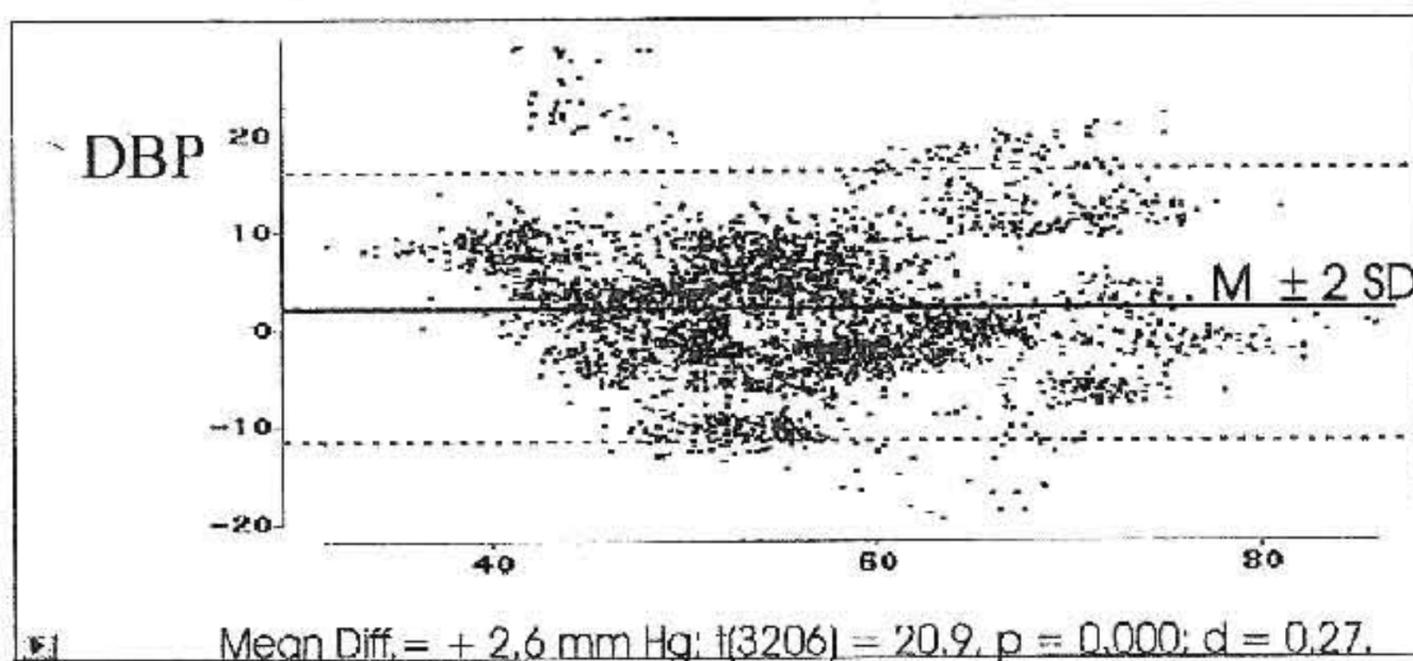
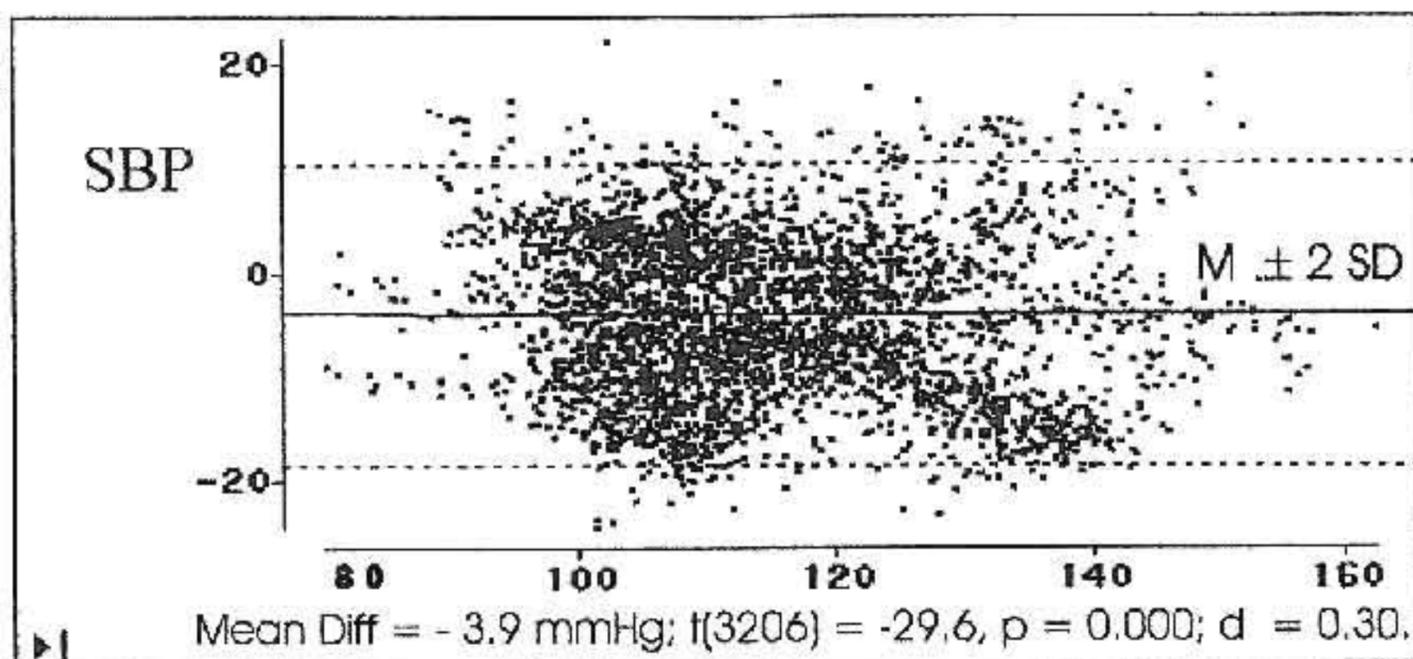


Abbildung 3.4: Portapres A and B in Ruhe (N = 31), Übereinstimmung von Messungen des systolischen Blutdrucks und der Herzfrequenz in Segmenten von 10 s und 30 s

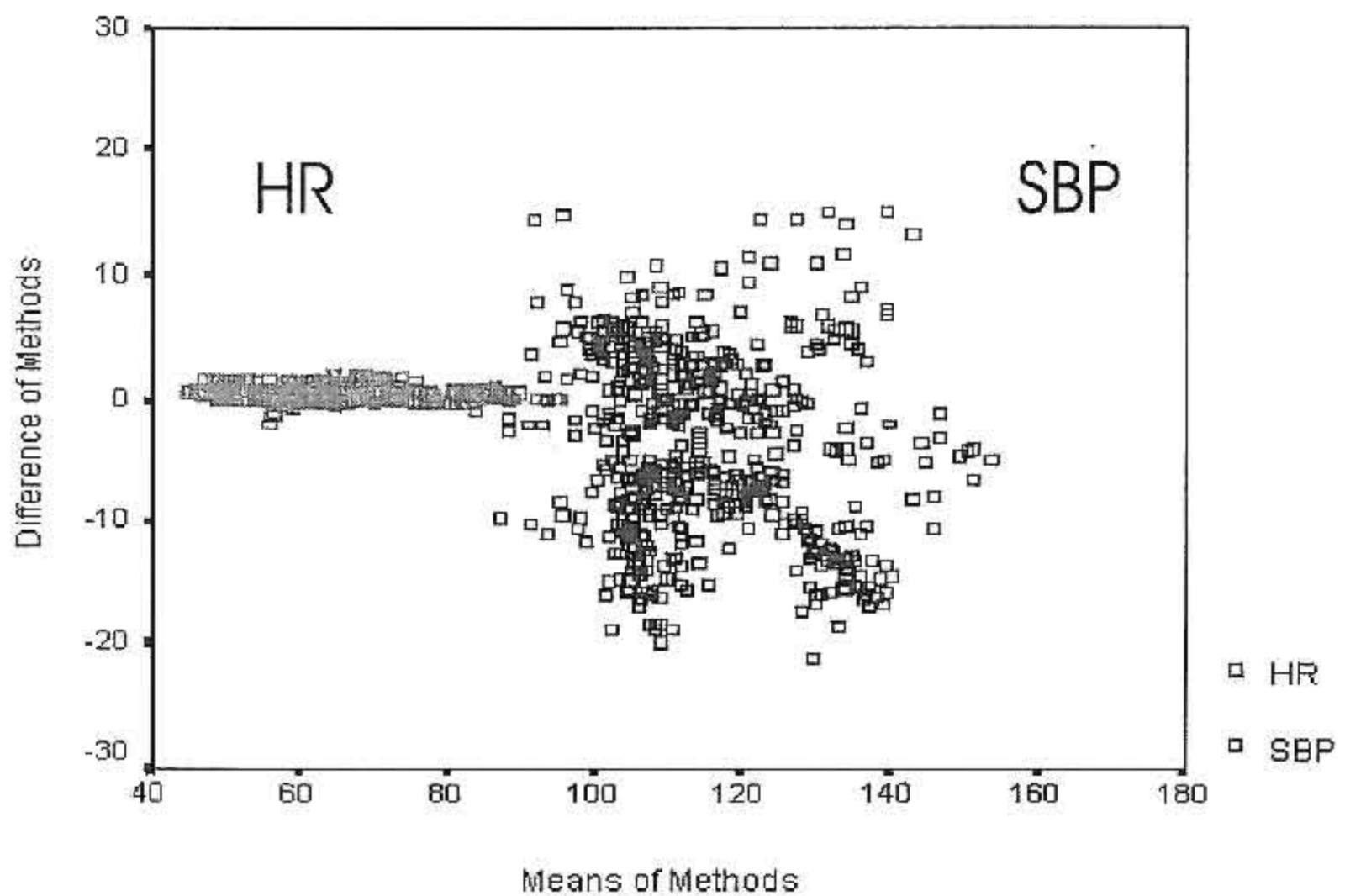
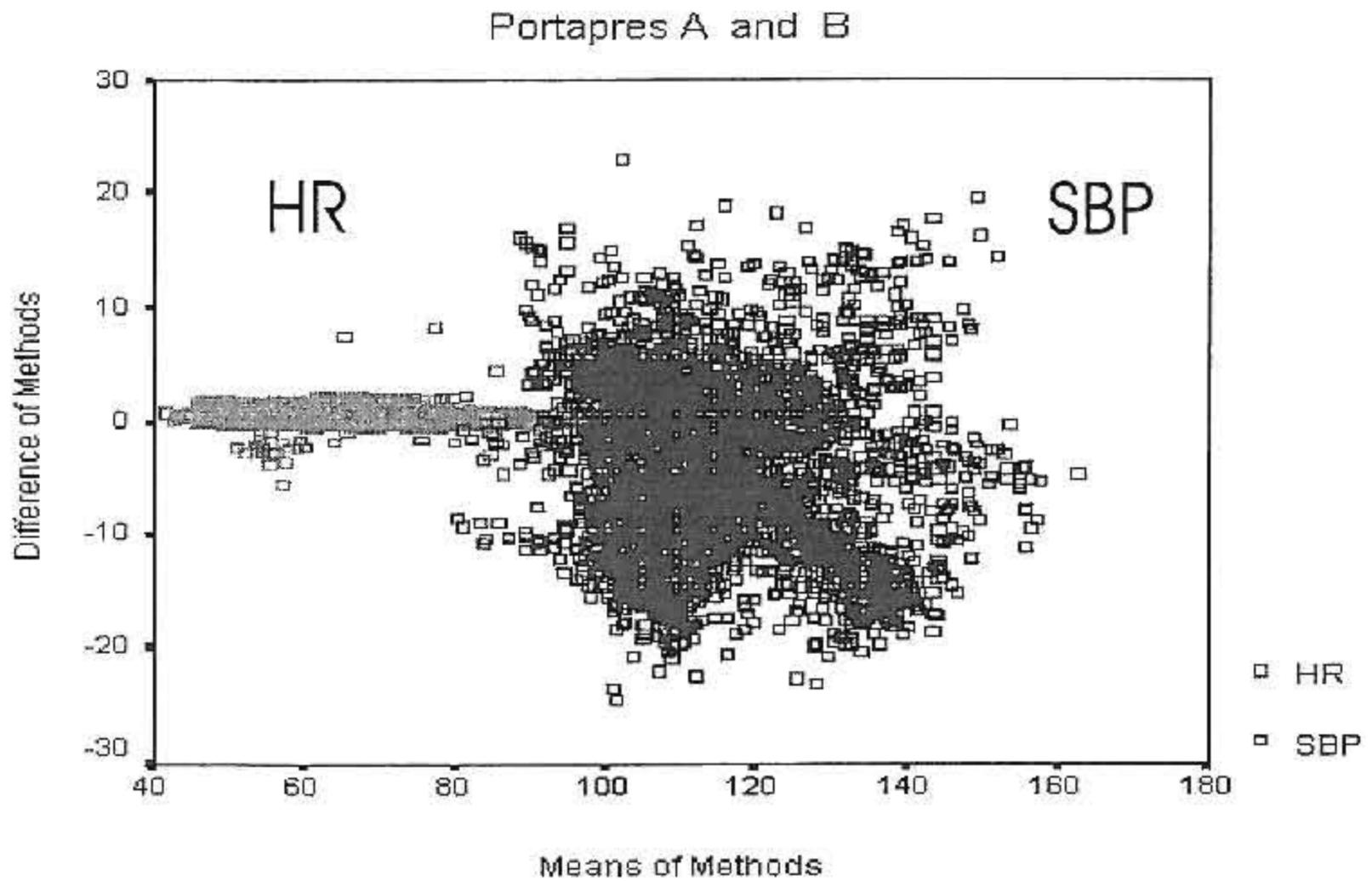


Abbildung 3.5: Messungen mit Portapres A und B in den Untersuchungsphasen Ruhe, Ergometer, Erholung (N = 31)

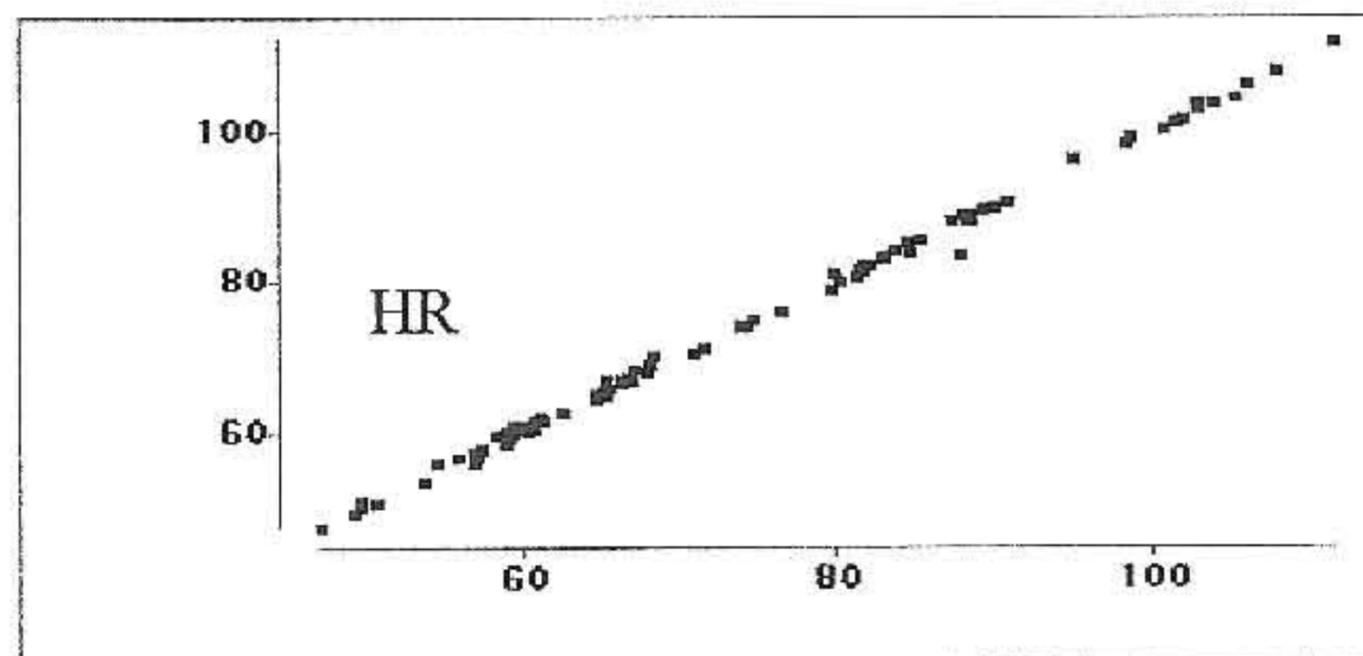
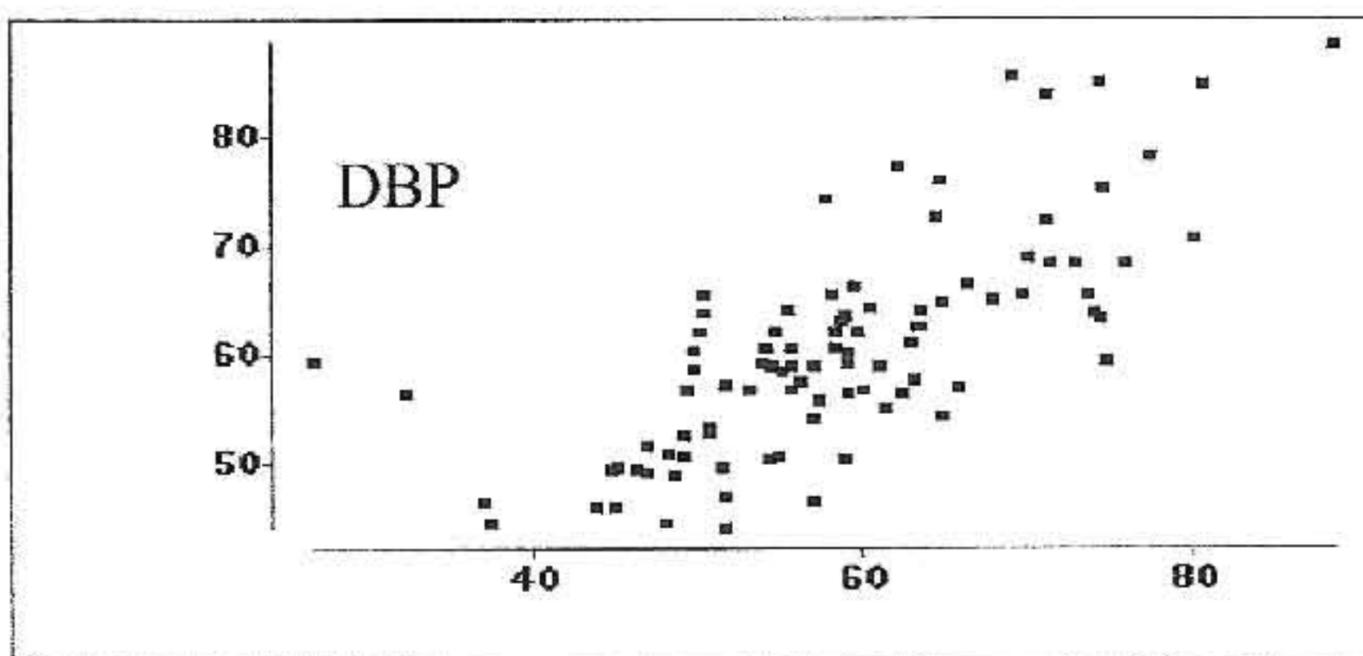
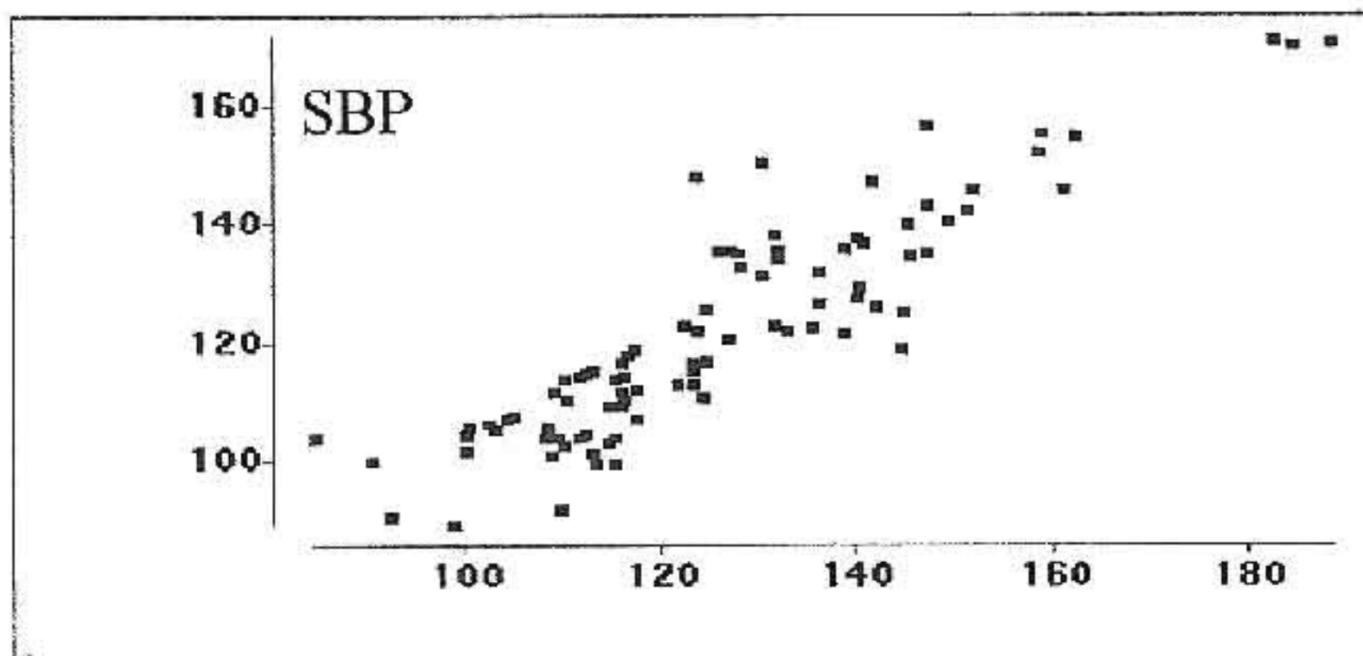


Abbildung 3.6: Portapres A (letzte Minute Ruhe) und SpaceLabs A

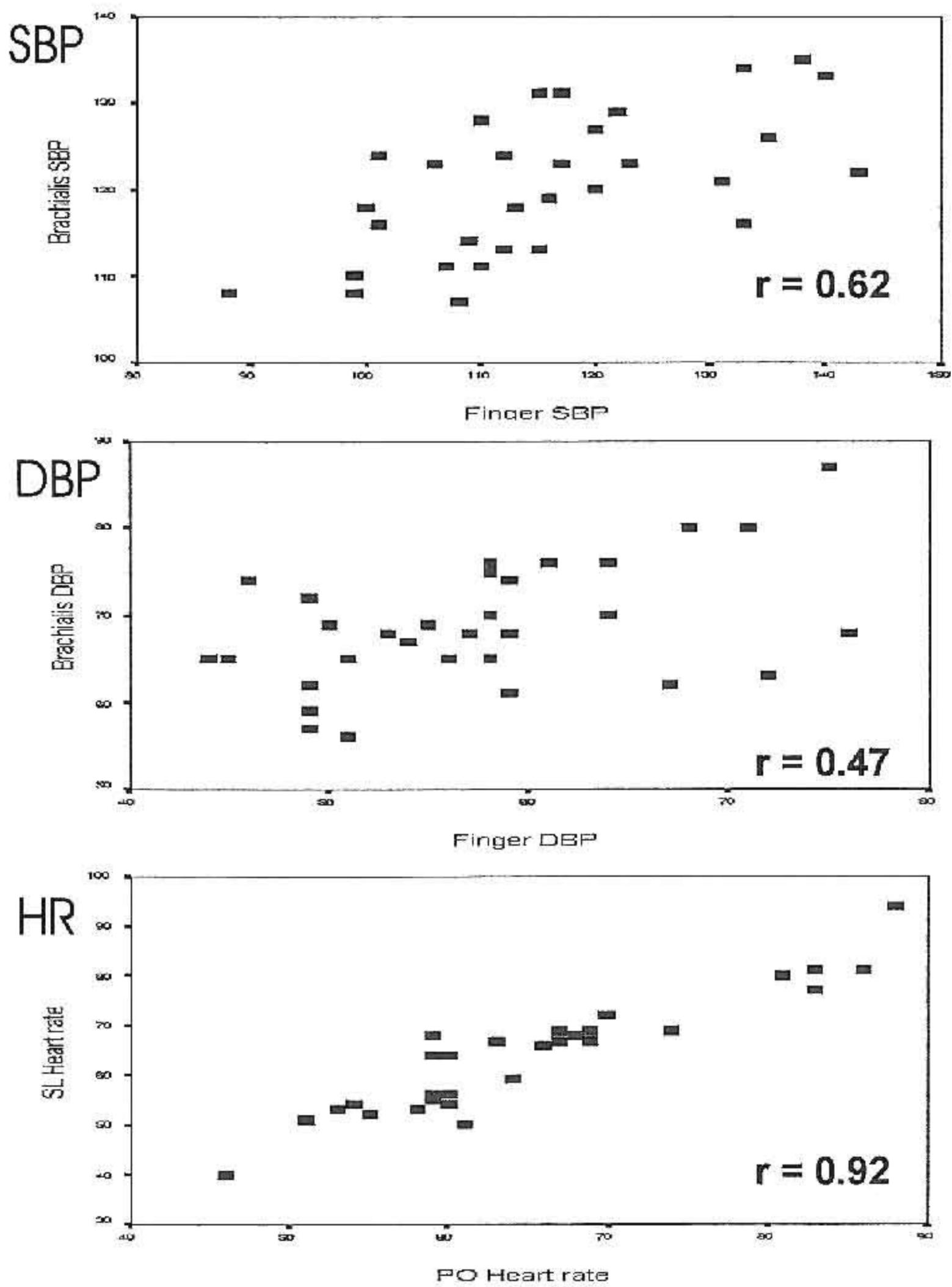


Abbildung 3.7: Portapres A und B Differenz vs. Mittelwert der Differenzen und die Übereinstimmungsgrenzen ($n = 3 \times 31$ Mittelwerte)

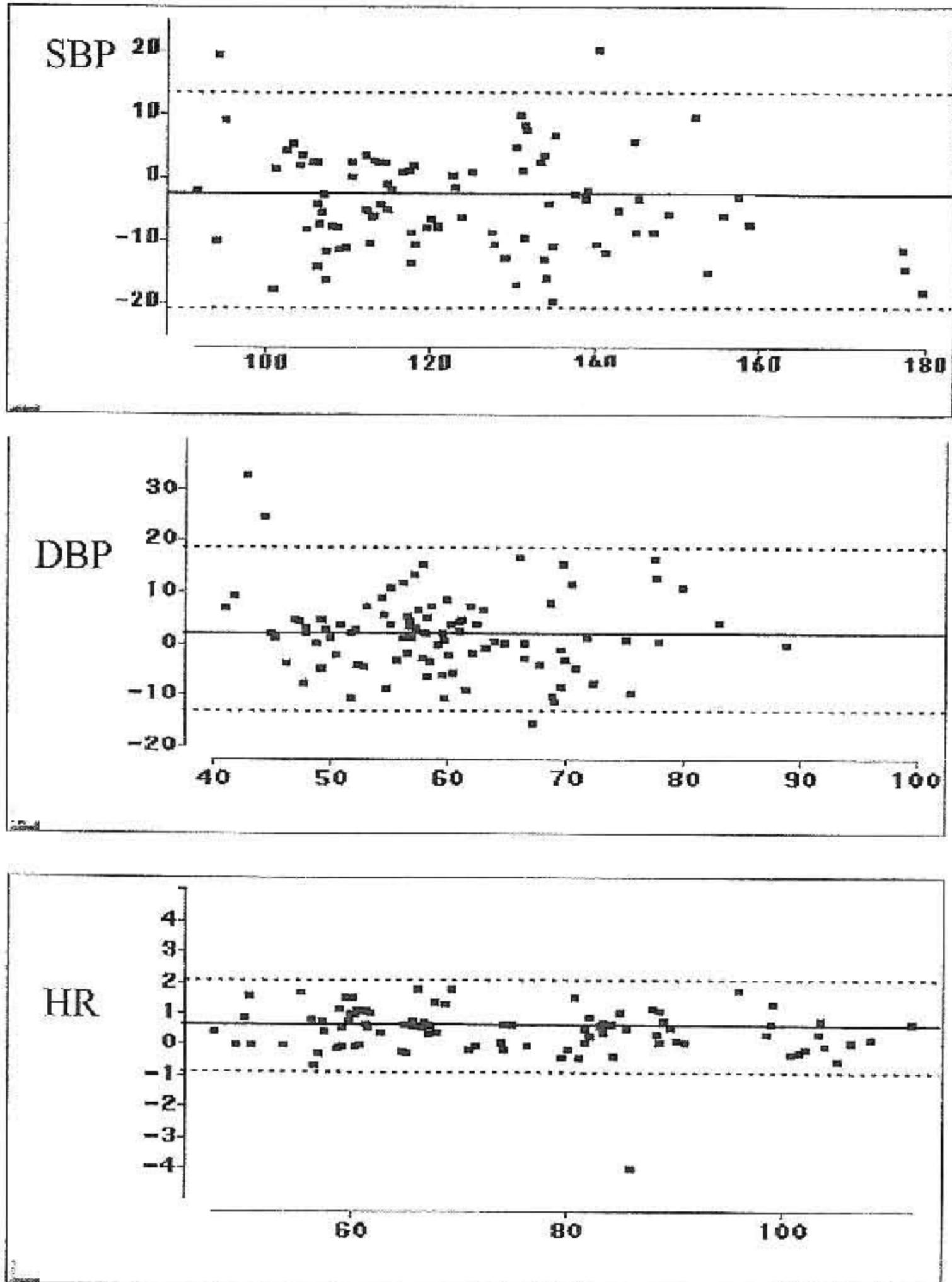
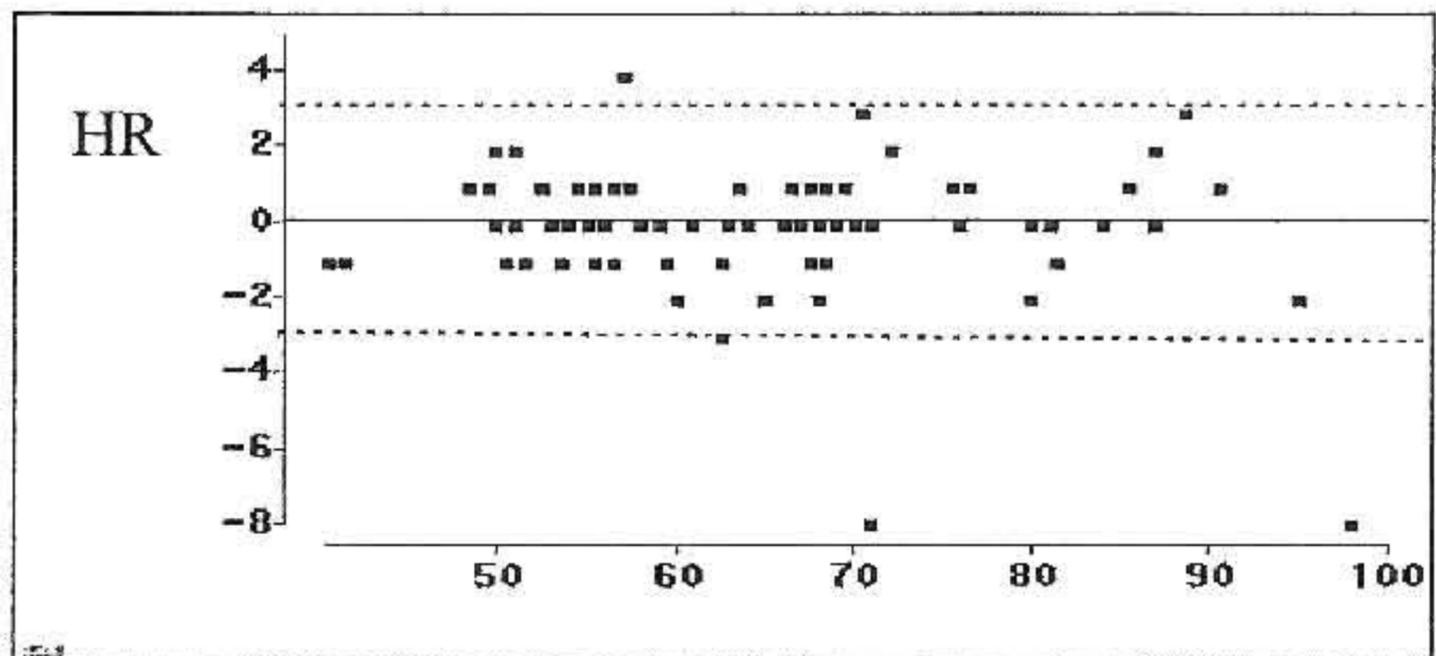
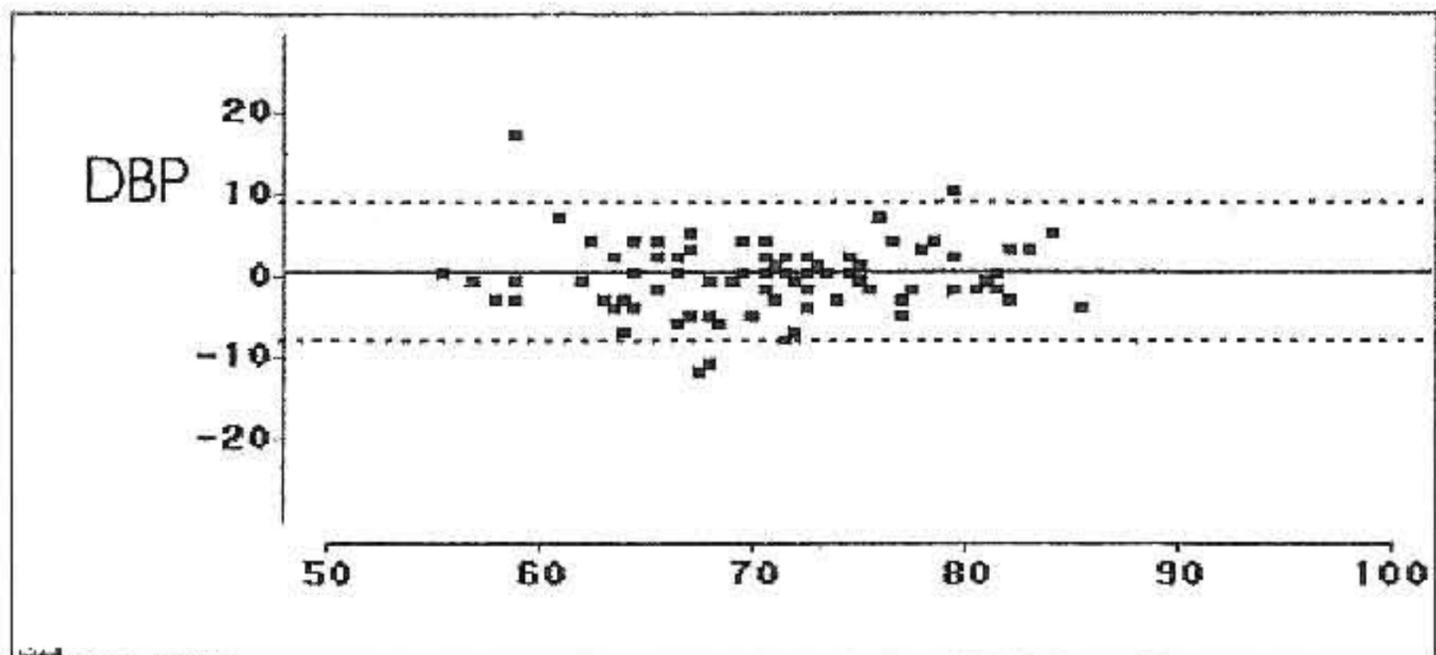
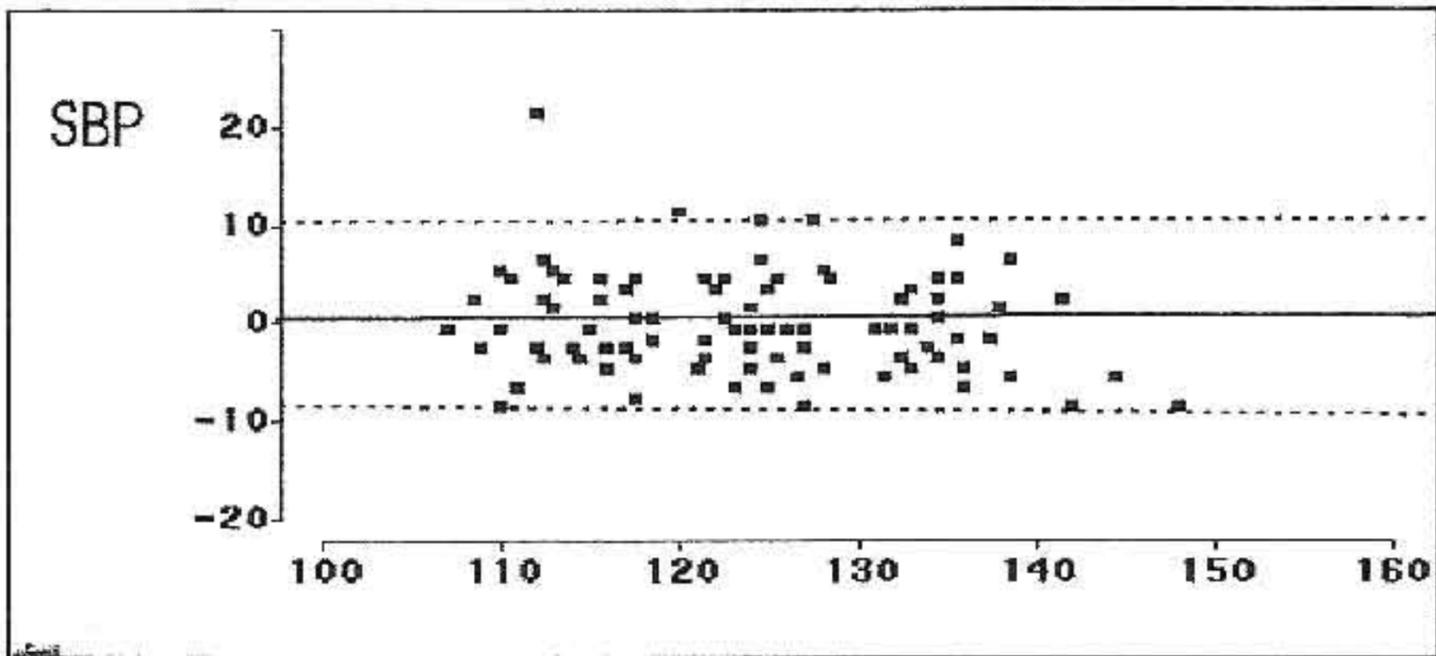


Abbildung 3.8: SpaceLabs A und B Differenz vs. Mittelwert der Differenzen und die Übereinstimmungsgrenzen ($n = 3 \times 31$ Meßwerte aus den drei Phasen)



Fingertemperatur

In der Tabelle 3.10 sind die Mittelwerte der Fingertemperatur über 27 bzw. 29 Personen dargestellt. Hier ist zwischen den ausgewählten Einzelwerten zur Trendbeschreibung und den Mittelwerten der Phasen zu unterscheiden sowie zwischen der Gruppe mit Handschuh und ohne Handschuh über der linken Hand.

Die Fingertemperaturen lassen zu Beginn eine große interindividuelle Varianz zwischen ca. 23 und 35 Grad erkennen, z. B. am Mittelfinger links zwischen 23.0 und 35.2 Grad ($M = 32.3$, $SD = 2.9$). Diese Unterschiede bleiben bis zum Untersuchungsende in etwa bestehen: zwischen 27.9 und 36.2 Grad ($M = 33.2$, $SD = 1.9$). Bemerkenswert ist, daß zwischen den Bedingungen mit/ohne Handschuh bereits zu Untersuchungsbeginn ein Unterschied zu bestehen scheint. Dies ist auf den sehr niedrigen Werte der $V_p 1$ zurückzuführen ($t = -1.03$, $df = 26$, $p = 0.312$).

Aus den Mittelwerten und Anfang-Ende-Differenzen in Tabelle 3.10 ist zu erkennen, daß zwischen Anfang und Ende (Einzelwerte, ohne Handschuh) tendenziell eine geringe Zunahme und bei den Phasenwerten von der Ruhebedingung bis zum Ende eine geringe Abnahme erfolgt. Zwischen den beiden Mittelfingern (mit Manschette) und den beiden Ringfingern (ohne Manschette) besteht kein systematischer Unterschied. Die Einflüsse der verschiedenen Untersuchungsbedingungen und des Handschuhs sind gering, und der Trend der Fingertemperatur über die Untersuchungszeit insgesamt ist nicht gravierend: Mittelfinger rechts Anfang bis zum Ende $+0.6$ Grad ($t = 1.879$, $df = 27$, $p = .071$); Ringfinger rechts vom -0.4 Grad ($t = 1.109$, $df = 25$, $p = .278$).

Eine temperatursteigernde bzw. temperaturstabilisierende Wirkung des Handschuhs ist an den Einzelwerten durch Vergleich der linken und rechten Seite festzustellen. Dieser Effekt ist in schwächerer Ausprägung auch bei den Phasenmittelwerten zu sehen.

Zwischen den Temperaturen (Einzelwerte und Mittelwerte, Ruhephase) der vier Finger bestehen mittlere bis hohe Korrelationen (Tabelle 3.11 und 3.12). Die einfachen Korrelationen zwischen den Temperaturen und der Variable Handschuh (1 = nein, 2 = ja) und mit der laufenden Nr. der Untersuchung deuten an, daß der Handschuh tendenziell eine höhere Fingertemperatur bedingt und daß die früheren Untersuchungsteilnehmer in den Sommermonaten eine höhere Fingertemperatur aufwiesen als spätere Untersuchungsteilnehmer in den Herbstmonaten. Die Mittelwerte der im Labor zu Untersuchungsbeginn gemessenen Raumtemperaturen wichen jedoch nur wenig voneinander ab: 23.8 Grad ($n = 21$) und 22.8 Grad ($n = 10$).

Tabelle 3.11: Korrelationen der Finger-Temperaturen (getrennt für Einzelwerte und Mittelwerte) während der Ruhephase.

	1	2	3	4	Handschuh (2 = ja)	Vp Nr
1 Mittelfinger links*	.94	.42	.37	.77	.43	-.55
2 Ringfinger links	.78	.88	.92	.74	.23	-.64
3 Mittelfinger rechts*	.41	.64	.96	.62	-0.6	-.36
4 Ringfinger rechts	.63	.71	.46	.96	-.22	-.68

Anmerkungen: Korrelationskoeffizienten der am Anfang der Ruhephase gemessenen Einzelwerte (oberhalb der Diagonale) und der Mittelwerte dieser Phase (unterhalb der Diagonale). In der Diagonale stehen die Korrelationen zwischen Einzel- und Mittelwerten.

*Messung unter der Finger-Manschette N = 28 (minimal 26)

Tabelle 3.12: Korrelation der Fingertemperaturen (Mittelwerte) über 3 (bzw. 6) Phasen

	1	2	3	4
1 Mittelfinger links*	--	.86	.67	.40
2 Ringfinger links	.77	--	.84	.52
3 Mittelfinger rechts*	.47	.73	--	.61
4 Ringfinger rechts	.41	.52	.53	--

Anmerkungen: Korrelationskoeffizienten der Einzelwerte der Fingertemperatur über 3 Meßpunkte (oberhalb der Diagonale) und der Mittelwerte über 6 Phasen (unterhalb der Diagonale)

*Messung unter der Finger-Manschette N = 28 (minimal 26)

Die individuellen Fingertemperaturen sind zwischen Anfang und Ende der Untersuchung relativ gut reproduzierbar.

Tabelle 3.13: Korrelationen zwischen der Temperaturmessung zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten

	Beginn (1) Ruhe Anfang (2)	Ruhe Anfang (2) Ruhe Ende (3)	Ruhe Anfang (2) Erholung E (5)	Beginn (1) Ende (8)
Mittelfinger links*	.71	.58	.62	.82
Ringfinger links	.85	.94	.96	.83
Mittelfinger rechts*	.82	.95	.95	.78
Ringfinger rechts	.80	.88	.89	.70

Anmerkung: Die Fingermanschetten waren am Mittelfinger (*) befestigt: links bei der Hälfte der Personen unter einem Handschuh

Effekte der Körperlage

Die Körperlage wurde variiert, indem von der Rückenlage in die linke und die rechte Seitenlage gewechselt wurde. Außerdem befand sich die kontralaterale Hand auf dem Oberschenkel bzw. in der letzten Phase ruhten beide Hände auf der Liege, um eine bequemere Schlafposition nachzuahmen.

Die vom Höhenkorrektursystem des Portapres-Geräts angezeigten Höhendifferenzen der Sensoren sind in Tabelle 3.14 wiedergegeben. Die für die verschiedenen Körperpositionen gemessenen Höhendifferenzen spiegeln nur näherungsweise die tatsächlichen, hydrostatisch relevanten Differenzen zwischen den Meßorten (Mittelfinger, Oberarm) und der tatsächlichen Ebene des Herzens wider. Aus morphologischen Gründen könnten hier Differenzen von mehreren cm bestehen. Die gemessenen Höhenwerte bzw. Differenzen sind über gleichartige Untersuchungsphasen konstant (siehe Tabelle 3.14). Für die Höhendifferenzen der Oberarm-Manschetten zur Herz-Ebene sind keine Informationen verfügbar.

In der Abbildung 3.9 sind die Effekte beim Wechsel der Körperlage dargestellt. Es sind Blutdruckunterschiede in der Größenordnung von 10 bis 20 mm Hg zu erkennen. In Rückenlage sind die vier Meßwerte relativ ähnlich, wobei die SpaceLabs-Werte etwas höher liegen (siehe oben). Bei Rotation auf die linke Körperseite sinken die am rechten Mittelfinger und Oberarm gemessenen Werte deutlich ab, und diese Veränderung zeigt sich spiegelbildlich bei Rotation auf die rechte Körperseite. In der letzten Phase, in der auch die linke Hand wieder auf der Liege ruht, erhöht sich der an der linken Hand gemessene Finger-Blutdruck.

Tabelle 3.14: Höhendifferenzen des Portapres-Korrektursystems in den verschiedenen Körperlagen

Phase	Körperlage	Gerät A (links)		Gerät B (rechts)	
		M	SD	M	SD
3	Rückenlage	-4.3	2.5	-5.0	2.0
4	Rückenlage	-4.9	2.7	-5.1	2.4
5	Rückenlage	-5.1	2.7	-5.2	2.3
6	Linke Seite (re Hand auf Oberschenkel)	-3.6	2.9	-0.6	2.9
7	Rechte Seite (li Hand auf Oberschenkel)	-1.8	3.0	-2.8	2.3
8	Rechte Seite (beide Hände auf der Liege)	-19.4	6.1	-2.8	2.8

Anmerkung: Es handelt sich um Mittelwerte des Height-Signals in den Untersuchungsphasen. Das negative Vorzeichen bedeutet, daß sich der Sensor am Finger unterhalb der Ebene des am Thorax befestigten Sensors befand (Indifferenz = 0.0 cm). Die Mittelwerte sind zwischen vergleichbaren Phasen 3/4 und 5 weitgehend konstant und reproduzierbar ($r > .92 < .98$).

Die Auswirkung der Körperlage auf den oszillometrisch bestimmten Blutdruck am Oberarm war erwartet, nicht dagegen der Effekt beim Portapres Gerät, da das Höhenkorrektursystem angeschaltet, kalibriert und funktionell überprüft war.

Body rotation and BP

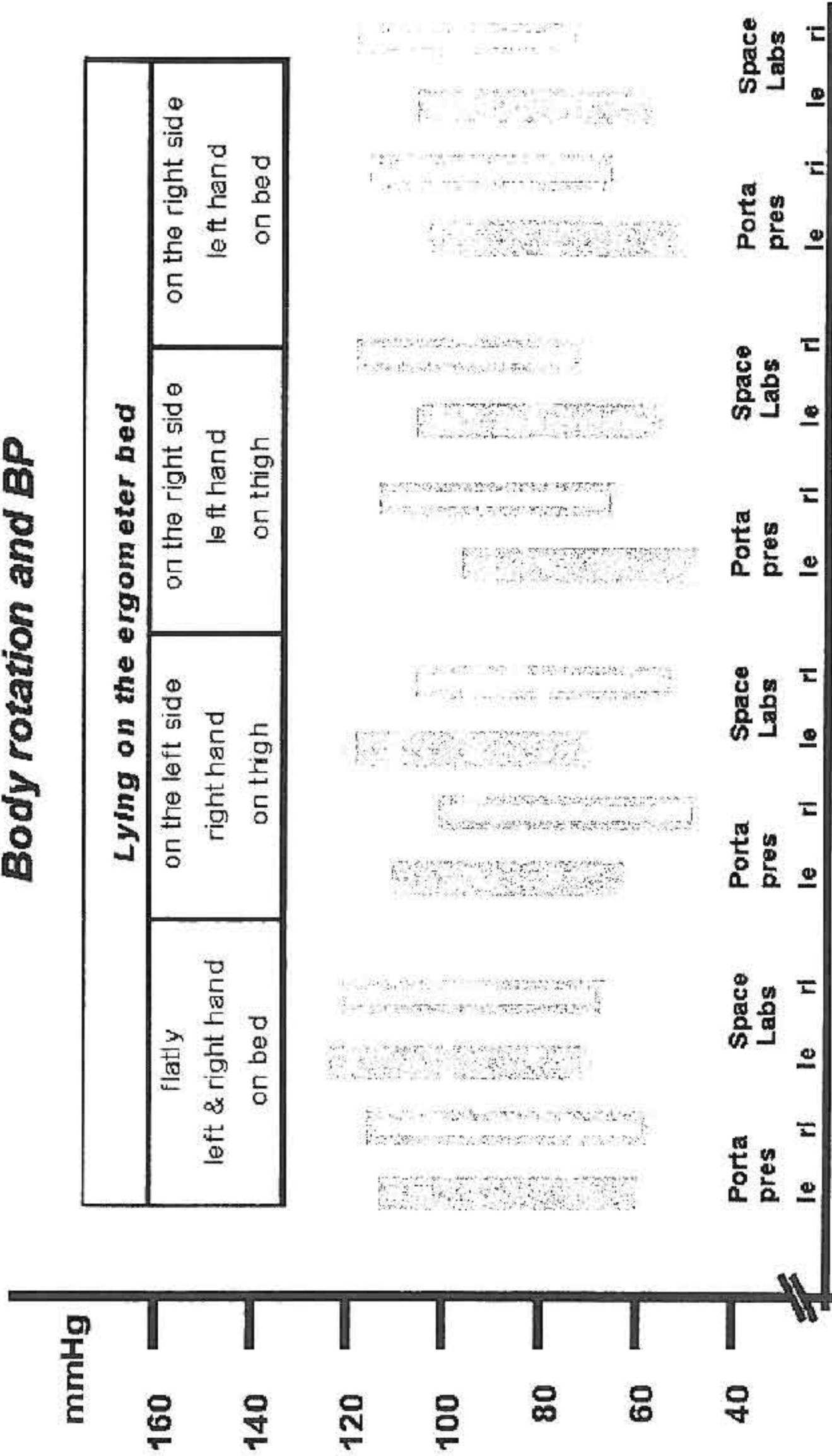


Tabelle 3.15 : Einfluß der Rückenlage und Seitenlage auf Finger- und Oberarm-Blutdruck

Blutdruck in flacher Rückenlage/ Blutdruck in rechter Seitenlage, beide Hände auf der Liege												
Blutdruck	Portapres Mittelwerte						SpaceLabs Einzelwerte					
	links			rechts			links			rechts		
	Diff	t	p	Diff	t	p	Diff	t	p	Diff	t	p
Systolischer	12.3	6.07	.000	0.6	0.40	.690	18.3	15.1 8	.000	1.4	1.05	.301
Mittlerer	10.6	8.76	.000	-5.5	4.97	.000	12.9	14.6 6	.000	-4.0	4.59	.000
Diastolischer	-4.6	2.57	.015	-6.5	5.36	.000	13.2	13.4 2	.000	-4.2	5.19	.000

Der Wechsel aus der flachen Rückenlage in die rechte Seitenlage als Schlafhaltung würde sehr signifikante Veränderungen des am linken Oberarm gemessenen Blutdrucks verursachen: systolisch -18.3 mm Hg (SD = 6.5), diastolisch -13.2 mm Hg (SD = 5.3) und im mittleren Blutdruck -12.9 mm Hg (SD = 4.8).

3. 4 Diskussion

In der vorliegenden Methodenstudie wurde die Genauigkeit der Finger-Blutdruck-Messung mit dem PortapresTM Model 2.0 durch simultane Registrierung an der linken und der rechten Hand geprüft. Die Meßergebnisse können unter verschiedenen Perspektiven bewertet werden.

Korrelationsstatistisch ergab sich eine befriedigende Reproduzierbarkeit der individuellen Meßwerte des Finger-Blutdrucks bei jedem der Portapres-Geräte: (1) über ein kurzes Intervall von zwei Minuten und (2) zwischen den Untersuchungsphasen.

Auch die Mittelwertunterschiede zwischen den Geräten Portapres A und B scheinen gering zu sein. Die systolischen Werte sind bei A um ca. 3 mm Hg niedriger und die diastolischen Werte um ca. 3 mm Hg höher als bei B, wenn die Ruhephase betrachtet wird. Während Ergometerarbeit und anschließender Erholung sind die Abweichungen (Bias) noch geringer. Auch bei der Herzfrequenz gibt es Abweichungen zwischen beiden Systemen in der Größenordnung von 0.5 bpm. Diese kleine Differenz könnte durch den PHYSIOCAL-Mechanismus bedingt sein bzw. durch die missing data, die bei beiden Geräten nicht identisch sind.

Die meßmethodischen Probleme zeigen sich in aller Deutlichkeit erst in den Scatter Plots und Agreement Plots bzw. in den Übereinstimmungsbereichen mit ihren sehr weiten Grenzen. Dieser Übereinstimmungsbereich ($M \pm 2 SD$) beschreibt die Unsicherheit der Messungen (Tabelle 3.8 und Abbildungen). Die Abbildungen machen diesen Sachverhalt anschaulich.

Im Unterschied zum Portapres ergab sich zwischen beiden SpaceLabs-Geräten kein systematischer Mittelwertunterschied für Blutdruck und Herzfrequenz; der Übereinstimmungsbereich hat hier engere Grenzen (z. B. beim systolischen Blutdruck nur ca. 70 % des Übereinstimmungsbereichs vom Portapres Gerät). Die Herzfrequenzen sind hier vergleichsweise unsicher, da sie bei der oszillometrischen Methode nur aus wenigen Datenpunkten geschätzt und nicht als Minuten-Mittelwerte tatsächlich gemessen wurden.

Der Vergleich zwischen den Messungen des Finger-Blutdrucks und des oszillometrisch gemessenem Brachialis-Blutdruck war hier nur mit Vorbehalten möglich. Der Vergleich bezieht sich auf die letzte Minute der Ruhephase bevor die SpaceLabs-Messung ausgelöst wurde. Die Meßwerte sind also nicht strikt synchron erfaßt (zu den Problemen einer Synchronisierung siehe Fahrenberg, 1997). Bei diesen Vergleichen ergaben sich Unterschiede mit z. T. großer Effektstärke für die Blutdruckvariablen (Ausnahme: systolische Werte rechts), jedoch nicht für die Herzfrequenz. Weitere Vorbehalte ergeben sich aus der Restriktion der Varianz, denn es wurden nur normotone Personen unter Ruhebedingungen bzw. während leichter körperlicher Belastung gemessen.

Die Untersuchungsergebnisse stimmen in der allgemeinen Aussage mit den zitierten Untersuchungen über Finger-Blutdruck und intra-arterielle Werte überein. Die mittlere Differenz der Methoden scheint numerisch in der Praxis fast vernachlässigbar zu sein. Diese Abweichung bleibt jedoch durch ihre statistische Signifikanz und wegen ihrer Effektstärke ein wichtiger Einwand. Insbesondere begründen die weiten Grenzen des Übereinstimmungsbereichs erhebliche Zweifel an der Meßgenauigkeit. Die Untersuchungsergebnisse sprechen außerdem gegen die Annahme eines konstanten Fehlers (Offset).

Oszillometrische Messungen als Referenz

Die oszillometrischen Messungen des Brachialis-Blutdrucks waren hinsichtlich Mittelwert und Standardabweichungen der Differenzen zwischen beiden Geräten vergleichsweise genauer (siehe Tabelle 3.8 und Agreement Plot). Deswegen können solche Messungen als Referenzmessungen während einer Portapres-Registrierung zweckmäßig sein. Im Anhang befindet sich eine Abbildung, welche einen Portapres Rekord mit den eingetragenen Referenzwerten der SpaceLabs-

Messungen zeigt. Die mehr oder minder großen Abweichungen werden einen Einfluß auf die Interpretation von Befunden haben, da sie zweifellos zu Vorbehalten führen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sprechen erneut dafür, während der Registrierung des Finger-Blutdrucks simultane Referenzmessungen mit oszillometrischer Methodik vorzunehmen (Fahrenberg et al., 1997; Wild, 1998). Es empfiehlt sich ohnehin, beim Anlegen des Portapres Geräts Vergleichsmessungen durchzuführen, um bei deutlichen Abweichungen zwischen oszillometrischer Messung und Finger-Blutdruck eine Adjustierung der Manschetten vorzunehmen. Diese Messungen können dann fortgesetzt und automatisch in Intervallen von 20 Minuten oder, z. B. während eines Interviews, auch in Intervallen von 10 Minuten kontralateral erfolgen. Die Messung am ipsilateralen Oberarm hätte den Vorzug einer genaueren zeitlichen Zuordnung dieser Messung zum Portapres-Protokoll. Der Fingerpuls wird durch die zunehmende Okklusion unterdrückt, doch kehrt das Signal, wenn die Meßphase nicht zu lange dauert, ohne größere Störungen (PHYSIOCAL) wieder. In einem solchen Rekord wäre die u. U. von der Messung ausgelöste Startreaktion zu erkennen.

Fingertemperatur

Diese Methodenstudie mit der vorausgegangenen Pilotstudie war nur bedingt geeignet, mögliche Einflußgrößen auf die Messung des Finger-Blutdrucks zu erfassen. Aus der Pilotstudie an 15 Personen ist zu entnehmen, daß die Effekte der Kompression und Abkühlung der Finger mit der Switching Option zu reduzieren, aber nicht zu beseitigen sind. Da das Switching durch die notwendige neue Anpassung, welche ca. 5 Minuten dauert, andere Nachteile hat, wird sie in der Regel nur für Registrierungen, die länger als 1 1/2 bis 2 Stunden dauern, zweckmäßig sein.

Die weitere Untersuchung der möglichen Einflüsse der Fingertemperatur hat keine klaren Ergebnisse gebracht. Die Kompression durch die Fingermanschette und die Applikation eines wärmenden Handschuhs haben hier nur geringe Einflüsse auf die Fingertemperatur gebracht. Die Interpretation wird durch widersprüchliche Ergebnisse für einen Finger der rechten Hand erschwert. Ein Untersuchungsteilnehmer fiel durch eine sehr niedrige Fingertemperatur auf; Kontrollrechnungen ohne diese Person lieferten jedoch keine wesentlich anderen Resultate. Die Bedeutung von Fingertemperatur, Umgebungstemperatur und Außentemperatur müßten über einen größeren Temperaturbereich untersucht werden (siehe Tanakka & Thulen, 1993).

Körperlage

Der an sich bekannte, hydrostatisch bedingte Einfluß der Körperposition konnte hier während der Registrierung in liegender Position durch Rotation des Körpers aus der Rückenlage in die linke und die rechte Seitenlage mit Variation der Position der Hand gezeigt werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß es beim Portapres Gerät eine automatische Anpassung der Meßwerte durch das Höhenkorrektur-System gibt. Dagegen war dies bei der Messung des Blutdrucks am Oberarm nicht der Fall. Insofern waren die deutlichen Auswirkungen der Lageänderung auf die oszillometrischen Blutdruckwerte erwartet. Für die Effekte auch beim Finger-Blutdruck fehlt eine Erklärung. Eine Fehlfunktion ist nicht wahrscheinlich, da das System routinemäßig überprüft wurde. Es könnte u. U. — als Folge einer bequemen Lagerung der Hand — eine Varianz zwischen Personen und zwischen Bedingungen aufgetreten sein.

An den Ergebnissen ist bemerkenswert, daß sowohl die SpaceLabs-Messungen als auch die Portapres-Messungen Effekte der Körperrotation in einer praktisch nicht zu vernachlässigenden

Größenordnung erkennen ließen. Die Messungen am linken Oberarm sowie an der rechten Hand (bei linker Seitenlage) und an der linken Hand (bei rechter Seitenlage) reagierten am stärksten.

Die Ergebnisse stehen in sehr guter Übereinstimmung mit den Befunden von Schwan und Pavek (1989): Wenn eine Person die Blutdruckmanschette am linken Arm trägt und dann nachts (zeitweilig) auf der rechten Körperseite schläft, wird der Blutdruck in hochsignifikantem Ausmaß systolisch um 18 und diastolisch um 13 mm Hg gegenüber der Rückenlage abnehmen — ohne daß diese Person ein "dipper" wäre.

Generell sollten, wenn eine genauere Evaluation der Blutdruckdynamik — insbesondere unter Alltagsbedingungen (ambulantes Monitoring) — beabsichtigt ist, eine angemessene Kontrolle der Körperposition und der körperlichen Aktivität stattfinden. Zur Information über die körperlichen Aktivität können einfache Körperlage-Sensoren und EMG-Ableitungen (vgl. Jain et al., 1996; Tuomisto, Johnston & Schmidt, 1996) bzw. auch dreiachsige Aktimeter bzw. Accelerometer verwendet werden (siehe u. a. Costa et al., 1999; Heger, 1990; Käßler, 1994; Myrtek et al., 1988; Sherman et al., 1998). Noch genauere Aussagen über Körperposition, Aktivität und Bewegungsmuster sind durch Accelerometrie mit drei bis vier Kanälen möglich (Busmann, 1998; Foerster, Smeja & Fahrenberg, 1999; Foerster & Fahrenberg, 2000). An künftige Blutdruck-Meßsysteme sollten in diesem Sinne höhere technische Anforderungen gestellt werden als bisher.

Ausblick

In der kardiovaskulären Psychophysiologie und in der psychosomatisch orientierten Hypertonieforschung gibt es zahlreiche Fragestellungen, die von einer kontinuierlichen, nicht-invasiven Messung des Finger-Blutdrucks wichtige Fortschritte erwarten könnten. Als Beispiel sei hier die Registrierung des Blutdrucks während des psychologischen Interviews eines Patienten mit essentieller Hypertonie und ähnliche Fragestellungen genannt (siehe u. a. Deter, Klepper & Schulte, 1996; Franck et al., 1996; Hermann et al., 1986; Kollenbaum et al., 1995; Piesbergen et al., 1995; Schmidt & Jain, 1996). Solche Interviews sollen die Blutdruckreaktionen während biographisch wichtiger Themen und alltäglicher Belastungen und assoziierte Emotionen und Konflikte erfassen. Diese Registrierungen können den Patienten später als ihr Blutdruck-Video gezeigt werden, um diese Blutdruckreaktivität anschaulich zu machen. Viele Patienten vermögen es zunächst nicht, sich die enge Kopplung von Alltagsbelastungen und Blutdruckreaktionen konkret vorzustellen. Anhand solcher Rekords können die psychologischen und anderen Gründe auffälliger Blutdrucksteigerungen und u. U. geeignete Maßnahmen besprochen werden.

Diese Forschungsansätze müssen sich jedoch mit der zweifelhaften Meßgenauigkeit des Geräts auseinandersetzen. Die konventionelle oszillometrische Messung des Brachialis-Blutdrucks ist sicher wesentlich genauer, wird aber oft ein unzureichendes Bild der Blutdruckdynamik d. h. der kurzzeitigen Reaktionen und der allgemeinen Variabilität geben. Die neuen Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß es sich bei den Abweichungen zwischen beiden Geräten nicht um einen konstanten Fehler im Sinne eines eventuell bei der Analyse von Veränderungen ("Blutdruck Tracking") zu vernachlässigenden Offset handelt. Die mittlere Differenz scheint zwar gering und fast vernachlässigbar zu sein, doch zeigen die weiten Grenzen des Übereinstimmungsbereichs an, daß die Messungen zweifelhaft und oft nicht ausreichend genau sein werden.

Die mit dem PortapresTM Model 2.0 gemessenen Werte sollten ausdrücklich als "Finger-Blutdruck" bezeichnet werden. Die Anwender müssen entscheiden, ob die bei speziellen Fragestellungen erwünschte hohe zeitliche Auflösung auf Kosten der Genauigkeit zu rechtfertigen ist. Begleitende oszillometrische Messungen könnten Referenzwerte liefern.

Literaturverzeichnis

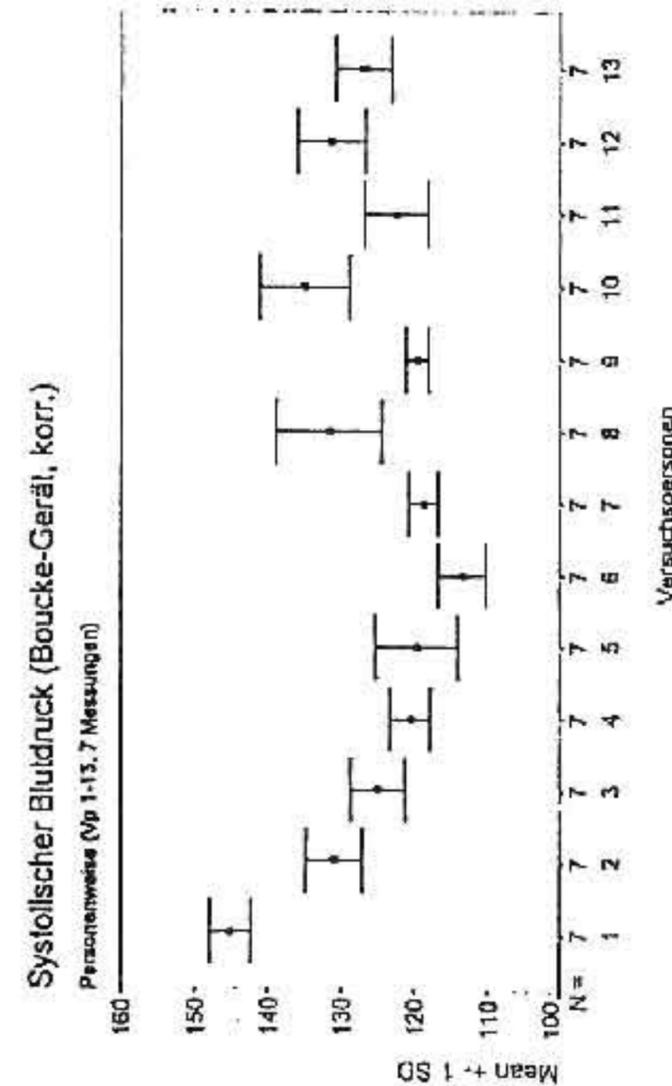
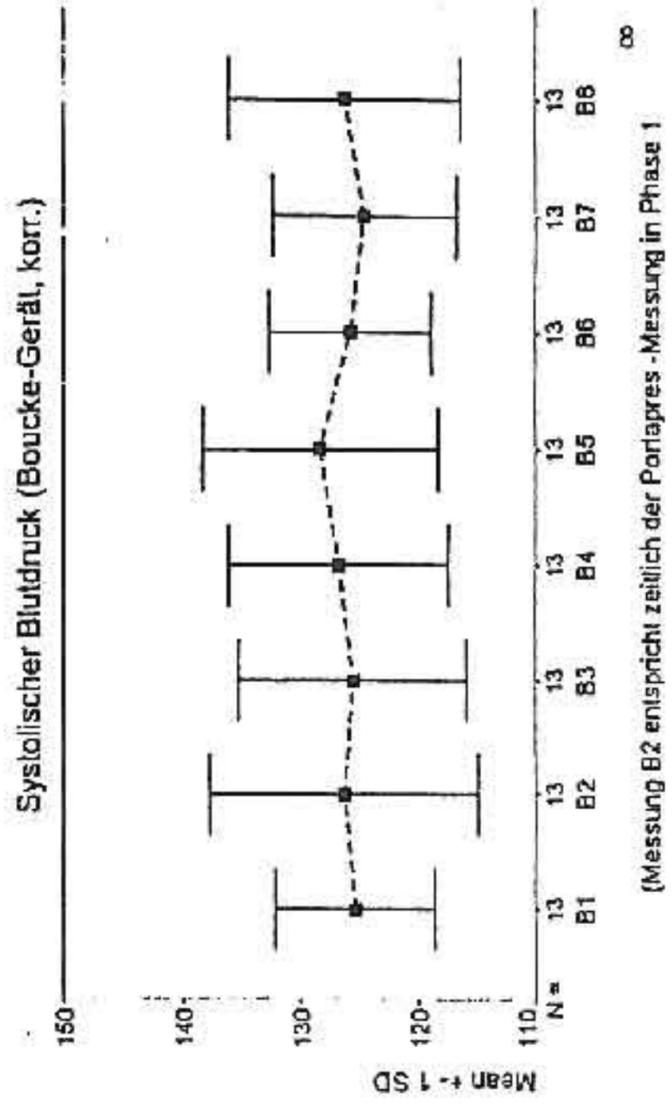
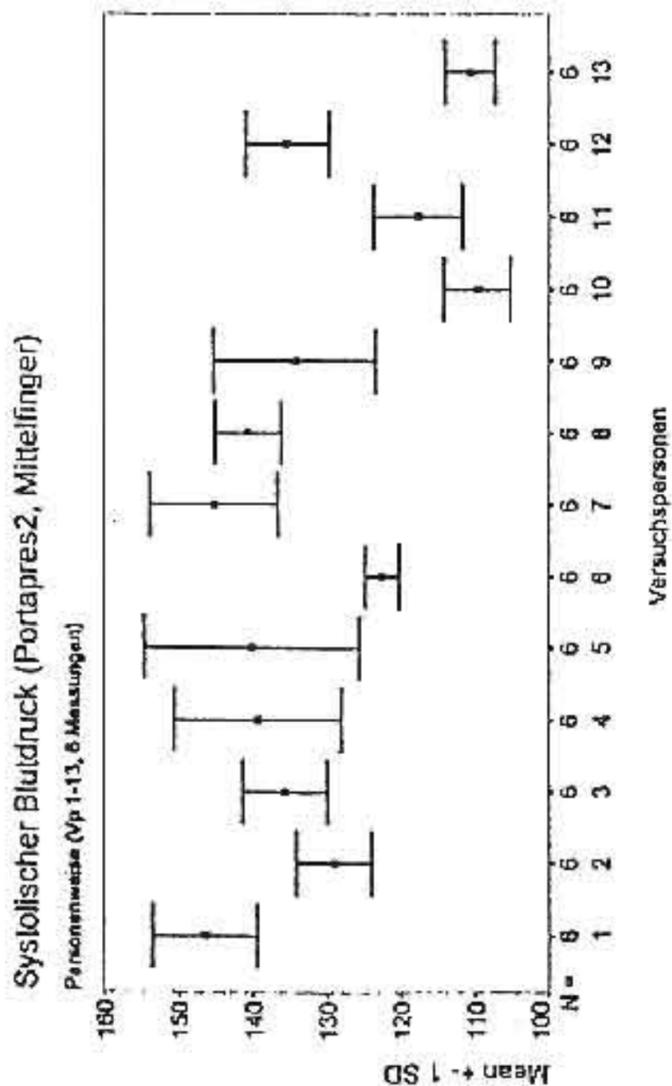
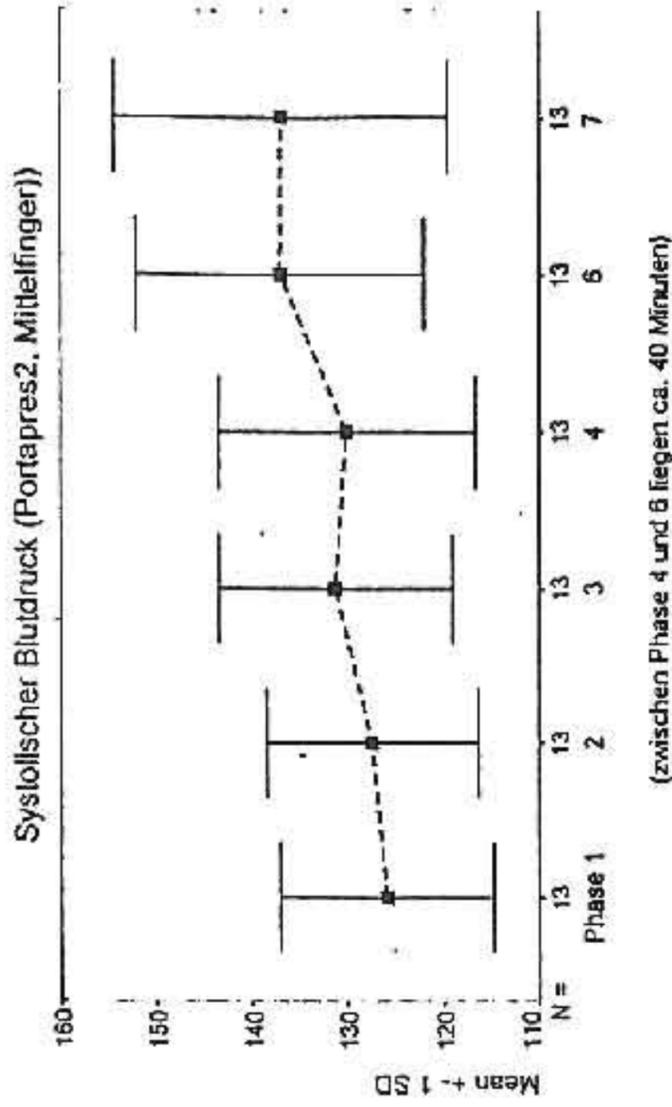
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *THE LANCET*, February 8, 307-310.
- Bos, W. J. W., van den Meiracker, A. H., Wesseling, K. H. & Schalekamp, M. A. D. H. (1995). Effect of regional and systemic changes in vasomotor tone on finger pressure amplification. *Hypertension*, 26, 315-320.
- Bussmann, H. (1998). Ambulatory monitoring of mobility-related activities in rehabilitation medicine. Delft, The Netherlands: Eburon.
- Castiglioni, P., Parati, G., Omboni, S., Mancia, G., Imholz, B. P. M., Wesseling, K. H. & Di Rienzo, M. (1999). Broad-band spectral analysis of 24 h continuous finger blood pressure: Comparison with intra-arterial recordings. *Clinical Science*, 97, 129-139.
- Costa, M., Steptoe, A., Cropley, M. & Griffith, J. (1999). Ambulatory blood pressure monitoring associated with reduced physical activity during every day life. *Psychosomatic Medicine*, 61, 806-811.
- Deter, H. C., Klepper, A. & Schulte, K. H. (1996). Preliminary results of a differentiated emotion-stimulating interview in patients with essential hypertension as compared with inpatients of a psychosomatic unit and normal controls. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 65, 262-271.
- Fahrenberg, J. (1996). Concurrent assessment of blood pressure, heart rate, physical activity, and emotional state in natural settings. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp. 165-187). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Fahrenberg, J. (1997). Kontinuierliche Blutdruckmessung am Finger (Portapres2) im Vergleich zu oszillometrischer (SpaceLabs 90207) und auskultatorischer (Boucke Tensiomat FIB 4/6) Technik. Forschungsbericht Nr. 129. Freiburg i. Br.: Psychologisches Institut der Universität.
- Fahrenberg, J. (2001). Physiologische Grundlagen und Meßmethoden der Herz-Kreislaufaktivität. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Biologische Psychologie. Band 4: Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie* (S. 317-483). Göttingen: Hogrefe.
- Fahrenberg, J. & Myrtek, M. (2001). Monitoring und Assessment. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Biologische Psychologie. Band 4: Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie* (S. 657-798). Göttingen: Hogrefe.
- Fahrenberg, J., Wild, M., Müller, W. & Herrmann, J. M. (1997). Kontinuierliche Blutdruckmessung mit Portapres2: Eine Reliabilitätsstudie. *Nieren- und Hochdruckkrankheiten*, 26, 218.
- Foerster, F. & Fahrenberg, J. (2000). Motion pattern and posture: Correctly assessed by calibrated accelerometers. *Behavior Research Methods*, 32, 450-457.
- Foerster, F., Smeja, M., & Fahrenberg, J. (1999). Detection of posture and motion by accelerometry: A validation study in ambulatory monitoring. *Computers and Human Behavior*, 15, 571-583.
- Franck, M., Herrmann, J. M. & Fahrenberg, J. (1996). Psychophysiologisches Blutdruck-Monitoring. *Nieren- und Hochdruckkrankheiten*, 25, 195-201.
- Heger, R. (1990). Psychophysiologisches 24-Stunden-Monitoring. Methodeentwicklung und erste Ergebnisse eines multimodalen Untersuchungsansatzes bei 62 normotonen und blutdrucklabilen Studenten. Phil. Diss. Universität Freiburg i. Br. Frankfurt: Lang.
- Herrmann, J.M., Rassek, M., Schäfer, N., Schmidt, T.H. & Uexküll, Th. von (1986). Essentielle Hypertonie. In Th. von Uexküll, *Psychosomatische Medizin*. 3. Aufl. (S. 719-744). München: Urban & Schwarzenberg.
- Hirschl, M. M., Binder, M., Herkner, H., Bur, A., Brunner, M., Seidler, D., Stühlinger, H. G. & Laggner, A.N. (1996). Accuracy and reliability of noninvasive continuous finger blood pressure measurement in critically ill patients. *Critical Care Medicine*, 24, 1684-1689.
- Hirschl, M. M., Woisetschläger, C., Waldenhofer, U., Herkner, H. & Bur, A. (1999). Finapres vs Portapres. *Journal of Human Hypertension*, 13, 899.
- Imholz, B.P.M. (1995). The brachial to finger pressure difference: are effects of modifiers of pulse wave distortion detectable among subjects? In A. J. Man in't Veld, G. A. van Montfrans, G. J. Langewouters, K. I. Lie & G. Mancia (Eds.), *Measurement of heart rate and blood pressure variability in man* (pp. 109-112). Alphen aan den Rijn, The Netherlands: Van Zuiden Communication B.V.
- Imholz, B.P.M. (1996). Automated blood pressure measurement during ergometric stress testing: possibilities of Finapres. *Zeitschrift Kardiologie*, 85, (Suppl. 3), 76-80.
- Imholz, B. P. M., Wieling, W. van Montfrans, G. A. & Wesseling, K. (1998). Fifteen years experience with finger arterial pressure monitoring: assessment of the technology. *Cardiovascular Research*, 38, 605-616.
- Imholz, B. P. M., Langewouters, G. J., van Montfrans, G. A., Parati, G., van Goudoever, J., Wesseling, K. H., Wieling, W. & Mancia, G. (1993). Feasibility of ambulatory, continuous 24-hour finger arterial pressure recording. *Hypertension*, 21, 65-73.

- Jain, A., Martens, W. L. J., Mutz, G., Weiß, R. K. & Stephan, E. (1996). Towards a comprehensive technology for recording and analysis of multiple physiological parameters within their behavioral and environmental context. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp 215-235). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Jellema, W. T., Imholz, B. P. M., van Goudoever, J., Wesseling, K. H. & van Lieshout, J. J. (1996). Finger arterial versus intrabrachial pressure and continuous cardiac output during head-up tilt testing in healthy subjects. *Clinical Science*, 91, 193-200.
- Jones, R. D. M., Kornberg, J. P., Roulson, C. J., Visram, A. R. & Irwin, M. G. (1993). The Finapres 2300e finger cuff. The influence of cuff application on the accuracy of blood pressure measurement. *Anaesthesia*, 48, 611-615.
- Kenner, T. (1988). Arterial blood pressure and its measurement. *Basic Research in Cardiology*, 83, 107-121.
- Käppler, C. (1994). *Psychophysiologische Bedingungsanalyse von Blutdruckveränderungen im alltäglichen Lebenskontext*. Phil. Diss., Universität Freiburg i. Br. Frankfurt a.M.: Lang.
- Kollenbaum, V. E., Meyer, W., Meyer, G. J., Veldern, G., Schnoor, P. W., Will, D., Seidenstücker, K. H., Speidel, H. & Niedermayer, W. (1995). Psychophysische Belastungsreaktionen während eines tiefenpsychologischen Interviews. *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie*, 45, 202-207.
- Langewouters, G. J. (1993). *Portapres™ Model 2.0. User Manual*. TNO Biomedical Instrumentation Research Unit. Amsterdam. The Netherlands.
- Langewouters, G. J., Settels, J. J., Roelandt, R. & Wesseling, K. H. (1998). Why use Finapres or Portapres rather than intra-arterial or intermittent non-invasive techniques of blood pressure measurement? *Journal of Medical Engineering & Technology*, 22, 37-43.
- Man in't Veld, A. J., van Montfrans, G. A., Langewouters, G. J., Lie, K. I. & Mancia, G. (1995). Measurement of heart rate and blood pressure variability in man. Methods, mechanisms and clinical applications of continuous finger blood pressure measurement. Alphen aan den Rijn, The Netherlands: Van Zuiden Communications B.V.
- Meredith, P. A., Perloff, D., Mancia, G. & Pickering, T. (1995). Blood pressure variability and its implications for antihypertensive therapy. *Blood Pressure*, 1995, 5-11.
- Musso, N. R., Giacche, M., Galbariggi, G. & Vergassola, C. (1996). Blood pressure evaluation by noninvasive and traditional methods. Consistencies and discrepancies among photoplethysmomanometry, office sphygmomanometry, and ambulatory monitoring. *Effects of blood pressure measurement. American Journal of Hypertension*, 9, 293-299.
- Myrtek, M., Brügger, G., Fichtler, A., König, K., Müller, W., Foerster, F. & Höppner, V. (1988). Detection of emotionally induced ECG changes and their behavioral correlates: A new method for ambulatory monitoring. *European Heart Journal*, 9 (Supplement N), 55-60.
- Myrtek, M., Brügger, G. & Müller, W. (1996). Interactive monitoring and contingency analysis of emotionally induced ECG changes: Methodology and applications. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies* (pp. 115-127). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- O'Brien, E. & O'Malley, K. (Eds.) (1991). *Blood pressure measurement (Handbook of Hypertension Vol. 14)*. Amsterdam: Elsevier.
- O'Callaghan, C., Straznicky, N. E., Komersova, K. & Louis, W. J. (1998). Systematic errors in blood pressure from finger blood pressure measurements. *Blood Pressure*, 7, 277-281.
- Omboni, S., Parati, G., Frattola, A., Mutti, E., Di Rienzo, M., Castiglioni, P. & Mancia, G. (1993). Spectral and sequence analysis of finger blood pressure variability. Comparison with analysis of intra-arterial recordings. *Hypertension*, 22, 26-33.
- Omboni, S., Parati, G., Castiglioni, P., Di Rienzo, M., Imholz, B. P. M., Langewouters, G. J., Wesseling, K. & Mancia, G. (1998). Estimation of blood pressure variability from 24-hour ambulatory finger blood pressure. *Hypertension*, 32, 52-58.
- Pickering, T.G. (1991). *Ambulatory monitoring and blood pressure variability*. London: Science Press.
- Piesbergen, C., Middeke, M. Butollo, W. (1995). On-line-Feedback des Blutdrucks mittels nichtinvasiver, kontinuierlicher Blutdruckmessung. *Nieren- und Hochdruckkrankheiten*, 32, 154-156.
- Ristuccia, H. L., Grossman, P., Watkins, L. L. & Lown, B. (1997). Incremental bias in Finapres estimation of baseline blood pressure levels over time. *Hypertension*, 29, 1039-1043.
- Rongen, G. A., Bos, W. J. W., Lenders, J. W. M., van Montfrans, G. A., van Lier, H. J. J., van Goudoever, J., Wesseling, K. H. & Thien, T. (1995). Comparison of intrabrachial and finger blood pressure in healthy elderly volunteers. *American Journal of Hypertension*, 8, 237-248.
- Rüddel, H. & Curio, I. (Eds.) (1991). *Non-invasive continuous blood pressure measurement. Methods, evaluations and applications of the vascular unloading technique (Peñáz-Method)*. Frankfurt a.M.: Lang.
- Scheuch, K., Berndt, A., Knöpfel, D. & Seibt, R. (1998). Brachialer und peripherer Blutdruck über 24 Stunden – eine vergleichende Studie: *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 42, 219-223.

- Schmidt, T. H., Engel, B. & Blümchen, G. (Eds.) (1992.). Temporal variations of the cardiovascular system. Berlin: Springer.
- Schmidt, T.H. & Jain, A. (1996). Continuous assessment of finger blood pressure and other haemodynamic and behavioral variables in everyday life. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.). Ambulatory Assessment: computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies (pp. 189-213). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Schmidt, T. F. H., Steinmetz, T., Wittenhaus, J., Piccolo, P. & Lürpsch, H. (1992). A new dimension of blood pressure measurement in man: 24-h ambulatory continuous noninvasive recording with Portapres. In T. F. H. Schmidt, B. T. Engel & G. Blümchen (Eds.), Temporal variations of the cardiovascular system (pp. 181-221). Berlin: Springer.
- Schwan, A. & Pavek, K. (1989). Change in posture during sleep causes errors in non-invasive automatic blood pressure recordings. *Journal of Hypertension*, 7 (suppl 6), S62-S63.
- Sherman, W. M., Morris, D. M., Kirby, T. E., Petosa, R. A. Smith, B. A., Frid, D. J. & Leenders, N. (1998). Evaluation of a commercial accelerometer (Tritrac) to measure energy expenditure during ambulation. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 43-47.
- Silke, B. & McAuley, D. (1998). Accuracy and precision of blood pressure determination with the Finapres: An overview using re-sampling statistics. *Journal of Human Hypertension*, 12, 403-409.
- Tanaka, H. & Thulesius, O. (1993). Effect of temperature on finger artery pressure evaluated by volume clamp technique. *Clinical Physiology*, 13, 535-545.
- Tuomisto, M. T., Johnston, D. W. & Schmidt, T. F. H. (1996). The ambulatory measurement of posture, thigh acceleration, and muscle tension and their relationship to heart rate. *Psychophysiology*, 33, 409-415.
- Verdecchia, P., Clement, D., Fagard, R., Palatini, P. & Parati, G. (1999). Task Force III: Target-organ damage, morbidity and mortality. *Blood Pressure Monitoring*, 4, 303-317.
- Voogel, A. J. & van Montfrans, G. A. (1997). Reproducibility of twenty-four-hour finger arterial blood pressure, variability and systemic hemodynamics. *Journal of Hypertension*, 15, 1761-1765.
- Wesseling, K. H. (1988). Finapres – Kontinuierliche, nichtinvasive arterielle Blutdruckmessung am Finger nach der Methode von Peñáz. In W. Meyer-Sabellek & R. Gotzen (Hrsg.), Indirekte 24-Stunden-Blutdruckmessung (S. 45-59). Darmstadt: Steinkopff
- Wesseling, K. H. (1993). The FAST-mf/-cZ system. User Manual. Amsterdam: TNO-BioMedical Instrumentation.
- Wesseling, K. H. (1996). Finger arterial pressure measurement with Finapres. *Zeitschrift für Kardiologie*, 85 (Suppl. 3), 38-44.
- Wesseling, K.H., Settels, J.J. & de Wit, B. (1986). The measurement of continuous finger arterial pressure noninvasively in stationary subjects. In T.H. Schmidt, T.M. Dombroski & G. Blümchen (Eds.), Biological and psychological factors in cardiovascular disease (pp. 355-376). Berlin: Springer.
- Wesseling, K. H., de Wit, B., van der Hoeven, G. M. A., van Goudoever, J. & Settels, J. J. (1995). Physiological, calibrating finger vascular physiology for Finapres. *Homeostasis*, 36, 67-82.
- Wild, M. (1998). Die Rückmeldung von kontinuierlich gemessenen Blutdruckwerten mit Portapres 2.0 bei Hypertonikern. Unveröffentlichte Dipl. Arbeit, Universität Freiburg i.Br.: Psychologisches Institut, Forschungsgruppe Psychophysiologie.

Anhang

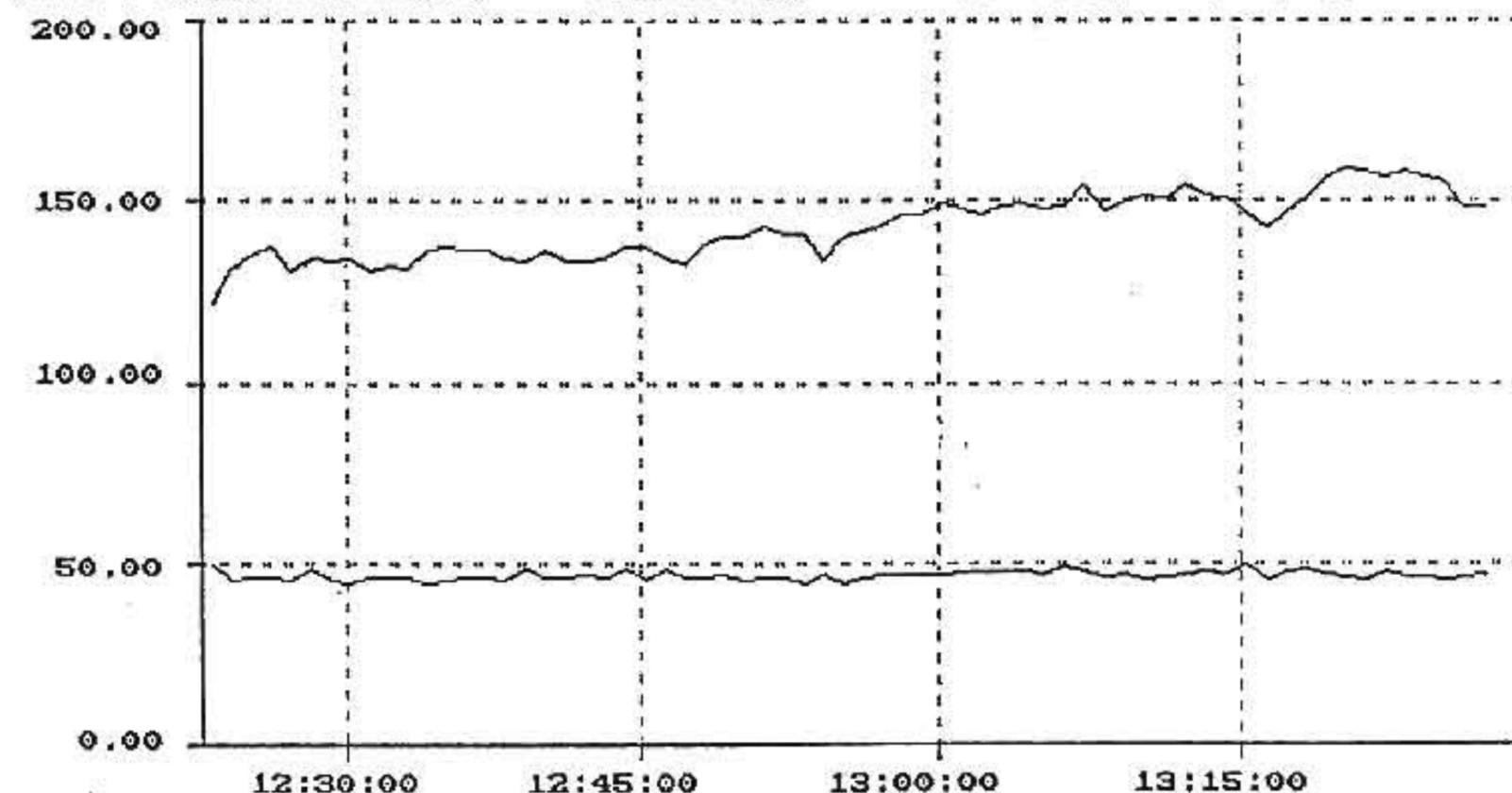
Abbildungen zur Pilotstudie



Mittlerer Verlauf der systolischen Werte und Darstellung der Varianzunterschiede zwischen Personen

Plot 1 Signal RES.Syst (t60.00)mHg C:\DOSPROG\FAST\80E25.RES

Plot 4 Signal RES.Rate (t60.00)pm C:\DOSPROG\FAST\80E25.RES

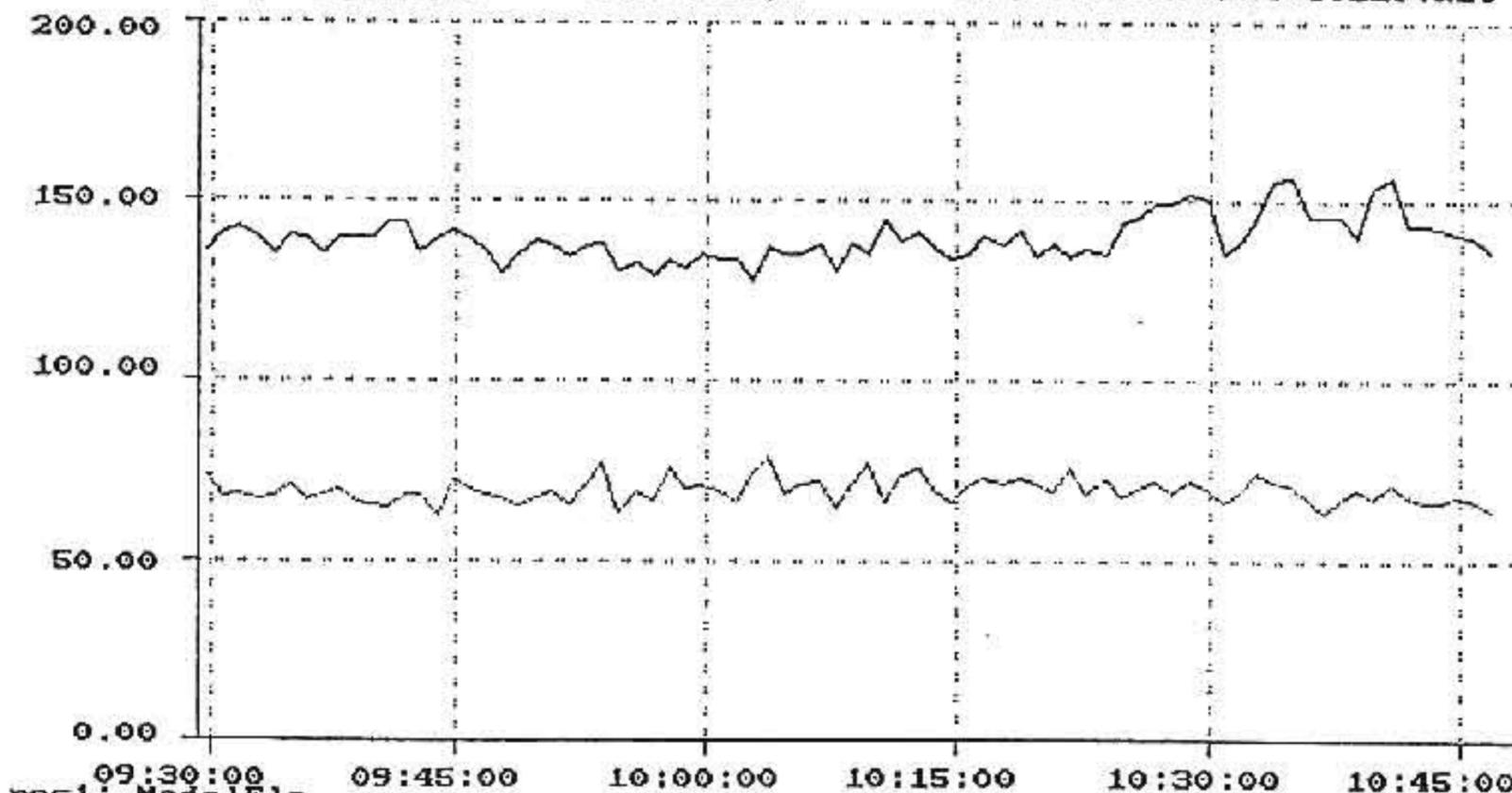


res1: ModelFlo
1999.02.25 11:22:21 Male Zao:100 Age:25 abs_time 12:22:44 - 13:29:02

Abbildungen Zwei typische Verläufe von systolischem Blutdruck am Zeigefinger (mit Trend) und Herzfrequenz.

Plot 1 Signal RES.Syst (t60.00)mHg C:\DOSPROG\FAST\80E29.RES

Plot 4 Signal RES.Rate (t60.00)pm C:\DOSPROG\FAST\80E29.RES



res1: ModelFlo
1999.02.25 11:38:19 Male Zao:100 Age:60 abs_time 09:29:15 - 10:48:25

Abbildung: Portapres A mit Eintragung von Referenzmessungen mit SpaceLabs A Rekord V

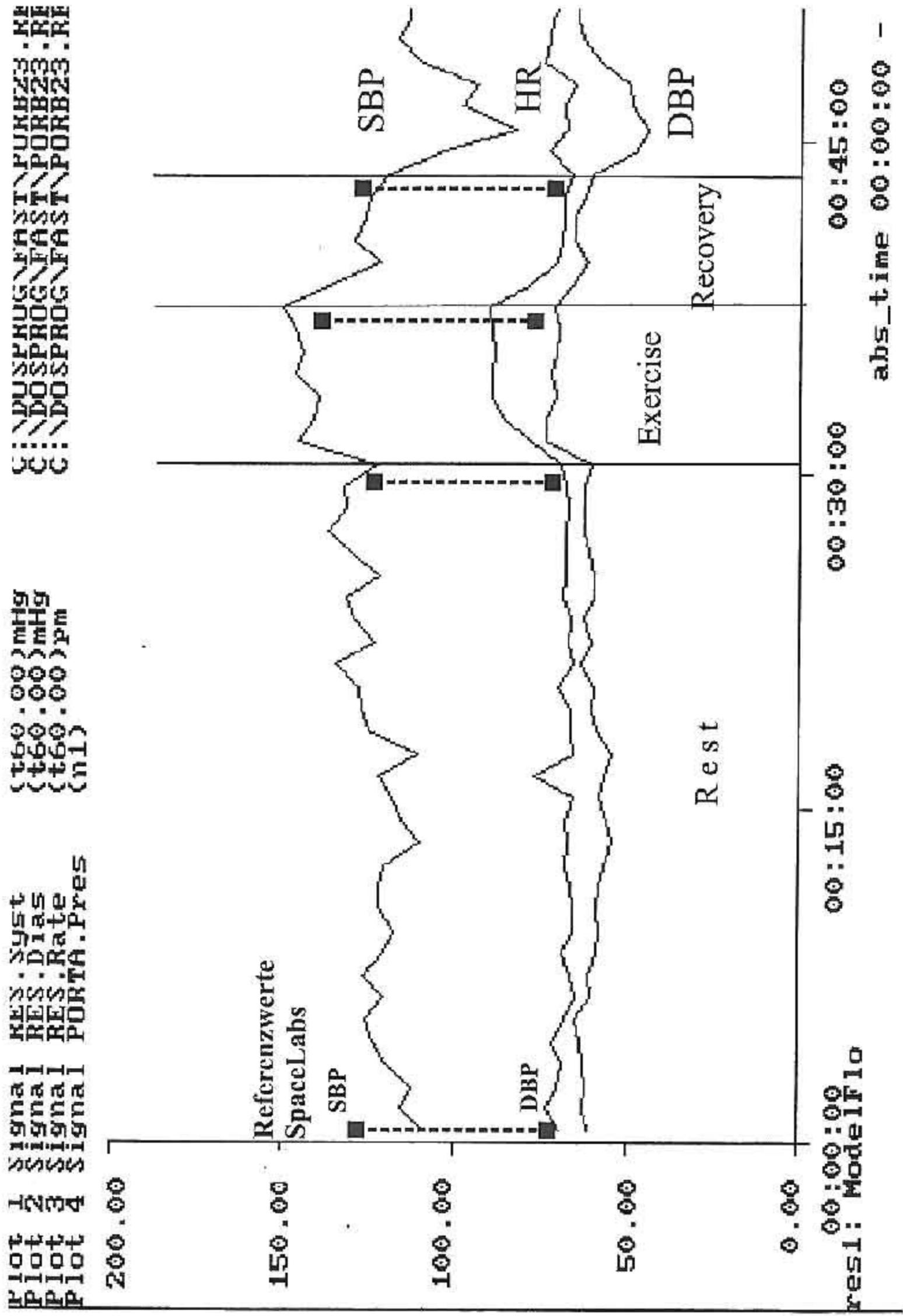
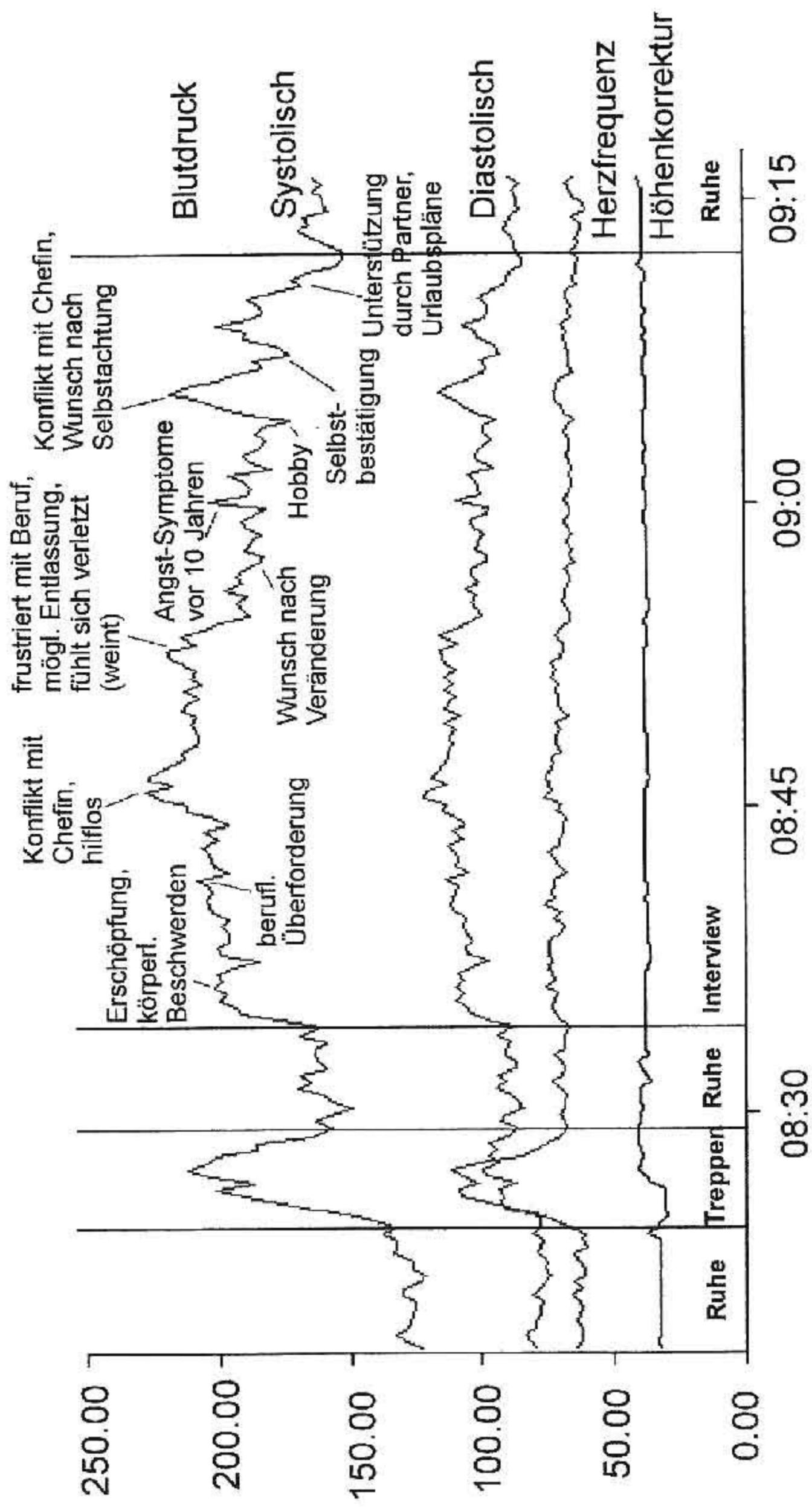


Abbildung A 2: Typisches Beispiel einer Portapres-Registrierung vor und während eines biographischen Interviews bei einer Patientin mit essentieller Hypertonie (Interview und Registrierung M. Wild).



Variablen der Untersuchung und Grundstatistiken der Untersuchungsphasen (Phase 1 und 2 mit der Messung von Fingertemperatur und Blutdruck, Phase 3 = Ruhebedingung, Phase 4 = Ergometerarbeit, Phase 5 = Erholung, Phasen 6 bis 8 = Lagewechsel)

Variable	Label	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
VP_NR	Vp-Kummer	31	17.1290323	9.6323827	1.0000000	33.0000000
HAND	Handschuh: 1=nein, 2=ja	31	1.5161290	0.5080005	1.0000000	2.0000000
TML00001	Temperatur Mittelf., links, AusBed1	28	32.2842857	2.8971550	22.9800000	35.1500000
TRL00001	Temperatur Ringf., links, AusBed1	28	32.2964296	3.0292234	22.1000000	35.0000000
TMR00001	Temperatur Mittelf., rechts,	26	32.9642308	1.9508730	28.2500000	35.5000000
APULS_M1	Puls, MW, links, AusBed1	0	.	.	.	.
APULS_S1	Puls, SD, links, AusBed1	0	.	.	.	.
ASYST_M1	Syst.Blutdr., MW, links, AusBed1	0	.	.	.	.
ASYST_S1	Syst.Blutdr., SD, links, AusBed1	0	.	.	.	.
ADIAS_M1	Diast.Blutdr., MW, links, AusBed1	0	.	.	.	.
ADIAS_S1	Diast.Blutdr., SD, links, AusBed1	0	.	.	.	.
AMEAN_M1	Mittl.Blutdr., MW, links, AusBed1	0	.	.	.	.
PMEAN_S1	Mittl.Blutdr., SD, links, AusBed1	0	.	.	.	.
AHR_M1	Herzfrequenz, MW, links, AusBed1	0	.	.	.	.
AHR_S1	Herzfrequenz, SD, links, AusBed1	0	.	.	.	.
AHEIG_M1	Sensor-Hoehe, MW, links, AusBed1	0	.	.	.	.
AHEIG_S1	Sensor-Hoehe, SD, links, AusBed1	0	.	.	.	.
BPULS_M1	Puls, MW, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BPULS_S1	Puls, SD, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BSYST_M1	Syst.Blutdr., MW, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BSYST_S1	Syst.Blutdr., SD, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BDIAS_M1	Diast.Blutdr., MW, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BDIAS_S1	Diast.Blutdr., SD, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BMEAN_M1	Mittl.Blutdr., MW, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BMEAN_S1	Mittl.Blutdr., SD, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BHR_M1	Herzfrequenz, MW, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BHR_S1	Herzfrequenz, SD, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP1V_M1	Temperatur, 1V, MW, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP1V_S1	Temperatur, 1V, SD, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP2V_M1	Temperatur, 2V, MW, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP2V_S1	Temperatur, 2V, SD, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP3V_M1	Temperatur, 3V, MW, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP3V_S1	Temperatur, 3V, SD, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP4V_M1	Temperatur, 4V, MW, AusBed1	0	.	.	.	.
TMP4V_S1	Temperatur, 4V, SD, AusBed1	0	.	.	.	.
BHEIG_M1	Sensur-Hoehe, MW, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
BHEIG_S1	Sensur-Hoehe, SD, rechts, AusBed1	0	.	.	.	.
ASYST_1	Syst.Blutdr., Spacel., links, AusBed1	31	125.2530645	8.8089642	109.0000000	143.0000000
AMEAN_1	Mittl.Blutdr., Spacel., links, AusBed1	31	88.8387097	6.4812384	78.0000000	102.0000000
ADIAS_1	Dias.Blutdr., Spacel., links, AusBed1	31	72.2250065	7.0744125	60.0000000	88.0000000
AHR_1	Herzfrequenz, Spacel., links, AusBed1	31	69.1290323	12.6773865	55.0000000	102.0000000
STUNDE_1	Uhrzeit: Stunde, rechts, AusBed1	31	13.0000000	2.4899799	9.0000000	17.0000000
MINUTE_1	Uhrzeit: Minute, rechts, AusBed1	31	21.9354839	16.6251526	1.0000000	57.0000000
BSYST_1	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed1	31	124.3548387	8.4362250	112.0000000	146.0000000
BMEAN_1	Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed1	31	88.0645161	6.4546391	77.0000000	107.0000000
BDIAS_1	Dias.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed1	31	71.1612903	7.4166334	60.0000000	89.0000000
BHR_1	Herzfrequenz, Spacel., rechts, AusBed1	31	69.0967742	12.8668951	52.0000000	103.0000000
TML00002	Temperatur Mittelf., links, AusBed2	29	33.4289655	1.5413059	29.8700000	35.6200000
TRL00002	Temperatur Ringf., links, AusBed2	29	33.8410345	2.6340915	21.7900000	35.7800000
TMR00002	Temperatur Mittelf., rechts, AusBed2	29	33.4168966	2.3565745	23.0100000	35.4100000
TRL00002	Temperatur Ringf., rechts, AusBed2	27	33.4114815	1.5725621	28.4400000	35.3300000
APULS_M2	Puls, MW, links, AusBed2	0	.	.	.	.
APULS_S2	Puls, SD, links, AusBed2	0	.	.	.	.
ASYST_M2	Syst.Blutdr., MW, links, AusBed2	0	.	.	.	.
ASYST_S2	Syst.Blutdr., SD, links, AusBed2	0	.	.	.	.
ADIAS_M2	Diast.Blutdr., MW, links, AusBed2	0	.	.	.	.
ADIAS_S2	Diast.Blutdr., SD, links, AusBed2	0	.	.	.	.
AMEAN_M2	Mittl.Blutdr., MW, links, AusBed2	0	.	.	.	.
PMEAN_S2	Mittl.Blutdr., SD, links, AusBed2	0	.	.	.	.
AHR_M2	Herzfrequenz, MW, links, AusBed2	0	.	.	.	.
AHR_S2	Herzfrequenz, SD, links, AusBed2	0	.	.	.	.
AHEIG_M2	Sensor-Hoehe, MW, links, AusBed2	0	.	.	.	.
AHEIG_S2	Sensor-Hoehe, SD, links, AusBed2	0	.	.	.	.
BPULS_M2	Puls, MW, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BPULS_S2	Puls, SD, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BSYST_M2	Syst.Blutdr., MW, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BSYST_S2	Syst.Blutdr., SD, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BDIAS_M2	Diast.Blutdr., MW, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BDIAS_S2	Diast.Blutdr., SD, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BMEAN_M2	Mittl.Blutdr., MW, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BMEAN_S2	Mittl.Blutdr., SD, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BHR_M2	Herzfrequenz, MW, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BHR_S2	Herzfrequenz, SD, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.

TMP1V_M2	Temperatur, 1V, MW, AusBed2	0	.	.	.	.
TMP1V_S2	Temperatur, 1V, SD, AusBed2	0	.	.	.	.
TMP2V_M2	Temperatur, 2V, MW, AusBed2	0	.	.	.	.
TMP2V_S2	Temperatur, 2V, SD, AusBed2	0	.	.	.	.
TMP3V_M2	Temperatur, 3V, MW, AusBed2	0	.	.	.	.
TMP3V_S2	Temperatur, 3V, SD, AusBed2	0	.	.	.	.
TMP4V_M2	Temperatur, 4V, MW, AusBed2	0	.	.	.	.
TMP4V_S2	Temperatur, 4V, SD, AusBed2	0	.	.	.	.
BHEIG_M2	Sensor-Hoehe, MW, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
BHEIG_S2	Sensor-Hoehe, SD, rechts, AusBed2	0	.	.	.	.
ASYST_2	Syst.Blutdr., Spacel., links, AusBed2	31	124.4516129	8.9345746	109.0000000	141.0000000
AMEAN_2	Mitt.Blutdr., Spacel., links, AusBed2	31	87.7741935	5.8292920	79.0000000	99.0000000
ADIAS_2	Dias.Blutdr., Spacel., links, AusBed2	31	71.0000000	6.2449980	57.0000000	84.0000000
AHR_2	Herzfrequenz, Spacel., links, AusBed2	31	68.1935484	12.4857769	54.0000000	100.0000000
STUNDE_2	Uhrzeit: Stunde, rechts, AusBed2	31	13.0000000	2.4899799	9.0000000	17.0000000
MINUTE_2	Uhrzeit: Minute, rechts, AusBed2	31	24.6774194	16.5537249	4.0000000	59.0000000
BSYST_2	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed2	31	123.6774194	9.1992286	109.0000000	145.0000000
BMEAN_2	Mitt.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed2	31	87.3225806	6.9636537	77.0000000	107.0000000
BDIAS_2	Dias.Blutdr., Spacel., rechts, AusBed2	31	69.6129032	7.3106198	54.0000000	87.0000000
BHR_2	Herzfrequenz, Spacel., rechts, AusBed2	31	68.2903226	12.4611223	54.0000000	102.0000000
TML00003	Temperatur Mittelf., links, Ruhe	29	33.1127586	2.5190076	23.1500000	36.0400000
TRL00003	Temperatur Ringf., links, Ruhe	29	34.0386207	2.2514991	23.4300000	35.4100000
TMR00003	Temperatur Mittelf., rechts, Ruhe	29	33.2896552	2.3664024	22.9800000	35.4600000
TRR00003	Temperatur Ringf., rechts, Ruhe	27	33.0470370	1.8159185	27.2600000	35.1800000
APULS_M3	Puls, MW, links, Ruhe	31	73.3456774	9.5824582	60.2180000	95.1760000
APULS_S3	Puls, SD, links, Ruhe	31	15.1155161	1.6668405	11.3540000	18.3350000
ASYST_M3	Syst.Blutdr., MW, links, Ruhe	31	113.5413871	12.8249107	89.0640000	140.4000000
ASYST_S3	Syst.Blutdr., SD, links, Ruhe	31	7.9357742	2.0498776	3.5710000	11.9000000
ADIAS_M3	Diast.Blutdr., MW, links, Ruhe	31	57.3480645	8.9369001	44.6720000	76.4960000
ADIAS_S3	Diast.Blutdr., SD, links, Ruhe	31	3.9686774	0.9041846	1.8180000	5.7680000
AMEAN_M3	Mittl.Blutdr., MW, links, Ruhe	31	73.3097419	9.7623299	59.7810000	95.6650000
PMEAN_S3	Mittl.Blutdr., SD, links, Ruhe	31	4.5244039	1.0324784	2.1350000	6.4170000
AHR_M3	Herzfrequenz, MW, links, Ruhe	31	65.4900645	10.5195876	47.5880000	90.2370000
AHR_S3	Herzfrequenz, SD, links, Ruhe	31	5.1908387	1.8478058	2.1990000	9.3400000
AHEIG_M3	Sensor-Hoehe, MW, links, Ruhe	31	95.6532581	2.4989329	91.1920000	101.6000000
AHEIG_S3	Sensor-Hoehe, SD, links, Ruhe	31	0.4042581	0.5702629	0.0450000	3.3850000
BPULS_M3	Puls, MW, rechts, Ruhe	31	71.1069677	10.3781198	50.6420000	91.6310000
BPULS_S3	Puls, SD, rechts, Ruhe	31	16.1022903	1.8976381	13.4450000	21.0360000
BSYST_M3	Syst.Blutdr., MW, rechts, Ruhe	31	116.6834194	13.0791424	90.3930000	145.3000000
BSYST_S3	Syst.Blutdr., SD, rechts, Ruhe	31	8.3137742	1.9825136	4.4000000	13.7000000
BDIAS_M3	Diast.Blutdr., MW, rechts, Ruhe	31	54.1186452	10.2081028	32.0780000	74.7060000
BDIAS_S3	Diast.Blutdr., SD, rechts, Ruhe	31	3.8337419	0.7556991	2.0590000	5.1420000
BMEAN_M3	Mittl.Blutdr., MW, rechts, Ruhe	31	70.5128065	10.6047742	49.5590000	90.8020000
BMEAN_S3	Mittl.Blutdr., SD, rechts, Ruhe	31	4.3433871	0.9202546	2.1750000	6.1300000
BHR_M3	Herzfrequenz, MW, rechts, Ruhe	31	64.8886452	10.6575426	47.0860000	90.0660000
BHR_S3	Herzfrequenz, SD, rechts, Ruhe	31	5.1065484	1.7907076	2.1690000	9.3310000
TMP1V_M3	Temperatur, 1V, MW, Ruhe	28	33.5098214	1.5862116	29.8010000	35.9500000
TMP1V_S3	Temperatur, 1V, SD, Ruhe	28	0.2345714	0.1932010	0.0380000	0.7130000
TMP2V_M3	Temperatur, 2V, MW, Ruhe	28	34.4908571	1.0120679	31.0560000	35.6610000
TMP2V_S3	Temperatur, 2V, SD, Ruhe	28	0.2166071	0.1818038	0.0520000	0.7540000
TMP3V_M3	Temperatur, 3V, MW, Ruhe	28	33.8684286	1.2596397	29.1390000	35.4390000
TMP3V_S3	Temperatur, 3V, SD, Ruhe	28	0.2371786	0.1158531	0.0290000	0.5400000
TMP4V_M3	Temperatur, 4V, MW, Ruhe	27	33.2624444	1.7014627	27.8560000	35.2070000
TMP4V_S3	Temperatur, 4V, SD, Ruhe	27	0.2382222	0.1468069	0.0480000	0.6520000
BHEIG_M3	Sensor-Hoehe, MW, rechts, Ruhe	29	95.0009655	1.9907974	90.2420000	99.2910000
BHEIG_S3	Sensor-Hoehe, SD, rechts, Ruhe	29	0.3377586	0.4759188	0.1060000	2.1260000
ASYST_3	Syst.Blutdr., Spacel., links, Ruhe	31	120.5161290	8.1888989	107.0000000	135.0000000
AMEAN_3	Mitt.Blutdr., Spacel., links, Ruhe	31	85.1935484	6.5239015	76.0000000	102.0000000
ADIAS_3	Dias.Blutdr., Spacel., links, Ruhe	31	68.7741935	7.0885338	56.0000000	87.0000000
AHR_3	Herzfrequenz, Spacel., links, Ruhe	31	63.1290323	11.8426966	40.0000000	94.0000000
STUNDE_3	Uhrzeit: Stunde, rechts, Ruhe	31	13.4516129	2.7427323	9.0000000	18.0000000
MINUTE_3	Uhrzeit: Minute, rechts, Ruhe	31	31.7741935	18.3079394	0	57.0000000
BSYST_3	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Ruhe	31	120.6129032	8.9616867	107.0000000	136.0000000
BMEAN_3	Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Ruhe	31	85.3225806	6.4207325	75.0000000	102.0000000
BDIAS_3	Dias.Blutdr., Spacel., rechts, Ruhe	31	67.6129032	6.5252199	55.0000000	81.0000000
BHR_3	Herzfrequenz, Spacel., rechts, Ruhe	31	63.6129032	12.7349321	41.0000000	102.0000000
TML00004	Temperatur Mittelf., links, Ergom.	0	.	.	.	.
TRL00004	Temperatur Ringf., links, Ergom.	0	.	.	.	.
TMR00004	Temperatur Mittelf., rechts, Ergom.	0	.	.	.	.
TRR00004	Temperatur Ringf., rechts, Ergom.	0	.	.	.	.
APULS_M4	Puls, MW, links, Ergom.	31	84.7469355	9.8798679	65.4060000	108.7000000
APULS_S4	Puls, SD, links, Ergom.	31	20.8877097	3.3578724	14.9650000	30.5070000
ASYST_M4	Syst.Blutdr., MW, links, Ergom.	31	138.6612903	16.2116353	113.4000000	172.0000000
ASYST_S4	Syst.Blutdr., SD, links, Ergom.	31	8.7709677	2.8429086	5.0000000	15.0000000
ADIAS_M4	Diast.Blutdr., MW, links, Ergom.	31	65.6724839	9.4705372	51.1090000	89.1410000
ADIAS_S4	Diast.Blutdr., SD, links, Ergom.	31	4.4673871	1.0236878	3.1620000	7.4640000
AMEAN_M4	Mittl.Blutdr., MW, links, Ergom.	31	84.4899677	10.0088303	65.2800000	108.9000000
PMEAN_S4	Mittl.Blutdr., SD, links, Ergom.	31	4.7956774	1.2366940	3.1000000	7.8900000
AHR_M4	Herzfrequenz, MW, links, Ergom.	31	91.9740968	11.8300236	60.7200000	112.5000000
AHR_S4	Herzfrequenz, SD, links, Ergom.	31	5.8958387	3.9472499	2.4890000	19.2460000
AHEIG_M4	Sensor-Hoehe, MW, links, Ergom.	31	95.1302903	2.7256717	89.6840000	101.0000000
AHEIG_S4	Sensor-Hoehe, SD, links, Ergom.	31	0.3779032	0.1877272	0.0560000	0.8820000
BPULS_M4	Puls, MW, rechts, Ergom.	31	83.6036452	11.0215462	63.2440000	107.3000000
BPULS_S4	Puls, SD, rechts, Ergom.	31	21.9644194	3.8319737	13.4200000	32.4000000
BSYST_M4	Syst.Blutdr., MW, rechts, Ergom.	31	143.9677419	18.1080900	116.6000000	188.9000000
BSYST_S4	Syst.Blutdr., SD, rechts, Ergom.	31	9.2387097	3.2588012	5.1000000	18.8000000

BODIAS_M4	Diast.Blutdr., MW, rechts, Ergom.	31	63.7082903	10.2279671	48.0850000	88.8260000
BODIAS_S4	Diast.Blutdr., SD, rechts, Ergom.	31	4.1596774	0.8674466	2.7970000	6.1810000
BMEAN_M4	Mittl.Blutdr., MW, rechts, Ergom.	31	82.9716452	11.2149962	62.4650000	107.8000000
BMEAN_S4	Mittl.Blutdr., SD, rechts, Ergom.	31	4.4970000	1.0592169	2.9220000	6.9750000
BHR_M4	Herzfrequenz, MW, rechts, Ergom.	31	91.6246774	11.8282436	60.6660000	111.8000000
BHR_S4	Herzfrequenz, SD, rechts, Ergom.	31	5.5965806	3.1097202	2.4920000	15.4850000
TMP1V_M4	Temperatur, 1V, MW, Ergom.	28	33.1242500	1.8148171	28.3620000	35.8570000
TMP1V_S4	Temperatur, 1V, SD, Ergom.	28	0.1107500	0.0994889	0.0180000	0.3510000
TMP2V_M4	Temperatur, 2V, MW, Ergom.	28	33.4830714	1.4861741	30.6520000	35.6740000
TMP2V_S4	Temperatur, 2V, SD, Ergom.	28	0.2436071	0.1875640	0.0250000	0.6760000
TMP3V_M4	Temperatur, 3V, MW, Ergom.	28	32.3802857	1.4632008	27.6390000	34.6710000
TMP3V_S4	Temperatur, 3V, SD, Ergom.	28	0.3239643	0.1836552	0.0310000	0.7690000
TMP4V_M4	Temperatur, 4V, MW, Ergom.	27	32.4777037	1.7599863	26.9140000	34.5320000
BHEIG_M4	Sensor-Hoehe, MW, rechts, Ergom.	29	94.8367586	2.3669694	89.6280000	98.7860000
BHEIG_S4	Sensor-Hoehe, SD, rechts, Ergom.	29	0.2666897	0.1677992	0.1210000	0.7820000
ASYST_4	Syst.Blutdr., Spacel., links, Ergom.	31	150.9032258	3.6384985	114.0000000	144.0000000
AMEAN_4	Mittl.Blutdr., Spacel., links, Ergom.	31	91.3870968	6.4739345	77.0000000	105.0000000
ADIAS_4	Dias.Blutdr., Spacel., links, Ergom.	31	73.4193548	6.6771960	58.0000000	85.0000000
AHR_4	Herzfrequenz, Spacel., links, Ergom.	31	68.8709677	12.0657696	50.0000000	94.0000000
STUNDE_4	Uhrzeit: Stunde, rechts, Ergom.	31	19.6451613	2.6900853	9.0000000	18.0000000
MINUTE_4	Uhrzeit: Minute, rechts, Ergom.	31	28.1290323	19.4469225	0	58.0000000
BSYST_4	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Ergom.	31	130.6129032	9.9387371	114.0000000	152.0000000
BMEAN_4	Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Ergom.	31	90.7419355	6.3243853	77.0000000	108.0000000
BODIAS_4	Dias.Blutdr., Spacel., rechts, Ergom.	31	73.1612903	6.0723240	60.0000000	87.0000000
BHR_4	Herzfrequenz, Spacel., rechts, Ergom.	31	68.7419355	12.1846016	49.0000000	96.0000000
TMLO0005	Temperatur Mittelf., links, Erholg.	29	32.7886207	2.6649266	23.1800000	35.9400000
TRLO0005	Temperatur Ringf., links, Erholg.	29	34.1031034	2.2646682	23.5400000	35.8300000
TRRO0005	Temperatur Mittelf., rechts, Erholg.	29	33.0744828	2.4247733	22.9800000	35.3600000
TRRC0005	Temperatur Ringf., rechts, Erholg.	27	32.3155556	1.9764894	26.6400000	34.5600000
APULS_M5	Puls, MW, links, Erholg.	31	75.3682581	10.4221884	58.8740000	102.7000000
APULS_S5	Puls, SD, links, Erholg.	31	14.9614194	1.8688890	12.0230000	18.9530000
ASYST_M5	Syst.Blutdr., MW, links, Erholg.	31	114.7073548	14.4527612	90.7300000	152.8000000
ASYST_S5	Syst.Blutdr., SD, links, Erholg.	31	7.6062903	2.0531003	4.3000000	12.6000000
ADIAS_M5	Diast.Blutdr., MW, links, Erholg.	31	59.4946129	9.7396146	44.0880000	84.4220000
ADIAS_S5	Diast.Blutdr., SD, links, Erholg.	31	3.7555161	0.9053110	2.0190000	6.0610000
AMEAN_M5	Mittl.Blutdr., MW, links, Erholg.	31	75.3980645	10.5328860	58.9300000	102.8000000
AMEAN_S5	Mittl.Blutdr., SD, links, Erholg.	31	4.3025484	0.9374104	2.5380000	6.0620000
AHR_M5	Herzfrequenz, MW, links, Erholg.	31	66.6261290	11.0627719	47.4880000	91.1130000
AHR_S5	Herzfrequenz, SD, links, Erholg.	31	5.5531935	2.6767834	1.6720000	11.6050000
AHEIG_M5	Sensor-Hoehe, MW, links, Erholg.	31	94.9138710	2.7160929	89.4090000	100.5000000
AHEIG_S5	Sensor-Hoehe, SD, links, Erholg.	31	0.3542581	0.2788989	0.0310000	1.2710000
BPULS_M5	Puls, MW, rechts, Erholg.	31	74.1793548	10.6655021	46.0470000	95.6280000
BPULS_S5	Puls, SD, rechts, Erholg.	31	15.5513226	2.2815282	11.2070000	22.0180000
BSYST_M5	Syst.Blutdr., MW, rechts, Erholg.	31	117.0627419	14.5238520	84.4100000	158.6000000
BSYST_S5	Syst.Blutdr., SD, rechts, Erholg.	31	7.5643871	2.0469517	4.2000000	13.5000000
BODIAS_M5	Diast.Blutdr., MW, rechts, Erholg.	31	57.5339032	10.4213005	26.4960000	77.6070000
BODIAS_S5	Diast.Blutdr., SD, rechts, Erholg.	31	3.5172581	0.9023171	1.6440000	5.7110000
BMEAN_M5	Mittl.Blutdr., MW, rechts, Erholg.	31	73.7763548	10.8361770	45.0540000	94.6600000
BMEAN_S5	Mittl.Blutdr., SD, rechts, Erholg.	31	4.0196452	0.9769787	2.0730000	6.8080000
BHR_M5	Herzfrequenz, MW, rechts, Erholg.	31	66.0642903	11.1859121	47.0200000	90.9960000
BHR_S5	Herzfrequenz, SD, rechts, Erholg.	31	5.4875484	2.5845253	1.6740000	11.6170000
TMP1V_M5	Temperatur, 1V, MW, Erholg.	28	33.0698214	1.9485999	27.5690000	35.8480000
TMP1V_S5	Temperatur, 1V, SD, Erholg.	28	0.0832143	0.0883379	0.0110000	0.3210000
TMP2V_M5	Temperatur, 2V, MW, Erholg.	28	34.2587857	1.1699342	30.7940000	35.8190000
TMP2V_S5	Temperatur, 2V, SD, Erholg.	28	0.2167143	0.1875037	0.0270000	0.7910000
TMP3V_M5	Temperatur, 3V, MW, Erholg.	28	33.1153214	1.5427906	27.4330000	35.0900000
TMP3V_S5	Temperatur, 3V, SD, Erholg.	28	0.3041786	0.2310943	0.0200000	1.0180000
TMP4V_M5	Temperatur, 4V, MW, Erholg.	27	32.2414815	1.9300703	26.5920000	34.4480000
TMP4V_S5	Temperatur, 4V, SD, Erholg.	27	0.1150000	0.0722554	0.0430000	0.3300000
BHEIG_M5	Sensor-Hoehe, MW, rechts, Erholg.	29	94.7704138	2.3175456	89.0050000	98.7880000
BHEIG_S5	Sensor-Hoehe, SD, rechts, Erholg.	29	0.4157931	0.5284319	0.0940000	2.1570000
ASYST_5	Syst.Blutdr., Spacel., links, Erholg.	30	121.4333333	8.5083461	106.0000000	138.0000000
AMEAN_5	Mittl.Blutdr., Spacel., links, Erholg.	30	85.9333333	6.9922782	73.0000000	102.0000000
ADIAS_5	Dias.Blutdr., Spacel., links, Erholg.	30	69.6000000	6.7292465	57.0000000	85.0000000
AHR_5	Herzfrequenz, Spacel., links, Erholg.	30	62.3666667	11.3759678	41.0000000	90.0000000
STUNDE_5	Uhrzeit: Stunde, rechts, Erholg.	31	13.8064516	2.6384257	9.0000000	18.0000000
MINUTE_5	Uhrzeit: Minute, rechts, Erholg.	31	24.9032258	18.4048674	0	57.0000000
BSYST_5	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Erholg.	31	120.1612903	8.7715326	101.0000000	138.0000000
BMEAN_5	Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Erholg.	31	85.1290323	7.1121583	67.0000000	101.0000000
BODIAS_5	Dias.Blutdr., Spacel., rechts, Erholg.	31	68.4516129	7.4199672	50.0000000	81.0000000
BHR_5	Herzfrequenz, Spacel., rechts, Erholg.	31	62.9032258	11.6228363	42.0000000	87.0000000
TMLO0006	Temperatur Mittelf., links, Liegen L.	0	.	.	.	.
TRLO0006	Temperatur Ringf., links, Liegen L.	0	.	.	.	.
TRRO0006	Temperatur Mittelf., rechts, Liegen L.	0	.	.	.	.
TRRC0006	Temperatur Ringf., rechts, Liegen L.	0	.	.	.	.
APULS_M6	Puls, MW, links, Liegen L.	31	78.7212258	9.3827685	60.4670000	100.3000000
APULS_S6	Puls, SD, links, Liegen L.	31	13.8420968	1.8794910	10.5110000	18.9120000
ASYST_M6	Syst.Blutdr., MW, links, Liegen L.	31	112.9774039	13.6455994	85.5620000	148.4000000
ASYST_S6	Syst.Blutdr., SD, links, Liegen L.	31	6.7059032	2.8477202	3.7000000	15.2000000
ADIAS_M6	Diast.Blutdr., MW, links, Liegen L.	31	63.6484839	8.7867763	45.3140000	83.6730000
ADIAS_S6	Diast.Blutdr., SD, links, Liegen L.	31	3.7259355	1.8476798	1.9030000	11.8240000
AMEAN_M6	Mittl.Blutdr., MW, links, Liegen L.	31	78.8096129	9.5240763	59.9820000	100.8000000
AMEAN_S6	Mittl.Blutdr., SD, links, Liegen L.	31	4.1166129	2.0167600	2.0000000	12.4960000
AHR_M6	Herzfrequenz, MW, links, Liegen L.	31	63.9884194	10.9283298	44.1800000	91.1820000
AHR_S6	Herzfrequenz, SD, links, Liegen L.	31	4.6031290	1.8653985	1.5920000	8.9270000
AHEIG_M6	Sensor-Hoehe, MW, links, Liegen L.	31	96.4218065	2.9326556	87.7650000	100.6000000

AHEIG_S6	Sensor-Hoehhe, SD, links, Liegen L.	31	0.5760968	1.3191029	0.0400000	7.5900000
BPULS_M6	Puls, MW, rechts, Liegen L.	31	62.1086774	8.6184247	43.8430000	76.2370000
BPULS_S6	Puls, SD, rechts, Liegen L.	31	14.5741935	2.1208862	11.3250000	21.2200000
BSYST_M6	Syst.Blutdr., MW, rechts, Liegen L.	31	100.2272258	12.2450434	73.7020000	132.0000000
BSYST_S6	Syst.Blutdr., SD, rechts, Liegen L.	31	7.2974194	3.4222679	3.7920000	18.1860000
BDIAS_M6	Diast.Blutdr., MW, rechts, Liegen L.	31	46.7238065	8.5472792	25.3020000	59.7890000
BDIAS_S6	Diast.Blutdr., SD, rechts, Liegen L.	31	3.2931935	1.3507002	1.6180000	7.2360000
BMEAN_M6	Mittl.Blutdr., MW, rechts, Liegen L.	31	61.8486129	8.6524837	42.8320000	75.6560000
BMEAN_S6	Mittl.Blutdr., SD, rechts, Liegen L.	31	3.7499032	1.7934286	1.8940000	8.4910000
BHR_M6	Herzfrequenz, MW, rechts, Liegen L.	31	66.3168710	17.1456283	43.6980000	135.0000000
BHR_S6	Herzfrequenz, SD, rechts, Liegen L.	31	6.4991290	7.1009244	1.6340000	36.6000000
TMP1V_M6	Temperatur, 1V, MW, Liegen L.	29	32.7292069	2.6814356	23.0870000	35.9670000
TMP1V_S6	Temperatur, 1V, SD, Liegen L.	29	0.0419655	0.0236001	0.0100000	0.1070000
TMP2V_M6	Temperatur, 2V, MW, Liegen L.	29	33.7233793	2.2621176	23.4530000	35.5800000
TMP2V_S6	Temperatur, 2V, SD, Liegen L.	29	0.1231034	0.0939560	0.0050000	0.5080000
TMP3V_M6	Temperatur, 3V, MW, Liegen L.	29	33.2471379	2.5435243	23.1090000	35.2070000
TMP3V_S6	Temperatur, 3V, SD, Liegen L.	29	0.1916897	0.1335274	0.0350000	0.6640000
TMP4V_M6	Temperatur, 4V, MW, Liegen L.	27	32.5468148	2.0054853	26.5740000	35.0200000
TMP4V_S6	Temperatur, 4V, SD, Liegen L.	27	0.1158889	0.0668836	0.0270000	0.2870000
BHEIG_M6	Sensor-Hoehhe, MW, rechts, Liegen L.	29	99.4256552	2.8558165	91.2530000	103.9000000
BHEIG_S6	Sensor-Hoehhe, SD, rechts, Liegen L.	29	0.4129655	0.5781815	0.1000000	3.2000000
ASYST_6	Syst.Blutdr., Spacel., links, Liegen L.	31	119.5483871	7.5048371	102.0000000	132.0000000
AMEAN_6	Mittl.Blutdr., Spacel., links, Liegen L.	31	88.0967742	6.0737404	77.0000000	101.0000000
ADIAS_6	Diast.Blutdr., Spacel., links, Liegen L.	31	72.1290323	6.8786720	56.0000000	90.0000000
AHR_6	Herzfrequenz, Spacel., links, Liegen L.	31	62.1935484	11.0496436	44.0000000	88.0000000
STUNDE_6	Uhrzeit: Stunde, rechts, Liegen L.	31	13.9032258	2.5865658	9.0000000	18.0000000
MINUTE_6	Uhrzeit: Minute, rechts, Liegen L.	31	25.0967742	17.5296983	0	58.0000000
BSYST_6	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen L.	31	104.2903226	8.1494112	90.0000000	120.0000000
BMEAN_6	Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen L.	31	70.8709677	6.4017807	60.0000000	86.0000000
BDIAS_6	Diast.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen L.	31	53.4193548	5.0647421	45.0000000	63.0000000
BHR_6	Herzfrequenz, Spacel., rechts, Liegen L.	31	62.4193548	10.8221199	44.0000000	86.0000000
TML00007	Temperatur Mittelf., links, Liegen	0	.	.	.	.
TRL00007	Temperatur Ringf., links, Liegen	0	.	.	.	.
TMR00007	Temperatur Mittelf., rechts, Liegen	0	.	.	.	.
TRR00007	Temperatur Ringf., rechts, Liegen	0	.	.	.	.
APULS_M7	Puls, MW, links, Liegen	31	62.4863226	8.6709599	46.6530000	85.9340000
APULS_S7	Puls, SD, links, Liegen	31	13.5232903	1.7326245	10.2420000	17.0810000
ASYST_M7	Syst.Blutdr., MW, links, Liegen	31	96.6481613	11.8207347	76.4270000	127.2000000
ASYST_S7	Syst.Blutdr., SD, links, Liegen	31	6.9305484	2.4779409	3.3850000	14.1000000
ADIAS_M7	Diast.Blutdr., MW, links, Liegen	31	48.3450968	8.2372589	31.4470000	69.2440000
ADIAS_S7	Diast.Blutdr., SD, links, Liegen	31	3.4284839	1.3069959	1.7580000	7.2040000
AMEAN_M7	Mittl.Blutdr., MW, links, Liegen	31	62.4998387	8.8367435	46.0420000	86.4870000
PMEAN_S7	Mittl.Blutdr., SD, links, Liegen	31	3.7084516	1.3541805	2.0100000	8.1790000
AHR_M7	Herzfrequenz, MW, links, Liegen	31	65.0471290	11.0303408	43.8230000	90.0590000
AHR_S7	Herzfrequenz, SD, links, Liegen	31	5.9675404	2.8066773	1.1870000	11.2900000
AHEIG_M7	Sensor-Hoehhe, MW, links, Liegen	31	98.2174194	2.9757220	91.6200000	104.3000000
AHEIG_S7	Sensor-Hoehhe, SD, links, Liegen	31	0.5759032	0.6710039	0.0620000	3.3570000
BPULS_M7	Puls, MW, rechts, Liegen	31	79.2596129	9.5376057	61.1980000	98.6480000
BPULS_S7	Puls, SD, rechts, Liegen	31	14.0242581	1.9534541	11.0600000	20.1580000
BSYST_M7	Syst.Blutdr., MW, rechts, Liegen	31	116.2346452	15.3384143	93.0330000	157.4000000
BSYST_S7	Syst.Blutdr., SD, rechts, Liegen	31	6.6603548	1.8745115	3.2000000	10.1000000
BDIAS_M7	Diast.Blutdr., MW, rechts, Liegen	31	63.4750323	8.4669405	45.1120000	78.2680000
BDIAS_S7	Diast.Blutdr., SD, rechts, Liegen	31	3.3278387	1.0045735	1.6730000	5.8990000
BMEAN_M7	Mittl.Blutdr., MW, rechts, Liegen	31	78.7804839	9.4666636	61.8370000	97.5350000
BMEAN_S7	Mittl.Blutdr., SD, rechts, Liegen	31	3.6805484	1.1129772	1.9350000	6.5760000
BHR_M7	Herzfrequenz, MW, rechts, Liegen	31	64.4025484	11.0917251	43.3290000	89.9810000
BHR_S7	Herzfrequenz, SD, rechts, Liegen	31	4.9830645	1.9094551	1.1050000	10.8250000
TMP1V_M7	Temperatur, 1V, MW, Liegen	29	32.7906207	2.6100207	23.4130000	35.9890000
TMP1V_S7	Temperatur, 1V, SD, Liegen	29	0.0702759	0.0495212	0.0120000	0.2530000
TMP2V_M7	Temperatur, 2V, MW, Liegen	29	34.0695172	2.1582360	23.7920000	35.6910000
TMP2V_S7	Temperatur, 2V, SD, Liegen	29	0.1801724	0.1222226	0.0290000	0.5660000
TMP3V_M7	Temperatur, 3V, MW, Liegen	29	32.5671724	2.3768398	23.2050000	35.0000000
TMP3V_S7	Temperatur, 3V, SD, Liegen	29	0.1834483	0.0825325	0.0020000	0.4080000
TMP4V_M7	Temperatur, 4V, MW, Liegen	27	32.5073333	2.0676511	26.4900000	34.9500000
TMP4V_S7	Temperatur, 4V, SD, Liegen	27	0.0890741	0.0477154	0.0250000	0.2520000
BHEIG_M7	Sensor-Hoehhe, MW, rechts, Liegen	29	97.1964828	2.2794018	92.7220000	101.7000000
BHEIG_S7	Sensor-Hoehhe, SD, rechts, Liegen	29	0.5874138	0.8733777	0.1050000	3.2880000
ASYST_7	Syst.Blutdr., Spacel., links, Liegen	31	104.4193548	9.2835848	87.0000000	126.0000000
AMEAN_7	Mittl.Blutdr., Spacel., links, Liegen	31	70.9677419	5.7241236	59.0000000	83.0000000
ADIAS_7	Diast.Blutdr., Spacel., links, Liegen	31	55.4193548	5.5243352	41.0000000	69.0000000
AHR_7	Herzfrequenz, Spacel., links, Liegen	31	64.5161290	11.6872323	43.0000000	94.0000000
STUNDE_7	Uhrzeit: Stunde, rechts, Liegen	31	14.0000000	2.5948667	9.0000000	18.0000000
MINUTE_7	Uhrzeit: Minute, rechts, Liegen	31	24.6774194	16.1294495	0	57.0000000
BSYST_7	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen	31	119.2258065	8.1596964	107.0000000	139.0000000
BMEAN_7	Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen	31	89.0967742	5.9517775	79.0000000	103.0000000
BDIAS_7	Diast.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen	31	72.6129032	6.0037623	60.0000000	85.0000000
BHR_7	Herzfrequenz, Spacel., rechts, Liegen	31	63.8387097	11.2222896	44.0000000	90.0000000
TML00008	Temperatur Mittelf., links, Liegen R.	29	32.8955172	2.5545835	23.4900000	36.1500000
TRL00008	Temperatur Ringf., links, Liegen R.	29	33.4251724	2.2377757	23.8900000	35.7300000
TMR00008	Temperatur Mittelf., rechts, Liegen R.	29	32.9072414	2.4678213	23.2000000	35.0000000
TRR00008	Temperatur Ringf., rechts, Liegen R.	27	32.5262963	2.2510906	26.2400000	35.2400000
APULS_M8	Puls, MW, links, Liegen R.	31	64.8532903	9.9257305	42.0480000	84.8120000
APULS_S8	Puls, SD, links, Liegen R.	31	14.2665806	2.0268408	10.6180000	19.1980000
ASYST_M8	Syst.Blutdr., MW, links, Liegen R.	31	102.3574194	13.0755277	79.1970000	127.9000000
ASYST_S8	Syst.Blutdr., SD, links, Liegen R.	31	5.7081613	2.2381805	1.8220000	12.7000000
ADIAS_M8	Diast.Blutdr., MW, links, Liegen R.	31	49.7551935	9.3065752	29.2710000	68.1900000

ADIAS_SB	Diast.Blutdr., SD, links, Liegen R.	31	3.1531613	1.0866594	0.8220000	5.7210000
AMEAN_MB	Mittl.Blutdr., MW, links, Liegen R.	31	64.7769677	10.0830053	42.1110000	85.3720000
PMEAN_SB	Mittl.Blutdr., SD, links, Liegen R.	31	3.3768387	1.2803436	0.2490000	6.9030000
AHR__M8	Herzfrequenz, MW, links, Liegen R.	31	65.2501935	11.4141815	44.4190000	92.1880000
AHR__SB	Herzfrequenz, SD, links, Liegen R.	31	4.5157097	1.7991815	1.6450000	10.1460000
AHEIG_MB	Sensor-Hoehe, MW, links, Liegen R.	31	80.5807419	6.0615825	71.5510000	100.5000000
AHEIG_SB	Sensor-Hoehe, SD, links, Liegen R.	31	0.7568710	1.2457177	0	4.4860000
BPULS_MB	Puls, MW, rechts, Liegen R.	31	80.2298387	9.4746278	58.6780000	100.3000000
BPULS_SB	Puls, SD, rechts, Liegen R.	31	13.6192903	2.5092305	6.5820000	20.7000000
BSYST_MB	Syst.Blutdr., MW, rechts, Liegen R.	31	116.4135161	15.1974883	94.4570000	159.3000000
BSYST_SB	Syst.Blutdr., SD, rechts, Liegen R.	31	5.6937097	2.0366034	0.9000000	10.0000000
BDIAS_MB	Diast.Blutdr., MW, rechts, Liegen R.	31	64.0512581	8.5214603	46.6670000	80.1280000
BDIAS_SB	Diast.Blutdr., SD, rechts, Liegen R.	31	3.1055484	1.0464581	0.5130000	5.2610000
BMEAN_MB	Mittl.Blutdr., MW, rechts, Liegen R.	31	79.3216129	9.5800822	57.2730000	99.4960000
BMEAN_SB	Mittl.Blutdr., SD, rechts, Liegen R.	31	3.3348387	1.1799951	0.1430000	6.0550000
BHR__M8	Herzfrequenz, MW, rechts, Liegen R.	31	64.6088710	11.5217106	43.9000000	91.9370000
BHR__SB	Herzfrequenz, SD, rechts, Liegen R.	31	4.1615161	1.4485879	1.6210000	6.9200000
TMP1V_MB	Temperatur, 1V, MW, Liegen R.	26	33.1635000	1.9256237	27.9290000	36.1570000
TMP1V_SB	Temperatur, 1V, SD, Liegen R.	26	0.0465000	0.0306389	0.0160000	0.1420000
TMP2V_MB	Temperatur, 2V, MW, Liegen R.	26	33.6047692	1.3236241	31.0150000	35.6270000
TMP2V_SB	Temperatur, 2V, SD, Liegen R.	26	0.1391154	0.1502503	0.0220000	0.7290000
TMP3V_MB	Temperatur, 3V, MW, Liegen R.	26	33.0386154	1.6422695	27.2380000	34.6720000
TMP3V_SB	Temperatur, 3V, SD, Liegen R.	26	0.2003462	0.1304138	0.0280000	0.7570000
TMP4V_MB	Temperatur, 4V, MW, Liegen R.	26	32.4106538	2.1903432	26.2920000	35.2070000
TMP4V_SB	Temperatur, 4V, SD, Liegen R.	26	0.0692308	0.0254091	0.0330000	0.1480000
BHEIG_MB	Sensor-Hoehe, MW, rechts, Liegen R.	29	97.1757241	2.8200551	91.8830000	102.8000000
BHEIG_SB	Sensor-Hoehe, SD, rechts, Liegen R.	29	0.2861379	0.2590212	0.0950000	1.1000000
ASYST__8	Syst.Blutdr., Spacel., links, Liegen R.	30	103.3333333	8.4906981	90.0000000	123.0000000
AMEAN__8	Mittl.Blutdr., Spacel., links, Liegen R.	30	73.4000000	6.9856997	59.0000000	88.0000000
ADIAS__8	Dias.Blutdr., Spacel., links, Liegen R.	30	56.9333333	7.0267142	42.0000000	69.0000000
AHR__8	Herzfrequenz, Spacel., links, Liegen R.	30	63.9666667	11.4303991	41.0000000	90.0000000
STUNDE__8	Uhrzeit: Stunde, rechts, Liegen R.	30	14.0000000	2.5461262	10.0000000	18.0000000
KINUTE__8	Uhrzeit: Minute, rechts, Liegen R.	30	24.7666667	14.4357873	1.0000000	51.0000000
BSYST__8	Syst.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen R.	30	118.4000000	8.6207443	104.0000000	140.0000000
BMEAN__8	Mittl.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen R.	30	89.0000000	5.9596343	80.0000000	105.0000000
BDIAS__8	Dias.Blutdr., Spacel., rechts, Liegen R.	30	72.7333333	6.6536655	62.0000000	85.0000000
BHR__8	Herzfrequenz, Spacel., rechts, Liegen R.	30	63.9333333	11.3439436	41.0000000	90.0000000

Definitionsdatei porpor.def (Studie 80E, 1999). Globale Scanrate 512 Hz

K	Name	Einheit	Pre-	Größe	Scan	Store	MUL	DIV	RES	Offset	Ampl.	HP	LP
01	APpuls	mm Hg	NO	WORD	64	64	01231	10000	0.123	02048	00050	0.000	0024
02	APsvst	mm Hg	NO	WORD	32	32	01236	10000	0.124	02061	00050	0.000	0012
03	APdias	mm Hg	NO	WORD	32	32	01221	10000	0.122	02048	00050	0.000	0012
04	Apmean	mm Hg	NO	WORD	32	32	01241	10000	0.124	02060	00050	0.000	0012
05	APHR	bpi	NO	WORD	32	32	01230	10000	0.123	02032	00050	0.000	0012
07	BPheig	mm Hg	NO	WORD	32	32	01233	10000	0.123	01210	00050	0.000	0012
08	APheig	mm Hg	NO	WORD	32	32	01243	10000	0.124	02063	00050	0.000	0012
09	BPpuls	mm Hg	NO	WORD	64	64	01229	10000	0.123	02055	00050	0.000	0024
10	BPsvst	mm Hg	NO	WORD	32	32	01234	10000	0.123	02045	00050	0.000	0012
11	BPdias	mm Hg	NO	WORD	32	32	01230	10000	0.123	02065	00050	0.000	0012
12	BPmean	mm Hg	NO	WORD	32	32	01242	10000	0.124	02054	00050	0.000	0012
13	BPHR	bpm	NO	WORD	32	32	01233	10000	0.123	02000	00050	0.000	0010
14	temp1v	gC	User SPIL 1	WORD	32	32	00001	00100	0.010	00000	00040	0.000	0012
15	temp2v	gC	User SPIL 1	WORD	32	32	00001	00100	0.010	00000	00040	0.000	0012
16	temp3v	gC	User SPIL 1	WORD	32	32	00001	00100	0.010	00000	00040	0.000	0012
65	Marker	adc	Marker	WORD	16	16	00001	00001	1.000	00000	00003	0.000	1000
66	UBATT	V	Battery Test	BYTE	4	1	00245	10000	0.025	00000	00003	0.150	0137

processing