

Aus der Medizinischen Poliklinik des Klinikums Innenstadt der  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Detlef Schlöndorff

**Der Einfluss von Bekleidung unter der Messmanschette auf  
das Ergebnis der sphygmomanometrischen und  
oszillometrischen Blutdruckmessung**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Max Emanuel Liebl

aus

Starnberg

2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. J. Bogner
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Dr. h.c. K. Meßmer Priv. Doz. Dr. M. Weis
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	-
Dekan:	Prof. Dr. med. D. Reinhardt
Tag der mündlichen Prüfung:	01.02.2007

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
1.1	Technik der Blutdruckmessung.....	5
1.1.1	Historisches.....	6
1.1.2	Funktionsprinzip der sphygmomanometrischen Messung .....	7
1.1.3	Funktionsprinzip der oszillometrischen Messung.....	9
1.1.4	Definition der Messgröße und Messgenauigkeit.....	11
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	12
2	Material und Methoden.....	14
2.1	Material.....	14
2.1.1	Probanden.....	14
2.1.2	Messgeräte.....	16
2.2	Methoden.....	17
2.2.1	Versuchsaufbau.....	17
2.2.2	Verblindung .....	18
2.2.3	Statistische Methoden.....	21
3	Ergebnisse.....	22
3.1	Deskriptive Auswertung.....	22
3.1.1	Anamnestische Erhebungsmerkmale.....	22
3.1.2	Messdaten.....	22
3.2	Analysierende Statistik.....	26
3.3	Subgruppenanalyse nach gemessenem Blutdruck.....	30
3.4	Subgruppenanalyse nach Bekleidungsdicke.....	30
4	Diskussion.....	34
4.1	Publikationen zum Thema .....	34
4.2	Diskussion der Methoden .....	39
4.2.1	Sphygmomanometrische Messung am bekleideten Arm .....	39
4.2.2	Oszillometrische Messung am bekleideten Arm.....	40
4.2.3	Relevanz der Subgruppenanalysen.....	41

4.3	Bedeutung der Ergebnisse .....	42
5	Zusammenfassung .....	44
6	Abbildungsverzeichnis.....	46
7	Tabellenverzeichnis .....	47
8	Schrifttumsverzeichnis.....	48
Anhänge:		
	Erklärung.....	54
	Danksagung.....	55
	Lebenslauf .....	56

# 1 Einleitung

Arterielle Hypertonie und ihre Folgeerkrankungen Schlaganfall, Herzinsuffizienz, koronare Herzkrankheit einschließlich des Myokardinfarktes und Niereninsuffizienz sind für etwa die Hälfte der Todesfälle in den industrialisierten Gesellschaften verantwortlich (European Society of Hypertension Working Group on Blood Pressure Monitoring 2003). Dabei ist der Bluthochdruck einer der therapeutisch am besten beherrschbaren kardiovaskulären Risikofaktoren (Frohlich 1995). Die Definition des Bluthochdrucks, seiner Diagnostik und Therapie sind Gegenstand zahlloser Publikationen (August 2003; Guidelines Committee 2003; Haller et al. 2004; Prospective Studies Collaboration 2002).

Die Messung des Blutdrucks ist nicht nur im Zusammenhang des Bluthochdrucks von Relevanz. Da die Blutdruckmessung einen Vitalparameter bestimmt, stellt sie eine essentielle Handlung der ärztlichen Untersuchung dar. Ähnlich der Palpation des Radialispulses wird der Blutdruckmessung eine geradezu rituelle Bedeutung zugeschrieben. Von Angehörigen aller medizinischer Berufe wird sie zur alltäglichen Kontrolle der Kreislauffunktion eingesetzt. Unter Patienten sind automatische Blutdruckmessgeräte inzwischen weit verbreitet, und die ambulante Selbstmessung ist eine Säule der Hochdruckdiagnostik geworden (Haller et al. 2004).

Die Methodik der Blutdruckmessung verdient also besondere Aufmerksamkeit. Erkenntnisse auf diesem Gebiet nützen Arzt und Patient.

## 1.1 Die Technik der Blutdruckmessung

Für die Blutdruckmessung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Am häufigsten werden die klassische auskultatorische Sphygmomanometrie (griech.: σφυγμος: der Puls; Manometer: der Druckmesser) und seit einigen Jahren in verstärktem Maße die automatische

Oszillometrie eingesetzt. Weniger praktische Bedeutung besitzen die Laser-Doppler-Flowmetrie oder die Puls-zu-Puls-Messung mittels lichtplethysmographischer Fingervolumenbestimmung (Brem et al. 2004; Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. 1997). Im Folgenden sollen die Funktionsweisen der Sphygmomanometrie und der Oszillometrie nach einem Exkurs in die Geschichte der Blutdruckmessung kurz dargestellt werden. Anschließend wird auf die Definition der Messgröße und die Genauigkeit der Messmethoden im Kontext der physiologischen Variabilität des Blutdrucks eingegangen.

### 1.1.1 Historisches

Als historischer Vorläufer der Blutdruckmessung ist die Pulsmessung anzusehen. Aus der Zeit der Pharaonen in Ägypten und aus der Kaiserzeit in China sind schriftliche Quellen über die Pulsmessung erhalten (Naqvi et al. 1998). Im antiken Rom verfasste der aus Griechenland stammende Claudius Galenus, bekannt als Galen, zahlreiche Werke über die Messung des Pulses und die Unterscheidung seiner verschiedenen Qualitäten (Galenus; Sternbach et al. 2001; Roguin 2006). Die Entdeckung des Kreislaufs durch Harvey im Jahre 1628 und Fortschritte in der Erforschung von Anatomie und Physiologie des Menschen ermöglichten schließlich die Entwicklung der Blutdruckmessung (O'Brien et al. 1991).

Die erste bekannte Blutdruckmessung führte der britische Pfarrer Stephen Hales, der als einer der Begründer der modernen Physiologie betrachtet wird, im 18. Jahrhundert an einem Pferd durch.<sup>1</sup> Er beschreibt, eine Glasröhre in eine freipräparierte Arterie eines Pferdes eingeführt zu haben und

---

<sup>1</sup> O'Brien et al. zitieren Stephen Hales' Aufzeichnungen über die erste Blutdruckmessung: „having laid open the left crural artery about three inches from the belly, I inserted in to it a brass pipe whose bore was one sixth of an inch in diameter. I fixed a glass tube of nearly the same diameter which was nine feet in length: then untying the ligature of the artery, the blood rose in the tube 8 feet 3 inches perpendicular above the level of the left ventricle of the heart, but it did not attain to its full height at once; it rushed up about half way in an instant, and afterwards gradually each pulse, 12, 8, 6, 4, 2 and some time 1 inch: when it was at its full height, it would rise and fall after each pulse.“

beobachtet nachfolgend den Anstieg der Blutsäule und ein pulssynchrones Oszillieren auf einem Niveau über dem Herzen des Tieres (O'Brien et al. 1991).

Die intra-arterielle Messung des Blutdrucks wird bis heute durchgeführt, allerdings meist unter intensivmedizinischen Bedingungen. Sie ist als invasive Methode nicht für alltägliche diagnostische Zwecke tauglich. Daher entwickelte Ende des 19. Jahrhunderts der italienische Kinderarzt Scipione Riva-Rocci eine indirekte, nicht-invasive Messmethode (Riva-Rocci 1896). Eine aufblasbare Manschette komprimiert den Oberarm und somit die Arteria brachialis. Der Druck in der Manschette wird gesenkt und zeitgleich die Arterie palpirt. Bei Palpation des ersten Pulses entspricht der per Manometer gemessene Manschettendruck dem systolischen Blutdruckwert (Raftery 1991). Bis heute wird diese Methode insbesondere zum schnellen Abschätzen des Kreislaufzustandes angewandt.

Die Bedeutung der Entdeckung dieser nichtinvasiven Methode kann kaum hoch genug eingeschätzt werden. Anfang des 20. Jahrhunderts ergänzte der Russe Korotkoff die Untersuchung durch die Einführung der Auskultation der Arterie unterhalb der Manschette (Korotkoff 1905; Cunningham 2003). Dies ist bis heute die Standardmethode für die indirekte Blutdruckmessung (Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. 2001; Raftery 1991).

### 1.1.2 Funktionsprinzip der sphygmomanometrischen Messung

Um das Funktionsprinzip der klassischen Sphygmomanometrie verstehen zu können, ist es von entscheidender Bedeutung, die Entstehung und Übertragung des akustischen Signals beim Messvorgang zu kennen. Die durch Strömungsturbulenzen in der Arteria brachialis und Vibrationen des umliegenden Gewebes entstehenden Geräusche treten auf, wenn bei gleichmäßiger Deflation der (zuvor aufgepumpten) Manschette der Manschettendruck unter den systolischen Blutdruck sinkt. Von diesem

Zeitpunkt an strömt zeitweise Blut durch die zuvor vollständig komprimierte Arterie. Die Geräusche verstummen, wenn der Manschettendruck auch den in der Diastole herrschenden Druck nicht mehr übersteigt. Es werden keine hörbaren Geräusche mehr in die Ellenbeuge fortgeleitet (Raftery 1991).

Über die Entstehung der Korotkoff-Geräusche existieren verschiedene Hypothesen. Die Entstehung der Geräusche durch Strömungsturbulenzen gilt als wahrscheinlich. Alternativ werden Bewegungen der Arterienwand als Ursache diskutiert, ebenso das Phänomen der Kavitation. Darunter versteht man die Entstehung von Gasblasen bei plötzlichem Druckverlust im Gefäß und deren Platzen bei Druckanstieg (Korotkoff 1905; Cunningham 2003; Venet et al. 2000).

Die Korotkoff-Geräusche werden in fünf Phasen eingeteilt, von denen Phase I (K1) dem Beginn der Geräusche entspricht. In diesem Moment entspricht der gemessene Wert dem systolischen Blutdruckwert. In Phase II (K2) und III (K3) verändert sich der Geräuschcharakter zu einem längeren und weicher klingenden, schließlich zu einem lauterem Ton. In der Phase IV (K4) werden die Geräusche leiser und dumpfer (englisch „muffling“ genannt) und verschwinden in Phase V (K5) schließlich ganz. Die Empfehlung für die Zuordnung des diastolischen Blutdrucks ist inzwischen einheitlich K5, dem Erlöschen des Geräusches. Für Schwangere und Patienten mit arteriovenösen Fisteln oder Aorteninsuffizienz wird K4 empfohlen, falls K5 nicht auftritt, die Geräusche also bis in sehr tiefe Messwertbereiche hörbar bleiben. (O’Sullivan et al. 2002; Pickering et al. 2005)

Ein an die Manschette angeschlossenes Druckmessgerät (Manometer) zeigt die Druckveränderungen im Verlauf an. Die früher weit verbreiteten Quecksilber-Druckmessgeräte werden wegen einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch Quecksilber und wegen dessen teurer Entsorgung heutzutage im Alltagsgebrauch weitestgehend durch Aneroidmanometer ersetzt. Aneroid leitet sich aus dem Griechischen ab und bedeutet „ohne Flüssigkeit“. Die aufblasbare Manschette steht in Verbindung mit einem pneumatischen System, das entsprechend der Druckänderung eine Spiralfeder bewegt. Diese bewegt den Zeiger der Messwerteskala, sodass ein

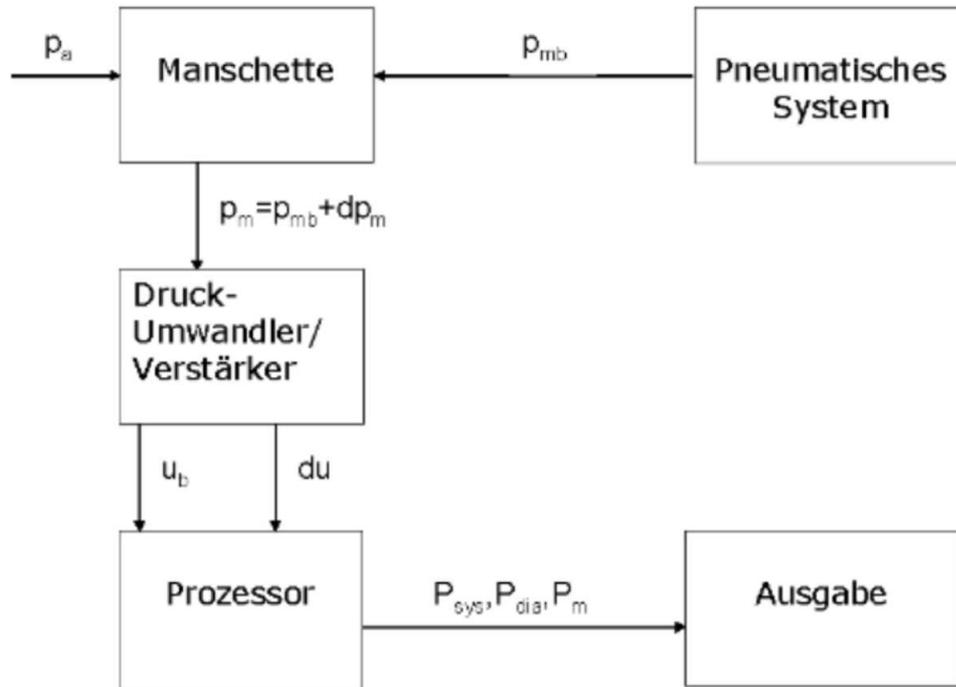
korrekt geeichtes Gerät den Manschettendruck anzeigt. Abweichungen sind bei geeichten Sphygmomanometern gering, jedoch wird die Messgenauigkeit leicht durch Erschütterungen beeinträchtigt (Raftery 1991).

### 1.1.3 Funktionsprinzip der oszillometrischen Messung

Grundlegend wurde das Prinzip der oszillometrischen Blutdruckmessung bereits vor Durchsetzung der Auskultation nach Korotkoff für Blutdruckmessgeräte entdeckt (Naqvi et al. 1998; O'Brien et al. 1993). Doch erst in jüngerer Zeit gelingt es mit Hilfe digitaler Technik, akkurat messende und störungsarme Geräte herzustellen. Die Oszillometrie leitet sich von den Schwingungen (Oszillationen) ab, die bei aufgeblasener Armmanschette durch die Pulsationen der komprimierten Arteria brachialis verursacht werden und in der Manschette schnelle amplitudenschwache Druckschwankungen verursachen. Schematisch besteht ein Oszillometer aus einer aufblasbaren Manschette mit einem angeschlossenen pneumatischen System für die kontrollierte Inflation und Deflation. Ein integrierter Sensor nimmt das Messsignal auf und gibt den Manschettendruck an eine Umwandler/Verstärker-Einheit weiter. Hier wird eine dem konstanten Manschettenbasisdruck entsprechende Basisspannung und eine den Manschettendruckoszillationen entsprechende Wechsellspannung generiert. Aus diesen Informationen und ihrer Veränderung im Verlaufe der Messung berechnet die zentrale Recheneinheit den systolischen, den diastolischen und je nach Gerätetypus auch den mittleren Blutdruckwert (Abb. 1).

Während der kontinuierlichen Senkung des Manschettenbasisdrucks nimmt die Amplitude der Manschettendruckoszillationen plötzlich um ein Vielfaches zu. Der Druck zu diesem Zeitpunkt lässt sich dem systolischen Blutdruck zuordnen. Beim weiteren Absenken des Manschettendrucks steigt die Amplitude der Oszillationen bis zu einem maximalen Wert weiter an und beginnt dann wieder zu sinken. An einem Punkt, der dem diastolischen Druck

**Abbildung 1: Oszillometrisches Messprinzip** (nach: Wonka, 1996)



zu Abb. 1:

$p_a$  – arterieller Druck.  $p_m$  – Manschettendruck.  $p_{mb}$  – Manschettenbasisdruck

$dp_m$  – Manschettenwechseldruck (Manschettendruckoszillationen)

$u_b$  – Basisspannung.  $du$  – Wechselspannung

$P_{sys,dia,m}$  – Ausgabe: errechnete Blutdruckwerte

zugeordnet wird, kommt es zu einem abrupten Abfall der Amplitude. (Raftery 1991; Wonka 1996)

#### 1.1.4 Definition der Messgröße und Messgenauigkeit

Die beschriebenen Verfahren zur Blutdruckmessung orientieren sich am intraarteriell gemessenen Vergleichswert. Eine Betrachtung der Blutdruckmessung vom physiologischen Standpunkt aus ergibt als zu messende Größe die *laterale* Kraft auf die Gefäßwand in dem Moment, in dem der linke Ventrikel ein Blutvolumen gegen das gefüllte Gefäßsystem pumpt. Durch indirekte Blutdruckmessung kann die Messgröße nur näherungsweise bestimmt werden, da viele Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen. Interindividuell verschiedene Einflussfaktoren für die Messung mit der Oberarmmanschette sind unter anderem der Armdurchmesser, pathologische Veränderungen der Gefäße wie durch Atherosklerose (Pseudohypertension, d.h. falsch hoch gemessene Blutdruckwerte bei Steifheit der Arterienwand) oder die Zusammensetzung und Dichte des Armgewebes (Belmin et al. 1995; Guidelines Committee 2003; Messerli et al. 1985; Raftery 1991). Man kann deshalb auf indirektem Wege selten genau die intraarteriell messbaren Vergleichswerte erreichen.

Jedoch misst auch eine intraarterielle Messung nicht exakt die gewünschte Messgröße, da hier nicht die laterale Kraft, sondern der im Gefäß *vorwärts gerichtete* Druckpuls gegen eine in die Arterie eingebrachte Wassersäule gemessen wird. Dennoch ist die intraarterielle Messung genauer als die indirekten Methoden und deshalb am ehesten dazu geeignet, die gewünschte Messgröße zu bestimmen (Raftery 1991).

Der Blutdruck unterliegt zudem einer allgemeinen physiologischen Variabilität. Somit ist eine exakte Reproduzierbarkeit von Messwerten nicht möglich. Ursache ist die von Puls zu Puls regulierte Herzaktion und die Veränderlichkeit des Widerstands im Gefäßsystems (Raftery 1991; Wonka 1996).

Wird die Blutdruckmessung im Zusammenhang mit der Bluthochdruckdiagnostik oder bei stationären Patienten zur längerfristigen Kreislaufkontrolle durchgeführt, so ist ein einzelner Wert nicht als diagnostisch oder therapeutisch relevant einzustufen. Die Leitlinien der Deutschen Hochdruckliga geben drei Säulen für Diagnostik und Therapiekontrolle der arteriellen Hypertonie vor: die an verschiedenen Tagen wiederholten Gelegenheitsmessungen durch den Arzt, regelmäßige Selbstmessung sowie ambulante 24-Stunden-Blutdruckmessung (Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. 2001).

Für Blutdruckmessungen im Rahmen von Studien ergeben sich spezielle Anforderungen an das Studiendesign, um den Einfluss der genannten Faktoren auf die Messgenauigkeit zu eliminieren oder möglichst gering zu halten (Pickering et al. 2005).

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Bezüglich der Messtechnik gilt als Standard, die Oberarmmanschette des Blutdruckmessgerätes am unbedeckten Arm des Patienten anzulegen (Guidelines Committee 2003; Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. 2001; Reeves 1995). In der Praxis tritt jedoch häufig der Fall auf, dass der Blutdruck eines Patienten über der Kleidung gemessen werden muss, sei es im Notfall zur schnellen Kontrolle der Kreislaufstabilität, sei es unter Zeitdruck bei enger Bekleidung des Patienten, die ein „Hochkrepeln“ des Ärmels erschwert oder verhindert. Auch religiöse Vorschriften, die eine Verhüllung des Armes vorschreiben, können ein Hindernis sein. Hygienische Gründe oder Effizienz und Zeitersparnis könnten den Untersucher dazu zu bewegen, auch ohne zwingende Notwendigkeit die Blutdruckmanschette über der Kleidung anzulegen. Dies geschieht jedoch ohne genauere Kenntnis des Einflusses, den die Bekleidung auf die Blutdruckmessung hat. Dass zu diesem Thema bislang nur sehr wenig publiziert wurde, trägt zu Unsicherheit und gegensätzlichen Überzeugungen bei.

Blutdruckmessungen am bekleideten Arm durchzuführen erscheint einerseits in vielerlei Hinsicht effizienter. Ein relevanter Einfluss der Kleidung auf den Messwert würde andererseits die Qualität der Blutdruckmessung beeinträchtigen. Ziel dieser Arbeit ist die vergleichende Beurteilung von sphygmomanometrischen und oszillometrischen Blutdruckmessungen mit und ohne Bekleidung unter der Messmanschette an einer gemischt hypertensiven und normotensiven Stichprobe.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Probanden

Es wurden Messungen an 201 Probanden durchgeführt. Diese waren Patienten, Besucher und Personal der Station Med. IV der Medizinischen Poliklinik Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität München sowie Studenten der Vorlesung „Medizinische Propädeutik“ im Sommersemester 2003. Anamnestisch erhoben wurden persönliche Daten wie Name, Vorname, Geburtsdatum, Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht. Zudem wurden die Probanden nach eingenommenen Medikamenten befragt, gesondert nach eventueller blutdrucksenkender Medikation (s. Abb.2).

Einschlußkriterien waren:

- das Alter der Probanden: über 16 Jahre,
- Einverständniserklärung (*informed consent*): Inhalt und Ziel der Studie wurden erklärt, die Einwilligung in die Blutdruckmessungen eingeholt. Name und Vorname mussten nicht zwingend angegeben werden.

Ausschlußkriterien waren:

- eine bestehende Herzrhythmusstörung, da bei Arrhythmien das oszillometrische Messgerät Fehlermeldungen produziert (Bosch und Sohn GmbH u. Co.). Besonders bei Bradyarrhythmien ist auch in der Sphygmomanometrie nur ein ungenauer Messwert zu erheben.
- Einnahme von Mahlzeiten (Jansen et al. 1995), von koffeinhaltigen Getränken und Zigarettenrauchen (Frohlich 1995) vor den Messungen.
- ein zu großer oder zu kleiner Armumfang für die verwendete Standardmanschette (Bosch und Sohn GmbH u. Co.).

**Abbildung 2: Erhebungsmerkmale***Datenblatt*

Lfd. Nr. \_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2003

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_

Geb.-Datum: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_ Geschlecht:  m  w

Gewicht: \_\_\_\_ kg Größe: \_\_\_\_ cm

Hypertonie bekannt?

 ja  neinMedikation

- Diuretikum
- $\beta$ -Blocker
- Ca-Antagonist
- ACE-Hemmer
- AT-Rez.-Blocker
- Andere

Welche ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dicke SL: \_\_\_\_ mm (1/2 der doppelten Dicke)

RR (osz)                      SYS    DIAS1. Messung                      \_\_\_\_\_    \_\_\_\_\_     SL     NOSL2. Messung                      \_\_\_\_\_    \_\_\_\_\_     SL     NOSLRR (sphyg)1. Messung                      \_\_\_\_\_    \_\_\_\_\_     SL     NOSL2. Messung                      \_\_\_\_\_    \_\_\_\_\_     SL     NOSL

Die Stichprobengröße wurde auf der Basis einer angestrebten Testdifferenz von 4 mm Hg und einer möglichen Standardabweichung von systolisch maximal 20 mm Hg mit  $n=198$  berechnet (Power Calculator, URL).

### 2.1.2 Messgeräte

Für die Messungen wurden zwei Blutdruckmessgeräte unterschiedlichen Typs verwendet. Ein geeichtes, konventionelles Aneroid-Sphygmomanometer („ERKA Profi“, Kallmeyer Medizintechnik, Bad Tölz, s. Abb. 4) diente zur Messung nach der auskultatorischen Methode. Die Korotkoff-Geräusche wurden mit einem „MPP Economy“ Doppelschlauchstethoskop auskultiert.

Die oszillometrischen Messungen wurden mit dem automatischen Gerät „boso-medicus prestige“ (Bosch und Sohn, Jungingen, s. Abb. 3) durchgeführt, das mit dem Qualitätssiegel für Messgenauigkeit der Deutschen Hochdruckliga ausgezeichnet ist. Dieses Siegel wird nach den von der Deutschen Hochdruckliga entwickelten Standards vergeben, die auf den folgenden nationalen und internationalen Standards und Normen basieren (Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. 2001; Tholl et al. 2004): Klinischer Test nach DIN 58130/EN 1060 (Bosch und Sohn GmbH u. Co.); American National Standard der AAMI (US Association for the Advancement of Medical Instrumentation 1993); British Hypertension Society (BHS) protocol for the evaluation of blood pressure measuring devices (O'Brien et al. 2001; O'Brien et al. 2000; O'Brien et al. 1993). Die maximale Abweichung wird mit 3 mm Hg angegeben (Bosch und Sohn GmbH u. Co.). Die Dicke der Kleidung wurde mit einer Schieblehre bestimmt.

## 2.2 Methoden

Der Entwurf des Studiendesigns geschah in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Heinrich Holzgreve und Herrn Dr. Alexander Crispin, MPH. Herr Prof. Dr. Holzgreve gestaltete den Versuchsaufbau insbesondere hinsichtlich der Verblindung mit und begleitete die Auswertung bis zur Publikation und Präsentation der Ergebnisse. Herr Dr. Crispin begleitete die Studie als statistischer Berater.

### 2.2.1 Versuchsaufbau

Um den Einfluss von Bekleidung auf die Blutdruckmessung bestimmen zu können, mussten Messungen in bekleidetem und unbekleidetem Zustand mit beiden Blutdruckmessgeräten erfolgen. Dies geschah durch zwei Messpersonen. Zunächst wurde sichergestellt, dass der Proband ruhig und mit auf dem Tisch abgestützten Armen Platz nahm, um einen Einfluss der Körperhaltung zu minimieren (Netea et al. 2003; Reeves 1995). Der Bekleidungsstatus wurde für jede Messung zugelost (Randomisierung), um einen Einfluss der Reihenfolge auf die Messergebnisse auszuschließen. Danach wurde die Entkleidung des Arms oder der Arme durchgeführt. Die Manschette des oszillometrischen Gerätes wurde am rechten Arm angelegt (Abb. 3), die Manschette des Sphygmomanometers und das Stethoskop am linken Arm (Abb. 4).

Bei der bekleideten sphygmomanometrischen Messung wurde die Membran des Stethoskops ebenso wie die Manschette über der Kleidung angebracht (Kantola et al. 2005). Aus Gründen der Verblindung geschah dies alles durch den Bediener des Oszillometers. Wegen möglicher Blutdruckdifferenzen zwischen rechtem und linkem Arm (Lane et al. 2002) wurde kein Vergleich der Werte zwischen Oszillometer und Sphygmomanometer angestrebt, die Messungen wurden jedoch gleichzeitig

durchgeführt, um mögliche Artefakte zu erkennen. Abbildung 5 zeigt die Versuchsanordnung mit Messung in bekleidetem Zustand an beiden Armen.

Nach der ersten Messung wurden die Daten der Probanden erhoben, um Verfälschungen der Ergebnisse durch eine zu schnelle Abfolge der Messungen zu verhindern. Nach der Anamnese wurde die zweite Messung im umgekehrten Bekleidungsstatus durchgeführt. Anschließend wurde die Kleidungsstärke mit Hilfe einer Schieblehre am Oberarm gemessen. Die Sphygmomanometrischen Messungen wurden bei allen 201 Probanden von derselben Person vorgenommen. Dies ist bedeutsam, da die Intertester-Reliabilität insbesondere wegen unterschiedlicher Vorlieben bei der Bestimmung des diastolischen Blutdrucks gering ist (Reeves 1995).

### 2.2.2 Verblindung

Die Verblindung war wegen der Benutzung eines automatischen oszillometrischen Gerätes nur bei der Sphygmomanometrie notwendig. Der Bediener des Aneroid-Manometers wurde vom Probanden durch ein auf einen Rahmen gespanntes Tuch getrennt. Die Schläuche von Blutdruckmessgerät und Stethoskop wurden durch einen Schlitz im Tuch auf die Seite des Probanden geführt, wie in Abbildung 6 zu sehen.

Das Anbringen von Manschette und Stethoskop wurde durch den Bediener des automatischen Gerätes vorgenommen. Dieser signalisierte still dem Probanden, wann er Arm oder Arme zu entkleiden hatte. Dadurch konnte die Verblindung des Bedieners des Sphygmomanometers gegen den Bekleidungsstatus des Probanden und das oszillometrische Messergebnis gewährleistet werden.

**Abbildung 3: Oszillometrische  
Messung über dem Ärmel**



**Abbildung 4:  
Sphygmomanometrische Messung  
über dem Ärmel**



**Abbildung 5: Versuchsanordnung**



**Abbildung 6: Verblindung**



### 2.2.3 Statistische Methoden

Sämtliche Erhebungsmerkmale wurden anhand skalenadäquater Maßzahlen deskriptiv ausgewertet. Eine interferenzstatistische Untersuchung der Abweichungen zwischen Messungen am bekleideten und unbekleideten Arm erfolgte anhand von 95%- und 90%-Konfidenzintervallen für die mittleren Differenzen der individuellen Messwerte. Die Grenzen des 90%-Konfidenzintervalls wurden zu den Grenzen eines *a priori* definierten Äquivalenzbereichs von  $\pm 4$  mm Hg in Beziehung gesetzt. Dies entspricht der Durchführung eines zweiseitigen Äquivalenztests auf einem  $\alpha$ -Niveau von 5%. Durch die Methode nach Bland und Altman wurde die Konkordanz der beiden Messreihen auf eine Tendenz zur Über- oder Unterbefundung sowie insbesondere auf einen in Abhängigkeit von der Höhe der Messwerte entstehenden proportionalen Fehler beurteilt (Bland et al. 1986; Bland et al. 1999).

Die statistischen Analysen wie auch die Graphiken wurden mit Hilfe des Programms SPSS Version 11.5 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) erstellt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Deskriptive Auswertung

#### 3.1.1 Anamnestische Erhebungsmerkmale

Die in der Befragung der Probanden erhobenen Daten über Alter, Geschlecht, Gewicht, Größe, bestehender Hypertonie und Medikation charakterisieren das Probandengut wie in Tabelle 1 dargestellt. Die Altersverteilung stellt Abbildung 7 genauer dar. Aus Gewicht und Größe wurde der Körpermasseindex (Body Mass Index, BMI) berechnet. 11 Probanden hatten einen BMI über 30, bei 6 von diesen ließ sich ein Blutdruckwert von  $SYS > 140$  mm Hg und/oder  $DIA > 90$  mm Hg messen. Von den 201 Probanden gaben 47 an, an einer ärztlich diagnostizierten arteriellen Hypertonie zu leiden. Von diesen gaben 7 an, keine blutdrucksenkenden Medikamente einzunehmen. Abbildung 8 verdeutlicht, dass die bekannten Hypertoniker vor allem in der Alterklasse über 50 Jahre anzufinden waren.

#### 3.1.2 Messdaten

Die Messdaten wurden in vier Kategorien ausgewertet. Dabei wurden jeweils die Messungen am bekleideten (SL: *sleeved measurement*) und unbekleideten (NOSL: *non-sleeved measurement*) Arm verglichen:

SPH SYS – *Sphygmomanometer Systolen*

SPH DIA – *Sphygmomanometer Diastolen*

OSC SYS – *Oszillometer Systolen*

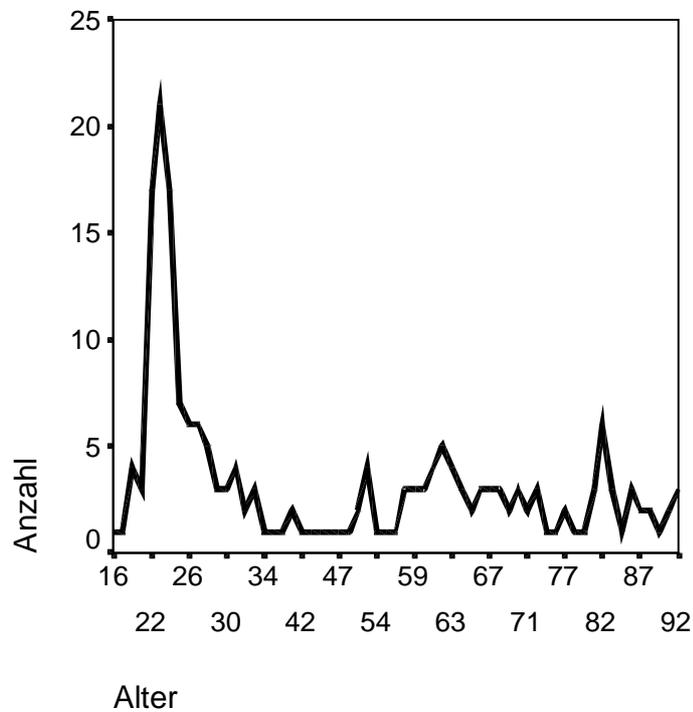
OSC DIA – *Oszillometer Diastolen*

Abbildung 9 stellt jeweils die SL und NOSL Messungen dieser Kategorien gegenüber.

**Tabelle 1: Charakteristika der Probanden**

$n =$	201
Alter – MW ( $\pm$ SD;SP)	45.5 ( $\pm$ 23.7;16-92)
Geschlecht – weiblich	49.8%.
BMI – MW (SP)	23.4 (17-36)
Diagnose „arterielle Hypertonie“	47 (23.4%)
ambulant stationär	ca. 70% ca. 30%

MW – Mittelwert  
SD – Standardabweichung  
SP – Spannweite  
BMI – Body Mass Index (Körpermasseindex)

**Abbildung 7: Altersverteilung**

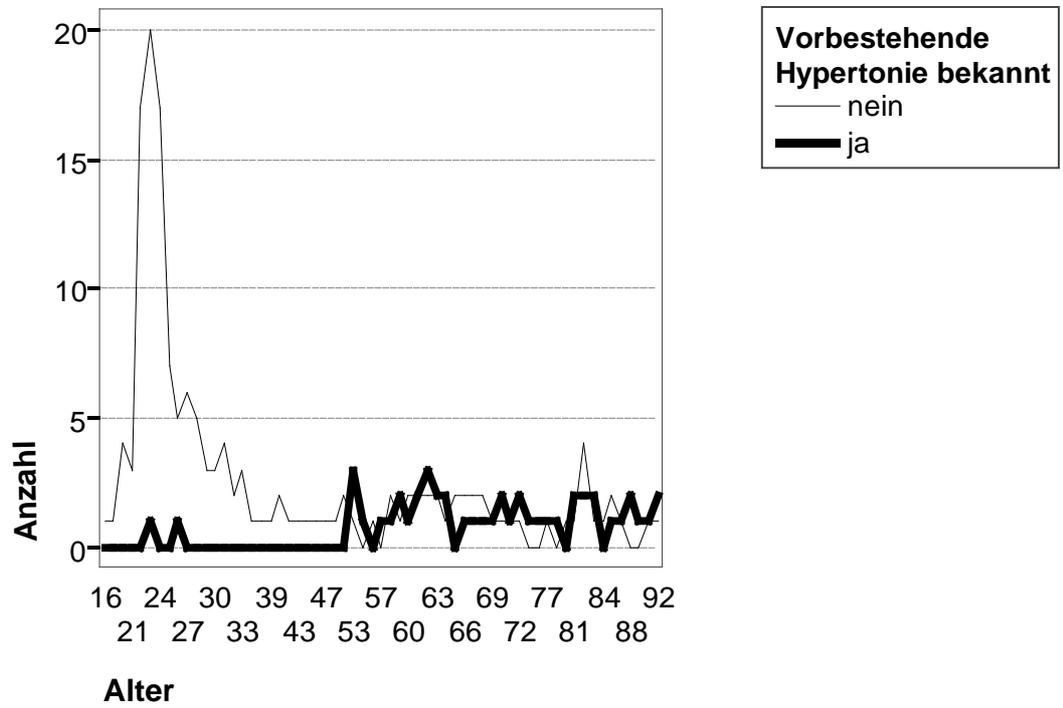
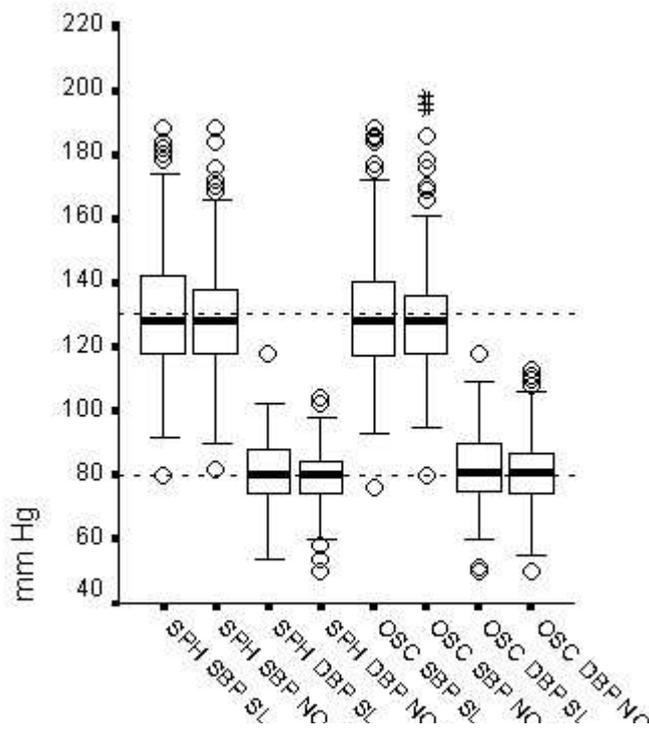
**Abbildung 8: Hypertonie in Abhängigkeit vom Alter**

Abbildung 9: Alle Messungen im Vergleich



zu Abb. 9:

SPH – Sphygmomanometer. OSC – Oszillometer. SBP – Systolischer Blutdruck. DBP – Diastolischer Blutdruck. SL – Bekleideter Arm. NOSL – Unbekleideter Arm. Boxplots: Balken in Box=Median. Box=Quartile. Oberer Whisker=höchster Wert (nicht Ausreißer). Unterer Whisker=niedrigster Wert (nicht Ausreißer). Kreis=Ausreißer (Entfernung zu Median eineinhalbfacher bis dreifacher Interquartilabstand). Stern=Extremwert (Entfernung zum Median min. dreifacher Interquartilabstand)

In jeder der vier Kategorien korrelierten die Messungen in hohem Maße. Die Korrelationskoeffizienten nach Pearson lagen zwischen 0.79 in SPH DIA und 0.90 in SPH SYS (0.89 in OSC SYS; 0.81 in OSC DIA). Die Korrelationen waren sämtlich auf einem Niveau von 0.01 (zweiseitig) signifikant.

Die Differenzen innerhalb jeder Kategorie zeigten sich annähernd normalverteilt. Die Werteverteilung lässt sich durch die Standardabweichungen spezifizieren: sie betragen 8.6 mm Hg in SPH SYS, 6.3 mm Hg in SPH DIA, 9.3 mm Hg in OSC SYS und 6.5 mm Hg in OSC DIA.

Die mittleren Differenzen zwischen SL und NOSL Messungen sind in Tabelle 2 dargestellt, die dazugehörigen 95%-Vertrauensbereiche in Tabelle 3. Weder in SPH noch in OSC konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden.

Die Messungen der Kategorie SL wurden über Ärmeln aus Baumwolle, Synthetikgewebe und dünner Wolle unter 2 mm durchgeführt. Handelsübliche Hemden sind für gewöhnlich nicht dicker als 1 mm. 77.1% der Ärmel hatten eine Dicke von unter 1 mm.

### 3.2 Analysierende Statistik

Zur Analyse der erhobenen Daten wurden die 90%-Vertrauensbereiche für die mittleren Differenzen berechnet und mit einem *a priori* definierten Äquivalenzintervall von  $\pm 4$  mm Hg verglichen. Dies entspricht einem zweiseitigen Äquivalenztest mit einem  $\alpha$ -Niveau von 0.05. Die berechneten Intervalle erfüllen sämtlich die Grenzen des Äquivalenzintervalls, wie in Tabelle 4 ersichtlich ist. Es besteht somit kein signifikanter Unterschied zwischen den Blutdruckmessungen am bekleideten und unbekleideten Arm.

Um diese Ergebnisse noch genauer zu beschreiben, wurde untersucht, wie sich die mittleren Differenzen in Abhängigkeit vom Messniveau verhalten, also ob sich bei höheren gemessenen Blutdruckwerten größere Differenzen zeigen. Hierfür wurde die Methode nach Bland und Altman angewendet. Diese Methode vergleicht zwei Interventionen (Therapien, Messtechniken etc.),

indem die Differenzen zwischen Messwertpaaren der beiden Interventionen graphisch gegen die Mittelwerte aufgetragen werden. Die lineare Regression wird aus der Punktwolke berechnet. Der Regressionskoeffizient dient als Maß für den proportionalen Fehler, die Lage der Gerade im Diagramm dient zur Feststellung einer Tendenz zur Über- oder Unterbefundung. Da bis auf wenige Ausreißer alle Differenzwerte innerhalb der 1.96-fachen Standardabweichung der mittleren Differenz liegen, kann nach Bland und Altman kein klinisch relevanter Unterschied festgestellt werden. Die Regressionskoeffizienten lagen zwischen 0.023 in SPH SYS und 0.048 in OSC SYS (0.043 in SPH DIA, 0.040 in OSC DIA). Ein signifikanter proportionaler Fehler konnte somit nicht festgestellt werden. Abb. 10 zeigt exemplarisch für SPH SYS den Bland-Altman *plot*.

**Tabelle 2: Mittlere Differenzen SL-NOSL**

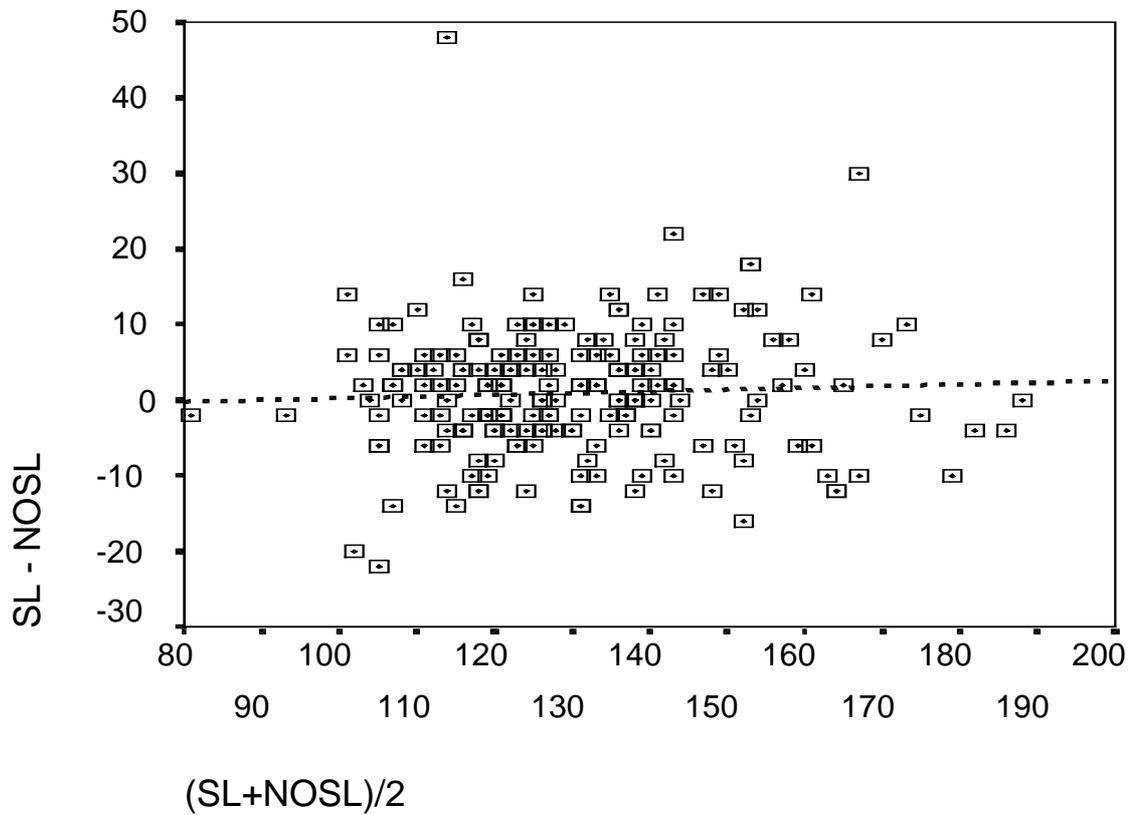
Mittlere Differenzen und Standardabweichungen (mm Hg)		
SPH SYS	1.0	8.6
SPH DIA	0.8	6.3
OSC SYS	1.1	9.3
OSC DIA	0.5	6.5

**Tabelle 3: 95%-Konfidenzintervalle**

95%-Konfidenzintervalle der mittleren Differenzen (mm Hg)	
SPH SYS	[-0.2;+2.1]
SPH DIA	[-0.1;+1.7]
OSC SYS	[-0.2;+2.4]
OSC DIA	[-0.4;+1.4]

**Tabelle 4: Äquivalenztest**

Äquivalenztest (zweiseitig, $\alpha$ -Niveau 0.05) Äquivalenzintervall [-4;+4] (mm Hg)	
SPH SYS	[-0;+2.0]
SPH DIA	[+0.1;+1.5]
OSC SYS	[+0;+2.2]
OSC DIA	[-0.2;+1.3]

**Abbildung 10: Bland-Altman plot (SPH SYS)**

zu Abb.10: in mm Hg. Regressionsgerade gestrichelt. Die Steigung (Regressionskoeffizient) beträgt 0.023. Aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet: Mittlere Differenz  $\pm 1.96 \times$  Standardabweichung =  $+1.0 \pm 18.8$ .

### 3.3 Subgruppenanalyse nach gemessenem Blutdruck

54 Probanden respektive 26.9% der Stichprobe erfüllten in den SPH NOSL Messungen die WHO-Kriterien für Hypertonie (Systole > 140 mm Hg und/oder Diastole > 90 mm Hg). Diese wurden zu einer Subgruppe („hypertensiv“) zusammengefasst und dem Rest der Stichprobe („normotensiv“) gegenübergestellt sowie mit der Gesamtstichprobe verglichen (Tabellen 5 mit 8). Während das Durchschnittsalter in dieser Gruppe eindeutig höher war, unterschieden sich Geschlechterverhältnis und Körpermasseindex (BMI) nicht sehr deutlich von der anderen Gruppe.

Die mittleren Differenzen betragen zwischen -0.7 mm Hg und +2.8 mm Hg. SPH SYS, SPH DIA und OSC DIA erfüllten die Limits des Äquivalenztest, während OSC SYS einen signifikanten Unterschied aufweist.

### 3.4 Subgruppenanalyse nach Bekleidungsdicke

Die Stichprobe wurde in zwei Subgruppen nach der Dicke der Ärmel unterteilt. Die Gruppe „dünner Ärmel“ ( $n = 155$ ) umfasste diejenigen Probanden mit einer Bekleidungsdicke unter 1 mm. Diejenigen mit einer Dicke zwischen 1 mm und 2 mm wurden in der Gruppe „dicker Ärmel“ ( $n = 46$ ) zusammengefasst. Tabelle 9 charakterisiert die Subgruppen näher nach Alter und Geschlecht. Tabelle 10 zeigt die mittleren Differenzen. Deren Standardabweichungen sind in Tabelle 11 aufgelistet. Schließlich wurde für die Subgruppen auch ein separater Äquivalenztest durchgeführt (Tabelle 12).

Es zeigte sich, dass in der Subgruppe „dünner Ärmel“ die errechneten Intervalle innerhalb der Grenzen des *a priori* definierten Äquivalenzintervalles liegen. Somit ist für diese Gruppe kein signifikanter Einfluss von Bekleidung feststellbar. In der Subgruppe „dicker Ärmel“ erfüllt einzig OSC SYS den Äquivalenztest nicht. Die Intervalle in „dicker Ärmel“ sind sämtlich größer als in „dünner Ärmel“, was einen größeren Einfluss von dickerer Kleidung naheliegender erscheinen lässt.

**Tabelle 5: Charakteristika der Subgruppen (i)**

	Stichprobe (n = 201)	Hypertensiv* (n = 54)	Normotensiv (n = 147)
Alter – MW ( $\pm$ SD)	45.5 ( $\pm$ 23.7)	56.1 ( $\pm$ 23.9)	41.6 ( $\pm$ 22.4)
Geschlecht – weiblich	49.8%	48.1%	52.4%
BMI – MW	23.4	24.2	23.1
Diagnose „arterielle Hypertonie“	47	28	19

MW – Mittelwert. SD – Standardabweichung. BMI – Body Mass Index

**Tabelle 6: Mittlere Differenzen (i)**

Mittlere Differenzen (mm Hg)	Stichprobe (n = 201)	Hypertensiv* (n = 54)	Normotensiv (n = 147)
SPH SYS	1.0	-0.7	1.6
SPH DIA	0.8	0.3	1.0
OSC SYS	1.1	2.8	0.5
OSC DIA	0.5	1.2	0.3

**Tabelle 7: Standardabweichungen der mittleren Differenzen (i)**

Standardabweichungen der mittleren Differenzen (mm Hg)	Stichprobe (n = 201)	Hypertensiv* (n = 54)	Normotensiv (n = 147)
SPH SYS	8.6	9.9	8.0
SPH DIA	6.3	7.2	6.0
OSC SYS	9.3	12.1	8.0
OSC DIA	6.5	6.2	6.6

\*) in SPH NOSL Messungen. Nach WHO-Kriterien für Hypertonie (Guidelines Committee, 2003).

**Tabelle 8: Äquivalenztest (i)**

Äquivalenztest (zweiseitig, $\alpha$ -Niveau 0.05) Äquivalenzintervall [-4;+4] (mm Hg)	Stichprobe (n = 201)	Hypertensiv* (n = 54)	Normotensiv (n = 147)
SPH SYS	[-0;+2.0]	[-2.9;+1.6]	[+0.5;+2.6]
SPH DIA	[+0.1;+1.5]	[-1.4;+1.9]	[+0.2;+1.8]
OSC SYS	[+0;+2.2]	[+0;+5.6]	[-0.6;+1.6]
OSC DIA	[-0.2;+1.3]	[-0.2;+2.6]	[-0.6;+1.2]

**Tabelle 9: Charakteristika der Subgruppen (ii)**

	Stichprobe (n = 201)	dünnere Ärmel (n = 155)	dicker Ärmel (n = 46)
Alter – MW ( $\pm$ SD)	45.5 ( $\pm$ 23.7)	45.4 ( $\pm$ 24.3)	45.7 ( $\pm$ 21.6)
Geschlecht – weiblich	49.8%	51.6%	43.5%
BMI – MW	23.4	23.4	23.6
Diagnose „arterielle Hypertonie“	47 (23.4%)	34 (16.9%)	13 (28.3%)

MW – Mittelwert. SD – Standardabweichung. BMI – Body Mass Index

**Tabelle 10: Mittlere Differenzen (ii)**

Mittlere Differenzen (mm Hg)	Stichprobe (n = 201)	dünnere Ärmel (n = 155)	dicker Ärmel (n = 46)
SPH SYS	1.0	0.8	1.5
SPH DIA	0.8	0.4	2.1
OSC SYS	1.1	0.9	1.8
OSC DIA	0.5	0.3	1.1

\*) in SPH NOSL Messungen. Nach WHO-Kriterien für Hypertonie (Guidelines Committee, 2003).

**Tabelle 11: Standardabweichungen der mittleren Differenzen (ii)**

Standardabweichungen der mittleren Differenzen ( <i>mm Hg</i> )	Stichprobe ( <i>n</i> = 201)	dünnere Ärmel ( <i>n</i> = 155)	dicker Ärmel ( <i>n</i> = 46)
SPH SYS	8.6	8.3	9.5
SPH DIA	6.3	6.1	6.9
OSC SYS	9.3	9.3	9.5
OSC DIA	6.5	6.4	7.0

**Tabelle 12: Äquivalenztest (ii)**

Äquivalenztest (zweiseitig, $\alpha$ -Niveau 0.05) Äquivalenzintervall [-4;+4] ( <i>mm Hg</i> )	Stichprobe ( <i>n</i> = 201)	dünnere Ärmel ( <i>n</i> = 155)	dicker Ärmel ( <i>n</i> = 46)
SPH SYS	[-0;+2.0]	[-0.3;+1.9]	[-0.8;+3.9]
SPH DIA	[+0.1;+1.5]	[-0.4;+1.2]	[+0.5;+3.9]
OSC SYS	[+0;+2.2]	[-0.4;+2.1]	[-0.5;+4.1]
OSC DIA	[-0.2;+1.3]	[-0.5;+1.2]	[-0.7;+2.8]

## 4 Diskussion

Die Hypertonie-Fachgesellschaften empfehlen für eine exakte Blutdruckmessung, die Oberarmmanschette am entkleideten Arm anzulegen (O'Brien et al. 2005; Pickering et al. 2005). Obwohl die Blutdruckmessung am bekleideten Arm ein alltägliches Vorgehen darstellt und zudem von manchen Patienten als fehlerhafte Messung interpretiert wird, wurden bislang nur wenige Arbeiten zu diesem Thema veröffentlicht. Diese geben zudem keine befriedigende Antwort auf die Ausgangsfrage oder sind statistisch und methodisch insuffizient. Es sollen zunächst die Arbeiten vorgestellt und besprochen werden, die die Fragestellung oder verwandte Themen ansprechen. So versuchen Wood et al., Blutdruckmessungen mit hochgekrempelem Ärmel zu simulieren. Holleman et al. greifen erstmals das Thema auf und untersuchen in einer kleinen Studie oszillometrische Messungen über dem Ärmel. Kahan et al. bieten eine umfangreichere Arbeit zur Oszillometrie und schließen Messungen über dem Ärmel sowie mit hochgekrempelem Ärmel mit ein.

Anschließend wird die Methodik der vorliegenden Arbeit kritisch besprochen. Zuletzt werden die Ergebnisse im Kontext ihrer praktischen Relevanz diskutiert.

### 4.1 Publikationen zum Thema

Wood et al. haben den Einfluss einer Konstriktion des Oberarms auf die Blutdruckmessung diskutiert, wie sie bei der Messung mit hochgekrempelem Ärmel berücksichtigt werden muss (Wood et al. 1990). Mit einer zusätzlichen Manschette proximal der Blutdruckmanschette wurde eine Kompression des Oberarms und damit der Arteria brachialis erreicht, vergleichbar der durch Kleidung verursachten Kompression. Die proximale Manschette wurde in randomisierter Reihenfolge auf 0, 20, 40, 60, 80 und 100 mm Hg aufgepumpt. Danach wurde auf jedem Druck-Niveau mit der distalen Manschette der

Blutdruck gemessen. Der gemessene mittlere systolische Blutdruck steigt bei einer Kompression mit 80 mm Hg ( $p < 0.01$ ) und 100 mm Hg ( $p < 0.001$ ) signifikant an, der mittlere diastolische Blutdruck schon bei 20 mm Hg ( $p < 0.005$ ). Die statistisch signifikant erhöhten Messwerte liegen zwischen +2.5 mm Hg und +4.4 mm Hg. Die Autoren schließen daraus, dass durch eine Oberarmkompression statistisch signifikante Abweichungen bei den Messwerten zu erreichen seien. Deren Ausmaß reiche allerdings nicht aus, um Therapieentscheidungen zu beeinflussen.

Die hier angewandte Methode, nämlich die Arteria radialis mit einer zweiten Manschette zu komprimieren, ist, kritisch betrachtet, nicht ohne Weiteres auf die reale Blutdruckmessung übertragbar. Der Kompressionsdruck der Manschette wirkt sich auf den Oberarm gleichmäßig verteilt aus. Da ein hochgekremelter Ärmel jedoch meist ungleichmäßig einschneidet, können die auskultierbaren Turbulenzen in den arteriellen Gefäßen nicht adäquat simuliert werden. Dies zeigt sich in der Tatsache, dass in der Diastole schon bei 20 mm Hg Kompressionsdruck signifikante Veränderungen auftauchen, zugleich aber hoher Kompressionsdruck in einigen Messungen ohne signifikanten Einfluss bleibt. Das Fazit der Autoren, die beschriebenen signifikanten Unterschiede als vernachlässigbar zu bewerten, ist fragwürdig. Viel eher muss die Arbeit von Wood et al. als Hinweis gewertet werden, die Messung des Blutdrucks nicht an einem Arm durchzuführen, wenn hochgekremelte Ärmel den Arm komprimieren.

Holleman et al. vergleichen Blutdruckmessungen am unbedeckten und bedeckten Arm bei 36 Probanden mit einem oszillometrischen Blutdruckmessgerät (Holleman et al. 1993). Die Messungen wurden je drei Mal an beiden Armen gleichzeitig durchgeführt, wobei der linke Arm als Vergleichswert immer unbedeckt blieb. Am rechten Arm wurde zuerst unbedeckt gemessen und sodann in der zweiten Messung mit einem dünnen Ärmel (Kategorie „shirt“), in der dritten Messung mit zwei dünnenschichtigen Ärmeln („shirt-plus-sweater“) unter der Manschette gemessen. Die Werte der Messungen am linken Arm wurden von den Messungen am rechten Arm

abgezogen und die Differenzen gemittelt. Um den Einfluss der Bekleidung zu quantifizieren wurde die mittlere Differenz der jeweils ersten, unbedeckten Messung von den mittleren Differenzen der Messungen 2 und 3 subtrahiert. Für die Ergebnisse wurden die 95%-Vertrauensbereiche angegeben, um deren Signifikanz zu überprüfen. Der Einfluss der Ärmel auf die in der Diastole gemessenen Werte wurde für die Kategorie „shirt“ mit  $-2.2$  mm Hg berechnet (95%-KI:  $-4.4$  bis  $+0.1$ ), für die Kategorie „shirt-plus-sweater“ mit  $-0.8$  mm Hg (95%-KI:  $-3.1$  bis  $+1.4$ ). Auf die systolisch gemessenen Werte errechnete sich ein Einfluss von  $-1.7$  mm Hg (95%-KI:  $-5.3$  bis  $1.9$ ) für die Kategorie „shirt“ und  $+0.5$  mm Hg (95%-KI:  $+4.1$  bis  $-3.0$ ) für die Kategorie „shirt-plus-sweater“. Da die Vertrauensbereiche jeweils den Wert 0 beinhalten sind sie nicht signifikant.

Die Autoren schließen aus den Ergebnissen, dass der Einfluss von Bekleidung bei der angewandten oszillometrischen Blutdruckmessmethode nicht signifikant sei. Bei kritischen Werten in der Nähe von diagnostischen und therapeutischen Schwellenwerten empfehlen sie jedoch, einen „Sicherheitsabstand“ nach Maßgabe der errechneten mittleren Differenzen - also etwa 4 bis 5 mm Hg - zu wahren, innerhalb dessen die Messung ohne Bekleidung zu wiederholen sei.

Wegen der Kürze des Artikels werden viele Kriterien nicht erwähnt, die bei der sorgfältigen Bearbeitung der Problemstellung als Einflussfaktoren gelten dürfen. So ist der Versuchsaufbau unzureichend beschrieben, die Dicke der Kleidung wird nicht weitergehend diskutiert oder gemessen. Weiterhin ist die Beschreibung der Stichprobe mangelhaft. Es fehlen Einschluss- und Ausschlusskriterien sowie Angaben zum body mass index (BMI), Armumfang oder vorliegender Hypertonie. Die statistischen Methoden sind zwar nachvollziehbar, allerdings bei der geringen Stichprobengröße von  $n=36$  von begrenzter Aussagekraft. Zudem ist das verwendete oszillometrische Messgerät nach heutigen Maßstäben unzureichend. Zusammengefasst erscheint die Studie aufgrund des als inakkurat einzustufenden Messgerätes und der kleinen Fallzahl ungeeignet, um die Frage nach dem Einfluss von Kleidung auf die Blutdruckmessung zu beurteilen.

Zeitgleich mit der Durchführung der Messungen zur vorliegenden Arbeit veröffentlichten Kahan et al. 2003 eine Studie, die oszillometrische Blutdruckmessungen am unbekleideten Arm mit Messungen bei hochgekrempeltem Ärmel sowie über dem Ärmel vergleicht. Kahan et al. finden keine signifikanten Abweichungen der Messwerte durch den Einfluss von Kleidung. Jedoch wird ein möglicher Einfluss bei hohen Messwerten über 140 mm Hg beschrieben. Die 201 Probanden wurden je drei Mal in jedem der Bekleidungsstände einer Blutdruckmessung unterzogen. Die neun Messungen wurden direkt nacheinander in Dreierblöcken durchgeführt und innerhalb dieser Blöcke randomisiert. Die ersten drei Messungen wurden jeweils verworfen. Schließlich wurden die mittleren Differenzen zwischen den Messungen mit Ärmel bzw. mit hochgekrempeltem Ärmel und ohne Ärmel berechnet. Die Differenzen wurden mittels Bland-Altman-Methode mit den Mittelwerten der Messungen verglichen. Potentielle Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht, BMI und Kleidungsdicke wurden ebenso wie ein möglicher Einfluss der Messreihenfolge mit Hilfe einer Varianzanalyse untersucht.

In der Systole ergaben sich mittlere Differenzen zwischen den Messungen am „unbekleidetem Arm“ und mit „hochgekrempeltem Ärmel“ von  $-0.54$  mm Hg (Standardabweichung 7.4 mm Hg), in der Diastole  $+0.56$  mm Hg (4.6 mm Hg). „Unbekleideter Arm“ versus „bekleidet“ ergab entsprechende Werte von  $+0.02$  mm Hg (7.6) systolisch und  $+1.27$  mm Hg (5.6) diastolisch. Durch Vergleich der Grenzwerte aus den AAMI- und BHS-Kriterien zur Validierung von Blutdruckmessgeräten (siehe auch 2.1.2) mit den Differenzwerten wurde die Übereinstimmung der Messungen bewertet. Nach der AAMI ergab sich die Bewertung „gute Übereinstimmung der Messungen“. Die BHS-Kriterien stuften die Diastolen in Kategorie B für „akzeptable Übereinstimmung“ ein, die Systolen in Kategorie A für „gute Übereinstimmung“. Der dargestellte Bland-Altman-plot lässt laut den Autoren höhere Differenzwerte bei Blutdruckwerten über 140 mm Hg in der Gruppe „hochgekrempelter Ärmel“ versus „unbekleideter Arm“ annehmen. Die Varianzanalyse der oben genannten Einflussfaktoren zeigte keine signifikanten Werte in Bezug auf die Reihenfolge sowie die getesteten Covariablen.

Die Autoren folgern aus ihren Ergebnissen, Kleidung übe keinen signifikanten Einfluss auf die Blutdruckmessung aus. Bei hypertensiven Patienten könne jedoch eine größere Abweichung vom eigentlichen Blutdruckwert nicht ausgeschlossen werden. Hier schließt man sich der Überlegung von Holleman et al. an, bei Blutdruckwerten im hypertensiven Bereich oder bekannter arterieller Hypertonie die Messung unter standardisierten Bedingungen, also am unbedeckten Arm, durchzuführen.

Kahan et al. legen im Vergleich zu Holleman et al. einen aufwändigeren Versuch vor, um die verschiedenen Blutdruckmessungen zu vergleichen. Kritisch betrachtet ist der Artikel jedoch nicht in der Lage, die Fragestellung methodisch wie statistisch suffizient zu beantworten. Insbesondere findet hier nur die oszillometrische Messung Berücksichtigung. Dies wird erst im Methodenteil des Artikels offenbar. Im Abstract wird noch von Sphygmomanometrie gesprochen, was aufgrund der messtechnischen Unterschiede schlichtweg falsch ist. Die Messungen selbst werden im Gegensatz zur Studie von Holleman et al. mit einem modernen Gerät durchgeführt. Jedoch fehlen Angaben zur Validierung des Gerätes, wie sie für die Durchführung einer Studie standardmäßig gefordert werden. Einschluss- und Ausschlusskriterien der untersuchten Stichprobe werden nicht genannt. Die Entscheidung der Autoren, alle neun Messungen pro Proband direkt hintereinander durchzuführen, widerspricht den allgemeinen Empfehlungen der Fachgesellschaften. Angaben zu fehlerhaften Messungen und zum Umgang mit diesen fehlen. Die Kleidungsdicke wird zwar gemessen und deren Einfluss als Covariable der ANOVA mitberechnet. Allerdings wird der Einfluss der Kleidungsdicke nicht weiter behandelt oder diskutiert. Obwohl die Studie mit einer Fallzahl von über 200 die notwendige statistische Aussagekraft besäße, um auch auf kleine Unterschiede zu testen, wenden die Autoren keine statistischen Tests für den Interventionsvergleich an. Sie vergleichen lediglich die mittleren Differenzen mit Grenzwerten von Protokollen zur Messgerätevalidierung. Schließlich werden Bland-Altman-plots erstellt, um proportionale Fehler erkennen zu können. Das Ergebnis, in der Kategorie „hochgekremelter Ärmel“ seien höhere Differenzen bei Werten über 140 mm

Hg erkennbar, wird nicht mit Zahlen belegt, wie etwa durch die Angabe der Regression.

Zusammenfassend liegt mit der Studie von Kahan et al. die erste Arbeit vor, die durch ihre genügend hohe Fallzahl in der Lage wäre, Teile der Frage nach dem Einfluss von Kleidung auf die Blutdruckmessung genauer zu behandeln. Aufgrund der genannten Unsicherheiten im methodischen Aufbau und insbesondere durch die Vernachlässigung der Sphygmomanometrie ist die Studie aber als unzureichend zu bewerten.

## 4.2 Diskussion der Methoden

### 4.2.1 Sphygmomanometrische Messung am bekleideten Arm

Die Technik der sphygmomanometrischen Messung bedingt, dass Kleidung an zwei Punkten einen möglichen Einfluss auf die Messwerte haben könnte. Einerseits bei Übertragung des Manschettendrucks auf die Extremität: Dicke und besonders lockere Gewebe können, gleich einem federnden Effekt zwischen Manschette und Arm, eine ungleichmäßige Manschettendeflation verursachen. Ein diskontinuierlicher Druckabfall beeinträchtigt die Ablesegenauigkeit am Manometer. Andererseits bei der Signalübertragung zwischen Ellenbeuge und Stethoskop: Zwar könnte das fest unter dem Stethoskop gespannte Gewebe der Kleidung wie eine verdickte Stethoskopmembran wirken und die Korotkoff-Geräusche übertragen. Je dicker und lockerer das Gewebe jedoch ist, desto stärker wird aber wohl die Auskultation abgedämpft.

#### 4.2.2 Oszillometrische Messung am bekleideten Arm

Die Manschettendruckveränderungen bei der oszillometrischen Blutdruckmessung können, wie aus Abbildung 1 ersichtlich, an drei Punkten verfälscht werden. Bei:

- i. Signalaufnahme,
- ii. Umwandlung, Verstärkung und Auswertung des Signals,
- iii. Interferenzen im pneumatischen System (mit der Folge eines instabilen Manschettendruckes oder diskontinuierlichen Druckabfällen)

Die Punkte (ii) und (iii) sind geräteabhängig. Punkt (i) wird durch anatomische und physiologische Eigenschaften von Arm und Arterie interindividuell bestimmt, ist jedoch auch von der akkuraten Signaltransduktion durch die Manschette abhängig. Hier findet sich auch die Einflussnahme der Bekleidung (Raftery 1991).

Man muss annehmen, dass durch das Gewebe der Kleidung die Übertragung der Oszillationen von der Haut auf die innere Manschettewand möglicherweise abgeschwächt ist, je nachdem, wie stark das Gewebe der Kleidung die Druckveränderungen absorbiert.

Algorithmen zur automatischen Analyse der gemessenen Oszillationen ermöglichen heutzutage eine artefaktarme oszillometrische Blutdruckmessung (Tholl et al. 2004). Das in dieser Studie verwendete Blutdruckmessgerät „boso-medicus prestige“ erwies sich hinsichtlich der geringen Zahl der fehlerhaften Messversuche als zuverlässig. Solche „Error“-Meldungen des Geräts waren meist auf Bewegungen oder Sprechen des Probanden während des Messvorgangs zurückzuführen. Diese Messungen (unter 5%) mussten wiederholt werden, da keine Daten zu erheben waren. Die Zahl der Ausreißer und Extremwerte bei den Messungen mit bekleidetem Arm lag in allen Kategorien niedriger als bei den Messungen ohne Ärmel (s. Abb. 8). Deshalb lässt sich vermuten, dass Ausreißer und Extremwerte nicht gehäuft kleidungsbedingte Artefakte darstellen.

### 4.2.3 Relevanz der Subgruppenanalysen

Vor der Analyse der Subgruppen war zu entscheiden, nach welchen Kriterien die Einteilung der Stichprobe geschehen soll. Im Falle der Unterteilung nach der Höhe des Blutdrucks wurden die WHO-Kriterien für Bluthochdruck verwendet, die unbekleideten sphygmomanometrischen Messungen wurden als Referenzwert herangezogen (Guidelines Committee, 2003). Dieses Procedere erschien sinnvoll, da für den untersuchten Zusammenhang zwischen Kleidung und Blutdruckmesswert die tatsächlich gemessenen Werte relevant sind, weniger aber eine ärztlich diagnostizierte Hypertonie, die möglicherweise medikamentös eingestellt ist.

Die Einteilung in die Subgruppen nach der Dicke der Bekleidung entschied sich durch die Tatsache, dass handelsübliche Baumwollhemden etwa 0.5 bis 0.8 mm dick sind. Auch die von stationären Patienten in Krankenhäusern oft getragenen Schlafanzüge bzw. Nachthemden, oder auch OP-Hemden fallen in diese Kategorie. Die Grenze zwischen „dünner Ärmel“ und „dicker Ärmel“ wurde bei 1 mm gewählt, um den Unterschied zu dickeren Kleidungsstücken wie etwa einem Pullover oder einem dünneren Morgenmantel aufzeigen zu können.

Sowohl die Subgruppe „hypertensiv“ als auch die Subgruppe „dicker Ärmel“ sind jedoch von zu geringer Fallzahl, um eine statistisch einwandfreie Aussage treffen zu können. Im ersteren Falle liegt in den Systolen der oszillometrischen Messungen beispielsweise ein Ausreißer mit einer Differenz von 64 mm Hg vor. Die mittlere Differenz berechnet sich hier mit 2.8 mm Hg ( $n = 54$ ). Ohne Ausreißer würde sich die mittlere Differenz hier auf 1.6 mm Hg (für  $n = 53$ ) belaufen. Entsprechend gering ist in beiden Subgruppen die Aussagekraft eines nicht erfüllten Äquivalenztests.

Die Durchführung weiterer vergleichender Messungen mit bekleidetem und unbekleidetem Ärmel bei Hypertonikern ist für eine fortführende Arbeit vorgesehen.

### 4.3 Bedeutung der Ergebnisse

Der Druck im Blutgefäßsystem ist als dynamisches System aufzufassen, dessen Veränderungen durch eine konstante Umgebung und Eliminierung möglichst vieler Einflussfaktoren vor und während der Messung gering gehalten werden sollen. Betrachtet man im größeren Zusammenhang die Regeln zur Blutdruckmessung kritisch, so wird deutlich, dass die von den Fachgesellschaften propagierte möglichst exakte Blutdruckmessung vom eigentlichen Problem ablenkt. Es entsteht die Illusion, durch eine einzelne, exakt durchgeführte Messung sei ein valider Blutdruckwert zu erhalten. Dies ist nicht der Fall. Die bereits angesprochene physiologische Variabilität des Blutdrucks erfordert eine Langzeitbeobachtung mit der Gewinnung vieler, mindestens aber mehrerer Messwerte zu verschiedenen Zeiten. Ist die Messung nur zur groben Überprüfung des Kreislaufzustandes gedacht, sind mögliche Einflussfaktoren ohnehin nur mäßig relevant.

Für eine sorgfältige Messung spricht jedoch auch die bereits angesprochene Stellung der Blutdruckmessung in der Arzt-Patient-Beziehung. Ein Angebot seitens des Patienten, den Arm zu entkleiden, sollte daher im Sinne des in den Arzt gesetzten Vertrauens nicht abgelehnt werden, wenn es die Situation erlaubt. Die vom Arzt demonstrierte Sorgfalt unterstreicht die diagnostische oder therapeutische Entscheidung, selbst wenn sie nicht auf der Einzelmessung fußt, sondern möglicherweise auf den gesammelten Selbstmessungen des Patienten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen Blutdruckmessungen am bekleideten und am unbekleideten Arm. Dennoch ist bei den erhobenen Daten (Standardabweichungen der Mittelwerte der Differenzen SL – NOSL, s. Tabelle 2) vereinzelt durchaus eine klinisch nicht akzeptable Abweichung zu beobachten. Man kann an dieser Stelle erwägen, einen Entscheidungsalgorithmus zu konstruieren (vergleiche Holleman et al. 1993): Ergibt der Messwert (bekleidet) addiert mit der in der Studie gefundenen mittleren Differenz einen Wert, der einen diagnostisch oder therapeutisch relevanten Grenzwert überschreitet, wird die Messung am

unbekleideten Arm wiederholt. Im Kontext der generellen Unsicherheit der Blutdruckmessmethoden sowie der Variabilität des Blutdrucks, sogar von Herzschlag zu Herzschlag, erscheint es allerdings viel eher angebracht, auf die Bedeutung wiederholter Messungen zu verweisen anstatt der Einzelmessung zuviel Bedeutung beizumessen.

Die praktische Bedeutung der vorgelegten Ergebnisse lässt sich am besten am Beispiel aufzeigen: Als Arzt im Notdienst oder Anästhesiepfleger im OP kann man nun berechtigterweise, ohne größere Ungenauigkeiten beim Ergebnis erwarten zu müssen, über dem Ärmel Blutdruck messen. Insbesondere bei der alltäglichen Blutdruckmessung in der Arztpraxis oder im Krankenhaus übt ein Kleidungsstück unter der Manschette also erwiesenermaßen auf das Ergebnis der Blutdruckmessung keinen relevanten Einfluss aus.

## 5. Zusammenfassung

Die Frage, ob Blutdruckmessungen mit der Messmanschette über der vom Patienten getragenen Kleidung durchgeführt werden dürfen bzw. ob und wie stark die Messwerte durch Kleidung beeinflusst werden, ist bislang unzureichend behandelt. In der vorliegenden Arbeit werden Blutdruckmessungen mit und ohne Ärmel unter der Messmanschette verglichen.

201 Probanden, davon 54 mit arterieller Hypertonie, wurde mit der auskultatorisch-sphygmomanometrischen (SPH) und der digital-oszillometrischen (OSC) Methode der Blutdruck in randomisierter Reihenfolge mit und ohne getragendem Ärmel gemessen. Es wurde über gewöhnlichen Hemden und Pullovern mit bis zu 2 mm Dicke gemessen. Die sphygmomanometrischen Messungen wurden gegen den Bekleidungsstatus des Probanden verblindet.

Die Auswertung erfolgte einerseits durch 95%-Konfidenzintervalle der mittleren Differenzen zwischen Messungen im bekleideten und unbekleideten Zustand und andererseits durch Äquivalenztests. Im Mittel führte Kleidung in den SPH Messungen zu 1.0 mm Hg höheren systolischen und 0.8 mm Hg höheren diastolischen Werten. In OSC lagen die Werte mit Ärmel um 1.1 mmHg systolisch, um 0.5 mm Hg diastolisch höher. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied in den Vertrauensbereichen. Die Äquivalenztests wurden in allen Kategorien der Stichprobe erfüllt. Bekleidete und unbekleidete Messungen können innerhalb eines *a priori* definierten Äquivalenzintervalles von  $\pm 4$  mm Hg als gleichwertig angesehen werden.

Untergruppen, eingeteilt nach Höhe des gemessenen Drucks und Bekleidungsstärke, wurden zusätzlich getrennt untersucht.

Berücksichtigt man mögliche einzelne Abweichungen von klinischer Relevanz, kann die indirekte Messung des arteriellen Blutdrucks mit Sphygmomanometer und Oszillometer über dem Ärmel durchgeführt werden. Angesichts der generellen Unsicherheit der Methoden zur Messung des

Blutdrucks erscheint es für diagnostische und therapeutische Entscheidungen entscheidend, mehrere Messungen durchzuführen. Der Einfluss von Kleidung wird als klinisch nicht relevant eingeschätzt.

## 6. Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 1: Prinzip der oszillometrischen Messung.....	10
Abbildung 2: Erhebungsmerkmale.....	15
Abbildung 3: Oszillometrische Messung über dem Ärmel.....	19
Abbildung 4: Sphygmomanometrische Messung über dem Ärmel.....	19
Abbildung 5: Versuchsanordnung .....	20
Abbildung 6: Verblindung .....	20
Abbildung 7: Altersverteilung.....	23
Abbildung 8: Hypertonie in Abhängigkeit vom Alter .....	24
Abbildung 9: Alle Messungen im Vergleich.....	25
Abbildung 10: Bland-Altman <i>plot</i> (SPH SYS).....	29

## 7. Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle</b>	<b>Seite</b>
Tabelle 1: Charakteristika der Probanden.....	23
Tabelle 2: Mittlere Differenzen SL – NOSL .....	28
Tabelle 3: 95%-Konfidenzintervalle.....	28
Tabelle 4: Äquivalenztest.....	28
Tabelle 5: Charakteristika der Subgruppen (i).....	31
Tabelle 6: Mittlere Differenzen (i).....	31
Tabelle 7: Standardabweichungen der mittleren Differenzen (i).....	31
Tabelle 8: Äquivalenztest (i).....	32
Tabelle 9: Charakteristika der Subgruppen (ii).....	32
Tabelle 10: Mittlere Differenzen (ii).....	32
Tabelle 11: Standardabweichungen der mittleren Differenzen (ii).....	33
Tabelle 12: Äquivalenztest (ii).....	33

## 8. Schrifttumsverzeichnis

- August P. Initial treatment of hypertension. *N Engl J Med* 2003; **348**: 610-617.
- Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI). American national standard. Electronic or automated sphygmomanometers. ANSI/AAMI SP 10-1992. Arlington, VA, USA: AAMI, 1993: 40.
- Belmin J, Visintin JM, Salvatore R, Sebban C, Moulias R. Osler's maneuver: absence of usefulness for the detection of pseudo hypertension in an elderly population. *Am J Med* 1995; **98 (1)**: 42-49.
- Bland JM, Altman DG. Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; **i**: 307-310.
- Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* 1999; **8 (2)**: 135-160.
- Bosch und Sohn GmbH u. Co., Fabrik medizinischer Apparate. Gebrauchsanweisung „boso-medicus prestige“. Jungingen (kein Datum).
- Brem MH, Boll P, Stork W, Müller-Glaser KD, Schüttler J, Lutter N. Beat-to-beat measurement of continuous NIBP by pulse wave velocity and transit time for diagnosing and monitoring hypertension. Nicht invasive, fortlaufende Puls für Puls Messung des arteriellen Blutdrucks mittels Laser-Doppler-Flowmetrie zum Blutdruckmonitoring. *Dtsch Med Wochenschr* 2004; **129 (Suppl 3)**: S141-S172.

- Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL Jr, Jones DW, Materson BJ, Oparil S, Wright JT Jr, Roccella EJ; National Heart, Lung, and Blood Institute Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure; National High Blood Pressure Education Program Coordinating Committee. The seventh report of the Joint National Committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure: the JNC 7 report. *JAMA* 2003; **289** (19): 2560-2572.
- Cunningham T. Korotkoff sounds. *StudentBMJ* 2003; **11**: 234-235.
- Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. (Deutsche Hochdruckliga). Empfehlungen zur Blutdruckmessung. Heidelberg, 1997.
- Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. (Deutsche Hochdruckliga). Jahresbericht 2003. Heidelberg, 2003.
- Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdrucks e.V. (Deutsche Hochdruckliga). Leitlinien für die Prävention, Erkennung, Diagnostik und Therapie der arteriellen Hypertonie. *Dtsch Med Wochenschr* 2001; **126**: 201-238.
- European Society of Hypertension Working Group on Blood Pressure Monitoring. European Society of Hypertension recommendation for conventional, ambulatory and home blood pressure measurement. *J Hypertens* 2003; **322**: 821-848.
- Frohlich ED. Blood pressure measurement. *Can J Cardiol* 1995; **11** (Suppl H): 35H-37H.
- Galenius C. De usu pulsuum.

- Guidelines Committee. 2003 European Society of Hypertension – European Society of Cardiology guidelines for the management of arterial hypertension. *J Hypertens* 2003; **21**: 1011-1053.
- Haller H, Schrader J. Hypertonieforschung heute. *Dtsch Med Wochenschr* 2004; **129**: 2465.
- Holleman DR, Westman EC, McCrory DC, Simel DL. The effect of sleeved arms on blood pressure measurement. *J Gen Intern Med* 1993; **8**: 325-326.
- Jansen RW, Lipsitz LA. Postprandial hypotension: epidemiology, pathophysiology, and clinical management. *Ann Intern Med* 1995; **122** (4): 286-295.
- Kahan E, Yaphe J, Knaani-Levinz H, Weingarten MA. Comparison of blood pressure measurements on the bare arm, below a rolled-up sleeve, or a over a sleeve. *Fam Pract* 2003; **20** (6): 730-732.
- Kantola I, Vesalainen R, Kangassalo K, Kariluoto A. Bell or diaphragm in the measurement of blood pressure? *J Hypertens* 2005; **23**: 499-503.
- Korotkoff NS. On the subject of methods of determining blood pressure. *Bull Imperial Mil Med Acad (St. Petersburg)* 1905; **11**: 356.
- Lane D, Beevers M, Barnes N, Bourne J, John A, Malins S, Beevers DG. Inter-arm differences in blood pressure: when are they clinically significant? *J Hypertens* 2002; **20**: 1089-1095.
- Messerli FH, Ventura HO, Amodeo C. Osler's maneuver and pseudohypertension. *N Engl J Med* 1985; **312**: 1548-1551.

- Naqvi N, Blafox MD. Blood pressure measurement – an illustrated history, Parthenon Publications, New York 1998.
- Netea RT, Lenders JW, Smits P, Thien T. Both body and arm position significantly influence blood pressure measurement. *J Hum Hypertens* 2003; **17**: 459-462.
- O'Brien E. Ave atque vale: The centenary of clinical sphygmomanometry. *Lancet* 1996; **348**: 1569-1570.
- O'Brien E, Asmar R, Beilin L, Imai Y, Mancia G, Mengden T, Myers M, Padfield P, Palatini P, Parati P, Pickering T, Redon J, Staessen J, Stergiou G, Verdecchia P; European Society of Hypertension Working Group on Blood Pressure Monitoring. Practice guidelines of the European Society of Hypertension for clinic, ambulatory and self blood pressure measurement. *J Hypertens* 2005; **23** (4): 697-701.
- O'Brien E, Coats A, Owens P, Petrie J, Padfield PL, Littler WA, de Swiet M, Mee F. Use and interpretation of ambulatory blood pressure monitoring: recommendations of the British Hypertension Society. *BMJ* 2000; **320**: 1128-1134.
- O'Brien E, Fitzgerald D. The history of indirect blood pressure measurement, in: O'Brien E, O'Malley K. Handbook of hypertension, Vol. 14: Blood pressure measurement. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991.
- O'Brien E, Petrie J, Littler WA, de Swiet M, Padfield PL, Altman DG, Bland M, Coats A, Atkins N. An outline of the revised British Hypertension Society protocol for the evaluation of blood pressure measuring devices. *J Hypertens* 1993; **11** (6): 677-679.

- O'Brien E, Waeber B, Parati G, et al. on behalf of the European Society of Hypertension Working Group on Blood Pressure Monitoring. Blood pressure measuring devices: recommendations of the European Society of Hypertension. *BMJ* 2001; **322**: 531-536.
- O'Sullivan J, Allen J, Murray A. The forgotten Korotkoff phases: How often are phases II and III present, and how do they relate to the other Korotkoff phases? *Am J Hypertens* 2002; **15**: 268-268.
- Pickering TG, Hall JE, Appel LJ, Falkner BE, Graves J, Hill MN, Jones DW, Kurtz T, Sheps SG, Roccella EJ. Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. *Circulation* 2005; **111 (5)**: 697-716.
- Power calculator. URL: <http://calculators.stat.ucla.edu/powercalc/> [Stand: 9. Mai 2006].
- Prospective Studies Collaboration. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality: a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies. *Lancet* 2002; **360**: 1903-1913.
- Raftery EB. Technical aspects of blood pressure measurement. In: O'Brien E, O'Malley K. Handbook of hypertension, Vol. 14: Blood pressure measurement. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991.
- Reeves RA. The rational clinical examination: does this patient have hypertension? How to measure blood pressure. *JAMA* 1995; **273**:15.

- Riva-Rocci S. Un nuovo sfigmomanometro. *Gazzetta Medica di Torino* 1896; **47**: 891-896.
- Roguin A. Scipione Riva-Rocci and the men behind the mercury sphygmomanometer. *Int J Clin Pract* 2006; **60**: 73-79.
- Sternbach GL, Varon J, Fromm RE, Sicuro M, Baskett PJ. Galen and the origins of artificial ventilation, the arteries, and the pulse. *Resuscitation* 2001; **49**: 119-122.
- Tholl U, Anlauf M, Lichtblau U, Roggenbuck U, Hirche H. Test seal protocol (Prüfsiegel) – results of 40 device tests. *Dtsch Med Wochenschr* 2004; **129 (Suppl 3)**: S170.
- Venet R, Miric D, Pavie A, Lacheheb D. Korotkoff sound: the cavitation hypothesis. *Med Hypotheses* 2000; **55 (2)**: 141-146.
- Wonka F. Oscillometric blood pressure measurement: description of the method used. *Z Kardiol* 1996; **85 (Suppl 3)**: 1-7.
- Wood DR, Simmons JO. Effect of an upper-arm constricting device on arm blood pressure measurements. *J Am Osteopath Assoc* 1990; **90**: 1081.

## Erklärung

Ich erkläre, dass ich die an der Ludwig-Maximilians-Universität eingereichte Dissertation mit dem Titel

**Der Einfluss von Bekleidung unter der Messmanschette auf das Ergebnis der sphygmomanometrischen und oszillometrischen Blutdruckmessung**

in der Medizinischen Poliklinik des Klinikums Innenstadt unter Betreuung von

*Herrn Professor Dr. med. J. Bogner*

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Weiterhin versichere ich, dass ich den beantragten Titel bisher noch nicht erworben habe.

Teile dieser Dissertation wurden an folgendende Publikationsorgane zur Veröffentlichung eingereicht:

Liebl ME, Holzgreve H, Schulz M, Crispin A, Bogner JR. The effect of clothes on sphygmomanometric and oscillometric blood pressure measurement. *Blood Pressure* 2004; **13**: 279-282

Liebl ME, Holzgreve H, Schulz M, Crispin A, Bogner JR. The effect of clothes on blood pressure measurements. Blutdruckmessungen mit bekleidetem und unbekleidetem Arm: kein Unterschied. *Dtsch Med Wochenschr* 2004; **129** (Suppl 3): S159

München, 01.09.2006

## Danksagung

Besonders herzlicher Dank gebührt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Johannes Bogner für das Überlassen des außergewöhnlichen Themas sowie für die stets so freundliche Betreuung und die herausragende Unterstützung.

Für sein außergewöhnliches Engagement und Interesse sowie für die Unterstützung beim Entwurf des Studiendesigns und der Publikation der Ergebnisse gilt Herrn Prof. Dr. med. Heinrich Holzgreve herzlicher Dank.

Herrn Dr. med. Alexander Crispin (MPH) danke ich für die wertvolle statistische Beratung sowie für die Einführung in die Statistik-Software.

Mein freundschaftlicher Dank gilt Mathias Schulz für die konsequente Mitarbeit bei den vielen hundert Blutdruckmessungen und der teils aufwendigen Probandensuche.

Dem Pflegepersonal der Station Med. IV der Poliklinik in der Pettenkoflerstraße danke ich für die Hilfe bei der Probandensuche.

Julia und Moritz bin ich in freundschaftlicher Dankbarkeit verbunden für die Hilfe bei den Photoaufnahmen zur Illustration des Versuchsaufbaus.

Raphael danke ich herzlich für das Lektorat und die Beantwortung vieler computertechnischer Fragen.

Dorothee danke ich von ganzem Herzen für Ihre Unterstützung und Freundschaft.

## Lebenslauf

### Persönliche Daten:

Name: Max Emanuel Liebl  
 Geburtsort: Starnberg  
 Geburtsdatum: 25. Mai 1979  
 Staatsangehörigkeit: deutsch

### Schulbildung:

1999 Abitur am Comenius Gymnasium Deggendorf

### Wehrdienst:

1999-2000 Sanitätsdienst  
 3./gemischtes Lazarettregiment 12, Feldkirchen

### Akademische Laufbahn:

2000-2006 Studium der Humanmedizin an der LMU München  
 2002 Physikum  
 2003 Erstes Staatsexamen  
 2005 Zweites Staatsexamen  
 2006 Drittes Staatsexamen

### Publikation:

Liebl ME, Holzgreve H, Schulz M, Crispin A, Bogner JR. The effect of clothes on sphygmomanometric and oscillometric blood pressure measurement. *Blood Pressure* 2004; **13**: 279-282.

### Posterpräsentation:

Hypertonie 2004, 28. Wissenschaftlicher Kongress der Deutschen Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdruckes, Hannover.