

Aus der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
Akademischer Leiter: Prof. Dr. med. Norbert Weiler
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Evaluation einer kontinuierlichen, nicht invasiven Blut-
druckmessung im Vergleich zur invasiven arteriellen Blut-
druckmessung**

Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Vorgelegt von

Patrick Berg

aus **Itzehoe**

Kiel 2017

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Ole Broch

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Assad Haneya

Tag der mündlichen Prüfung: 18.09.2017

Zum Druck genehmigt, Kiel den 07.02.2017

gez. Priv.-Doz. Dr. med. Matthias Grünewald
(Vorsitzende der Prüfungskommission)

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I
1. EINLEITUNG	1
2. MATERIAL UND METHODEN	5
2.1. GEGENSTAND DER UNTERSUCHUNG	5
2.2. UNTERSUCHUNGSMETHODEN	5
2.2.1. Arterielle kontinuierliche Blutdruckmessung	5
2.2.2. CNAP Messung	6
2.3. VERSUCHSABLAUF	11
2.4. NARKOSE	13
2.5. MEßWERTE	13
2.6. STATISTISCHE BERECHNUNGEN	14
3. AUSWERTUNG	16
3.1. DEMOGRAPHISCHE DATEN	16
3.2. GRAPHISCHE ILLUSTRATION DES BLAND-ALTMAN-PLOT	17
3.2.1. Differenzen des systolischen Blutdrucks während der Einleitung der Narkose	18
3.2.2. Differenzen des Mitteldrucks während der Einleitung der Narkose	19
3.2.3. Differenzen des diastolischen Blutdrucks während der Einleitung der Narkose	20
3.2.4. Differenzen des systolischen Blutdrucks während der OP Periode	21
3.2.5. Differenzen des Mitteldrucks während der OP Periode	22
3.2.6. Differenzen des diastolischen Blutdrucks während OP Periode ...	23
3.3. UNTERSCHIEDE DER MITTLEREN DIFFERENZEN ZWISCHEN DER ARTERIELLEN BLUTDRUCK MESSUNG UND DER CNAP- MESSUNG WÄHREND DER EINLEITUNG UND DER OP PHASE	24
3.4. PROZENTUALER FEHLER	25
3.5. BLUTGASANALYSE	26
4. DISKUSSION	27

4.1. STUDIENZIELE	27
4.2. STUDIENERKENNTNISSE	27
4.3. VORANGEGANGENE CNAP STUDIEN	27
4.4. EINFLUSSVARIABLEN	33
4.4.1. Einleitung vs. Operationsphase	33
4.4.2. Keine metabolischen Veränderungen im Finger aufgrund Venostase	34
5. LIMITATION	36
6. ZUSAMMENFASSUNG	37
ANHANG	39
LITERATURVERZEICHNIS	39
7. ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	41
8. VERÖFFENTLICHUNGSVERZEICHNIS	42
9. DANKSAGUNG	43
10. LEBENSLAUF	44

Abkürzungsverzeichnis

AAMI	Association for the Advancement of Medical Instrumentation
A	Arterie
BE	base excess
BMI	body mass index
kap	kapillar
CNAP	Continuous Non-Invasive Arterial Pressure Kontinuierlicher nicht invasiver arterieller Blutdruck
EKG	Elektrokardiogramm
FIO ₂	inspiratorische Sauerstoffkonzentration
Hz	Hertz
HZV	Herzzeitvolumen
IBP	invasiver Blutdruck
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
KH	Krankenhaus
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
NIBP	nicht invasiver nicht kontinuierlicher Blutdruck
OP	Operation
paCO ₂	Kohlendioxidpartialdruck
PE	percentage error
paO ₂	Sauerstoffpartialdruck
ZVK	zentraler Venenkatheter

1. EINLEITUNG

„We are investigating the role of blood pressure variations from a clinical point of view for two main reasons. The first reason is to discover the force that blood pressure exerts on vascular walls and thus on the strength of the vessel walls and those issues, and above all the maximum and minimum probability of wall rupture. The second reason is that we want to assess cardiac performance and its circulatory and biological consequences (Scipione Riva-Rocci).“

Schon seit der Entdeckung, dass es im menschlichem Körper ein konstantes Blutvolumen und einen Blutdruck von circa 120/80 mmHg gibt, sind sich Mediziner über die wichtige Rolle des Blutdrucks für die Organperfusion einig. Damit wurde es ein zentrales Ziel der Mediziner, den Kreislauf mit Hilfe der Blutdruckmessung zu überwachen. Schon 1896 ahnte Scipione Riva-Rocci, dass die Herzaktivität und das Blutgefäßsystem in einem engen Zusammenhang stehen. Frühzeitig formulierte er, dass Blutdruckmessungen unter den gleichen Bedingungen vergleichbar und reliabel sein müssen.

Heutzutage ist der Blutdruck einer der wichtigsten klinischen Variablen, um die Kreislaufsituation eines Patienten zu beurteilen. Deshalb wird er in vielfältigen Situationen und auf unterschiedliche Art und Weise gemessen: zur schnellen Orientierung der Kreislaufsituation in der Notfallmedizin, als Standarduntersuchung bei einer Patientenaufnahme im Krankenhaus oder zur Kreislaufverlaufskontrolle im Aufwachraum nach Operationen oder auf der Station im Krankenhaus. Der Blutdruck kann auch selbst eine Pathologie darstellen. Deshalb führen viele Patienten bei bestehender arterieller Hypertonie zur Blutdruckverlaufskontrolle und Therapiesteuerung eine regelmäßige Selbstmessung des Blutdrucks zu Hause durch. Eine wichtige Rolle spielt die Blutdrucküberwachung zudem perioperativ. Sie lässt Rückschlüsse auf die allgemeine Kreislaufsituation des Patienten in Narkose zu und gibt dem Anästhesisten die Möglichkeit, Rückschlüsse auf z.B. Narkosetiefe, Volumenstatus und Medikamentenwirkungen zu ziehen.

Bei der perioperativen Blutdrucküberwachung gibt es zwei unterschiedliche Methoden: zum einen die nicht invasive, nicht kontinuierliche oszillometrische Blutdruckmessung (NIBP: non invasive blood pressure) über eine Oberarmmanschette, welche in einem zuvor festgelegten Zeitintervall eine Blutdruck-

messung durchführt. Zum anderen die invasive, kontinuierliche Blutdruckmessung, in der Regel durch einen Katheter in einer peripheren Arterie (IBP: intraarterial blood pressure), welche einen kontinuierlichen Blutdruck z.B. in der Arteria radialis misst. Die Entscheidung welche der beiden Blutdrucküberwachungsmethoden die zweckmäßigste für den Patienten ist, hängt von den Begleiterkrankungen des Patienten und dem operationsbedingten Risiko ab. Besonders multimorbide Patienten profitieren von einer kontinuierlichen perioperativen Überwachung des Blutdrucks, weil diese Patienten weniger Kompensationsmöglichkeiten besitzen als ein gesunder Mensch. Hier liefert die kontinuierliche Anzeige des Blutdrucks dem Anästhesisten die Möglichkeit, auf Kreislaufveränderungen direkt angemessen therapeutisch reagieren zu können. Des Weiteren ist es über den intraarteriellen Zugang möglich, arterielles Blut für Laborkontrollen abzunehmen. Durch diese Blutgasanalyse ist es dann möglich, u.a. Aussagen über die Beatmungssituation, den Säure-Basen-Haushalt und über den Elektrolytstatus des Patienten treffen zu können.

Beide Methoden der Blutdruckmessung haben auch Nachteile. Eine Anzahl von klinischen Studien hat gezeigt, dass beide Messmethoden Risikopotenzial aufweisen. So kann die NIBP bei längerer Anwendung und kurzen Intervallen Haut- [1, 2] und Nervenschäden [3] verursachen. Ein weiteres Problem ist, dass eine lückenlose Blutdrucküberwachung mit der NIBP gar nicht möglich ist. Die Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) empfiehlt als Standard einen Zeitintervall zwischen drei und fünf Minuten zu wählen [4]. Zwischen den Intervallen können plötzliche hämodynamische Schwankungen nicht bemerkt und erst zu spät therapeutisch behandelt werden. Eine Studie hat gezeigt, dass bei der intraoperativen Blutdrucküberwachung mittels NIBP mehr als 20% aller hypotensiven Episoden während eines Eingriffs nicht, und weitere 20% erst mit einer Zeitverzögerung entdeckt werden [5]. Dabei sind diese mit kardialen Ereignissen assoziiert. Es ist bekannt, dass in 56% der Fälle intraoperative hypotensive Episoden kardialen Ereignissen vorausgehen [6]. Monk und Mitarbeiter konnten zeigen, dass perioperative hypotone, Ereignisse die Ein-Jahres-Mortalität signifikant erhöhen [7]. Diese Daten legen nahe, dass die Überwachung des

Blutdrucks mittels NIBP für die intraoperative Überwachung bei einem Patienten mit kardiovaskulären Risiko unzureichend sein kann.

Bei der IBP liegen andere Risikofaktoren und Probleme vor. So ist die Anlage des intraarteriellen Katheters eine invasive Prozedur. Diese benötigt mehr Zeit, Erfahrung und Übung als die Anlage der NIBP. Komplikationen die bei der IBP auftreten können, sind Gefäßverschlüsse (13%), Hämatome (12%), abnormale Pulse (15%), unbemerkte Blutverluste bei Diskonnektion, Nervenläsionen, Nekrosen und Fistelbildung [8]. Eine weitere Studie berichtet außerdem über katheter-assoziierte Infektionen [9] bei längerer Anwendung.

Das ideale Blutdruckmonitoring sollte deshalb sowohl, exakt und risikolos sein als auch einfach anzuwenden sein und kontinuierliche Messungen ermöglichen. Diese Lösung versucht die Continuous Non-Invasive Arterial Pressure Messung (CNAPTM CNSystems Graz Österreich) in sich zu vereinen. Die neue Idee war, eine kombinierte intermittierende Messung mit einer Oberarmmanschette, welche der Kalibration dient und einer kontinuierlich messenden Fingermanschette am Zeige- und Mittelfinger zu realisieren. Dabei werden nach der „vascular unloading Technique“ dem Prinzip der entspannten Gefäßwand, die kontinuierlichen Blutdruckwerte am Finger ermittelt. Das Kalibrierungsintervall ist dabei variabel einzustellen.

Um die Funktion des Gerätes zu überprüfen wurden die Messungen zum einen während der Anästhesie Einleitung, in der es häufig zu Blutdruckschwankungen kommt und zum anderen in der stabilen Plateau-Phase der Narkose durchgeführt.

In der vorliegenden Arbeit soll nun die Genauigkeit des CNAP Gerätes im Vergleich zum Goldstandard der IBP in der klinischen Routine untersucht werden und zudem überprüft werden, ob eine dauerhafte Stauung der kontinuierlichen RR Fingermessung potenzielle hypoxische Gewebeschädigung verursacht.

Um diese Fragen zu erläutern, wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Die systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruckwerte der kontinuierlichen, nichtinvasiven Blutdruckmessung und der intraarteriellen Blutdruckmessung sind annähernd gleich, sodass beide Verfahren als austauschbar angesehen werden können.
2. Die kontinuierliche, nichtinvasive Blutdruckmessung kann Kreislaufschwankungen, wie sie zum Beispiel bei der Anästhesieeinleitung vorkommen, ebenso präzise abbilden wie die invasive Messung des Blutdrucks.
3. Die kontinuierliche nichtinvasive Blutdruckmessung bildet die Hämodynamik während langer operativer Phasen ebenso genau ab wie die invasive Messung des Blutdrucks.
4. Die jeweils 30-minütige kontinuierliche, nichtinvasive Blutdruckmessung mittels Fingermanschette verursacht keine ischämischen Veränderungen des Messfingers.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Gegenstand der Untersuchung

In dieser prospektiven klinischen Observationsstudie wurden nach Genehmigung durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (AZ: A109/09) insgesamt 50 Patienten eingeschlossen.

Einschlusskriterien für diese Studie waren

1. Indikation für eine IBP-Messung gemäß der klinischen Routine bei kardiovaskulären Komorbiditäten,
2. ein zu erwartender Blutverlust von über 1000 ml
3. Einstufung durch die ASA Klassifikation in die Gruppen 1-3.
4. Eingriffe auf dem Gebiet von vier unterschiedlichen Fachgebieten: der Abdominal-, der Gefäß-, der Thoraxchirurgie und der Urologie.

Als Ausschlusskriterien galten:

1. Patientenalter jünger als 18
2. Body-Mass-Index (BMI) von über 35 kg m^{-2}
3. Gefäßpathologien an der oberen Extremität
4. Notfalleingriffe
5. positiver Allen Test.

2.2. Untersuchungsmethoden

2.2.1. Arterielle kontinuierliche Blutdruckmessung

Für eine kontinuierliche Blutdruckmessung benötigt man einen Katheter in einer (peripheren) Arterie. Als bevorzugter Ort wird hierfür die A. radialis oder die A. femoralis gewählt. In unserem Fall fand die Messung des IBP ausschließlich über die A. radialis statt. Die Anlage eines arteriellen Katheters erfolgt in Seldinger Technik (Arrow-Set 20G, Intl., Reading, PA, USA). Der Katheter wird über ein hydrostatisches System mit einem Druckabnehmer verbunden. (Transducer DPT-6000, CODAN pvb Critical Care GmbH, Forstinning, Germany). Dieser wandelt den Druck in ein elektrisches Potenzial um. Der Druckpuls wird als eine kontinuierliche Kurve dargestellt. Außerdem findet eine Anzeige in numerische, systolische, diastolische und mittlere Blutdruckwerte statt, die auf dem Monitor dargestellt werden.

Auf eine korrekte Installation des Abnehmersystems auf Herzhöhe wurde dabei geachtet. Anschließend wurde der Nullabgleich vorgenommen. Um zu gewährleisten, dass die invasive Blutdruckmessung den zu ermittelnden Blutdruck ohne Schleuderzacken und Über- oder Unterdämpfung misst wurde vor dem Messbeginn eine Kalibrierung durchgeführt.

Die Kalibrierung des arteriellen Systems zur Ermittlung des Dämpfungskoeffizienten und der natürlichen Frequenz des hydrostatischen Umwandler-Systems wurden durch den „Flush-Test“ auf die richtige Anlage und Lage in der Arterie getestet, welcher durch Gardner und Kleinmann beschrieben wird [10, 11]. Dabei zeigt die Frequenz wie schnell die Oszillationen durch den „Flush-Test“ registriert wird. Ein Maß für den Dämpfungskoeffizienten war wie schnell sich die Oszillation wieder beruhigt.

2.2.2. CNAP Messung

Auf eine ganz andere Art werden die Blutdruckwerte mit der CNAP-Messung erhoben. Wir verwendeten einen CNAP™ Monitor 500 (CNSystems AG in Graz, Österreich) der am 19.02.2007 durch den TÜV Austria Services GmbH CE-zertifiziert worden ist.

Um den kontinuierlichen, nicht invasiven Blutdruck zu messen, benötigen wir in der zweiten, vergleichenden Messmethode den CNAP™ Monitor und ergänzend dazu eine Fingermanschette sowie die oszillometrisch messende Oberarmmanschette für die in variablen Intervallen durchgeführten Kalibrierungsmessung (Abb. 5a/5b). Die Fingermanschetten liegen integriert mit Sensoren und eine luftgefüllte Manschette zur Messung der kontinuierlichen Blutdruckkurve, in drei unterschiedlichen Größen (10-20-30mm) vor. Diese bestehen aus zwei jeweils zu beiden Seiten offenen Zylindern, die individuell nach der jeweiligen Fingerumfanggröße des Patienten zuvor ausgewählt wurden.



Abbildung:

1a: CNAP Monitor mit Fingermanschetten

1b: Oberarmmanschetten und Cuffcontroller

Quelle: CNSystems Medizintechnik AG Graz, Österreich

Das Kalibrierungsintervall erfolgte in unserem Fall halbstündlich. Das halbstündliche Messintervall ist in der Studie aufgrund eines guten Zeitverhältnisses von Messzeitunterbrechung aufgrund der anfänglichen Kalibrierungszeit (2 Min.) und der kontinuierlichen folgenden Messzeit gewählt worden.

Die Kalibrierung erfolgt automatisch auf Grundlage der zuerst unkalibriert aufgezeichneten Blutdruckkurve der Fingermanschette auf die einmalige oszillometrische Oberarmmessung. Aus den systolischen und diastolischen Blutdruckwerten der Oberarmmessung wird dann die kalibrierte Wellenkurve dargestellt und die für das nächste Messintervall folgenden errechneten Blutdruckmesswerte angezeigt.

Diese Messmethode entspricht den Grundsätzen der „vascular unloading Technique“, dem Prinzip der entspannten Gefäßwand [12-14]: Dabei schickt ein Sender in der Fingermanschette infrarotes Licht durch den proximalen Anteil des Fingers zu einem Sensor und kann so den sich mit dem Herzschlag pulsatil ändernden Blutfluss plethysmographisch messen. Dies funktioniert durch eine erhöhte Absorption des ausgesandten infraroten Lichtes aufgrund des erhöhten Blutvolumens in der Systole in der Fingerarterie. Dadurch trifft weniger Licht auf eine Fotozelle auf der gegenüberliegenden Seite erstmalig durch Penaz et al. 1975 beschrieben [15], wodurch die Zunahme des Blutflusses im Gefäß detektiert wird.

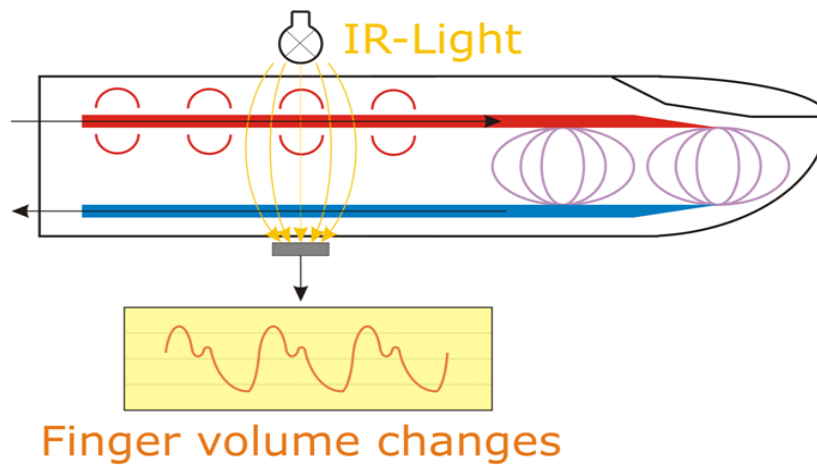


Abbildung 2: Infrarotmessung am Finger

Quelle: CNSystems Medizintechnik AG, Graz; Österreich

Diese Übertragung des pulsierenden Blutvolumens im Finger in ein plethysmographisches Signal wird über einen Rückkopplungsmechanismus in Korrelation zum Manschettendruck gebracht. Das Gerät regelt den Druck in der Fingermanschette so, dass der Fluss konstant ist. Das heißt, in der Systole ist der Druck in der Manschettenkammer erhöht- und in der Diastole erniedrigt. Demzufolge erreicht man eine entspannte Arterienwand, welche man sich nur noch als eine flottierende Membran zwischen messender Manschette und den zu messenden Arterieninnenverhältnissen vorstellt. Dadurch herrschen die gleichen Druckverhältnisse in dem Gefäß und der (messenden) Fingermanschette. Der transmurale Druck ist somit null. Unter diesen Bedingungen gilt, dass der Innendruck auf die Gefäßwand dem künstlich erzeugten Außendruck entspricht. Somit ermöglicht die Messung des Außendrucks die Bestimmung des intraarteriellen Blutdrucks. (Abb.3)

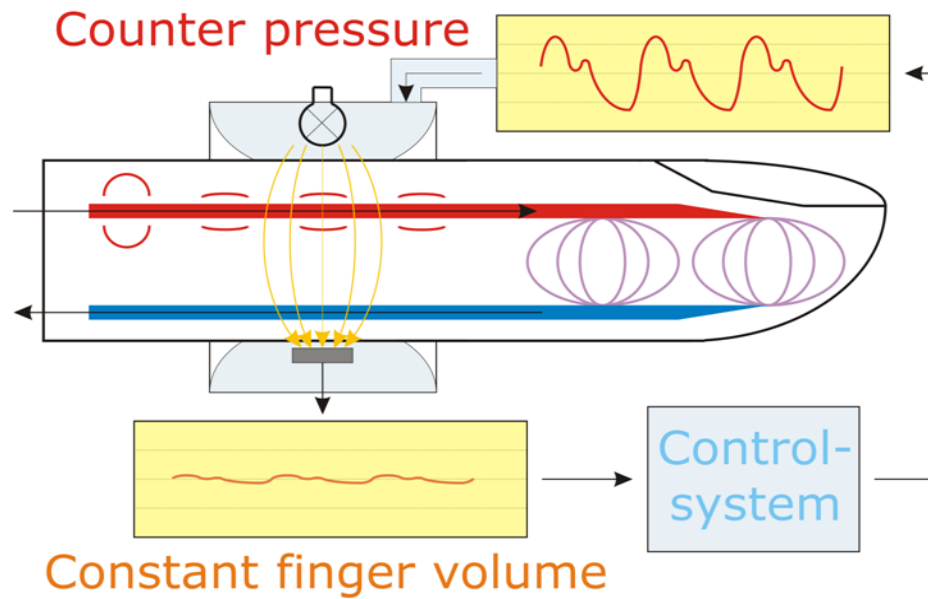


Abbildung 3: Druckmessung am Finger

Quelle: CNSystems Medizintechnik AG, Graz; Österreich

Es ist hinreichend untersucht, dass der Blutdruck an unterschiedlichen Messpunkten aufgrund von peripheren Reflexionen und lokalen Potenzierungen variieren kann [16]. In der folgenden Abbildung 4 sind diese unterschiedlichen Druckkurven beispielhaft an den verschiedenen Ableitungsorten am Arm dargestellt.

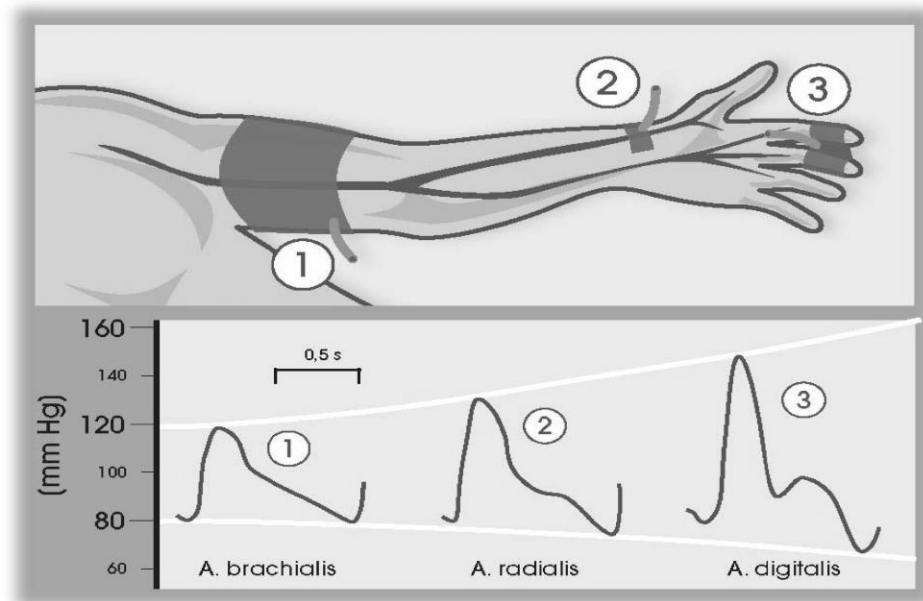


Abbildung 4: Spezifische Blutdruckkurven an unterschiedlichen Messorten

Quelle: CNSystems Medizintechnik AG, Graz; Österreich

Zu abweichenden Messungen des Blutdrucks könnte es auch durch hydrostatische Differenzen, welche die verschiedenen Armabschnitte zur Herzhöhe z.B. durch Lageveränderungen prä- und intraoperativ aufweisen können, kommen. Das wurde unverzüglich korrigiert und stark differente Messwerte nachträglich ausgeschlossen.

Damit diese beiden äußeren Störeinflüsse der Messung am Finger minimiert werden erfolgt nach der Ermittlung der ersten unkalibrierten Fingermessung die Kalibrierung mittels der Oberarmmanschette auf die am Oberarm gemessenen systolischen und diastolischen Blutdruckwerte. Die Kalibrierung des CNAPTM Systems beruht auf der Softwareversion 3.1. Der CNAPTM Monitor speichert die Blutdruckwerte bis zur erneuten Oberarmmessung und berechnet danach die weiteren Blutdruckwerte auf Grundlage der erneuten Kalibrierung fürs anstehende Messintervall. In der folgenden Abbildung werden die vier zuvor beschriebenen Verfahrensabläufe genau dargestellt.

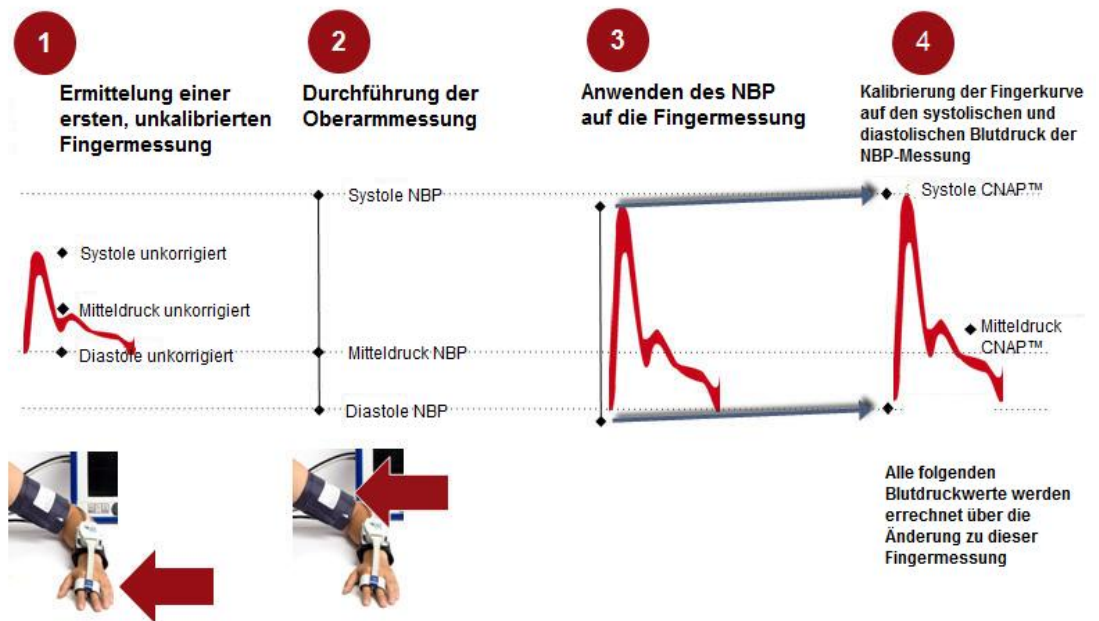


Abbildung 5: Kalibrierung der ersten Fingermessung auf Grundlage der halbstündlichen NBP Messung mit der CNAP™ Version 3.1,

Quelle: CNSystems Medizintechnik AG, Graz; Österreich

2.3. Versuchsablauf

Vor der Aufnahme in die Studie wurden alle Patienten am Vortag der Operation mündlich und schriftlich über den Inhalt der Studie aufgeklärt und es wurde die diesbezügliche Einverständniserklärung eingeholt.

Nach der Einschleusung in den Operationsbereich wurde die gleichzeitige Datenerhebung der beiden Blutdruckmessmethoden zuerst im Einleitungsraum begonnen und dann im Operationssaal fortgesetzt. Dabei wurde der Patient in der Einleitung mit allen zur Standard-Überwachung benötigten Messapparaturen versehen. Dazu gehörten das Befestigen einer Pulsoxymetrie, einer Blutdruckmanschette und eines 5-Kanal EKGs. Für die CNAP Messung legten wir dem Patienten die Oberarmblutdruckmanschette kontralateral zur IBP und die dazugehörige Fingermanschetten des CNAP-Systems ipsilateral zur IBP an. Benötigte Zugänge, wie den intravenösen zur Medikamenten- und Volumenapplikation und den intraarteriellen zur invasiven, kontinuierlichen Blutdrucküberwachung, wurden dann angelegt.

Vor der eigentlichen Anlage der intraarteriellen Blutdruckmessung haben wir bei den Patienten den sogenannten „Allen-Test“ durchgeführt. Hierbei wurde

vom Untersucher sowohl die Art. radialis, als auch die Art. ulnaris handgelenksnah am Patientenarm abgedrückt. Nach mehrmaligem Öffnen und Schließen der Hand, um das periphere Blut aus der Hand zu pumpen, gibt der Untersucher die A. radialis wieder frei, während die A. ulnaris weiterhin abgedrückt bleibt. Nun sollte sich innerhalb von fünf bis sieben Sek. die Durchblutung der Hand durch die wieder geöffnete Arterie normalisiert haben. Danach wird der Test mit dem Öffnen der anderen Arterie durchgeführt, um auch hier eine ungehinderte Blutpassage darzustellen. Bei einer längeren Füllungszeit von über sieben Sek. wurde der „Allen-Test“ als positiv bewertet und die Patienten wurden aufgrund der nicht Durchführbarkeit der intraarteriellen Blutdruckmessung an der A. radialis nicht mit in die Studie aufgenommen. Bei negativem Allen-Test wurde die arterielle Blutdruckmessung etabliert. Die Punktion erfolgte entsprechend der klinischen Routine. Beim Anbringen des CNAP-Systems war darauf zu achten, dass die Fingermanschetten ipsilateral und die Oberarmmanschette kontralateral zur arteriellen Messung angelegt worden sind. Das bedeutet, dass wir die Fingermanschette nach der Anlage der intraarteriellen Messung über den Zeige- und Mittelfinger des punktierten Arms geschoben haben und über den Cuff Controller an den CNAPTM Monitor anschlossen. Die dazugehörige Oberarmmanschette befestigten wir am kontralateralen Oberarm. Um die nach den Herstellerangaben richtigen Größen der Oberarmmanschette und der Fingermanschette zu wählen, haben wir den Arm- und die Fingerumfänge präoperativ vermessen. Nach der erstmaligen Kalibrierung des CNAP-Gerätes wurden die Intervalle so gewählt, dass die erneute Kalibrierung mit der Oberarmmessung und der damit verbundene Fingerwechsel an der Fingermanschette alle 30 Min. durchgeführt wurden. Unsere Messzeiten für die Einleitung sollten mindestens eine halbe Stunde und für die OP eine Stunde betragen.

Bei beiden Messmethoden wurde darauf geachtet, dass beide Druckumwandler jeweils auf Herzhöhe platziert waren. Um den Blutdruck nun messen zu können, erfolgte die Kalibrierung auf die gemessene Kurve der oszillometrischen Blutdruckmessung am Oberarm. Der CNAP Druck war dabei für den Anästhesisten nicht sichtbar. Die Behandlung erfolgte lediglich nach den arteriellen Blutdruckwerten.

2.4. Narkose

Die Narkoseeinleitung und Aufrechterhaltung während der OP wurde entsprechend der klinischen Erfordernisse durchgeführt. Ein spezielles Narkoseregime war dabei nicht vorgegeben. Weitere intravasale Zugänge, wie ein zentraler Venenkatheter wurden nach klinischen Erfordernissen bei den Patienten noch in der Einleitung oder während der Operation angelegt. Die intraoperative Überwachung und postoperative weitere Betreuung entsprach dem Routinevorgehen der geplanten Eingriffe.

2.5. Messwerte

Die Aufzeichnung der erhobenen Blutdruckwerte erfolgte über einen angeschlossenen Laptop, mit der Software Collect S5 (Datex OhmedaS5™ Collect; GE Healthcare, Helsinki, Finnland). Durch diese Software führten wir den nachträglichen Export der aufgezeichneten Daten während der Einleitung und der Operation durch. Dabei wurde jeder erfasste systolische, diastolische und mittlere arterielle Blutdruck zeitgleich von der invasiven Messung und dem CNAP Monitor erfasst, so dass synchrone Messwertdatenpaare in eine Textdatei gespeichert wurden. Um aussagekräftige Messareale auswerten zu können, wurden Messzeiträume, in denen umgelagerter arterielle Zugang gespült- und eine Blutgasanalyse entnommen wurde, ausgeschlossen.

Aus den insgesamt 9654 Datenpaaren haben wir durch die MatLab Software aus der Narkoseeinleitungsphase 50 und weitere 150 weitere Messwertpaare aus der Operationphase computerrandomisiert ausgewählt. Bei einem Datenpaar handelt es sich z.B. um den systolischen Blutdruckwert der kontinuierlichen, nichtinvasiven Blutdruckmessung und den systolischen Blutdruckwert der intraarteriellen Blutdruckmessung eines Herzschlages. Außerdem wurde noch ein Datenpaar des mittleren und diastolischen Blutdruckwerts der kontinuierlichen, nichtinvasiven Blutdruckmessung und dem mittleren und diastolischen Blutdruckwert der intraarteriellen Blutdruckmessung aufgezeichnet. Dabei ist bei der Selektion der Datenpaare darauf geachtet worden, diese immer nur aus artefaktarmen Messperioden auszuwählen. Artefakte bei der Messung des Rohsignals, welche durch die Kalibrierung, Lagerungs-

maßnahmen, Blutabnahmen, oder Pflegemaßnahmen entstanden, wurden von der Software erkannt und von weiteren Berechnungen ausgeschlossen. Dazu zählten auch Messwerte, die zu über 40 % von dem vorherigen gemessenen Wert abwichen, und die ersten 30 Schläge nach einer Kalibrierungsphase wurden aufgrund der Beeinflussung der Blutdruckmanschette auf das Gefäßsystem selbst nicht mit einbezogen. So erhielten wir 50 vergleichbare Messwerte für die Einleitung und 150 vergleichbare Messwerte für die OP Dauer.

Bei 15 Patienten nahmen wir nach 25-minütiger Fingerblutdruckmessung durch das CNAP System die kapillare- und arterielle Blutgasanalyse vor. Dabei wählten wir den jeweiligen gerade zuletzt gemessenen Zeige- oder Mittelfinger am Ende des 30-minütigen Messintervalls aus und entnahmen dort über ein Kapillarröhrchen Blut für die kapillare Messung. Blut für die arterielle Blutgasanalyse entnahmen wir zur gleichen Zeit aus dem arteriellen Zugang. Anhand dessen wollten wir eine anaerobe Glykolyse und einen Zellschaden im Messareal nachweisen und zogen dafür das Verhältnis vom Kaliumwert im Kapillarblut zum Serumkalium heran. Des Weiteren haben wir den Sauerstoffpartialdruck, den Kohlendioxidpartialdruck, den Kalium-, den Glukose-, den Laktatwert und die Basenabweichung (Base Excess) gemessen, um mit zusätzlichen Messparametern eine Aussage über die Gewebeoxygenierung und die ablaufenden ischämischen Veränderungen treffen zu können.

2.6. Statistische Berechnungen

Ziel der statistischen Auswertung war, die Übereinstimmung der beiden Messmethoden zu zeigen. Die graphische Darstellung und statistische Auswertung der erfassten Daten wurde mit der Software Prism 5.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) durchgeführt. Um die Vergleichbarkeit der Messwerte von CNAP und der IBP zu überprüfen, wurde das statistische Verfahren nach Bland und Altman herangezogen (Lancet 1986).

Dabei berechneten wir zuerst die Differenzen der gemessenen Blutdruckwerte zwischen beiden Messmethoden für den systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruckwert und trugen diese jeweils gegen ihre Mittelwerte auf.

Die doppelte Standardabweichung (2SD) gibt dabei in den Diagrammen den Bereich an, in dem 95% aller Werte liegen. Die Schwere der mittleren Abweichung ist durch den Bias, das ist der Mittelwert der Differenz der Einzelwerte, aufgezeigt. Die Abweichungen um den Nullwert machen dabei eine Unter- oder Überschätzung der Messmethoden zueinander graphisch deutlich. Als Kriterium der Austauschbarkeit benutzen wir den Percentage Error (PE) nach Critchley [17].

Der Percentage Error wird als Quotient aus doppelter Standardabweichung und arithmetischem Mittel aller Einzelwerte aus Referenzmethode und untersuchter Methode angegeben. In der Arbeitsgruppe von Critchley und Critchley wurde ein Schwellenwert von 30% (Fehlerprozent) als klinisch vertretbar definiert, angewandt zum Vergleich von Herz-Zeit-Volumen (HZV) Messungen. Diese prozentualen Fehler sind aber nicht genau auf die arterielle Blutdruckmessung zu übertragen, weil sie auf einer geschätzten Genauigkeit von 20% für das Referenzverfahren bei HZV Messungen begründet sind. Daher stützen wir uns auf eine neue Berechnung der Präzision für die arterielle Berechnung (von der Arbeitsgruppe Ilies et al.), wo Cut-off-PE Werte als Austauschkriterium für den systolischen RR-Wert 14,7%, für den diastolischen Wert 17,5% und für den mittleren RR-Wert 18,7% berechnet wurden.

3. AUSWERTUNG

3.1. Demographische Daten

In dieser Studie haben wir Daten von 50 Patienten ermittelt und konnten 9654 Datenpaare erfassen die anschließend ausgewertet wurden.

Tabelle 1: Demographische Daten der eingeschlossenen Patienten Anzahl, MW, SD, %, MW (Range)

	Demographische Daten der Studie
Männer/Frauen	40/10
Körpergewicht in kg	80,2 (52-115)
Alter in Jahren	65,2 (41 - 85)
Körpergröße in cm	174,6 (150 - 190)
BMI in kg/m ²	26,3 (18 - 34)
ASA (u) 1/2/3	2/20/28

Auf die sich rechnerisch ergebenden 200 mal 50 gleich 10000 Datenpaare sind wir aufgrund von drei artefaktreichen Messungen bei drei Patienten nicht gekommen. So kam es z.B. vor, dass die Einleitungszeiten der Patienten zu kurz waren, um genügend verwertbare Messdatenpaare aufzuzeichnen. Oder es sind aufgrund von zu vielen Artefakten während der Messung nicht genügend vergleichbare Datenpaare entstanden. Zwei Patienten konnten aufgrund eines positiven „Allen-Tests“ nicht mit in die Studie integriert werden.

Tabelle 2: Aufgliederung der 50 Patienten zu Fachgebieten Anzahl

Chirurgische Fachrichtung der OP	Anzahl der OP
Abdominalchirurgie	26
Urologie	5
Gefäßchirurgie	16
Thoraxchirurgie	3

3.2. Graphische Illustration des Bland-Altman-Plot

Die nachfolgenden Graphiken veranschaulichen die Übereinstimmung der intraarteriell gemessenen Blutdruckwerte und der erhobenen Messergebnisse der CNAP-Messung. Zuerst werden die systolischen-, dann die mittleren- und zuletzt die diastolischen Mittelwerte beider Blutdruckmessmethoden in der Einleitungsphase und in der Operationsperiode graphisch dargestellt. Als nächstes folgt die graphische Gegenüberstellung der systolischen, diastolischen und der mittleren Blutdruckwerte der Einleitung und der Operationsperiode.

3.2.1. Differenzen des systolischen Blutdrucks während der Einleitung der Narkose

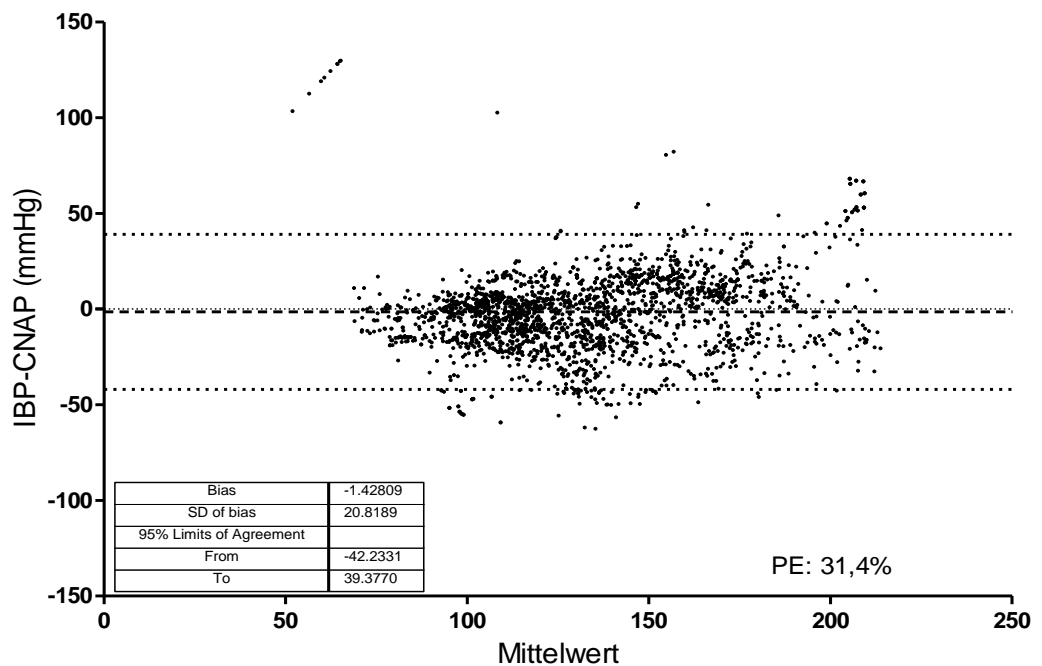


Abbildung 6: Vergleich der systolischen RR-Differenzwerte in der Einleitungsphase nach Bland-Altman. Bias: mittlere Abweichung von CNAPTM zur arteriellen Messung, Max/Min der 95 % Limits of Agreement= 2xSD der Differenz CNAP und IBP, SD: Standardabweichung, PE: prozentualer Fehler

Nach dem Methodenvergleich von Bland-Altman beträgt der Wert des Bias -1,43 mmHg bei einer SD von 20,82 mmHg. 95% aller Werte lagen dabei zwischen -42,23 und 39,38 mmHg. Demzufolge überschätzt die CNAP Messung den arteriellen Blutdruck im Mittel um -1,4 mmHg. Der PE liegt hier bei 31,4%, weshalb die beiden Messmethoden nach Ilies et al. (Cut off Werte von 14,7 %) nicht vergleichbar sind.

3.2.2. Differenzen des Mitteldrucks während der Einleitung der Narkose

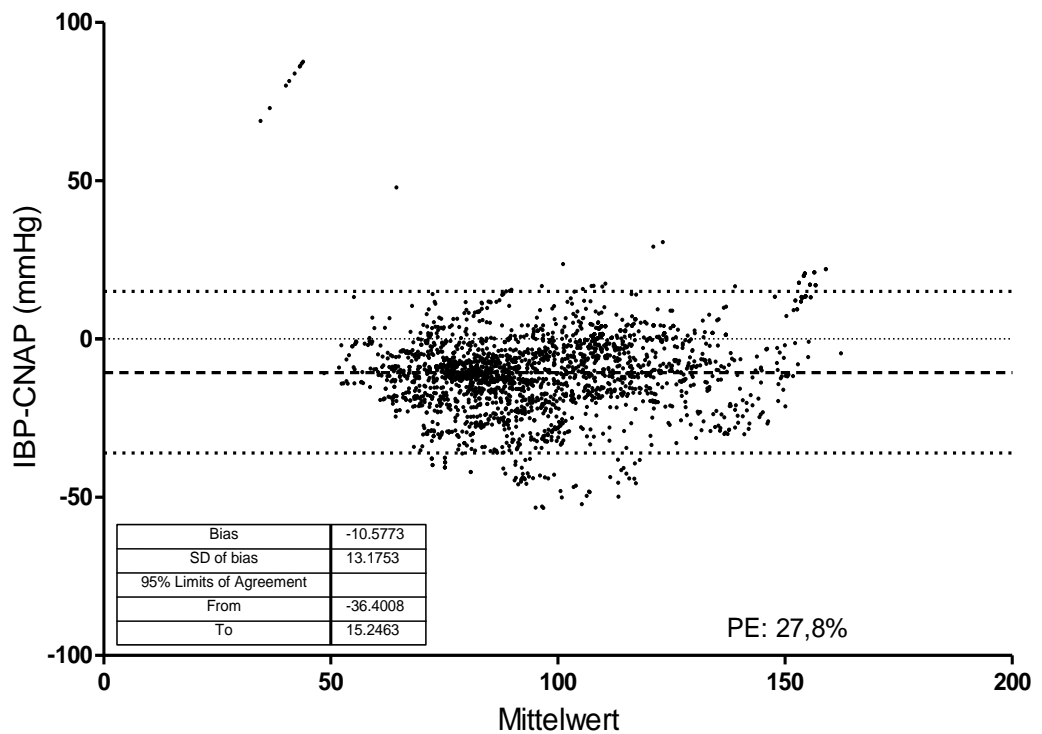


Abbildung 7: Vergleich der mittleren RR-Differenzwerte in der Einleitungsphase nach Bland-Altman. Bias: mittlere Abweichung von CNAP™ zur arteriellen Messung, Max/Min der 95 % Limits of Agreement= 2xSD der Differenz CNAP und IBP, SD: Standardabweichung, PE: prozentualer Fehler

Nach dem Methodenvergleich von Bland-Altman beträgt der Wert des Bias -10,58 mmHg bei einer SD von 13,18 mmHg. 95% aller Werte lagen dabei zwischen -36,41 und 15,24 mmHg. Demzufolge übererschätzt die CNAP Messung den arteriellen Blutdruck im Mittel um -10,58 mmHg. Der PE liegt hier bei 27,8%, weshalb die beiden Messmethoden nach Ilies et al. (Cut off PE Wert von 18,7 %) nicht vergleichbar sind.

3.2.3. Differenzen des diastolischen Blutdrucks während der Einleitung der Narkose

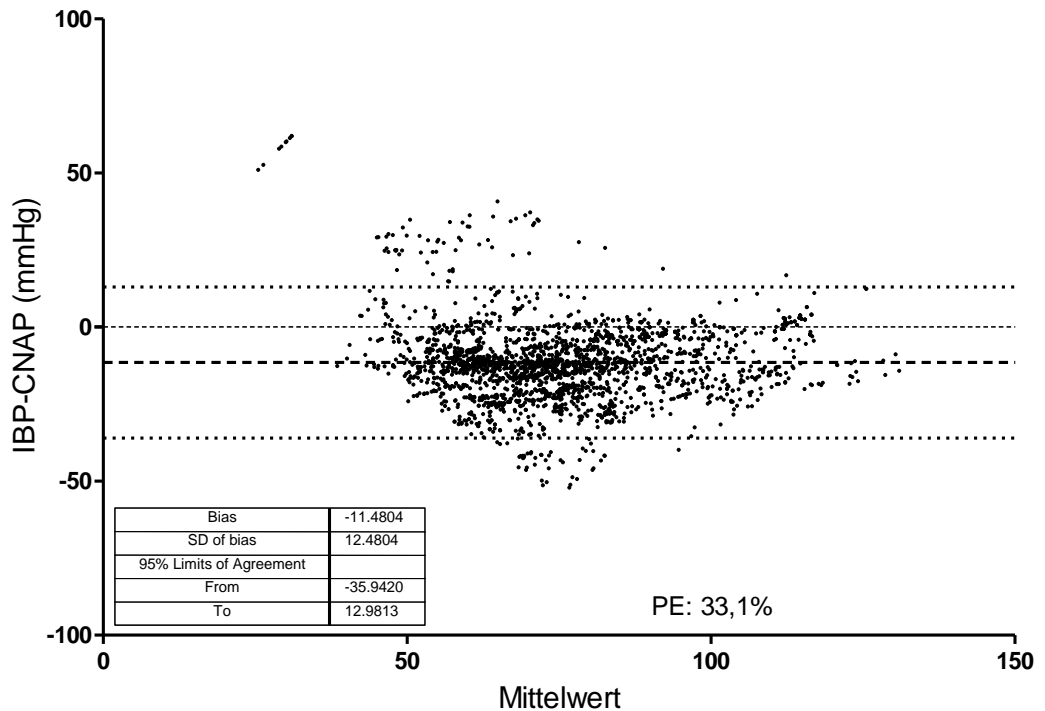


Abbildung 8: Vergleich der diastolischen RR-Differenzwerte in der Einleitungsphase nach Bland-Altman. Bias: mittlere Abweichung von CNAP™ zur arteriellen Messung, Max/Min der 95 % Limits of Agreement= 2xSD der Differenz CNAP und IBP, SD: Standardabweichung, PE: prozentualer Fehler

Nach dem Methodenvergleich von Bland-Altman beträgt der Wert des Bias -11,48 mmHg bei einer SD von 12,43 mmHg. 95% aller Werte lagen dabei zwischen -35,94 und 12,93 mmHg. Demzufolge überschätzt die CNAP Messung den arteriellen Blutdruck im Mittel um -11,48 mmHg. Der PE liegt hier bei 33,1%, weshalb die beiden Messmethoden nach Ilies et al. (Cut off PE Wert von 17,5 %) nicht vergleichbar sind.

3.2.4. Differenzen des systolischen Blutdrucks während der OP Periode

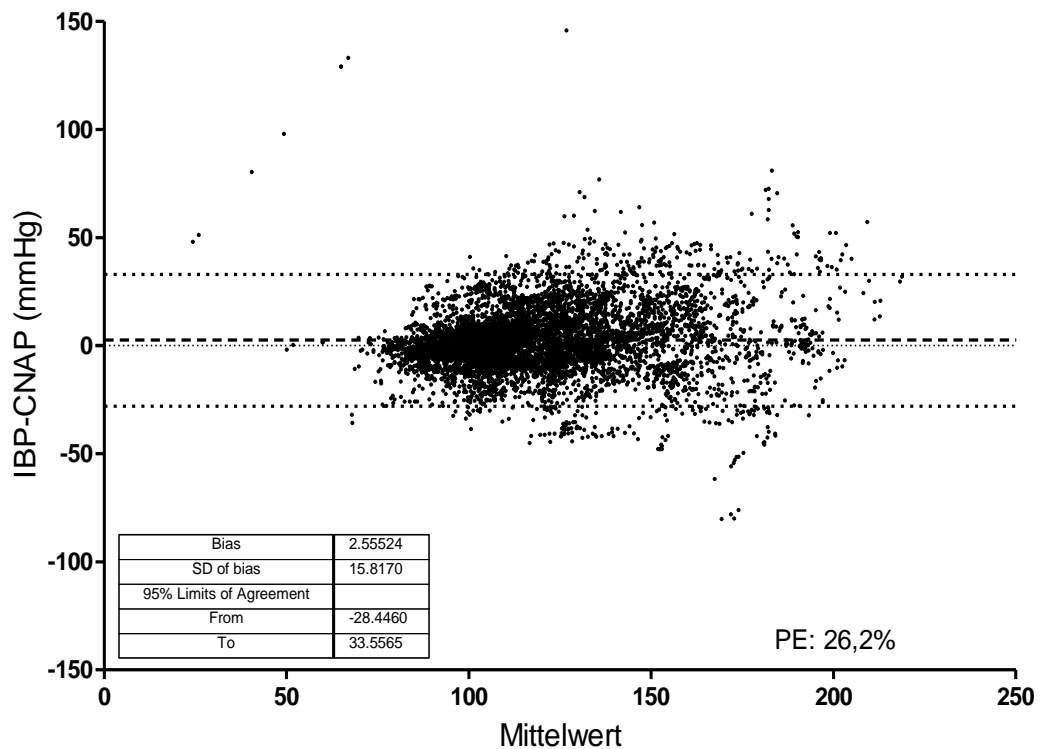


Abbildung 9: Vergleich der diastolischen RR-Differenzwerte in der OP Periode nach Bland-Altman. Bias: mittlere Abweichung von CNAPTM zur arteriellen Messung, Max/Min der 95 % Limits of Agreement= 2xSD der Differenz CNAP und IBP, SD: Standardabweichung, PE: prozentualer Fehler

Nach dem Methodenvergleich von Bland-Altman beträgt der Wert des Bias 2,56 mmHg bei einer SD von 15,82 mmHg. 95% aller Werte lagen dabei zwischen -28,45 und 33,56 mmHg. Demzufolge überschätzt die CNAP Messung den arteriellen Blutdruck im Mittel nur um 2,56 mmHg. Der PE liegt hier bei 26,2%, weshalb die beiden Messmethoden nach Iliès et al. (Cut off Werte von 18,7 %) nicht vergleichbar sind.

3.2.5. Differenzen des Mitteldrucks während der OP Periode

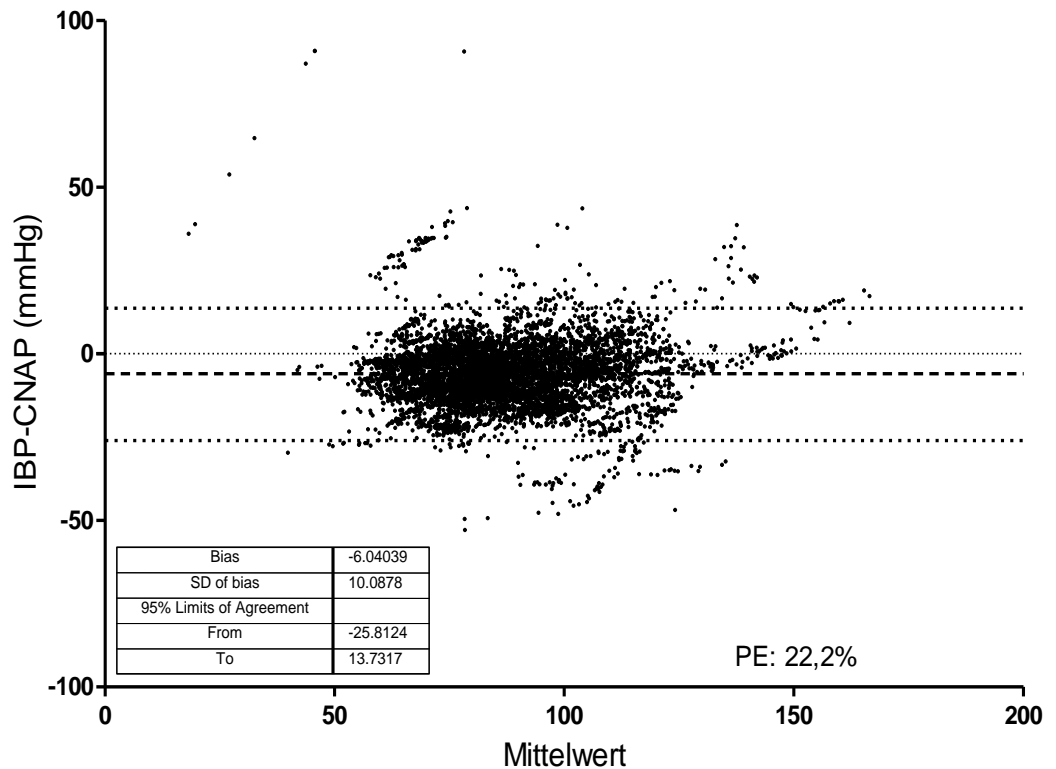


Abbildung 10: Vergleich der mittleren RR-Differenzwerte in der OP Periode nach Bland-Altman. Bias: mittlere Abweichung von CNAP™ zur arteriellen Messung, Max/Min der 95 % Limits of Agreement= 2xSD der Differenz CNAP und IBP, SD: Standardabweichung, PE: prozentualer Fehler

Nach dem Methodenvergleich von Bland-Altman beträgt der Wert des Bias -6 mmHg bei einer SD von 10,1 mmHg. 95% aller Werte lagen dabei zwischen -25,81 und 13,73 mmHg. Demzufolge übererschätzt die CNAP Messung den arteriellen Blutdruck im Mittel um -6 mmHg. Der PE liegt hier bei 22,2%, weshalb die beiden Messmethoden nach Ilies et al. (Cut off PE Wert von 18,7 %) nicht vergleichbar sind.

3.2.6. Differenzen des diastolischen Blutdrucks während OP Periode

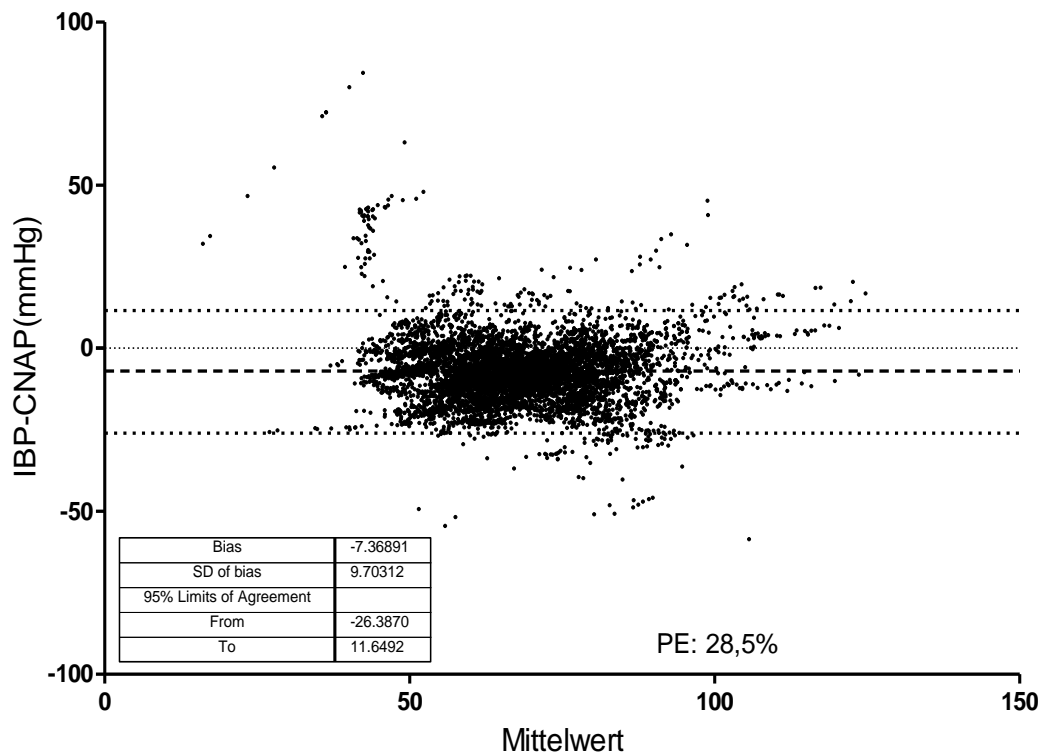


Abbildung 11: Vergleich der diastolischen RR-Differenzwerte in der OP Periode nach Bland-Altman. Bias: mittlere Abweichung von CNAPTM zur arteriellen Messung, Max/Min der 95 % Limits of Agreement= 2xSD der Differenz CNAP und IBP, SD: Standardabweichung, PE: prozentualer Fehler

Nach dem Methodenvergleich von Bland-Altman beträgt der Wert des Bias -7,37 mmHg bei einer SD von 9,7 mmHg. 95% aller Werte lagen dabei zwischen -26,39 und 11,65 mmHg. Demzufolge übererschätzt die CNAP Messung den arteriellen Blutdruck im Mittel um -7,37 mmHg. Der PE liegt hier bei 28,5%, weshalb die beiden Messmethoden nach Ilies et al. (Cut off Werte von 18,7 %) nicht vergleichbar sind.

3.3. Unterschiede der mittleren Differenzen zwischen der arteriellen Blutdruck Messung und der CNAP- Messung während der Einleitung und der OP Phase

Tabelle 3: Mittlere Differenzen des systolischen, mittleren und diastolischen Blutdrucks in der Einleitung vs. OP Phase

	Einleitung	OP
Mittlere Differenz des systolischen Blutdrucks IBP-CNAP (mmHg)	-1,43 (20,8)	2,56 (15,8)
Mittlere Differenz des diastolischen Blutdrucks IBP-CNAP (mmHg)	-11,5 (12,5)	-7,4 (9,7)
Mittlere Differenz des Mitteldrucks IBP-CNAP (mmHg)	-10,6 (13,2)	-6 (10)

Die Tabelle 3 veranschaulicht die Unterschiede der mittleren Blutdruckdifferenzen der Systole, der Diastole und des Mitteldrucks aus der Einleitung im Vergleich zur OP Phase. Dabei ist die mittlere Differenz des systolischen Blutdrucks in der Einleitung -1,43 mmHg (SD 20,8) und in der OP Periode 2,56 mmHg (SD 15,8). Für die mittleren diastolischen Blutdruckdifferenzen ist in der Einleitung ein Wert von -11,5 mmHg (SD 12,5) und für die OP Periode ein Wert von -7,4 mmHg (SD 9,7) herausgekommen. Die mittleren Differenzen des Mitteldrucks betragen in der Einleitung -10,6 mmHg (SD 13,2) und in der OP Periode -6 mmHg (SD 10). Diese Werte lassen den Schluss zu, dass die Messabweichungen der CNAP Messung gegenüber der intraarteriellen Messung im Bezug auf den Mittel- und den diastolischen Blutdruck in der OP Periode geringer sind als in der Einleitung. Die Unterschiede beim systolischen Druck hingegen sind sehr gering.

3.4. Prozentualer Fehler

Tabelle 4: Prozentualer Fehler (PE: $[2SD \text{ of Bias} / ((IBP + CNAP/2) * 100)]$) als Austauschbarkeitskriterium beider Methoden. SAD: systolischer arterieller Druck, MAD: mittlerer arterieller Druck, DAD: diastolischer arterieller Druck

	Kalkulierter PE für die Austauschbarkeit beider Methoden	Einleitung	OP
SAD	14,7%	31,4%	26,2%
MAD	17,5%	27,8%	22,2%
DAD	18,7%	33,1%	28,5%

In dieser Tabelle sind die Percentage Error Werte während der Einleitung und der Operationsphase für den systolischen, den diastolischen und den mittleren Blutdruck dargestellt. Als Kalkulierten PE, der ebenfalls für die Austauschbarkeit beider Messmethoden stehen kann, sind die Werte der Arbeitsgruppe Iles et al. angegeben.

Daraus lässt sich folgern, dass die beiden Messmethoden keine austauschbaren Blutdruckmesswerte liefern. Außerdem scheint die CNAP Messung etwas übereinstimmendere Messwerte in der Operationsphase zu liefern als in der Einleitungsphase.

3.5. Blutgasanalyse

Beim Vergleich der Blutgasanalyseergebnisse aus dem Blut der Arterie und dem Blut aus den Fingerkapillaren stellten sich signifikante Unterschiede für den Kaliumwert, den pO und den Laktatwert heraus. (Abb. 5)

Tabelle 5: Blutgasanalyse von arteriellem Blut (art) und Kapillarblut (kap) nach 25-minütiger Finger Blutdruckmessung an 15 Patienten. (gluc: Glukose, lac: Laktat, BE: base excess). Mittelwerte (SD), *: $p < 0,05$ zwischen arterieller und kapillärer Messung.

	art	cap
pH	7,38 (0,05)	7,37 (0,06)
pCO ₂ (mmHg)	41,6 (6,1)	42 (8,8)
pO ₂ (mmHg)	241 (45,8)	111 (75,7)*
K ⁺ (mmol/l)	3,9 (0,3)	4,2 (0,4)*
gluc (mg/dl)	117 (30)	110 (27)
lac (mmol/l)	0,8 (0,2)	1,5 (0,4)*
BE (mmol/l)	-1 (1,8)	-1 (3,9)

4. DISKUSSION

4.1. Studienziele

Eine neue Blutdruckmessmethode, die den Goldstandard der intraarteriellen Blutdruckmessung entweder ablösen oder eine alternative Messmethode zu ihr sein soll, muss ähnlich genaue Blutdruckwerte messen und zudem Vorteile wie z.B. eine einfachere Handhabung, eine geringere Invasivität und ein niedrigeres Risiko für Infektionen aufweisen. Darüber hinaus ist es wichtig, dass die Installation schnell erlernbar ist, die Messung sich praktikabel in den OP-Alltag integrieren lässt und sie mit nicht höheren Kosten anwendbar ist.

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob der CNAPTM Monitor übereinstimmende Blutdruckwerte im Vergleich zur intraarteriellen Blutdruckmessung in der Einleitung und der Operation liefert. Des Weiteren wurde geprüft, ob die kontinuierliche nicht invasive Blutdruckmessung die Hämodynamik während langer operativer Phasen ebenso genau abbildet wie die invasive Messung des Blutdrucks und ob die zwei nichtinvasiven Druckabnehmer-Fingermanschetten metabolisch ischämische Veränderungen am Zeige- und Mittelfinger nach der 25-minütigen Fingermessung verursachen.

Als statistische Auswertung wählten wir die Bland-Altman Analyse für die wiederholenden Messungen.

4.2. Studienerkenntnisse

Die Erkenntnisse dieser Arbeit sind:

1. Die Messergebnisse sind aufgrund zu hoher Standardabweichungen der Mittelwerte nicht austauschbar.
2. Die Werte der Einleitung sind weiter gestreut als die Werte in der Operationsphase.
3. Es treten keine klinisch auffälligen metabolischen Veränderungen im Finger aufgrund einer Venostase auf.

4.3. Vorangegangene CNAP Studien

Die erste Erkenntnis der Arbeit ist, dass die systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruckwerte der kontinuierlichen, nichtinvasiven Blutdruckmessung und der intraarteriellen Blutdruckmessung nicht genau übereinstimmen.

Dadurch wird gezeigt, dass die Austauschbarkeit der invasiven Blutdruckmessung durch die CNAPTM Methode bis jetzt noch nicht möglich ist.

Das kann mannigfaltige Gründe haben. Zur Beurteilung der Austauschbarkeit der Blutdruckwerte wird im Folgenden auf zwei Arbeiten verwiesen.

Um die Messwerte der nicht invasiven Blutdruckmessung der CNAPTM- Software mit dem Goldstandard zu vergleichen, wurden zwei Methoden verwendet. Zuerst haben wir für die statistische Analyse der Übereinstimmung den Bland-Altman Vergleich herangezogen. Anschließend wurde der PE auf der Genauigkeit der intraarteriellen Blutdruckmessung berechnet und mit der nicht invasiven Blutdruckmessung verglichen.

Dies wurde auf Grundlage der Arbeit von Iles et al. (Cut off PE Werte von 14,7% bis 18,7%) vorgenommen. In unserem Fall lagen alle Werte über den Cut off Werten der Arbeitsgruppe.

In einigen vorangegangenen Studien ist ebenfalls eine Evaluation der Übereinstimmung zwischen der intraarteriellen Blutdruckmessung und des CNAP Monitors vorgenommen worden. Hervorzuheben dabei ist, dass bei allen Studien die Kalibrierungsmanschette der CNAP Messung immer am ipsilateralen Arm befestigt worden ist. Im Gegensatz dazu erfolgte die Kalibrierungsmessung bei unserem Studienprotokoll am kontralateralen Arm.

In der Studie von Siedenhans [18] wurden 50 Patienten aus der Thorax-, Allgemein- und Gefäßchirurgie während der Anästhesieeinleitung und der Operation mittels zweier Softwareversionen, 3.0 vs 3.1, untersucht. Die Messungen des diastolischen-, systolischen und mittleren Blutdrucks der intraarteriellen Messmethode und der CNAP Messung wurden dabei miteinander verglichen. Die Kalibrierungsmessung erfolgte dabei immer am ipsilateralen Arm zu den Fingermanschetten. Die statistische Auswertung wurde ebenfalls mit der Bland-Altman Analyse für mehrfache Messungen durchgeführt. Auf Grundlage der ermittelten Präzision der Referenzmethode, wurde der Cut off PE zwischen den beiden Blutdruckmessmethoden berechnet. Dabei zeigte sich, dass die Softwareversion 3.0 eine bessere Übereinstimmung im Vergleich zur intraarteriellen Messung erzielen konnte als die Softwareversion 3.0. Daher konnte in der Arbeit gezeigt werden, dass die CNAP Messung mit der Softwareversion 3.0 den Mitteldruck mit einem Bias

von 0,1 sehr gut darstellen kann. In dieser Arbeit konnte ebenfalls anhand des PE keine Austauschbarkeit mit der invasiven Messung gezeigt werden, obwohl der PE nur 0,9% höher war, als für die statistische Austauschbarkeit gefordert.

Die Auswertung der Studie erfolgt auf der gleichen statistischen Grundlage, die wir zur Datenbearbeitung unserer Untersuchungen gewählt haben. Ähnlich unserer Ergebnisse unterschätzt der CNAP™ Monitor auf Grundlage der Softwareversion 3.1 im Vergleich zu der invasiven Blutdruckmessung systematisch den mittleren und den diastolischen arteriellen Blutdruck.

Abweichend zeigen sich mit der bei uns verwendeten Softwareversion 3.1 während der Einleitung und der während der Operation durchgehend noch höhere PE Werte. Nur der mittlere arterielle Blutdruck ist mit einem PE Wert von 22,2 % um 1,1 % besser als in der Studie von Siedenhans.

In der Einleitungsphase liegen die PE Werte für den systolischen Blutdruck 2,8%, für den diastolischen Blutdruck 8,5 % und dem mittleren Blutdruck 4,5% über den Werten von Siedenhans.

Diese Messungen korrelieren teilweise mit den Beobachtungen unserer Studie. So zeigt unsere Studie mit der Softwareversion 3.1 schlechtere PE Werte als die Version 3.0. Ein Grund für die nochmals höheren PE Werte kann in der kontralateralen Anlage der Kalibrierungsmanschette liegen.

In einer durchgeführten Untersuchung von Jeleazcov et al. [19] wurden 88 Patienten aus der Neuro-, Allgemein- und Kardiochirurgie während der Narkosephase untersucht. Die Kalibrierungsmessung erfolgte dabei auch hier immer am ipsilateralen Arm zu den Fingermanschetten. Die Blutdruckmesswerte der invasiven Messmethode des diastolischen, mittleren und systolischen arteriellen Blutdrucks und vom CNAP™ Monitor wurden miteinander verglichen. 78 Patientendaten wurden statistisch in der Studie ausgewertet. Im Vergleich zur invasiven Blutdruckmessung unterschätzte der CNAP™ Monitor den systolischen (Bias +6,7 mmHG, Limits of agreement \pm 17,6 mmHg) und überschätzte den diastolischen (Bias -5,6 mmHg, Limits of agreement \pm 11,4 mmHg) und den mittleren arteriellen Blutdruck (Bias -1,6

mmHg, Limits of agreement $\pm 12,0$ mmHg). Die Autoren schlossen daraus auf eine gute Übereinstimmung beider Messmethoden.

Auch diese Ergebnisse korrelieren teilweise mit unseren Messungen. Der CNAPTM Monitor unterschätzt während der Operation im Vergleich zur invasiven Blutdruckmessung systematisch den systolischen arteriellen Blutdruck (Bias 2,56 mmHg, SD 15,8) und überschätzt den diastolischen (Bias -7,4 mmHg, SD 9,7) und mittleren (Bias -6 mmHg, SD 10) arteriellen Blutdruck. Kritisch zu erwähnen ist in der Studie von Jeleazcov et al., dass die Limits of agreement nicht als $\pm 1,96 \times SD$, wie in der Bland-Altman Analyse gefordert berechnet wurden, sondern wie folgt definiert wurden:

$$\text{Limits of Agreement} = \pm 2,77 \times S_{W \text{ IAP+CNAP}}$$

Die SD wurde nach folgender Formel berechnet:

$$S_{W \text{ IAP+CNAP}} = \text{Wurzel aus } (S_{W \text{ IAP}}^2 + S_{W \text{ CNAP}}^2)$$

Im Vergleich zu der Bland-Altman Analyse führen die unterschiedlichen Definitionen der Übereinstimmungsgrenzen zu abweichenden Ergebnissen bei der Bestimmung der Präzision. Dadurch können falsche Schlüsse über die Übereinstimmung der zu untersuchenden Methode mit dem Goldstandard gezogen werden. Zudem wurden die Blutdruckmesswerte nicht als Mittelwert multipler Messungen berechnet, die bei der Bland-Altman Analyse ausgewählt wurden. So wurden einzelne randomisiert ausgewählte Blutdruckwerte miteinander verglichen. Ein Vergleich über den PE ist so nicht möglich. Die Auswahl einzelner Werte kann zu einer differenten Bestimmung des Bias führen und es kann zu einer Fehlinterpretation der Genauigkeit des Messverfahrens führen.

Eine weitere im Jahr 2012 auf diesem Gebiet durchgeführte Arbeit von Hahn et al. [20] verglich ebenfalls den CNAP Monitor mit der invasiven Messmethode. Dabei wurden insgesamt 100 Patienten bei elektiven chirurgischen Eingriffen während der Narkose untersucht. Die gesamte Studiengruppe wurde in zwei Subgruppen aufgeteilt. Die eine Gruppe wurde mit der CNAP Software V3.0 gemessen und bei der anderen Gruppe wurde die Software V3.5 verwendet. Das Unterscheidungskriterium der Softwareversion lag in der Durchführung der Kalibration. Die Kalibration der Software V3.0 basierte

auf dem oszillometrisch gemessenen arteriellen Mitteldruck und die Messwerte an den Fingerarterien wurden demnach angepasst. Bei der Softwareversion V3.5 basiert die Kalibration auf den oszillometrisch gemessenen systolischen und diastolischen arteriellen Blutdruck. Die Messwerte an den Fingerarterien wurden danach abgeglichen. In der Studie wurde die statistische Bewertung mit der Methode nach Bland-Altman für wiederholte Messung verwendet. Der Bias des mittleren arteriellen Blutdruck lag bei -2,9 beziehungsweise bei -3,1, die Übereinstimmungsgrenzen lagen bei -23,7 bis 17,9 beziehungsweise -21,6 bis 15,4. Auf dieser Grundlage bestätigten die Autoren eine klinische annehmbare Übereinstimmung des arteriellen Mitteldrucks zwischen beider CNAP Softwareversionen und der invasiven Methode.

Kritisch zu vermerken bei dieser Studie ist, dass die Beurteilung der Übereinstimmung zwischen der invasiven Methode und CNAP nach den AAMI Richtlinien erfolgte. Streng genommen ist die Übertragung und Verwendung zum Vergleich einer kontinuierlichen nicht-invasiven Methode mit der invasiven Methode nicht zulässig, weil die Richtlinien der AAMI entwickelt wurden, um automatisierte diskontinuierliche Blutdruckmessgeräte mit der auskultatorischen Methode nach Riva-Rocci zu vergleichen. Daher können basierend auf den AAMI Kriterien keine Empfehlungen zur Validierung einer kontinuierlichen nicht invasiven Blutdruckmessmethode ausgesprochen werden. Die angegebenen Akzeptanzgrenzen mit (Bias <5 mmHg, SD <8 mmHg) zur Verwendung des CNAP Monitors in der klinischen Praxis wurden zwar niedrig aber willkürlich in der Studie festgelegt.

Alle vorangegangenen Studien belegen bisher eine gute bis ausreichende Übereinstimmung zwischen CNAP und der invasiven Messmethode. Die verwendeten statistischen Methoden unterscheiden sich jedoch voneinander. Die Evaluation fand außerdem bei gemischten Patientenkollektiven im intraoperativen Bereich unter stabilen hämodynamischen Bedingungen statt und in allen Studien wurde eine ipsilaterale Ermittlung der CNAP Messung vorgenommen. Der Einfluss einzelner Variablen auf die Messergebnisse wurde in der CNAP Studie von Grudev [21] untersucht.

Bei dieser Studie wurden 110 Patienten im Rahmen ihrer intensivmedizinischen Behandlung mittels der CNAP Messung und der invasiven Blutdruckmessung überwacht. Dabei wurde der Einfluss dreier Einflussvariablen (Herzrhythmusstörungen, Katecholamindosis, Entwöhnung vom Respirator) in einzelnen Subgruppen und einer Kontrollgruppe untersucht. Zur statistischen Analyse wurde in der Arbeit ebenfalls die Methode von Bland-Altman herangezogen. Hauptkenntnisse der Arbeit waren, dass die mit CNAP und der invasiven Methode gemessenen Werte des gemischten Patientenkollektives eine Übereinstimmung zeigen, wobei die Austauschbarkeitskriterien definiert als der Cut off PE lediglich für den arteriellen Mitteldruck erfüllt wurden. Das Ergebnis bestätigt sich in unserer Studie, in der die besten PE Werte in der Einleitung (27,8%) und der Operationsphase (22,2%) für den mittlere arteriellen Blutdruck gemessen worden sind. Dennoch liegen sie oberhalb des kalkulierten Cut off PE Wertes für die Austauschbarkeit der Methoden von 17,5 %.

In allen Studiengruppen von Grudev unterschätzte der CNAP im Vergleich zu der invasiven Methode den systolischen arteriellen Blutdruck (positiver Bias) und überschätzte den mittleren und den diastolischen arteriellen Blutdruck (negativer Bias). Auch in unserem Fall unterschätzt der CNAP im Vergleich zur invasiven Methode den systolischen Blutdruck in der Operationsphase (Bias 2,56 mmHg) und überschätzt den mittleren- und diastolischen Blutdruck in der Einleitung und der Operationsphase.

Grudev zeigt in seiner Studie, dass der CNAP Monitor zur kontinuierlichen arteriellen Blutdrucküberwachung bei Patienten mit einem Sinusrhythmus gute übereinstimmende Blutdruckwerte zur invasiven Messung liefert. Bei Herzrhythmusstörungen kann durch eine „nicht-präzise“ Kalibration die Blutdruckmessung negativ beeinflusst werden. So können neben der kontralateralen Kalibrierungsmessung nicht bemerkte intraoperative Herzrhythmusstörungen bei den Kalibrierungsmessungen Gründe für die divergenten Blutdruckwerte gewesen sein.

Zusammenfassend zeigt die Studie, dass CNAP bei beatmeten Patienten zur arteriellen Blutdrucküberwachung unabhängig vom Wachheitszustand verwendet werden kann.

4.4. Einflussvariablen

Das Ziel der Studie war es die Übereinstimmung des CNAP™ Monitors mit der invasiven arteriellen Blutdruckmessung bei kardiovasuklären Hochrisikopatienten zu untersuchen. Zudem sollte untersucht werden, ob Unterschiede in der Übereinstimmung während Einleitungsphase und der Operation bestehen. Desweiteren sollten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, ob die 30-minütige Messung an den Fingern eine metabolische Veränderung bewirkt.

4.4.1. Einleitung vs. Operationsphase

Es zeigte sich, dass das Erfassen von austauschbaren Blutdruckwerten mit dem CNAP™ Monitor in der operativen Phase aufgrund geringerer Streuung der Blutdruckwerte eine bessere Übereinstimmung liefert als in der Einleitungsphase (siehe Tabelle 4).

So waren der PE während des operativen Eingriffs sowohl beim SAD, MAD und DAD im Vergleich zum PE der Einleitung niedriger. Der PE ist in der operativen Phase sowohl beim SAD um 5,2 Prozent-, bei dem MAD um 5,6 Prozent- als auch bei dem DAD um 4,6 Prozentpunkte niedriger als in der Einleitungsphase. Daraus lässt sich schließen, dass die CNAP™ Methode für die Überwachung des Patienten während des operativen Eingriffs zurzeit besser geeignet ist als für die Überwachung in der Einleitung. Dies kann viele unterschiedliche Gründe haben. Die Bedingungen, um mit dem CNAP™ Monitor in der Einleitung den Blutdruck zu messen sind zum einen sehr kurz und dauern in der Regel eine halbe bis drei Viertel Stunde. Zum anderen sind die vielen Maßnahmen, wie z.B. die medikamentöse Einleitung der Narkose, das Intubieren, der Lagewechsel beim Anlegen einer Rückenmarksnarkose oder eine gewollte Kopftieflage beim Stechen eines ZVKs sehr mannigfaltig und stören die sensible Erfassung der Blutdruckwerte.

Perioperativ sind konstantere Messbedingungen gegeben. Nur selten verändert sich die Lage des Patienten perioperativ, wodurch eine ungestörtere Erfassung der Blutdruckwerte nach einer Kalibration möglich ist.

4.4.2. Keine metabolischen Veränderungen im Finger aufgrund Venostase

Abschließend zeigte sich, dass bei den Patienten keine schädigenden metabolischen oder ischämischen Veränderungen an dem Zeige- und Mittelfinger aufgrund einer Venostase nachgewiesen wurden. In unserem Fall stellt man unter dem CNAP Monitoring als Nebenwirkung eine akrale Zyanose distal der messenden Fingermanschette fest. Als Grund dafür ist die inkomplette Venostase unter den Fingermanschetten zu sehen. Die Zyanose war 4-5 Minuten nach Beendigung des Messintervalls am Finger komplett abgeklungen. Komplikationen oder Schädigungen der Finger wurden nicht beobachtet. Die Blutgasanalyse zeigt, dass Bedenken in Bezug auf metabolisch ischämische Veränderungen aufgrund der 25-minütigen Fingermessung an dem Zeige- und Mittelfinger, an denen die Fingermanschetten angebracht waren, unberechtigt sind. Es lassen sich am Zeige- und Mittelfinger geringe signifikante metabolische Veränderungen nachweisen, die alle keinen negativen Effekt auf den Patienten haben und die Fingermanschetten somit gefahrlos anwendbar sind.

Die hervorgerufene Venostase im Finger hat in der Vergleichsmessung aus der arteriellen Blutabnahme und dem Kapillarblut nur leichte Veränderung beim pO_2 Wert, dem Kaliumwert und dem Lactatwert gezeigt. Im Vergleich zur arteriellen Messung waren diese aber nicht signifikant verändert und haben keine schädigende Wirkung auf das Gewebe.

In anderen Fachgebieten der Medizin zum Beispiel in der Allgemeinchirurgie werden distale Extremitäten in Blutleere operiert, wobei die Extremitäten noch viel stärkeren Belastungen über einen längeren Zeitraum tolerieren ohne einen Schaden zu nehmen.

Wie allgemein bekannt ist, haben Gewebe unterschiedliche Ischämietoleranzen. Dabei steht die Ischämietoleranz für die Leistungsfähigkeit eines speziellen Gewebes, eine Unterbrechung oder Verringerung der Sauerstoffzufuhr über das Blut für eine gewisse Zeit kompensieren zu können, ohne einen bleibenden Schaden davonzutragen. So wissen wir, dass das Gehirn und das Herz kürzere Ischämiezeiten im Vergleich zu bradytropheren Geweben wie Bänder, Knorpel, Knochen und Skelettmuskulatur, wie sie in unserem Fall an den Fingern vorkommen, tolerieren. Des

Weiteren werden 25-minütige Ischämiezeiten bei Eingriffen in der Chirurgie bei z.B. Eingriffen an den Extremitäten in Blutleere ohne nachfolgende Schäden praktiziert. Zudem sind ähnliche Effekte bei einer längeren venösen Blutstauung durch einen Stauschlauch vor einer Blutabnahme am Oberarm zu beobachten. Auch dort zeigen sich harmlose, aber dennoch messbare K^+ Werterhöhungen nach vorangegangenen längeren Blutstauungen, die in dem Fall viel sensibler zu beurteilen sind als bei unseren RR Messungen.

In der Zusammenschau aller Ergebnisse ist die CNAP Messung in der vorliegenden Version ein innovativer Entwicklungsschritt, die kontinuierliche Blutdruckmessung auf ein nichtinvasives Verfahren in Zukunft umstellen zu können. Zum jetzigen Zeitpunkt liefert die Messmethode des CNAP Systems in unserem Fall jedoch nicht die übereinstimmenden Blutdruckwerte wie der Goldstandard der intraarteriellen Blutdruckmessung. Die Auswertung zeigt, dass das hier untersuchte Verfahren nicht geeignet ist, um eine kontinuierliche nichtinvasive Blutdrucküberwachung perioperativ gewährleisten zu können. Ein Grund dafür könnte sein, dass die CNAP Kalibrierungsmessungen am kontralateralen Arm durchgeführt worden sind.

5. LIMITATION

Die Studie hat einige Limitationen:

1. Der Effekt der Fingertemperatur während der CNAP Messung wurde nicht evaluiert.
2. Das Kalibrationsintervall von 30 Minuten kann zu einer nicht akkuraten Messung des CNAP System über die Zeit führen. Zum Beispiel nach Gabe der Narkosemedikamente in der Einleitung wenn sich der Gefäßtonus ändert und keine erneute Kalibrierung des CNAP Systems erfolgt ist. Bis jetzt gibt es keine verwertbaren Daten über die optimale Festlegung eines perfekten Kalibrierungsintervalls. Diese wichtige Frage sollte in weiteren Studien untersucht werden.
3. Eine Rekalibration nach Lagewechsel des Patienten wurde nicht durchgeführt und könnte eine Auswirkung auf den Bias haben.
4. Ob die unterschiedlichen chirurgischen Eingriffsgebiete (abdominal, urologisch, vaskulär und thorakal) einen Einfluss auf die Messungen der Blutdruckwerte haben, ist in dieser Studie nicht weiter untersucht worden und könnte in weiteren Studien geklärt werden.
5. Der CNAP Monitor misst die Blutdruckwerte immer an der A. digitalis und die invasive Blutdruckmessung erfolgt immer in der A. radialis, wodurch die Messorte der Methoden unterschiedlich sind.
6. Es wurde keine Subgruppenunterteilung in ipsilaterale Kalibrierungsmessung und kontraletale Kalibrierungsmessung vorgenommen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund:

Ein kontinuierliches und intraoperatives Monitoring des arteriellen Blutdrucks zur Überwachung von Risikopatienten wird von den Fachgesellschaften als Standardüberwachung empfohlen. Die zurzeit verwendeten Standardmethoden, die intraarterielle Blutdruckmessung und die oszillometrische Blutdruckmessung haben spezifisch jeweils ihre Einschränkungen. Jedoch versucht der CNAP™ Monitor in seiner Auslegung die jeweiligen Nachteile zu minimieren und einen nichtinvasiven kontinuierlichen arteriellen Blutdruck zu messen. Das bedeutet, die Blutdruckmessung sollte sowohl exakt als auch risikolos und einfach anzuwenden sein und eine kontinuierliche Blutdruckmessung ermöglichen. Zudem sollten die Risiken einer intraarteriellen Blutdruckmessung wie Gefäßverschlüsse und Infektionen aufgrund der notwendigen Kanülierung einer Arterie nicht mehr gegeben sein. Bestenfalls könnte auf eine Kalibrierung verzichtet werden und die neue Messmethode liefert eine Übereinstimmung und Austauschbarkeit der Blutdruckwerte zum Goldstandard der invasiven intraarteriellen Blutdruckmessung. In dieser Studie wurde untersucht, ob eine Austauschbarkeit der Blutdruckwerte in der Einleitung und in der Operation gegeben ist und ob die Fingermanschetten des CNAP™ Monitors eine metabolische Veränderung am Finger verursacht.

Patienten und Methoden:

Diese Studie umfasst 50 Patienten, bei denen die Indikation zur intraoperativen invasiven arteriellen Blutdrucküberwachung gegeben war. Parallel zu der invasiven intraarteriellen Blutdruckmessung erfolgte die Installation des CNAP™ Monitors zur Messung des nichtinvasiven arteriellen Blutdrucks. Dabei wurde die Kalibrierungsmanschette am kontralateralen Oberarm zu den Fingermanschetten befestigt. Nach der 25-minütigen Messung des Blutdrucks über die Fingermanschetten erfolgte die Abnahme von Kapillarblut am Finger mit Analyse der für metabolische Veränderung wichtigen Blutparameter. Zur statistischen Auswertung der Übereinstimmung wurde der Bland-Altman Vergleich herangezogen. Anschließend wurde die Präzision über den PE berechnet, um eine Aussage über die statistische Austauschbarkeit der Blutdruckwerte beider Messmethoden in der Einleitung und der Operation zu bekommen.

Ergebnisse:

Bias (Standardabweichung) Einleitung: Systole -1,43 (20,8) mmHg, Mitteldruck -10,6 (13,2) mmHg, Diastole -11,5 (12,5) mmHg. Operation: Systole 2,5 (15,8) mmHg, Mitteldruck -6 (10,1) mmHg Diastole -7,4 (9,7) mmHg. Aufgrund des PE konnte keine Austauschbarkeit der Blutdruckwerte mit dem Goldstandard der invasiven intraarteriellen Blutdruckmessung nachgewiesen werden.

pO₂ (mmHg) art.: 241 (45,8), cap.: 111 (75,7); K⁺ (mmol/l) art.: 3,9 (0,3), cap 4,2 (0,4); lac.: (mmol/l) 0,8 (0,2), cap.: 1,5 (0,4). Es treten keine klinisch auffälligen metabolischen Veränderungen im Finger aufgrund einer Venostase auf.

Schlussfolgerungen:

Abschließend lässt sich feststellen, dass zum jetzigen Zeitpunkt die CNAP Messung mit einer Kalibrierung am kontralateralen Arm nicht die gleiche Präzision des Goldstandards der intraarteriellen Blutdruckmessung liefern kann. In dieser Studie zeigt sich, dass die Messung während der Operationsphase besser funktioniert als in der Einleitung. Eine signifikante metabolische Veränderung aufgrund einer Venostase durch die Fingermanschetten konnte nicht nachgewiesen werden, so dass eine Weiterentwicklung des CNAP Systems mittels der verwendeten Fingermanschetten fortgeführt werden kann.

ANHANG**LITERATURVERZEICHNIS**

1. Bause, G.S., A.C. Weintraub, and G.E. Tanner, *Skin avulsion during oscillometry*. J Clin Monit, 1986. **2**(4): p. 262-3.
2. Pedley, C.F., et al., *Blood pressure monitor-induced petechiae and ecchymoses*. Am J Hypertens, 1994. **7**(11): p. 1031-2.
3. Lin, C.C., et al., *Blood pressure cuff compression injury of the radial nerve*. J Clin Anesth, 2001. **13**(4): p. 306-8.
4. AAMI (1993): American national standard. Electronic or automated sphygmomanometers Association for the Advancement of Medical Instrumentations, Arlington, VA
5. Dueck R, J., *Reliability of hypotension detection with noninvasive radial artery beat-to-beat versus upper arm cuff BP monitoring*. Anesth Analg 2006, 2006. **102**: p. 10.
6. Sprung, J., et al., *Predictors of survival following cardiac arrest in patients undergoing noncardiac surgery: a study of 518,294 patients at a tertiary referral center*. Anesthesiology, 2003. **99**(2): p. 259-69.
7. Monk, T.G., et al., *Anesthetic management and one-year mortality after noncardiac surgery*. Anesth Analg, 2005. **100**(1): p. 4-10.
8. Slogoff, S., A.S. Keats, and C. Arlund, *On the safety of radial artery cannulation*. Anesthesiology, 1983. **59**(1): p. 42-7.
9. Traore, O., J. Liotier, and B. Souweine, *Prospective study of arterial and central venous catheter colonization and of arterial- and central venous catheter-related bacteremia in intensive care units*. Crit Care Med, 2005. **33**(6): p. 1276-80.
10. Gardner, R.M., *Direct blood pressure measurement--dynamic response requirements*. Anesthesiology, 1981. **54**(3): p. 227-36.
11. Kleinman, B., et al., *The fast flush test measures the dynamic response of the entire blood pressure monitoring system*. Anesthesiology, 1992. **77**(6): p. 1215-20.
12. Fortin, J., et al., *Continuous non-invasive blood pressure monitoring using concentrically interlocking control loops*. Comput Biol Med, 2006. **36**(9): p. 941-57.
13. Sawada, Y. and K. Yamakoshi, *A correlation analysis between pulse transit time and instantaneous blood pressure measured indirectly by the vascular unloading method*. Biol Psychol, 1985. **21**(1): p. 1-9.
14. Yamakoshi, K.I., H. Shimazu, and T. Togawa, *Indirect measurement of instantaneous arterial blood pressure in the human finger by the vascular unloading technique*. IEEE Trans Biomed Eng, 1980. **27**(3): p. 150-5.
15. Penaz, J., *[Current photoelectric recording of blood flow through the finger]*. Cesk Fysiol, 1975. **24**(4): p. 349-52.
16. Bos, W. J., van Goudoever, J., et al.: *Reconstruction of brachial artery pressure from noninvasive finger pressure measurements*. Circulation, 1996. 1870-1875.
17. Critchley, L. A. Critchley, J. A.: *A meta-analysis of studies using bias and precision statistics to compare cardiac output measurement techniques*. Journal of clinical monitoring and computing, 1990. p. 85-91.

18. Siedenhans, D., *Evaluation einer kontinuierlichen, nicht invasiven Blutdruckmessung und der klinisch relevanten Kalibrierungsmessmethode anhand des Vergleiches zweier Software-Versionen*, 2011. p. 19-26
19. Jeleazcov C., Krajnovic L., Munster T., Birkholz T., Fried R., Schuttler j., Fechner J.: *Precision and accuracy of a new device (CNAP™) for continuous non-invasive arterial pressure monitoring: assessment during general anaesthesia*. *Br. J. Anaesth.* 2011. **105**: p.264-272
20. Hahn R., Rinosl H., Neuner M., Kettner SC: *Clinical validation of a continuous non-invasive haemodynamic monitor (CNAP™ 500) during general anaesthesia*. *Br. J. Anaesth* 2012. **108**: p. 581-585.
21. Grudev G. G., *Die kontinuierliche Blutdruckmessung bei hochrisikopatienten auf der Intensivstation, ein Vergleich zwischen invasiver und nicht-invasiver Messung mittels CNAP™ Monitor*, 2012. p. 33-39

7. ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1 CNAP™ Monitor, Cuff Controller mit den in drei Größen verfügbaren Fingermanschetten.....	7
Abbildung 2 Infrarotmessung am Finger.....	8
Abbildung 3 Druckmessung am Finger.....	9
Abbildung 4 Spezifische Blutdruckkurven an spezifischen Messorten.....	10
Abbildung 5 Kalibrierung der ersten Fingermessung auf Grundlage der halbstündlichen NBP Messung mit der CNAP™ Version 3.1.....	11
Abbildung 6 Bland Altmann Vergleich Differenzen des systolischen Blutdruck während der Einleitung.....	17
Abbildung 7 Bland Altmann Vergleich Differenzen des Mitteldrucks während der Einleitung.....	18
Abbildung 8 Bland Altmann Vergleich Differenzen des diastolischen Blutdruck während der Einleitung.....	19
Abbildung 9 Bland Altmann Vergleich Differenzen des systolische Blutdrucks Während der Operation.....	20
Abbildung 10 Bland Altmann Vergleich Differenzen des systolische Blutdrucks Während der Operation.....	21
Abbildung 11 Bland Altmann Vergleich Differenzen des systolische Blutdrucks Während der Operation.....	22
Tabelle 1 Demografische Daten.....	15
Tabelle 2 Aufgliederung der 50 Patienten zu Fachgebieten.....	16
Tabelle 3 Mittlere Differenzen des systolischen, mittleren und diastolischen Blutdrucks in der Einleitung vs. OP Phase.....	23
Tabelle 4 Prozentualer Fehler.....	24
Tabelle 5 Blutgasanalyse.....	25

8. VERÖFFENTLICHUNGSVERZEICHNIS

Illies C., Bauer M., Berg P., Rosenberg J., Hedderich J., Bein B., Heinz J., Hanss R.: Investigation of the agreement of a continuous non-invasive arterial pressure device in comparison with invasive radial artery measurement. Br J Anaesth 2012; 108: 202-210

9. DANKSAGUNG

Ich danke Prof. Dr. med. Markus Steinfath und Prof. Dr. med. Robert Hanss für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit die Doktorarbeit schreiben zu dürfen.

Herrn Prof. Dr. med. Robert Hanss danke ich für die jahrelange sachliche und freundliche und ausdauernde Unterstützung während der Erstellung der Arbeit.

Herrn Dr. med. Christoph Ilies danke ich für die sehr hilfreiche, kontinuierliche Betreuung und jahrelange Begleitung und anregenden Tipps und Erörterung des Themas.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Ole Broch danke ich für die freundliche und sachkundige Betreuung bis zum Abschluss der Arbeit.

Herrn Dr. med. Daniel Siedenhans danke ich für die Unterstützung zu Beginn der Doktorarbeit und bei der Einarbeitung in den CNAP Monitor.

Herrn Prof. Dr. med. Linstedt danke ich für die zwischenzeitlich Beratung, anregende Tipps und Diskussion des Themas. Zudem für die Motivation.

Ich danke ganz besonders meiner Familie und meiner Ehefrau für die ständige Unterstützung während des Studiums und der Erstellung der Doktorarbeit und den Ansporn.

Ich danke dem gesamten pflegerischen Team der chirurgischen Intensivstation des Universitätsklinikums Schleswig-Holsteins., Campus Kiel.

Ich danke allen Freunden, allen voran Fabian Gaußling und Kristina Hoffström bei der tatkräftigen Unterstützung zur Fertigstellung der Arbeit.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei allen Patienten, die an der Studie teilgenommen bedanken.

10. LEBENSLAUF

Persönliche Daten:

Name: Patrick Berg
Geburtstag: 28.12.1981
Geburtsort: Itzehoe
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familie: Vater: Joachim Berg (Heilpraktiker)
Mutter: Traute Berg (Krankenschwester)
Schwester: Birte Schneider
Familienstand: verheiratet
Ehefrau: Anja Berg (Diplom Handelslehrerin)

Schulbildung:

1989 – 1993 Grundschule Ernst-Moritz-Arndt Schule Itzehoe
1992 – 2001 Sophie-Scholl-Gymnasium Itzehoe
2001 – 2003 Zivildienst im Rettungsdienst mit anschließender
Ausbildung zum Rettungsassistenten
2003 - 2011 Festanstellung als Rettungsassistent beim DRK
Steinburg

Hochschulstudium:

10/ 2006 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der
Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel
04/2009 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
02/2010 Beginn der Promotionsarbeit
04/2012 Beginn des Praktischen Jahres
04/2013 Abschluss des Medizinstudiums
06/2013 Beginn der Facharztausbildung in der Urologie
Flensburg

Famulaturen:

09-10/2009	Anästhesie Uniklinik Kiel
11/2009	MVZ Prof. Mathey und Prof. Schofer Hamburg
07- 08/2011	Urologie und Allgemein-, Gefäß- und Viszeralchirurgie Itzehoe