

Diplomarbeit

**Vergleich arterieller und
kapillärer Blutgasanalysen**

eingereicht von

Claus-Uwe Weitzer

Mat.Nr.: 0310435

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Klinik für Innere Medizin - Intensivstation

unter der Anleitung von

Ass.Drⁱⁿ. Vanessa Stadlbauer - Köllner

Graz, 10.02.2010

(Unterschrift)

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Claus-Uwe Weitzer, erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Vorwort

Ziel der Diplomarbeit ist es, im Rahmen einer klinischen Studie sowie anhand einschlägiger Literatur, die arterielle mit der kapillären Blutgasanalyse zu vergleichen. Bis jetzt gilt die arterielle Punktion als unumgänglicher Goldstandard. Es gibt jedoch Hinweise aus pädiatrischen und pulmologischen Studien, dass es eine starke Korrelation zu kapillär gemessenen Blutgasparametern gibt. Durch die höhere Verfügbarkeit und Genauigkeit von EDV im diagnostischen Bereich, sollte ein iterativer neuer Algorithmus gefunden werden, der es erlaubt von kapillären auf arterielle Werte rückzurechnen. Dadurch könnte eine arterielle Punktion, die sich unter Umständen als schwierig gestaltet, für den Patienten größere Risiken birgt und außerdem nur von ärztlichem Personal durchgeführt werden darf, in gewissen Situationen ersetzt werden. Im Rahmen der Studie konnte nur für bestimmte Blutgasparameter ein vergleichbares Messergebnis erzielt werden. Der am meisten gewünschte Sauerstoffpartialdruck konnte auch in unserer Studie nicht ausreichend genau aus den kapillären Messungen bestimmt werden.

Anmerkung zum Text: Die weibliche Form ist der männlichen Form in dieser Diplomarbeit gleichgestellt; lediglich aus Gründen der Vereinfachung wurde die männliche Form gewählt.

Danksagungen

Ich bedanke mich allerherzlichst bei:

Frau Ass-Dr. Vanessa Stadlbauer-Köllner, meiner Hauptbetreuerin, die sich trotz der Geburt ihrer Tochter Sara genügend Zeit für jeglichen Rat bezüglich der Arbeit genommen hat.

Doz. OA Karl-Heinz Smolle, meinem Zweitbetreuer der Diplomarbeit und Leiter der klinischen Studie, der mir neben seiner fachlichen Kompetenz außerdem direkt am Krankenbett bei der anfangs schwierigen Aufgabe der kapillären Messung tatkräftig zur Seite gestanden ist.

Dr. Heinz Rüter von Roche Diagnostics, der die Studie in dieser Form erst ermöglicht hat.

Dem Team der ICU und CCU Graz, die mir als freundliche Begleiter und helfende Hände direkt am Patienten weiter geholfen haben.

Meinen Liebsten im engen Kreis, die mich auf dem gesamten Weg meines Studiums, bis hier hin zur Diplomarbeit, begleitet und unterstützt haben.

Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit werden arterielle mit kapillären Blutgasanalyseverfahren verglichen. Im Rahmen einer klinischen Studie an der Intensivstation der Medizinischen Universitätsklinik Graz (ICU) wurden bei Patienten simultan an der A. radialis, sowie am Ohrläppchen Blutproben gewonnen und miteinander hinsichtlich Korrelation der Blutgasparameter verglichen. Anhand der publizierten Artikel und Meta-Analysen (siehe Literaturverzeichnis) wird ein Gesamtüberblick über die Problematik der Blutgasanalyse und im Speziellen in der Sichtweise des intensivmedizinischen Monitoring dargestellt. Die Diplomarbeit ist im Sinn einer (erweiterten) Publikation gegliedert und enthält folgende Punkte: In der *Einleitung* werden die bisherigen relevanten Publikationen aufgerollt, ein Rückblick in die Geschichte der Blutgasanalyse gewährt und zu den Überlegungen hinsichtlich unserer Studie übergeführt. Im Punkt *Methoden und Materialien* wird beschrieben, wie und in welchem Ausmaß an der Studie gearbeitet wurde, um danach die Ergebnisse in der Rubrik *Resultate* zu präsentieren. In der *Diskussion* wird unsere Methode mit anderen verglichen und auf Vor- und Nachteile hingewiesen. Die Daten dieser Diplomarbeit werden als Kongressbeitrag im Rahmen eines internationalen Kongress eingereicht.

Abstract

Background: Arterial blood gas analysis is necessary in the evaluation of the clinical condition of critically ill patients. Arterial puncture is recommended to be gold standard, although this procedure or insertion of an arterial catheter may sometimes be difficult and cause complications. Older and more recent studies of pulmonary and pediatric patients have shown, that capillary blood can safely replace arterially obtained measured values.

Objective: To determine whether capillary blood gas measurements provide a clinically acceptable estimate of arterial pH, PCO₂, PO₂, Hb and P50 in critically ill adult patients.

Setting: A prospective descriptive study.

Methods: Fifty patients who were admitted to the intensive care unit at the University Hospital of Graz were included in this study. Blood samples were drawn simultaneously from the arterialized earlobe (capillary) and the radial artery of each patient.

Results: The correlation coefficient between the two methods were 0,9567 for pH, 0,9252 for PCO₂ and 0,7731 for PO₂. In spite of this good correlation, limits of agreement were very wide for PO₂. Earlobe values of PO₂ were usually lower than arterial values, with a larger difference in the range of normal and high PaO₂. On the other hand error and limits of agreement were small for PCO₂ and very small for pH. The predicted arterial blood gas values from the mean-percentage-difference equations were derived as followed: $pH_a = pH_c \times 1,001$, $PaCO_2 = PcCO_2 \times 1,149$, $PaO_2 = PcO_2 \times 1,826$, $aHb = cHb \times 1,038$, $aP50 = cP50 \times 1,141$.

Conclusions: Capillary Blood gases accurately reflect arterial pH, PCO₂ and Hb in most adult ICU patients; still it cannot be used in patients, who require invasive continuous blood pressure measurements and close monitoring of PO₂.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Arterielle Punktion als Goldstandard.....	3
1.1.1 Risiken der arteriellen Punktion.....	4
1.2 Kapilläre Messungen im Verlauf der Zeit.....	5
1.2.1 1960er - Austausch der Methoden.....	5
1.2.2 Kapilläre Messung in der Praxis nicht verwendet.....	6
1.3 Blutgasanalysen in der Pädiatrie.....	7
1.4 Blutgasanalysen in der klinischen Anwendung.....	8
1.5 Blutgasanalyse bei Belastungstests.....	9
1.6 Meta-Analyse zur Problematik.....	9
1.7 Gas-Check beim Intensivpatienten.....	10
2 Material und Methoden	12
2.1 Patientengut.....	12
2.2 Materialliste.....	13
2.3 Probengewinnung.....	15
2.3.1 Arterielle Probengewinnung.....	15
2.3.1.1 Keimfreies Arbeiten.....	16
2.3.1.2 Alarmgrenzen.....	16
2.3.1.3 Spezielle Spritzen.....	16
2.3.1.4 Aspirationsmenge.....	17
2.3.1.5 Stabilität des Patientenparameter.....	17
2.3.1.6 Probenhandling.....	17
2.3.1.7 Probenlagerung.....	18
2.3.2 Kapilläre Probengewinnung.....	19
2.4 Das Blutgasanalyse Messprotokoll.....	20
2.4.1 Gemessene Werte.....	21
2.4.2 Errechnete Werte.....	21
2.4.3 Manuelle Einstellungen.....	22
2.5 Blutgas Parameter.....	23
2.5.1 PO ₂ - Sauerstoffpartialdruck.....	23
2.5.2 PCO ₂ - Kohlendioxidpartialdruck.....	25
2.5.3 pH-Wert.....	25
2.5.4 cHCO ₃ ⁻ - Bikarbonat.....	26
2.5.5 BE - Base Excess.....	26
2.5.6 SO ₂ - Sauerstoffsättigung.....	26
2.5.7 P ₅₀ - Halbsättigungsdruck.....	28
2.6 Oximetrische Parameter.....	29
2.6.1 tHb - Hämoglobinkonzentration.....	29
2.6.1.1 COHb - Carboxyhämoglobin.....	29
2.6.1.2 MetHb - Methämoglobin.....	30
2.6.1.3 SHb - Sulfhämoglobin.....	30
2.6.1.4 RHb - Reduziertes Hämoglobin.....	30
2.6.2 Hct - Hämatokrit.....	30
2.7 Elektrolyte.....	31
2.7.1 Natrium - Na ⁺	31

2.7.2 Kalium - K ⁺	32
2.7.3 Kalzium - Ca ⁺⁺	32
2.7.4 Chlorid - Cl ⁻	33
2.7.5 AG - Anion Gap.....	33
2.8 Metaboliten.....	34
2.8.1 Glu - Glucose.....	34
2.8.2 Lac - Lactate.....	34
2.9 Statistische Auswertung.....	35
3 Ergebnisse - Resultate.....	37
3.1 pH-Wert.....	39
3.2 PCO ₂	41
3.3 PO ₂	43
3.4 Hb.....	45
3.5 P50.....	47
4 Diskussion.....	49
4.1 Aufrollen der Problematik.....	49
4.2 Diskussion der Ergebnisse.....	49
4.3 Studien-Problematik.....	51
4.4 Erfahrungswerte.....	52
4.5 Appell an die Firmen.....	53
4.6 Abschließende Worte.....	53
5 Literaturverzeichnis.....	55
5.1 Publikationen.....	55
5.2 Lehrbücher.....	58
5.3 Internetquellen.....	59

Glossar und Abkürzungen

AaDO₂ - Alveolo-arterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz

AG - Anionenlücke (Anion Gap)

AMV - Atemminutenvolumen

BE - Basenabweichung (Base Excess)

BGA - Blutgasanalyse

CCU - Cardiological Care Unit

ctO₂ - Sauerstoffgehalt

FIO₂ - Fraction of Inspired Oxygen

Glu - Blutzucker (Glucose)

Hb - Hämoglobin

HCO₃⁻ - Bikarbonat

Hct - Hämatokrit

ICU - Intensive Care Unit

Lac - Lactate (Milchzucker)

P50 - Halbsättigungsdruck

PCO₂ - Kohlendioxidpartialdruck

PO₂ - Sauerstoffpartialdruck

POCT - Point of Care Testing

RBC - Red Blood Cells

SO₂ - Sauerstoffsättigung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung1: COBAS Blutgasanalysator	13
Abbildung2: Kapilläre Probengewinnung	19
Abbildung3: Blutgasanalyse-Protokoll	21
Abbildung4: Sauerstoffbindungskurve	27
Abbildung5: Streudiagramme der gemessenen Werte	38
Abbildung6: Graphische Darstellung pH-Wert	40
Abbildung7: Graphische Darstellung PCO_2	42
Abbildung8: Graphische Darstellung PO_2	44
Abbildung9: Graphische Darstellung Hb	46
Abbildung10: Graphische Darstellung P50	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle1: Gaspartialdrücke bei In- und Expiration	24
Tabelle2: Patientencharakteristika der Studienteilnehmer	37
Tabelle2: Korrelationskoeffizient nach Pearson	47

1 Einleitung

Die Blutgasanalyse ist in der Intensivmedizin ein unumgängliches Instrumentarium zum Monitoring von schwerst erkrankten Patienten und wird routinemäßig durchgeführt.[1] Grundsätzlich kann Blut aus verschiedenen Blutgefäßen verwendet werden, wobei sich arteriell gewonnenes Blut als am besten geeignet herausgestellt hat.[2] Alternativ dazu können bei stabilen Kreislaufverhältnissen und dementsprechender Hyperämisierung, arterialisiertes Kapillarblut als Wegweiser verwendet werden.[3] Venöses Blut ist zur Beurteilung einer BGA nicht geeignet. Eine Ausnahme dahingehend stellt das aus dem Pulmonalis-Katheter gewonnene gemischt-venöse Blut dar.[4]

Man unterscheidet Blutproben, die mittels Einmalpunktion gewonnen werden und jene, die mittels Aspiration aus einem liegendem Katheter oder einer Verweilkanüle immer wieder abgenommen werden können.

Die arterielle Punktion erfolgt in aller Regel (und als standardisierte Variante auf der Grazer ICU) über die A. radialis. Im Falle einer nötigen, länger andauernden Überwachung wird ein arterieller Katheter gelegt, nachdem der Allen-Test durchgeführt wurde. Dieser Test in modifizierter Weise soll gewährleisten, dass nach dem Legen der Kanüle ein ausreichender Blutfluss über Kollateralen übrig ist. "Hierbei werden Radial- und Ulnararterie simultan komprimiert bis die Hand weiß wird. Anschließend wird der Blutfluss in der Ulnararterie freigegeben und die Zeit bis zur Rosafärbung der Hand genommen. Bei einer ausreichenden Kollateralisierung sollte eine Wiederaanfärbung der Hand innerhalb von 5-10 s erfolgen." [32]

Alternativ dazu können ebenfalls die A. ulnaris, die A. brachialis oder bei schwierigen Verhältnissen am Arm auch die A. dorsalis pedis oder die A. femoralis mittels Spezial-Katheter punktiert werden.[5]

Das arterielle Blut liefert dabei zuverlässige Aussagen über den Sauerstoffstatus in Verbindung mit dem Hämoglobin. Dabei werden neben möglichen Ventilations-

ebenso Diffusions- und Perfusionsstörungen detektiert. Festzustellen bleibt, dass die Messergebnisse unabhängig von der Abnahmestelle immer repräsentativ sind.
[5]

Arterialisiertes Kapillarblut kann ebenfalls zur Blutgasanalyse herangezogen werden, wenn aus gegebenem Anlass keine arterielle Punktion möglich ist. Diese Werte sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da es durch verschiedene Ursachen zu teilweise starken Abweichungen kommen kann.[6] Im intensivmedizinischen Setting sind es vor allem die Katecholamin-Therapie, die zu einer peripheren Vasokonstriktion führt und sämtliche Schockformen, die durch Zentralisierung verfälschte Blutgaswerte zeigen.[1]

Als weiterer Faktor, der die Genauigkeit der kapillären Messung hinsichtlich des PO_2 schmälert, ist die ungewisse venöse Blut-Beimengung im arterialisierten Blut. Denn je höher der PO_2 im arteriellen Blut ist, desto größer ist auch der arterio-venöse PO_2 Unterschied, was bedeutet, dass schon kleine Mengen venöser Beimengung einen großen Unterschied machen.[7] Umso weniger aussagekräftig wird die gesamte Messung dann, wenn hohe FiO_2 -Werte - wie beim Intensivpflichtigen sehr oft üblich - herangezogen werden und iatrogen hohe PO_2 -Werte produziert werden.[3]

Als Entnahmeorte der kapillären Blutgasanalyse kommen grundsätzlich das Ohrläppchen, die Fingerbeere, sowie bei pädiatrischen Patienten die große Zehe oder die Ferse in Betracht.[8,9]

Venöse und zentralvenöse Proben sind für Blutgasanalysen nur eingeschränkt zu empfehlen. Periphere Abnahmen geben keinerlei Aussage über den Sauerstoffstatus und weichen mit den Werten je nach Körperregion stark ab. Zentralvenöse Proben entsprechen dem Blut aus den großen herznahen Venen (z.B. V. cava superior) oder dem rechten Vorhof. Die Gas-Partialdrücke sind zwar nicht repräsentativ, doch können die Parameter Hb, pH, Elektrolyte und die Metaboliten Glucose und Lactat als aussagekräftig bewertet werden, da es fast zu keinen Variationen zwischen arteriellen und venösem Blut kommt.[10]

Gemischtvenöses Blut, entnommen aus der A. pulmonalis, ist als repräsentatives Mischblut anzusehen, da das gesamte Körpervenensblut gemischt ist. Beim kritisch Kranken kann nach erfolgter Blutgasanalyse durch Berechnung bestimmter Werte die Respirator- und Kreislauftherapie optimiert werden.[40]

1.1 Arterielle Punktion als Goldstandard

Auf Grund der vorherigen Aussagen erscheint es als klar, dass die Gewinnung von arteriellem Blut als Goldstandard zur exakten Messung von Blutgasen weltweit eingesetzt wird. Und gerade auf Intensivstationen, wo nicht nur die Genauigkeit der Blutgaswerte, sondern auch andere Blutparameter wie der Säure-Basenhaushalt, die Elektrolyte und Stoffwechselmetaboliten eine entscheidende Rolle spielen, wird auf die arterielle Punktion vertraut.[5]

Als weiterer Vorteil der arteriellen Gewinnung gilt, dass mehrere Blutproben hintereinander aus einem liegenden Katheter abgenommen werden können. Dies kann immer wieder, ohne zusätzlich invasive Maßnahmen, rasch und auch von dafür geschultem Pflegepersonal geschehen, was bei Verlaufskontrollen einen erheblichen Komfort bietet. Dabei ist die benötigte Blutmenge variabel und es wird ein sauberes Arbeiten an einem geschlossenen System garantiert.[33]

Dem gegenüberstellend ergeben sich bei der kapillären Abnahme aus dem Ohrläppchen einige Nachteile:

- 1) Bei der Abnahme müssen einige wichtige Punkte eingehalten werden, um nicht das Ergebnis bereits vor der eigentlichen Messung zu verfälschen. So ist es wichtig, das richtige Intervall zwischen Auftragen der topischen hyperämisierenden Salbe und der Abnahme zu finden und diese Salbe nach Applikation gründlich zu entfernen. Die richtige Stelle am Ohrläppchen muss detektiert und tief genug inzidiert werden, um ohne zu große Kompression das Blut zu gewinnen. Dabei ist die richtige Handhabung mit der zu befüllenden Glaskapillare schwierig und für nicht geübtes Personal

schier unmöglich. Da die Blutgewinnung quasi freihändig erfolgt und die Abnahme an einem offenen System erfolgt, steht einerseits immer eine mögliche Infektionsquelle im Raum und andererseits ist die Kontamination der Probe mit Raumluft immanent.[11]

- 2) Erschwerend kommt von der Patientenseite hinzu, dass die aufgetragene Salbe als unangenehm und lange störend empfunden wird, obwohl der gewünschte Effekt der Mehrdurchblutung beinahe ausbleibt.
- 3) Bei der Beurteilung der Messwerte ist zu beachten, dass der für eine suffiziente Beatmung so wichtige Sauerstoffpartialdruck sehr stark schwankt und lediglich als Orientierung zu verwenden ist.[12]
- 4) Zuletzt ist auch die Reproduzierbarkeit der kapillären Messung eingeschränkt, denn auf ein bereits inzidiertes Ohrläppchen öfters pro Tag eine Salbe wie das von uns verwendete Finalgon® aufzutragen, stellt sich auf Grund der pruritoiden Nebenwirkung als klinisch unbrauchbar heraus. Ein Ausweichen auf die Fingerbeere würde weniger wertvolle Daten hervorbringen.[9]

1.1.1 Risiken der arteriellen Punktion

Dennoch gestaltet es sich in manchen Situationen als unmöglich eine arterielle Punktion durchzuführen, da sie erstens technisch nicht einfach ist und zweitens immer von ärztlichem Personal durchgeführt werden muss.[13] Problematisch gestaltet sich die Punktion der Arterie bei schockierten Patienten oder etwa im Notarzteeinsatz bei schlechten äußeren Bedingungen wie Kälte oder ungenügenden Lichtverhältnissen.[14]

Obendrein ist die arterielle Punktion stets mit Risiken behaftet und birgt neben dem Blutungsrisiko - vor allem bei Patienten mit oraler Antikoagulation, deren Zahl kontinuierlich steigend ist - noch andere Gefahren. Die Gefäßwand kann beschädigt werden, wodurch Aneurysmen (Aussackung der Arterienwand) entstehen können - Thrombosen und distale Okklusionen können die Folge sein.
[15]

Weiters können durch Nadelstichverletzungen Infektionskrankheiten wie HCV (Hepatitis C Virus) oder HIV (Humanes Immundefizienz Virus) übertragen werden. [16]

Anzumerken bleibt, dass die oben genannten Komplikationen zwar möglich, aber sehr selten zu beobachten sind.[13] Ganz im Gegenteil dazu stehen in ständiger Präsenz die höheren Kosten eines arteriellen Punktionssets - wie zum Beispiel dem Microsampler® - und die mögliche venöse Beimengung bei unsauberer Punktion, welche eine Verfälschung der Werte zur Folge hat.

1.2 Kapilläre Messungen im Verlauf der Zeit

Um die Probleme zu umgehen, welche die arterielle Punktion mit sich bringt, wollte man eine Alternative anbieten und tatsächlich sprechen einige Fakten klar für eine kapilläre Blutabnahme. Zum einen werden nur sehr geringe Mengen an Blut für eine BGA benötigt [34] und selbst bei antikoagulierten Patienten kann ohne große Furcht vor Blutungen eine Messung stattfinden. In der Bevölkerung wird die kapilläre Messung am Ohrläppchen außerdem sehr gut akzeptiert, da Lactat-Messungen zur leistungsdiagnostischen Überprüfung weithin bekannt sind und diese nach dem selben Prinzip durchgeführt werden.[17] Ein zusätzlicher Vorteil - der vor allem von der Ärzteschaft begrüßt wird - ist, dass die kapilläre Messung von geschultem Pflegepersonal oder Laboranten durchgeführt werden kann und darf.[12] Dies würde für andere Länder (außer Österreich) bedeuten, dass nunmehr sämtliche Blutprobengewinnung außerhalb des ärztlichen Tätigkeitsbereichs fallen würde.

1.2.1 1960er - Austausch der Methoden

Aus diesen Überlegungen heraus, fanden im Großbritannien der 1960er Jahre mehrere Studien zum Thema des Austauschs von arteriellen durch kapilläre Messungen statt. Der Däne *Astrup* hatte kurz nach dem zweiten Weltkrieg die erste Elektrode erfunden, die den arteriellen PCO₂ und pH mit ziemlicher

Genauigkeit reproduzieren konnte.[18] Der Däne *Siggaard Anderson* hatte diese Methode verfeinert.[19] Wenig später war es der Brite *Clark*, der eine ähnliche Elektrode zur Messung des arteriellen PO₂ auf den Markt brachte.[20]

Mit diesen Werkzeugen wurde experimentiert und im Jahre 1965 erschien eine einschlägige Publikation von *Langlands* im *Lancet*. Bei 16 Probanden wurde simultan arteriell aus der A. brachialis und kapillär am Ohrläppchen Blut gewonnen und verglichen. Experimentell wurden danach noch Verdünnungseffekte und Kontamination mit atmosphärischer Luft berechnet. Diese Versuchsreihe stellte dar, dass ein einwandfreier Austausch der Methoden möglich sei und die kapilläre Messung, auf Grund ihrer Sicherheit und Einfachheit dabei zu bevorzugen ist.[21]

Etwas kritischer betrachtet wurde die kapilläre Messung vom Texaner *Christophorides*, der bei seinen Experimenten nicht nur Patienten einschloss, die normale Raumluft atmeten, sondern auch solche, die über Sauerstoffmasken reinen Sauerstoff zugeführt bekamen. Im Rahmen seiner Studie entwickelte er einen kapillären Abnahmemechanismus, der das Blut aus dem Ohrläppchen nicht frei fallend sammelte, sondern statt dessen einen kontinuierlichen Fluss ermöglichte, um den Effekt der atmosphärischen Kontamination zu minimieren. Er publizierte, dass die kapilläre Messung zwar für Routinemessungen sehr gut geeignet, jedoch bei der Beatmung kritisch Kranker unbrauchbar sei. Hier wird die direkte arterielle Punktion empfohlen.[11]

1.2.2 Kapilläre Messung in der Praxis nicht verwendet

Nachdem diese Resultate präsentiert wurden, wehte wenig Wind um die kapillären Blutgaswerte. Ob in der Zeit bis zur Mitte der 90er des vorigen Jahrhunderts die Methode tatsächlich in Vergessenheit geraten, oder auf Grund ihrer eigentümlichen Anwendung als unbrauchbar abgetan worden ist, entzieht sich leider den Recherchen rund um die BGA. Bis auf einige kapilläre Messungen unter Belastungstests, wurde wenig hochrangig publiziert.

Es war ein britisches Team rund um *Pitkin*, die im Jahr 1994 die kapilläre Messung wieder "En Vogue" bringen und der Bereitschaft zur Verwendung dieser Methode nachgehen wollte.[7]

Dazu wurden bei 40 chronisch Lungenkranken Blutgas-Vergleichsmessungen durchgeführt und die arteriellen PO_2 , PCO_2 und pH-Werten den kapillären gegenübergestellt. Die gezeigten Resultate in dieser Studie weisen darauf hin, dass sich die Genauigkeit der Messung von kapillären PO_2 - und PCO_2 durchwegs auch auf pulmologisches Patientengut ausweiten lässt, obwohl deren Werte eine größere Reichweite besitzen. Man schlägt vor, die BGA vom Ohrläppchen, von einer reinen Forschungstechnik zu einer zuverlässigen klinischen Routine-Diagnostik zu erheben.[7]

Dass genau das nicht der Fall war, zeigte sich durch eine telefonische Evaluierung an 50 britischen Lungenfachzentren, welche den Einsatz von kapillären Messungen im klinischen Alltag zeigen sollte. Tatsächlich verwendeten zu diesem Zeitpunkt lediglich 18% aller großen Zentren Großbritanniens die kapilläre Technik. Die angegebenen Hauptgründe die gegen eine Anwendung sprachen, waren einerseits das zu geringe Wissen im Umgang mit kapillären Blutgasanalysen und andererseits Befürchtungen um ungenaue Ergebnisse.[7]

1.3 Blutgasanalysen in der Pädiatrie

Ganz gegenteilig verhält es sich an pädiatrischen intensivmedizinischen Einrichtungen, wo die kapilläre Messung durchaus zur klinischen Routinediagnostik zählt.[22] Gerade bei Neugeborenen erweist sich eine arterielle Punktion durch den geringeren Gefäßlumen-Durchmesser oder vorangegangene Manipulationen als besonders schwierig.[8] In diesem Fall kommt die kapilläre Messung, die entweder am Mittelfinger oder an der Ferse erfolgt, in Frage. Zwar besteht nur eine schwache Korrelation beim PO_2 , doch können sämtlich andere Blutgas-Parameter PCO_2 und pH,[23] sowie BE und HCO_3^- selbst bei Hypothermie und Zentralisierung [10] verlässlich verwendet werden.

Unumgänglich bleibt die arterielle Messung bei pädiatrischen Patienten, die in kurzen Intervallen hinsichtlich ihrer PO_2 -Werte überwacht werden müssen.[8]

1.4 Blutgasanalysen in der klinischen Anwendung

Nachdem *Pitkin* publizierte, dass die kapillären Werte für pH, PCO_2 und PO_2 ausreichend genau für die klinische Anwendung wären [7] und wenig später *Dar et al.* ebenso die Gleichwertigkeit der biochemischen Daten und sogar eine Abwendung von der arterieller Messung, wegen zu großer Schmerzintensität darlegte,[17] war es der Schweizer *Sauty*, der diesen Aussagen kontrerte.[3]

Er bemerkte, dass die kapilläre Abnahmetechnik in seinem pulmologischen Labor zwar standardisiert durchgeführt wurde, sich jedoch immer wieder Diskrepanzen zwischen arteriellen und kapillären Sauerstoffpartialdruck-Werten ergaben. Eine Re-Evaluierung der Werte wurde angestrebt. 115 pulmologische Patienten wurden als Probanden in seine Studie eingeschlossen, beide Proben in bekannter Weise simultan abgenommen und statistisch nach der Methode von *Bland* und *Altman* [24] ausgewertet. Trotz einer hoch signifikanten Korrelation der PO_2 - und der PCO_2 -Werte, war speziell für Sauerstoff die Regressionslinie stark abweichend von der Gleichheitslinie. Die Resultate enthüllen einen Mangel an Übereinstimmungen für den PO_2 , wohingegen für PCO_2 die Standardabweichung nahezu Null und das Limit der Übereinstimmung schmal war. Die Daten zeigen, dass der kapilläre PO_2 oft die arteriellen Werte unterschätzt und somit die Technik für die klinische Routine als ungeeignet einzuschätzen ist.[3]

In einem Brief an den Herausgeber von *Dall'Ava-Santucci* werden die Resultate von *Sauty* weiter bekräftigt, wobei sich die Abweichungen beim PO_2 sogar als noch weitreichender herausstellten. Außerdem propagiert man, dass die Abnahme am Ohrläppchen für das Personal in Sachen Infektiosität durch Stichverletzungen, entgegen den bisherigen Behauptungen, ein weit höheres Risiko birgt als die arterielle Punktion.[6]

1.5 Blutgasanalyse bei Belastungstests

Nach den neueren Berechnungsmethoden von *Bland* und *Altman* [24] stellte sich die Frage, in wie weit die Studien zur Blutgasanalyse unter körperlicher Belastung aus früheren Jahrzehnten, einen Anspruch auf Richtigkeit bewahren konnten.[25, 26] Denn, sollte sich eine gute Verwendbarkeit der kapillären Werte zeigen, könnte man auf die arterielle Punktion, die sich bei Belastungstests als besonders unpraktisch darstellt, unter Umständen verzichten.

Ein französisches Team rund um *Fajac* untersuchte, wie sich die Blutgase-Werte unter Belastung ändern, wenn man arterielles und kapilläres Blut gewinnt. Zu diesem Zweck wurden Probanden auf einem Fahrradergometer mit leichter Belastung (bis maximal ca. 180 Watt) getestet. Simultane Abnahmen erfolgten vor und während der körperlichen Anstrengung. Überraschenderweise näherte sich der PO_2 im linearen Regressionsmodell unter Belastung näher der Normallinie an, als beim ruhenden Probanden. Verwunderlich ist diese Tatsache deshalb, weil die arterio-venöse PO_2 -Differenz bei normalen Probanden in Ruhe niedriger (ca. 60 mmHg) als bei leichter Belastung (ca. 75 mmHg) ist und eine kleine venöse Beimengung bereits große PO_2 -Schwankungen verursacht. Anscheinend erzeugte die hyperämisierende Paste am Ohrläppchen aber eine ausreichende Arterialisierung. Dennoch ist festzuhalten, dass die kapillären PO_2 -Werte trotzdem nicht als Austausch für die arteriellen gelten können - auch nicht unter Belastung. [13]

1.6 Meta-Analyse zur Problematik

Um diese schwierige Frage zu klären und eine Zusammenschau aller bisher publizierten Artikel zu geben, nahm sich das kanadische Team um *Zavorsky* vor, eine Meta-Analyse durchzuführen. 29 der einschlägigen Publikationen wurden untersucht, ob die kapilläre tatsächlich die arterielle BGA widerspiegeln kann.[9] Als Ergebnis ist zu werten, dass wenn eine kapilläre Abnahme erfolgt, dann lediglich aus dem Ohrläppchen, da die dort gewonnenen Werte wesentlich genauer sind, als jene etwa aus der Fingerbeere. Bezüglich der Parameter pH und

PCO₂ zeigen sich eindeutig brauchbare Übereinstimmungen über weite Strecken von Werten. Der Sauerstoffpartialdruck hingegen weicht im Mittel um ± 6 mmHg ab. Dies wird von den Autoren als "passender Austausch" bezeichnet und deckt sich mit den Qualitäts-Anforderungen an eine BGA.[27]

Auch diese Meta-Analyse zeigt, dass der Unterschied zwischen dem arteriellen und dem kapillären PO₂ gering ist, wenn der PaO₂ niedrig ist. Dies zeigt sich zum einen in Studien mit schwer Lungenkranken [21] und vor allem in der Mount Everest Studie, wo durchwegs niedrige Sauerstoffpartialdrücke gemessen wurden. [28] Die Meta-Analyse bringt ebenso zum Ausdruck, dass es schwierig ist, die einzelnen kapillären Abnahmemodalitäten miteinander zu vergleichen, da der Arterialisierungsgrad am Ohrläppchen unterschiedlich - manchmal durch wärmende Lampen,[11] manchmal durch Anwendung topischer, hyperämischer Salben [13] und manchmal nur durch kurze manuelle Massage [1] - zu beurteilen ist. Die venöse Beimengung kann nicht ansatzweise verglichen werden. Außerdem spielen unter anderem die Sorgsamkeit bei der kapillären Blutgewinnung, die Weiterentwicklung der Blutgasanalytoren oder ein Publikations-Bias über die Jahre eine Rolle.[9]

1.7 Gas-Check beim Intensivpatienten

Bis vor kurzem wurden nur Patienten untersucht, die routinemäßig zur Evaluierung der Lungenfunktion eine BGA über sich ergehen lassen mussten. Eine andere, nicht außer acht zu lassende Indikationsstellung für die BGA wurde dabei aber nicht berücksichtigt. Wie bereits *Andrews* berichtete, ist die Anzahl der entnommenen Blutproben auf medizinischen Intensivstationen bereits so hoch, dass man immer häufiger auf iatrogene Anämien trifft.[29] Und dennoch gibt es zu beatmeten Patienten kaum Studien in diese Richtung.

Ob die kapillären Werte auch hier mit den arteriellen Messungen vergleichbar sind, wo Patienten einer künstlichen Beatmung unterzogen werden bzw. zumindest erhöhte Sauerstoffmengen erhalten, wurde von iranischen Intensivmedizinern erforscht.[1]

Ziel der Studie war es die Wertigkeit der kapillären Messung für beatmete Patienten zu bestimmen. Bei 67 erwachsenen Intensivpatienten mit akutem Lungenversagen wurden vergleichende Blutgasanalysen durchgeführt. Alle eingeschlossenen Probanden wurden für mindestens 48 Stunden mechanisch beatmet, wobei der FIO_2 bei 0,50 oder darunter lag. Neben den Parametern pH, PO_2 und PCO_2 , wollte man ebenfalls genauere Daten über den Säure-Basen-Haushalt erheben und verglich dazu BE und HCO_3^- . Als Ergebnis dieser Studie kann man werten, dass sich bei normotensiven, normothermen Patienten selbst bei mechanischer Beatmung, alle gemessenen Parameter - mit Ausnahme des PO_2 - gut durch die kapilläre Messung beschreiben lassen. Es gibt daher auch keine Empfehlung die kapilläre Messung bei Patienten einzusetzen, die ein kontinuierliches PO_2 -Monitoring benötigen.[1]

Die Überlegungen zu unserer Studie waren folgende: Nachdem für beinahe alle Blutgas- und Säure-Base-Parameter eine gute Korrelation zwischen kapillären und arteriellen Messungen besteht, könnte es vielleicht eine Möglichkeit geben, für den bisher mehr als ungenauen Sauerstoffpartialdruck einen iterativen Algorithmus zur Umrechnung zu generieren. Zusammen mit der Firma Roche Diagnostics und dem Blutgasanalysegerät COBAS® b221 sollte in Zukunft die Umrechnung durch das Gerät erfolgen. Der Benutzer sollte lediglich manuell die Blutprobenart bestimmen und binnen kürzester Zeit zuverlässige Ergebnisse erhalten.

2 Material und Methoden

Die Studie wurde an der Intensivstation der Klinik für Innere Medizin (ICU = Intensive Care Unit) sowie an der Kardiologischen Intensivstation (CCU = Cardiological Care Unit) auf der Medizinischen Universität Graz, Auenbruggerplatz 15, 8036 Graz durchgeführt.

2.1 Patientengut

50 Patienten wurden im Zeitraum zwischen April 2009 und Juli 2009 in die Klinische Studie "Ersatz arterieller Blutgas-Messungen durch kapilläre Messungen" eingeschlossen. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz genehmigt. In die Studie eingeschlossen wurden männliche und weibliche Intensivpflichtige im Alter über 18 Jahren, die zum Zeitpunkt der Probengewinnung persönlich einwilligungsfähig waren. Um unnötige Blutabnahmen zu vermeiden, wurden Patienten ausgewählt, wo aus medizinischer Notwendigkeit routinemäßig eine arterielle Blutgasanalyse durchgeführt werden musste. Zielgruppe dabei waren Patienten, die sich kurz vor der Verlegung auf die Normalstation befanden.

Jeder einzelne Patient bekam einen eindeutigen Studiencode zugewiesen, der keinen Rückschluss auf personenbezogene Daten zulässt. Die studienbezogenen Daten und Proben wurden mit diesem Code versehen. Nur der Prüfer hat Zugriff auf die Zuordnung der Studiencodes zu den Patienten. Die erhobenen Quelldaten verbleiben an der Universitätsklinik für Innere Medizin, wobei in der Krankengeschichte vermerkt wurde, dass der Patient Studienteilnehmer ist.

Bevor die vergleichende Auswertung starten konnte, mussten einige Versuchsmessungen durchgeführt werden. Da kein geschultes Personal zur kapillären Messung zur Verfügung stand, musste die Abnahmetechnik erst richtig erlernt werden. Während der Messungen konnte keine Komplikation - weder bei arterieller, noch bei kapillärer Abnahme - beobachtet werden.

2.2 Materialliste

Folgende Materialien wurden im Rahmen der Studie verwendet:

COBAS® b 221 Blutgasanalysator (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany) - **Abbildung1** zeigt den Analysator und den "Messbereit" Bildschirm des dazugehörigen Touchscreens.



Abbildung1: Das Blutgasanalysegerät von Roche Diagnostics (links) bietet verlässliche diagnostische Ergebnisse und Informationen, die weit über die Grundanforderungen hinausgehen. [www.cobas.at] Der Touch-Screen ermöglicht eine schnelle Auswahl der messbaren Parameter. Dies ist vor allem bei der kapillären Messung von Vorteil, wo mit geringer Probenmengen gearbeitet werden kann. Sollten z.B. Elektrolyte od. Metabolite nicht bestimmt werden, reicht ein Fingerdruck zur Deaktivierung. (rechts)

Microsampler® (AVL, Schaffhausen, Switzerland) Arteriellles Blutabnahmeset - Klinisch auch als "Astrup" bekannt. Der Name stammt vom dänischen Physiologen *Poul Bjørndahl Astrup*, der Anfang der 1950er im Rahmen einer Polio-Epidemie zusammen mit der Firma Radiometer das allererste Blutgasanalyse-Gerät weltweit einführte.[3]

Finalgon®-Salbe (Boehringer Ingelheim, RCV GmbH & Co KG, Wien, Austria) „Enthält 2 hochwirksame gefäßerweiternde Substanzen, die auf der Haut einen intensiven, über viele Stunden anhaltenden Wärmereiz auslösen.“ - Fachinformation. Die vasodilatative Wirkung des Nonylvanillamid und des

Nikotinsäure- β -butoxylester werden für unsere Messungen genutzt um möglichst in die Nähe der arteriellen Werte zu gelangen.

Feather® Blood Lancet (Feather Safety Razor Co., Osaka, Japan) - Lanzette zur kapillären Probengewinnung.

COBAS® Capillary Tubes (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany)
Füllmenge ~ 200 μ L - Heparinisierte Glaskapillare.

BD® Arterial Cannula (BD Critical Care Systems PTE Ltd., Singapore, Rep.of Singapore) Liegender arterieller Katheter.

VAMP® Pressure Monitoring Set (Edward Lifesciences, Unterschleißheim, Germany) - Druckmonitoring und Abnahmevorrichtung für arterielle Proben der Blutgasanalyse.

COBAS® BS2 Blood Sampler (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany)
Sterile, heparinisierte Spritze. Füllmenge: 0,6-2,0 mL.

COBAS® Clot Catcher (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany)
Koagelfänger.

VAMP® Needleless Shielded Cannula (Edward Lifesciences, Unterschleißheim, Germany) Spritzenadapter.

Skinsept® pur (Ecolab GmbH, Düsseldorf, Germany) Hautdesinfektion.

Bei jeglichem möglichen Kontakt mit Blut oder Blutprodukten wurden Einmalhandschuhe verwendet, um Infektionskrankheiten vorzubeugen. Außerdem wurde der Handschuh, der mit der hyperämisierenden Salbe in Berührung gekommen ist, direkt nach Verwendung ausgetauscht, um zusätzliche Hautirritationen zu vermeiden.

2.3 Probengewinnung

Vor der Probengewinnung wird der Patient über die Risiken und die Studienziele aufgeklärt und ein Einverständnis im Rahmen eines schriftlichen "Informed Consent" abgegeben. Das Studienprotokoll wurde im Voraus von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz zugelassen.

Danach wurden die benötigten Utensilien für beide Messungen (arteriell und kapillär) auf einer Tasse vorbereitet, um danach am Patientenbett einen reibungslosen und schnellen Ablauf zu gewährleisten. Die Blutgasanalytik ist nämlich bereits bei der Probengewinnung darauf angewiesen Fehlerquellen zu minimieren, da diese nicht nur die Qualität der gemessenen Ergebnisse verfälschen, sondern in Folge auch die Diagnose beeinträchtigen. Letztlich wird damit die korrekte Therapie erschwert.[40]

Ziel der zeitlichen Optimierung ist es einerseits, die Proben möglichst simultan zu gewinnen, da sich nämlich gezeigt hat, dass sich die Blutgase desselben Patienten innerhalb weniger Minuten deutlich voneinander unterscheiden können. [34] Andererseits sollten die Proben auf raschestem Weg zum Blutgasanalysator gebracht werden, um eine mögliche Kontamination der Probe mit Umgebungsluft zu minimieren.[21]

Äußerst wichtig bei der Probengewinnung ist das Wissen um mögliche Fehlerquellen, die im Rahmen der Abnahme sehr leicht vorkommen können.

2.3.1 Arterielle Probengewinnung

Im Rahmen der Studie wurde für die arterielle Punktion ausschließlich die A. radialis verwendet. Nach korrekter Hautdesinfektion wurde die Hand gegenüber dem Unterarm überstreckt und mittels Microsampler® punktiert. Die Adhäsionskräfte der Schlingenkapillare und der arterielle Druck befördern die

Blutprobe mühelos in das Aufbewahrungsbehältnis, welches sofort nach der Abnahme luftdicht verschlossen wird.

Mehrere verschiedene Katheter- oder Verweil-Systeme zur intermittierenden arteriellen Blutgasanalyse können verwendet werden - auf der ICU Graz kommt das VAMP®-System zum Einsatz. Bei der Abnahme sind jedoch für alle Systeme in gleicher Weise folgende Punkte zu beachten, um eine saubere, richtige und zeitoptimierte Blutgasanalyse zu gewährleisten:

2.3.1.1 Keimfreies Arbeiten

Unter der Prämisse, dass die arterielle Leitung eine invasive Intervention ist, sollte bereits beim Legen und auch bei jeglicher Abnahme eine keimfreie Umgebung gewährleistet sein. Dies wird am Besten durch die Verwendung und die eingehaltene Einwirkzeit einer alkoholischen Desinfektionslösung gewährleistet.

2.3.1.2 Alarmgrenzen

Da bei der Entnahme der arteriellen Probe und vor allem bei der vorangehenden Aspiration Blutdruckschwankungen für das Monitoring-System ergeben, empfiehlt es sich vor der Gewinnung der Probe die Alarmgrenzen für eine 2-minütige Spanne manuell auszuschalten. Dies erspart einerseits unnötigen Lärm und somit Aufregung beim Patienten und schont nebenbei die Nerven des Pflegepersonals, das gerade am ferner liegenden Monitor sitzt.

2.3.1.3 Spezielle Spritzen

Zur Abnahme aus dem Katheter-System sollen nur die dafür vorgesehenen, gasdichten, trockenheparinisierten Spritzen verwendet werden.[33] An der Grazer ICU werden die vom Analysegerät-Hersteller empfohlenen verwendet. Eine Eigenherstellung von dementsprechenden Spritzen würde durch den ungenauen

Heparin-Anteil und dessen Eigen-pH-Wert von 7,0 zu Verfälschungen der Werte führen. Außerdem können geronnene Blutproben das Analysegerät verstopfen.

[40]

2.3.1.4 Aspirationsmenge

Um repräsentative Werte aus einer arteriellen Probe zu erhalten, muss zuvor genügend Material aspiriert werden. Bei 3-Wege-Systemen kann dies durch eine sterile Spritze erfolgen, die danach verworfen wird. Im Falle des VAMP®-Systems werden 5 mL Blut in eine geschlossene Kammer mittels Hubmechanismus in ein Reservoir gezogen, der Weg dorthin verschlossen und die Probe direkt aus dem arteriellen Schenkel entnommen. Nach erfolgter Abnahme wird der Katheter wieder geöffnet und mittels Hochdruck und physiologischer Lösung gespült. Zu geringe Aspirationsmengen verfälschen die BGA.[5]

2.3.1.5 Stabilität des Patientenparameter

Diese müssen unbedingt gewährleistet sein und innerhalb der letzten 20 Minuten vor der Entnahme soll keine Veränderung der Beatmungsparameter stattgefunden haben. Diese sind unter anderem: stabile Hämodynamik, Schmerz- und Stressfreiheit des Patienten, Prä- und Nachoxygenierungen (z.B. bei endotrachealer Absaugung).[33]

2.3.1.6 Probenhandling

Hier ist vor allem darauf zu achten, dass bei der Entnahme nicht zu ruckartig aspiriert wird, da dies eine Hämolyse zur Folge hat. Luft, die bei der Entnahme in die Spritze aspiriert worden ist, muss sofort entfernt werden. Erst danach wird die Probe verschlossen und es muss eine Durchmischung erfolgen, um eine Sedimentierung zu verhindern. Wird die Probe nämlich inhomogen, kann sie nicht mehr als repräsentativ gewertet werden. Es kommt vor allem zum Abweichen des

Hämoglobinwerts. Da jedoch zu heftiges Durchmischen - in etwa durch wildes Schütteln - wiederum eine Hämolyse zur Folge hat, sollte die befüllte Spritze gleichmäßig zwischen beiden Händen gerollt werden.[40]

2.3.1.7 Probenlagerung

Die "beste Lagerung" einer Probe ist die sofortige Auswertung im Blutgasanalysegerät. Ist eine direkte Bearbeitung etwa durch Kalibrierungsvorgänge am Gerät nicht möglich, so können "Spritzenproben" bis zu 10 Minuten ohne Kühlung gelagert werden. Bei Kühlung um 0-4°C kann diese Zeit auf maximal 30 Minuten verlängert werden. Hierfür eignen sich Eiswasser oder entsprechende Kühlbehältnisse. Was sollte mit den Proben keinesfalls geschehen, wenn sich das Gerät im Kalibrierungsmodus befindet:

- Die Probe bleibt am Analysator liegen oder wird sogar vergessen. Sie muss zu einem späteren Zeitpunkt erneut abgenommen werden.
- Die Kalibrierung wird unterbrochen. Dies hat Messfehler und eventuell sogar den Geräteausfall zur Folge und beschleunigt den Vorgang in keinster Weise.
- Die Probe wird trotz zu langer Lagerungszeit in den Analysator eingebracht. Dies führt zu verfälschten Werten und durch Koagulation zum Verstopfen der Leitungen.
- Die Probe wird zwar korrekt gekühlt gelagert, doch wird im Anschluss vergessen eine Messwerte-Änderung bezüglich der Probentemperatur durchzuführen. Die Werte sind danach nicht repräsentativ.[40]

Mit dem Wissen um diese Komplikationen konnten sämtliche Blutproben im Rahmen der Studie korrekt abgenommen werden.

2.3.2 Kapilläre Probengewinnung

Bevor die arterielle Probengewinnung startet, sollte auf das Ohrläppchen, aus dem das arterialisierte Blut entnommen wird, Finalgon® aufgetragen und leicht einmassiert werden. Dies geschieht vorzugsweise auf das rechte Ohr (bei Rechtshändern), da sich die Abnahme dadurch wesentlich erleichtern lässt. Während der Einwirkzeit von mindestens 5 Minuten, kann die arterielle Probe abgenommen werden.

Danach wird die Salbe wieder gründlich mit einem Tupfer entfernt und das Ohrläppchen mit einem Alkohol-getränkten Tupfer desinfiziert. Nun wird das Ohr auf spezielle Art und Weise gefaltet (siehe **Abbildung2**) und genau an der caudalen Verlängerung der Helix zentral am Lobulus auricularis mit der Lanzette tief inzidiert. Dieses gestaltet sich in der Regel wegen des im Vordergrund stehenden Wärmegefühls und Juckreizes, als wenig schmerzhaft und wird von den Patienten sehr gut toleriert.



Abbildung2: Zeigt das Prozedere der kapillären Blutabnahme. Das Ohrläppchen wird in typischer Weise gefaltet und mit der Lanzette unter kurzem Druck tief inzidiert.

Der allererste Tropfen wird wegen der Gefahr der Durchmischung mit Gewebeflüssigkeit verworfen und danach wird das Ohrläppchen von medial her sanft ausgestrichen. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass das Ohr auf keinen Fall fest gequetscht werden darf. Dies würde durch den hohen Druck einerseits zur Endarterialisierung der gewonnenen Probe führen und andererseits Erythrozyten zur Hämolyse bringen, sowie wiederum eine Durchmischung des Bluts mit Gewebeflüssigkeit fördern.[40]

Ein Problem dessen Vermeidung größte Aufmerksamkeit gilt, ist die Kontamination durch Umgebungsluft, die bei der kapillären Abnahme mehr als bei anderen Abnahmeverfahren zum Tragen kommt. Das Blut befindet sich hier in keinem geschlossenen System und muss quasi "freihändig" in die Glaskapillare, welche innen heparinbeschichtet ist, eingebracht werden. Dies kann eine stärkere Beeinträchtigung durch atmosphärische Luftbedingungen zur Folge haben, wodurch die Sauerstoff- und Kohlendioxid-Partialdrücke verändert werden können. [11] Dem entgegen wirken kann eine bessere Hyperämisierung und der damit verbundene höhere Blutfluss.

Nach der Gewinnung von mindestens ca. 100 µL (entspricht der halben Kapillare) sollten die kapilläre und die arterielle Probe möglichst rasch zum Blutgasanalysegerät gebracht und dort ausgewertet werden. Durch die rund um die Uhr verfügbare POCT (Point of Care Testing) Anlage und das sorgfältige Auswählen des Zeitpunkts zur Kalibrierung der Messelektroden, konnte dies stets innerhalb von 2 Minuten erledigt werden.

2.4 Das Blutgasanalyse Messprotokoll

Je nach Hersteller des Blutgasanalysegeräts unterscheiden sich die einzelnen Messprotokolle im Layout und in den abgedruckten Parametern. Ebenso werden manche Parameter, wie zum Beispiel die Sauerstoffsättigung (SO₂) einmal direkt gemessen oder über hinterlegte Normogramme errechnet. Die folgende Nummerierung bezieht sich auf die **Abbildung3**, die ein eingescanntes Original

des COBAS® b 221 Messprotokolls der Firma Roche Diagnostics darstellt, welches im Rahmen unserer Studie verwendet wurde.[34] Zuerst werden prinzipiell die gemessenen von den errechneten Werten unterschieden und auf die manuelle Einstellungsmöglichkeiten verwiesen. Danach geht es um die Beschreibung der einzelnen Parameter, die sinngemäß - nach Vorbild der Firma Radiometer [42] - in Blocks dargestellt werden.

2.4.1 Gemessene Werte

Der COBAS® b 221 Analysator bestimmt Blutgasparameter (PO_2 , PCO_2 und pH), die oxymetrischen Parameter (tHb und Hct), die Elektrolyte (Na^+ , K^+ , Ca^{++} und Cl^-) sowie die Metaboliten (Glu, Lac).[34]

Analysatoren anderer Firmen differenzieren in der Oxymetrie noch die einzelnen Hämoglobin-Fractionen in Oxyhämoglobin, Carboxyhämoglobin, Methämoglobin, Sulfhämoglobin und Reduziertes Hämoglobin um eine genauere Unterscheidung des Hb-Wertes erreichen zu können, was aber für die klinische Aussagekraft eine vergleichsweise geringe Bedeutung hat.

Messungen	
Pat. ID	Patienten Identifikation
Name	* Anonym
Vorname	
Probenart	Blut
Blutart	Arteriell
Luftdruck	977.66 mbar
Temperatur	37.0 °C
Alter (A/F)	> 1 Jahr
FIO ₂	0.21
PO ₂	87.6 mmHg
PCO ₂	42.3 mmHg
pH	7.394
tHb	12.6 g/dL
Na ⁺	142.6 mmol/L
K ⁺	4.53 mmol/L (+)
Ca ²⁺	1.212 mmol/L
Cl ⁻	104.3 mmol/L
Hct	35.3 %
Glu	121 mg/dL (+)
Lac	1.8 mmol/L
BE	0.3 mmol/L
cHCO ₃ ⁻	25.3 mmol/L
AaDO ₂	7.8 mmHg
PAO ₂	95.4 mmHg
ctCO ₂ (B)	22.7 mmol/L
P50	27.3 mmHg
AG	17.6 mmol/L
SO ₂	96.4 %
ctO ₂	17.4 vol%
H ⁺	40.4 nmol/L
PCO ₂ ⁱ	42.3 mmHg
PO ₂ ⁱ	87.6 mmHg
pH ⁱ	7.394
H ⁺ ⁱ	40.4 nmol/L
a/AO ₂ ⁱ	91.8 %
PAO ₂ ⁱ	95.4 mmHg

Abbildung3: Zeigt das Blutgasanalyse-Protokoll von Roche Diagnostics

2.4.2 Errechnete Werte

Aus diesen Werten kann der Blutgasanalysator über eingegebene Normogramme das Standardbikarbonat (HCO_3^-) und die Basenabweichung (Base Excess) berechnen. Sollte die Oxymetrieinheit die Sauerstoffsättigung nicht direkt messen können, so wird sie über Berücksichtigung des pH-Werts, der Temperatur und des Sauerstoffpartialdrucks errechnet.

Weiters bestimmt der Analysator den Halbsättigungsdruck (P50), die Alveoloarteriellen Sauerstoffpartialdruckdifferenz (AaDO₂), den effektiven Sauerstoffgehalt des Bluts (ctO₂), die Anionenlücke (AG) und die freien Wasserstoffionen (H⁺).[34]

2.4.3 Manuelle Einstellungen

Der Kopf des Messprotokolls beinhaltet Informationen zum Abnahme-Zeitpunkt und -Ort und die **Patientendaten**. Diese werden ebenso wie die Anwender-ID mittels Scanner und Strich-Code in das Blutgasanalysegerät eingelesen um keine Verwechslungen zu begehen und eventuell verloren gegangene BGA-Zettel einfach mit Uhrzeit und Patienten-ID nachdrucken zu können. Außerdem dient dieses elektronische System den Point of Care Mitarbeitern zur Fernüberwachung eventueller starker Schwankungen von Parametern. Diese weisen das ICU-Team direkt nach Detektion auf solche "Ausreißer" hin und es kann eine schnellstmögliche Ergründung der Ursache erfolgen.

Vom Gerät selbst wird der für die Berechnung wichtige atmosphärische **Luftdruck** (in mbar) permanent gemessen und bei jeder Kalibrierung berücksichtigt.

Die **Probentemperatur** wird mit 37°C angenommen. Sollten Proben in Folge einer Lagerung gekühlt werden, muss eine dementsprechende Messwertänderung stattfinden.

Die inspiratorische Sauerstoffkonzentration **FIO₂ (Fraction of Inspired O₂)** in einem Gasgemisch muss vom Benutzer jedes Mal manuell justiert werden. Bei normaler Raumluft, beträgt die Sauerstoffkonzentration 21% und wird als Wert 0,21 angegeben. Bei zusätzlich Beimengung von Sauerstoff in höherer Konzentration, steigt der Wert bis max. 1,00 an, was reinem Sauerstoff entspricht. An der Beatmungsmaschine wird der FIO₂ vom behandelnden Arzt eingestellt. Die Berechnung bei Patienten mit Nasenbrillen und Sauerstoffmasken kann über folgende Formel vereinfacht und Klinik-tauglich gemacht werden:

$$X \text{ Liter } O_2 \text{ mal } 4 \text{ plus } 0,21 \text{ (Raumluft)} = FIO_2$$

Als Obergrenze beim FIO_2 gilt ein Wert von 0,60, da es darüber zu einer Sauerstofftoxikose kommen kann. Folgen daraus können der *Paul-Bert-Effekt* (Neurotoxizität) bzw. bei länger dauernder Beatmung der *Lorrain-Smith-Effekt* (Schädigung der alveolokapillären Membran mit konsekutiver Diffusionsstörung).
[35]

2.5 Blutgas Parameter

2.5.1 PO_2 - Sauerstoffpartialdruck

[83-108 mmHg] - Nach dem Gesetz von *Dalton* ist der Gesamtdruck eines Gasgemischs immer so groß, wie die Summe der Partialdrücke (= Teildrücke). Der Partialdruck eines (trockenen) Gases errechnet sich durch Multiplikation seines prozentuellen Volumenanteils (bei Sauerstoff 21% in atmosphärischer Luft) mit dem herrschenden Gesamtdruck (760 mmHg bei Meereshöhe). Der PO_2 ändert sich aber auf dem Weg ins Blut durch Erwärmung und Anfeuchtung der Raumluft (PH_2O bei $37^\circ C = 47 \text{ mmHg}$) in den oberen Atemwegen. Als Faustregel zur Errechnung der Partialdrücke aus den Vol.-% gilt folgendes:

$$\begin{aligned} & \text{Gaskonzentration in Vol.-% mal } 7 = \text{Partialdruck in mmHg} \\ & \text{sprich: } 21 \text{ Vol.-% } O_2 \text{ in Raumluft mal } 7 = 147 \text{ mmHg } PO_2 \end{aligned}$$

In der Lunge befindet sich allerdings auch noch das abgeatmete Kohlendioxid der letzten Expiration ($\rightarrow PACO_2 \approx 40 \text{ mmHg}$) und auf Grund der Totraumventilation sowie der Vermischung mit dem Residualvolumen der Lunge, sinkt der alveoläre Sauerstoffpartialdruck (PAO_2) auf ca. 100 mmHg ab. Genau zu errechnen ist dieser über die Alveolargleichung:

$PAO_2 = PIO_2 \text{ minus } PaCO_2 \text{ durch den Respirations Quotienten } (\approx 0,8)$
wobei $PIO_2 (PO_2 \text{ der Inspirationsluft}) = (Patm - PH_2O) \times FIO_2$

Treibende Kraft für den Gasaustausch an der Alveolo-kapillären Membran ist der Partialdruckgradient Δp von Sauerstoff und Kohlendioxid zwischen Alveolen und Kapillaren. Auf Grund des physiologischen intrapulmonalen Shuntvolumens beträgt der PaO_2 bereits beim Lungengesunden nur etwa 90 mmHg. Bei pulmonalen und kardialen Erkrankungen wird dieser Wert auf Grund von Ventilations- und Perfusionstörungen noch erniedrigt. **Tabelle1** zeigt eine Zusammenfassung der Sauerstoff und Kohlendioxid Partialdrücke auf dem Weg in und aus dem Körper.

Gas	Inspirations- luft	Alveolar- luft	Blut arteriell	Blut venös	Expirations- luft
O2 (mmHg)	150	100	90	40	115
CO2 (mmHg)	0,3	40	40	45	30

Tabelle1: Partialdrücke von O₂ und CO₂ in Inspirations-, Expirations- und Alveolarluft sowie im arteriellen und venösen Blut.[35]

Der Normalwert für den arteriellen Sauerstoffpartialdruck liegt bei 83-108 mmHg, der altersabhängig noch einmal korrigiert werden sollte:

$$PaO_2 = 102 \text{ minus } 0,33 \text{ mal Lebensjahre}$$

Der einfachste Regelmechanismus über den iatrogen der Sauerstoffpartialdruck erhöht werden kann, ist kurzfristig durch ein vermehrtes Angebot an Sauerstoff und somit Erhöhung der O₂-Fraktion in der zugeführten Raumluft. Bei Erhöhung des FIO₂ sind bei ungestörtem pulmonalen Gasaustausch, folgende arteriellen PO₂-Werte zu erwarten:

$$PaO_2 = FIO_2 \text{ mal } 5$$

[35]

2.5.2 PCO₂ - Kohlendioxidpartialdruck

[35-45 mmHg] - Kohlendioxid entsteht im Körper im Rahmen der Energiegewinnung, wenn Glucose zusammen mit Sauerstoff verbrannt wird. Als Abbauprodukte dieser Oxidation entstehen Kohlendioxid und Wasser. Der Abtransport erfolgt entweder physikalisch gelöst (zu 10%) oder chemisch durch Diffusion an die Erythrozyten gebunden. Der PCO₂ wird vom physikalisch gelösten CO₂ im Blutplasma bestimmt. Regulationsmechanismus ist hierbei das AMV (Atemminutenvolumen), das den Partialdruck reziprok steuert.[40]

Der PCO₂ gibt Aufschluss darüber, ob die pulmonale Ventilation ausreichend ist. Mit dem Parameter ist es möglich, zu unterscheiden, ob ein Problem respiratorische Art vorliegt, das primär auf die Beatmung zurückzuführen ist, oder ob die Ursache in der Oxygenierung liegt. Der Schweregrad eines ventilatorischen Misserfolges, aber auch ein eventuell bestehender chronischer Zustand, kann auf Grund begleitender Veränderungen im Säure-Basen-Status beurteilt werden.[33]

2.5.3 pH-Wert

[7,40 ± 0,04] - Der pH ist definiert als negativ-dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration einer Lösung ($\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$). Dies bedeutet, dass sich die H⁺-Konzentration in einem so niedrigen Bereich liegt, dass sie über einen Logarithmus ausgedrückt werden muss.

Der pH-Wert zeigt die Azidität oder Alkalinität der Probe an und ist ein Maß des Gesamt-Säure-Basen-Status des Blutes. Die meisten biochemischen Prozesse sind abhängig davon, dass sich der pH-Wert innerhalb eines relativ engen Bereiches bewegt.

Säuren sind Substanzen, die in wässriger Lösung Wasserstoffionen abgeben und werden als Donatoren bezeichnet. Tritt dies im Rahmen eines Stoffwechselforgangs auf, so steigt der Anteil der H⁺-Ionen in der Extrazellulärflüssigkeit. Man spricht von einer Azidose, wenn der pH-Wert im Blut

unter 7,36 fällt. **Basen** hingegen fungieren als H^+ -Akzeptoren und Blut-pH-Werte über 7,44 werden als Alkalose bezeichnet. [36]

2.5.4 $cHCO_3^-$ - Bikarbonat

[Männer 22,5-26,9 mmol/L, Frauen 21,8-26,2 mmol/L] Normalerweise wird der Blut-pH-Wert durch eine Pufferung über das Bicarbonat-Puffersystem innerhalb eines engen Bereiches gehalten. Im Blut wird das physikalisch gelöste Kohlendioxid teilweise hydriert und bildet Kohlensäure, die gemäß der *Henderson-Hasselbach*-Gleichung in freie Protonen und Bikarbonat zerfällt. Gehalten wird das Gleichgewicht durch eine renale und pulmonale Kontrolle der Konzentrationen von Bicarbonat und Kohlensäure im Blut.[41]

2.5.5 BE - Base Excess

[0 ± 3 mmol/L] - Der Base Excess ist ein Marker für eine normale Menge, einen Überschuss bzw. ein Defizit an nichtflüchtigen Säuren. Weicht der pH-Wert vom Normalwert des Blutes 7,40 ab, so zeigt der BE an, wie viel Säure bzw. Base nötig wären, um diesen Wert bei $37^\circ C$ und einem PCO_2 von 40 mmHg wiederherzustellen. Mit dem BE kann zwischen respiratorischen und metabolischen Säure-Basen-Entgleisungen unterschieden werden.[41]

2.5.6 SO_2 - Sauerstoffsättigung

Die arterielle Sauerstoffsättigung des Blutes sagt aus, zu wie viel Prozent das vorhandene Hämoglobin aktuell mit Sauerstoff gesättigt ist. Dabei hängt die Sättigung vom PO_2 ab, wobei man bei einem normalen Wert von 100 mmHg, eine Sättigung von 97% erwarten kann. Die maximale Sauerstoffsättigung ist bei einem PO_2 von 150 mmHg erreicht.

Eine 100%ige Sättigung ist auf Grund eines physiologischen Shuntvolumens nicht möglich, wodurch 1-3% des gesamten Bluts nicht am Gasaustausch teilnehmen.
[35]

Die Sauerstoffbindungskurve (**Abbildung4**) beschreibt den Zusammenhang zwischen Sauerstoffpartialdruck PO_2 und Sauerstoffsättigung des Hämoglobins SO_2 , wobei jedem bestimmten Druck-Wert ein Sättigungswert auf der charakteristischen S-förmigen Kurve entspricht. Die SO_2 , die im arteriellen Bereich nicht-invasiv mittels Pulsoxymetrie einfach gemessen werden kann, zeigt gemäß dem oberen flachen Teil der Kurve kleine Änderungen an, hinter denen sich große Unterschiede im PO_2 stehen. Exemplarisch bedeutet ein Abfall der Sauerstoffsättigung von 97% auf 94% eine Änderung des PO_2 von 90 auf 75 mmHg.[41]

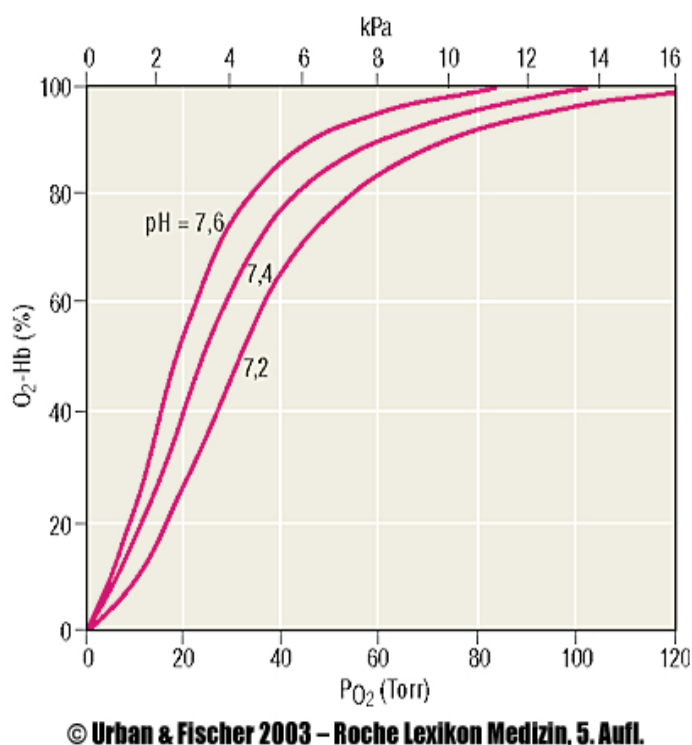


Abbildung4: Zeigt die S-förmige Sauerstoffbindungskurve, die den Zusammenhang zwischen PO_2 und Anteil der gesättigten Hämoglobinfraction herstellt.

Der ausgeklügelte Mechanismus hinter dieser S-Form hat folgenden Hintergrund: Im Bereich niedriger PO_2 -Werte (Gewebe) verläuft die Kurve sehr steil, um bereits bei geringem Druckabfall große Mengen Sauerstoff frei zu setzen. Je weiter rechts der steile Teil, umso günstiger die Abgabelbedingungen an das periphere Gewebe. Im Bereich hoher PO_2 -Werte (Lunge) nimmt die Sauerstoffsättigung nur geringfügig zu, wenn der PO_2 ansteigt. Unterschiedliche Hb-Konzentrationen erhöhen oder erniedrigen die Kurven-Amplitude.[35]

Die Sauerstoffbindungskurve kann durch zahlreiche Faktoren nach links oder rechts verschoben werden, was bei einer Rechtsverschiebung zum Beispiel bedeutet, dass bei gleichem PO_2 weniger Sauerstoff vom Hämoglobin gebunden wird. Allerdings heißt das auch, dass mehr Sauerstoff aus dem Hämoglobin freigesetzt und an die peripheren Gewebe abgegeben wird. Dieser Mechanismus wird als *Bohr-Effekt* bezeichnet und findet sich im Rahmen einer Azidose, Hyperkapnie oder Hyperthermie.

Dem gegenüber steht eine Linksverschiebung der Kurve, bei der es schon bei geringen PO_2 -Werten zu einer starken Bindung des Sauerstoffs an Hämoglobin kommt. Die Folge daraus ist eine Abnahme der Sauerstoffversorgung im peripheren Gewebe, wie sie bei Hypothermie, Alkalose, Hypokapnie und im Rahmen eines 2,3-Diphosphoglyceratmangels auftritt.[35]

Aufschluss über die Lage der Sauerstoffbindungskurve gibt der Folgend beschriebene Halbsättigungsdruck, P50.

2.5.7 P50 - Halbsättigungsdruck

[24-28 mmHg] Der P50 ist definiert als Sauerstoffpartialdruck, bei dem 50% des Oxyhämoglobins mit Sauerstoff gesättigt sind. "Der aktuelle P50-Wert kann nach der Messung der aktuellen Sauerstoffsättigung aus der Interpolation berechnet werden, wenn eine Blutprobe mit O_2 so tonometriert wird, dass ein Oxyhämoglobin bei 50% erreicht wird." Abgeleitet wird dieser Wert über SO_2 , PO_2 und pH.[34]

2.6 Oximetrische Parameter

2.6.1 tHb - Hämoglobinkonzentration

[Männer 12,6-17,4 g/dL, Frauen 11,7-16,1 g/dL] Hämoglobin ist der Hauptbestandteil der Erythrozyten und dessen Anteil im Blut ein Maß für die mögliche Sauerstoff-Transportkapazität des Blutes. Jedes Gramm Hämoglobin kann maximal 1,39 mL Sauerstoff binden, wenn ein PO_2 von 150 mmHg herrscht (sogenannte *Hüfner-Zahl*). Die Sauerstoffbindungskapazität im Blut ist direkt proportional der Hb-Konzentration, nicht aber der Anzahl der RBC, weil der Hb-Gehalt der roten Blutkörperchen nicht konstant ist.[34]

Die Hauptaufgabe des Hämoglobins stellt die Aufnahme von Sauerstoff und dessen Transport in die peripheren Gewebe dar. Nach der Oxygenierung (Aufsättigung des Hb in der Lunge) wandert das Blut zum Verbrauchsort, wo im Kapillarsystem aus dem Erythrozyten der benötigte Sauerstoff dissoziiert.[37]

Neben dem mit Sauerstoff beladenen Oxyhämoglobin, können noch andere Hb-Formen, sogenannte Dyshämoglobine, unterschieden werden. Diese nehmen zwar nicht aktiv am Gasaustausch statt, werden aber bei der nicht invasiven Pulsoxymetrie fälschlicherweise mitgemessen.

2.6.1.1 COHb - Carboxyhämoglobin

Dieses entsteht, bei Verbindung von Hb mit Kohlenmonoxid (CO), das in die Atemwege durch Autoabgase, unvollständige Verbrennung von Kohlestoffen oder beim Rauchen gelangt. Die Affinität des CO ist etwa 300-mal höher als die, des Sauerstoffs und so ergeben sich bereits bei mäßigen Vergiftungen pulsoxymetrisch (falsch) hohe Sauerstoffsättigungswerte. Therapeutisch kann mit hohen O_2 -Gaben, hyperbarer Oxygenierung oder Bluttransfusionen interveniert werden.[36]

2.6.1.2 MetHb - Methämoglobin

Wenn das Blut oxidierbaren Substanzen, wie Nitrobenzol, Anilin oder Arzneimittel wie Nitrate oder Prilocain, ausgesetzt wird, kann Methämoglobin entstehen. Von Oxidation spricht man dann, wenn aus dem 2-wertigen Eisen des Hämoglobins ein 3-wertiges Eisen wird und somit seine Affinität zu Sauerstoff weitgehend verliert. Klare Folge daraus ist ein zyanotisches Hautkolorit bei zunehmender MetHb-Konzentration. Therapie der Wahl ist Methylenblau oder Ascorbinsäure.[36]

2.6.1.3 SHb - Sulfhämoglobin

Sulfhämoglobin kann bei einer BGA entdeckt werden, wenn Blut mit Schwefelwasserstoff (H_2S) chemisch reagiert. Dieser entsteht durch Eiweißfäulnis, wie etwa in der Zellstoffindustrie, und erzeugt einen typischen, bestialischen Geruch nach "faulen Eiern". H_2S liegt in der Regel gasförmig vor. Darüber hinaus können Arzneimittel mit schwefeligen Bestandteilen wie Sulfonylharnstoffe (Antidiabetika) oder Sulfonamide (Antibiotika) zur Entstehung von Sulfhämoglobin führen. Dadurch treten irreversible Veränderungen des Hämoglobins auf. Das Blut wirkt grünlich verfärbt - ein Therapie mittels Bluttransfusionen sollte erfolgen.[40]

2.6.1.4 RHb - Reduziertes Hämoglobin

Die Desoxyhämoglobinkonzentration im Blut wird so bezeichnet. Es gibt jene Eisenanteile am Hämoglobin an, die weder mit Sauerstoff noch mit anderen Hämoglobinderivaten gesättigt sind. Manchmal wird das Rhb auch als HHb (Desoxyhämoglobin) bezeichnet.[40]

2.6.2 Hct - Hämatokrit

[Männer 34-38%; Frauen 34-45%] - Der Hämatokrit ist jener Volumenanteil, der durch die roten Blutkörperchen beansprucht wird, im Verhältnis zum

Gesamtvolumen des Bluts. Verminderte Hct-Werte sind ein Hinweis für Anämie (im Zusammenhang mit einer Reduktion des Hb-Werts und der RBC), für Leukämie, Hyperthyreose, Leberzirrhose, akuten massiven Blutverlusten und für hämolytische Reaktionen auf Grund von Transfusionen von unverträglichem Blut, Unverträglichkeit mit bestimmten Chemikalien, infektiösen oder physikalischen Mitteln. Erhöhte Hct-Werte findet man bei Polycythaemia vera, Erythrocytose oder bei massiver Exsikkose etwa durch Schock.[34]

2.7 Elektrolyte

Beim Elektrolyt-Status werden standardisiert Kalium K^+ , Natrium Na^+ , Kalzium Ca^{++} und Chlorid Cl^- mittels Elektroden gemessen und beurteilt, um Entgleisungen aus dem Rahmen zu erkennen und dementsprechend zu intervenieren.

2.7.1 Natrium - Na^+

[135-145 mmol/L] Die Na^+ -Konzentration bestimmt ganz wesentlich die Osmolarität der Extrazellulärflüssigkeit.

Hypernatriämien mit Werten von 150-170 mmol/L können zum hyperosmolaren Koma führen. Ursachen dafür sind häufig die vermehrte Gabe von physiologischer Kochsalzlösung (mit 0,9% NaCl), hypertone Dehydratation (Abnahme des Körperwassers) und den vermehrten Verlust von Wasser über die Lungen (z.B. bei Tracheostoma oder Fieber).

Hyponatriämien mit Werten unter 135 mmHg können renale (Diuretika, Alkalose) oder extrarenale (Erbrechen, Diarrhoe, Pankreatitis, Schwitzen) Ursachen haben. Die Patienten fallen dabei durch Apathie, Erbrechen oder durch die Symptome der Hypovolämie auf.[36] Konzentrationen unter 120 mmol/L gelten als lebensbedrohlich.

2.7.2 Kalium - K⁺

[3,5-4,5 mmol/L] Kalium ist als wichtigstes intrazelluläres Kation vor allem für die Aufrechterhaltung des zellulären Ruhepotentials verantwortlich. Außerdem ist es an den elektrischen Vorgängen in erregbaren Geweben, wie Nerven- und Muskelzellen beteiligt.

Bei **Hypokaliämien** ($K^+ < 3,5$ mmol/L) kann es zu Störungen in der Erregungsleitung und Muskelkontraktion kommen. Besonders betroffen sind digitalisierte Patienten, bei denen ein verminderter Kaliumspiegel die Gefahr von Herzrhythmusstörungen birgt. Ausgelöst wird eine Hypokaliämie meist durch massiven Flüssigkeitsverlust, entweder durch Erbrechen und Durchfall, oder iatrogen durch Überdosierung von (nicht K⁺-sparenden) Diuretika.

Eine **Hyperkaliämie** kann durch eingeschränkte Nierenfunktion (Dialyse-Patienten haben meist sehr hohe K⁺-Spiegel) oder bei exzessiver Kaliumzufuhr entstehen. Weiters können Azidose beim Coma Diabeticum, Bluttransfusionen, Hypoaldosteronismus, Hypercortizismus, Polytrauma, Verbrennungen, Hämolyse, Therapie mit Zytostatika und ACE-Hemmer Gründe eines hohen Serum-Kalium-Spiegels sein.[36]

2.7.3 Kalzium - Ca⁺⁺

[1,16-1,36 mmol/L] Kalzium kommt im menschlichen Körper hauptsächlich als Hydroxylapatit im Knochen vor. Das gesamte Calciumdepot, das ca. 1,5% unseres Gesamtgewichts ausmacht, wird normalerweise über die Regulator-Hormone Parathormon, Calcitonin und Calcitriol in engen Grenzen gehalten. Das zirkulierende Kalzium liegt zu ca. 55% als ionisierte Form Ca⁺⁺ vor, der Rest ist an Serum-Albumin oder organische Säuren gebunden. Bei der Muskelkontraktion übernimmt es Aufgaben der elektromechanischen Koppelung. In der Blutgerinnung ist es Bestandteil der Ablaufreaktion im intrinsischen System. **Hypokalziämien** mit Werten unter 1,16 mmol/L sind gekennzeichnet durch neuromuskuläre Übererregbarkeit, bis hin zur Tetanie und zeigen sich im EKG durch eine QT-Zeit-Verlängerung. Ursachen können unter anderem akute

Pankreatitiden, eine chronische Niereninsuffizienz, ein Hypoparathyroidismus, Rachitis oder ein Malabsorptionsyndrom sein. [36] Massentransfusionen können ebenfalls zu Hypokalziämien führen, da das in den Blutkonserven enthaltene Zitrat Kalzium bindet.[40]

Hyperkalziämien können durch verminderte renale Ausscheidung und erhöhte intestinale Resorption ausgelöst werden. Osteoklastische Tumore (Bronchi, Mammae und Prostatae) können ebenfalls große Mengen Kalzium aus dem Knochen freisetzen. Aus der Hyperkalziämie, kann sich ein Hyperkalzämiesyndrom bis hin zur lebensbedrohlichen hyperkalzämischen Krise entwickeln.[36]

2.7.4 Chlorid - Cl⁻

[100-107 mmol/L] Chlorid ist das wichtigste Anion des Körpers. Durch diese Eigenschaft kommt ihm wichtige Bedeutung für das extrazelluläre Flüssigkeitsvolumen und die Serumosmolarität, welche die Anzahl der gelösten Teilchen beschreibt, zu. Die Konzentration verläuft parallel zu der des Natriums. Starkes Erbrechen und der damit verbundene Verlust von Magensaft (mit H⁺ und Cl⁻) kann eine metabolische Azidose auslösen. Die **Hypochlorämie** ebenso durch Flüssigkeitsverluste bei Pneumonien und Diarrhoe entstehen. **Hyperchloämien** treten bei Nierenerkrankungen und Hämokonzentration auf.[36]

2.7.5 AG - Anion Gap

[8-16 mmol/L] Die Anionendifferenz ist ein berechneter Parameter, der dazu verwendet wird, die Konzentrationsdifferenz der Kationen Natrium und Kalium und den gemessenen Anionen Chlorid und Bikarbonat im Blut darzustellen.[34] Das Anion Gap repräsentiert die ungemessenen Anionen in Plasma, z.B. Proteine, organische Säuren, Sulfate und Phosphate, wobei das Anion Gap auch durch Veränderungen des Plasma-Kalziums und -Magnesiums beeinflusst werden kann. Es kann bei Differential-Diagnosen metabolischer Azidosen hilfreich sein.[41] Ist nämlich das AG hoch, kann man von hohen Mengen organischer Säuren

ausgehen (Ketoazidose, Urämie, Salizylate, Methanol, Ethylenglycol, Laktazidose)
Wenn nicht, ist die metabolische Azidose Folge eines Bikarbonatverlusts.

2.8 Metaboliten

2.8.1 Glu - Glucose

[NBZ 74-106 mg/dL] - Die Glucosebestimmung ist eine wichtige Untersuchung zur Überwachung von Hypo- und Hyperglykämien. In der Literatur wird beschrieben, dass eine Hyperglykämie - sei sie durch Diabetes Typ II, oraler Glucoseintoleranz, abnormer Fastenglucose, jedoch am meisten durch Stress bedingt - Auswirkungen auf ein schlechteres Outcome von Intensivpatienten hat.[30] Aus diesem Faktum heraus ergibt sich, dass eine engmaschige Kontrolle der Blutglucose-Werte auf Intensivstationen eine dringende Notwendigkeit besitzt. Sinkt der Blutzuckerspiegel unter 40 mg/dL ab, dann wird dieser Zustand als Hypoglykämie bezeichnet. Mehrere verschiedene Ursachen können differentialdiagnostisch in Frage kommen: Zum einen kann es sich um einen Substratmangel handeln der durch fehlende Zufuhr von Glucose bedingt ist. Verminderung der hepatischen Gluconeogenese (durch angeborene Stoffwechseldefekte, terminale Leberzirrhose, Alkoholintoxikationen oder Vergiftungen), Malabsorption, Dumping-Syndrom nach Gastrektomie oder schlichtes Fasten können die Ursachen sein. Zum anderen kann auch ein erhöhter Verbrauch von Glucose in der Peripherie eine Hypoglykämie auslösen. Gründe dafür können körperliche Aktivität, renale Glukosurie, eine Insulinüberdosierung oder endogener Hyperinsulinismus (Insulinom, Mangel an Insulin-Antagonisten, Mb. Addison, Hypopituitarismus, Sulfonylharnstofftherapie) sein.[34]

2.8.2 Lac - Lactate

[0,9 - 1,7 mmol/L] - Lactate sind die Salze der Milchsäure und Endprodukte anaerober Verbrennung im Zitratzyklus aus Pyruvat. Sie dienen daher als

Frühindikator für hypoxische Zustandsbilder im menschlichen Gewebe, zur Erkennung und Abschätzung der Schwere und des Verlaufs eines Schocks, sowie als Maß zur Einschätzung von Hyperlactatämien. Der physiologische Lactatwert im Blut liegt bei $1 \pm 0,5$ mmol/L. Ein Anstieg auf 5mmol/L ohne begleitende metabolische Azidose, wird als Hyperlactatämie bezeichnet - bei begleitendem Sinken des pH-Werts, spricht man von Lactazidose.[34]

2.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit der Berechnungssoftware "GraphPad Prism 4 für Windows" durchgeführt. Die statistische Analyse beinhaltet:

Pearson Korrelationen: Der Korrelationskoeffizient (auch: Korrelationswert) oder die Produkt-Moment-Korrelation ist ein dimensionsloses Maß für den Grad des *linearen* Zusammenhangs zwischen zwei mindestens zwei intervallskalierten Merkmalen. Er kann Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen. Bei einem Wert von $+1$ (bzw. -1) besteht ein vollständig positiver (bzw. negativer) linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen. Wenn der Korrelationskoeffizient den Wert 0 aufweist, hängen die beiden Merkmale überhaupt nicht linear voneinander ab.[38]

t-Tests für gepaarte Stichproben: Hier werden zwei paarweise verbundene Stichproben verglichen, die aus der arteriellen und der kapillären Messungen an denselben Untersuchungseinheiten gewonnen wurden. Soll die Nullhypothese getestet werden, dass die beiden Erwartungswerte der zugrunde liegenden normalverteilten Grundgesamtheiten gleich sind, so können mit einem Einstichproben-t-Test die Differenzen $d_i = x_i - y_i$ auf den Erwartungswert 0 getestet werden. In der Praxis muss nach *Bortz* bei kleineren Stichprobenumfängen $n < 30$ die Voraussetzung erfüllt sein, dass die Differenzen in der Grundgesamtheit normalverteilt sind. Bei hinreichend großen Stichproben verteilen sich die Differenzen der Paare annähernd normal um das arithmetische

Mittel der Differenz der Grundgesamtheit. Insgesamt reagiert der t-Test auf Annahmeverletzung eher robust.[39]

Bland-Altman Diagramm: Das Bland-Altman-Diagramm ist eine graphische Darstellungsmethode für den Vergleich zweier Messmethoden. In dieser Sonderform eines Punktdiagramms werden die Differenzen der beiden Messmethoden (oder alternativ das Verhältnis) gegen den Mittelwert der beiden Methoden aufgetragen. So erhält man eine graphische Darstellung von Unterschied zu Mittelwert der beiden Messungen.[24]

95% Limits of Agreement: Hier werden die Grenzen der systemischen Verzerrung berechnet als der Bereich, in dem 95% der Differenzen zwischen den beiden Meßmethoden liegen.

Deming Regression: Bei einer normalen linearen Regression wird angenommen, dass man über die X-Werte sehr gute Information besitzt und lediglich die Y-Werte eine bestimmte Abweichung zeigen. Nimmt man jedoch an, dass sowohl X- als auch Y-Werte gewissen Fehlern unterliegen, sollte man die lineare Regression mit einer Methode Namens Deming (oder Model II Regression) anpassen.[43] Diese Methode wurde bei den gewonnenen Daten angewandt.

Für die gesamten Berechnungen wurde $p < 0,05$ als statistisch signifikant angenommen. Die Umrechnung der Druckparameter von mmHG in die SI-Einheit kPa (Kilo-Pascal) erfolgte mit folgendem Schema: $7,5 \text{ mmHg} \approx 1 \text{ kPa}$

Zur Definition der Wertigkeit des Korrelations-Koeffizienten wurde die Skala nach *James Westgard* verwendet.[44] Dabei wird angenommen:

- Sehr gute Korrelation - $r^2 = 0,90$ bis $1,00$
- Gute Korrelation - $r^2 = 0,70$ bis $0,89$
- Mäßige (moderate) Korrelation - $r^2 = 0,50$ bis $0,69$
- Geringe Korrelation - $r^2 = 0,30$ bis $0,49$

3 Ergebnisse - Resultate

Wir untersuchten 50 intensivpflichtige Erwachsene von 21 bis 87 Jahre (61,1 ±17,2), die entweder maschinell beatmet, unter Sauerstofftherapie (Nasenbrille oder Sauerstoffmaske) oder ohne zusätzliche Atemhilfen auskamen. Der APACHE II Score war gestreut von 0 bis 12 Punkten (6,48 ±3,33). Die dazu erhobenen Daten inkl. Hauptdiagnose sind in **Tabelle2** dargestellt.

Geschlechteranteil	n	%
männlich	34	68
weiblich	16	32
Beatmungsform	n	%
maschinelle Beatmung - FIO ₂ : 0,30-0,60	27	54
Atemhilfe (Maske, Brille) - FIO ₂ : 0,24-0,36	15	30
Ohne Atemhilfe - FIO ₂ : 0,21	8	16
Hauptdiagnose	n	%
Cardiales Infarktgeschehen	16	32
Insult oder zerebrale Blutung	7	14
NINS (Niereninsuffizienz)	6	12
St.p. CPR (Cardio-Pulmonale-Reanimation)	4	8
Pankreatitis (nekrotisierend)	3	6
AOST (höhergradige Aortenstenose)	3	6
Pneumonie	2	4
dekompensierte Cirrhosis Hepatis	2	4
ARDS (akutes respir. Dekompensationssyndrom)	2	4
St. Epilepticus	1	2
Multiples Myelom	1	2
Rhabdomyolyse	1	2
Pericarderguss	1	2
Mb Crohn	1	2
SUMME	50	100

Tabelle2: Patientencharakteristika der Studienteilnehmer

Die verglichenen Parameter waren in unserer Studie pH, PCO_2 , PO_2 , Hämoglobinkonzentration Hb und der Halbsättigungsdruck P50. Diese Parameter sollten die Umrechnung von kapillären auf arterielle Werte ermöglichen, wenn sich die Schwankungen dabei in Grenzen halten. **Abbildung5** zeigt die Streuung der gemessenen Parameter.

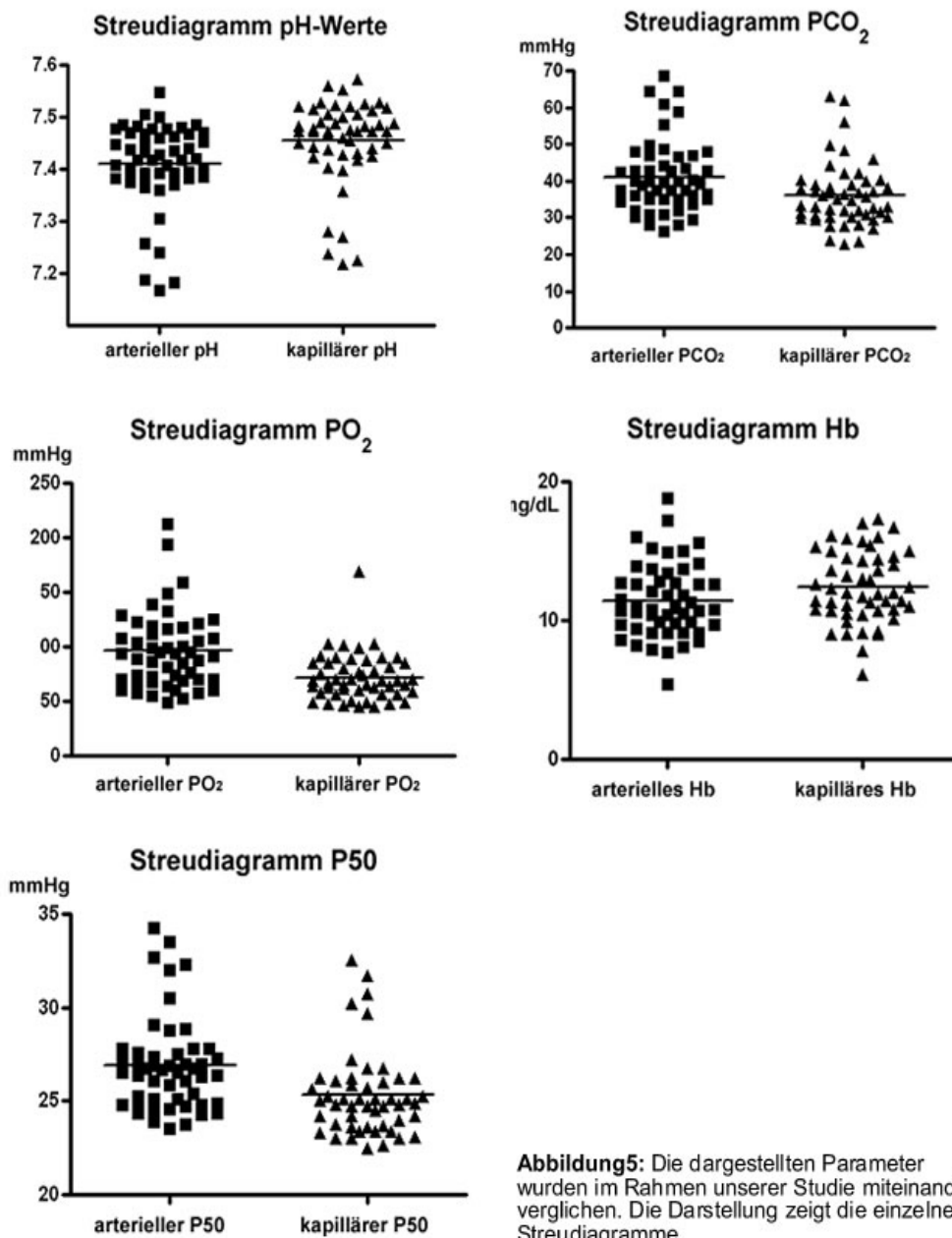


Abbildung5: Die dargestellten Parameter wurden im Rahmen unserer Studie miteinander verglichen. Die Darstellung zeigt die einzelnen Streudiagramme.

3.1 pH-Wert

Die Bandbreite der pH-Werte liegt arteriell zwischen 7,169 und 7,548 (Median: 7,420) und kapillär zwischen 7,219 und 7,573 (Median: 7,473).

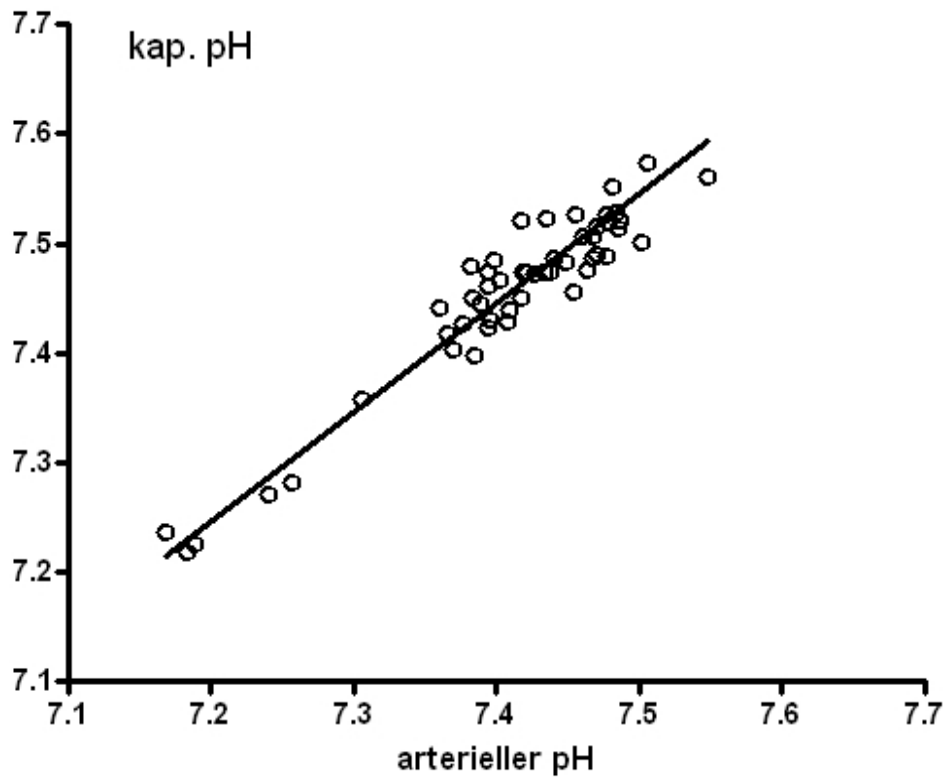
Arterielle und kapilläre Blut pH-Werte korrelierten gut miteinander ($r^2=0,7775$, $p<0,0001$).

Im gepaarten t-Test zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied ($p<0,0001$). Die systemische Verzerrung war mit $-0,044 \pm 0,024$ sehr gering, wobei die kapillären Werte immer höher waren und die 95% Limits of Agreement von $-0,0922$ bis $0,0026$ reichen. Der Absolutwert der Abweichung war in 92% der Fälle (46 von 50 Probanden) $<0,08$.

Der kapilläre pH-Wert detektierte bei 5 von 6 Patienten eine Azidose, die auch in der arteriellen Messung einen pH-Wert von $<7,35$ aufwies. Die Falschklassifikationsrate liegt somit für Azidose bei 0,02.

Bei der Deming Regression zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung beider Methoden, da die Steigung der Regressionsgeraden nahe 1 ist ($0,99 \pm 0,04$) und der y-Achsenabschnitt mit $0,05 \pm 0,33$ nahe 0 liegt. (**Abbildung6**)

Deming Regression pH-Wert



Bland-Altman Diagramm: pH - Unterschied zum Mittelwert

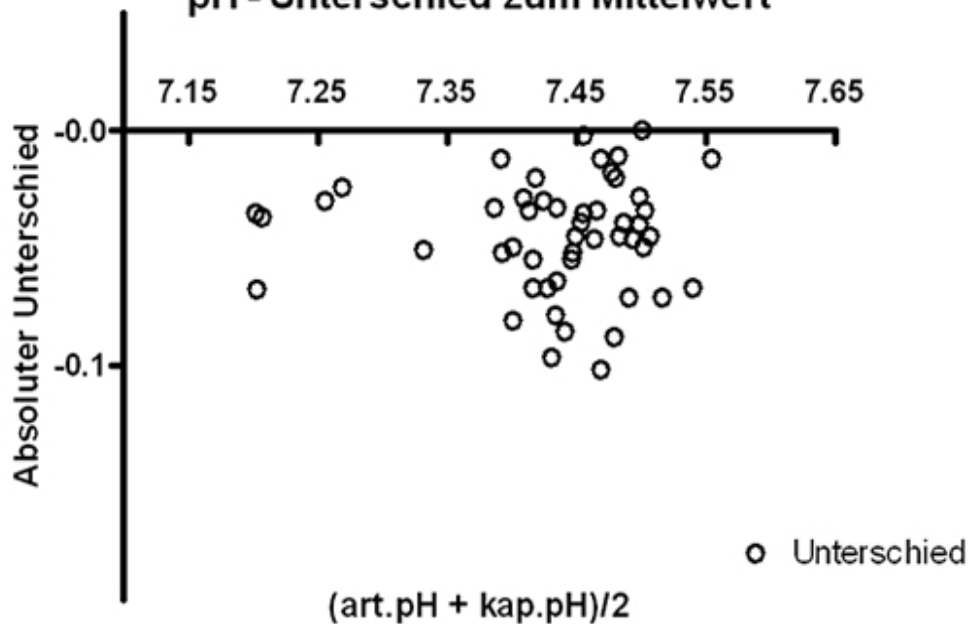


Abbildung6: Graphische Darstellung der pH-Werte mittels Deming Regression (oben) und dem Bland-Altman Diagramm (unten). Erstellt mit Graph Pad Prism 4 für Windows.

3.2 PCO₂

Die Bandbreite der PCO₂-Werte liegt arteriell zwischen 26,2 mmHg (3,49 kPa) und 68,6 mmHg (8,30 kPa) (Median: 39,55 mmHg (5,27 kPa)) und kapillär zwischen 22,7 mmHg (3,03 kPa) und 62,9 mmHg (8,40 kPa) (Median: 34,9 mmHg (4,65 kPa)).

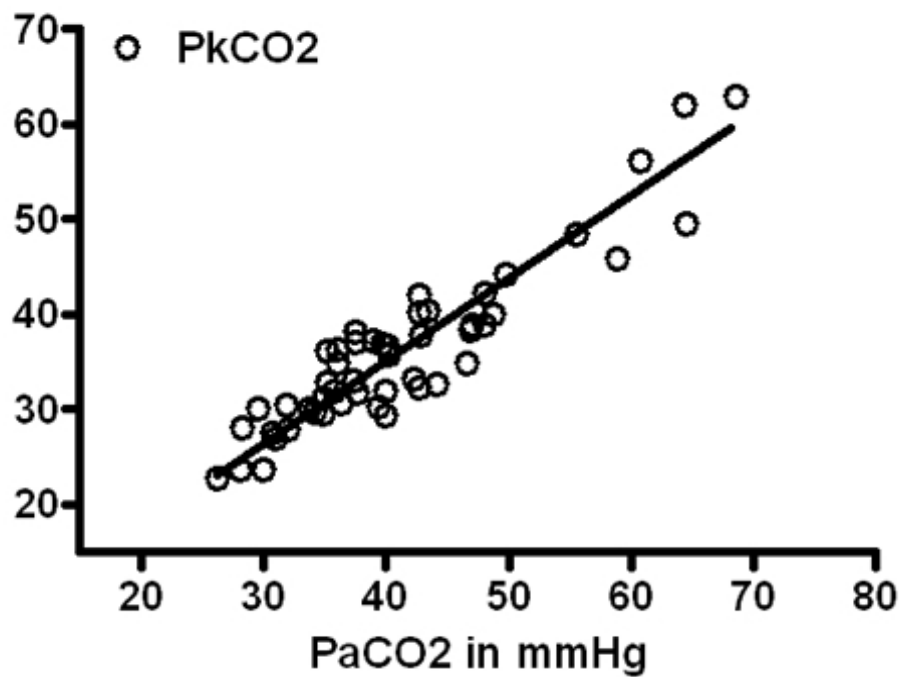
Arterielle und kapilläre Blut PCO₂-Werte korrelierten moderat miteinander ($r^2=0,6518$, $p<0,0001$).

Im gepaarten t-Test zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied ($p<0,0001$). Die systemische Verzerrung war mit $5,08 \pm 3,75$ eher gering. Die 95% Limits of Agreement reichen von -2,27 bis 12,43 ($\pm 7,4$ mmHg entspricht $\pm 0,98$ kPa). Der Absolutwert der Abweichung war in 78% der Fälle (39 von 50 Probanden) $< 6,5$ mmHg (0,87 kPa). Der kapilläre PCO₂ unterschätzte den PaCO₂ drei Mal um maximal 0,9 mmHg (0,12 kPa).

Der kapilläre PCO₂-Wert detektierte 38% (5 von 13) der Probanden mit Hyperkapnie, die auch in der arteriellen Messung einen PCO₂-Wert von $> 46,0$ mmHg (6,13 kPa) aufwiesen.

Bei der Deming Regression zeigt sich eine gute Übereinstimmung der beiden Methoden, da die Steigung der Regressionsgeraden etwas entfernt von 1 verläuft ($0,87 \pm 0,05$) und der y-Achsenabschnitt mit $0,26 \pm 2,18$ moderat von 0 entfernt liegt. (**Abbildung7**)

Deming Regression PCO2



Bland-Altman Diagramm: PCO2 - Unterschied zum Mittelwert

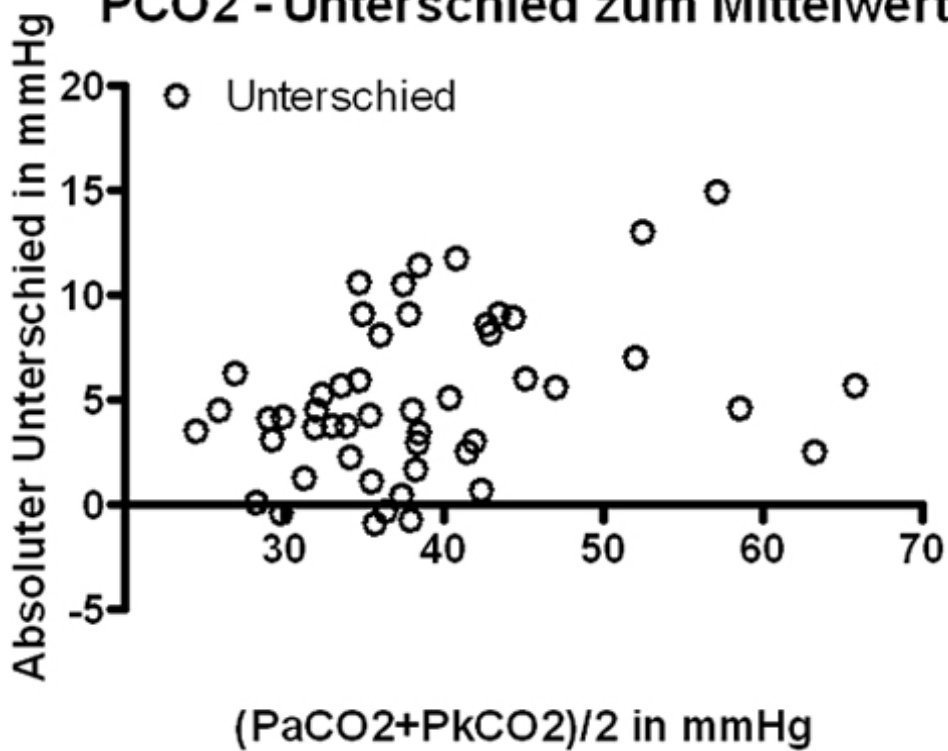


Abbildung7: Graphische Darstellung der PCO2-Werte mittels Deming Regression (oben) und dem Bland-Altman Diagramm (unten). Erstellt mit Graph Pad Prism 4 für Windows.

3.3 PO₂

Die Bandbreite der PO₂-Werte liegt arteriell zwischen 48,7 mmHg (6,5 kPa) und 212,3 mmHg (28,31 kPa) (Median: 92,7 mmHg (12,36 kPa)) und kapillär zwischen 44,6 mmHg (5,95 kPa) und 169,3 mmHg (22,57 kPa) (Median: 68,5 mmHg (9,13 kPa)).

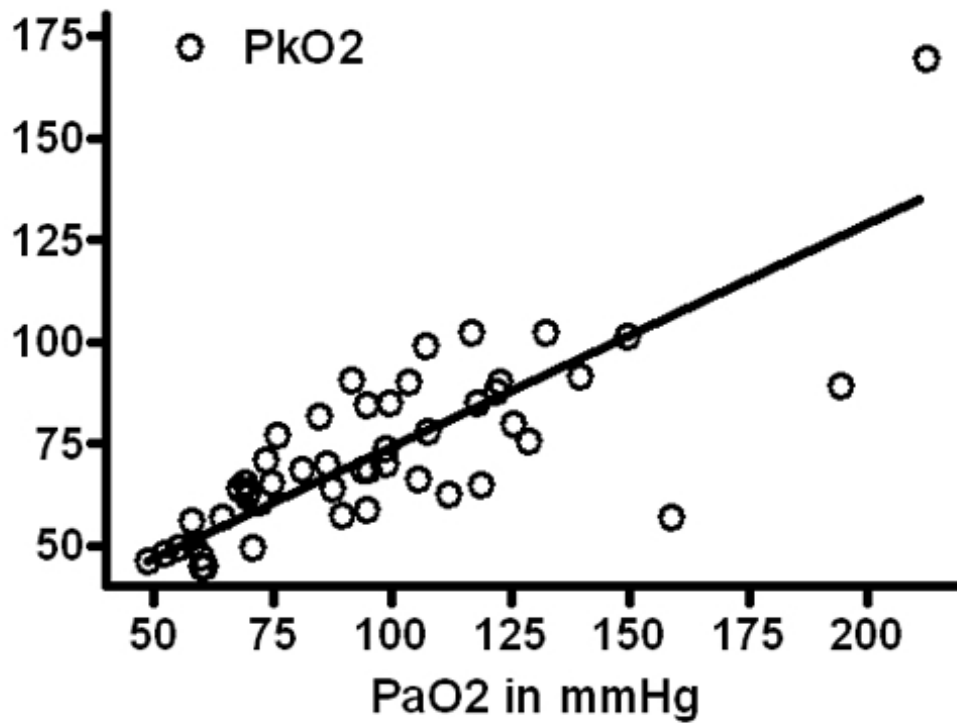
Arterielle und kapilläre Blut PO₂-Werte korrelierten moderat miteinander ($r^2=0,5344$, $p<0,0001$).

Im gepaarten t-Test zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied ($p<0,0001$). Die systemische Verzerrung war mit $23,97 \pm 22,60$ sehr groß, wobei die kapillären Werte fast immer niedriger waren und die 95% Limits of Agreement von -20,32 bis 68,26 ($\pm 44,3$ mmHg entspricht $\pm 5,91$ kPa) reichen. Der Absolutwert der Abweichung war in 80% der Fälle (40 von 50 Patienten) $>6,5$ mmHg (0,87 kPa). Der kapilläre PO₂-Werte überschätzte die arteriellen Werte nur einmal - und zwar um 1,1 mmHg (0,15 kPa).

Bei der Deming Regression zeigt sich keine angemessene Übereinstimmung der beiden Methoden, da die Steigung der Regressionsgeraden zu flach ist ($0,55 \pm 0,06$) und der y-Achsenabschnitt mit $19,48 \pm 6,61$ weit von 0 entfernt liegt.

(Abbildung8)

Deming Regression PO2



Bland-Altman Diagramm: PO2 - Unterschied zum Mittelwert

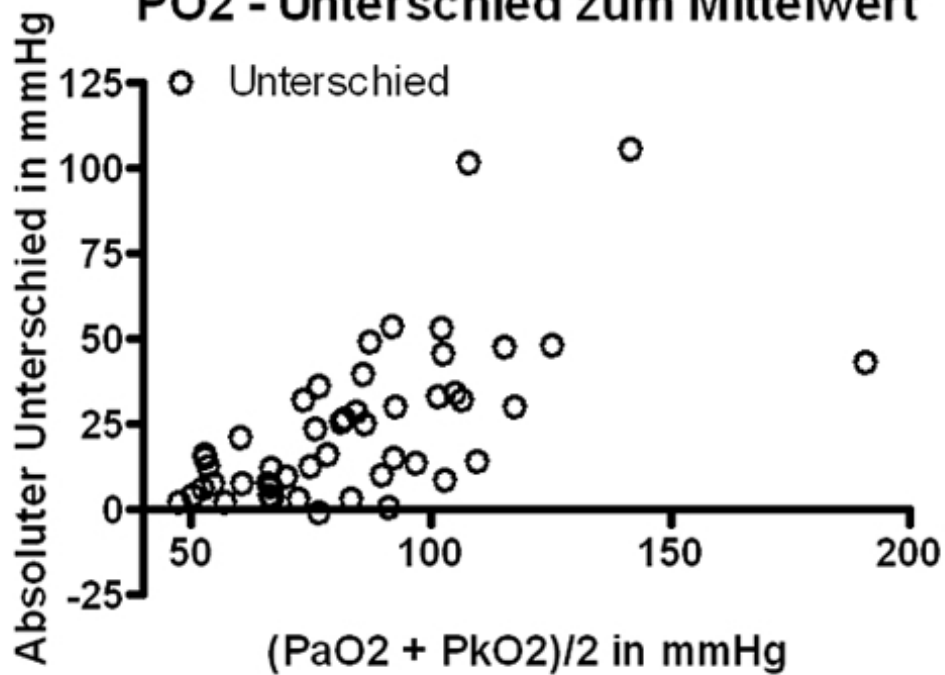


Abbildung8: Graphische Darstellung der PO2-Werte mittels Deming Regression (oben) und dem Bland-Altman Diagramm (unten). Erstellt mit Graph Pad Prism 4 für Windows.

3.4 Hb

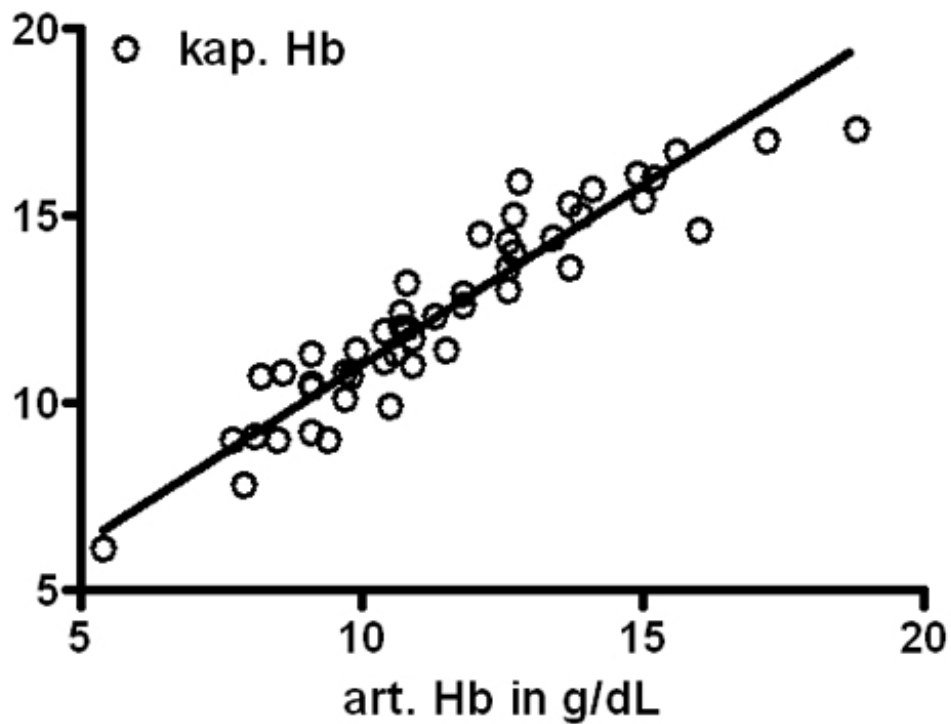
Die Bandbreite der Hämoglobin-Werte liegt arteriell zwischen 5,4 und 18,8 g/dL (Median: 10,85 g/dL) und kapillär zwischen 6,1 und 17,3 g/dL (Median: 12,0 g/dL). Arterielle und kapilläre Hämoglobin-Werte korrelierten mäßig miteinander ($r^2=0,5216$, $p<0,0001$).

Im gepaarten t-Test zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied ($p<0,0001$). Die systemische Verzerrung war mit $-0,97\pm 0,94$ gering, wobei die kapillären Werte beinahe immer niedriger waren und die 95% Limits of Agreement von $-2,81$ bis $0,87$ ($\pm 1,84$ g/dL) reichen. Der Absolutwert der Abweichung war in 88% der Fälle (43 von 50 Probanden) $<2,00$ g/dL.

Der kapilläre Hämoglobin-Wert detektierte bei 26 von 31 Patienten mit Anämie, die auch in der arteriellen Messung einen Hämoglobin-Wert von $<12,0$ g/dL aufwiesen. Die Richtigklassifikationsrate liegt für Anämie somit bei 0,84.

Bei der Deming Regression zeigt sich eine gute Übereinstimmung beider Methoden, da die Steigung der Regressionsgeraden nahe 1 ist ($0,96 \pm 0,05$) und der y-Achsenabschnitt mit $1,39 \pm 0,61$ noch relativ nahe bei 0 liegt. (**Abbildung9**)

Deming Regression Hämoglobin



Bland-Altman Diagramm: Hb - Unterschied zum Mittelwert

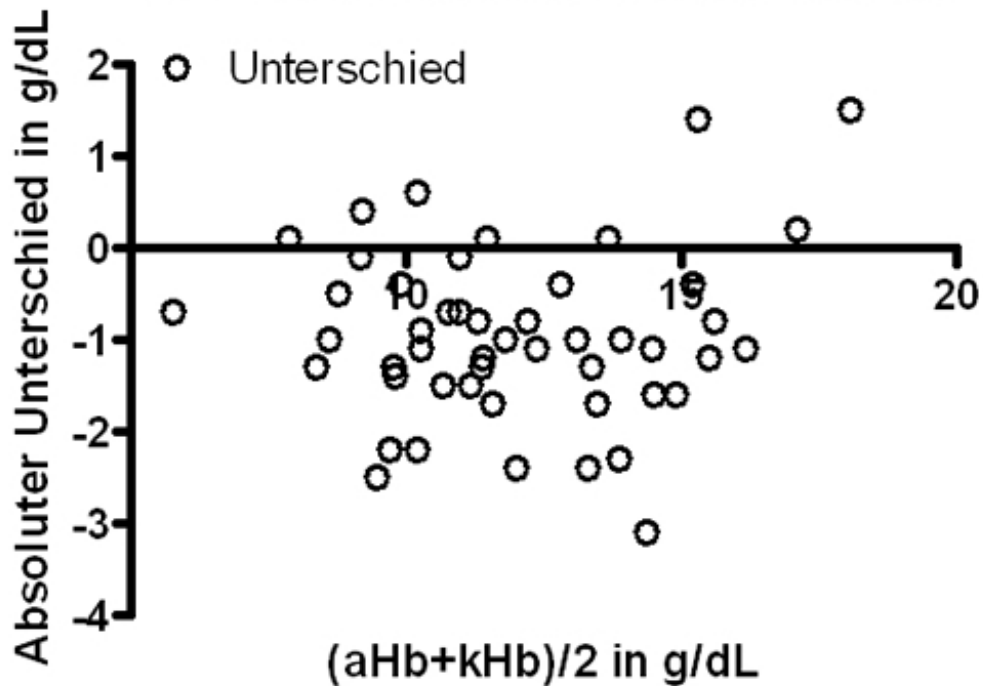


Abbildung9: Graphische Darstellung der Hämoglobin-Werte mittels Deming Regression (oben) und dem Bland-Altman Diagramm (unten). Erstellt mit Graph Pad Prism 4 für Windows.

3.5 P50

Die Bandbreite der P50-Werte liegt arteriell zwischen 23,5 mmHg (3,13 kPa) und 34,3 mmHg (4,57 kPa) (Median: 26,6 mmHg (3,55 kPa)) und kapillär zwischen 22,5 mmHg (3,00 kPa) und 32,5 mmHg (4,33 kPa) (Median: 24,9 mmHg (3,32 kPa)).

Arterielle und kapilläre Blut P50-Werte korrelierten mäßig miteinander ($r^2=0,6623$, $p<0,0001$).

Im gepaarten t-Test zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied ($p<0,0001$). Die systemische Verzerrung war mit $1,61 \pm 1,16$ moderat, wobei die kapillären Werte fast immer niedriger waren und die 95% Limits of Agreement von -0,66 bis 3,88 ($\pm 2,27$ mmHg entspricht $\pm 0,30$ kPa) reichen. Der Absolutwert der Abweichung war in 42% der Fälle (21 von 50 Patienten) $>2,0$ mmHg (0,27 kPa).

Der kapilläre P50-Wert detektierte bei 5 von 9 Patienten mit einer Rechtsverschiebung in der Sauerstoffbindungskurve, die auch in der arteriellen Messung einen P50-Wert von >28 mmHg aufwiesen. Die Falschklassifikationsrate liegt somit für Rechtsverschiebung bei 0,08.

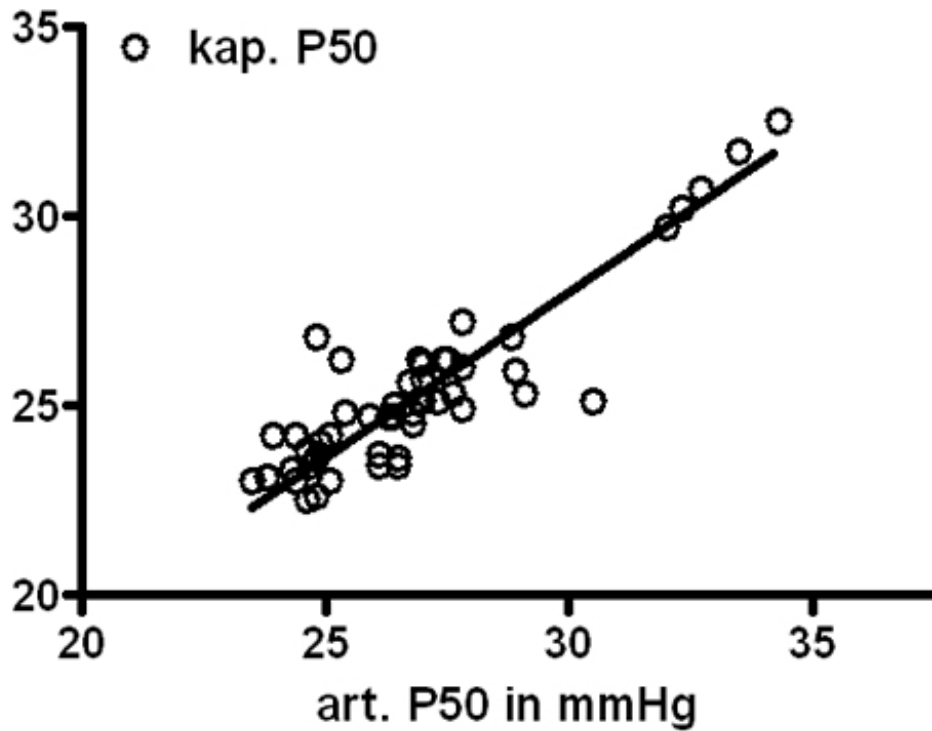
Bei der Deming Regression zeigt sich eine mäßige Übereinstimmung der beiden Methoden, da die Steigung der Regressionsgeraden etwas entfernt von 1 verläuft ($0,88 \pm 0,06$) und der y-Achsenabschnitt mit $1,73 \pm 1,77$ doch etwas von 0 entfernt liegt. (**Abbildung10**)

Um die Übereinstimmung der beiden Methoden zu erfassen, wurde zudem der Korrelationskoeffizient nach Pearson bestimmt (siehe Tabelle2). Es zeigt sich, dass die Parameter pH, PCO_2 und Hb nahe 1 sind und somit ein annähernd linearer Zusammenhang besteht.

	pH-Wert	PCO_2	PO_2	Hb	P50
Pearson R	0,9567	0,9252	0,7731	0,9365	0,8886
$r^2 =$	0,9153	0,5978	0,8561	0,8770	0,7896

Tabelle3: Korrelationskoeffizient nach Pearson der gemessenen Werte

Deming Regression P50



Bland-Altman Diagramm: P50 - Unterschied zum Mittelwert

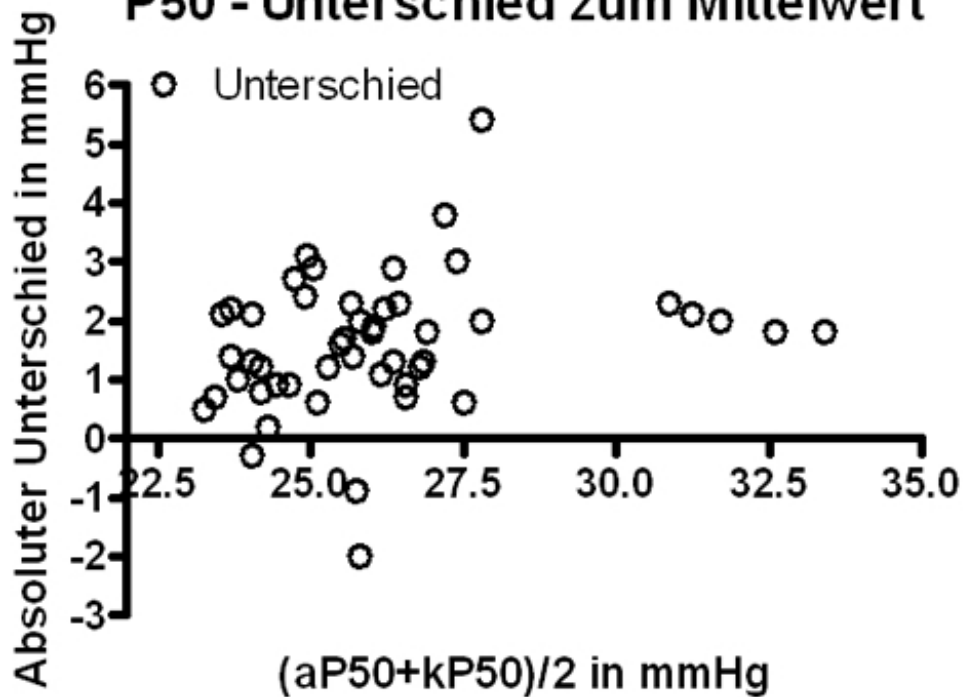


Abbildung9: Graphische Darstellung der Hämoglobin-Werte mittels Deming Regression (oben) und dem Bland-Altman Diagramm (unten). Erstellt mit Graph Pad Prism 4 für Windows.

4 Diskussion

4.1 Aufrollen der Problematik

Die Blutgasanalyse ist ein unumgängliches Instrumentarium der Intensivmedizin, das erlaubt Beatmungsparameter und den Säure-Basen-Haushalt zu kontrollieren und zum Wohl des Patienten zu korrigieren. Dabei hat sich trotz der bereits besprochenen Nachteile [15,17] die arterielle Punktion als Golden Standard weltweit durchgesetzt.[5,9]

Frühere Publikationen [7,21,31] und Studien aus pädiatrischen Intensivstationen [8,15] ließen darauf schließen, dass alternativ arterialisiertes Kapillarblut zur BGA herangezogen werden kann und sich vergleichbare Werte ergeben. Bisher gab es wenig Erfahrungen mit kapillären Blutgasanalysen auf Intensivstationen,[1] doch konnte gezeigt werden, dass die Werte pH, PCO₂, BE und Bikarbonat zwischen den beiden Methoden vergleichbar sind.

Ziel unserer Studie war es, durch simultan gewonnenes arterialisiertes Blut aus dem Ohrläppchen und der Arterie bei 50 Intensivpatienten, einen iterativen Algorithmus zu entwickeln, der von den kapillären auf die arteriellen Werte schließen lässt. Dabei lag der Hauptfokus auf dem Sauerstoffpartialdruck PO₂, dessen methodischer Austausch bisher noch in keiner Studie (nach 1990) genau und repräsentativ möglich war.[1,3,6,9]

4.2 Diskussion der Ergebnisse

In unserer Studie zeigen wir, dass sich auch bei relativ unselektiertem intensivmedizinischen Patientengut einige Blutgas-Parameter gut miteinander vergleichen lassen:

Der pH-Wert weicht in beiden Methoden nur geringfügig voneinander ab. Hier haben wir die größte Übereinstimmung erzielt, was aber auch zu erwarten war. Denn wie schon von *Kelly et al.* beschrieben, können zur sicheren Beurteilung des

pH-Werts auch venöse Blutproben herangezogen werden,[16] was den Effekt der venösen Beimengung im arterialisierten Blut verschwinden lässt.

Die große unerwartete Enttäuschung unserer Studie war mit Sicherheit der PCO_2 -Wert, der sich im Vergleich zur Literatur als schlechter vergleichbar präsentiert.[6] Zwar liegen die Abweichungen noch im akzeptablen Bereich, doch von einem tatsächlichen Austausch der Methoden, darf im Falle unseres Ergebnisses nicht ausgegangen werden. Die Gründe für die weit schlechteren Studienergebnisse können eventuell der Anteil der maschinell Beatmeten, die Abnahme durch wenig geschultes Personal oder der Anteil an Patienten mit Säure-Basen-Entgleisungen sein.

Nichts Neues bringt der Sauerstoffpartialdruck im Vergleich der Methoden. Hier liegen unsere Werte nicht weiter entfernt, als jene in vergleichbaren Studien auf Intensivstationen.[23] Die hohe arterio-venöse Sauerstoffpartialdruckdifferenz, wie sie unter Sauerstofftherapie üblich ist, schlägt sich auch in unserer Studie als große Diskrepanz zwischen arteriellen und kapillären PO_2 -Werten nieder. Je höher nämlich diese Differenz, desto größer sind auf Grund venöser Beimengung die Unterschiede zwischen den Methoden.

Um den neuen Algorithmus zu entwickeln, haben wir zusätzlich experimentell die Hämoglobin-Konzentration verglichen. Diese zeigt eine sehr gute Übereinstimmung und fluktuiert höchstwahrscheinlich deshalb bedingt, weil sich bei der kapillären Probe eine teilweise Gerinnung und die Beimengung von Gewebsflüssigkeit nicht vollständig ausschließen lassen. Dies könnte, zusammen mit einer inhomogener Durchmischung der Proben, die unterschiedlichen Werte erklären.

Um Links- und Rechtsverschiebungen in der Sauerstoffbindungskurve zu detektieren, sollte auch der Halbsättigungsdruck P_{50} verglichen werden. Hier ergeben sich ebenfalls eher mäßige Übereinstimmungen der beiden Blutsorten.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Blutgasparameter zwar bedingt übereinstimmen, jedoch geben wir keine Empfehlung ab, die kapilläre Blutgasanalyse der arteriellen vorzuziehen. Gerade bei Patienten, die ein kontinuierliches, invasives Blutdruckmonitoring und/oder eine maschinelle Beatmung benötigen, wo der PO_2 genau und oft bestimmt werden muss, bleibt die arterielle Blutgasanalyse das Verfahren der Wahl.

4.3 Studien-Problematik

Die Frage stellt sich jetzt natürlich, warum wir das Ziel unserer Studie verfehlt haben und auch keine bahnbrechenden Errungenschaften erzielen konnten. Nun, dafür gibt es wohl mehrere Gründe. Zu aller erst spielt sicherlich das Setting der Studie eine Rolle, denn wenn man andere Publikationen verfolgt, so ist klar, dass - bis auf *Honarmand* et al. - keine publizierte Studie bisher an erwachsenen Intensivpatienten durchgeführt wurde.[1] Das klassische Setting sind pulmologische Labors, wo kapillären Blutgasanalysen eine Standardmethode darstellen.[3]

In unserem Fall habe ich als Student die kapilläre Abnahme durchgeführt, die ich zuvor im Studium weder gesehen, noch angewandt habe. Zwar hat mir ein erfahrener Laborant vom Institut für Labormedizin prinzipiell die Technik gezeigt, doch um diese adäquat anwenden zu können, hat es tatsächlich viele Tage (und Patientenohren) gedauert um einwandfrei (oder besser zweifelsfrei) kapillär abzunehmen. Dazu mehr unter Punkt Erfahrungswerte.

Ein weiteres Kriterium, warum unsere Sauerstoffpartialdruckwerte (ähnlich wie in anderen vergleichbaren Studien) nicht verwendet werden können, liegt wahrscheinlich an den hohen FIO_2 -Werten, denen beinahe alle der eingeschlossenen Patienten unterlagen. Wir haben es mit Spitzen- PO_2 -Werten (arteriell gemessen) von 212 mmHg zu tun. Da im Patientengut auch Katecholamin-Therapien und Zentralisierung eine Rolle spielten, kann man von

einer mehr als ungewissen venösen Beimengung im Kapillarblut ausgehen, die die BGA unter Garantie verfälscht hat.

4.4 Erfahrungswerte

Die Akzeptanz gegenüber der kapillären Messung und der Teilnahme an der Studie war überraschend groß. Ob das an der Tatsache liegt, dass sich "Ohrläppchen" wesentlich weniger bedrohlich anhört als "Schlagader", oder den Patienten teilweise auch einfach nur sehr langweilig war, traue ich mich nicht zu beurteilen. Sehr viele der Patienten kannten zumindest das Verfahren (wenn auch nicht die Aussagekraft desselben) und assoziierten die Technik mit den Lactat-Messungen aus der Sportmedizin.

Auch wenn darüber kein exaktes Schmerzprotokoll geführt wurde, gab es keinerlei Präferenz der Patienten zu einer der beiden Methoden was die Schmerzhaftigkeit anlangt. Der Großteil der Probanden empfand beide Methoden als wenig schmerzhaft und nur wenige empfanden den Juckreiz, der durch die Applikation der topischen hyperämisierenden Salbe entstand, als sehr störend.

Die kapilläre Abnahmetechnik "per se" halte ich persönlich für fürchterlich unpraktisch und klinisch schlecht anwendbar. Handschuhwechsel, Beachtung der Einwirkzeit und die Handhabung der Finalgon®-Salbe sind zeitintensive und lähmende Tatsachen. Das Inzidieren des Ohrläppchens ist zwar im Vergleich zur arteriellen Punktion wesentlich einfacher, jedoch können auch hierbei Schnitt- und Stichverletzungen nicht ausgeschlossen werden. Ist die Hautpenetration mit der Lanzette gelungen, so weiß man vorab trotzdem nicht, welche Blutungssituation zu erwarten ist. Bei antikoagulierten Patienten mit hochrotem, prallen Ohrläppchen musste die gesamte Prozedur teilweise zwei Mal durchgeführt werden, weil kaum Kapillarblut zu gewinnen war. Gegenteilig dazu bluteten manche wirklich hauchdünne Ohrläppchen auch ohne Gerinnungshemmung ungebremst vor sich hin. Ein sauberes Arbeiten ist keinesfalls gewährleistet.

Ein weiteres Problem zeigt sich bei der Auswertung der kapillär gewonnenen Proben. Trotz größter Bemühungen und unmittelbarem Weg vom Krankenbett zum Blutgasanalysator, wollte die Maschine die Proben anfangs einfach nicht akzeptieren. Mal wurde das Blut nicht aus der Glaskapillare gesaugt, mal wurden sämtliche Werte als "Probenpositiver Fehler" ausgedruckt.[34] Zwar passierte dies nur in der Anlaufphase der Probemessungen, dennoch wechselt der Blutgasanalysator oft unverhofft in den Kalibriermodus, wodurch vor allem die kapillären Proben zu verwerfen waren.

4.5 Appell an die Firmen

Sollte wirklich von Seiten der Firmen, die Blutgasanalysatoren herstellen, der Wunsch bestehen, eine Umrechnungsmethode von kapillären auf arterielle Blutgaswerte zu entwickeln, dann kann das durchaus befürwortet werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass ein solcher Algorithmus auch auf ein großes Patientenkollektiv anwendbar ist und vor einer Einführung auf Intensivstationen an gesunden Patienten ausreichend getestet wird.

Ein solcher Algorithmus hat sicherlich seine Berechtigung in pulmologischen Labors, wo dahingehend geschultes Personal die kapilläre Messung durchführen kann. Ob sich diese Methode an einer ICU wirklich durchsetzen kann, wage ich zu bezweifeln, da im Vergleich zur kapillären Methode, die Verweil-Systeme zur arteriellen Blutgewinnung ungemein ausgeklügelter und sauberer sind, und sich die Messwerte obendrein als genauer präsentieren.

4.6 Abschließende Worte

Auch wenn ich durch meine klinische Studie keine umwerfend neuen Ergebnisse zur Welt der Wissenschaft beitragen konnte, bin ich dennoch sehr glücklich, dass ich an diesem Projekt arbeiten durfte. Die Zeit, die ich auf der ICU Graz verbracht habe, war eine tolle Erfahrung für mich. Die Beschäftigung mit Atmung,

Atemphysiologie, Beatmungsformen, Blutgasanalysen, dem Säure-Basen-Haushalt und Statistik haben mich wissenschaftlich sehr gefordert. Die praktische Tätigkeit der arteriellen und kapillären Blutprobengewinnung haben zur Verbesserung meiner medizinischen Skills beigetragen. Die gewonnenen Erfahrungen bringen mich sicherlich in meiner Ausbildung weiter und helfen mir ein verantwortungsvoller und vielschichtig geschulter Jungmediziner zu werden.

5 Literaturverzeichnis

5.1 Publikationen

- [1] Honarmand A, Safavi M. Prediction of arterial blood gas values from arterialized earlobe blood gas values in patients treated with mechanical ventilation. *Indian j Crit Care Med* 2008;12:3.
- [2] Pandit JJ. Sampling for analysing blood gas pressures. Arterial samples are the best. *BMJ* 1995;310:1071-1072.
- [3] Sauty A, Uldry C, Debétaz LF, Leuenberger P, Fitting JW. Differences in PO₂ and PCO₂ between arterial and arterialized earlobe samples. *Eur Respir J* 1996;9:186-9.
- [4] Zahn RL, Weil MH. Central venous blood for monitoring pH and PCO₂ in the critically ill patient. *J Tho Cardiovasc Surg* 1966;52:105-111.
- [5] Barker WJ. Arterial puncture and cannulation. In Roberts JR, Hedges JR, editors. *Clinical procedures in emergency medicine*, 3rd ed. Philadelphia: *WB Saunders* 1998;p.308-322.
- [6] Dall'Ava Santucci J, Dessanges JF, Dinh-Xuan AT, Lockhart A. Is arterialized earlobe blood PO₂ an acceptable substitute for arterial blood PO₂? *Eur Respir J* 1996;9:1329-1330.
- [7] Pitkin A, Roberts C, Wedzicha J. Arterialized earlobe blood gas analysis: an underused technique. *Thorax* 1994;49:364-66.
- [8] Yildizdas D, Yapicioglu H, Yilmaz HL, Sertdemir Y. Correlation of simultaneously obtained capillary, venous, and arterial blood gases of patients in a pediatric intensive care unit. *Arch Dis Child* 2004;89:176-180.
- [9] Zavorsky GS, Cao J, Mayo NE, Gabbay R, Murias JM. Arterial versus capillary blood gases: A meta-analysis. *Respir Physiol Neurobiol* 2007;155(3):268-79.
- [10] Ak A, Ogun C, Bayir A, Kayis S, Koylu R. Prediction of arterial blood gas values from venous blood gas values in patients with acute

exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Tohoku J Exp Med* 2006;210:285-290.

- [11] Christoforides C, Miller JM. Clinical use and limitations of arterialized capillary blood for PO₂ determination. *Am Rev Respir Dis* 1968;98:653-57.
- [12] Hughes JMB. Blood gas estimations from arterialized capillary blood versus arterial puncture: are they different? *Eur Respir J*; 1996;9:184-185.
- [13] Fajac I, Texereau J, Rivolai V, Dessanges JF, Dinh-Xuan AT, Dell'Ava Santucci J. Blood gas measurement during exercise: A comparative study between arterialized earlobe sampling and direct arterial puncture in adults. *Eur Respir J* 1998;11:712-15.
- [14] Prause G, Hetz H, Doppler R. The value of preclinical blood gas analysis. *Anaesthetist* 1998;47(5):400-405.
- [15] Mortensen JD. Clinical sequelae from arterial needle puncture, cannulation, and incision. *Circulation* 1967;35(6):1118-23.
- [16] Kelly AM, McAlpine R, Kyle E. Venous pH can safely replace arterial pH in the initial evaluation of patients in the emergency department. *Emerg Med J* 2001;18:340-342.
- [17] Dar K, Williams K, Aitken R, Woods KL, Fletcher S. Arterial versus capillary sampling for analysing blood gas pressures. *BMJ* 1995;309:24-25.
- [18] Astrup P, Gotzche H, Neukirch F: Laboratory investigations during treatment of patients with poliomyelitis and respiratory paralysis. *BMJ* 1954;1:780-786.
- [19] Siggaard Anderson O. *Scand J clin lab invest* 1961;13-196.
- [20] Clark LC. *Trans. Am. Soc. art. int. Organs* 1956;2-41.
- [21] Langlands JHM, Wallace WFM. Small blood samples from earlobe puncture: A substitute for arterial puncture. *Lancet* 1965;ii:315-17.
- [22] Gaultier CI, Boulé M, Allaire Y, Clément A, Buvry A, Girard F. Determination of capillary oxygen tension in infants and children:

assessment of methodology and normal values during growth. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1978;14:287–297.

- [23] Harrison AM, Lynch JM, Dean JM, White MK. Comparison of simultaneously obtained arterial and capillary blood gases in pediatric intensiv care unit patients. *Crit Care Med* 1997;25:1904-8.
- [24] Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;i:307-310.
- [25] Godfrey S, Wozniak ER, Courtenay Evans RJ, Samuels CS. Earlobe blood samples for blood gas analysis at rest and during exercise. *Brit J Dis Chest* 1971;65:58-64.
- [26] Spiro SG, Dowdeswell IRG. Arterialized earlobe blood samples for blood gas tension. *Anesth Analg* 1973;70:263-68.
- [27] Kofstad J. Quality specifications for pH and blood gases. *Uppsala J Med Sci* 1993;98(3):381-5.381-385.
- [28] Barry PW, Mason NP, Collier D. Sampling for analysing blood gas pressures. Mount Everest study supports use of capillary samples. *BMJ* 1995;310:1072.
- [29] Andrews T, Waterman H. What factors influence arterial blood gas sampling patterns? *Nurs Crit Care* 2008;13(3):132-7.
- [30] Fahy BG, Sheehy AM, Coursin DB. Glucose control in the intensive care unit. *Crit Care Med* 2009;37(5):1769-76.
- [31] MacIntyre J, Norman JN, Smith G. Use of capillary blood in measurement of arterial PO₂. *Br Med J* 1968;3:640-643.

5.2 Lehrbücher

- [32] Christof Schmid (2005): Tipps und Tricks für den Herz- und Thoraxchirurgen Problemlösungen von A bis Z; 2005, Springer Medizin Verlag Heidelberg/Berlin.
- [33] Eva Knipfer, Bernhard Kochs (2004): Klinikleitfaden Intensivpflege; 4. Auflage - 2008, Elsevier GmbH - Urban & Fischer München.
- [34] Bedienungsanleitung COBAS b 221 System (2008), Roche Diagnostics GmbH, Graz.
- [35] Wolfgang Oczenski (1996): Atmen - Atemhilfen. Atemphysiologie und Beatmungstechnik; 8. Auflage - 2008, Georg Thieme Verlag Stuttgart/New York.
- [36] Willibald Pschyrembel (1894): Klinisches Wörterbuch; 259. Auflage - 2001, Walter de Gruyter GmbH und Co. KG Berlin.
- [37] Robert F. Schmidt, Florian Lang, Gerhard Thews (1993): Physiologie des Menschen. MIT Pathophysiologie; 29. Auflage - 2000, Springer Medizin Verlag Heidelberg/Berlin.
- [38] Wolf Gamerith (2005) Statistik I. 3 Auflage - 2007, Institut für Statistik und Operations Research KFU Graz.
- [39] Jürgen Bortz (2005): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 6. Auflage - 2008, Springer, Berlin, ISBN 3-540-21271-X.

5.3 Internetquellen

- [40] <http://www.zwai.net/pflege/Intensiv/Journal/Beatmung/Blutgasanalyse/> (Intensiv : Journal : Beatmung : Blutgasanalyse)
- [41] <http://www.der-tiefe-einblick.de/> (Der Tiefe Einblick - Radiometer Copenhagen)
- [42] <http://acutecaretesting.org/> (Radiometers knowledge site about care testing)
- [43] <http://www.graphpad.com/support/> (Graph Pad Prism Support Site)
- [44] <http://www.westgard.com/> (Tools, Technologies and Training for Healthcare Laboratories)

Anhang - Projektplan

November 2008

Erstellen der Arbeitshypothese

Dezember 2008 -März 2009

Literaturrecherche

Jänner 2009

Genehmigung durch die Ethikkommission

Februar 2009

Erste Probemessungen

März - August 2009

Probengewinnung und Datenerhebung

September - Oktober 2009

Auslandsfamulatur - Hiroshima, JAP

November 2009

Statistische Auswertung der Daten

Dezember 2009 - Februar 2010

Fertigstellen der Arbeit

Anhang - Abnahmeprotokoll

Patientendaten:

Name: _____ Geb.Dat.: _____ J.

Geschlecht: männl. weibl. Intensiv seit: _____

Hauptdiagnose: _____ Code: _____

Nebendiagnosen: _____

APACHE-Score: _____ Einwilligung am _____

Arterielle Blutabnahme:

Abnahmemodalität: lieg. art. Leitung Astrup A. rad. Astrup A.brach.

Auffälligkeiten: _____

Kapilläre Blutabnahme:

Abnahmemodalität: Ohrläppchen Fingerbeere

Auffälligkeiten: _____

Datum und Uhrzeit der Abnahme: _____

Durchgeführt von _____

Unterschrift: _____

Curriculum vitae

Personal information

Surname(s) / First name(s) **Weitzer, Claus-Uwe**
Address(es) 1/12, Teichgasse, 8650 Kindberg, Austria
E-mail waizza@gmx.at
Nationality Austrian
Date of birth 08.01.1984
Gender male

Work experience

Occupation or position held student apprentice
Main activities and responsibilities taking of blood samples (venous, arterial, capillary), sewing, trauma management, wound care, assistance in the operation theatre, recording medical history, physical examination
Name of employer Hospitals of Graz, Bruck/Mur, Leoben, Stolzalpe, Hiroshima (JAP)

Education and training

Dates since 2003, 2002-2003, 1994-2002, 1990-1994
Name and type of organisation providing education and training Medical University of Graz, military service in Zeltweg, grammar school in Kapfenberg, elementary school in Kindberg

Personal skills and competences

Mother tongue(s) German
Other language(s) English, French, Latin, Italian (basic knowledge), Japanese (basic knowledge)
Social skills and competences Member of the bio-psycho-social orientated anamnesis-group
Organisational skills and competences Experience with event management. Chairman of an Austrian Volleyball-Club.
Computer skills and competences Experience with word, excel, power point, web-publishing, web-design, graphics
Other skills and competences Basketball and Volleyball coach
Driving licence Driving licence B