

Diplomarbeit

**Medizintechnische Objektivierung der
chinesischen Pulsdiagnostik**

eingereicht von

Magdalena Humenberger

Mat.Nr.: 0356040

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.scient.med. Gerhard Litscher

(Leiter der Forschungseinheit für biomedizinische Technik in

Anästhesie und Intensivmedizin und des

TCM – Forschungszentrums Graz)

und Dr. med. Lu Wang

Eidesstattliche Erklärung

Ich 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 01.10.2010

Magdalena Humenberger

In meiner Arbeit habe ich mich dazu entschlossen, aus Gründen besserer Verständlichkeit und einfacherer Lesbarkeit, männliche Formulierungen zu verwenden. Die in diesem Sinne getroffenen Aussagen sind für beide Geschlechter in gleichem Maße gültig.

Vorwort

Die Medizinische Universität Graz bietet einen soliden Grundstock in der medizinischen Ausbildung. Kaum ein Fachgebiet wurde in meiner Studienzeit vernachlässigt, ein Einblick unterschiedlichen Ausmaßes in viele Teilbereiche der Medizin wurde gegeben. Vielleicht durch die Einführung des neuen Studienplans oder aber durch das Engagement einzelner Lehrender konnte ich mich früh mit der Art der Ausbildung identifizieren. Insbesondere der stetige Kontakt zu Patienten und die Möglichkeit, Medizin im Sinne eines ganzheitlichen Konzepts zu erleben, motivierten mich, ein noch größeres Augenmerk auf das Individuum Mensch, mit seiner Krankheit zu legen. Obwohl ich die Schulmedizin sehr schätze und auch immer wieder von Ärzten und dem Fortschritt der Medizin beeindruckt bin, zogen mich auch komplementäre Behandlungsmethoden an.

Durch spezielle Studienmodule und durch das breitgefächerte Angebot an Wahlfächern konnte ich mir einen Überblick verschaffen, die Grundlagen und Ansätze einzelner komplementärmedizinischer Bereiche kennenlernen und mir letztendlich eine eigene Meinung dazu bilden. Die traditionelle Chinesische Medizin (TCM), hier vor allem die Akupunktur, imponierte mir besonders. Die Tatsache, schulmedizinisches Wissen mit traditioneller Medizin verknüpfen zu können und im Sinne eines komplementärmedizinischen Ansatzes die jeweiligen Vorteile therapeutisch einzusetzen, motivierten mich dazu, mich näher mit der TCM auseinanderzusetzen. Wichtig in diesem Zusammenhang war mir die naturwissenschaftliche Grundlage, die es ermöglicht, die Wirksamkeit der Akupunktur nachzuweisen. Mein Interesse in diese Richtung führte mich schließlich zu Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.scient.med. Gerhard Litscher und zum Thema meiner Diplomarbeit.

Durch die Erstellung meiner Arbeit konnte ich einen weiteren Einblick in die TCM, aber auch in einen mir neuen Bereich, die medizintechnische Thematik, gewinnen. Auch in Zukunft möchte ich von diesem Wissen profitieren und es neben der Schulmedizin im Sinne eines komplementärmedizinischen Ansatzes anwenden.

Danksagungen

Zu allererst möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern bedanken, die mich in den letzten Jahren immer bestmöglich, persönlich und finanziell unterstützt haben und mir somit ein schönes Studium und einige Zusatzausbildungen ermöglicht haben. Danke für eure Begleitung in all den Jahren!

Ein ganz besonderer Dank gilt auch meinem Partner, der mir in der Phase der Erstellung meiner Diplomarbeit ebenso zur Seite stand, wie im Laufe meines gesamten Studiums.

Ich möchte mich auch sehr herzlich bei meinem Betreuer Univ.-Prof. DI Dr.techn. Dr.scient.med. Gerhard Litscher bedanken, der mich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit ausgezeichnet betreut hat. Besonders möchte ich mich für die ausnahmslos rasche Hilfe und Bearbeitung meiner Anliegen bedanken.

Auch meiner Zweitbetreuerin Frau Dr.med. Lu Wang möchte ich danken, ebenso wie Frau Mag. Ingrid Gaischek.

Zu guter Letzt möchte ich noch all jene ansprechen, die mich in meiner Studienzeit unterstützt und begleitet haben, immer motivierend und mit Tipps rund um das Studium und die Diplomarbeit zur Stelle waren und mich auch ein Stück weit persönlich geprägt haben. Danke an euch alle!

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Diagnostik des Pulses stellt in der Medizin bis heute eine wichtige Methode zur Bewertung des Herzkreislaufsystems dar. Obwohl durch den Fortschritt der Technik zunehmend mit bildgebenden Verfahren beurteilt, liefert die Palpation der A. radialis als solche durchaus bereits Informationen über Kraft, Frequenz, Rhythmus und Regelmäßigkeit des Pulses. Durch die Pulswellenanalyse kann über die arterielle Gefäßsteifigkeit der Zustand des arteriellen Gefäßsystems eingeschätzt und in weiterer Folge das Risiko für kardiovaskuläre Ereignisse abgewogen werden. In der traditionellen Chinesischen Medizin (TCM) dient die Pulsdiagnostik seit Jahrtausenden als diagnostisches Mittel um den Gesundheitszustand eines Patienten zu beurteilen. An drei definierten Positionen an der A. radialis wird in mehreren Ebenen der Puls aufgesucht. Für diese sehr subjektive, schwer zu erlernende und wesentlich von der Erfahrung eines Untersuchers abhängende Methode, existiert keine einheitliche Nomenklatur. Deshalb wird versucht, die Pulsdiagnostik dem Fortschritt der Technik entsprechend zu objektivieren. Ziel der Arbeit war, neben der Darstellung der Geschichte, der Grundlagen und der Entwicklung der Pulsdiagnostik, auf moderne apparative Methoden zur Pulswellenanalyse einzugehen und diese zu vergleichen, um letztendlich ein geeignetes System für die objektive Darstellung der Pulsbilder in der TCM über die Visualisierung von Pulswellen an den jeweiligen Positionen der A. radialis vorzufinden.

Material und Methoden: Die Erstellung dieser Arbeit wurde mittels einer Literaturrecherche in PubMed sowie durch die Verwendung von ergänzender Fachliteratur realisiert. Weiterführende Literatur wurde den Referenzen mehrerer Arbeiten entnommen. Ein Vergleich der Ergebnisse und Aussagen, enthalten in bis dato publizierten Studien, Metaanalysen, Reviews und anderen Veröffentlichungen zum Thema der Diplomarbeit, deren kritische Evaluierung und die Darstellung möglicher Unterschiede, wurden verwirklicht.

Ergebnisse: Obwohl der Arteriograph als oszillometrische Methode zur Pulswellenanalyse hinsichtlich der Parameter zur Pulswellenanalyse überzeugende Ergebnisse liefert, kommt diese Methode für die Objektivierbarkeit der Pulsdiagnostik in der TCM ebenso wenig in Frage, wie die Messung der Pulswellengeschwindigkeit an den digitalen Arterien. Für die Aufzeichnung an der

A. radialis in mehreren Ebenen eignen sich Apparate auf Basis der Applanationstonometrie (SphygmoCor, Omron HEM-9000AI, PulsePen) und jene, die einen Ultraschallsensor verwenden (PulseTrace). Es existieren auch bereits Softwareprogramme zur Analyse der Pulswellenform im Hinblick auf einzelne Pulsbilder in der TCM.

Diskussion: Vielversprechende Ansätze und gute Ergebnisse hinsichtlich Zuverlässigkeit, Gültigkeit und Reproduzierbarkeit der Geräte würden Messungen zur medizintechnischen Objektivierbarkeit der Pulsdiagnostik durchaus sinnvoll machen. Auch die Überlegungen zu einheitlichen Definitionen der Pulsbilder und standardisierten Untersuchungsmethoden klingen aussichtsreich. Da jedoch für komplexere Pulsbilder noch nicht die Möglichkeiten gegeben sind, die visualisierten Pulswellen bis ins Detail zu beurteilen, sollte diese moderne Methode lediglich zur Unterstützung der Pulsdiagnostik dienen.

Abstract

Background: Pulse diagnosis in medicine has always been an important method for the assessment of the cardiovascular system. Although pulse is measured with different devices according to increasing technical progress, it is the palpation of A. radialis that presents information about pulse strength, frequency, rhythm and regularity. Pulse wave analysis is therefore needed to assess the condition of the arterial system through arterial stiffness.

In Traditional Chinese Medicine (TCM) pulse diagnosis is a diagnostic tool for someone's physical and mental health condition. The pulse is located on three different positions of A. radialis. Pulse diagnosis is a subjective method, difficult to learn and depends on an examiner's experience. There is no standardized nomenclature and so there are attempts to objectify this method.

This paper aimed at giving information about history, basic research and development of pulse diagnosis and at finding out and comparing suitable devices for pulse wave analysis in order to get objective interpretations of pulse images in TCM.

Methods: A literature research in PubMed and specialized literature were utilized for this paper. Bibliographies of several articles led to further literature. A comparison of studies, metaanalyses, reviews and other publications published up to this day was made and a critical evaluation of their statements and results was carried through, pointing out possible differences.

Results: Arteriograph as an oscillometric method for pulse wave analysis convinces with impressive results, regarding pulse wave velocity and augmentation index. Even so this method is as unsuitable for objective pulse diagnosis in TCM as measurements of pulse waves on small finger arteries. Devices which are just right for measurements on A. radialis in several levels were built on base of applanation tonometry, e.g. SphygmoCor, Omron HEM-9000AI and PulsePen. The ones with an ultrasound probe are suitable as well (PulseTrace). There exist already some software programs for the analysis of wave shapes considering knowledge of ancient Chinese physicians.

Discussion: Objective measurements for pulse diagnosis could be very useful concerning reproducibility and reliability as well as validity regarding the good

results of different devices. Furthermore, considering a standardized definition of pulse images sounds interesting.

So far, however, there has not been enough knowledge to assess visualized complex pulse images and as a consequence this method can just be considered a support for pulse diagnosis.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	iii
Danksagungen.....	iv
Zusammenfassung.....	v
Abstract.....	vii
Inhaltsverzeichnis.....	ix
Glossar und Abkürzungen.....	xi
Abbildungsverzeichnis.....	xiii
Tabellenverzeichnis.....	xv
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Definition des Pulses.....	3
2.2 Kreislaufregulation.....	3
2.2.1 Gefäßsystem.....	3
2.2.1.1 Aufbau und Funktion der Gefäßwand.....	4
2.2.1.2 Innervation des Gefäßsystems.....	6
2.2.2 Modulatoren des Kreislaufs.....	6
2.3 Pulswelle und Pulswellenreflexion.....	8
2.3.1 Geschichte der Pulswelle.....	8
2.3.2 Die Pulswelle.....	9
2.3.2.1 Gefäßelastizität, Pulswellengeschwindigkeit und Windkesselfunktion.....	9
2.3.2.2 Pulswellenreflexion.....	13
2.3.2.3 Augmentationsindex.....	15
2.4 Die Pulsdiagnostik in der traditionellen Chinesischen Medizin.....	18
2.4.1 Theoretische Grundlagen.....	18
2.4.1.1 Yin und Yang.....	19
2.4.1.2 Qi und Blut.....	20
2.4.1.3 Theorie der Zang und Fu Organe.....	23
2.4.1.4 Die 5 Wandlungsphasen.....	24
2.4.2 Diagnostik in der TCM.....	26
2.4.3 Geschichte und Entwicklung der Pulsdiagnostik.....	27
2.4.4 Die Methode der Pulsdiagnose.....	30

2.4.5	Normaler Puls	38
2.4.6	Pathologische Pulse und ihre Bedeutung	39
3	Material und Methoden.....	44
3.1	Methoden der Pulswellenanalyse	44
3.1.1	Applanationstonometrie	46
3.1.1.1	Die Pulskurve der A. radialis.....	49
3.1.1.2	SphygmoCor®.....	50
3.1.1.3	Omron HEM-9000AI	52
3.1.1.4	PulsePen	54
3.1.2	Oszillometrie	55
3.1.2.1	Arteriograph	55
3.1.3	Piezoelektrische Messung	57
3.1.3.1	Complior	58
3.1.4	PWA unter Verwendung von Dopplersonographie am Beispiel PulseTrace PWV	59
3.1.5	Photoelektrische Pulsplethysmographie	60
3.1.6	Sensoren zur PWA	61
3.1.7	Derzeit verwendete Systeme zur Pulsdiagnostik in der TCM im asiatischen Raum.....	63
4	Ergebnisse	66
4.1.1	Methoden zur Objektivierbarkeit der Pulsdiagnostik in der TCM	71
5	Diskussion.....	81
6	Literaturverzeichnis	85
	Lebenslauf.....	89

Glossar und Abkürzungen

TCM	Traditionelle Chinesische Medizin
Alx	Augmentationsindex
RR	Blutdruck
m/sec	Meter pro Sekunde
VEGF	„vascular endothelial growth factor“
ZNS	Zentralnervensystem
N.	Nervus (lat.)
ADH	antidiuretisches Hormon
ANP	atriales natriuretisches Peptid
A.	Arteria (lat.)
mm	Millimeter
ΔV	Volumendifferenz
ΔP	Druckdifferenz (Druckzuwachs)
C	Compliance
K	Volumselastizitätsmodul
c	Pulswellengeschwindigkeit
g/cm ³	Gramm pro Kubikzentimeter
z.B.	zum Beispiel
HF	Herzfrequenz
d.h.	das heißt
v.Chr. / n.Chr.	vor / nach Christus
Le	Leber
Gb	Gallenblase
He	Herz
Dü	Dünndarm
Mi	Milz
Ma	Magen
Lu	Lunge
Di	Dickdarm
Ni	Niere
Bl	Blase
3E	dreifacher Erwärmer

PB	„prominent bone“ - höchster Knochenvorsprung
vs.	versus (lat.)
PWA	Pulswellenanalyse
AT	Applanationstonometrie
sec	Sekunden
msec	Millisekunden
EKG	Elektrokardiogramm
NINS	Niereninsuffizienz
ml/min	Milliliter pro Minute
CTG	Cardiotokographie

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau der Gefäßwand einer Arterie	4
Abbildung 2:	Windkesselfunktion.....	11
Abbildung 3:	Pulsdruckkurve entlang des arteriellen Gefäßbaums	15
Abbildung 4:	Augmentationsindex	16
Abbildung 5:	Yin und Yang	19
Abbildung 6:	Beziehung von Yin und Yang	19
Abbildung 7:	Schriftzeichen von Qi.....	21
Abbildung 8:	Entstehung der verschiedenen Formen des Qi	21
Abbildung 9:	Schriftzeichen von Blut	23
Abbildung 10:	Wandlungsphasen und Zyklen	26
Abbildung 11:	Pulstaststellen	34
Abbildung 12:	Pulstaststellen der A. radialis am Handgelenk.....	36
Abbildung 13:	Pulsdiagnostik	38
Abbildung 14:	Sphygmomanometer von E.J. Marey	44
Abbildung 15:	Aortale und radiale Kurve im Altersvergleich	47
Abbildung 16:	Beispiel einer Pulskurve der A. radialis	49
Abbildung 17:	SphygmoCor CP.....	50
Abbildung 18:	SphygmoCor CP, Messung	50
Abbildung 19:	Beispiele einer PWA mittels SphygmoCor.....	51
Abbildung 20:	Omron HEM-9000 AI	52
Abbildung 21:	Anwendung des Omron HEM-9000AI in drei Teilen	53
Abbildung 22:	Beispiel zur Pulswellenaufzeichnung und PWA mittels Omron HEM-9000AI	53
Abbildung 23:	Besipiel einer ausgedruckten Aufzeichnung aufeinanderfolgender Pulswellen, gemessen mittels Omron HEM-9000AI	54
Abbildung 24:	PulsePen	54
Abbildung 25:	PWA mittels PulsePen.....	54
Abbildung 26:	Arteriograph.....	55
Abbildung 27:	Messergebnis mit Arteriograph.....	57
Abbildung 28:	Complior	58
Abbildung 29:	PulseTrace PWV	59
Abbildung 30:	PulseTrace PCA	60

Abbildung 31:	Aufzeichnung einer Pulswelle mit Systemen der Firma Beijing Lotus Biotechnologies	65
Abbildung 32:	Pulswelle und automatische Aufzeichnung an der A. radialis....	72
Abbildung 33:	Analyse mittels BN	74
Abbildung 34:	Analyse einer Pulswelle nach Lee	75
Abbildung 35:	Charakteristiken des Pulses, abhängig vom Anpressdruck.....	76
Abbildung 36:	13 Pulsbilder und deren Beschreibung, im Original.....	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einflussgrößen des AIX; aus (12).....	17
Tabelle 2: Funktionen des Qi; modifiziert nach (1) und (20).....	22
Tabelle 3: Wandlungsphasen; modifiziert nach (1) und (20).....	25
Tabelle 4: Inhalte Klassiker des Pulses.....	29
Tabelle 5: Einflussfaktoren des Pulses; nach (1)	31
Tabelle 6: Pulspositionen in der Akupunktur; modifiziert nach (23).....	36
Tabelle 7: Pulspositionen in der chinesischen Arzneimitteltherapie; modifiziert nach (21)	37
Tabelle 8: Grundlegende Pulsbilder; aus (23).....	40
Tabelle 9: Vergleich von Apparaten zur Pulsdiagnostik (Firma Beijing Lotus Biotechnologies); modifiziert nach (46)	63

1 Einleitung

Die traditionelle Chinesische Medizin (TCM) kann auf eine Historie von mehreren tausend Jahren zurückblicken. Im asiatischen Raum schon lange als wertvoll erkannt, erfreut sie sich auch im Westen zunehmender Beliebtheit. Chinesische Arzneimitteltherapie, Akupunktur, Tuina, Qi-Gong und die Ernährung nach den fünf Elementen bilden die Grundpfeiler der TCM.

Die Wurzeln der Pulsdiagnostik, als eines der wichtigsten diagnostischen Mittel in der TCM, reichen bis ins Jahr 2600 vor Christus zurück (1). Die Methode erfuhr eine stetige Entwicklung und es gibt in der traditionellen Literatur viele unterschiedliche Anleitungen zu ihrer Durchführung. Trotz der Wichtigkeit der Palpation des Pulses in der Diagnosefindung von Krankheiten existiert bis dato keine einheitliche Nomenklatur, die eine mehrheitlich objektive Diagnostik ermöglichen würde (2). Auch deshalb, weil es neben dem Fehlen standardisierter Definitionen der Pulsbilder und einer einheitlichen Anleitung zum Auffinden der Pulspositionen nicht möglich ist, diese schwer zu erlernende, subjektive Methode – die mit 3 Fingern praktiziert wird – auf ein einheitliches Niveau zu bringen. Dies wäre jedoch jene Grundlage, die es allen durchführenden Ärzten ermöglichen würde, übereinstimmende Pulsdiagnosen stellen zu können. Deshalb wurde in der Vergangenheit immer wieder versucht, dem Fortschritt der Technik entsprechend Methoden zu finden, die es erlauben, die Pulsdiagnostik in der TCM zu objektivieren. Obwohl es bereits Studien zu diesem Thema gibt, die bis 1986 zurückreichen (3), lassen bahnbrechende Ergebnisse auf sich warten.

In der westlichen Medizin wurde derweil die Pulswellenanalyse in den letzten Jahren notwendigerweise (durch die stetige Zunahme der kardiovaskulären Mortalität) modernisiert und revolutioniert. Außerdem wurde versucht die Pulswelle zuverlässig, reproduzierbar und valide aufzuzeichnen sowie ihre Kontur zu visualisieren, mit dem Ziel, über die Pulswellengeschwindigkeit und den Augmentationsindex (AIx) Auskunft über die arterielle Gefäßsteifigkeit zu erlangen. Mittlerweile gilt die mit dem Alter zunehmende Pulswellengeschwindigkeit (als Maß für die arterielle Gefäßsteifigkeit) als unabhängiger Risikofaktor für kardiovaskuläre Ereignisse, wenn sie einen

Schwellenwert von 12 m/sec überschreitet. Weiters ist die Abschätzung eines möglichen Endorganschadens des arteriellen Gefäßsystems mittels Pulswellengeschwindigkeit, A1x und zentralem Blutdruck (RR) möglich. (4)

Ziel der Arbeit war, neben Geschichte und Entwicklung der Pulsdiagnostik und deren Grundlagen, die derzeit verwendeten apparativen Methoden zur Pulswellenanalyse mittels bis dato vorhandener Literatur zu vergleichen und zu evaluieren, ob eine Brücke zur Objektivierung der Pulsdiagnostik an der A. radialis in der TCM geschlagen werden kann. In weiterer Folge könnten auf dieser Arbeit aufbauend, mittels Pilotmessungen, erste Aufzeichnungen realisiert werden.

2 Grundlagen

2.1 Definition des Pulses

Der Puls ist eine „*durch systolischen Blutausschuss des Herzens im Kreislauf entstehende Druck- und Volumenschwankung, im engeren Sinne eine Pulswelle im arteriellen Gefäßsystem, deren Fortleitungsgeschwindigkeit von der Dehnbarkeit des durchströmten Blutgefäßes abhängig ist, und mit dem Alter infolge Elastizitätsverlusts zunimmt.*“ (Pschyrembel, 2002) (5)

Die Pulswelle kommt durch eine stoßweise Herzaktion zustande (Zusammenspiel von Systole und Diastole). Sie breitet sich mit Pulswellengeschwindigkeit (Arterie radialis mit 5 - 10 m/sec; Aorta mit 3 - 5 m/sec) entlang der arteriellen Strombahn aus und wird durch die Dicke und Elastizität der Gefäßwand ebenso beeinflusst, wie durch den Gefäßradius. (6)

2.2 Kreislaufregulation

2.2.1 Gefäßsystem

Das gesamte Gefäßsystem kann in ein Hochdruck- und ein Niederdrucksystem eingeteilt werden. Als Teil mit einer hohen Druckbelastung werden linker Ventrikel in Systole, Aorta und große Arterien sowie kleine Arterien und Arteriolen, hier im Sinne von Widerstandsgefäßen, zusammengefasst. Das Niederdrucksystem, welches mit ca. 80 % den Großteil des Volumens beinhaltet, setzt sich aus Venen, Vorhöfen, rechtem Ventrikel, Gefäßen der Lungenstrombahn und linkem Ventrikel in Diastole zusammen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Gefäßen der beiden miteinander verbundenen Systeme liegt in der Beschaffenheit und Stärke der Gefäßwand. Zwischen Hochdruck- und Niederdrucksystem liegen die kleinen Gefäße - Arteriolen, Kapillaren und Venolen -, denen die Funktion des Sauerstoffaustausches zwischen Blut und Gewebe eigen ist. (7,8)

Das Gefäßsystem unterliegt einem von der Stärke der Beanspruchung abhängigen Wachstum. Eine Neubildung von Gefäßen kann mittels Angiogenese oder Vaskulogenese unter Einfluss von „vascular endothelial growth factor“

(VEGF) und „Angiopoietin“ erfolgen. Ersteres hat seinen Ausgangspunkt im Endothel der kleinen Venen und Venolen. Über den Mechanismus der Kapillareinsprossung erfolgt letztlich eine Gefäßneubildung. Im Gegensatz dazu kommt es bei der Vaskulogenese zur Bildung neuer Gefäße durch Einwanderung von endothelialen Progenitorzellen, die im Knochenmark gebildet werden und eine Differenzierung zu Endothelzellen durchlaufen. Eine weitere Form der Gefäßneubildung ist die Arteriogenese. Hierbei können sich Kollateralen, die poststenotisch in Herz- und Skelettmuskulatur entstehen, mit der Zeit in Arterien umwandeln. (8)

2.2.1.1 Aufbau und Funktion der Gefäßwand

Der Aufbau der Blutgefäße ist dreischichtig und im Wesentlichen einheitlich. Unterschiede finden sich in der Dicke der Tunica media und im unterschiedlichen Gehalt an Strukturproteinen in der Gefäßwand. Arterien sind im Vergleich zu venösen Gefäßen wesentlich dickwandiger und enthalten viele Muskelzellen, um sich den wechselnden Druckverhältnissen besser anpassen zu können. (8)

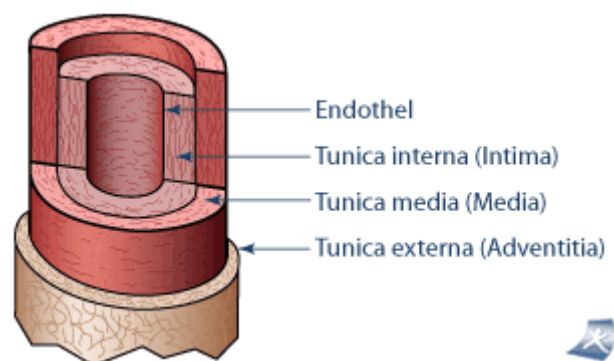


Abbildung 1: Aufbau der Gefäßwand einer Arterie¹

Wie der Abbildung 1 zu entnehmen, setzt sich ein Gefäß aus einer Tunica intima, der innersten, aus einschichtigem Endothel aufgebauten Gefäßschicht, der Tunica media, der Muskelschicht, die aus Muskelzellen und vorwiegend elastischen aber auch kollagenen Fasern besteht und der bindegewebigen Gefäßwand, Tunica adventitia, zusammen. (8,9,10)

¹http://www.onmeda.de/lexika/anatomie/blutgefuesse_anatomie-aufbau-3836-2.html, 20.07.2010

Das Endothel dient hierbei als Barriere für Moleküle, spielt eine Rolle bei der Adhäsion von Zellen, ist an der Angiogenese beteiligt und steuert den Gefäßmuskeltonus sowie die lokale Gerinnung. Es schüttet verschiedene vasoaktive Substanzen aus, unter anderem „Stickstoff“ und „Endothelin-1“, und führt so über die Veränderungen im Gefäßtonus zu geänderter Gefäßsteifigkeit. (11)

Die glatte Gefäßmuskulatur ist für die Anpassung der Gefäßweite zuständig und sorgt für einen gewissen Grundtonus. Über die sich in der Adventitia befindlichen „Vasa vasorum“ wird die Versorgung der Gefäßwand sichergestellt. (8)

Die Matrixproteine Elastin und Kollagen sind wesentlich an der Dehnungsfähigkeit der elastischen Arterien beteiligt. Elastin, welches aus Tropoelastin gebildet wird, kommt in der Tunica media vor, ist sehr dehnbar und in etwa mit einem Gummiband zu vergleichen. Wesentlich steifer als Elastin (ca. 500-mal) und daher im Vergleich relativ undehnbar, ist Kollagen. Dieses sorgt in der Tunica adventitia bei zunehmendem Druck für die Abnahme der Dehnbarkeit. (12)

Das Wechselspiel von Elastin und Kollagen führt dazu, dass bei geringem Druck die Gefäße relativ dehnbar sind und bei einer Steigerung der Druckverhältnisse zunehmend steifer werden. Im Alter kommt es physiologischerweise zu einem Anstieg der kollagenen Fasern um mehr als das Doppelte (13) und gleichzeitig zu einer Deformierung und Zersplitterung der elastischen Fasern. Das Resultat ist eine Zunahme der Gefäßsteifheit (12). Dieser altersbedingte Transformationsprozess findet sich nur in elastischen, nicht aber in muskulären Arterien (13).

Im Hinblick auf die Wandspannung kann eine Unterteilung in eine aktive und passive Spannung getroffen werden, wobei die Aktive dem Gefäßtonus entspricht und durch Kontraktion der Muskelzellen zustande kommt. Die passive Spannung, welche der Feinjustierung des Gefäßlumens dient und in den Zuständigkeitsbereich des elastischen Faseranteils fällt, sorgt somit durch Dämpfung der Wandtonusveränderungen für die Stabilität des Gefäßes. (9)

2.2.1.2 Innervation des Gefäßsystems

Die nervale Versorgung der Gefäße erfolgt durch das vegetative Nervensystem, welches in Form einzelner Nervenfasern in engem Kontakt zur entsprechenden Gefäßwand steht. Vasomotoren als Teil des sympathischen Nervensystems sorgen zum einen für einen Tonus der glatten Gefäßmuskelzellen, zum anderen wirken sie vasokonstriktorisch. Daraus resultierend kommt es zu einem dauerhaften konstriktorischem Einfluss des sympathischen Nervensystems auf den Ruhetonus eines Gefäßes. Bei einigen Organen lässt sich auch eine parasympathisch innervierte, vasodilatatorische Komponente nachweisen. Die zuvor beschriebenen Mechanismen werden durch unterschiedliche Transmitter ausgelöst. Noradrenalin wird aus den sympathischen Fasern freigesetzt, bindet an α_1 -Adrenorezeptoren sowie bei einem sehr starken Impuls an α_2 -Adrenorezeptoren und führt zu einer Kontraktion. Adrenalin fördert über seine Affinität zu präsynaptischen β_2 -Rezeptoren wiederum die Ausschüttung von Noradrenalin und sorgt in niedriger Konzentration, über postsynaptische β_2 -Rezeptoren, für eine Senkung des Gefäßtonus. (9)

2.2.2 Modulatoren des Kreislaufs

Die Steuerung der Blutgefäße, um eine Regulation der peripheren Zirkulation zu erreichen, gelingt durch den Mechanismus der Autoregulation a), über lokale Steuerungsmechanismen b) und letztendlich über ein übergeordnetes neuroendokrines System, das - als Regelkreis den gesamten Organismus beachtend -, steuernd eingreift c) (9).

a) und b) können hierbei als lokale Regulation der systemischen Regulation c) gegenübergestellt werden (7).

Autoregulation kann als die myogene Reaktion eines Gefäßes auf wechselnde Druckverhältnisse verstanden werden, die der Erzeugung des Grundtonus in Widerstandsgefäßen dient. Im Sinne einer metabolischen Anpassung kommt es bei Bedarf zu einer Steigerung der lokalen Durchblutung durch vasoaktive Substanzen. Diese werden lokal in der Gefäßwand gebildet und dienen entweder als Vasokonstriktoren oder Vasodilatoren der Regulation des Gefäßtonus. (9)

Unter den vielen übergeordneten Bereichen können insbesondere die Regulation von Blutvolumen und arteriellem Druck hervorgehoben werden. Um den arteriellen

Blutdruck, der im weiteren Sinne als Ergebnis eines Zusammenspiels zwischen Blutausschuss aus dem Herzen und dem peripheren Gefäßwiderstand verstanden werden kann (7), und das Blutvolumen kurzfristig steuern zu können bzw. zu regulieren, treten verschiedene Mechanismen in Kraft. So werden im Sinne des Barorezeptorenkonzepts über Information aus dem Kortex und dem von Sauerstoff, Kohlendioxid sowie Presso- und Chemorezeptoren abhängigen Vasomotorenzentrum sympathische Fasern aktiviert, die ihrerseits über die Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin α - und β -Rezeptoren der glatten Muskulatur stimulieren. Die Wirkung ist unterschiedlich, je nachdem, welche Rezeptoren ein Organ überwiegend aufweisen kann. Eine Aktivierung von α -Rezeptoren durch Noradrenalin führt vorwiegend zu einer Vasokonstriktion, das auf β -Rezeptoren wirkende Isoproterenol sorgt für eine Vasodilatation mit dem Resultat eines erhöhten Herzminutenvolumens und einer gesteigerten Durchblutung. Adrenalin kann beide Rezeptoren aktivieren. Parasympathische Nervenfasern schütten Acetylcholin aus und es kommt zu einer Verminderung der Herzfrequenz, einer negativ inotropen Wirkung und zu einer Senkung des Blutdrucks. (9)

Die hierfür notwendigen Barorezeptoren befinden sich im Bereich des Aortenbogens und der Karotissinus in der Tunica media und Adventitia der Gefäßwand. Sowohl ein Anstieg als auch ein Abfall des Blutdrucks werden über Aktionspotentiale von Nervus vagus (N. vagus) und N. glossopharyngeus an das Zentralnervensystem (ZNS) gesendet, das dafür sorgt, dass die entsprechende Gegenregulation eingeleitet wird. Die Frequenz der elektrischen Impulse wird von den zeitlichen Änderungen und dem Dehnungszustand innerhalb des Gefäßes beeinflusst. (8) Ein schnelles Ansprechen sowie eine besonders empfindliche Reaktionsfähigkeit zeichnen dieses Barorezeptorensystem aus (7).

Ein ausreichendes Blutvolumen als Grundlage für ein gut funktionierendes System lässt den Schluss auf eine Verknüpfung mit dem Wasserhaushalt zu. Insbesondere in der längerfristigen Regulation kann dieser Mechanismus über den Zusammenhang Renin – Angiotensin – Aldosteron und die Hormone ADH und ANP als wesentlich betrachtet werden. Als weitere grundlegend übergeordnete Regulationsmechanismen sind ergänzend noch die ZNS-Ischämie-Reaktion, die orthostatische Regulation und die emotionale Reaktion des RR zu erwähnen. Die

koordinative Funktion des ZNS übernimmt hierbei - wie oben beschrieben - einerseits das Kreislaufzentrum in der Medulla oblongata mit dem Zuständigkeitsbereich der Steuerung des basalen Gefäßtonus und der Regulation über das Pressorensystem. Andererseits wirkt der Hypothalamus über die Regulation von Thermodynamik und Emotionen sowie der Neokortex auf die motorische Komponente. (7)

2.3 Pulswelle und Pulswellenreflexion

2.3.1 Geschichte der Pulswelle

Die Diagnose des Pulses stellt in der westlichen Welt bis heute eine wichtige Methode zur Diagnostik von Herz-Kreislaufkrankungen dar. Obwohl durch verschiedene apparative Methoden abgelöst, werden bereits durch die Palpation der Arteria radialis (A. radialis) wichtige Informationen über den Zustand des arteriellen Systems geliefert. Dabei werden verschiedene Pulsqualitäten unterschieden, diese sind wie folgt: Kraft, Frequenz, Rhythmus bzw. Regelmäßigkeit, Größe (Pulsamplitude), Druckanstieg (Steilheit) und Spannung. (5,7)

Aufzeichnungen über den arteriellen Puls reichen bis ins Altertum zurück (200 v.Chr.). Das Tasten des Sphygmus (griechisch für Pulsschlag) wurde bereits damals herangezogen, um die Herzkreislauffunktion einschätzen zu können. Sie verlor zunehmend an Bedeutung, da im Laufe der Zeit Methoden entwickelt wurden, die Pulswelle aufzuzeichnen (erstmal Ende des 19. Jh. Mahomed/London und Marey/Paris) und den RR zu messen (Methode nach Riva-Rocci sowie Korotkov). (11,12)

Marey führte den Sphygmographen ein, Mahomed nutzte ebendieses Gerät in der Praxis und beschrieb die Existenz einer Krankheit namens „essentielle Hypertonie“ (14). Es war auch Mahomed, der 1870 von einer Veränderung der Gestalt der Pulswellenkontur mit dem Alter und dem Auftreten von Krankheit berichtete (11).

Mackenzie beobachtete und berichtete 1920 von Veränderungen in Pulskontur und Rhythmus, die er mittels des Sphygmographen aufzeichnete. Diese ersten

Aufzeichnungen erfuhren bald eine Revolution und der heute allgegenwärtige Sphygmomanometer wurde entwickelt. (14)

Erste Aussagen über die Gefäßelastizität wurden zwar 1881 von Roy getroffen, ein Durchbruch gelang jedoch Bramwell und Hill mit der Messung der Pulswellengeschwindigkeit und der Formulierung des mathematischen Zusammenhangs zwischen Pulswellengeschwindigkeit und Gefäßelastizität sowie deren Abhängigkeit vom arteriellen Blutdruck. 1960 wurde von McDonald erstmals über die Reflektion der Pulswelle im peripheren Gefäßsystem als Ursache für den Unterschied zwischen aortaler und peripherer Pulskontur berichtet. Schließlich gelang es in den letzten Jahren neue Methoden zu entwickeln, um computergestützt Aufzeichnungen durchführen und automatisierte Analyseverfahren anwenden zu können. (12,15)

2.3.2 Die Pulswelle

Die dem arteriellen System zu Grunde liegenden Mechanismen sind schwierig zu erfassen. Eben diese Komplexität führte letztendlich dazu, dass Modelle geschaffen wurden, um den physiologischen Hintergrund zu veranschaulichen und weiterführend ein pathophysiologisches Verständnis zu ermöglichen. Sowohl das „Windkessel–Modell“ als auch das Phänomen der Pulswellenreflexion stellen solche Methoden dar. (4)

2.3.2.1 Gefäßelastizität, Pulswellengeschwindigkeit und Windkesselfunktion

Gefäßelastizität, Pulswellengeschwindigkeit und Pulswellenreflexion wurden in der letzten Zeit als kardiovaskuläre Risikofaktoren unter die Lupe genommen, da eine nachgewiesene Beziehung zwischen Systole, Diastole und Pulsdruck mit den physikalischen Eigenschaften der elastischen Arterien besteht. (13)

Die Entstehung der Pulswelle beginnt mit dem Blutausschuss aus dem Herzen. In der Systole kommt es zum Ausschuss von etwa 70 ml/min aus dem linken Ventrikel. Das ausgeschussene Volumen erfährt in der Aorta eine Beschleunigung. Da insbesondere die großen Gefäße die Fähigkeit besitzen, ihre Gefäßwand dem Volumen entsprechend auszudehnen (Gefäßelastizität), wird ein Teil dieses

Blutvolumens vorübergehend gespeichert, um in der Diastole weiter in die Peripherie zu fließen. (7,12)

Der in der Hauptschlagader entstehende Druckanstieg führt über die passive Wanddehnung derselben zu einer Erweiterung des Gefäßquerschnitts, um eine Speicherung des ausgeworfenen Volumens zu ermöglichen. Durch die Dehnung der Aorta wird ein durch den Schluss der Aortenklappe zustande kommender Blutdruckabfall verhindert. (12)

An den folgenden Abschnitten ist theoretisch noch keine Dehnung der Gefäßwand zu erkennen. Somit bildet sich zwischen den beiden Abschnitten ein Druckgradient, der die Beschleunigung und die Weiterleitung des Volumens zur Folge hat. Dieser Mechanismus erfährt eine unendliche Wiederholung. Das oben in der Theorie beschriebene Phänomen entspricht im Wesentlichen einer sich kontinuierlich ausbreitenden Pulswelle, die sich mit Pulswellengeschwindigkeit entlang des gesamten Gefäßsystems fortsetzt. Infolgedessen ist an jedem einzelnen Abschnitt, an dem sie sich ausbreitet und weiterbewegt, eine örtlich registrierbare Änderung des Wellendrucks, der Wellenströmung und des Gefäßquerschnitts erkennbar. Diese Änderungen entsprechen nach Schmidt und Lang (16) den 3 Grundphänomenen der Pulswelle:

- Druckpuls
- Strompuls
- Querschnittspuls (Volumenpuls)

Das „Windkessel-Modell“, als vereinfachte Methode, weist auf die Fähigkeit der großen Arterien zur Dämpfung eines pulsatilen Flusses und ihre Leitungs- und Speicherfunktion hin (4). Als Windkesselfunktion wird nach Golenhofen (7) nunmehr die *„Umwandlung der intermittierenden Pumpleistung des Herzens in einen kontinuierlichen Blutfluss“* bezeichnet.

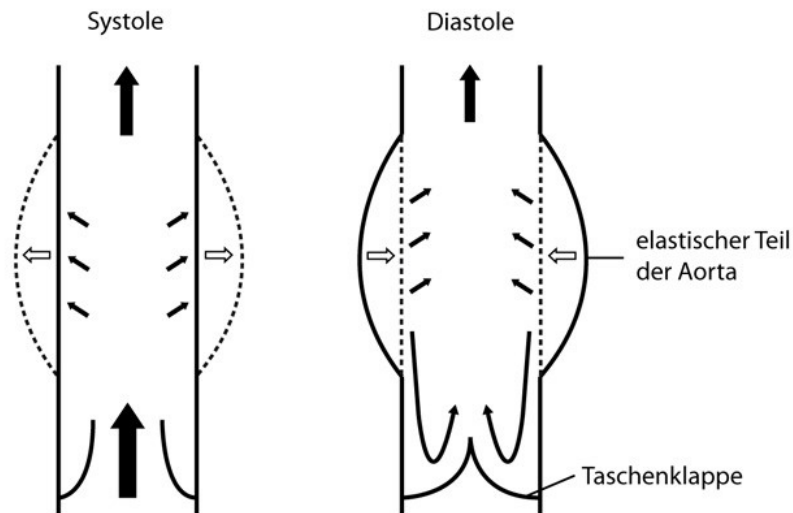


Abbildung 2: Windkesselfunktion²

Da es sich jedoch um ein vereinfachtes Modell handelt, kommen einige limitierende Faktoren zum Tragen. In der Theorie wird von getrennter Dämpfungs- und Leitungsfunktion gesprochen, welche in vivo parallel zueinander innerhalb eines Gefäßabschnitts ablaufen. Die Pulswellengeschwindigkeit wird als unendlich angenommen, in der Realität ist sie jedoch als definierte Größe anzusehen, welche nicht in allen Gefäßabschnitten gleich ist. Weiters darf die Fähigkeit des menschlichen Organismus zur Regulation des Gefäßtonus nicht außer Acht gelassen werden. Um wie viel sich das Gefäß dehnt, ist wesentlich abhängig von der Zunahme des Drucks einerseits und vom ausgeworfenen Volumen andererseits (7). Hierbei liegt die Fähigkeit zur Dehnbarkeit im Aufbau der Arterienwand und wird von den zwei Matrixproteinen Elastin und Kollagen bestimmt. Außerdem ist eine Abnahme der Elastizität mit zunehmender Entfernung vom Herzen zu beobachten. (4)

Laut Nürnberger et al. (12) „entsteht eine nicht-lineare Elastizität mit hoher Dehnbarkeit im unteren Druckbereich und eine Zunahme der Gefäßsteifheit mit ansteigendem intravasalen Druck“.

Nach Golenhofen (7) ist somit Compliance (Volumendehnbarkeit) C als „Maß für die Windkesselfunktion“ gleich der Volumendifferenz (ΔV) im Verhältnis zum Druckzuwachs (ΔP).

² http://www.biologieunterricht.info/unterrichtsmaterialien/windkesselfunktion_aorta, 19.07.2010

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

Durch degenerative Veränderungen der Gefäßwand und durch die Bildung arteriosklerotischer Plaques werden die Gefäßwände durch Zunahme der kollagenen und Abnahme der elastischen Fasern mit zunehmendem Alter unelastischer, die Windkesselfunktion nimmt ab. Um dennoch einen kontinuierlichen Blutfluss zu gewährleisten finden sich Mechanismen, wie die Zunahme des Aortenvolumens, um mit steigendem Alter dem zunehmenden Verlust der Gefäßelastizität entgegenzuwirken. (7,12)

Eine Zunahme der arteriellen Gefäßsteifigkeit ist außer im Alter auch noch bei vielen Erkrankungen, wie koronare Herzkrankheit, Myokardinfarkt, Herzinsuffizienz, Hypertonie, Insult, Diabetes, Niereninsuffizienz oder Entzündungen zu erkennen (13).

Um Auskunft über die Gefäßelastizität zu erlangen, muss man sich deren Zusammenhang mit der Pulswellengeschwindigkeit veranschaulichen. Hierzu dienen wiederum zwei Formeln. (7)

$$k = \frac{(\Delta P \times V)}{\Delta V}$$

Das Volumselastizitätsmodul (k) dient als direktes Maß der Dehnbarkeit und kann durch Messung der Pulswellengeschwindigkeit (c) wie folgt bestimmt werden:

$$c = \sqrt{\frac{k}{\delta^{Blut}}}$$

$$\delta^{Blut} = 1.06 \text{ g/cm}^3$$

Mittels der Pulswellengeschwindigkeit gelingt über k ein Rückschluss auf die Elastizität der großen Gefäße C (7) und somit auch auf die Steifigkeit der Arterien (4). Hierbei sind Orts-, Druck- und Altersabhängigkeit zu berücksichtigende Faktoren. Die Geschwindigkeit der Pulswelle nimmt mit der Entfernung vom

Herzen zu (16). Nun erklärt sich, dass bei einem altersbedingten Verlust der Gefäßelastizität C die Pulswellengeschwindigkeit c ansteigen muss (7). Die Fähigkeit zum Ausgleich der Druckverhältnisse nimmt ab und es kommt zu einem Anstieg der Blutdruckamplitude mit zunehmender Gefäßsteifheit (11). Der Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit und der Amplitude, bei Zunahme der Gefäßsteifheit, sind somit ursächlich für Veränderungen der Gestalt der Pulscurve verantwortlich (17). Klinische Bedeutung erfährt dieses Phänomen durch die Tatsache, dass ein Verlust der Elastizität mit einer Abnahme des diastolischen Blutdrucks einhergeht und zu hämodynamischen Veränderungen führt (12). Die Messung der Pulswellengeschwindigkeit gilt als Goldstandard, um die Steifigkeit arterieller Gefäße bestimmen zu können, da deren Durchführung nach Weber et al. (4) „*einfach und direkt, robust und nicht invasiv sowie gut reproduzierbar und von großer epidemiologischer Bedeutung*“ ist. Sie nimmt proportional mit der Zahl an kardiovaskulären Risikofaktoren zu (18).

2.3.2.2 Pulswellenreflexion

Der Entstehung der Pulswellenreflexion an peripheren Gefäßen liegt der Mechanismus zugrunde, dass die entstehende, sich in die Peripherie ausbreitende Druckwelle eine Reflexion an jenen Stellen erfährt, an denen sich der Wellenwiderstand ändert. An ebendiesen Positionen (Abzweigungen, Änderungen des Gefäßquerschnitts, der Wanddicke oder der Gefäßelastizität, Übergang von kleinen Arterien in Arteriolen) kommt es zu einer Überlagerung der in Richtung Peripherie laufenden und der wieder zurücklaufenden Welle. (15,16) Dieses Phänomen gibt der Pulswelle ihre Kontur. Die Reflexionen sind im Verlauf der gesamten arteriellen Laufbahn zu verzeichnen, am stärksten sind sie an den präkapillären Gefäßen, an denen sich der größte Gefäßwiderstand findet (12). Die Geometrie und Anzahl der Arteriolen sowie der in diesen vorherrschende Gefäßtonus bestimmen, in welchem Umfang eine Reflexion der Pulswelle stattfindet (4). Bei in entgegengesetzte Richtungen laufenden Wellen addieren sich die Wellendrucke, die Wellenstromstärken unterliegen hingegen einer Subtraktion, was zu einem unterschiedlichen Kurvenverlauf von Druck- und Strompulsen führt. (16)

Weiters führt der erhöhte periphere Strömungswiderstand zu einer größeren Druckpulsamplitude und einer Abnahme der Strompulsamplitude im Vergleich zu den herznahen Gefäßen (12).

Änderungen des Druckes, in Beziehung gesetzt mit der Gefäßwandausdehnung, können laut dem oben beschriebenen Zusammenhang von Druck, Volumen und Gefäßelastizität als Puls getastet werden. Die Druckkurve der Aorta zeigt einen zwei-gipfeligen Verlauf während der Systole, der sich aus dem Blutausschuss einerseits und der Reflexion der ante- und retrograd verlaufenden Welle andererseits zusammensetzt. Zwischen den beiden Gipfeln herrscht eine Druckdifferenz, die als Augmentation bezeichnet wird und den arteriellen RR beeinflusst sowie von der Pulswellengeschwindigkeit abhängt. Im Idealfall, der einem jungen gesunden Individuum entspricht, erreicht die reflektierte Welle die Aorta innerhalb eines Herzzyklus, nachdem sich die Aortenklappe geschlossen hat, also in der Diastole. Durch diesen Mechanismus wird eine ausreichende Koronarperfusion gewährleistet. Die Ankunft der Welle vor dem Aortenklappenschluss, d.h. in der Systole, führt zu einer Erhöhung des peripheren Gefäßwiderstandes und somit zu einer verminderten Durchblutung der Koronargefäße. Dieses Phänomen tritt mit zunehmender Pulswellengeschwindigkeit und Abnahme der Gefäßelastizität vor allem im Alter auf. Eine Verstärkung der Welle kann ebenfalls zu einer vermehrten Belastung des Herzens führen. (4,12,13)

Veränderungen der Pulscurve im Vergleich zu den großen, zentralen Gefäßen in Form und Größe werden ersichtlich, je weiter sich die Welle in die Peripherie ausbreitet (7).

- Infolge der Reflexion entsteht eine dikrote Welle als zweite Erhebung in der Pulscurve.
- Die Inzisur, in der zentralen Kurve durch den Schluss der Aortenklappe entstehend, erfährt eine Dämpfung und ist dadurch nicht mehr sichtbar.
- Es kommt zu einem Amplitudenanstieg.

In Abbildung 3 finden sich Kurvenverläufe im Vergleich, um den Unterschied besser verstehen zu können. Entlang des arteriellen Gefäßbaumes sind hier die oben genannten Veränderungen veranschaulicht.

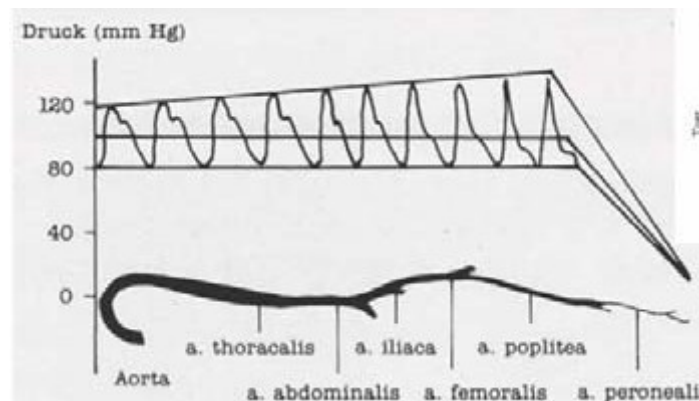


Abbildung 3: Pulsdruckkurve entlang des arteriellen Gefäßbaums³

Zusammenfassend ist die Gestalt der Pulscurve in einer Arterie ein Resultat aus einer Summe des sich fortplanzenden Druckimpulses und der rückwärts gerichteten Wellenreflexion. Die reflektierte Welle entsteht an den Grenzflächen zwischen den großen Arterien und den Widerstandsgefäßen. Innerhalb eines Herzzyklus erreicht die reflektierte Welle mit hoher Pulswellengeschwindigkeit wiederum die Aorta. Die Summe aus der ursprünglichen und der reflektierten Welle repräsentiert den Druck, der irgendwo im arteriellen System gemessen wird. Dieser hängt nun von drei wesentlichen Faktoren ab, die im Sinne der Augmentation von weiteren Faktoren beeinflusst werden (siehe Kapitel 2.3.2.3):

- Amplitude und Dauer des linksventrikulären Auswurfs
- Amplitude der reflektierten Welle
- Geschwindigkeit der reflektierten Welle

(18)

2.3.2.3 Augmentationsindex

Entsprechend Nürnberger et al. (12) ist „*der Augmentationsindex ein standardisierter Parameter zur Beurteilung der Pulswellenreflexion auf die aortale Blutdruckkurve.*“

Die von der Pulswellengeschwindigkeit abhängige Augmentation steht über diesen Zusammenhang in Beziehung zur Gefäßelastizität. Wobei hier im Sinne von Rickert (19) bei der A. radialis die „*Amplitudendifferenz zwischen erstem und zweitem Peak der Pulswelle (...)*“ als Augmentation angenommen wird. Der Alx

³ http://www.acutronic-ms.at/newsletter/pdf/Klinische_INFO_Blutdruckmessung.pdf, 24.07.2010

der A. radialis ist somit definiert als reflektierte Welle im Verhältnis zu ursprünglicher Pulswelle.

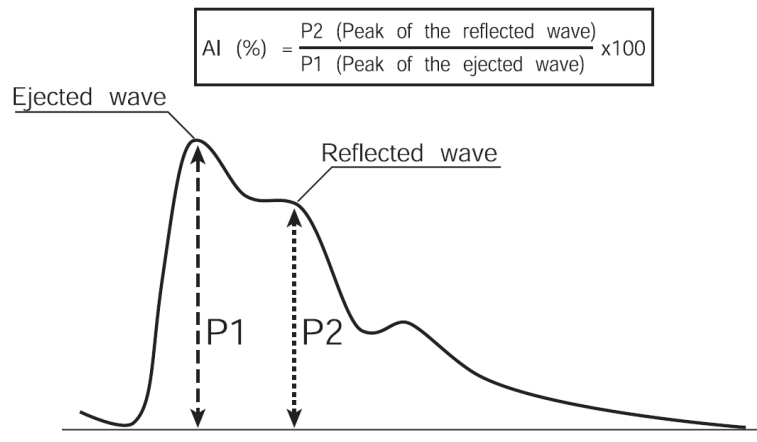


Abbildung 4: Augmentationsindex ⁴

Über den Alx kann eine Aussage über die Gefäßelastizität getroffen werden. Weiters beinhaltet er Information über die Reflexion der Pulswelle, Ort und Stelle der Reflexion und die Pulswellengeschwindigkeit (17). Er wird berechnet aus dem Quotient zwischen den zwei Gipfeln der aortalen Druckkurve oder aus Augmentation und Pulsdruck. Der Alx, welcher von verschiedenen Größen sowohl positiv als auch negativ beeinflusst wird, unterliegt, unabhängig von der Pulswellengeschwindigkeit, einer pharmakologischen Beeinflussung (19).

Einen erhöhenden Effekt (d.h. der Alx steigt) üben Alter und RR aus. Durch die altersgemäße Zunahme der Gefäßsteifigkeit kann ein Anstieg des Alx mit dem Alter beobachtet werden. Diastolischer oder systolischer RR stellen abhängig vom Kollektiv wichtige hämodynamische Einflussfaktoren dar. Bei einem jungen, gesunden Mann ist dies der diastolische RR. Größe und Herzfrequenz (HF) stehen im Gegensatz dazu in einem Negativverhältnis zum Alx. Je größer ein Mensch ist, desto später erreicht die reflektierte Pulswelle die Aorta in Systole und es kommt zu einer geringfügigen Erhöhung des RR in der Aorta. Nimmt die HF zu, kommt es zu einer Verkürzung der Systolendauer und die reflektierte Welle trifft später in der aortalen Systole ein. Bezüglich des Geschlechts findet sich abhängig von der Körpergröße im Durchschnitt ein geringfügig höherer Alx bei Frauen. (12)

⁴ <http://www.omronhealthcare.com/products/augmentation-index-pulse-wave-analysis>, 20.08.2010

Tabelle 1: Einflussgrößen des Alx; aus (12)	
Alter	Positiv: der Alx steigt mit zunehmendem Alter als Ausdruck einer altersabhängigen Zunahme der Gefäßsteifigkeit an.
Größe	Negativ: Der Alx steht in negativem Verhältnis zur Körpergröße. Bei größeren Menschen fällt die reflektierte Pulswelle später in die aortale Systole ein und führt damit zu einer geringfügigeren Erhöhung des aortalen Blutdruckes.
Geschlecht	Frau > Mann: Bei Frauen liegt der Alx durchschnittlich etwas höher als bei Männern. Dieser Unterschied ist abhängig von der Körpergröße.
Herzfrequenz	Negativ: Der Alx zeigt eine negative Korrelation zur HF. Mit zunehmender HF verkürzt sich die Systolendauer. Die reflektierte Pulswelle fällt dadurch relativ später in die aortale Systole ein.
Blutdruck	Positiv: In Abhängigkeit vom Studienkollektiv sind systolischer und diastolischer RR als wichtige Einflussgrößen beschrieben worden. Bei jungen, gesunden, männlichen Probanden ohne Herz-Kreislaufkrankungen ist der diastolische RR die wichtigste hämodynamische Einflussgröße.

2.4 Die Pulsdiagnostik in der traditionellen Chinesischen Medizin

Die Diagnose des Pulses in der TCM kann als subjektive, schwer erlernbare Diagnoseform verstanden werden, die sowohl von inneren als auch äußeren Einflüssen abhängig ist. In der TCM liefert der arterielle Puls detaillierte Informationen über den Zustand von Yin und Yang, über jenen der Organe und ebenso über den Zusammenhang von Qi und Blut. Er ist somit von diesen Faktoren und deren Funktionszustand abhängig. Der Puls, als sensitive diagnostische Methodik, reagiert teilweise sehr kurzfristig (z.B. im Gegensatz zur Zunge). Er wird im Gegensatz zur westlichen Medizin als Symptom verstanden (wie übermäßiger Durst, Herzklopfen, Unruhe), zeigt jedoch gleichzeitig den Zustand des gesamten Organismus. (20)

Als eine von mehreren diagnostischen Methoden, auf deren Zusammenhang im Laufe des Kapitels noch kurz eingegangen wird, dient sie dem Zweck einer Diagnosefindung nach den Kriterien der TCM, um letztendlich mittels der Entwicklung eines passenden Therapiekonzepts dem jeweiligen Patienten helfen zu können.

2.4.1 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel soll einen kleinen Einblick in die Grundzüge der TCM geben, um die wichtigsten Mechanismen, die zur Notwendigkeit und der Berechtigung der Pulsdiagnose als diagnostisches Mittel führen, besser nachvollziehen zu können. Hierzu zählen die Theorie von Yin und Yang, ebenso wie die Substanztheorie, die 5 Wandlungsphasen und die Theorie von den Organen und Meridianen. (1)

2.4.1.1 Yin und Yang

Das Konzept der TCM basiert ganz wesentlich auf der Theorie von Yin und Yang, welche aus dem Taoismus kommend besagt, dass in allem Natürlichen zwei Anteile vorhanden sind, aus deren Wechselspiel sich alle Phänomene und Veränderungen des menschlichen Lebens und Daseins sowie der Natur ergeben. Exemplarisch kann von einer Basispolarität gesprochen werden. (1)

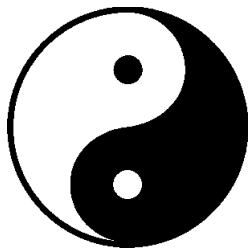


Abbildung 5: Yin und Yang⁵

Eine Annahme, die ausschließlich auf einer gegensätzlichen Betrachtung von Yin und Yang beruht, würde dem Gesamtkonzept nicht entsprechen. Viel mehr entsteht aus dem Gegensatz, der immer als relativ zu bewerten ist, auch eine wechselseitige Beziehung zwischen Yin und Yang.

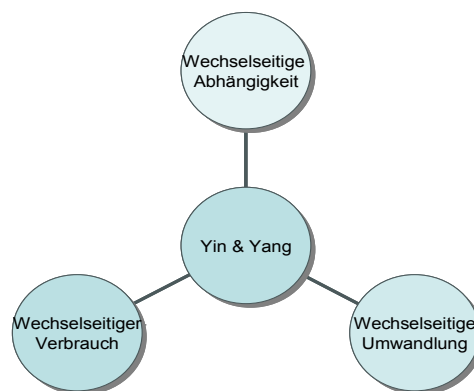


Abbildung 6: Beziehung von Yin und Yang⁶

Yin und Yang brauchen einander, das Eine beinhaltet auch immer ein Stück weit das Andere. Außerdem besteht die Fähigkeit der Transformation von Yang zu Yin und umgekehrt. (1) Wie in Abbildung 6 von Yin und Yang gut zu erkennen, erfährt

⁵ http://www.shiatsu-austria.at/einfuehrung/einfuehrung_5.htm, 19.07.2010

⁶ frei nach Maciocia G. Grundlagen der chinesischen Medizin. 2. Auflage. Urban&Fischer Verlag, München 2008 und Yuan H. Chinesische Pulsdiagnostik. 2. Auflage. Urban&Fischer Verlag, München 2009.

Yin von Yang und Yang von Yin eine Begrenzung, diese Grenzen sind allerdings fließend. Solange sich ein System im Gleichgewicht befindet, entspricht es dieser Abbildung. Kommt es zu einer Störung, verschiebt sich das Gleichgewicht zu Gunsten des einen und zum Nachteil des anderen Faktors. Das folgende Beispiel „Tag und Nacht“ dient der Veranschaulichung des Zusammenhangs, indem die Gegensätzlichkeit und die Abhängigkeit einerseits, andererseits die Begrenzung vor Augen geführt wird: ohne Tag existiert keine Nacht und aus jeder Nacht geht ein Tag hervor. Die Relativität des Gegensatzes ist an den Tageszeiten zu erkennen. Der Morgen ist Yin verglichen mit der Mittagszeit, aber Yang verglichen mit der Mitternacht. Eine Umwandlung innerhalb des Systems findet bei Sonnenaufgang und bei Sonnenuntergang statt.

Die Dynamik zwischen Yin und Yang dient der TCM in der Pathophysiologie, im gesamten Diagnoseprozess sowie der Therapie als Grundlage. Hierbei wird jeder Mensch mit all seinen Eigenschaften und Symptomen einer Einteilung unterzogen, auf deren Basis eine Zuordnung einzelner Komponenten in Yin- oder Yangcharakter erfolgen kann. Dies dient dazu, Störungen des Systems besser erkennen zu können, um anschließend mit der therapeutischen Konsequenz den Körper in seinem Streben nach einem Gleichgewicht von Yin und Yang zu unterstützen. (1)

2.4.1.2 Qi und Blut

Qi und Blut werden gemeinsam mit den Körperflüssigkeiten, der Essenz und Shen als die fünf Grundsubstanzen bezeichnet.

Auch Qi und Blut werden, ebenso wie die anderen nach der unter 2.4.1.1 beschriebenen Theorie eingeteilt, wobei Qi dem Yang zugeordnet wird und das Blut mehrheitlich mit Yin-Aspekt versehen ist. Da jedoch alles eine Kombination aus Yin und Yang darstellt, beinhalten beide auch Aspekte des jeweils gegenteiligen Faktors. Über den Puls kann der Zustand von Qi und Blut beurteilt werden, da der Puls als Bewegung ebendieser Substanzen interpretiert wird.

➤ Qi

Die grundlegende Energie des Lebens und alle dafür zuständigen Bestandteile werden unter dem Begriff Qi zusammengefasst. Ohne Qi würde es keinen

energetischen Fluss in den Meridianen geben und ebenso wären die Organe unfähig ihre physiologische Funktion zu erfüllen.

Das Qi tritt im Körper in unterschiedlicher Form in Erscheinung und übernimmt somit, der jeweiligen Form entsprechend, Aufgaben. Es gibt demnach nicht nur ein Qi, es existieren vielmehr unterschiedliche Arten des Qi. Ein „angeborenes Qi“, mit

氣

Sitz in der Niere, das als „yuan-Qi“ (Yang Anteil der Erb-Energie) bezeichnet wird und das „nachgeburtliche Qi“, welches sich aus dem in der Milz gebildeten „Nahrungs-Qi“ und dem „Atmungs-Qi“ der Lunge zusammen setzt, werden ursächlich unterschieden. (1)

Abbildung 7: Schriftzeichen von Qi⁷

Nach Maciocia werden der Funktion nach folgende Arten des Qi charakterisiert: „yuanqi“ (Ursprungs-Qi), „guqi“ (Nahrungs-Qi), „zongqi“ (Sammel-Qi), „zhenqi“ (Wahres Qi), „yingqi“ (Nähr-Qi/Bauenergie), „weiqi“ (Abwehr-Qi), „zhonqi“ (Qi der Mitte) und „zhengqi“ (Aufrechtes Qi). Das „Zeng-Qi“ als Summe aller guten Qi-Arten im Organismus wird dem „Xie-Qi“, das als Summe aller pathologischen Qi-Formen im Körper verstanden wird, gegenübergestellt. (20) Einige dieser Qi-Formen gehen aus anderen hervor. Der dabei entstehende Kreislauf wird in Abbildung 8 graphisch veranschaulicht.

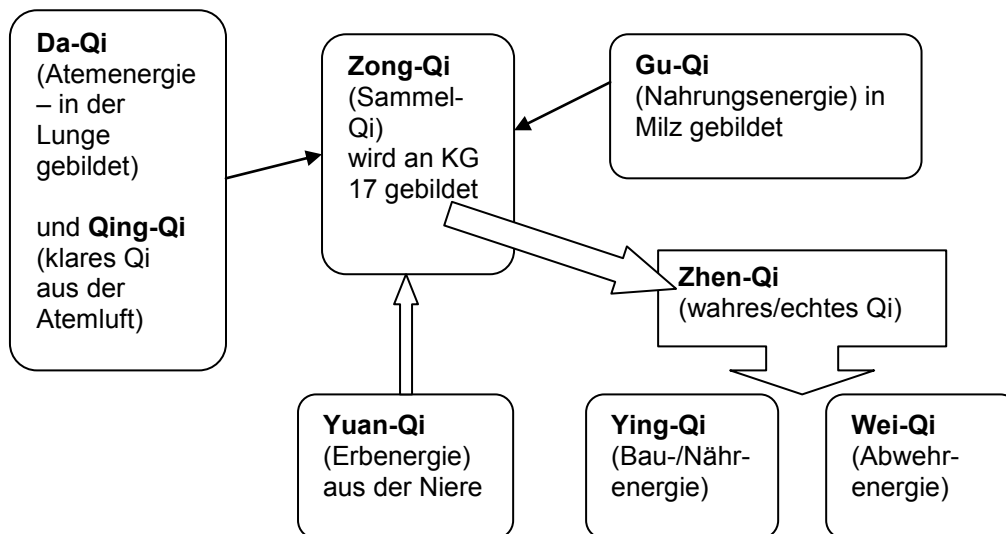


Abbildung 8: Entstehung der verschiedenen Formen des Qi⁸

⁷ <http://feng-shui.net/grundlagen/qi-grundlage-des-chinesischen-denkens>, 22.09.2009

Tabelle 2: Funktionen des Qi; modifiziert nach (1) und (20)

Das frei nach einem bestimmten Rhythmus in den Meridianen zirkulierende Qi hat außer seiner Funktion als treibende Kraft des Organismus noch weitere Aufgaben.

Umwandeln	Die Milz wandelt Nahrung, die Niere Flüssigkeiten, die Blase Harn und das Herz wandelt Nahrungs-Qi in Blut um.
Transportieren	Die Milz sorgt z.B. für den Transport von Nahrungs-Qi, die Lunge transportiert Flüssigkeiten zur Haut.
Halten	Das Milz-Qi hält das Blut in den Gefäßen. Die Niere und das Qi der Blase halten den Harn. Die Lunge kontrolliert den Schweiß.
Heben	Das aufsteigende Milz-Qi sorgt dafür, dass die Organe in ihrer Position gehalten werden und auch das Nieren-Qi, das nach oben drängt, hat hebenden Charakter.
Kontrollieren	Qi kontrolliert die Bildung von Blut und dessen Transport, sowie den Stoffwechsel der Säfte (unter anderem Schweiß, Urin, Speichel, Vaginalsekret) und schützt vor Verlust der flüssigen Substanzen und der Samenflüssigkeit. Es reguliert außerdem die Ausscheidung unreiner Substanzen.
Schützen	Qi schützt als Wei-Qi den Körper vor pathogenen Faktoren.
Wärmen	Qi wärmt den Körper vor allem in Form von Yang-Qi aus Niere und Milz, und sorgt für eine konstante Körpertemperatur.

Bewegung des Qi:

Qi kann aufsteigen und absinken sowie von außen aufgenommen und wieder nach außen abgegeben werden. (1)

⁸ modifiziert nach Maciocia G. Grundlagen der chinesischen Medizin. 2. Auflage. Urban&Fischer Verlag, München und Dorfer, Jan, Richter, Url. Prüfungsvorbereitungsskript. © OGKA, 2010.

Lungen-, Magen- und Herz-Qi werden nach unten gelenkt, wohingegen Nieren- und Milz-Qi nach oben geleitet werden. Die Leber ist für einen in alle Richtungen gehenden, harmonischen Fluss zuständig (21). Liegt eine Pathologie vor, kann das Qi in die der Physiologie entgegengesetzte Richtung fließen. Beispiele dazu sind das Auftreten von Husten oder Asthma bei aufsteigendem Lungen-Qi. Im Gegensatz dazu weist die Vorkommnis von Ödemen und Organprolaps auf ein mangelhaft emporstrebendes Milz-Qi hin. (1) Außerdem kann der Qi-Fluss behindert sein, Qi stagnieren oder ein genereller Energiemangel bestehen.

➤ Blut



Das Blut, welches die Grundlage des Geistes Shen liefert, gilt als materieller (Yin) Anteil des Qi. Von Qi gebildet und bewegt unterliegt es auch seiner Kontrolle. Im Sinne des Prinzips von Yin und Yang gilt das Blut als Mutter des Qi, die dieses ernährt und in sich trägt. Insgesamt hat es eine nährende, befeuchtende und kühlende Funktion.

Abbildung 9: Schriftzeichen von Blut⁹

Aus der Bauenergie und den Körperflüssigkeiten kann das Blut ebenso gebildet werden, wie sich nachgeburtliche Essenz und Blut ineinander umwandeln können. Das Herz regiert Blut und Blutgefäße und ist außerdem Ort der Blutbildung. Mit Unterstützung der Lunge regelt das Herz auch die Zirkulation in den Blutgefäßen. Das Milz-Qi liefert Nahrungs-Qi an das Herz für die Blutbildung und kontrolliert das Blut insofern, als es dieses in den Blutgefäßen hält. Die Leber, welche als Speicherorgan dient, sorgt für einen ruhigen, glatten Qi-Fluss. In der Niere kann Blut auch als Yin-Essenz gespeichert vorliegen. (1,21)

2.4.1.3 Theorie der Zang und Fu Organe

Es gibt in der TCM aus einem systemtheoretischen Ansatz heraus einen Zusammenhang zwischen Yin und Yang Organen. Jeweils ein Zang und Fu Organ sind miteinander gekoppelt. Diese sind auch als Funktionskreise miteinander verbunden. Leber (Le) und Gallenblase (Gb), Herz (He) und Dünndarm (Dü), Milz

⁹ http://www.chinalink.de/sprache/zeichenwunsch/Blut_731693.shtml, 19.07.2010

(Mi) und Magen (Ma), Lunge (Lu) und Dickdarm (Di) sowie abschließend Niere (Ni) und Blase (Bl). (1)

Im Klassiker des gelben Kaisers wird der Zusammenhang der Organe bildhaft beschrieben. Das Herz gilt, nach zuvor genanntem Grundlagenwerk, als König, der alle Organe regiert. Es ist Sitz des Shen, von Bewusstsein, Weisheit, Intelligenz und Spiritualität. Ihm zur Seite gestellt unterstützt die Lunge, als Ratgeber, das Herz vor allem bei der Qi-Regulation. Das Pericard bzw. der Kreislauf sorgt im Sinne eines Hofnarrs für die Freude. Die Leber verkörpert den mutigen, schlaun und dynamischen General und die Gallenblase herrscht als Richter über die Entscheidungsfähigkeit. Magen und Milz übernehmen als Minister für Nahrung und Wirtschaft die Speicherfunktion. Der Dickdarm sorgt für den Abtransport von allem Unreinen, nachdem zuvor der Dünndarm verdaute Nahrung empfangen, absorbiert und verteilt hat, indem er Reines von Trübem und Unreinem trennt. Die Niere, welche die Essenz (vorgeburtliche Energie) speichert und mobilisiert, ist Sitz von Willenskraft und Koordination. In der Blase strömt das Wasser zusammen und wird abgegeben. Um das gesamte System aufrecht zu erhalten bedarf es eines Zusammenspiels aller Yin- und Yangorgane. Alle Entscheidungen werden vom Herzen getroffen. In diesem Sinne ist Geistesklarheit Voraussetzung für ein gut funktionierendes Gesamtsystem. (22)

In der Tabelle zu den Wandlungsphasen unter 2.4.1.4 sind einige der Besonderheiten und Zuordnungen zu den Systemen enthalten.

2.4.1.4 Die 5 Wandlungsphasen

Aus der Naturphilosophie stammt die Einteilung aller Naturphänomene in die fünf Wandlungsphasen. Jede einzelne wird mit bestimmten Merkmalen versehen. Veränderungen, die im Sinne eines Syndroms auf eine Störung innerhalb einer Wandlungsphase hinweisen, können alle zugeordneten Merkmale betreffen und durch eine besondere Abneigung oder Zuneigung gekennzeichnet sein, ebenso wie eindeutig zuordenbare körperliche Veränderungen. (1)

Tabelle 3: Wandlungsphasen; modifiziert nach (1) und (20)					
Merkmale - Wandlungs- Phasen	Holz	Feuer	Erde	Metall	Wasser
Funktions- kreis	Le/Gb	He/Dü	Ma/Mi	Lu/Di	Ni/BI
Funktionen	Dynamik, Aktivität	Persönlich- keit, Kreativität Wesen	Erworbene Konstitution, Energieauf- bau	Rhythmus, Ordnung, Energieauf- bau	Angeborene Konstitution, Energiespeicher, Basis von Yin und Yang
Jahreszeit	Frühling	Sommer	Spätsommer	Herbst	Winter
Klima	Wind/Sturm	Wärme/Hitze	Feuchtigkeit	Trockenheit	Kälte
Emotion	Wut/Zorn	Freude	Grübeln, Sorge	Traurigkeit	Angst
Geschmack	sauer	bitter	süß	scharf	salzig
Farbe	grün -- blau	rot	gelb	weiß	schwarz
Sinnesorgan	Augen	Zunge	Mund	Nase	Ohr
Gewebe	Sehnen und Muskeln, Nägel	Blut, Blutgefäße	Fleisch (Subcutis, Fettgewebe)	Haut (Körperhaar)	Knochen, Knochenmark, ZNS (Kopfhaar)
Körperlicher Zuständig- keitsbereich	Mesenchym	Gefäß- und Kreislauf- system	Gastro- intestinaltrakt	Respirations- trakt	Urogenitaltrakt
Geruch	ranzig	verbrannt	süßlich	verrottet, übel	faulig, eitrig
Stimmlicher Ausdruck	schreien, rufen	lachen	singen	weinen	stöhnen

Jedes dieser Elemente nährt ein anderes und geht zugleich aus einem anderen hervor. Dadurch entstehen Beziehungen, die einem Mutter-Kind-Zyklus (nährender Zyklus) und einem Großmutter-Enkelkind-Zyklus (Kontrollzyklus) entsprechen. Jeder einzelne Zusammenhang innerhalb dieser Zyklen kann pathologisch werden: einerseits könnte die Mutter ihr Kind nicht ausreichend

ernähren, andererseits das Kind die Mutter aussaugen. Die Großmutter kann ihr Enkelkind überkontrollieren, das Enkelkind hingegen rebellieren.

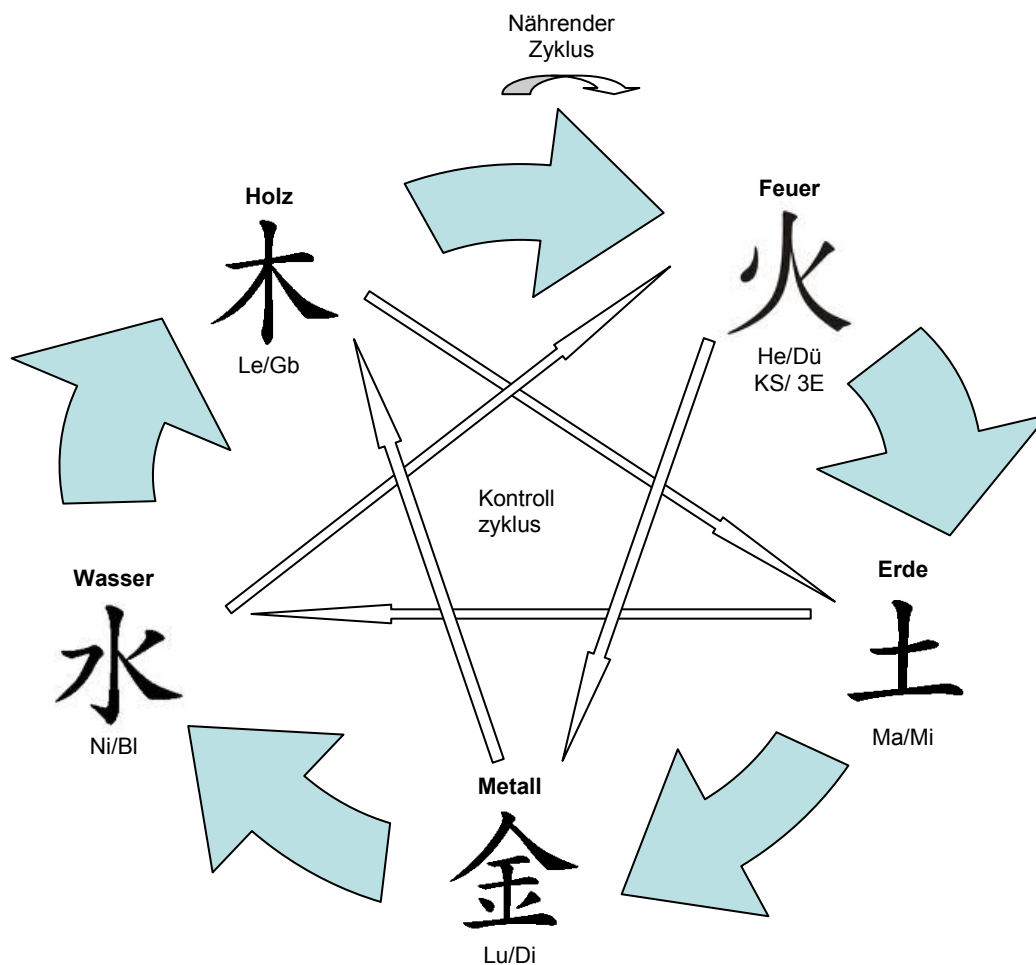


Abbildung 10: Wandlungsphasen und Zyklen^{10 11}

2.4.2 Diagnostik in der TCM

Um in der TCM zu einer Diagnose zu gelangen, geht man nach einem bestimmten Prinzip vor. Befunde werden aus einer Kombination von Betrachten = Inspektion (vor allem Zungendiagnostik, aber auch Erscheinungsbild und Hautfarbe), Tasten = Palpation (z.B. Pulsdiagnostik), Befragen = Anamnese und durch den Einsatz der zwei weiteren Sinne, Geruch und Gehör erhoben. (20,23)

Anschließend erfolgt nach folgenden Kriterien eine Beurteilung:

¹⁰ frei nach Maciocia G. Grundlagen der chinesischen Medizin. 2. Auflage. Urban&Fischer Verlag, München 2008.

¹¹ Chinesische Schriftzeichen aus <http://www.shiatsu-shima.ch/wasistshiatsu/fuenfelemente/index.html>, 19.07.2010

- Liegt ein Innen- oder Außensyndrom vor?
- Handelt es sich um einen Fülle- oder Leerezustand?
- Liegt ein Hitze- oder Kälteproblem vor?
- Befindet sich eine der 5 Grundsubstanzen (Qi, Blut, Shen, Säfte, Essenz) in Disharmonie?
- Liegt ein pathogener Faktor vor? Wenn ja, welcher?
- Welches Organsystem (bei inneren Erkrankungen) oder welcher Meridian (bei äußeren Erkrankungen) ist betroffen?

Die daraus entstehenden Symptome dienen der Zuordnung zu einem Syndrommuster. Mittels dieser Zuordnung wird die Möglichkeit geschaffen, eine Diagnose nach Kriterien der TCM stellen zu können. Anschließend werden Behandlungsstrategien und -ziele festgelegt und eine Therapie kann eingeleitet werden. Hierzu stehen chinesische Arzneimitteltherapie, Akupunktur, Ernährung nach den 5 Elementen, Qi Gong und Tuina zur Verfügung. (23)

2.4.3 Geschichte und Entwicklung der Pulsdiagnostik

Die Pulsdiagnostik, als Methode der Diagnostik in der TCM, stellt bis heute einen unschätzbaren Wert dar und lässt auf eine lange Geschichte zurückblicken, die bis 2600 v. Chr. auf den Begründer der Pulsdiagnostik Bian Que zurückreicht (1). Im Laufe der Zeit erfuhr die Palpation des Pulses eine dynamische Modifikation, schrittweise Weiterentwicklung und Modernisierung. Im Gegensatz dazu blieben die theoretischen Grundlagen mit Aussagen zu Ursache, Behandlungsprinzip und Prognose mehrheitlich unverändert (24). Beispielsweise tastete man nach der Theorie des Huang Di Nei Jing (475-221 v. Chr.) Pulse an neun Arterien des Körpers (drei am Kopf, drei an den Händen und drei an den Füßen) an den nächstgelegenen Akupunkturpunkten der jeweiligen Arterien. Dieser Methode zugrunde liegend soll der Zustand des oberen, mittleren und unteren Erwärmers erfasst werden. Seit Nan Jing, Klassiker der Schwierigkeiten (221 v. Chr. – 220 n. Chr.), erfolgt die Pulstastung an der A. radialis an den drei Positionen Cun, Guan und Chi in drei Qualitäten (20). Weiters finden sich Erwähnungen der Pulsdiagnose an der A. carotis communis und Fußpulsdiagnose an der A. dorsalis pedis und A. tibialis anterior (3).

Einige wichtige historische Werke mit besonderer Bedeutung (1,3,20)

- Huang Di Nei Jing (475 - 221 v. Chr.)
Nach dem aus zwei Teilen bestehenden Werk, das als Grundlagenwerk der Pulsdiagnostik gehandelt wird, soll die Pulsdiagnose über die drei Teile des Körpers und ein „neun Mal Fühlen“ durchgeführt werden. Auch an der A. radialis wird am Punkt „Cunkou“ (Lunge 9) getastet.
- Nan Jing (221 v. Chr. - 220 n. Chr.)
Im „Klassiker der Schwierigkeiten“ wird die Pulsdiagnose auf den Cun-Kou-Puls (Punkte am Lungenmeridian) beschrieben. Begründet wird die Idee damit, dass das Qi sowohl der Yin- als auch der Yangorgane im Lungenmeridian mündet. Somit sind an den drei Stellen (Cun, Guan, Chi) der Zustand von Qi und Blut, von Organen und ihren Krankheiten und schließlich von Veränderungen in den 12 Meridianen, über den Puls ermittelbar. Dies erfolgt in einer oberflächlichen, mittleren und tiefen Ebene. Auch eine Zuordnung von Yin zu Chi und Yang zu Cun wird vorgenommen. Guan kommt in dieser Konstellation eine neutrale Stellung zu.
- Mai Jing (201 - 280 n. Chr.) „Klassiker des Pulses“ von Wang Shu-He
Dieses Werk schlägt eine Brücke zwischen Vergangenheit und Gegenwart. Die Pulsdiagnostik wird als unabhängiges Gebiet der chinesischen Medizin beschrieben. Es wird die Theorie bis hin zur klinischen Praxis erläutert und begründet.

Tabelle 4: Inhalte Klassiker des Pulses

24 Pulsarten und der Standard des Fingerfühlens beim Tasten wird festgelegt
Beschreibung und Standard bezüglich des Zustandes des Pulses und der Pulstypen
Behandlung als Zusammenspiel der Pulsdiagnostik mit Betrachten, Riechen, Hören und einer umfassenden Anamnese
Einsatz der 6 Pulstaststellen um Leere/Fülle-Muster und Kälte/Hitze-Zustände zu differenzieren

- Mai Jue (1189)
Die Beschreibung der Methodik und die klinische Anwendung der Pulsdiagnostik wird mittels 200 Versen erklärt. Bemängelt wird oft der fehlende theoretische Hintergrund.
- Zhen Bing Zhi Nan (960 – 1279)
Darstellung von 26 pathologischen und weiteren 7 seltsamen Pulsarten als Pulsbilder.
- Bin Hu Mai Xue (1564) „Pulsstudie vom Binhu-See“
Wird als Pflichtlektüre gehandelt und ist in Form von Gedichten und Versen abgefasst. 27 Pulsarten werden unterschieden.
- Yi Zong Bi Du (1637) „Goldener Spiegel der medizinischen Traditionen“
Das bis heute gültige Werk unterscheidet 28 Pulstypen und gilt als wichtiges Werk der „Neuzeit“ auf dem alle weiteren, später entstandenen Werke mit aufbauen.

Eine heute gültige und anerkannte Nomenklatur geht auf Wang Shu-He (200 v. Chr.) zurück, der in seinem Werk Mai Jing (= Standardwerk zur Pulsdiagnostik) einen Standard zur Durchführung der Pulsdiagnostik an der A. radialis beschreibt

und die Anzahl der unterschiedlichen Pulstypen auf 24 festlegte (1,20). Obwohl in den oben genannten Klassikern unterschiedliche Zuordnungen bezüglich Organen und Pulspositionen getroffen wurden, finden sich folgende Übereinstimmungen: Die Position Cun liefert Information über das Qi im oberen Erwärmer, Guan über den Zustand des Qi im mittleren Erwärmer und Chi zeigt, wie sich das Qi im unteren Erwärmer verhält. Der Puls wird somit als dynamischer Zustand des Qi in den verschiedenen Erwärmern auf unterschiedlichem Energieniveau definiert. (1) In der Pulsdiagnostik der Gegenwart werden zumeist 28 Pulse unterschieden, die ihrerseits in 7 Gruppen eingeteilt werden (24).

2.4.4 Die Methode der Pulsdiagnose

In den Augen der TCM befindet sich der Puls dort, wo sich das von Qi mobilisierte Blut sammelt und fließt. Um sich mit der Pulsdiagnose auseinander zu setzen, muss Kenntnis über die Grundlagen der TCM vorhanden sein (22). (siehe Kapitel 2.4.1)

Die korrekte Durchführung der Pulsdiagnose ist an bestimmte Bedingungen geknüpft, die erfüllt werden sollten, um aus den Änderungen der Pulsqualitäten im Sinne einer Krankheitsreaktion den Krankheitszustand beurteilen zu können. Das jeweilige Krankheitsbild und der Puls sollten zusammenpassen, dies ist jedoch gelegentlich nicht der Fall. Sollte eben Genanntes eintreten, liegt der Fokus entweder in der Interpretation des Pulsbilds oder in der Beurteilung der Krankheitssymptome. (1)

➤ Einflussfaktoren

Der physiologische Puls unterliegt verschiedenen, beeinflussenden Faktoren, die in äußere und innere Einflussfaktoren eingeteilt werden können (1,20). In diesem Zusammenhang ist es wichtig, sich diese Faktoren bewusst zu machen (welche Jahres-/Tageszeit haben wir?) und gegebenenfalls vor Beginn der Diagnostik nach inneren Faktoren zu fragen (Was haben Sie zuvor gegessen? Sind sie mit dem Rad gefahren?).

Tabelle 5: Einflussfaktoren des Pulses; nach (1)	
Äußere	Innere
Jahreszeiten	Shen und Emotionen (können als innere pathogene Faktoren wirken)
Geographische Lagen mit unterschiedlichem Klima	Ernährung
Tageszeit	Konstitution, Geschlecht
Äußere pathogene Faktoren	Stress, Arbeit, Tätigkeit

In einigen Klassikern der TCM (Nan Ching, Mai Jing, Bin Hu Mai Xue) gilt auch das Geschlecht als wichtiger äußerer Einflussfaktor des Pulses. Ein geschlechtsspezifischer Unterschied bezüglich der Stärke des Pulses an der A. radialis wird beschrieben. Hierbei wird die Annahme getroffen, Männer hätten verglichen mit der Gegenseite links einen stärkeren Puls, Frauen hingegen vice versa, rechts. Nach King et al. (25) konnte dieses Postulat in der 2006 dazu durchgeführten Studie nicht befürwortet werden, da sich keine signifikanten Hinweise auf dessen Richtigkeit ergaben. Vielmehr zeigte sich, dass geschlechtsunabhängig ein individueller Unterschied zwischen der Größe des Pulses an beiden Armen vorhanden ist, wobei ein Zusammenhang zwischen der Differenz bezüglich Pulsstärke und der Händigkeit getroffen werden kann. Mehrheitlich waren sowohl die weiblichen, als auch die männlichen Probanden Rechtshänder und ebenso war zumeist der rechte Puls stärker als der Linke.

Bereits 2002 führten King et al. (26) Messungen durch, die bei gesunden Probanden geschlechtsspezifische Unterschiede aufzeigen sollten. Ein standardisiertes Verfahren sowie klar definierte Eigenschaften der Pulse kamen zum Einsatz (2). In der Schulmedizin wurde das Optimum des RR für männliche, junge, gesunde Individuen bei 120/80 mmHg festgelegt. Für ebenso junge, gesunde Frauen sollte der RR jedoch 8 - 10 mmHg darunter liegen. In Anlehnung an den RR könnten demnach auch in den Pulsbildern junger, gesunder Probanden Unterschiede bestehen, die dazu führen würden, den „gesunden Puls“ individuell oder auch abhängig vom Geschlecht beurteilen zu müssen. Es wurden

Annahmen, die Unterschiede der Pulse bezogen auf das Geschlecht, in den Büchern der TCM überprüft, mit dem Ziel normale Pulsprofile für gesunde Individuen zu entwickeln. Die Daten von 148 Probanden ergaben eine Übereinstimmung mit den Annahmen in der TCM bezüglich Stärke/Größe des Pulses. Männer haben einen kräftigeren (größeren) Puls als Frauen, der Puls bei Frauen war somit leichter abdrückbar (kleiner). Die Aussage, Frauen hätten einen dünneren Puls konnte nicht bestätigt werden. Insgesamt war der Puls rechts etwas kräftiger als links (gleiche Ergebnisse finden sich in der RR-Messung in der westlichen Medizin), unabhängig vom Geschlecht. In Summe wurden, in dieser Studie, die Postulate der „alten Chinesen“ mit Ausnahme der Pulskraft nicht bestätigt.

Beispiele zu den Einflussfaktoren des Pulses:

Physiologischerweise finden sich vier jahreszeitliche Pulse. Im Frühling ist er gespannt oder drahtig, im Sommer voll. Im Herbst kommt der Puls an die Oberfläche, im Winter ist er sinkend. Entspricht ein Puls nicht der Jahreszeit, kann er als pathologisch angesehen werden. Auch entsprechend der Tageszeiten ist diese Einteilung insofern gültig, als der Morgen dem Frühling, der Mittag dem Sommer, der Nachmittag dem Herbst und der Abend dem Winter entspricht. (22)

Sowohl die Nahrung selbst, als auch die Geschmacksrichtungen üben ihren Einfluss auf den Puls aus. So macht Alkohol den Puls schneller, ebenso wie scharfes Essen. Bei Hunger ist er schwach. Ein körperlich arbeitender Mensch hat einen vollen Puls und im Vergleich dazu ein Mensch, der geistiger Arbeit nachgeht, einen schwachen Puls. (1)

➤ Voraussetzungen

Bestimmte Voraussetzungen für die Durchführung der Pulsdiagnose müssen erfüllt werden. Der Untersucher gewährleistet eine ruhige Arbeitsatmosphäre. Außerdem sollte er Ruhe ausstrahlen und äußere störende Faktoren eliminieren. Hierzu sammelt er sein Shen, schärft sein Erkenntnisvermögen und bewahrt sich ein leeres (keine Vorurteile gegenüber dem Patienten) und ruhiges Herz. Um Fehldiagnosen vermeiden zu können, sollte ein unkonzentrierter, unruhiger, aufgeregter oder gestresster Mensch keine Pulsdiagnose durchführen. Damit das oben Genannte erreicht werden kann, ist es notwendig, das eigene Verhalten und

Benehmen zu kontrollieren. Damit infolge einer Pathologie die Frequenz beurteilt werden kann, soll der Atem reguliert werden. (1) Ohne die Kenntnis der normalen Pulse wäre es unverantwortlich, das Pulstasten als diagnostisches Mittel einzusetzen (22).

Im Sinne von äußeren Voraussetzungen werden weitere Vorbereitungsmaßnahmen getroffen: (1,20)

- Der Patient legt seinen Unterarm vor sich auf eine Unterlage. Die Handinnenfläche schaut nach oben und der Untersucher nimmt eine gegenüberliegende Position ein.
- Die Hand, bzw. der Arm soll in Herzhöhe gelagert werden.
- Findet die Pulsdiagnose im Liegen statt, sollte die Diagnostik bei einem auf dem Rücken liegenden Patienten erfolgen.
- In jedem Fall ist es wichtig darauf zu achten, dass ein ungestörter Fluss von Qi und Blut möglich ist.

Eigentlich wäre die beste Zeit den Puls zu tasten um Mitternacht, da hier eine Kreuzung von Yin und Yang erfolgt (22). In Anlehnung dazu wird die Palpation morgens als Optimum angesehen (23). Zu dieser Zeit ist das Yin-Qi noch nicht gestört und das Yang-Qi hat sich noch nicht zerstreut. Die Energie in den Meridianen ist ausgeglichen und das Qi fließt gleichmäßig (22). Ganz abgesehen davon, dass nicht immer morgens getastet werden kann, müssen Regeln befolgt werden, um zu einer Diagnose kommen zu können. Demnach sollte im direkten Anschluss an körperliche Bewegung keine Palpation des Pulses erfolgen. Eine Ruhezeit von ca. 15 min nach erfolgter Anstrengung ist einzuhalten. Nach der Einnahme von Mahlzeiten sollte ein bis zwei Stunden gewartet werden, nach erfolgtem Alkoholkonsum ist eine richtige Diagnosestellung unmöglich. Auch sollte in Betracht gezogen werden, dass unter der Einnahme von Medikamenten der Puls verändert sein kann. (1)

➤ Pulspositionen

Auf der A. radialis, entlang des Lungenmeridians existieren nach Nan-Jing Tradition die drei Pulspositionen Cun, Guan und Chi an denen getastet wird (23).

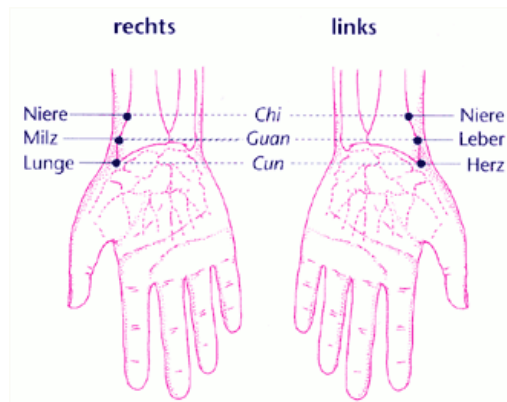


Abbildung 11: Pulstaststellen¹²

Die Pulsposition „Cun“ befindet sich ein Cun (entspricht einer „Daumenbreite“) proximal von der Fischbauchgrenze am Daumenballen und entspricht dem Punkt Lu 9. Eine Zuordnung zum oberen dreifachen Erwärmer (3E) kann getroffen werden, welcher Information vom Kopf bis zur Brust liefert (vor allem der Brustkorb wird hier beurteilt). An der höchsten Stelle des Processus styloideus, 0,5 Cun proximal von „Lu 9“, befindet sich „Guan“. Diese Position erteilt Auskunft von Brust bis zum Zwerchfell. An dieser Stelle tritt Yang aus und Yin ein, wodurch eine natürliche Grenze gebildet wird. Chi liegt in etwa bei Lu 8 und entspricht dem unteren 3E mit der Information vom Bauch bis zu den Füßen. (22,23,24)

In der Literatur finden sich auch bezüglich der Positionen von Cun, Guan und Chi keine einheitlichen Definitionen. Um für zukünftige Messungen gleiche Voraussetzungen zu schaffen, wurde mehrmals versucht die Positionen zu definieren.

Gemäß der Veröffentlichung von Tyan et al., 2007 (27) wurde durch den Vergleich traditioneller Beschreibungen und aktueller Messungen eine praktische, standardisierte Definition für die Positionen Cun, Guan und Chi entwickelt, der zufolge die untere Begrenzung von Cun durch die Handgelenksquerfalte und die obere Grenze durch den (auf den Processus styloideus weiter proximal folgenden)

¹² <http://www.tcm24.de/pulsdiagnostik.html>, 19.07.2010

„höchsten Knochenvorsprung“ (PB) dargestellt wird. Zwischen diesen beiden Begrenzungen befindet sich die Länge von Cun. Diese entspricht 6 % der Gesamtlänge von der Handgelenksquerfalte bis zur Ellbogenfalte. Die Cun Position ist somit durch Palpation leicht aufzufinden und demnach können von ihr ausgehend die Positionen der beiden anderen Punkte gefunden werden. Dazu wird als unterer Begrenzungspunkt von Chi das PB angenommen und mittels einer Längen-Ratio, von 6:6:7, wird durch Palpation nach proximal die jeweilige Position aufgesucht (die Zahlen der Ratio beziehen sich auf die gesamte Länge des Unterarms, von der Handgelenksquerfalte bis zur Ellbogenfalte und entsprechen einer Angabe in Prozent). Limitierend ist einzig die Tatsache, dass die Studie nur an einem Kollektiv im Alter von 18 - 40 Jahren durchgeführt wurde und weiters die Aussage nur für Patienten mit deutlich auszumachender Handgelenksquerfalte und einem klar hervorragenden Knochenvorsprung valide ist. Als solide Grundlage für zukünftige Forschungen könnten diese Ergebnisse insofern Bedeutung erlangen, als dass eine Definition der Positionen für die Pulswellenanalyse hilfreich sein könnte. Bei wiederholten Messungen könnten Sensoren entsprechend dieser Definition angebracht werden. Dadurch würde die Reproduzierbarkeit der Daten und deren Genauigkeit zunehmen.

Nach King et al. (2) wurden 2002 die drei Pulspositionen ebenfalls definiert, mit dem Ziel ein standardisiertes Procedere zur Pulsnahme an der A. radialis und geltende Definitionen für jeden einzelnen ertasteten Puls zu entwickeln. Hierzu wurden die Arme der Probanden einheitlich in Herzhöhe auf einem Tisch positioniert, die Handflächen nach oben schauend. Guan wurde auf Höhe des Processus styloideus angenommen und der Mittelfinger auf der A. radialis in Höhe des Processus styloideus positioniert. Zeige- und Ringfinger legte man neben der Guan - Position ab. Sie sollten sich dann natürlicherweise an Chi und Cun befinden. Weitere Parameter wie Tiefe, Stärke und Rhythmus wurden ebenfalls einheitlich definiert, um den erfahrenen Untersuchern gleiche Voraussetzungen zu ermöglichen. Schließlich wurde die Studie durchgeführt, die die Zuverlässigkeit dieser Definitionen insofern überprüfen sollte, als dass zwei Untersucher unabhängig voneinander eine zweimalige Messung an den Probanden durchführten, mit dem Ziel die Reproduzierbarkeit der zwei Testergebnisse zu evaluieren. Es wurde für die zwei durchgeführten Phasen insgesamt ein hoher

Level an Übereinstimmung erreicht sowohl bei simplen als auch bei komplexeren Kategorien.

Den Pulspositionen werden nun verschiedene Organentsprechungen zugeordnet. Diese Einteilung kann durchaus unterschiedlich sein, je nachdem, welche Literatur verwendet wird. Im Wesentlichen gibt es zwei unterschiedliche Möglichkeiten, die Positionen im Zusammenhang mit den jeweiligen Organen zu interpretieren.

Nach Wang Shu-He erfolgt die Einteilung auf Basis der Meridiantheorie. Sie dient vor allem dem Akupunkteur als Grundlage. (23)

Tabelle 6: Pulspositionen in der Akupunktur; modifiziert nach (23)		
Links	Pulsposition	rechts
Dü/He	Cun	Di/Lu
Gb/Le	Guan	Ma/Mi
Bl/Ni	Chi	3E/Mingmen

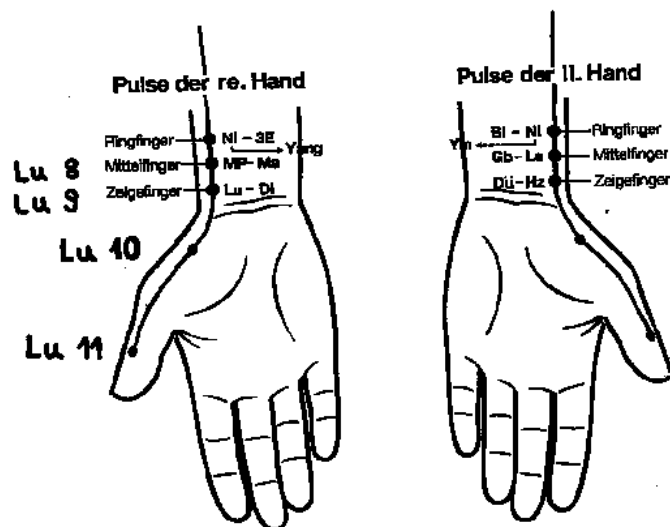


Abbildung 12: Pulstaststellen der A. radialis am Handgelenk¹³

Im Gegensatz dazu kann eine Einteilung nach der Organtheorie bezüglich der Funktionskreise erfolgen. Hierbei wird bereits in der Palpationstiefe ein Unterschied gemacht. (22,23)

¹³ <http://www.sundao.ch/puls.php>, 18.07.2010

Tabelle 7: Pulspositionen in der chinesischen Arzneimitteltherapie; modifiziert nach (21)		
Links	Pulsposition	Rechts
He tief	Cun	Lunge tief
KS oberflächlich		Thorax oberflächlich
Leber tief	Guan	Magen tief
Gb oberflächlich		Milz oberflächlich
Nieren Yin tief	Chi	Nieren Yang tief
Unteres Abdomen oberflächlich		Blasenfunktionskreis, Darm, Uterus oberflächlich

Ein Beispiel sollen diese, von einander abweichenden Betrachtungsweisen veranschaulichen. Als zu behandelndes Symptom wird eine Obstipation im Colon angenommen. An der Cun Position des rechten Arms ist keine Abweichung des Pulses von der Norm tastbar. Hingegen könnte sich auf eben derselben Seite eine Veränderung an der Chi Position bemerkbar machen. Hätte der Patient Schmerzen im Schultergelenk (Dickdarmmeridian), wären durchaus Veränderungen an der Cun Taststelle möglich. (23)

➤ Durchführung

Zu Beginn sind die richtige Platzierung der Finger und ihre Anordnung zu beachten (20). Je einer der Taststellen wird ein Finger zugeordnet. In einem Winkel von ca. 35°(1) liegt der Zeigefinger auf Cun, der Mittelfinger auf Guan und der Ringfinger auf der Position Chi (24). Zum Tasten wird immer dieselbe Hand verwendet. An der Fingerspitze befindet sich das sogenannte Fingerauge, das als sensibelste Stelle die Änderungen des Pulses am besten wahrnimmt (1). Eine Regulation der Finger bezüglich ihrer Länge erfolgt, indem sie in eine Ebene gebracht werden (1,20).

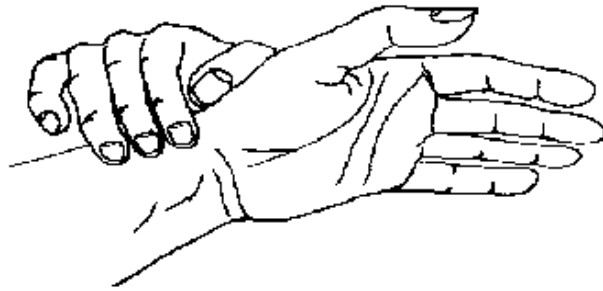


Abbildung 13: Pulsdiagnostik¹⁴

Die Finger werden nun dazu benutzt, mittels Bewegung den Puls zu tasten. Hierbei soll an jeder Position einzeln nach den unten genannten Kriterien getastet werden. Durch das Ausüben von Druck soll ein „Drei-Ebenen-Fühlen“ zustande kommen. Infolge der Anwendung von drei unterschiedlichen Druckstärken wird unterschieden, ob ein Puls bei starkem Druck nur in der Tiefe tastbar ist, ob er bei mittlerem Druck sein Maximum zeigt oder ob er bei leichtem Druck bereits an der Oberfläche spürbar wird (20,24). In Gesundheit kann die mittlere Ebene ausdifferenziert werden. Beim Auftreten einer Pathologie werden jedoch nur mehr zwei Ebenen getastet, an jeder einzelnen Pulsposition eine oberflächliche und eine tiefe Ebene. Neben dem Heben und Senken wird anschließend die Frequenz ebenso beurteilt, wie die Länge und Größe des Pulses. Durch zusätzliches Schieben (lateral vs. medial) und Rollen (proximal vs. distal) (20) werden alle Positionen mit dem entsprechenden Finger einzeln auf weitere Pulsbilder untersucht. Schwierigkeiten beim Auffinden des Pulses könnten durch anatomische Variationen entstehen. Ist der Puls zu schwach, kann versucht werden durch Massage des Punktes 3E4 den Puls zu verstärken. Gelingt trotz guter Technik ein Auffinden der Ebene nicht, fehlt außerdem Kraft und Harmonie des Pulses, kann keine regelrechte Beurteilung erfolgen. (1,23)

2.4.5 Normaler Puls

Der gesunde Puls wird definiert durch die drei Kriterien Shen, Magen-Qi (Wei-Qi) und Wurzel (Gen) (20).

¹⁴ http://www.shiatsu-austria.at/frame_einfuehrung.htm, 19.07.2010

Die Magenenergie ist hierbei der (wenn auch nicht alleinige) ausschlaggebende Faktor. Die Basis eines gesunden Pulses ist der Magen. Anders gesagt, die Basisenergie des menschlichen Pulses wird im Magen gebildet (24) und dient als Quelle von Qi und Blut. Der Puls reflektiert den Zustand des Magen-Qi (22). Ist gutes und reichlich Wei-Qi vorhanden, zeigt sich der Puls als voll und gesund. Fehlt es, kann auch kein Shen und Gen vorhanden sein. Bei Krankheit ist es möglich, das Magen-Qi durch ausgewogene Ernährung und entsprechende Behandlung wieder aufzubauen (1). Shen kann im Sinne von Vitalität und geistiger Energie, (24) hervorgehend aus der menschlichen Lebensaktivität, verstanden werden. Der Geist dient dem Puls dazu, sein Optimum zu finden. Der Puls ist dann regelmäßig, mild, elastisch und kräftig. Ist Shen vorhanden, findet sich auch Magen-Qi. Gen als Wurzel eines Pulses kann als prognostischer Parameter genutzt werden. Ist der Puls in der Tiefe ausreichend stark zu tasten, kann von einer guten Prognose ausgegangen werden. (23)

Shen wird an der Position Cun bestimmt, weil Cun einen Bezug zum oberen 3E hat und ist dort oberflächlich tastbar. Ein Puls hat Shen wenn er an Cun weich und stark, weder groß noch klein und regelmäßig zu tasten ist. Wei-Qi ist an Guan genau in der mittleren Ebene zu tasten und ist als sanfter, ruhiger und milder Puls gekennzeichnet, der weder zu hart noch zu weich ist und gemächlich fließt. Die Wurzel eines Pulses liegt als gut zu tastender Puls in der Tiefe der Chi Position und weist außerdem auf eine starke und gesunde Niere hin. (1,23,24)

Von diesen Faktoren unabhängig ist der normale Puls dadurch gekennzeichnet, dass zwei Pulsschläge auf je eine Ein- und Ausatmung kommen. Also besteht ein Atemzug aus vier Pulsschlägen. Manchmal kann auch ein fünfter dazukommen, abhängig von der Lungenkapazität. Der Puls wird dabei immer in Relation zur Atmung des Patienten gesetzt. Mehr als fünf Schläge auf einen Atemzug werden als pathologisch angesehen und der Puls wird dann vom Untersucher im Vergleich zu seinem eigenen Atem beurteilt. (22)

2.4.6 Pathologische Pulse und ihre Bedeutung

Ein Gesamtpulsbild entsteht letztendlich durch die Kenntnis der grundlegenden Pulsbilder. Beachtet man bei der Beurteilung die Parameter Ebene, Frequenz,

Größe und Länge, kann man über die entweder/oder- und die weder/noch- Regel die pathologischen Pulse diagnostizieren und mittels Ausschlussprinzip beurteilen. (23) Viele Einzelparameter sollten in die Diagnose einfließen (24).

- Lokalisation (oberflächlich, tief, normal)
- Kraft bzw. Größe (Fülle, Leere)
- Frequenz (schnell, langsam)
- Rhythmus (regelmäßig, unregelmäßig)
- Konsistenz (weich, hart)
- Qualität (gleitend, gespannt)
- Länge (lang, kurz)
- Volumen (überflutend, fadenförmig)

Die grundlegenden Pulsbilder schließen einander aus und werden nach Yin und Yang in Gruppen eingeteilt (23). Zu jeder dieser Gruppen gibt es wiederum Unterkategorien und weitere daneben existierende Pulsbilder (24).

Tabelle 8: Grundlegende Pulsbilder; aus (23)		
Yang – Pulse		Yin – Pulse
oberflächlich	Ebene	tief
schnell	Frequenz	langsam
groß (voll)	Kraft	klein (leer oder schwach)
lang	Länge	kurz

Diese Einteilung dient im weiteren Sinne dem Ziel, die Pulsdiagnose leichter erlernen zu können. Mit Hilfe dieser Grundlagen gelangt man bereits einigermaßen zuverlässig zu einer Diagnose. Sie sind Voraussetzung, um darauf aufbauend die untergeordneten Pulsbilder einordnen und fühlen zu können. Wendet man nun auf die oben genannten Pulse das entweder/oder- Prinzip an, kann ein Puls oberflächlich oder tief, schnell oder langsam, groß oder klein und lang oder kurz sein. Mittels der weder/noch- Regel können die untergeordneten Pulsbilder ausgeschlossen werden, wenn weder das eine noch das andere Kriterium erfüllt ist. Kann eine Zuordnung getroffen werden, sollte man die Pulsbilder, die der jeweiligen Gruppe zugeordnet sind, unterscheiden können. (23)

In der verwendeten Literatur findet sich eine abweichende Einteilung der einzelnen Pulsbilder zu den jeweiligen übergeordneten Gruppen. Wie aus der Geschichte der Pulsdiagnostik auf Basis unterschiedlicher Werke hervorgeht, gibt es auch hier keine einzig richtige Zuordnung. Zusammenfassend ist es letztendlich wichtig, die Pulsbilder zu erkennen und zu differenzieren.

Im folgenden Unterkapitel erfolgt lediglich eine Auswahl der grundlegenden Pulsbilder. Beispiele dazu werden angeführt. Weiters existieren etliche Kombinationen aus den unten genannten Pulsbildern, mit mehreren, im Vordergrund stehenden Merkmalen.

➤ Beschreibung einzelner Pulsbilder (1,23,24):

- Oberflächliche Pulsbilder

Zu den Yang Pulsen zählend, sind oberflächliche Pulse akut, dynamisch und flüchtig. Der oberflächliche Puls liefert Hinweise auf eine äußere Erkrankung. In diesem Zusammenhang lässt er an das Eindringen eines pathogenen Faktors denken. Bei leichtem Druck ist er gut zu tasten, bei zunehmendem Druck wird er schwach und kann letztlich nicht mehr gefühlt werden. Bei länger andauernder Krankheit oder bei Medikamenteneinnahme (Vasodilatoren) kann ebenfalls ein oberflächlicher Puls ertastbar sein. Zu den oberflächlichen Pulsbildern zählen neben dem oberflächlichen Puls noch der hohle, der sanfte, der zerfließende Puls und der Trommelpuls.

- Tiefer Puls

In der Tiefe, jedoch nicht an der Oberfläche tastbar, kommt der dem Yin zugeordnete, tiefe Puls bei inneren Erkrankungen vor. Physiologischerweise ist er bei besonders kaltem Wetter und bei sehr beleibten Menschen zu finden. In der Tiefe liegen außerdem noch der verborgene und der fixierte Puls.

- Schneller Puls

Ab einer regelmäßigen Frequenz von 90/min oder bei mehr als fünf Schlägen pro Atemzug wird von beschleunigten Pulsen gesprochen, zu denen der schnelle, der rasende und der bewegliche Puls zählen. In der mittleren Ebene am besten zu tasten, kann er aber in allen Ebenen palpabel sein. Der pathogene Faktor Hitze ist eine mögliche Ursache für diese zu den Yangpulsen

gezählte Pulsform. Er kann aber auch auf einen temperamentvollen Menschen hinweisen, der viel Dynamik in sich trägt.

- **Langsamer Puls**

Wiederum ein Yin-Puls, der in jeder Ebene vorkommen kann, ist der langsame Puls. Er wird ab einer Frequenz von drei Schlägen pro Atemzug (40-60/min) als langsam bezeichnet, gibt Hinweis auf mit dem Pathogen Kälte assoziierte Krankheiten und auf Erstarren der Flüssigkeiten oder des Qi. Er ist regelmäßig und findet sich physiologischerweise auch bei Sportlern und körperlich schwer arbeitenden Menschen. Neben dem langsamen, hat auch noch der träge Puls eine reduzierte Frequenz.

- **Voller (großer) Puls**

Die Pulse dieser Gruppe fühlen sich voll an und sind kaum wegzudrücken. Zugrundeliegend findet sich ein Füllemuster, oft durch pathogene Faktoren ausgelöst, hier im Besonderen Hitze. Er wird als lang, kräftig und saitenförmig beschrieben. Zu den großen Pulsen zählen der volle, der straffe, der überflutende und der saitenförmige sowie der schlüpfrige Puls.

- **Leerer (kleiner) Puls**

Im Gegensatz zum vollen Puls, wird dieser Puls als an allen Positionen schwach und weich beschrieben, unabhängig vom angewandten Druck. Er ist oberflächlich tastbar und gilt als Yin-Puls, kann bei länger andauernder chronischer Erkrankung vorkommen und zeigt einen Schwäche- bzw. Mangelzustand auf. Der raue, der fadenförmige (dünne), der kraftlose (schwache) und der verschwindende Puls gehören wie der leere Puls zu den kleinen Pulsen.

- **Langer Puls**

Der lange Puls kann sowohl physiologisch als auch pathologisch sein und lässt sich dadurch charakterisieren, dass der Schlagbereich länger als erwartet ist. Das heißt, er kann über die Pulsposition hinaus getastet werden und findet sich vor allem an den Positionen Chi und Cun. Im Falle einer Pathologie weist er auf ein Füllemuster hin. Stark und nicht zu schnell ist der physiologische lange Puls, der einen Hinweis auf einen robusten und gesunden Menschen liefert. Der lange Puls ist ein Yang-Puls.

- Kurzer Puls

Der kurze Puls wird an der Guan Position getastet. Er zählt zu den Yin-Pulsen und kann nur verglichen mit dem langen Puls als solcher definiert werden. Immer pathologisch, weist er meist auf einen Mangelzustand (vor allem Qi-Mangel) hin.

3 Material und Methoden

Die Erstellung dieser Arbeit wurde mittels einer ausführlichen Literaturrecherche in PubMed sowie durch Verwendung von ergänzender Fachliteratur (Bücher und Zeitschriften) realisiert. Weiterführende Literatur wurde den Referenzen mehrerer Arbeiten entnommen. Bis dato publizierte Studien, Metaanalysen, Reviews und andere Veröffentlichungen zum Thema der Diplomarbeit konnten in PubMed, durch die Eingabe folgender Stichworte und deren Verknüpfung, aufgefunden werden: „pulse diagnosis“, „traditional Chinese medicine“, „modern Chinese medicine“, „objective“, „puls wave analysis“, „arterial stiffness“, „augmentation index“, „pulse wave velocity“, „applanation tonometry“, „pulse probe“, „pulse sensor“. Die der Arbeit zugrunde liegende Literatur wurde den Kapiteln entsprechend eingeteilt. Ein Vergleich der in den Arbeiten enthaltenen Ergebnisse und Aussagen, deren kritische Evaluierung und die Darstellung möglicher Unterschiede wurden realisiert.

3.1 Methoden der Pulswellenanalyse

Die Pulswellenanalyse (PWA) liefert wesentlich mehr Informationen, als eine einfache RR-Messung. Erste Aufzeichnungen gelangen 1860 mit dem von Etienne Jules Marey entwickelten Sphygmographen.

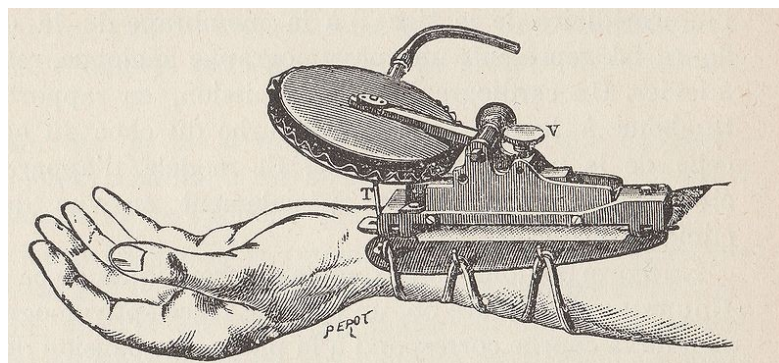


Abbildung 14: Sphygmomanometer von E.J. Marey¹⁵

Im Jahre 1929 konnten durch die Einführung des Herzkatheterismus von Werner Fossmann vergleichende Daten hinzugefügt werden, die den Schluss auf eine

¹⁵ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sphygmomanometer_van_Marey1.jpg, 02.12.2009

Beziehung zwischen zentralen Druckverhältnissen und der peripheren Pulswelle zuließen. Die gesamte Pulskurve als diagnostisches Mittel geriet in Vergessenheit, als Riva-Rocci Ende des 19. Jahrhunderts seine Methode zur RR-Messung vorstellte. (18)

In Zeiten der frühen Sphygmographie unmöglich, gelang es mit der Entwicklung von Mikrocomputern und einer entsprechenden Software in den 70er Jahren, die Pulskurve in ihrer gesamten Komplexität aufzuzeichnen (11).

Um die Pulswellengeschwindigkeit über die Aufzeichnung der Pulskurve ermitteln zu können, bedarf es entweder Drucksensoren, eines Dopplerultraschalls oder eines hochfrequenten Ultraschalls. Außerdem erfolgt eine Bestimmung der Transitzeit: entweder, indem die Fußpunkte der Pulswelle an der rechten A. carotis communis und der rechten A. femoralis ermittelt werden, oder aber indem das Zeitintervall zwischen den Fußpunkten R-Zacken getriggert ermittelt wird. Hierzu gibt es verschiedene Apparate, die sich unterschiedlicher, oben genannter Mechanismen bedienen. So erfolgt die Aufzeichnung mittels Drucksensoren durch die Apparate Complior® (Colson/Frankreich) und SphygmoCor® (Atcor/Australien). Ultraschall als Methode die Pulswelle aufzuzeichnen wird von Echo-Tracking Wall Track® (Pie Medical/Niederlande), NIUS® (Asulab/Schweiz) und Art.Lab® (Esaote/Italien) verwendet. Als neue, vielversprechende Methode gilt der Arteriograph® (Tensiomed/Ungarn), da hier die Pulswellengeschwindigkeit aus einer einzigen Druckkurve (A. radialis oder A. brachialis) und der Distanzmessung abgeschätzt werden kann. (4)

Methodik zur Ermittlung der aortalen Druckkurve: Mithilfe einer Transferfunktion ist eine nichtinvasive Ermittlung der aortalen Druckkurve aus der A. radialis, A. femoralis oder auch der A. carotis möglich. Dies gelingt durch hochempfindliche Drucksensoren mittels Applanationstonometrie, z.B. SphygmoCor®. Um auch den systolischen RR und den zentralen RR zu erhalten, muss bei dieser Methode die radiale Druckkurve mittels RR-Messung am Oberarm noch kalibriert werden. Ein Beispiel für eine andere (noch weniger erforschte) Methode zur PWA mittels Applanationstonometrie (AT) an der A. radialis ist der Omron-HEM9000AI® (Omron Healthcare/Kyoto, Japan). PWA mittels Photoplethysmographie am Finger wird durch Fukuda Electric und Co (Tokio, Japan) und PulseTrace® (Micro Medical Center/Rochester, GB) realisiert. Der Messung suprasystolischer Signale

durch eine am Oberarm angelegte RR-Manschette (oszillometrische Technik) als Methode der PWA bedient sich TensioMed/Budapest, Ungarn mit dem Arteriograph®. (4)

3.1.1 Applanationstonometrie

Als „Tonometrie“ wird die Messung von Druck bezeichnet, während „Applanation“ Abflachung bedeutet (*planus*, lat.: „flach, eben, platt“). (18)

O'Rourke und Gallagher (15) entwickelten in den 90er Jahren ein System zur PWA (SphygmoCor), das quantitative Information, die arterielle Pulscurve betreffend, liefert. Sie machten sich die Technik der AT zunutze, um Pulsdruckkurven auf eine nicht invasive Art und Weise aufzuzeichnen. Der AT zugrundeliegend ist dasselbe Prinzip, das auch zur Aufzeichnung des intraokulären Drucks in der Ophthalmologie verwendet wird. Mit dieser Methode erfuh die Sphygmographie eine Revolution. Die Genauigkeit der Signale liefert unter idealen Voraussetzungen identische Ergebnisse zu intraarteriellen Aufzeichnungen.

Werden zwei gekrümmte Oberflächen (hier Arterienwände) zusammengedrückt (abgeflacht), kommt es zu einem Druckabgleich und ein an der zusammengedrückten Oberfläche angebrachter Sensor, mit einem an seiner Spitze befindlichen Mikromanometer, misst den Druck, der genau dem mittleren arteriellen Druck in diesem Gefäß entspricht und zeichnet die Form der Druckwelle über einer Arterie auf. Die AT kann an Stellen angewendet werden, an denen die Arterie gegen eine darunterliegende Struktur gedrückt werden kann. Am besten funktioniert dies bei oberflächlichen, oberhalb eines Knochens liegenden Arterien, z.B. A. radialis oder A. carotis. Die Arterie darf dabei nicht vollständig komprimiert werden, ein moderater Druck sollte angewandt werden. So kann die Kurve mit großer Genauigkeit aufgezeichnet werden. Über einen validierten generalisierten Transfer-Faktor (aus zugrunde liegenden Daten intraarterieller Messungen) wird computergestützt eine aortale Druckkurve aus der peripheren Pulscurve generiert. Während die Gestalt der Pulswelle kein Problem darstellt, muss, um den absoluten (zentralen) RR errechnen zu können, zuvor eine Kalibrierung der Druckkurve aus der A. radialis gegen den (mittels Oberarmmanschette) an der A. brachialis gemessenen RR erfolgen. (11,15,17)

Wilkinson et al. (11) reevaluierten in ihrer Arbeit 1998 die Technik und die Ergebnisse von O'Rourke und Gallagher mittels SphygmoCor (15). Sie gelangten zu dem Ergebnis, dass diese Methode eine einfache, zuverlässige, gut reproduzierbare Möglichkeit zur PWA darstellt, die sich weiters durch eine kurze Einführungsperiode und leichte Erlernbarkeit, bei ebenso guter Funktion auszeichnet. Auch zwei von Wilkinson et al. (17) erwähnte Studien, die „ASCOT Study“ und die „Edinburgh Artery Study“ machten sich Ende der 90er die Reproduzierbarkeit des Aix und der Pulswellengeschwindigkeit mittels des von O'Rourke entwickelten Systems zur PWA, SphygmoCor, zum Ziel. Wiederum fanden sich ähnliche Ergebnisse, wie in der zuvor genannten Veröffentlichung. Die PWA mittels AT an der A. radialis ist eine reproduzierbare Methode zur Ermittlung des Aix und der Pulswellengeschwindigkeit in der klinischen Anwendung, die keiner langen Einschulungszeit bedarf, um entsprechende Resultate zu erzielen. Die PWA kann somit als einfache, nichtinvasive Methode für die Einschätzung der arteriellen Gefäßsteifigkeit herangezogen werden.

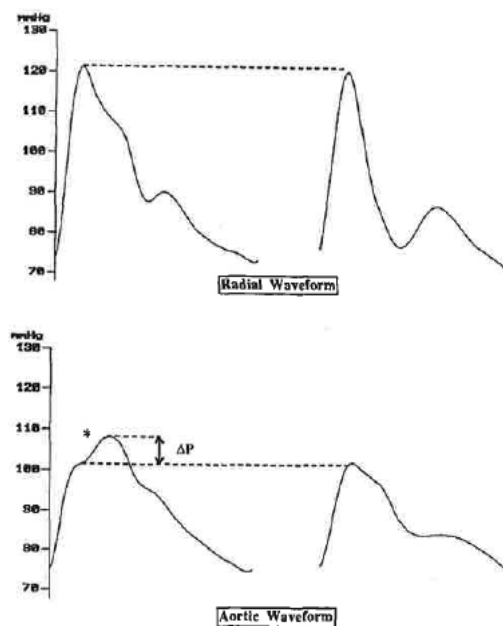


Abbildung 15: Aortale und radiale Kurve im Altersvergleich¹⁶

In Abbildung 15 sieht man oben die arterielle Pulskurve der A. radialis, unten die Pulskurve der Aorta jeweils eines jungen (rechts) und eines älteren Individuums

¹⁶ Aus Wilkinson I, Cockcroft J, Webb D. Pulse wave analysis and arterial stiffness. J Cardiovasc Pharmacol 1998; 32(S3):S33-37

(links). Die Augmentation ist für einen zweiten systolischen Peak mit steigendem Alter verantwortlich (* unten links) und der zentrale Druck nimmt ebenfalls zu (ΔP).
(11)

Folgende Parameter sind nun mit der PWA messbar: Systolischer und diastolischer Aortendruck, aortale RR-Amplitude, Alx sowie Pulswellengeschwindigkeit. Die Pulswellengeschwindigkeit wird durch eine gleichzeitige Aufzeichnung an zwei Arterien bestimmt. Nach dem Prinzip $v = \frac{s}{t}$, angegeben in m/sec muss einerseits die Zeit (t) ermittelt werden, die die Pulswelle benötigt, um von ihrem Beginn in der Systole die Peripherie zu erreichen. Der Weg (s) wird als Distanz zwischen den in den beiden Arterien ermittelten Ablesepunkten gemessen. (19)

Um aus einer peripheren Pulscurve eine virtuelle Pulscurve der Aorta ermitteln zu können, ist eine validierte Transferfunktion notwendig. Laut Rickert (19) *„bedient man sich der Theorie, dass jede aufgezeichnete periphere Pulswelle in ihre einzelnen Komponenten zerlegt werden kann“*.

O'Rourke und Seward (28) beschreiben dies 2006 wie folgt: Der Prozess erfordert zuerst die Existenz einer Pulswellenkurve der A. radialis. Diese kann entweder invasiv oder nichtinvasiv (mittels Applanationstonometrie) ermittelt werden. Die beiden entstehenden Kurven sind theoretisch identisch, eine korrekte Durchführung der nichtinvasiven Messungen vorausgesetzt. Die periphere Kurve wird gegen den systolischen und diastolischen RR, gemessen entweder an der A. radialis oder an der A. brachialis, kalibriert. Anschließend wird die Pulscurve der A. radialis (mathematisch mittels Vektorrechnung) in die Kurve der Aorta gefaltet. Dieser Prozess benötigt im Schnitt eine Serie von Wellen innerhalb eines Atemzyklus und beschreibt letztendlich eine geeichte Pulscurve der Aorta. Dieses Verfahren wurde von der US Food and Drug Administration als einer direkten Manometrie gleichwertig anerkannt. In den drei Jahren zuvor wurde diese Methode bereits an der „Mayo Clinic“ erfolgreich angewandt. Als valide Methode sind die Werte dieser generalisierten Transferfunktion an Gesunden, ebenso wie an Patienten reproduzierbar (19).

3.1.1.1 Die Pulskurve der A. radialis

Die Kontur der Pulskurve peripherer Arterien wird von der Pulswellengeschwindigkeit, der Wellenreflexion und der arteriellen Gefäßsteifigkeit beeinflusst. Die Pulskurve der A. radialis setzt sich aus drei Wellen zusammen. Die erste wird vom aus dem Herzen kommenden Blutfluss generiert, die zweite kommt in der späten Systole durch eine Reflexion aus der Handregion zustande und die dritte Welle, reflektiert von der unteren Körperhälfte, trifft in der frühen Diastole ein. (13)

Nach O'Rourke und Gallagher (15) gehören jedoch zweite und dritte Welle zusammen und bilden gemeinsam „das Echo“ der ursprünglichen Welle. Dies wurde mittels eines Valsalva-Manövers überprüft. Das in der Kurve eines jungen, gesunden Individuums innerhalb der reflektierten Welle sichtbare Wellental (im vorigen Absatz als Welle zwei und drei interpretiert) kommt durch den Schluss der Aortenklappe zustande. Die Identifizierung dieses Zusammenhangs erlaubt die exakte Ermittlung der Auswurfdauer aus dem peripheren Puls der A. radialis. Mit zunehmendem Alter verändert sich die Pulskurve, sodass in der achten Lebensdekade die reflektierte Welle in der späten Systole den Peak der Welle erreicht. Die Amplitude der zweiten Welle stellt hierbei die Augmentation dar, diese ist in der A. radialis ab dem 70. Lebensjahr positiv. Der Alx der A. radialis wird als P_2/P_1 (=reflektierte Welle durch ursprüngliche Welle) definiert (13). Siehe Abbildung 16.

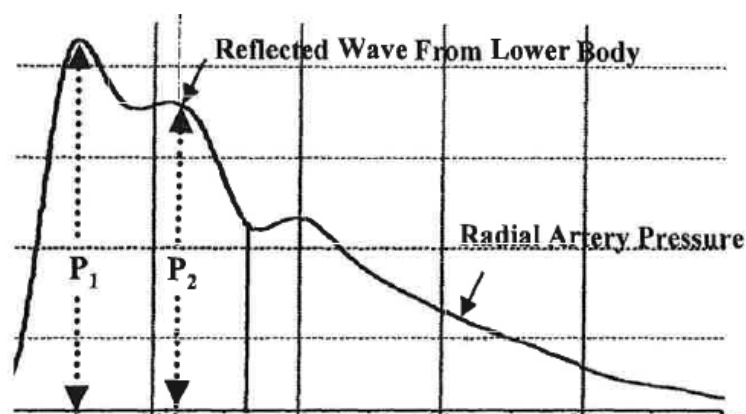


Abbildung 16: Beispiel einer Pulskurve der A. radialis¹⁷

¹⁷ Aus Nichols, W. Clinical measurement of arterial stiffness obtained from noninvasive pressure waveforms. Am J Hypertens 2005;18:3S-10S

P1 ergibt sich aus der Summe der initialen Welle und der aus der Armregion reflektierten Welle, P2 ist der Peak der reflektierten Welle der unteren Körperhälfte minus des enddiastolischen Drucks. $P2/P1$ entspricht dem Alx der A. radialis (13).

3.1.1.2 SphygmoCor®

Der SphygmoCor der Firma AtCor, Sydney/Australien (Abbildung 17) ist ein bereits weit verbreitetes System zur PWA. Wie der offiziellen Homepage der Firma zu entnehmen, werden derzeit drei Systeme mit SphygmoCor-Technologie angeboten. SphygmoCor CP, CPV / CPVH und CPM.

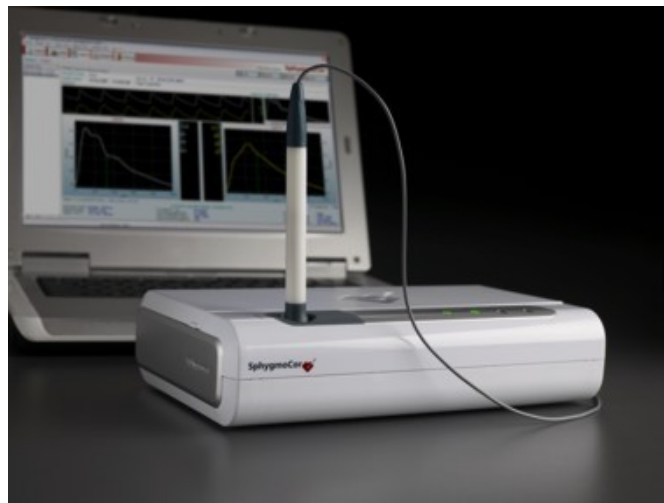


Abbildung 17: SphygmoCor CP¹⁸

Das SphygmoCor CP ist die weiterentwickelte Form des ursprünglichen SphygmoCor SCORE Px und besteht aus einem Tonometer, an dessen Spitze ein Sensor (Halbleiter mit Wheatstone-Brücke) angebracht wird sowie der



entsprechenden Software. Dieses System dient der tonometrischen Messung in „Echtzeit“ an der A. radialis. Auf die A. radialis wird der kugelschreiberförmige, hochauflösende Druckmesser aufgesetzt. Der Sensor nimmt Veränderungen des RR wahr (Abbildung 18).

Abbildung 18: SphygmoCor CP, Messung¹⁹

¹⁸ <http://atcormedical.com/sphygmocor.html>, 18.08.2010

¹⁹ <http://atcormedical.com/sphygmocor.html>, 19.08.2010

Durch eine synchrone Aufzeichnung (der Daten) und der direkten Datenübertragung vom Tonometer zum PC wird ein sofortiges Erkennen von Artefakten ermöglicht. Die Pulskurven werden über einen Zeitraum von zehn Sekunden (sec) ermittelt und übereinandergelegt. Ein Durchschnitt der Wellenform wird gebildet und dieser gegen den RR, oszillatorisch gemessen an der A. brachialis, kalibriert. Hierbei kann laut Rickert 2007 (19) davon ausgegangen werden, „*dass der mittlere arterielle Druck im gesamten Gefäßsystem weitestgehend konstant ist und auch der diastolische RR kaum variiert*“.

Die Software ermittelt zuerst den Aix und berechnet anschließend mittels der Transferfunktion die aortale Druckkurve. Außerdem unterscheidet sie die initiale und die reflektierte Pulswelle voneinander. Möchte man die Pulswellengeschwindigkeit zwischen zwei Arterien ermitteln, muss ein Systemupdate auf SphygmoCor CPV erfolgen. Hierbei kann durch eine gleichzeitige Messung an der A. carotis und der A. femoralis die Pulswellentransitzeit über der Aorta in m/sec ermittelt werden. Die Pulswellengeschwindigkeit wird einerseits über den R-R Abstand des simultan laufenden Elektrokardiogramms (EKG) und andererseits über die zurückgelegte Distanz der Pulswelle ermittelt. Das EKG dient hierbei notwendigerweise dazu, die Pulswellenzeit der beiden Arterien zu synchronisieren. (19,29,30,31)

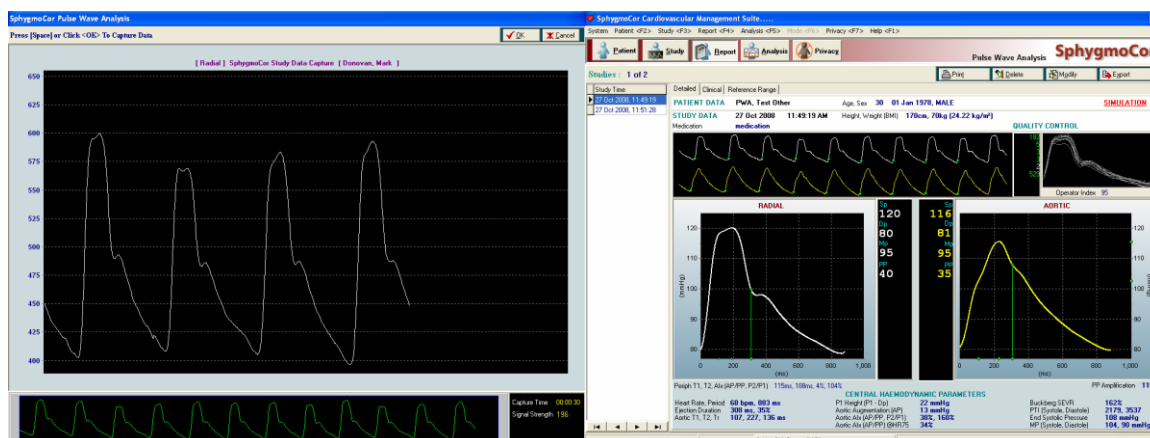


Abbildung 19: Beispiele einer PWA mittels SphygmoCor²⁰

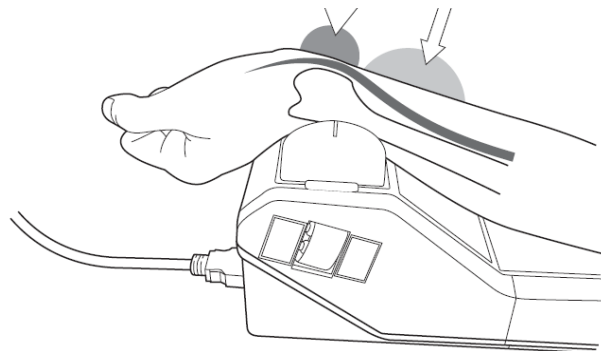
²⁰<http://atcormedical.com/pdf/Manuals/SphygmoCor%20Software%20Guide%20Px.pdf>, 19.08.2010

3.1.1.3 Omron HEM-9000AI



Abbildung 20: Omron HEM-9000 AI

Noch weniger bekannt ist das System Omron HEM-9000AI (Omron Healthcare, Kyoto/Japan) zur PWA, bestehend aus einer „Display Unit“ mit Drucker, einer Messeinheit für die Pulswellenanalyse und einer RR-Manschette. Es dient der Messung des RR einerseits und der PWA durch Ermittlung des Aix andererseits. Hierbei wird die Technik der AT genutzt um semiautomatisierte Messungen durchzuführen. Nach der Adjustierung des Geräts und dem Anlegen der RR-Manschette erfolgt die Einstellung der Pulswellen Messeinheit. Dazu sitzt der Patient mit aufliegendem Ellbogen an einem Tisch, Unterarm in Herzhöhe und Handfläche nach oben zeigend. Am Gerät ist eine Markierung für die Handgelenksfalte angebracht. Manuell wird der Puls der A. radialis getastet, markiert und anschließend wird der Sensor darüber positioniert und mittels eines Bandes die Position fixiert. (32)



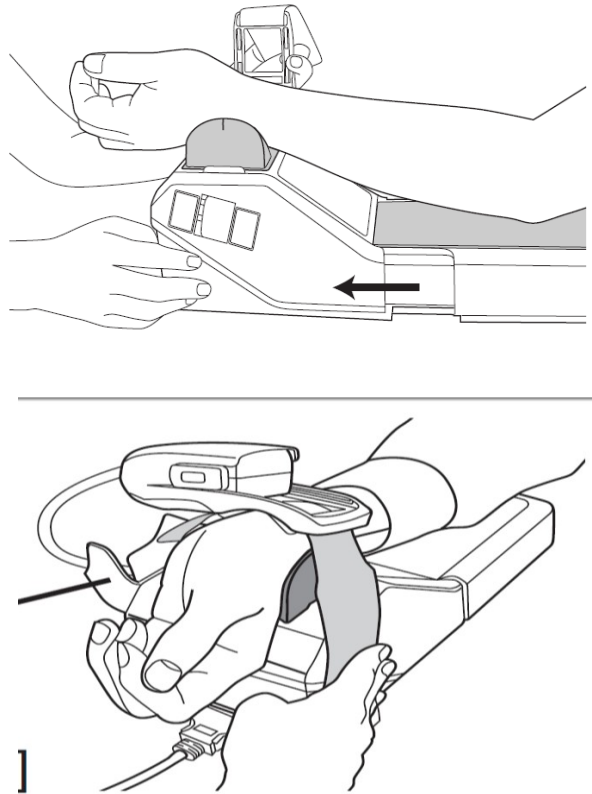


Abbildung 21: Anwendung des Omron HEM-9000AI in drei Teilen²¹



Abbildung 22: Beispiel zur Pulswellenaufzeichnung und PWA mittels Omron HEM-9000AI²²

²¹ <http://www.omronhealthcare.com/media/uploads/augmentation-index-pulse-wave-analysis-instruction-manual.pdf>, 19.08.2010

²² <http://www.omronhealthcare.com/media/uploads/augmentation-index-pulse-wave-analysis-instruction-manual.pdf>, 19.08.2010

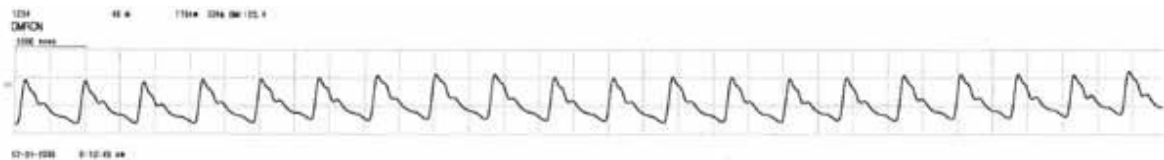


Abbildung 23: Beispiel einer ausgedruckten Aufzeichnung aufeinanderfolgender Pulswellen, gemessen mittels Omron HEM-9000AI²³

3.1.1.4 PulsePen

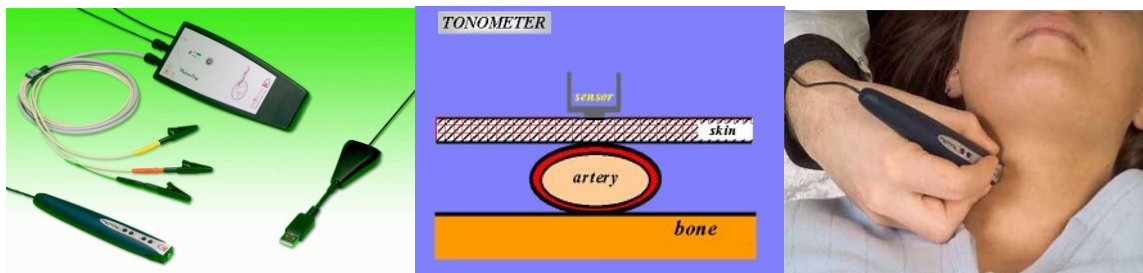


Abbildung 24: PulsePen²⁴



Abbildung 25: PWA mittels PulsePen²⁵

Der PulsePen wurde für die Beurteilung und Analyse von Pulswellen und für die Messung der Dehnbarkeit arterieller Gefäße entwickelt. Auf Basis der AT aufgebaut besteht das System aus einem Tonometer und einem portablen EKG. Der Drucksensor hat in etwa die Größe eines Kugelschreibers und alle für eine Messung notwendigen Mechanismen befinden sich direkt am Sensor. Mit diesem kleinen, leicht zu transportierendem System ist ein „Einhand-Management“ möglich. Der Sensor ist mit einer kleinen, leichten, batteriebetriebenen EKG-

²³ <http://www.omronhealthcare.com/media/uploads/augmentation-index-pulse-wave-analysis-instruction-manual.pdf>, 19.08.2010

²⁴ Aus „Pressure Wave Analysis“ und „Pulse Pen device“ in www.pulsepen.com, 31.08.2010

²⁵ Aus „Software“ in www.pulsepen.com, 31.08.2010

Einheit verbunden. Informationen über die Pulswelle und EKG-Signale werden an einen PC weitergeleitet und dort erfasst und verarbeitet. Ohne Assistenz kann nun die Pulswellengeschwindigkeit bestimmt werden. Außerdem erfolgt eine Bewertung der Wellenreflexion (entspricht dem Alx) auf der jeweiligen Seite der durchgeführten Messung an der A. radialis, der A. carotis oder auch an der A. femoralis. Der Sensor befindet sich in senkrechter Position und wird an genau jener Stelle auf die Haut aufgesetzt, an der die maximale arterielle Pulsation zu spüren ist. Die Arterie wird zusammengedrückt, indem Druck auf den Sensor, gegen darunter liegende Strukturen (Muskel, Knochen oder Knorpel), ausgeübt wird. (33,34)

3.1.2 Oszillometrie

Das Verfahren der oszillometrischen RR-Messung bedient sich der Erfassung der Druckschwankungen der Pulswelle (Oszillation) durch Druckwandler. Anschließend erfolgt eine Umrechnung in RR-Werte. Die stärkste Oszillation wird mit dem mittleren arteriellen Druck gleichgesetzt. Aus diesem können der systolische und der diastolische Druck errechnet werden. Das zuvor erwähnte Prinzip basiert auf der Plethysmographie und es werden pulsatile Druckänderungen in einer Arterie registriert. (29,35)

3.1.2.1 Arteriograph



Abbildung 26: Arteriograph²⁶

²⁶ <http://www.tensiomed.com/en/download.html>, 01.09.2010

Dieser Technik bedient sich ein relativ neues Verfahren zur PWA, welches unter der Bezeichnung Arteriograph der Firma Tensiomed/Ungarn, vertrieben wird. Hierbei handelt es sich um eine neue Methode der PWA mittels oszillatorischer RR-Messung am Oberarm und einer oszillatorischen Aufzeichnung der Pulswelle. Nach einer initialen RR-Messung am Oberarm erfolgt mittels Oberarmmanschette ein Druckaufbau über der A. brachialis. Dieser sollte mindestens 35 mmHg über dem gemessenen systolischen RR liegen. Der Vorteil hierbei liegt darin, dass im Vergleich zu einer Aufzeichnung des diastolischen RR eine deutlichere Differenzierung der ursprünglichen und der reflektierten Wellenanteile erfolgen kann. Druckschwankungen, die mit dem in der Manschette enthaltenen, hochsensiblen Sensor in Form einer Pulswelle aufgezeichnet werden, entsprechen den Schwankungen in der A. brachialis. Die Daten dazu werden registriert und von der Manschette zu einem PC geleitet, der die Veränderungen als Pulswelle aufzeichnet und analysiert. Das System ermittelt während eines Messvorgangs verschiedene Parameter mit dem Ziel die arterielle Gefäßsteifigkeit zu ermitteln. Um korrekte Ergebnisse zu erhalten, müssen im Vorfeld einige Maßnahmen getroffen werden. Die Berechnung der Pulswellengeschwindigkeit erfolgt einerseits durch die Messung der Distanz zwischen Jugulum und Symphyse (Weg, den die Pulswelle zurücklegt) und andererseits der Messung des Zeitunterschieds zwischen der maximalen Amplitude der ersten und zweiten Welle (Zeit, die die Pulswelle für den Weg benötigt). Eine Aufzeichnung mit anschließender Analyse erfolgt nur, wenn, wie bereits erwähnt, der suprasystolische Druck größer 35 mmHg ist. (19,29,30,36)

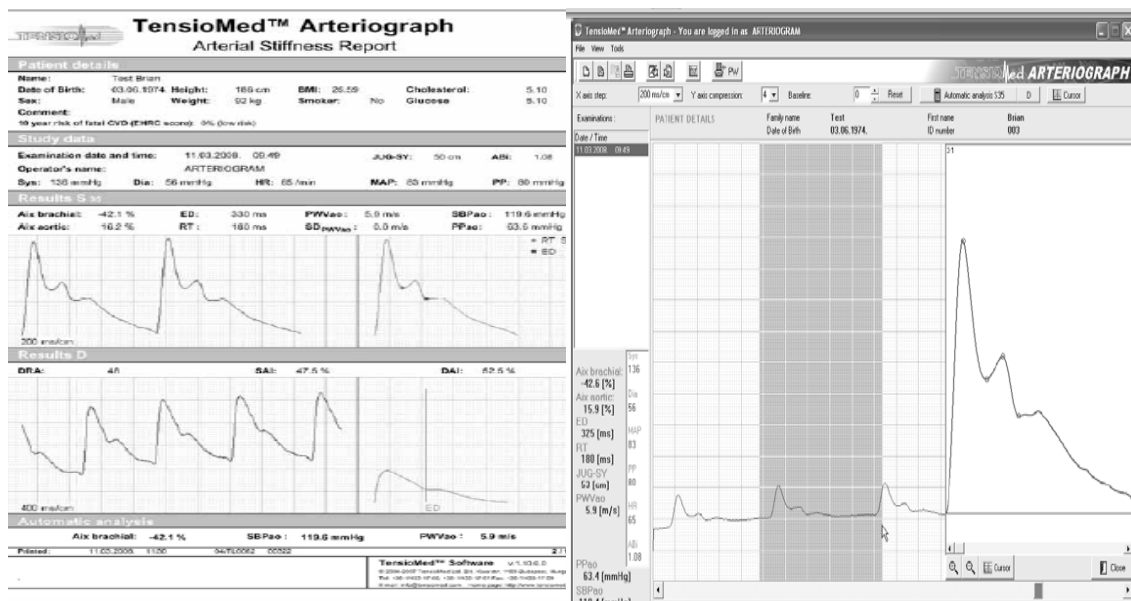


Abbildung 27: Messergebnis mit Arteriograph²⁷

3.1.3 Piezoelektrische Messung

Der piezoelektrische Effekt wurde Ende des 19. Jahrhunderts von den Brüdern Pierre und Jaques Curie entdeckt. Sie untersuchten verschiedene Materialien, unter anderem Kristalle und erkannten dabei, dass Stoffe wie z.B. Quarz oder Turmalin die Fähigkeit zur Umwandlung mechanischer in elektrische Energie aufweisen. „Anders gesagt, der Druck (piezo ist das griechische Wort für Druck), der auf ein piezoelektrisches Material ausgeübt wird, verursacht eine mechanische Deformation und damit eine Verschiebung der Ladungsschwerpunkte. Diese Ladung verhält sich in hohem Maße proportional zu der wirkenden Kraft [Piezoelektrizität]“ (www.piezocryst.com, 37).

Eine elektrische Spannung entsteht bei der Anwendung von Druck auf einen Kristall. Dies wird piezoelektrischer Effekt genannt. Unter Druck kommt es zu einer Dipolbildung innerhalb einer Elementarzelle (diese ist die kleinste Einheit innerhalb eines Kristalls). Da dies nun gleichzeitig in allen Elementarzellen eines Kristalls passiert, baut sich ein elektrisches Feld auf, das mittels Elektroden gemessen werden kann. Es existiert auch ein inverser piezoelektrischer Effekt, demzufolge Anlegen von Spannung eine Veränderung von Gitterkonstanten in den Elementarzellen hervorruft. Die Summe dieser Änderungen zeigt sich als

²⁷ http://www.tensio-med.com/download/man_tl_en.pdf, 01.09.2010

Verformung, oder aber, es wird eine Kraft ausgeübt. In einem Kristall können beide Effekte gemeinsam vorkommen. (38)

Trotz der Theorie, dass diese elektromechanischen Systeme einer Deformation unterliegen, weisen die Messelemente heutzutage kaum Verformungen auf. Lediglich eine Verdichtung von wenigen Mikrometern kann verzeichnet werden. Der Piezoeffekt wird seit den 40er Jahren zweckvoll in verschiedenen heiklen Bereichen eingesetzt (neben der Medizin auch in der Luftfahrt- oder der Nukleartechnologie). (37)

So beinhalten beispielsweise Schallköpfe für die Anwendung von Ultraschall Keramikelemente. Diese senden nach Anlegen einer elektrischen Wechselspannung Druckwellen aus. Sie besitzen aber auch die Fähigkeit, an Grenzflächen reflektierte Wellen wieder in elektrische Spannung umzuwandeln.

3.1.3.1 Complior



Abbildung 28: Complior²⁸

Bei dem von der Firma Colson/Frankreich entwickelten System handelt es sich um eine piezoelektrische Methode zur Bestimmung der Pulswellengeschwindigkeit. Der Aix kann in diesem Fall nicht ermittelt werden. Mittels piezoelektrischer Druckwandler (zwei TY-360 Druckwandler) erfolgt eine simultane, EKG unabhängige Aufzeichnung der Pulswelle an der A. carotis und der A. femoralis. Die Aufnahmezeit beträgt hierbei 15 sec und das Zeitintervall, in dem sich die Pulswelle von der A. carotis zur A. femoralis fortbewegt, dient als Basis für die Evaluierung der Pulswellengeschwindigkeit. Referenzpunkt ist in diesem Fall der

²⁸ www.complior.com , 31.08.2010

maximale systolische Anstieg. Wird eine Pulswelle ausreichender Qualität registriert, resultiert daraus eine Digitalisierung und Kalkulation des Zeitabstandes zwischen zwei Pulswellen durch die Software. Zwei vertikale Linien zeigen die Positionen der maximalen Änderungen der Pulskurve an. Verzögerungen zwischen zwei Pulswellen werden ermittelt und die Korrelation zwischen den Daten der beiden Wellenformen dargestellt. Im Gegensatz zu SphygmoCor wird mit dem Complior die Geschwindigkeit ein und derselben Pulswelle auf Basis einer simultanen Messtechnik ermittelt. (29,30)

3.1.4 PWA unter Verwendung von Dopplersonographie am Beispiel PulseTrace PWV

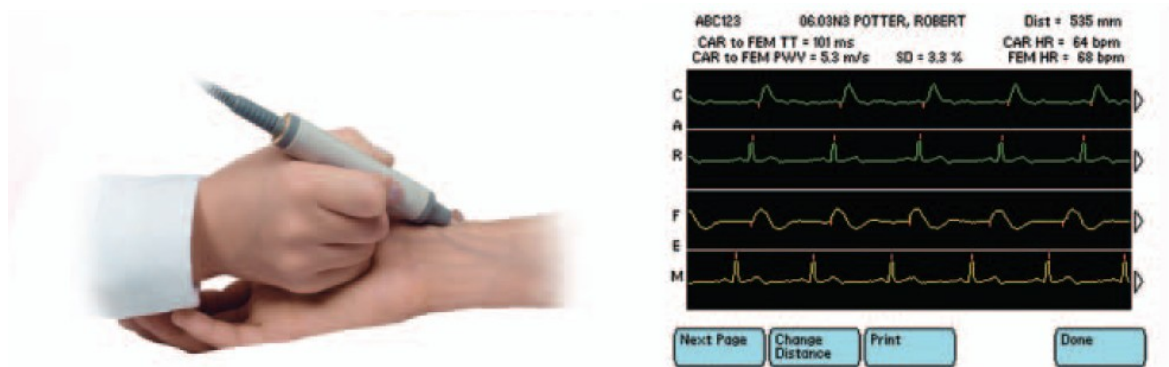


Abbildung 29: PulseTrace PWV²⁹

Der PulseTrace PWV der Firma Micro Medical, Rochester/England, wurde entwickelt um mittels eines Ultraschallsensors die Pulswelle aufzuzeichnen. Hierbei werden die Dopplerpulse sequentiell an zwei unterschiedlichen Arterien aufgezeichnet und miteinander verglichen. Als Referenzpunkt zur Berechnung der Pulswellengeschwindigkeit dient die R-Welle des EKG. Durch die Verwendung einer fünf Megahertz Dopplersonde kann die Messung auch dann durchgeführt werden, wenn die Arterien, beispielsweise bei Adipositas, schwer zu tasten sind. Die Pulswellengeschwindigkeit muss nicht standardmäßig an der A. carotis und der A. femoralis erfolgen, viel mehr ermöglicht das Programm eine benutzerdefinierte Verwendung. So dienen zwei definierte Punkte an ausgewählten Lokalisationen als Basis für die Berechnung. (39)

²⁹ <http://www.micromedical.co.uk/downloads/pdf/pulsetracepwv.pdf>, 28.08.2010

3.1.5 Photoelektrische Pulsplethysmographie

Eine weitere Möglichkeit zur PWA stellt die photoelektrische Pulsplethysmographie dar. Sie eignet sich im Besonderen zur PWA an den Akren, hier vor allem an Fingern und Zehen. Wie dem Namen zu entnehmen, wird auf Basis der Plethysmographie mittels eines photoelektrischen Wandlers an distalen Bereichen des Körpers der Volumenpuls ermittelt. Die in einem Gefäß vorkommenden, pulsatilen Volumenänderungen wirken auf das eingebrachte Infrarotlicht und es entstehen messbare Veränderungen, die mit einem Phototransistor gemessen werden. Werden dessen Aufzeichnungen verstärkt und mittels entsprechender Software bearbeitet, kann die Pulskurve ermittelt werden. Die hier ermittelte Volumenpulswelle wird ebenso in eine initiale und eine reflektierte Welle unterteilt wie die Pulsquelle, gemessen mit den anderen bereits genannten Methoden. (40,41)

Es werden mit dieser Methode optische Merkmale ermittelt, indem Infrarotlicht aus einer Lichtquelle eingebracht wird und die Reflexionen mit einem Photoempfänger aufgezeichnet werden. *„Je mehr Blut sich im Untersuchungsabschnitt befindet, desto mehr Licht wird absorbiert und folglich weniger reflektiert. Somit besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen dem sich ändernden Blutvolumen und der vom Photoempfänger erfassten Lichtintensität.“*(www.medis-de.com, 41)

Ein Beispiel hierfür stellt der PulseTrace PCA der Firma MicroMedical, Rochester/England dar.



Abbildung 30: PulseTrace PCA³⁰

Eine Aufzeichnung der Pulswelle an der Fingerspitze im Vergleich zu jener am Handgelenk, als Möglichkeit der PWA, wurde 2005 von Zhao und Small (42)

³⁰ <http://www.micromedical.co.uk/downloads/pdf/pulsetracepwv.pdf>, 31.08.2010

überprüft und die Resultate weisen darauf hin, dass kein signifikanter Unterschied zwischen der an der A. radialis ermittelten und der an der Fingerspitze aufgezeichneten Pulswelle besteht.

3.1.6 Sensoren zur PWA

Die Durchführung einer effizienten PWA hängt wesentlich von der Existenz guter Sensoren ab. Auch deshalb wurde insbesondere in den 90er Jahren viel Forschung bezüglich der Entwicklung guter Sensoren betrieben.

Wörz und Pauschinger (43) evaluierten 1980 das Postulat, eine genaue Pulswellenregistrierung mit kapazitiven Pulsabnehmern hänge vom Auflagedruck des Wandlers ab. Um das Resultat einer deformierten Pulskurve zu verhindern, müsse dieser Druck kleiner dem enddiastolischen RR sein. Sie kamen zu dem Schluss, dass es genügt eine Auflagekraft vorzugeben, die ihrerseits einen Auflagedruck erzeugt, der unter dem diastolischen RR liegen muss. Die Autoren entwickelten daraufhin eine Vorrichtung, die bei einfacher Handhabung einen reproduzierbaren Auflagedruck einerseits und die Möglichkeit einer kontinuierlichen Verstellbarkeit der Auflagekraft andererseits ermöglicht.

Von neueren Sensoren wird neben Zuverlässigkeit, geringem Eigengewicht und handlichem Design die Eigenschaft erwartet, gegebenenfalls Artefakte unterdrücken zu können. Unterschiedliche Sensoren können hier zum Einsatz kommen, abhängig von der gewünschten Lokalisation. An den großen Arterien werden meist mechanische Systeme verwendet, an den Akren kommen optische Methoden zum Einsatz, welche mit Infrarotlicht arbeiten, da dieses wegen seiner größeren Wellenlänge tiefer in das Gewebe eindringt. (44)

- Mechanische Sensoren benötigen einen hohen Anpressdruck, um Artefakte zu vermeiden und korrekte Ergebnisse zu erhalten. Das System wird durch die dabei entstehende Stenose beeinflusst und mechanische Sensoren können an Regionen, bei denen die Gefahr besteht, dass weiter distal liegende Bereiche nicht mehr versorgt werden können, nicht eingesetzt werden (z.B. an der A. carotis). Kernstück des mechanischen Transducers ist eine piezorestriktive Vollbrücke, welche aus einem, gleichzeitig als Membran dienendem, Halbleiterträger herausgeätzt wird. Ein elektrisches Signal entsteht durch Widerstandsänderungen, proportional der Dehnung. Bei diesem System wird



nur der Druck für flüssige und gasförmige Zustandsbereiche gemessen, es kommt zu einem Durchbiegen der Membran durch eine (theoretische) punktförmige Kraftübertragung. Der mechanische Transducer wird also über einen Transmitter an die oberhalb einer A. liegende Haut angelegt. Als Hilfsmedium dient hierbei z.B. Silikonöl oder Glycerin, durch dieses wird die Membran unempfindlich gegenüber punktförmiger Belastung. Das Resultat ist ein Druckwandler, der ohne äußere Membran, aber auch ohne flüssigen Transmitter auskommt.

- Optische Sensoren finden nicht nur bei kleinen Arterien Verwendung. Für Messungen an größeren Arterien wird ein weicher Ring um den Sensorbereich angebracht, damit sich das Gefäß auch in Richtung des Sensors ausdehnen kann. Bei der optischen Messung wird die Differenz von Systole zu Diastole als dimensionsloser Wert angegeben, dieser Wert ist auch abhängig vom Anpressdruck des Sensors. Zur Fremdlichtunterdrückung wird ein „Chopperprinzip“ nach „sample and hold“ Prinzip angewandt. Mittels Integralreglers gelingt die Ermittlung eines physiologischen Signals aus dem reflektierten Signal. Durch notwendige Verringerung der Grundfrequenz erhöht sich die Einstellzeit, welche überwacht wird, um bei Überschreiten der Zeitkonstante ein Umschalten des Systems initiieren zu können.
- Optomechanische Sensoren wurden zur universellen Verwendung entwickelt. Eine exakte Kenntnis über das Zeitverhalten der beiden Aufnehmer ist Voraussetzung und die R-Zacke des EKG dient hierbei als Referenzwert. Im Sinne von Rafolt et al. (44) setzen *„Untersuchungsmethoden, die sich auf die Darstellung der Ortskurve der Übertragungsfunktion in einem Gefäßabschnitt oder Gesamtsystem stützen, voraus, dass auch die Form der registrierten Pulscurve für den gleichen Input (...) bei beiden Systemen ident ist.“* Der über eine Silikonschicht an eine pulsierende Stelle gekoppelte Sensor wird angebracht und in das Silikon Infrarotlicht ein- und ausgekoppelt.
- Optoelektronische Sensoren wurden weiterentwickelt und es existiert nach Weißpeiner und Moser (45) mit dieser Entwicklung ein System zur PWA, das bei einfacher Applikation des Reflexsensors (Klebesensor) entstehende Bewegungsartefakte erkennt, minimiert und die Belästigung des Patienten auf ein Minimum reduziert. Das Pulsmessgerät dazu ist klein und artefaktunempfindlich, hat einen geringen Stromverbrauch und außerdem drei

Messkanäle. Probleme, die bei optischen Sensoren auftraten, wurden entfernt, sodass bei hoher Empfindlichkeit und bereits geringer Zeitkonstante trotzdem eine Unempfindlichkeit gegenüber dem Umgebungslicht gewährleistet ist.

3.1.7 Derzeit verwendete Systeme zur Pulsdiagnostik in der TCM im asiatischen Raum

Die Firma Beijing Lotus Biotechnologies in Peking entwickelte verschiedene Apparate (siehe Tabelle 9), um mit deren Hilfe eine vereinfachte und objektive Pulsdiagnostik zu ermöglichen. Wie der Homepage zu entnehmen ist, werden mehrere Systeme angeboten. Diese wurden auf Basis der AT entwickelt oder bedienen sich der Technik der PWA mittels Ultraschallsensor. Die Geräte unterscheiden sich in Preis und Anwendung, sie beinhalten jedoch alle einen präzisen Sensor und eine Halterung, um diesen über den Pulspositionen an der A. radialis fixieren zu können. Die Pulswelle wird visualisiert und analysiert, mit dem Ziel einer genauen Interpretation der Pulsbilder und letztendlich der Diagnosefindung nach den Grundsätzen der TCM. Die Apparate stellen eine Kombination aus modernem medizintechnischem Equipment und der Kenntnis über die TCM dar. (46)

Tabelle 9: Vergleich von Apparaten zur Pulsdiagnostik (Firma Beijing Lotus Biotechnologies); modifiziert nach (46)			
			
Tragbarer Pulssensor	Präzises Messsystem	Pulsanalysegerät mit zusätzlicher Datenerfassung zur Zungendiagnostik	Tragbares Ultraschallsystem
Notwendige Eigenmittel	Ein PC mit USB Schnittstelle ist für die Verwendung notwendig.		

Pulssensor	Drucksensor mit Möglichkeit zur Aufzeichnung einer dynamischen Pulskurve.	Mechanischer Sensor mit Flüssigkeitsring. Aufzeichnung einer dynamischen und statischen Pulskurve.		
Fixation des Sensors	Riemen	Instrumentenhalterung mit Möglichkeit, die drei Ebenen zu erfassen (Simulation des ausgeübten Druckes durch den Untersucher).		
EKG	nein	ja	ja	ja
Zusätzliche Photoelektrische Pulswellenaufzeichnung	nein	ja	ja	ja
Alle Apparate beinhalten Diagnosetipps, stellen die Eigenschaften des Pulses dar und bieten die Möglichkeit, die Ergebnisse auszudrucken.				
Zungen- diagnostik, Daten- erfassung und Analyse	nein	nein	ja	ja
Anwendung	Geeignet für universelle Datenerhebung. Tragbar, günstig, einfach zu bedienen. Erfüllt die grundlegenden Anforderungen mittels Signalerfassung zum Zwecke der PWA.	Genaue Art der Datenerhebung. Simultane Aufnahme von statischen und dynamischen Druckverhältnissen, eine Vielzahl von Parametern werden aufgezeichnet. Die Daten sind zuverlässig und reproduzierbar.	Kombination von High-Tech Methoden zur Datenerfassung und Analyse. Gleichzeitige Erfassung von statischen und dynamischen Druckverhältnissen und zusätzlich Erfassung von Daten zur Zungen- diagnostik.	Geeignet zur professionellen Nutzung an Forschungseinrichtungen und zur Durchführung anspruchsvoller Forschungsprojekte. Sehr teures, professionelles, High-Tech-Gerät. Gleichzeitige Visualisierung von dynamischen Pulsbildern und Pulsdruck mittels Ultraschall.



图2 脉象采集界面

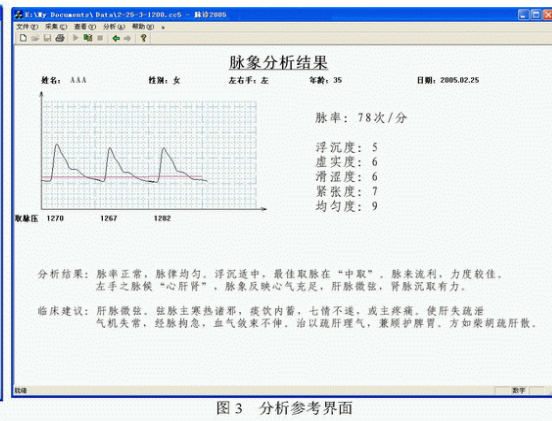


图3 分析参考界面

Abbildung 31: Aufzeichnung einer Pulswelle mit Systemen der Firma Beijing Lotus Biotechnologies³¹

³¹ http://www.tcmpulse.com/Pulse_diagnosis_device_detail.html, 31.08.2010

4 Ergebnisse

Da für die Pulsdiagnostik in der TCM die Messung an den Positionen Chi, Guan und Cun an der A. radialis von Bedeutung ist, wird dies beim folgenden Vergleich der Apparate und Methoden besonders berücksichtigt.

Die Messung des peripheren RR mittels Oszillometrie:

Hier ist die arterielle RR-Messung mittels Blutdruckmanschette, meist am Oberarm, gemeint. Für diese oszillometrische Methode, aber auch für die Anwendung eines „normalen“ Sphygmomanometers, existieren limitierende Faktoren. Erstens scheint der zentrale Druck eher mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens kardiovaskulärer Ereignisse zu korrelieren als mit peripheren Druckverhältnissen. Zweitens liefern Studien zur Wirksamkeit von Antihypertensiva unterschiedliche Ergebnisse bezüglich kardiovaskulärer Folgeerscheinungen, obwohl unterschiedliche Antihypertensiva zu einer ähnlichen Reduktion des peripheren RR führen. Begründet wird dies mit unterschiedlichen Effekten der Medikamente auf den zentralen RR. Zuletzt ist der an der A. brachialis gemessene systolische RR (aufgrund einer peripheren Verstärkung des Drucks) nicht repräsentativ für den Druck in den zentralen Arterien und der Aorta. (18)

Applanationstonometrie an der A. radialis:

Im Jahre 2010 bezeichnen Nelson et al. (18) diese Methode der Druckmessung als Möglichkeit, die Grenzen der peripheren RR-Messung zu überwinden. Sie bietet eine Gelegenheit, den zentralen Pulsdruck auf eine genaue, reproduzierbare, nichtinvasive Art zu beurteilen. Ein Tonometer wird mit der Hand über die A. radialis gehalten und milder Druck ausgeübt, um die Arterie geringfügig zu komprimieren. Ebendieser Druck wird vom Gefäß auf den Sensor übertragen und aufgezeichnet. Mittels einer mathematischen Formel erfolgt anschließend die Errechnung einer zentralen, aortalen Pulskurve. Ein besonderer Vorteil dieser Messmethode liegt im leichten Handling. Damit wird eine Durchführung der Untersuchung auch von Unerfahrenen ermöglicht. Im Vergleich zu Aufzeichnungen an anderen peripheren Arterien ist die radiale AT für den Patienten komfortabler und außerdem im klinischen Setting besser realisierbar.

Limitierender Faktor ist vor allem der geringe Bekanntheitsgrad, weshalb auch eine geringere Anzahl an Publikationen, verglichen mit der oszillometrischen Messung des RR an der A. brachialis, existiert. Jedes System, das Transferfaktoren als Instrument zur Bewertung zentraler Druckkurven verwendet, weist eine bestimmte Fehlerquote auf, welche laut den Autoren für die AT an der A. radialis geringer ist, als für oszillometrische Geräte. Wie für jedes System zur RR-Messung sollte die Durchführung nach standardisierten Guidelines erfolgen, um genaue Daten zu erhalten. Z.B. sollte die Einnahme vasoaktiver Medikamente, Dekongestiva, Coffein oder Nikotin vor einer RR-Messung ebenso vermieden werden wie körperliche Betätigung. Diese den RR, die HF und die vaskuläre Aktivität beeinflussenden Faktoren würden ansonsten die Ergebnisse verzerren und diese für ungültig erklären.

Für die Pulsdiagnostik in der TCM würde diese Methode einen weiteren Vorteil bringen. Hierbei könnte der Druck der Finger und somit ein „Mehr-Ebenen-Fühlen“ simuliert werden, außerdem basieren bis dato in China zur Pulsdiagnostik verwendete Geräte auf der AT. Eine Weiterentwicklung in diese Richtung wäre sinnvoll.

In der 2008 von Baulmann et al. (29) publizierte Studie wurden die Systeme SphygmoCor, Complior und Arteriograph miteinander verglichen, um den Arteriograph als neue Methode zur PWA zu evaluieren. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass der Arteriograph eine neue, zeiteffektive und einfache Methode zur PWA darstellt. Der Arteriograph wurde zwei gängigen Systemen gegenübergestellt, welche allseits akzeptiert und anerkannt sind, obwohl weder für SphygmoCor noch für Complior ein direkter Vergleich mit einer invasiven Methode existiert. Baulmann et al. zeigten vorab, dass zwischen SphygmoCor und Complior eine (obwohl nur indirekt validiert) hoch signifikante Korrelation bezüglich der Pulswellengeschwindigkeit besteht. Die RR-Messung, die für die Funktion des SphygmoCor unerlässlich ist, kann gemeinsam mit der Pulswellengeschwindigkeit in einem Messzyklus erfolgen. Dies ist bei Arteriograph nicht möglich, obwohl auch in diesem Fall der RR gemessen wird. Mit Complior und Arteriograph kann im Gegensatz zu SphygmoCor die Pulswellengeschwindigkeit innerhalb eines kardialen Zyklus bestimmt werden. Die Ergebnisse bezüglich der

Pulswellengeschwindigkeit waren mit Complior (8,1 m/sec) stetig höher als mit Arteriograph (7,8 m/sec) oder SphygmoCor (7,6 m/sec). Gemäß dem mittels Complior nicht messbaren Alx ergab sich eine starke Korrelation zwischen SphygmoCor und Arteriograph. Die Begründung hierfür liegt in der Tatsache, dass die Kalkulation des Alx in beiden Fällen auf derselben Formel und auch auf derselben physiologischen Grundlage basiert. Die Amplitude der frühen und der späten systolischen Welle stimmten überein. Trotzdem finden sich den Zahlen nach unterschiedliche Ergebnisse, deren Ursache ein Vergleich zwischen einem zentral ermittelten Alx, mittels SphygmoCor und einem an der A. brachialis, nicht transformiertem Alx (Arteriograph) zu sein scheint. Weniger stark, aber trotzdem hoch signifikant, ist die Korrelation der aortalen Pulswellengeschwindigkeit zwischen Arteriograph, SphygmoCor und Complior. SphygmoCor und Complior errechnen die Pulswellengeschwindigkeit (ihrerseits abhängig von Weg und Zeit) aus Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen der Pulswelle und der Distanz zweier Referenzpunkte. Arteriograph ermittelt denselben Parameter mit anderem theoretischem und praktischem Hintergrund, was sich in einer weniger starken Korrelation niederschlägt, verglichen mit dem Alx. Auch existieren limitierende Faktoren für die Anwendung des Arteriograph. Die Oberarmmanschette muss sehr eng angelegt werden und der Patient darf sich während der Messung nicht bewegen. Schlussendlich ist noch zu erwähnen, dass in dieser Studie der Arteriograph vor Complior und SphygmoCor die geringste Rate an Abweichungen und somit das höchste Maß an Reproduzierbarkeit aufweist.

Der 2008 publizierte Arbeit von Rajzer et al. (30) zufolge ist die Pulswellengeschwindigkeit, gemessen mit Complior, ebenso wie in der Publikation von Baulmann et al. (29) signifikant höher als jene Ergebnisse, der zu vergleichenden Systeme. Zwischen Arteriograph und SphygmoCor fanden sich bezüglich der Pulswellengeschwindigkeit nahezu gleiche Resultate. Die Pulswellengeschwindigkeit ist von Wellentransitzeit und zurückgelegtem Weg der Pulswelle abhängig. Rajzer et al. (30) kamen zu dem Schluss, dass im Vergleich dieser beiden Variablen statistisch signifikante Unterschiede lediglich in der zurückgelegten Wegstrecke, nicht aber in der Transitzeit der Pulswelle zu finden sind. Dies gilt für alle drei angewandten Methoden zur Messung der Pulswellengeschwindigkeit. Unterschiede der Pulswellengeschwindigkeit sind somit nur auf die zurückgelegte Distanz zurückzuführen.

Auch in der Dissertation von Rickert 2007 (19) erfolgte unter Verwendung der Parameter zur Evaluierung der Gefäßsteifigkeit ein Vergleich von SphygmoCor und Arteriograph. Eine hoch signifikante Korrelation ergab sich in Bezug auf den Aix. Bei der Messung der Pulswellengeschwindigkeit wurde ebenfalls eine hochsignifikante Korrelation ermittelt, dies gilt jedoch nur bei niedriger und mittlerer Pulswellengeschwindigkeit. Im höheren Bereich ermittelte der Arteriograph falsch niedrige Werte. Nach Mitchell (1997) wird in der zuvor genannten Arbeit von Rickert folgende Hypothese dazu aufgestellt: „ (...) mit steigender Augmentation liegt der Reflexionspunkt zunehmend distaler.“ „ (...) Die zeitliche Differenz zwischen dem Peak der initialen und der reflektierten Welle, wäre dann falsch hoch, mit daraus resultierend vom Arteriograph falsch niedrig berechneten Werten“.

Eine weitere Arbeit beschäftigte sich mit der Evaluation des PulsePen, einer Methode, die auf Basis der AT für die PWA in Frage kommt. Salvi et al. (33) versuchten im Jahre 2004 den PulsePen zu validieren. Diese Evaluierung erfolgte sowohl gegen intraarterielle Messungen (invasive Methode) als auch im Vergleich zu zwei Millar-Tonometern. Aufzeichnungen der Pulswelle in der A. carotis unter Verwendung von PulsePen, verglichen mit simultan durchgeführten intraarteriellen Messungen an zehn Patienten während der Durchführung eines Herzkatheterismus, ergaben keine Unterschiede in der aortalen Pulswellenform. Der PulsePen ist eine geeignete Methode, um den zentralen aortalen Druck und die aortale Pulskurve abschätzen zu können. Vergleiche des PulsePen mit den zwei Millar Tonometern ergaben wiederum keinen Unterschied bezüglich der Ergebnisse zur Messung der Pulswellengeschwindigkeit zwischen den beiden Methoden. PulsePen als tragbares Gerät, das einen Tonometer, ein EKG-Gerät und die entsprechende Software (für absoluten arteriellen Druck, arterielle Pulswellenkontur, reflektierte Welle und Pulswellengeschwindigkeit) enthält, ist ein effektives Gerät für die nichtinvasive automatische Evaluierung des zentralen aortalen Drucks, des Aix und der Pulswellengeschwindigkeit. Es ist außerdem klein und kann von nur einem Untersucher ohne weiteren personellen Aufwand angewandt werden.

Im Jahre 2009 publizierten Nemcsik et al. (47) die Validation des Arteriograph gegen PulsePen (als eine standardisierte, tonometrische Methode zur PWA an Hochrisikopatienten unter Hämodialyse). Es handelte sich hierbei um einen

Vergleich der Ergebnisse von Pulswellengeschwindigkeit und Alx, gemessen sowohl mittels Arteriograph als auch mittels PulsePen, bei Patienten unter Hämodialyse bei terminaler Niereninsuffizienz (NINS). Zuvor durchgeführte Studien, die Arteriograph mit anderen Methoden zur PWA bei Patienten mit geringem kardiovaskulären Risikoprofil verglichen, zeigten eine hohe Validität bezüglich des Alx, aber eine nur eingeschränkte Gültigkeit des Arteriograph bezüglich der Pulswellengeschwindigkeit. Es zeigten sich bei den mittels Arteriograph ermittelten Ergebnissen, verglichen mit jenen evaluiert mittels PulsePen, sowohl beim Alx als auch bei der Pulswellengeschwindigkeit geringere Werte. Insgesamt konnte bei beiden Methoden eine statistisch signifikante, lineare Korrelation bezüglich des Alx nachgewiesen werden. Dieser Zusammenhang fand sich bei Messungen der Pulswellengeschwindigkeit nicht. Ein „follow-up“ der Studie wurde mit 48 der ursprünglich 92 Probanden beendet und brachte folgende Ergebnisse: Eine Zunahme der Pulswellengeschwindigkeit, gemessen mit der tonometrischen Methode PulsePen, steht in Zusammenhang mit der kardiovaskulären Mortalität. Für Alx (gemessen mit beiden Systemen) und Pulswellengeschwindigkeit, gemessen mit der oszillometrischen Methode Arteriograph, ergab sich diese Verknüpfung nicht. Eine Vorhersage bezüglich der kardiovaskulären Mortalität kann somit mittels der tonometrisch evaluierten Pulswellengeschwindigkeit getroffen werden. Eine limitierte klinische Anwendbarkeit des Arteriograph bei Patienten unter Hämodialyse hinsichtlich der Evaluierung der Pulswellengeschwindigkeit und die damit fehlende Aussagekraft bezüglich der kardiovaskulären Mortalität, wurde von Nemcsik et al. (47) gezeigt. Die Unterschiede der Pulswellengeschwindigkeit verglichen mit PulsePen sind hier, wie bereits in vorherigen Studien erwähnt, auf eine voneinander abweichende, zugrunde liegende Theorie zur Messung der arteriellen Gefäßsteifigkeit zurückzuführen. Die gültigen Messungen des Alx mittels Arteriograph bei Patienten unter Hämodialyse sind von limitierter klinischer Relevanz, da der Alx keinen prädikativen Wert für die Voraussage der kardiovaskulären Mortalität darstellt.

Weitere Studien zu dieser Thematik an anderen Hochrisikogruppen im Hinblick auf die kardiovaskuläre Mortalität wären wünschenswert.

Die Arbeit aus 2009 von Richardson et al. (48) hatte zum Ziel, den zentralen systolischen RR über die Beurteilung der Pulswellengestalt an der A. radialis zu

ermitteln. Hierzu kam mit dem Omron HEM-9000AI eine nichtinvasive Technik zum Einsatz, die auf Basis der AT halbautomatisch den peripheren systolischen RR an der A. radialis aufzeichnet und über diesen den zentralen systolischen RR und den Alx berechnet. Der Omron HEM-9000AI wurde gegen ein bekanntes System, den SphygmoCor, abgewogen und beide auf deren Reproduzierbarkeit evaluiert. Es ergaben sich eine starke Korrelation und eine mehrheitliche Übereinstimmung der Ergebnisse bezüglich des peripheren, systolischen RR und des Alx bei beiden Systemen. Die Beurteilung des zentralen, systolischen RR zeigte sich für Omron signifikant höher, als für die mit SphygmoCor ermittelten Ergebnisse. Auch die Reproduzierbarkeit wurde mit einer signifikanten Korrelation und mit zu vernachlässigenden Unterschieden bezüglich der Werte von Alx und zentralem systolischem RR nachgewiesen. Omron HEM-9000AI ist somit für Forschungen an einer großen Probandenanzahl geeignet, um den peripheren systolischen RR und den Alx zu ermitteln. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse mit invasiven Messungen ist notwendig, um die Genauigkeit der Einschätzung des zentralen, systolischen RR beurteilen und festsetzen zu können.

4.1.1 Methoden zur Objektivierbarkeit der Pulsdiagnostik in der TCM

In der Vergangenheit wurden verschiedene Instrumente mit dem Potential zur PWA entwickelt. Zu diesen zählen der Pulsimeter, der Sphygmomanometer, das Plethysmogramm und der „pulse pressure wave meter“. Mit der Möglichkeit einer digitalen Aufzeichnung gelangte neues Equipment auf Basis physikalischer Erkenntnisse zum Einsatz. (3)

Bereits 1986 existierten weitere Überlegungen zur Objektivierung der Pulsdiagnostik. In der dazu vorliegenden Arbeit von Yoon et al. (49) wurden 1986 unter anderem bei Schmerzpatienten drei Drucksensoren an der A. radialis, genau an den drei Pulstaststellen angebracht. Es wurde Druck auf die Sensoren ausgeübt und die absoluten Druckveränderungen aufgezeichnet.

In Relation zum RR des Patienten wurden 50 - 100 g für oberflächliche, 150 g für tiefe Pulse verwendet. Insgesamt wurden 12 Werte erhoben. Druckveränderungen wurden mit der Gegenseite verglichen und der höchste Wert als Überschuss, der geringste als Mangel interpretiert. Für valide Ergebnisse wurde bei konstanter Grundlinie eine Zeitkonstante von 0,1 Sekunden für die Messung der Amplitude der Druckveränderungen vorgesehen. Alle Messungen wurden in sitzender

Position und mit Arm in Herzhöhe durchgeführt. Die Fingerspitzen des Untersuchers übten Druck aus und wirkten so unterstützend auf stabile Druckverhältnisse. Ein Vergleich der Druckveränderungen an den 12 Punkten ergab, dass diese den Positionen – der Ebene und der Seite – nach unterschiedlich waren. Diese Veränderungen konnten mit einem intraarteriellen Katheter an der A. radialis nicht erhoben werden, was auf die anatomischen Unterschiede an den Pulstaststellen zurückgeführt werden könnte.

Shinohara und Gilula interpretierten 1989 (3) digitale Aufzeichnung der Pulswelle zur Pulsdiagnostik folgendermaßen:

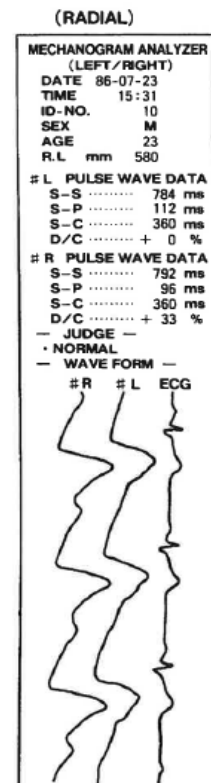
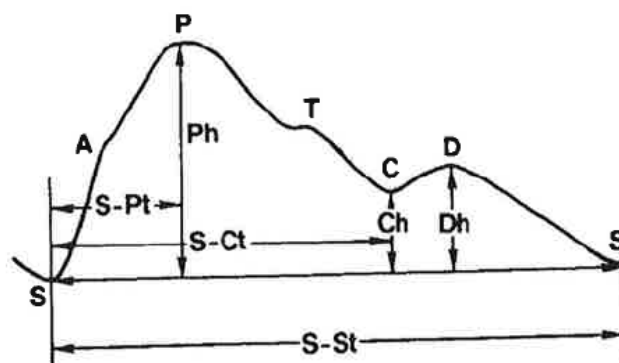


Abbildung 32: Pulswelle und automatische Aufzeichnung an der A. radialis³²

- Das S-S Intervall (Pulsintervall) zeigt die Pulsfrequenz. Der Puls ist langsam (Hinweis auf Kälte), wenn das S-S Intervall > 1200 msec und schnell (Hitzezeichen), wenn < 600 msec. Normbereich ist also zwischen 600 - 1200 msec.
- S-P Zeit und Dh/Ch % Ratio weisen auf die Pulsstärke hin. Ist die S-P Zeit ≤ 152 msec und die Dh/Ch % Ratio > 0, dann handelt es sich um einen schlüpfrigen Puls. Ist die Zeit ≥ 152 msec und die Ratio = 0, kann der Puls als verborgen/schwach bezeichnet werden.

³² Aus Shinohara K, Gilula MF. The arterial pulse analyzer as potential replacement for manual pulse palpitation in oriental medicine. Acupunct Electrother Res 1989;14(3-4):245,246

- Ph/Ch % Ratio lässt einen Schluss auf die Tiefe (oberflächlicher, tiefer/versteckter Puls) des Pulses zu. Sie wird auch als Ratio der Pulswellengröße bezeichnet.
- Die Pulsqualität (hohler, voller Puls) wird durch die Bestimmung der S-C Zeit ermittelt. Normal ist die S-C Zeit zwischen 260 – 380 msec.

Die in Abbildung 32 dargestellten Parameter gelten weitestgehend neben der A. radialis auch für die A. carotis und A. tibialis.

Hier ist noch anzumerken, dass 1989 nach Shinohara und Gilula alle hier erwähnten pathologischen Pulsformen mit TCM zu behandeln sind, mit Ausnahme der letzten Gruppe (S-C Zeit), welche, den Autoren zufolge, schulmedizinisch behandelt werden sollte (3).

Bevor eine Analyse der Pulswelle durchgeführt werden kann, wird generell ein System zur Aufzeichnung der Pulswelle benötigt, welches z.B. aus einem Sensor, ähnlich dem CTG zur Aufzeichnung fetaler Herzfrequenz in der Schwangerschaft bestehen kann. Die Aufzeichnungen werden mittels eines analog-digital Konverters in einen Computer eingespeist. Außerdem wird der Druck gemessen, während der Sensor gegen das Handgelenk gedrückt wird. (50)

Auf Basis eines „Baynesian networks“ (BN) wurde 2005 von Wang und Cheng (51) ein Zusammenhang zwischen Parametern der PWA und Pulsbildern geschaffen. Zur Aufzeichnung der Pulswelle wird ein druckabhängiger Sensor verwendet (Regulation des Drucks von 25 - 150 g möglich). Eine Datenbank mit 407 Graphiken von verschiedenen Pulswellen und von Diagnosen unterschiedlicher Pulstypen dient als Grundlage für die Beurteilung („Pulserkennungssoftware“).

Die Pulsbilder werden nach Tiefe, Breite, Länge, Frequenz, Rhythmus, Qualität und Stärke des Pulses in sieben Gruppen eingeteilt.

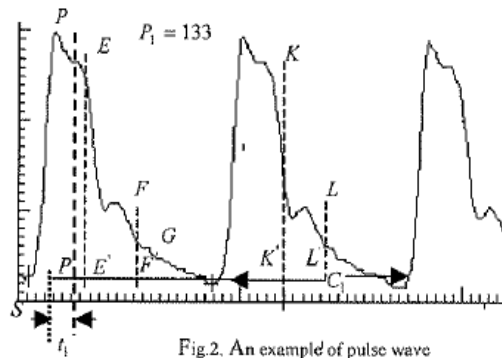


Abbildung 33: Analyse mittels BN³³

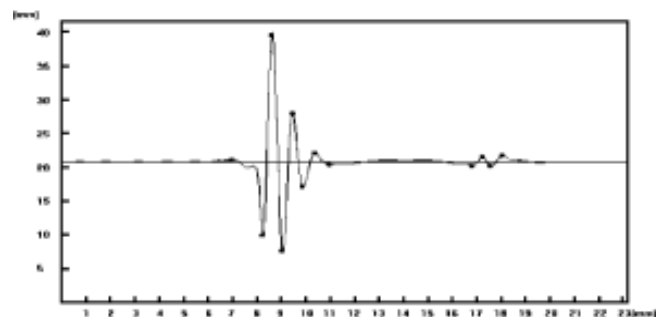
Wie Abbildung 33 zu entnehmen, kann die Tiefe des Pulses (oberflächlich oder sinkend) mittels P_1 ermittelt werden. Die Pulsfrequenz (schnell oder langsam) ist mittels C_1 zu erheben. Der Rhythmus geht aus einer Beobachtung der Regelmäßigkeit hervor. In diesem System existieren keine Parameter, die Pulsqualität (schwach oder voll) und Stärke (schlüpfrig, zögerlich, drahtig) des Pulses direkt darstellen könnten. Sie sind wesentlich abhängig von den anderen Parametern und werden aus diesen errechnet. Es gelang in 84 % der Fälle eine korrekte Zuordnung und Differenzierung der Pulsbilder. Insbesondere im Hinblick auf die Identifizierung der Frequenz und Pulsqualität kann eine hohe Rate an Vorhersagen (definiert als Verhältnis von korrekt zugeordneten Pulsbildern zu Gesamtanzahl an Pulsbildern) erreicht werden. Für Stärke, Tiefe und Rhythmus ist diese Rate geringer. Das System kann als effektiv bezeichnet werden und eventuell der leichteren Erlernbarkeit der Pulsdiagnostik dienen. Allerdings muss eine Weiterentwicklung desselben erfolgen.

Eine weitere Entwicklung in Richtung Datenbank zur Pulsdiagnostik beschreibt Lee in seiner Arbeit von 2007 (52). Mittels eines Pulswellenverarbeitungssystems werden Pulswellen, unter Kontrolle des Anpressdrucks, über ein Mikrophon an den Pulstaststellen aufgezeichnet. Weiterführend präsentiert Lee 2008 (53) ein digitales System zur Pulsdiagnostik, das einen Hochleistungsmikroprozessor auf Basis systematischer Methoden zur Pulsdiagnostik verwendet. Algorithmen für die Diagnosestellung können in sechs Bereiche eingeteilt werden. Diese sind wie folgt:

³³ Wang H, Cheng Y. A quantitative system for pulse diagnosis in Traditional Chinese Medicine. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2005;6:5676-5679

- Entdeckung signifikanter Punkte
- Kalkulation des Eigenwerts dieser signifikanten Punkte
- Übereinstimmung der Muster und Klassifikationen
- Herausarbeiten der Parameter
- Diagnose
- Transformation in Code

Hierbei wird die Pulsfrequenz als Intervall in Millimeter (mm) zur jeweils folgenden Pulswelle angegeben. Ist dieses Intervall < 15 mm wird der Puls als langsam und > 24 mm als schnell bezeichnet. Eine Unterscheidung zwischen oberflächlichem und tiefem Puls wird auf Grund des gemessenen Drucks, der Pulsstärke und den Veränderungen des Pulsdrucks berechnet. Die Amplitude dient als Anhaltspunkt für die Analyse der Größe des Pulses. Für die Zukunft ist ein Weiterführen der Studie geplant, um eine große Datenbank zum Thema Pulsdiagnostik erstellen zu können. Diese soll auf dem entwickelten System basierend über das Internet verfügbar sein.

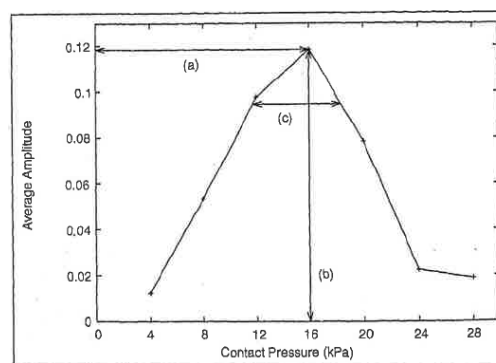


Classification	Interpretation
Compare Amplitude Size	Upper part > Lower part(Nature of Wood)
Size of Amplitude	20.74mm(Nature of Hot)
Number of Significant Tip points	6(Normal)
Pulse Interval	28.96mm(Slack pulse)
Wave Interference	Existence(Nature of Metal)
Bended wave	None

Abbildung 34: Analyse einer Pulswelle nach Lee³⁴

³⁴Aus Lee J. The systematical analysis of oriental pulse waveform: a practical approach. J Med Syst 2008;32:14

Yoon et al. entwickelten 2000 (54) ein quantitatives Schema zur Pulsdiagnostik mittels Drucksensor. Das System reguliert den Druck des Sensors auf die Haut. Der Druck wird an ein und derselben Stelle kontinuierlich erhöht. Die Amplitude des Pulses wird gemessen, während Druck auf den Sensor ausgeübt wird. Wird dieser Druck weiter angehoben, nimmt die Amplitude zuerst zu und erreicht ihr Maximum, anschließend fällt sie ab. Dieser Zusammenhang von maximaler Amplitude und Druck wird durch drei Parameter beschrieben: Durch den angebrachten Druck, bei dem die maximale Amplitude zu finden ist (Tiefe), die Höhe der Amplitude (Größe des Pulses) und die Breite des angebrachten Drucks zwischen zwei Punkten der Kurve (Pulsstärke), an denen 80 % der maximalen Amplitude erreicht werden. Diese Parameter stellen ein Schema für Pulsbilder dar, den oberflächlichen oder sinkenden, den großen oder kleinen und den leeren oder vollen Puls. Wie in Abbildung 35 ersichtlich werden nach diesem Schema die Tiefe des Pulses mit a), die Größe des Pulses mit b) und die Pulsstärke mit c) dargestellt.



1. The three pulse characteristics based on contact-pressure dependence: (a) degree of pulse floating, (b) degree of pulse size, and (c) degree of pulse strength.

Abbildung 35: Charakteristiken des Pulses, abhängig vom Anpressdruck³⁵

Da der Puls an der A. radialis auch mittels Dopplersonographie gemessen werden kann, machten sich Chen und Clarke 2001 (55) dies zunutze, um mittels eines 12 - 15 MHz Sensors und einer Dopplerfrequenz von 6 MHz den Puls an der A. radialis ein bis zwei Millimeter distal des Processus styloideus den Puls zu messen. Die Studie wurde an Frauen durchgeführt, mit dem Ziel, die Veränderungen des Blutflusses in der A. radialis während einer Schwangerschaft

³⁵ Aus Yoon YZ, Lee MH, Soh KS. Pulse type classification by varying contact pressure. IEEE Eng Med Biol Mag 2000;19(6):106

zu ermitteln, der ursächlich für den in der Schwangerschaft vorhandenen physiologischen „weichen Puls“ ist. Einige Doppler-Parameter zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen graviden und nicht schwangeren Frauen. Bei den nicht schwangeren Frauen konnte dies in 100 % über den Puls vorhergesagt werden, bei den Schwangeren mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit von 93,1 %. (55)

Shu und Sun machten sich 2007 in ihrer Arbeit (56) zum Ziel, eine Klassifikation der Pulsdiagnostik in der TCM zu entwickeln und die Pulsdiagnostik somit zu objektivieren. Um Pulsbilder objektiv betrachten und interpretieren zu können stellen sie vier Kriterien vor. Diese sind die Wellenlänge, der relative Phasenunterschied, die Geschwindigkeit und die Peak-Ratio. Die daraus entstehende quantitative Klassifikation reduziert einerseits die Abhängigkeit der Pulsdiagnostik von der subjektiven Erfahrung und ermöglicht eine präzise Beurteilung pathologischer Pulsbilder und der Pulstaststellen Chi, Guan und Cun. Mittels Drucksensor, der am Handgelenk in den entsprechenden Positionen angebracht und mit einem Band fixiert wird, erfolgt die Aufzeichnung der Pulswelle. Eine RR-Manschette dient zusätzlich der Aufrechterhaltung des Drucks, der auf den Sensor ausgeübt wird. Über einen analog-digital Konverter wird die Pulswelle registriert. Daraus ergaben sich in der vorliegenden Arbeit 13 Pulsbilder (Abbildung 36).

1. **Normal Pulse, *Ping Mai*:** A normal pulse with smooth, even, forceful, and frequency (between 60–90 beats per minute).



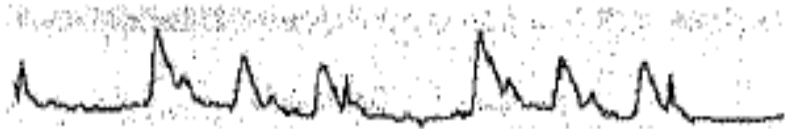
2. **Slow Pulse, *Chi Mai*:** A pulse with reduced frequency (less than 60 beats per minute), usually indicating endogenous cold.



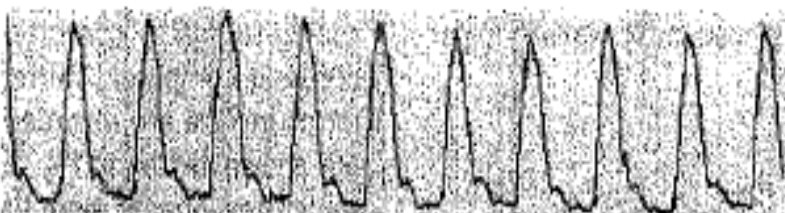
3. **Hurried Pulse, *Chi Mai*:** A rapid pulse with irregular intermittence, often due to excessive heat with stagnation of Qi and blood, or retention of phlegm or undigested food.



4. **Intermittent Pulse, *Da Mai*:** A slow pulse pausing at regular intervals, often occurring in exhaustion of Zang-Fu organs, severe trauma, or being seized by terror.



5. **Surging Pulse, *Hong Mai*:** A pulse beating like dashing waves with forceful rising and gradual decline, indicating excessive heat.



6. **Slippery Pulse, *Hua Mai*:** A pulse like beads rolling on a plate, found in patients with phlegm-damp or food stagnation, and also in normal persons. A slippery and rapid pulse may indicate pregnancy.



Figure 1 The 13 Chinese pulse waveforms and their descriptions.

7. **Knotted Pulse, *Jie Mai***: A slow pulse pausing at irregular intervals, often occurring in stagnation of Qi and blood.



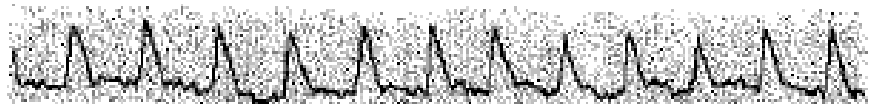
8. **Soggy Pulse, *Ju Mai***: A superficial, thin, and soft pulse which can be felt on light touch like a thread floating on water, but grows faint on hard pressing, indicating deficiency conditions or damp retention.



9. **Choppy Pulse, *Se Mai***: A pulse coming and going choppy with small, fine, slow, joggling waves like scraping bamboo with a knife, indicating sluggish blood circulation due to deficiency of blood or stagnation of Qi and blood.



10. **Rapid Pulse, *Shuo Mai***: A pulse with increased frequency (more than 90 beats per minute), usually indicating presence of heat.



11. **Fine Pulse, *Xi Mai***: A pulse felt like a fine thread, but always distinctly perceptible, indicating deficiency of Qi, blood, or other deficiency states.



12. **Wiry Pulse, *Xian Mai***: A pulse that feels straight and long, like a musical instrument string, usually occurring in liver and gallbladder disorders or severe pain.



13. **Wiry & Slippery Pulse, *Xian-Niao Mai***: A pulse with the characteristics of Wiry and Slippery Pulses existing simultaneously.



Figure 1 (Continued).

Abbildung 36: 13 Pulsbilder und deren Beschreibung, im Original³⁶

³⁶ Shu JJ, Sun Y. Developing classification indices for Chinese pulse diagnosis. Complement Ther Med 2007;15(3):191

Einer Pulswelle werden nun verschiedene Parameter zugeordnet um sie zu klassifizieren. Eine normale Pulscurve kann als Summe der vorwärts und rückwärts laufenden Welle betrachtet werden. Die initiale Welle wird durch die Parameter $f(t/\alpha, \beta, 0)$ und die reflektierte Welle durch $f(t/\alpha, \beta, \Delta)$ beschrieben. A und B bezeichnen die Amplituden der vorwärts- und rückwärts laufenden Welle. Δ ist die Zeitverzögerung zwischen den beiden Anteilen der Pulswelle. Die Parameter beschreiben ihrerseits Charakteristiken der Pulse, indem sie die einzelnen Pulsbilder erkennen. Ob ein Puls schnell oder langsam ist, wird durch die Länge der Pulswelle bestimmt. Dies kann leicht ermittelt werden. Die anderen Pulsbilder werden durch den Wert Δ/L klassifiziert, wobei Δ/L die Phasendifferenz zwischen der initialen und der reflektierten Welle darstellt. Feine Pulse werden hier gut erkannt. Für weitere Pulsbilder ist der Parameter β notwendig. Mit Ausnahme des drahtigen und des intermittierenden Pulses (diese werden durch Untersuchung von A/B ermittelt) können die anderen Pulsbilder (knotig, übertragen, unruhig, schlüpfzig, schnell und schleimig) erfasst werden. (56)

Eine kaum abweichende Variante, die PWA auf die Pulsdiagnostik in der TCM anzuwenden, wird in „Chinesische Pulsdiagnostik“ von Yuan erwähnt. Die ebenfalls mittels Drucksensor ermittelte Pulswelle wird als Pulsdiagramm ausgedruckt. Auf Basis der Gestalt der Pulscurve, der Zacken und Wellen sowie deren Beziehung kann auf die einzelnen Pulsbilder geschlossen werden. Drei Zacken und zwei Kerben sowie deren Verhältnis zueinander definieren das „normale“ Pulsintervall. Somit kann aus Pulsform und Frequenz unterstützend das Pulsbild ermittelt werden. (1)

5 Diskussion

Es scheinen für die „klassische PWA“ mehrere, durchaus gleichwertige Systeme zu existieren, mit denen die arterielle Gefäßsteifigkeit über die Parameter Alx, Pulswellengeschwindigkeit und zentraler RR ermittelt werden kann. In der Arbeit von Weber et al. (4) wird die klinische Bedeutsamkeit im Hinblick auf Einschätzbarkeit eines möglichen Endorganschadens und auch die Wichtigkeit der Pulswellengeschwindigkeit als Risikofaktor für kardiovaskuläre Ereignisse diskutiert. Diese Parameter stellen gemäß der zugrunde liegenden Literatur eine positive Entwicklung in Richtung Früherkennung kardiovaskulärer Erkrankungen dar.

Sowohl Geräte, die auf Basis der AT funktionieren, als auch oszillometrische Methoden könnten für die PWA verwendet werden, ebenso wie Systeme auf piezoelektrischer Grundlage. Die Dopplersonographie stellt neben der photoelektrischen Pulsplethysmographie eine weitere Möglichkeit dar, über eine Visualisierung der Pulswelle oben genannte Parameter zu ermitteln. Jedes einzelne System bietet Vor- und Nachteile. Vergleiche der einzelnen Geräte untereinander zeigen nahezu identische Ergebnisse bezüglich Alx (mit Complior nicht ermittelbar) und Pulswellengeschwindigkeit (siehe Kapitel 4). (19,29,30,33,48,49)

Ein Problem stellt möglicherweise die Tatsache dar, dass in den vorliegenden Studien für SphygmoCor, Complior und Arteriograph, mit Ausnahme des Vergleichs von Ergebnissen des PulsePen mit invasiven Messresultaten nach Salvi et al. (33) von 2004, keine Evaluierung der Geräte gegen invasive Messungen erfolgt. Inwiefern die Ergebnisse somit klinisch (als Risikofaktoren für kardiovaskuläre Ereignisse) relevant sind, ist fraglich und es bedarf hierzu weiterer Studien. Wie diese ablaufen könnten, zeigt die oben erwähnte Arbeit von Salvi et al (33). In der aus zwei Teilen bestehenden Studie werden Aufzeichnungen der Pulswelle mittels PulsePen mit intraarteriellen Messungen verglichen, mit der Erkenntnis, dass der PulsePen eine geeignete Methode zur Ermittlung des zentralen aortalen Drucks und der aortalen Pulskurve darstellt. Nemcsik et al. (47) evaluierten im Jahre 2009 in weitere Folge den PulsePen gegen den Arteriograph mit dem Resultat, dass nur die mittels PulsePen ermittelte

Pulswellengeschwindigkeit (nicht der Alx) ein geeigneter Parameter für die Voraussage kardiovaskulärer Mortalität darstellt (nicht jedoch gemessen mit Arteriograph).

Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass der Arteriograph für die PWA, mit dem Hintergrund die kardiovaskuläre Mortalität zu verbessern, nicht geeignet bzw. klinisch nur eingeschränkt anwendbar ist. PulsePen stellt mit der gemessenen Pulswellengeschwindigkeit eine geeignete Methode im Vergleich zu intraarteriellen Messungen dar. Die Überlegung, ob auch andere auf der Methode der AT basierende Systeme gleiche Ergebnisse liefern würden, ist durchaus berechtigt, nichts desto trotz wären aber auch hier weitere Studien sinnvoll.

Die Frage, welche Systeme sich für die medizintechnische Objektivierbarkeit der Pulsdiagnostik in der TCM eignen würden, bleibt zu klären.

In erster Linie muss es möglich sein, die Pulsdiagnostik an der A. radialis an den Positionen Cun, Guan und Chi in jeweils zumindest zwei Ebenen zu simulieren. Dazu muss über einen Sensor die Ausübung von Druck möglich sein. Stellt man diesen Anspruch, kommt eine oszillometrische Methode wie der Arteriograph nicht in Frage, da die Messung über einen sich in einer Oberarmmanschette befindlichen Sensor erfolgt. (19,29,30)

In der bereits zuvor erwähnten Arbeit (siehe Kapitel 3.1.5) von Zhoa und Small, 2005 (42) zur Eventualität der Pulswellenermittlung an digitalen Arterien mittels photoelektrischen Systems, würde diese einfache Methode der Analyse durchaus eine Alternative für die PWA darstellen. Für die Pulsdiagnostik in der TCM scheint sie nicht geeignet, da zwar eine Aufzeichnung der Pulswelle erfolgt, jedoch keine Differenzierung im Hinblick auf die einzelnen Pulstaststellen und die getastete Ebene an der A. radialis möglich ist.

In Peking/China bereits angeboten und angewandt, kann davon ausgegangen werden, dass sich insbesondere die AT, ebenso wie die Ermittlung der Pulswelle über Ultraschall, für die Pulsdiagnostik in der TCM eignen (siehe Kapitel 3.1.7). (46)

Theoretisch eignen sich nicht nur die in China angebotenen Apparate dafür, vielmehr könnte demnach die Möglichkeit der Aufzeichnung mittels weiterer auf AT basierender Systeme - SphygmoCor, PulsePen, Omron HEM-9000AI - sowie PulseTrace (Methode mit Ultraschallsensor) hinzugefügt werden.

Um eine präzise Messung durchführen zu können, wird zusätzlich ein System zur Fixierung des Sensors benötigt, welches sowohl bei den von Beijing Lotus Biotechnologies angebotenen Systemen als auch bei Omron HEM-9000AI der Fall ist. Für SphygmoCor, PulsePen und PulseTrace (aufgrund des „kugelschreiberartigen“ Sensors) scheint eine Fixierung leicht realisierbar (siehe Abbildungen der unter Kapitel 3.1.7/Tabelle 9, der Firma Beijing Lotus Biotechnologies dargestellten Halterungen).

Ein weiterer Anspruch wird an die leichte Handhabbarkeit und die Möglichkeit der Durchführung ohne Hilfskraft gestellt. Dies sollte mit nahezu allen erwähnten Systemen möglich sein. Insbesondere die AT soll der Arbeit aus 2010 von Nelson et al. (18) zufolge wesentliche Vorteile bringen. In diesem Zusammenhang wären neben leichtem Handling eine gute Realisierbarkeit im klinischen Alltag und ein verbesserter Untersuchungskomfort für den Patienten zu nennen.

Wie könnte nun eine Interpretation der mit medizintechnischem Equipment wie Omron HEM-9000AI, PulsePen oder PulseTrace visualisierten Pulswelle aussehen?

In den vorliegenden Arbeiten, diese Thematik betreffend (4.1.1), werden verschiedene Ansätze zur Interpretationsmöglichkeit geliefert. Shu und Sun stellten beispielsweise 2007 in ihrer Arbeit (56) vier Kriterien vor, die es ermöglichen, Pulsbilder objektiv zu betrachten und zu interpretieren (Wellenlänge, relativer Phasenunterschied, Geschwindigkeit und Peak-Ratio).

Außerdem existieren Softwareprogramme, als Beispiel kann hier das System „BN“, beschrieben von Wang und Cheng 2005 (51) angeführt werden, die in den Geräten der Firma Beijing Lotus Biotechnologies integriert, eine Interpretation verschiedener Parameter und somit einiger Pulsbilder ermöglichen (siehe auch Kapitel 4.1.1).

In Anlehnung an die unter Kapitel 4.1.1 zusammengefassten Arbeiten könnte es durchaus möglich sein, Messungen mit Systemen, die keines dieser Softwareprogramme beinhalten und den Versuch einer eigenen Interpretation, zu realisieren.

Abschließend bleibt anzumerken, dass aufgrund vielversprechender Ansätze und guter Ergebnisse hinsichtlich Zuverlässigkeit, Gültigkeit und Reproduzierbarkeit,

die Durchführung von Messungen im Hinblick auf Objektivierbarkeit der Pulsdiagnostik in der TCM richtig scheint.

Da jedoch für komplexere Pulsbilder (bezugnehmend auf die vorliegenden Arbeiten) noch nicht die Möglichkeiten gegeben sind, die visualisierten Pulswellen bis ins Detail zu beurteilen, sollte diese moderne Methode der Meinung der Autorin nach lediglich zur Unterstützung bei der Pulsdiagnostik dienen. Die Überlegungen, diese modernen Methoden einzusetzen um einheitliche Definitionen der Pulsbilder und standardisierte Untersuchungsverfahren entwickeln zu können, klingen vielversprechend und könnten in Zukunft auf eine positive Entwicklung, eine einheitliche Klassifikation der Pulsbilder und die Entwicklung einer „objektiveren“ Pulsdiagnostik betreffend, in Zukunft hinweisen.

6 Literaturverzeichnis

1. Yuan H. Chinesische Pulsdiagnostik. 2. Auflage. Urban&Fischer Verlag, München 2009.
2. King E, Cobbin D, Walsh S, Ryan D. The reliable measurement of radial pulse characteristics. *Acupunct Med* 2002;20(4):150-159.
3. Shinohara K, Gilula MF. The arterial pulse analyzer as potential replacement for manual pulse palpitation in oriental medicine. *Acupunct Electrother Res* 1989;14(3-4):235-252.
4. Weber T, Eber B, Zweiker R, Horn S, Sock S, Grüner P, Pichler M, Mayer G, Eisserer G, Magometschnigg D, Illyes M. Pulswellengeschwindigkeit, zentraler Blutdruck und Augmentationsindex – „neue“ Parameter zur Beschreibung eines Endorganschadens der arteriellen Strombahn bei Hypertonie. *J Hyperton* 2008;12(1):7-13.
5. Pschyrembel. Klinisches Wörterbuch. 259. Auflage. Walter de Gruyter, Berlin, New York 2002:1386.
6. Silbernagel S, Lang F (Hrsg.). Taschenatlas der Pathophysiologie. 2. Auflage. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, New York 2005:176-179.
7. Golenhofen S. Basislehrbuch Physiologie – Lehrbuch, Kompendium, Fragen und Antworten. 3. Auflage. Urban&Fischer Verlag, München 2004:210-217, 236-245.
8. Klinker R, Pape HC, Kurtz A, Silbernagel S (Hrsg.). Physiologie. 6. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2009:174-215.
9. Siegenthaler W, Blum HE (Hrsg.). Klinische Pathophysiologie. 9. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2006:697-701.
10. Hartmann M, Pabst MA, Schmied R, Caluba HC, Dohr G. Zytologie, Histologie und Mikroskopische Anatomie. 2. Auflage. Facultas Verlags-und Buchhandels AG, Graz 2003.
11. Wilkinson IB, Cockcroft JR, Webb DJ. Pulse wave analysis and arterial stiffness. *J Cardiovasc Pharmacol* 1998;32(S3):S33-37.
12. Nürnberger J, Mitchell A, Wenzel RR, Philipp T, Schäfer RF. Pulswellenreflexion. *Dtsch Med Wochenschr* 2003;128:97-110.
13. Nichols WW. Clinical measurement of arterial stiffness obtained from noninvasive pressure waveforms. *Am J Hypertens* 2005;18:3S-10S.

14. Kelly R, Hayward C, Avolio A, O'Rourke M. Noninvasive determination of age-related changes in the human arterial pulse. *Circulation* 1989;80:1652 – 1659.
15. O'Rourke M, Gallagher D. Pulse wave analysis. *J Hypertens* 1996;14(5):147-157.
16. Schmidt R, Lang F (Hrsg.). *Physiologie des Menschen – mit Pathophysiologie*. 30. Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 2007:624-629.
17. Wilkinson IB, Fuchs SA, Jansen IM, Spratt JC, Murray GD, Cockcroft JR, Webb DJ. Reproducibility of pulse wave velocity and augmentation index measured by pulse wave analysis. *Am J Hypertens* 1998;16:2079-2084
18. Nelson MR, Stepanek J, Cevette M, Covalciuc M, Hurst RT, Tajik AJ. Noninvasive Measurement of central vascular pressures with arterial tonometry: clinical revival of the pulse pressure waveform? *Mayo Clin Proc* 2010;85(5):460-472.
19. Rickert SK. Vergleich einer neuen oszillometrischen versus einer etablierten tonometrischen Methode zur Bestimmung der arteriellen Gefäßsteifigkeit. Dissertation an der hohen medizinischen Fakultät der rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn 2007.
20. Maciocia G. *Grundlagen der chinesischen Medizin*. 2. Auflage. Urban&Fischer Verlag, München 2008.
21. Dorfer, Jan, Richter, Url. Prüfungsvorbereitungsskript. © OGKA 2010.
22. Ni M. *Der gelbe Kaiser - Das Grundlagenwerk der Traditionellen Chinesischen Medizin*. 2 Auflage. Fischer Taschenbuchverlag, Frankfurt 2008:93-120.
23. Trinh TQ. *Taschenatlas Pulsdiagnostik - Puls und Pathologie der praktischen TCM*. Hippokrates Verlag, Stuttgart 2004.
24. Thews F. *Pulsdiagnosen nach TCM Regeln - Pulsgruppen, Pulsbilder und Detaildeutung*. Hippokrates Verlag, Stuttgart 2004.
25. King E, Walsh S, Cobbin D. The testing of classical pulse concepts in Chinese medicine: Left- and right – hand pulse strenght discrepancy between males and females and its clinical implications. *J Alternative and Compl Med* 2006;12(5):445-450.
26. King E, Cobbin D, Ryan D. The reliable measurement of radial pulse: gender differences in pulse profiles. *Acupunct Med* 2002;20(4):160-167.

27. Tyan CC, Liang WM, Shy HY, Kuo HW, Lin JG, Chen HW, Chen JJ. How to standardize 3 finger positions of examiner for palpating radial pulses at wrist in traditional Chinese medicine. *Acupunct Electrother Res* 2007;32(1-2):87-96.
28. O'Rourke MF, Seward JB. Central arterial pressure and arterial pressure pulse: new view entering the second century after Korotkov. *Mayo Clin Proc* 2006;81(8):1057-1068.
29. Baulmann J, Schillings U, Rickert S, Uen S, Düsing R, Illyes M, Cziraki A, Nickening G, Mengden T. A new oscillometric method for assessment of arterial stiffness: comparison with tonometric and piezo – electronic methods. *J Hypertens* 2008;26:523-528.
30. Rajzer MW, Wojciechowska W, Klocek M, Palka I, Brzozowska – Kiszka M, Kawecka – Jaszcz K. Comparison of aortic pulse wave velocity measured by three techniques: Complior, SphygmoCor and Arteriograph. *J Hypertens* 2008;26:2001-2007.
31. <http://atcormedical.com/sphygmocor.html>, 28.08.2010.
32. <http://www.omronhealthcare.com/products/augmentation-index-pulse-wave-analysis>, 31.07.2010.
33. Salvi P, Lio G, Ricci E, Pannier B, Benetos A. Validation of a new non – invasive portable tonometer for determining arterial pressure wave and pulse wave velocity: the PulsePen device. *J Hypertens* 2004;22:2285-2293.
34. www.pulsepen.com, 31.08.2010.
35. http://www.acutronicms.at/newsletter/pdf/Klinische_INFO_Blutdruckmessung.pdf, 24.07.2010.
36. http://www.tensiomed.com/download/man_tl_en.pdf, 28.08.2010.
37. http://www.piezocryst.com/piezoelectric_sensors_de.php, 24.07.2010.
38. <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Piezo.html>, 29.07.2010.
39. <http://www.micromedical.co.uk/downloads/pdf/pulse2.pdf>
<http://www.micromedical.co.uk/downloads/pdf/pulsetracepwv.pdf>, 31.08.2010.
40. <http://www.gefaesschirurgie-wismar.de/ppg.php5>, 10.08.2010.
41. http://www.medis-de.com/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=63, © 2010 medis, 10.08.2010.
42. Zhao Y, Small M. Equivalence between „feeling the pulse“ on the human wrist and pulse pressure wave at fingertip. *Int J Neural Syst* 2005;15(4):277-286.

43. Wörz E, Pauschinger P. Zur Sphygmographie mit kapazitiven Pulsabnehmern. *MedWelt* 1980;31(20):739-742.
44. Rafolt D, Moser M, Gallasch E, Kenner T. Neue optische, mechanische und optomechanische Pulssensoren für die nichtinvasive Pulskurvenaufzeichnung an den Akren und großen Arterien. *Biomed Tech* 1992;57(1):167-169.
45. Wießpeiner G, Moser H. Neue optoelektronische Sensoren zur Pulsmessung. *Biomed Tech* 1990;35:127-128.
46. http://www.tcmpulse.com/Pulse_diagnosis_device_detail.html, 31.08.2010.
47. Nemcsik J, Egresits J, Othmane TEH, Fekete BC, Fodor E, Szabò T, Jàrai Z, Jekkel C, Kiss I, Tislèr A. Validation of Arteriograph – a new oscillometric device to measure arterial stiffness in patients on maintenance haemodialysis. *Kidney Blood Press Res* 2009;32:223-229.
48. Richardson CJ, Maki-Petaja KM, McDonnell BJ, Hickson SS, Wilkinson IB, McEniery CM. Comparison of estimates of central systolic blood pressure and peripheral augmentations index obtained from the Omron HEM-9000AI and SphygmoCor systems. *Artery Res* 2009;3(1):24-31.
49. Yoon SH, Koga Y, Matsumoto I, Ikezono E. An objective method of pulse diagnosis. *Am J Chin Med* 1987;15(3-4):147-153.
50. Lukman S, He Y, Hui SC. Computational methods for Traditional Chinese Medicine: a survey. *Comput Methods Programs Biomed* 2007;88:283-294.
51. Wang H, Cheng Y. A quantitative system for pulse diagnosis in Traditional Chinese Medicine. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2005;6:5676-5679.
52. Lee J. The study on the intellectual analysis algorithm for oriental pulse parameters. *J Med Syst* 2007;31:345-349.
53. Lee J. The systematical analysis of oriental pulse waveform: a practical approach. *J Med Syst* 2008;32:9-15.
54. Yoon YZ, Lee MH, Soh KS. Pulse type classification by varying contact pressure. *IEEE Eng Med Biol Mag* 2000;19(6):106-110.
55. Chen DN, Clarke J. Analysis of a clinical sign in traditional Chinese medicine using Doppler ultrasound. *Australas Radiol* 2001;45(4):452-456.
56. Shu JJ, Sun Y. Developing classification indices for Chinese pulse diagnosis. *Complement Ther Med* 2007;15(3):190-198.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Magdalena Humenberger
Geburtsdatum: 10.12.1984
Geburtsort: Linz (OÖ)
Studienadresse: Hafnerriegel 16; 8010 Graz
Familienstand: ledig
Emailadresse: magdalena_humenberger@gmx.at



Ausbildung:

Seit 10/2004 Studium der Humanmedizin
an der Medizinischen Universität Graz
Abschluss 1. Studienabschnitt im Juli 2005
Abschluss 2. Studienabschnitt im September 2009
Seit 10/2009 Absolvierung des 3. Studienabschnitts
Voraussichtlicher Studienabschluss 10/2010

2003 – 2004 2 Semester Studium der Sozialwirtschaft,
Johannes Kepler Universität Linz

06/2003 Reifeprüfung am BRG Hamerlingstraße, Linz mit
Auszeichnung bestanden

1999 – 2003 BRG Hamerlingstraße, Linz

Famulaturerfahrung und praktische Ausbildung:

2006 Famulatur an der Abteilung für Onkologie im Krankenhaus der
Kreuzschwestern Wels (4 Wochen)

2007 Famulatur an der Klinik für Psychosomatik und Psychotherapie
in Bad Aussee (4 Wochen)

2007 Famulatur an der Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe im
Krankenhaus der barmherzigen Schwestern Wels (2 Wochen)

2008 Famulatur an der Abteilung Pädiatrie in der Landesfrauen und
Kinderklinik Linz (2 Wochen)

2009 Famulatur an der Abteilung für Palliativmedizin im
Universitätsklinikum Graz (4 Wochen)

- 2009 Famulatur an der Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe am Central Hospital of Windhoek, Namibia (4 Wochen)
- 2009 Praktisches Jahr an der Abteilung für Urologie im Universitätsklinikum Graz (10 Wochen)
- 2009/2010 Praktisches Jahr an der Abteilung für Innere Medizin am LKH Graz West (10 Wochen)
- 2010 Praktisches Jahr in der Lehrpraxis für Allgemeinmedizin von Frau Dr. Kouba – Fechter, Graz (5 Wochen)
- 2010 Praktisches Jahr an der Abteilung für Gynäkologie im Krankenhaus der BHB Graz Marschallgasse (5 Wochen)
- 2010 Famulatur an der Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe im Krankenhaus Policlinico, Catania/Italien (4 Wochen)

Studienbegleitende Tätigkeiten:

- Sommersemester 2010 Gruppenselbsterfahrung im Ausmaß von 30 Stunden
- Sommer 2003 – 2008 jeweils 3 – 4 Wochen Mitarbeit in der Pflege des Bezirksalten- und Pflegeheims 4063 Hörsching

Studienbegleitende Ausbildung und spezielle Studienmodule:

- Klinisch topographische Anatomie der Extremitäten
- Pathobiochemie des Bindegewebes
- Case – based learning in Theorie und Praxis
- Stationäre Psychosomatik und Psychotherapie: Krankheitsbilder und Therapieansätze, Bad Aussee
- Arzneipflanzen und andere Therapieformen in der TCM – Einführung
- Basic Medical English I und II
- Basic Medical communication I
- Sonographie in der Inneren Medizin
- Praxisnahe Schmerztherapie I
- Phantomübungen für Anästhesiologie und Notfallmedizin
- Akupunktur I und II

Besondere Kenntnisse:

Zusatzausbildungen:

- Ärztekammerdiplom für Ernährungsmedizin an der OAIE (Abgeschlossen 02/2010)
- In Ausbildung zum Ärztekammerdiplom für Akupunktur an der OGKA Graz seit 03/2009 (Voraussichtlicher Abschluss 10/2010)

Sprachen:

Englisch	Sehr gut in Wort und Schrift
Französisch	Grundkenntnisse
Italienisch	Grundkenntnisse

Persönliche Interessen:

Sport und Meditation	Schifahren, Wandern, Yoga, Qi - Gong
Musik	Gesang, Klavier, Gitarre
Reisen	