

Aus dem Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin  
der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Veränderungen der vaskulären Funktionsfähigkeit der Hände bei einer  
Patientengruppe mit einem vibrationsbedingten vasospastischen Syndrom (VVS)

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Medizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Arman Simon Albrecht  
aus Gießen

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher

Vorstand:

Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

1. Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Stephan Letzel

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

Widmung

Ich widme diese Arbeit meiner Mutter, meinem, meiner Schwester und meiner  
Nichte.

Auch meiner Tante, meinem Onkel, meinem Opa, meinem Onkel und meinem Onkel  
gilt diese Widmung.

Weiterhin gilt diese Widmung.

## Inhalt

---

1	Einleitung und Ziel der Dissertation.....	1
2	Zielsetzung und Fragestellung.....	3
3	Literaturdiskussion .....	4
3.1	Das vibrationsbedingte vasospastische Syndrom (VVS) .....	4
3.2	Pathogenese und Pathophysiologie.....	5
3.3	Veränderung der Gefäße durch Vibrationen auf mikroskopischer Ebene .....	8
3.4	Grenzwerte und Richtlinien für Vibrationen .....	10
3.5	Epidemiologie und auslösende Faktoren.....	11
3.6	Risikofaktoren für ein VVS.....	13
3.7	Stockholm Workshop Scale .....	14
3.8	Klinische Charakteristika .....	15
3.9	Auswirkungen eines VVS auf betroffene Patienten.....	16
3.10	Therapie und Reversibilität der Symptome.....	17
3.11	Diagnostik .....	18
3.11.1	Finger systolic blood pressure (FSBP).....	19
3.11.2	Kapillarmikroskopie des Nagelfalzes.....	20
3.11.3	Motorische Leistungsserie (MLS).....	20
4	Material und Methoden .....	22
4.1	Patientenkollektiv.....	22
4.2	Anamnese .....	22
4.3	Klinische Untersuchungen.....	23
4.3.1	Körperliche Untersuchung .....	23
4.3.2	Kälteprovokationstest (KPT) .....	23
4.4	Labor .....	26
4.5	Statistische Auswertung .....	27

4.5.1	Lagemaße .....	27
4.5.2	Boxplot.....	27
4.5.3	Korrelationskoeffizient R und p-Wert.....	28
4.5.4	Regressionsanalyse.....	28
4.5.5	Varianzanalyse (globaler F-Test) .....	29
5	Ergebnisse.....	31
5.1	Soziodemografische Angaben .....	31
5.1.1	Alter .....	31
5.1.2	Geschlechterverteilung .....	32
5.2	Anzahl der Begutachtungen pro Patient .....	32
5.3	Anamnese .....	33
5.3.1	Tätigkeit.....	33
5.3.2	Expositionsdauer.....	34
5.3.3	Expositionskarenz.....	35
6	Krankengeschichte und Beschwerden .....	36
6.1	Dauer der Weißfingerattacken (WFA).....	36
6.2	Untersuchung der Fingertemperatur .....	37
6.3	Händigkeit .....	39
6.3.1	Stockholm Workshop Scale.....	40
6.4	Vegetative Anamnese und Rauchverhalten .....	41
7	Untersuchungsbefunde.....	43
7.1	Auswirkung des Raucherstatus auf die VVS-Symptomatik.....	43
7.2	Auswirkungen der Expositionskarenz .....	45
7.3	Weitere mögliche Korrelationen .....	45
7.4	Progredienz oder Reversibilität der VVS-Symptomatik.....	46
7.4.1	Abstand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung .....	46
7.4.2	Expositionsdauer.....	47
7.4.3	Expositionskarenz.....	48

7.4.4	t-Test für gepaarte Stichproben.....	51
7.5	Regressionsanalyse .....	53
	Häufigkeitstabelle der Differenzen .....	53
7.5.1	Korrelationen.....	54
7.5.2	Regressionsmodell für die linke Hand.....	54
7.5.3	Regressionsmodells für die rechte Hand .....	58
7.6	Temperaturdifferenz .....	59
7.7	Gutachterliche Bewertung .....	60
	Minderung der Erwerbsfähigkeit.....	60
8	Diskussion .....	62
8.1	Einfluss der unabhängigen Variablen .....	63
8.1.1	Einfache Korrelationsuntersuchungen .....	63
8.1.2	Einfluss unabhängigen Variablen auf die Fingertemperatur .....	63
8.2	Reversibilität oder Verschlechterung der VVS-Symptomatik bei den Gutachtenpatienten .....	64
8.2.1	Korrelationsuntersuchung zwischen der Expositionsdauer und der Fingertemperatur.....	64
8.2.2	Reversibilität oder Verschlechterung der VVS-Symptomatik .....	65
8.3	Limitationen der Studie.....	66
8.4	Ausblick.....	67
8.4.1	Prävention .....	67
8.4.2	Dosimetrie per Smartwatch .....	68
8.4.3	Aussichten für die Zukunft .....	69
9	Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit.....	71
10	Zusammenfassung.....	73
11	Literaturverzeichnis.....	76
12	Anhang .....	82
12.1	Tabellen aus SPSS.....	82

13	Danksagung .....	95
14	Lebenslauf .....	96

## Abbildungen

---

Abbildung 1: Weißfingerattacke (Hand Arm Vibration Syndrome – Causes and Prevention NASP AUGUST 16, 2018 NEWSLETTER). .....	2
Abbildung 2: Gestörtes Gleichgewicht zwischen Vasokonstriktion und Vasodilatation durch Vibrationsexposition (eigene Darstellung). .....	7
Abbildung 3: Verschlechterte akrale Perfusion bei einem VVS. A stellt den normalen Blutfluss in der Hand dar. Teilbereich B zeigt das Weißwerden der Fingerspitzen durch Vasospasmen. Die eng gestellten akralen Gefäße führen zum zyanotischen Bild beim VVS (blaue Finger bei C) (Palmer und Collin 1993). .....	8
Abbildung 4: Dargestellt sind 0,5 bis 2 µm große Regionen des Arterienendothels und dem Bereich der Membrana elastica interna (IEM – internal elastic membrane) unter verschiedenen Frequenzen. Es handelt sich um Präparate aus Rattenschwänzen. Angefärbt sind diese mit Toluidinblau. Bei den Frequenzen 120 und 60 Hz zeigt sich eine Zunahme an Vakuolen (schwarze Pfeile in Bild B und C). Bei 800 Hz ist eine Fehlausrichtung/Dislokation der IEM zu erkennen. Sie ist entweder gebrochen und überlagert oder fehlt gänzlich. Bild A (sham) zeigt eine Kontrollprobe ohne Vibrationsexposition. (Palmer und Collin 1993). .....	9
Abbildung 5: Veranschaulichung der Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei Einwirkungsrichtungen x, y und z (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [BAuA] 2023). .....	10
Abbildung 6: Formel zur Berechnung des Vibrationsgesamtwerts (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat 2015). .....	11
Abbildung 7: Angezeigte und anerkannte Fälle der BK-Nr. 2104 BKV (VVS) (DGUV 2022) (eigene Darstellung). .....	12
Abbildung 8: Kapillarmikroskopie des Nagelfalzes (Medizinische Universität Wien, Klinische Abteilung für Angiologie, Leistungsangebot o. J.). .....	20
Abbildung 9: Aufbau einer Fingerkuppen-Thermometrie (Dupuis und Riedel 1997). .....	23
Abbildung 10: Infrarot-Thermografie der Hände eines Patienten mit einem VVS. Das Bild zeigt die Aufnahme einer Infrarotkamera 25 min nach einem kalten Handbad im Rahmen eines KTP. Normalerweise sollte die Hauttemperatur bereits nach 15 min wieder 28 °C erreicht haben. Die mit „L“ gekennzeichnete Hand zeigt jedoch eine deutlich verzögerte Wiedererwärmung (Riedel und Dupuis 1997). .....	24
Abbildung 11: Wiedererwärmung nach einer Kälteprovokation (Stephan Riedel [Clicker70], PD-Schöpfungshöhe, <a href="https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/810651">https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/810651</a> ). .....	25

Abbildung 12: Exemplarische Starstellung eines Boxplots mit den Quartilen, den „Whiskern“, Ausreißern, dem Median und dem Interquartilsabstand (IQR) (RobSeb – Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <a href="https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14697172">https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14697172</a> [abgeändert]) .....	28
Abbildung 13: Altersverteilung in Jahren (n = 153) (eigene Darstellung).....	31
Abbildung 14: Geschlechterverteilung (n = 153) (eigene Darstellung).....	32
Abbildung 15: Anzahl der Untersuchungen pro Patient. 153 Patienten wurden insgesamt 357-mal begutachtet (n = 153) (eigene Darstellung).....	33
Abbildung 16: Dauer des Mittelwerts der Weißfingerattacken in Minuten (n = 297) (eigene Darstellung). .....	37
Abbildung 17: Der Boxplot zeigt die Fingertemperatur der einzelnen Finger aller Patientengutachten 25 min nach dem Kälteprovokationstest (KPT). D1–5 (Digitus 1–5) bezeichnet den jeweiligen Finger der linken oder rechten Hand. Dabei steht D1 für den ersten Finger (Daumen) und D5 für den letzten (kleiner Finger). Bei 28 °C ist eine rote, gestrichelte Bezugslinie eingezeichnet (n = 293) (eigene Darstellung). ....	39
Abbildung 18: Verteilung der Händigkeit der Gutachtenpatienten bei der Messung der Fingertemperaturen 25 min nach dem KPT (n = 110) (eigene Darstellung). .....	40
Abbildung 19: Der Boxplot zeigt die Anzahl der gerauchten Zigaretten in Packyears (PY) (n = 294) (eigene Darstellung).....	42
Abbildung 20: Streudiagramm. Die Y-Achse zeigt die gerauchten Zigaretten in PY und die X-Achse den Mittelwert der Temperatur aller Finger der linken Hand 25 min nach dem KPT (n = 295) (eigene Darstellung).....	44
Abbildung 21: Das Liniendiagramm zeigt den zeitlichen Abstand zwischen dem ersten und dem letzten Untersuchungstermin in Monaten. Die Unterbrechung der Linie zeigt einen fehlenden Wert (eigene Darstellung). .....	47
Abbildung 22: Der Boxplot veranschaulicht die gesamte Expositionsdauer in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung). .....	48
Abbildung 23: Der Boxplot veranschaulicht die Expositionskarenz in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung). .....	50
Abbildung 24: Expositionskarenz in Monaten. 17 von den 55 ausgewählten Gutachtenpatienten hatten zum Zeitpunkt ihrer ersten Untersuchung mit keinen vibrierenden Geräten mehr gearbeitet (eigene Darstellung).....	51
Abbildung 25: Minderung der Erwerbsfähigkeit in Prozent (n = 354) (eigene Darstellung). .....	61

Abbildung 26: Gezeigt ist die schwarze Feder des Anti-Vibrations-Systems bei einer Motorsäge ( <a href="https://www.grube.de/blog/sicherheitseinrichtungen-der-motorsaege/">https://www.grube.de/blog/sicherheitseinrichtungen-der-motorsaege/</a> )..	68
Abbildung 27: Das Display der Smartwatch zeigt die Dosimetrie der einwirkenden Vibrationen und den Tageshöchstwert (Bieber et al. 2019).....	69
Abbildung 28: Streudiagramm. Die Y-Achse zeigt die gerauchten Zigaretten in PY und die X-Achse den Mittelwert der Temperatur aller Finger der rechten Hand 25 Minuten nach dem KPT.....	86

## Tabellen

---

Tabelle 1: Ausgewählte Risiken für die Entstehung eines VVS (Heaver et al. 2011). .....	13
Tabelle 2: Stockholm Workshop Scale mit den modifizierten vaskulären und neurologischen Komponenten des VVS. Übersetzt aus dem Englischen (Yıldız et al. 2019).....	14
Tabelle 3: Differenzialdiagnose des Raynaud-Syndroms (Stephan Letzel, Universitätsmedizin Mainz, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin 2021). .	18
Tabelle 4: Auswahl möglicher Grunderkrankungen bei einem sekundären Raynaud- Syndrom mit entsprechender Labordiagnostik (Labor 28, LaborInfo 199.1, Stand: 12/2016).....	26
Tabelle 5: Mit absteigender Häufigkeit sind die ausgeübten Berufe der Gutachtenpatienten aufgeführt. In über 45 % der Gutachten wurde der Beruf des Forstwirtes angegeben. Insgesamt wurden 153 Patienten nach ihrem Beruf befragt (n = 153) (eigene Darstellung). .....	33
Tabelle 6: Gesamte Expositionsdauer in Monaten (eigene Darstellung). .....	34
Tabelle 7: Expositionskarenz in Monaten (eigene Darstellung).....	35
Tabelle 8: Stockholm Workshop Scale (vaskulär) beider Hände mit Häufigkeit und Prozentangaben (n = 357) (eigene Darstellung). .....	41
Tabelle 9: Gerauchte Zigaretten in Packyears (1 PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr) (n = 294) (eigene Darstellung).....	42
Tabelle 10: Korrelation zwischen Expositionskarenz in Monaten und Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der Hand 25 min nach KPT (linke Hand: n = 295, rechte Hand: n = 296) (eigene Darstellung).....	45
Tabelle 11: Expositionsdauer in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung). .....	48
Tabelle 12: Expositionskarenz in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung).....	49
Tabelle 13: Mittelwerte der zwei Paarungen des t-Tests (n = 55) (eigene Darstellung). .....	52
Tabelle 14: t-Test zum Vergleich der Ergebnisse der Mittelwerte aller Finger einer Hand 25 min nach dem KPT (eigene Darstellung).....	53
Tabelle 15: Häufigkeitstabelle der Differenzen, Differenz der Temperatur der linken und rechten Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT (n = 55) (eigene Darstellung). .....	54

Tabelle 16: Deskriptive Statistik des Regressionsmodells für die Temperatur der linken Hand (eigene Darstellung).....	55
Tabelle 17: Koeffizienten des Modells (eigene Darstellung).....	57
Tabelle 18: Modellzusammenfassung (eigene Darstellung).....	57
Tabelle 19: Globaler F-Test (ANOVA) <sup>a</sup> (eigene Darstellung). ....	58
Tabelle 20: Lagemaße für Alter, MdE und Expositionsdauer .....	82
Tabelle 21: Korrelationen zwischen Alter und Fingertemperatur.....	82
Tabelle 22: Korrelationen zwischen Alter und Mittelwert der WFA.....	83
Tabelle 23: Korrelation zwischen Expositionskarenz und Fingertemperatur.....	83
Tabelle 24: Minderung der Erwerbsfähigkeit .....	84
Tabelle 25: Verteilung der Händigkeit der Gutachtenpatienten bei der Messung der Fingertemperaturen 25 Minuten nach dem KPT. ....	84
Tabelle 26: Statistik der Dauer der Mittelwerte der Weißfingerattacken in Minuten. .	85
Tabelle 27: Alter in Monaten bei Untersuchung .....	85
Tabelle 28: Korrelationen mit der Dauer der WFA .....	87
Tabelle 29: Korrelation zwischen den gerauchten Zigaretten in PY und dem Mittelwert der Temperatur aller Finger der linken und rechten Hand 25 Minuten nach dem KPT. ....	87
Tabelle 30: Abstand zwischen erster und letzter Untersuchung.....	88
Tabelle 31: Korrelation der Temperaturen der jeweiligen Hand 25 Minuten nach dem KPT aus der ersten und letzten Begutachtung. Paaren 1 entspricht der linken und Paaren 2 rechten Hand. ....	88
Tabelle 32: Korrelation der abhängigen Variablen (Differenz der Temp. der linken Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT) mit den unabhängigen Variablen. ....	88
Tabelle 33: Korrelation der abhängigen Variablen (Differenz der Temp. der rechten Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT) mit den unabhängigen Variablen. ....	89
Tabelle 34: Deskriptive Statistik der Variablen der linken Hand bei der Regressionsanalyse. ....	89
Tabelle 35: Deskriptive Statistik der Variablen der rechten Hand bei der Regressionsanalyse. ....	90
Tabelle 36: Modellzusammenfassung für das Regressionsmodell für die linke Hand (n=47).....	90
Tabelle 37: ANOVA (Varianzanalyse) des Regressionsmodells. ....	91

Tabelle 38: Deskriptive Statistik vor der Regressionsanalyse für die rechte Hand....	91
Tabelle 39: Modellzusammenfassung für die Regression der Temperatur der rechten Hand. a. Einflussvariablen: (Konstante) Expositionskaenz in Monaten, Gesamte Expositionsdauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung.....	91
Tabelle 40: ANOVA-Tabelle für das Regressionsmodell der rechten Hand. a: Abhängige Variable: Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT b. Einflussvariablen: (Konstante), Expositionskaenz in Monaten, Gesamte Expositionsdauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung .....	92
Tabelle 41: Koeffiziententabelle der Regressionsanalyse der rechten Hand.....	92
Tabelle 42: Temperaturdifferenz der rechten Hand einzelner Patienten zwischen der ersten und der letzten Untersuchung, Temperaturdiff. +5°C .....	93
Tabelle 43: Korrelationen: Temperaturdifferenz der rechten Hand einzelner Patienten zwischen der ersten und der letzten Untersuchung, Temperaturdiff. -5°C.....	94

## Abkürzungen

---

°C	Grad Celsius
a	Beschleunigung
Abb.	Abbildung
ahv	Vibrationsgesamtwert (frequency-weighted acceleration total value) in m/s <sup>2</sup>
BSG	Blutsenkungsgeschwindigkeit
CGRP	Calcitonin Gene-Related Peptide
CRP	C-reaktives Protein
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EQ-5D	EuroQol(EQ)-5D, European Quality of Life 5 Dimensions
FGF-2	Fibroblast Growth Factor-2
FSBP	Finger Systolic Blood Pressure (Blutdruck der Finger)
g	Gramm
HAD-S	Hospital Anxiety and Depression Scale
HAVS	Hand Arm Vibration Syndrome
HAV	Hand-Arm-Vibrationen
KPT	Kälteprovokationstest
LDH	Laktatdehydrogenase
max	Maximal
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
QST	Quantitative Sensorische Testung
R	Korrelationskoeffizient
h	Stunde
VVS	vibrationsbedingtes vasospastisches Syndrom
VWF	Vibration White Fingers
WFA	Weißfingerattacken
ZNS	zentrales Nervensystem

## 1 Einleitung und Ziel der Dissertation

Seit jeher ist die Arbeit ein fester Bestandteil im Leben der Menschen und nimmt auch zur heutigen Zeit einen festen Stellenwert in unserem Alltag ein. Arbeiten bedeutet für die meisten von uns Teilhabe an der Gesellschaft und viele Menschen fühlen sich wertig, indem sie einem Beruf nachgehen. Besonders am Arbeitsplatz gibt es allerdings eine große Zahl an Noxen und Einflussfaktoren, die eine Gefahr für unsere Gesundheit darstellen und in Abhängigkeit von Höhe und Dauer der Exposition krank machen, unsere Funktionalität und damit unsere Integrität als Menschen gefährden können. Teil dieser Gefahren sind die Schwingungen und Vibrationen, denen wir bei der Arbeit durch verschiedenste Geräte in einer Vielzahl von Berufen ausgesetzt sind. Bleibt die Exposition gegenüber solchen Vibrationen über einen längeren Zeitraum (einige Monate bis Jahre) bestehen, kann dies zu Veränderungen im Hand-Arm-System führen. Ein daraus resultierendes Krankheitsbild und Gegenstand dieser Dissertation ist das vibrationsbedingte vasospastische Syndrom (VVS). Durch hochfrequente Vibrationen kann das Weichteilgewebe der Finger geschädigt werden und es kann zu Durchblutungsstörungen und Nervenschädigungen kommen. Dabei kann es zu sogenannten Weißfingerattacken und verschiedenen neurologischen Symptomen kommen (siehe **Error! Reference source not found.**).



**Abbildung 1: Weißfingerattacke (Botson Daniels 2020).**

Andere Bezeichnungen für das VVS sind „Weißfingerkrankheit“, „Vibration Induces White Finger (VWM)“, „traumatisches Raynaud-Phänomen“, und „Traumatic Vasospastic Disease (TVD)“. Weltweit sind Millionen von Menschen von den Auswirkungen der Tätigkeit mit vibrierenden Geräten betroffen (Palmer und Collin 1993). In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem vaskulären Teil der Erkrankung und den damit einhergehenden Symptomen. Bereits vor etwas mehr als hundert Jahren schrieb Alice Hamilton, die US-amerikanische Pathologin und Dozentin für Industriemedizin an der Harvard Medical School, über „dead fingers“ (dt. tote Finger) in einem Kapitel ihrer Autobiografie. Sie beschrieb das Aussehen dieser „toten Finger“ als gelblich-grau-weiß und mit klarer Begrenzung zwischen dem „toten“ und dem gesunden Teil der Finger (Lawson 2018).

## 2 Zielsetzung und Fragestellung

Ziel dieser Arbeit ist eine deskriptive Erfassung des vaskulären Status von Patienten mit anerkannter Berufserkrankung gemäß BK-Nr.: 2104 BKV (vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen).

Folgende Fragestellungen wurden im Vorfeld formuliert:

- Wie alt sind die Patienten bei ihrer Erstuntersuchung?
- Welches Geschlecht ist häufiger betroffen?
- Welche Berufsgruppen zeigen am häufigsten Symptome eines VVS?
- Welche Finger sind betroffen?
- Wie hoch ist die Expositionsdauer mit vibrierenden/oszillierenden Geräten?
- Haben die Patienten geraucht (Raucheranamnese)?
- Inwiefern unterscheidet sich die Schwere und Dauer der Symptome?
- Gibt es Korrelationen zwischen Merkmalen des Patientenkontexts und der Schwere der Symptomatik?
- Gibt es eine Reversibilität der Symptomatik oder nehmen die Beschwerden zu?

### 3 Literaturdiskussion

#### 3.1 Das vibrationsbedingte vasospastische Syndrom (VVS)

Das VVS ist eine Erkrankung, bei der es durch die Exposition mit hochfrequenten Vibrationen an den Händen zu Durchblutungsstörungen und Nervenschädigungen kommt. Es stellt eine sekundäre Form des Raynaud-Syndroms dar, bei dem es durch Engstellung der Gefäße zu einer Weißfärbung der Finger bzw. der Hände kommt. Solch sogenannte Weißfingerattacken (WFA) dauern Minuten bis Stunden. Sie kommen vermehrt in der kalten Jahreszeit vor und werden oftmals durch einen Kälteeinfluss ausgelöst. Betroffene versuchen die Wiedererwärmung durch das Bewegen, Reiben oder Schlagen der Finger zu beschleunigen (Dupuis und Riedel 1997; Pauling et al. 2019). Der Weißfärbung der Finger kann eine Zyanose (blaue Verfärbung durch Sauerstoffmangel in den Fingern) und eine anschließende Hyperämie (vermehrte Durchblutung) folgen. Zusätzlich kommt es häufig zu Sensibilitätsstörungen und die Wiedererwärmung nach einem VVS-Anfall ist nicht selten mit einem Kribbeln der Hände bis hin zu starken Schmerzen verbunden (Pauling et al. 2019).

Häufig betroffene Berufsgruppen sind unter anderem Forstwirte, Motorsägenführer, Gussputzer und Steinmetze. In der Regel besteht eine Exposition mit vibrierenden Geräten oder Werkzeugen seit Jahren. Es handelt sich nicht um den gelegentlichen Gebrauch, sondern um eine mehrstündige Nutzung am Tag. In den letzten Jahren wurden Maßnahmen zur primären Prävention getroffen, nicht zuletzt durch die Erkenntnisse, die durch genaue Observation und das vermehrte Erkennen des VVS gewonnen wurden. Beispielsweise werden heutzutage Motorsägen mit beheizbaren Griffen ausgestattet, welche von der Vibrationsquelle entkoppelt sind und somit die Exposition des Weichteilgewebes der Hand gegenüber den Vibrationen verringern (Rolke et al. 2013).

Bedauerlicherweise wird in der Praxis ein VVS immer wieder nicht als solches erkannt und diagnostiziert (Letzel und Muttray 2013; Letzel und Muttray). Aus diesem Grund ist die Thematik des VVS nach wie vor sehr aktuell und der Bedeutung präventiver und diagnostischer Maßnahmen sollte besondere Beachtung geschenkt werden. Das VVS führt im fortgeschrittenen Stadium nach langjähriger Arbeit mit

vibrierenden Werkzeugen zu einer substanziellen Behinderung im Alltag und zu einer Reduktion der Lebensqualität (Shen und House 2017).

Bei den in dieser Studie betrachteten Patienten liegt ein VVS als anerkannte Berufserkrankung vor und die erhobenen Daten stammen aus den entsprechenden Gutachten. In der Regel werden die Patienten alle ein bis drei Jahre erneut zur Begutachtung eingeladen und der aktuelle Stand der Erkrankung wird evaluiert.

Somit können Aussagen zum Verlauf getätigt und eine mögliche Verbesserung oder Verschlechterung der Symptomatik erkannt werden. Dies kann gegebenenfalls Einfluss auf die Entschädigungsleistung der Berufskrankheit haben. Außerdem kann untersucht werden, welchen Einfluss Umweltfaktoren und der Lebensstil auf den Verlauf eines VVS nehmen können.

### **3.2 Pathogenese und Pathophysiologie**

Trotz vieler Untersuchungen und Studien konnte der Pathomechanismus der Entstehung eines VVS nicht abschließend geklärt werden und ist zum aktuellen Zeitpunkt immer noch Gegenstand der Forschung. Es ist von einer multifaktoriellen Genese auszugehen. Niederfrequente Schwingungen zwischen 8 und 50 Hz führen zu Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems. Dabei kommt es unter anderem zu Schäden der Knochen und der Gelenke im Bereich der Hand, des Ellbogens und der Schulter. Solche Schwingungen mit hohen Amplituden und geringer Frequenz bezeichnet man als Erschütterungen. Bei der Pathogenese des VVS hingegen spielen hochfrequente Schwingungen mit geringen Amplituden und Frequenzen von circa 20 bis 1.000 Hz eine entscheidende Rolle (Bundesarbeitsblatt 7/8/1979, S. 74).

Nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft wird angenommen, dass Vibrationen das Gleichgewicht zwischen Vasokonstriktion und Vasodilatation stören (Herrick 2005). Durch die Vibrationen kommt es zu einer Reihe von Gewebeschäden und -veränderungen in und um die Arterien. Beispielsweise kommt es zu einer Hypertrophie der glatten Muskulatur der Gefäßwände und zu einer periarteriellen Fibrose (Heaver et al. 2011). Hierbei scheint Endothelin-1 wahrscheinlich an der DNA-Synthese von glatten Muskelzellen in der Gefäßwand beteiligt zu sein. Die arteriellen glatten Muskelzellen wiederum induzieren durch die chronische mechanische Beanspruchung der Vibrationen ihrerseits weitere Prozesse. Dazu

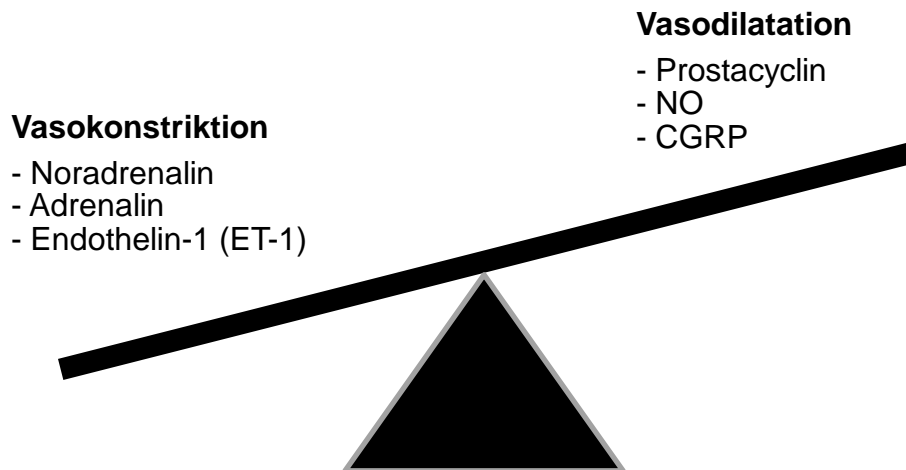
gehört zelluläres Wachstum durch den Platelet-Derived Growth Factor (PDGF, wird durch Thrombozyten freigesetzt und induziert bei Gefäßschäden den Wundverschluss), den Fibroblast Growth Factor-2 (FGF-2) und möglicherweise über das lokale Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS) (Noël 2000).

Außerdem konnte beobachtet werden, dass Endothelzellen und Rezeptoren durch Vibrationen geschädigt werden. Das Gleichgewicht zwischen Vasodilatation und Vasokonstriktion verschiebt sich in Richtung der Vasokonstriktion. Durch die Schädigung der Endothelzellen kommt es zu einer Plättchenaggregation und konsekutiv zu einer vermehrten Ausschüttung von Thromboxan und Serotonin. Beide begünstigen die Gefäßverengung (Heaver et al. 2011). Additiv führen die endothelialen Mikrotraumata zu thrombotischen Ereignissen, die über die Zeit hinweg zu akralen Nekrosen führen können. Der Prozess der arteriellen Gefäßschädigung lässt sich als lokale Mikroangiopathie beschreiben, die in der Kapillarmikroskopie zu beobachten ist (Noël 2000).

Die Untersuchung des Blutplasmas von Patienten mit einem VVS ergab weiterhin, dass die Plasmakonzentration von Adrenalin, Noradrenalin und Endothelin-1 (ET-1) erhöht war. Alle drei Hormone sind als Vasokonstriktoren bekannt. Hinzu kommt, dass auf der anderen Seite die Plasmakonzentration der Vasodilatoren Prostacyclin und Stickstoffmonoxid (NO) erniedrigt war (Heaver et al. 2011). Bei Kälteexposition wirkt das Calcitonin Gene-Related Peptide (CGRP) als Gegenspieler zu ET-1 und schafft einen Ausgleich. CGRP ist ein potenter Vasodilatator und kommt im Bereich der Haut der Finger im perivaskulären Nervengewebe vor (Noël 2000). Durch den Untergang von neuralem Nervengewebe bei chronischer Vibrationsexposition überwiegt die vasokonstriktorische Wirkung des ET-1. Eine weitere Rolle spielt ET-1 in der Aktivierung des Sympathikus, was die Entstehung von Vasospasmen noch weiter begünstigt.

Die Dysbalance von ET-1 und CGRP spielt eine herausragende Rolle bei dem Pathomechanismus des Raynaud-Phänomens. Interessant ist hierbei, dass bei In-vitro-Versuchen die ET-1-mRNA-Synthese in Endothelzellen durch externe, oszillierende Stimuli induziert werden konnte (Noël 2000). Außerdem wurde eine Korrelation zwischen den ET-1-Levels im Plasma und dem Ausmaß systemischer Sklerose festgestellt. ET-1 scheint auch bei der Expression von Protoonkogenen sowie dem Wachstum extrazellulärer Matrix beteiligt zu sein und wird in der Zukunft

noch Gegenstand der Forschung auf verschiedenen Gebieten sein (Noël 2000). Das gestörte Gleichgewicht zwischen Vasokonstriktion und Vasodilatation durch Vibrationsexposition wird in Abbildung 2 dargestellt.



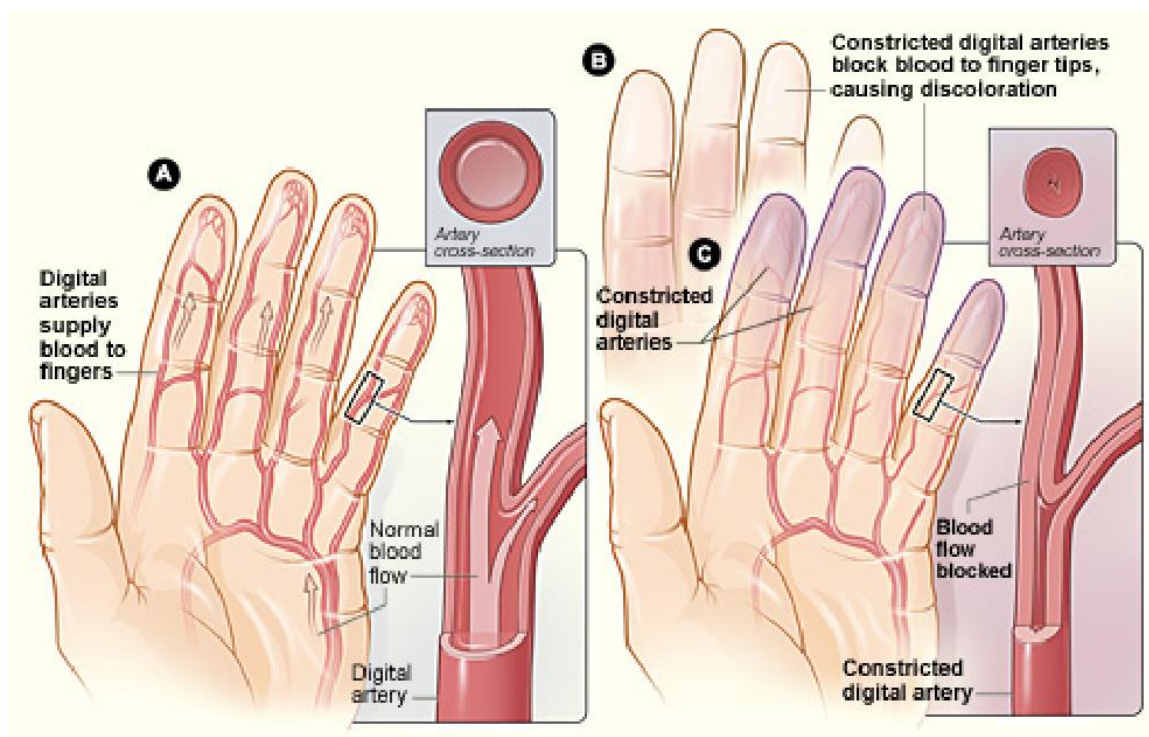
**Abbildung 2: Gestörtes Gleichgewicht zwischen Vasokonstriktion und Vasodilatation durch Vibrationsexposition (eigene Darstellung).**

Zudem existiert die Hypothese, dass es durch die Vibrationen zur Demyelinisierung und Atrophie von Nerven kommt. Mögliche Pathomechanismen könnten hierbei die durch Vibrationsexposition ausgelöste Ödembildung und Vasospasmen sein (Heaver et al. 2011).

Weiterhin steigt die Schwelle der Vibrationswahrnehmung nach einer Vibrationsexposition. Somit werden folgende Vibrationen nur noch abgeschwächt wahrgenommen und schädliche Dosen können nicht erkannt werden. Versuche bei Gesunden haben gezeigt, dass diese Desensibilisierung nach Expositionskarenz jedoch schnell reversibel ist. Ob dies auch bei chronischer Exposition so ist, bleibt derzeit unklar (Heaver et al. 2011).

Es existiert das Modell kleiner Arterien, die als flüssigkeitsgefülltes elastisches Rohr dargestellt werden, dessen Durchmesser im Verlauf variiert. Mathematische Gleichungen berücksichtigen die Interaktion der Flüssigkeit, der Arterienwand und des umliegenden Gewebes. Daraus geht hervor, dass die Arterie an den Stellen am stärksten reagieren, an denen die Vibrationen auf sie einwirken. Diese Reaktionen

sind Verhärtungen, Verdickungen und generelle negative Veränderungen des lokalen Gefäßzustandes. Derartige Verdickungen wurden in pathologischen Untersuchungen bestätigt und verursachen höchstwahrscheinlich die Vasokonstriktionen (Herrick 2005). Vermutet wird, dass das Weißwerden der Finger dadurch begründet ist, wobei der genaue Pathomechanismus immer noch Gegenstand der aktuellen Forschung ist (Heaver et al. 2011). Außerdem wird schon seit einiger Zeit angenommen, dass eine zentralsympathische Überreaktion auf die Vibrationen die lokale Vasokonstriktion begünstigt (Palmer und Collin 1993). Abbildung 3 stellt die verschlechterte akrale Perfusion bei einem VVS dar.

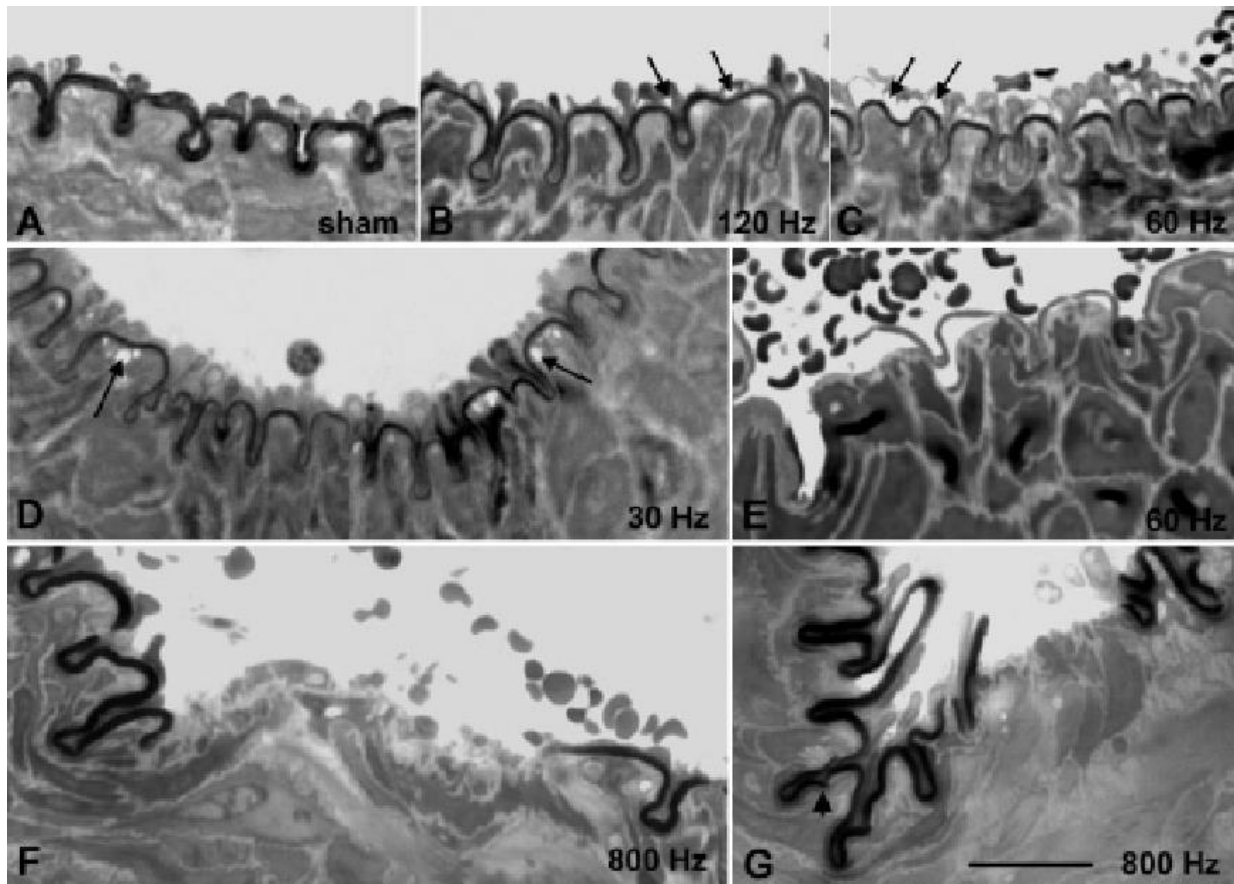


**Abbildung 3: Verschlechterte akrale Perfusion bei einem VVS. A** stellt den normalen Blutfluss in der Hand dar. Teilbereich **B** zeigt das Weißwerden der Fingerspitzen durch Vasospasmen. Die eng gestellten akralen Gefäße führen zum zyanotischen Bild beim VVS (blaue Finger bei **C**) (Palmer und Collin 1993).

### 3.3 Veränderung der Gefäße durch Vibrationen auf mikroskopischer Ebene

In Tierversuchen wurde beobachtet, dass es unter Vibrationen zu einer Vasokonstriktion und zu Veränderungen im Gewebe von Arterien in Rattenschwänzen kommt (Govindaraju et al. 2008). Es wurde herausgefunden, dass die Gefäßwände bei steigenden Frequenzen Schaden nahmen. Schwerwiegende Schäden waren bei Frequenzen um 800 Hz zu verzeichnen (Govindaraju et al. 2008; Krajnak et al. 2009). In den Gefäßwänden der Rattenschwänze war zu sehen, wie

sich vermehrt Vakuolen bildeten und dadurch Arterienwandteile abbrachen (Palmer und Collin 1993). Abbildung 4 zeigt die dazugehörigen Regionen des Arterienendothels unter dem Einfluss verschiedener Frequenzen.



**Abbildung 4:** Dargestellt sind 0,5 bis 2  $\mu\text{m}$  große Regionen des Arterienendothels und dem Bereich der Membrana elastica interna (IEM – internal elastic membrane) unter verschiedenen Frequenzen. Es handelt sich um Präparate aus Rattenschwänzen. Anfärbt sind diese mit Toluidinblau. Bei den Frequenzen 120 und 60 Hz zeigt sich eine Zunahme an Vakuolen (schwarze Pfeile in Bild B und C). Bei 800 Hz ist eine Fehlausrichtung/Dislokation der IEM zu erkennen. Sie ist entweder gebrochen und überlagert oder fehlt gänzlich. Bild A (sham) zeigt eine Kontrollprobe ohne Vibrationsexposition. (Palmer und Collin 1993).

### 3.4 Grenzwerte und Richtlinien für Vibrationen

Der Expositionsgrenzwert für Ganzkörpervibrationen ist abhängig von der jeweiligen Einwirkungsrichtung auf die exponierte Person. Für die Longitudinalachse liegt er bei  $0,8 \text{ m/s}^2$  und für die Horizontal- und Sagitalachse bei  $1,15 \text{ m/s}^2$  (frequenzbewertete Beschleunigung). Der Auslösewert (Warngrenze bzw. Einschreitgröße) liegt für die drei Einwirkungsrichtungen bei  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

Für Hand-Arm-Vibrationen (HAV) beträgt der Expositionsgrenzwert  $5 \text{ m/s}^2$  und der Auslösewert  $2,5 \text{ m/s}^2$ , unabhängig von der Einwirkungsrichtung (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2007). Expositionen oberhalb des Grenzwerts sind potenziell schädlich. Arbeitgeber sind verpflichtet, sich um die Einhaltung der Richtlinien (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) 2023) zu kümmern und darauf zu achten, dass die entsprechenden Grenzwerte eingehalten werden (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2007).

Die Ermittlung des, auf 8 h normierte, Tages-Expositionswertes  $A(8)$  lautet:

Der Vibrationsgesamtwert  $a_{hv}$  (in  $\text{m/s}^2$ ) ist die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung  $a$  in den drei Einwirkungsrichtungen  $x$ ,  $y$  und  $z$  (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6) (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat 2015).

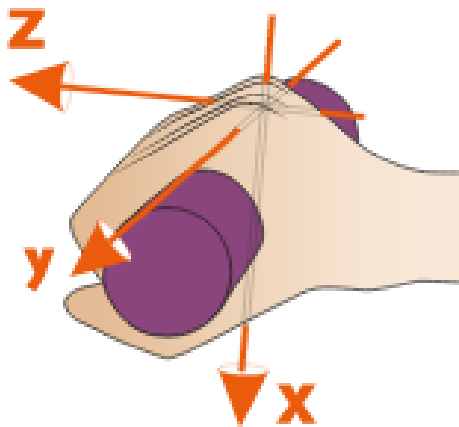


Abbildung 5: Veranschaulichung der Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung in den drei Einwirkungsrichtungen  $x$ ,  $y$  und  $z$  (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) 2023).

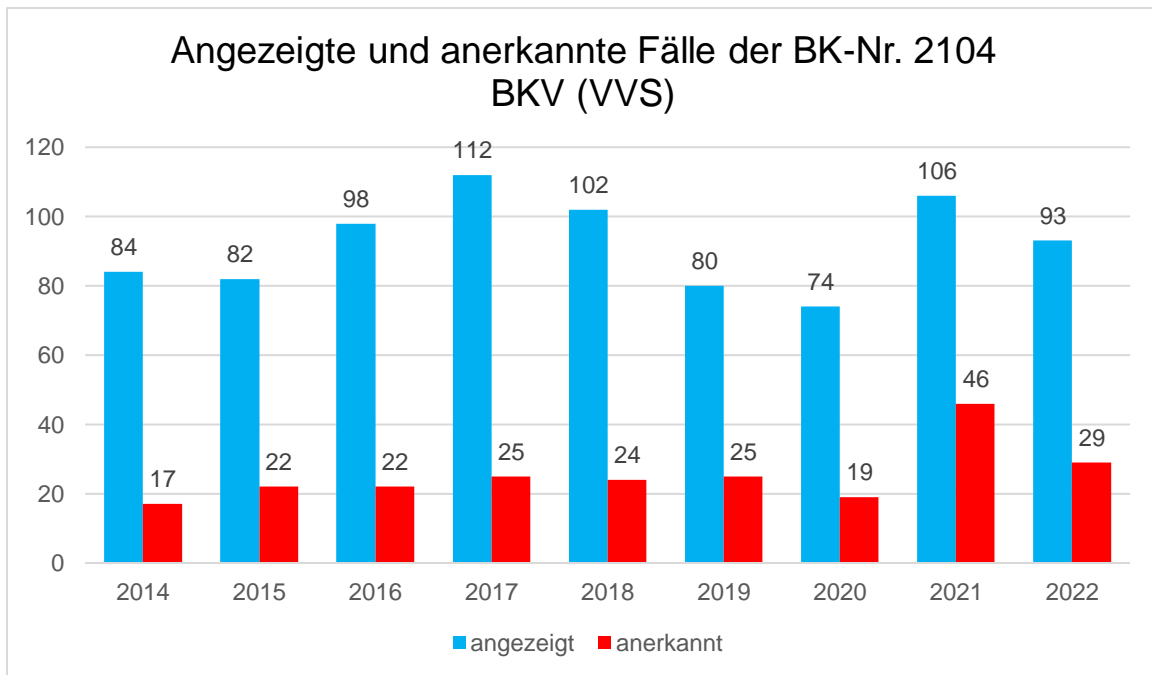
$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Abbildung 6: Formel zur Berechnung des Vibrationsgesamtwerts (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat 2015).

### 3.5 Epidemiologie und auslösende Faktoren

Das VVS ist eine Berufserkrankung in Deutschland und betrifft weltweit viele Millionen Menschen (S. Pattnaik 2011). Es wird vermutet, dass 1–4 % der gesamten berufstätigen Population bei der Arbeit Vibrationen ausgesetzt ist (Noël 2000).

In Deutschland fällt das VVS laut der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) in die Einteilung der durch physikalische Einwirkungen verursachten Berufskrankheiten. Dabei ist von Interesse, wie viele der angezeigten Berufserkrankungen tatsächlich als solche anerkannt werden und nicht andere Ursachen haben bzw. bei denen die sozialrechtlichen Vorgaben zur Anerkennung als Berufskrankheit nicht gegeben sind. Dazu zählen unter anderem Selbstständige, die nicht in die Unfallversicherung eingezahlt haben und somit keinen Anspruch auf eine Unfallrente haben. **Error! Reference source not found.** zeigt die Anzahl der angezeigten und anerkannten Fälle nach BK-Nr. 2104 von 2014 bis 2022.



**Abbildung 7: Angezeigte und anerkannte Fälle der BK-Nr. 2104 BKV (VVS) (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) 2023) (eigene Darstellung).**

Ein VVS entwickelt sich im Allgemeinen nach einer langfristigen Exposition (einige Monate bis Jahre) der Hände gegenüber hochfrequenten Vibrationen. Die anfänglich intermittierenden Symptome chronifizieren, wenn die Exposition nicht früh genug unterbrochen wird. Außerdem ist mit einer Zunahme der Symptome zu rechnen, wenn die Exposition zunimmt (Heaver et al. 2011).

Tendenziell sind alle Berufsgruppen gefährdet, die längere Zeit mit vibrierenden und/oder oszillierenden Geräten arbeiten, von denen hochfrequente Schwingungen auf das Hand-Arm-System übertragen werden. Hierbei liegt der Expositionsgrenzwert A(8) bei  $5 \text{ m/s}^2$  (Bieber und Kaulbars 2019). Forstwirte und Motorsägenführer, Steinmetze und -bildhauer, die Berufsgruppe Fahrzeugbauer, KFZ-Mechaniker und Karosseriebauer sind häufig vertreten. Auch Gussputzer können besonders oft betroffen sein (Gerhardsson et al. 2021).

Weiterhin spielt das vorherrschende Klima eine entscheidende Rolle bei der Entstehung eines VVS. Eine Studie aus Malaysia aus dem Jahr 2013 zeigte, dass es in tropischen Regionen zwar neurologische Symptome bei Vibrationsexposition gab, es aber nicht zu einem Weißwerden der Finger kam. Eine Schlussfolgerung der Studie ist, dass die damalige Dosis-Wirkungs-Beziehung laut ISO5349-1 (International Organization for Standardization) für die über die Hand übertragene Vibrationsexposition nicht für tropische Regionen anwendbar sei (Su et al. 2012).

Eine südafrikanische Studie machte die niedrige Prävalenz von vaskulären Symptomen bei Goldminenarbeitern am warmen lokalen Klima fest (Nyantumbu et al. 2007). Laut dieser Studie betrug die durchschnittliche Latenzphase bis zum Auftreten erster Symptome 5,6 Jahre. Die Spanne der Latenzphase wurde mit 1–18 Jahren beziffert. Dies ist ein weiterer Hinweis für die starke Variabilität der Zeit bis zum Auftreten erster Symptome (Nyantumbu et al. 2007).

### 3.6 Risikofaktoren für ein VVS

Für die Entstehung eines VVS gibt es verschiedene Risikofaktoren. Ein Teil dieser Risikofaktoren ist an die Gegebenheiten am Arbeitsplatz gebunden. Andere Faktoren, die die Entstehung eines VVS begünstigen, sind unabhängig von den Arbeitsbedingungen. Im Folgenden wird ein Teil der bereits eindeutig bestätigten Risikofaktoren aufgezeigt und es wird unterschieden, ob die Risikofaktoren mit dem Arbeitsplatz zusammenhängen oder nicht. Die Nutzungsdauer, die Pausen und die Frequenz der Schwingungen des verwendeten Werkzeugs entscheiden über die Vibrationsdosis, der ein Mensch ausgesetzt ist. Auch das Gewicht des Werkzeugs spielt hier eine Rolle. Je höher die eingesetzte Griffkraft ist, desto stärker werden die Vibrationen auf das Weichteilgewebe der Hand übertragen (S. Pattnaik 2011).

Liegen bereits periphere Durchblutungsstörungen oder ein Diabetes mellitus vor, begünstigt dies die Entstehung eines VVS (Heaver et al. 2011). Durch private Vibrationsexposition erhöht sich zusätzlich die täglich einwirkende Vibrationsdosis und kann den in Europa festgelegten Grenzwert von  $5 \text{ m/s}^2$  übersteigen und zu Schäden führen. Tabelle 3 fasst ausgewählte Risiken für die Entstehung eines VVS zusammen.

**Tabelle 1: Ausgewählte Risiken für die Entstehung eines VVS (Heaver et al. 2011).**

<b>Mit der Arbeit assoziierte Risiken (u. a.)</b>	<b>Eigene Risikofaktoren (u. a.)</b>
Dauer der Exposition	Subjektive Anfälligkeit
Klimatische Faktoren (z. B. Kälte/Nässe)	Rauchen
Schwingungsfrequenz	Periphere Durchblutungsstörungen

Zustand des Werkzeugs	Vorherige Verletzungen der Hand
Greif- und Andruckkraft	Diabetes mellitus
Griffdesign	Arthritis
Haltung der Hand und des Armes	
Fehlende Pausen	

### 3.7 Stockholm Workshop Scale

Für den klinischen Gebrauch und zur Beschreibung der Stadien des VVS wurde 1986 der Stockholm Workshop Scale (SWS) entwickelt (Gemne et al. 1987). Bei den vaskulären Symptomen orientiert sich der SWS an der Lokalisation und der Anzahl der durch die Gefäßspasmen betroffenen Finger. Es wird unterschieden, ob das Weißwerden der Finger nur die Fingerspitzen betrifft oder ob auch der distale und der mittlere Teil der Phalangen betroffen ist. Additiv wird das Auftreten trophischer Störungen erfasst (Heaver et al. 2011).

Bei den neurologischen Symptomen orientiert man sich an der Ausprägung etwaiger Sensibilitätsstörungen. Kriterien sind hier, ob es zu einem Kribbeln der Phalangen kommt und wie viele der Finger betroffen sind. Außerdem wird unterschieden, ob die Sensibilitätsstörungen sporadisch oder kontinuierlich auftreten. Ein mögliches Kriterium eines fortgeschrittenen Stadiums kann sein, dass die manuelle Geschicklichkeit durch die neurologischen Symptome des VVS beeinträchtigt ist. Vaskuläre und sensorineurale Symptome können unabhängig voneinander auftreten, obwohl ein Zusammenhang zwischen den beiden Komponenten besteht. Die Progredienz der Symptomatik beider Qualitäten kann getrennt voneinander fortschreiten (Heaver et al. 2011).

**Tabelle 2: Stockholm Workshop Scale mit den modifizierten vaskulären und neurologischen Komponenten des VVS. Übersetzt aus dem Englischen (Yıldız et al. 2019).**

<b>Vaskuläre Symptome</b>	<b>0</b>	Keine Symptome dokumentiert
	<b>V1</b>	Symptome betreffen nur die Fingerspitzen der distalen Phalangen eines oder mehrerer Finger
	<b>V2</b>	Weißwerden der Finger betrifft die mittleren oder distalen Phalangen eines oder mehrerer Finger (gelegentlich)

	<b>V3</b> Weißwerden der Finger betrifft die mittleren oder distalen Phalangen eines oder mehrerer Finger (regelmäßig)
	<b>V4</b> V3 mit zusätzlichen trophischen Veränderungen
<b>Neurologische Symptome</b>	<b>NS0</b> Keine Symptome dokumentiert
	<b>NS1</b> Sporadische Taubheit und/oder Kribbeln mit einem sensorineuralem Verlust
	<b>NS2</b> Sporadische oder kontinuierliche Taubheit und/oder Kribbeln mit einer reduzierten sensorischen Wahrnehmung
	<b>NS3</b> Kontinuierliche Taubheit und/oder Kribbeln mit einer reduzierten manuellen Geschicklichkeit

### 3.8 Klinische Charakteristika

Das VVS präsentiert sich als komplexe Erkrankung, die sowohl mit neurologischen, als auch vaskulären Symptomen einhergeht. Typischerweise beginnen die Symptome distal an den Fingern und schreiten nach proximal fort. Dabei sind die Handflächen nur in Ausnahmefällen betroffen. Die Unterarme zeigen die typischen Symptome eines VVS nicht. Die Dauer der Latenzphase zwischen Exposition und Beginn der Symptome kann sehr unterschiedlich sein. Anfangs können die Symptome noch intermittierend auftreten, bei zunehmender Intensität der einwirkenden Vibrationen ist eine Verschlechterung der Beschwerden wahrscheinlich (Heaver et al. 2011).

Zu den neurologischen Symptomen zählen Parästhesien, Kribbeln in den Fingern oder in den Händen, eine Abnahme der Geschicklichkeit und Verschlechterung der Feinmotorik in den Fingern sowie eine verminderte Vibrationssensibilität im betroffenen Areal. Die Symptome scheinen vermehrt in der dominanten Hand aufzutreten (Heaver et al. 2011). Als vaskuläre Manifestationen sind vasospastische Episoden zu nennen, die kälteinduziert sind. Diese werden auch als Weißfingerattacken bezeichnet, bei denen es zu einer zyanotischen Weißfärbung der Finger kommt. Dabei tritt ein Kältegefühl der Akren auf. Während der Wiedererwärmung kann es zu Kribbeln und teilweise starken Schmerzen kommen, in seltenen Fällen sogar zu trophischen Störungen (Heaver et al. 2011). Beispiele hierfür sind Nekrosen der Fingerkuppen.

Die Frequenz der vasospastischen Attacken kann stark variieren und sollte bei der Diagnostik eines möglichen VVS miteinbezogen werden (Noël 2000). Die

Wiedererwärmungszeit beträgt in der Regel Minuten bis circa eine Stunden (Olsen 2002).

Bei dem VVS als ein sekundäres Raynaud-Syndrom liegt meist ein asymmetrisches Weißwerden der Finger vor. Zudem kann es zu einer verminderten Griffkraft und einer strukturellen Veränderung der Nerven in der Hand kommen. Dabei sind diese Manifestationen teilweise nur schwer von anderen peripheren Neuropathien zu unterscheiden (Heaver et al. 2011).

### **3.9 Auswirkungen eines VVS auf betroffene Patienten**

Aus der Betrachtung der Menschen mit einem VVS und einer möglichen Einschränkung ihrer Lebensqualität lässt sich die Dringlichkeit der Prävention und Aufklärung exponierter Berufs- und Personengruppen ableiten. Durch präventive Maßnahmen können Ressourcen eingespart bzw. besser verteilt werden. Eine kanadische Studie der „Division of Occupational Medicine“ des St. Michael’s Hospital in Toronto, Ontario, untersuchte 107 Arbeiter mit diagnostiziertem VVS retrospektiv. Das Resultat war, dass diese Menschen durch ihre Erkrankung in ihrem täglichen Leben teilweise deutlich eingeschränkt waren. Vor allem die Feinmotorik war verschlechtert und es lag eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber der Exposition von Kälte und Nässe bei den Betroffenen vor. Durch subjektive Einschätzung der Probanden zeigte sich, dass Tätigkeiten im Haushalt und im Garten, die vor der Erkrankung keine Probleme bereitet hatten, jetzt nicht oder nur noch erschwert zu bewerkstelligen waren (Budd et al. 2018).

Eine finnische Studie aus dem Jahr 2010 hatte das Ziel, verschiedene Bereiche des Lebens von Arbeitern mit einem VVS zu erfassen. Für die Bestimmung der Lebensqualität wurde ein standardisierter Fragebogen (European Quality of Life 5 Dimensions, EuroQol[EQ]-5D) verwendet. Es zeigte sich, dass die durch Vibrationsexposition entstandenen Symptome die Lebensqualität der Betroffenen stark reduzierten. Untersuchte Punkte waren Mobilität, tägliche Aktivitäten, Unbehagen/Schmerz sowie Angst und Depression. Des Weiteren schien der EQ-5D mit der Schwere und dem kumulativen Expositionsindex gegenüber Vibrationen zu korrelieren. In der Studie wurde der EQ-5D für die Untersuchung von VVS-Patienten empfohlen (Sauni et al. 2010).

Südafrikanische Arbeiter in Goldminen zeigten nicht nur Beeinträchtigungen im privaten Bereich. Auch die Gefahr, sich bei der Arbeit zu verletzen, stieg durch die vibrationsbedingte Abnahme der manuellen Geschicklichkeit. Daraus lässt sich schließen, dass bei einem VVS auch die Unfallwahrscheinlichkeit im Umgang mit handgeführten Geräten zunimmt. Außerdem wird die Arbeitsleistung beeinträchtigt. Damit steigen auch der psychische Druck bei den Betroffenen, die Angst vor dem Verlust der Beschäftigung und Existenzsorgen mit einem möglichen sozialen Abstieg (Nyantumbu et al. 2007). Je weiter ein VVS ausgeprägt ist, desto schwächer ist die gemessene Griffkraft und desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für einen Arbeitsunfall beim Führen von Geräten (Nyantumbu et al. 2007).

### **3.10 Therapie und Reversibilität der Symptome**

Das VVS ist in dem Sinne nicht behandelbar (Heaver et al. 2011). Die Prognose ist abhängig von der Unterlassung der Tätigkeit bei den ersten Beschwerden bzw. beim Auftreten von Weißfingerattacken. Derzeit ist die einzige therapeutische Maßnahme bei einem vorliegenden VVS die konsequente Expositionskenz (Wahl et al. 2019). Lediglich in frühen Stadien kann ein striktes Unterlassen der Arbeit mit vibrierenden Werkzeugen den Progress der Erkrankung stoppen und zu einer Remission der Symptome führen (Palmer und Collin 1993).

Einige Autoren sprechen von einer Reversibilität der Beschwerden der Weißfingerkrankheit. Dafür sind allerdings Jahre mit strikter Expositionskenz vonnöten (Dupuis und Riedel 1997). Bei den bis 1997 untersuchten Gutachtenpatienten im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz zeigten die Hälfte eine Besserung der VVS-Symptomatik nach Vermeidung der Vibrationsexposition (Dupuis und Riedel 1997). Die Besserung konnte objektiv mittels Kälteprovokationstest (KPT) nachgewiesen werden. Nach 5 Jahren ohne Vibrationsbelastung für die Hände zeigte ein Gutachtenpatient eine deutlich verbesserte Durchblutung der Hände und Finger im KPT. Bei der ersten Untersuchung zeigte der Patient noch nach 25 min praktisch keine Wiedererwärmung der Fingerkuppen (Dupuis und Riedel 1997). Von den insgesamt 130 Patienten, die mehr als einmal untersucht wurden, konnte in 45 % der Fälle eine Besserung gezeigt werden. 46 % zeigten eine unveränderte Symptomatik und bei 7 % der Patienten verschlechterte sich der Zustand (Dupuis und Riedel

1997). Dabei werde es mit zunehmendem Alter weniger wahrscheinlich, dass sich die Symptomatik verbessert (Dupuis und Riedel 1997). Den Betroffenen wird empfohlen, ihre Hände möglichst warmzuhalten und ungeschützte Kälteexposition und Nässe weitestgehend zu vermeiden (Palmer und Collin 1993).

### 3.11 Diagnostik

Bei der Diagnostik eines VVS ist darauf zu achten, dass ein primäres Raynaud-Syndrom und andere Gründe für ein sekundäres Raynaud-Phänomen ausgeschlossen werden. Zu diesen zählen beispielsweise rheumatoide Arthritis und das Thoracic Outlet Syndrom (Heaver et al. 2011). In Tabelle 3 sind das primäre und Ursachen für ein sekundäres Raynaud-Syndrom gegenübergestellt.

**Tabelle 3: Differenzialdiagnose des Raynaud-Syndroms (Letzel 2021).**

<b><u>Primär</u></b> (i. d. R. symmetrischer Befall der Finger)	<b><u>Sekundär</u></b> (oftmals asymmetrische Durchblutungsstörung der Finger)
konstitutionell (typischerweise bei jüngeren Frauen)	Bindegewebserkrankungen/Kollagenosen
	entzündlich rheumatische Erkrankungen
	Verletzungen
	Erfrierungen
	Verschlusskrankheiten
	Dysglobulinämie
	Intoxikationen/medikamentös
	neurogene Erkrankungen
	Vibrationsbelastungen (traumatisch)

Wichtig für die Diagnose eines VVS ist eine spezifische Anamnese, denn ein sekundäres Raynaud-Syndrom kann verschiedene Ursachen haben. Essenziell ist eine ausführliche Berufsanamnese, die ausloten soll, in welchem Umfang die Vibrationsexposition stattgefunden hat. Entscheidend ist dabei die Frequenz der Vibrationen, die Dauer der Exposition und die klimatischen Verhältnisse bei der beruflichen Tätigkeit. Die Art der geführten Geräte gibt Anhaltspunkte für das jeweilige Frequenzspektrum der Vibrationen. Über die kumulative Vibrationsexposition lässt sich grob abschätzen, wie wahrscheinlich ein VVS ist. Hierzu ist zu berücksichtigen, dass anhand der Expositionsdauer der Zeitpunkt des Auftretens erster Symptome nicht vorhergesagt werden kann (Heaver et al. 2011).

Typische Symptome und die Häufigkeit des Auftretens von Weißfingerattacken sollten erfragt werden. Es ist besonders von Interesse, unter welchen Umständen die Symptome auftreten. Hierunter fällt die Exposition gegenüber Kälte und Nässe und ob es dabei zu VVS-typischen Attacken kommt. Ein asymmetrisches Weißwerden der Finger kann ein Hinweis auf ein VVS sein, wobei symmetrische Weißfingerattacken eher bei einem primären Raynaud-Syndrom zu verzeichnen sind. Ein klassischer Krankheitsverlauf beim VVS erfolgt von distal nach proximal an den exponierten Fingern.

Eine objektivere und apparative diagnostische Möglichkeit bietet der Kälteprovokationstest (KPT), durch den Hinweise auf eine gestörte Gefäßdynamik gewonnen werden können. Genaueres hierzu ist im Methodenteil zu finden.

### **3.11.1 Finger systolic blood pressure (FSBP)**

Ein weiteres Instrument in der Diagnostik eines VVS ist die Bestimmung des systolischen Blutdrucks in den Fingern (FSBP). Die University of Southampton hat hierfür den „Multi-Channel Plethysmograph“ entwickelt. Hierbei wird bei einer computerbasierten Messung der systolische Blutdruck der einzelnen Finger nach einer Kälteprovokation mit verschiedenen Temperaturen gemessen. In die speziellen Druckmanschetten kann Wasser mit verschiedenen Temperaturen fließen, sodass die Finger damit abgekühlt oder erwärmt werden. Der gemessene Blutdruck entscheidet, ob eine Auffälligkeit und somit ein Hinweis auf eine vaskuläre

Dysfunktion besteht (Institute of Sound and Vibration Research at the University of Southampton 2014). Die Messung des FSBP mit Kälteprovokation ist die beste objektive Methode, um die Symptome eines VVS quantitativ zu eruieren (Noël 2000).

### 3.11.2 Kapillarmikroskopie des Nagelfalzes

Die Angioskopie der Kapillaren des Nagelbettes (Abbildung 8) gibt Rückschlüsse auf mögliche Mikroangiopathien. Andere Ursachen müssen hierfür vorher sorgfältig ausgeschlossen werden. Beim VVS lassen sich Vaskulitiden der kleinen Gefäße beobachten. Mehr als 80 % der Patienten mit einem VVS zeigen Vasospasmen und eine Rarefizierung der Kapillaren sowie Mikroangiopathien bei Kälteexposition (Noël 2000).



Abbildung 8: Kapillarmikroskopie des Nagelfalzes (Medizinische Universität Wien 2024).

### 3.11.3 Motorische Leistungsserie (MLS)

Die MLS ist eine Testbatterie, die Einschränkungen bei der manuellen Geschicklichkeit aufzeigen kann. Benötigt wird eine MLS-Arbeitsplatte, an der der Patient verschiedene Tests durchführt. Dabei werden die feinmotorischen

Fähigkeiten, Geschwindigkeits- und Genauigkeitsmaße geprüft. Anwendung findet die MLS in vielen Fachgebieten. Im Falle eines möglichen VVS mit eingeschränkter Feinmotorik kann die MLS vor und nach der Kälteprovokation durchgeführt werden, um bei Abweichungen von den normalen Werten einen Hinweis auf eine gestörte Gefäßdynamik und Sensibilität zu geben (Neuwirth und Benesch 2004).

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Patientenkollektiv**

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten stammen von Patienten, die im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz begutachtet wurden. Hierbei wurde untersucht, ob bei den angezeigten Fällen tatsächlich ein VVS vorliegt. Dabei beträgt die Fallzahl 357 Patientenbegutachtungen (Erst- und Nachuntersuchungen) von 153 verschiedenen Patienten. Der Zeitraum der Untersuchungen lag zwischen 2001 und 2018. Im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin in Mainz wurden in diesem Zeitraum die Begutachtungen durchgeführt und in Papierform dokumentiert. Die Akten wurden von einem Hilfswissenschaftler (HiWi) für diese Arbeit ausgewertet und in eine Excel-Tabelle (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA, Office 365) eingegeben. Hierfür wurden die zu erhebenden Daten a priori festgelegt.

### **4.2 Anamnese**

Bei der Begutachtung der VVS-Patienten wurde in der beruflichen Anamnese erfasst, welche Berufe ausgeübt und welche Geräte dabei verwendet wurden. Außerdem fand eine genau Eruiierung der täglichen Arbeitszeit mit vibrierenden Geräten statt. Die Exposition gegenüber Kälte und Nässe wurde erfragt und welche Vorerkrankungen (insbesondere Thoracic Outlet Syndrom, Gefäß-, neurologische, systemische Erkrankungen), Nebendiagnosen und Gutachten vorlagen sowie welche therapeutischen Interventionen bereits durchgeführt wurden. Die Genussmittelanamnese und vorangegangene Verletzungen der Hände wurden erfragt, um mögliche andere Auslöser der VVS-Symptomatik konsequent auszuschließen. Psychologische Fragebögen zur Erfassung der Lebensqualität waren nicht Teil der Anamnese. Die VVS-Symptomatik wurde genau in Erfahrung gebracht. Dazu gehörte das Erfragen subjektiv empfundener, peripherer Durchblutungs- und Nervenstörungen.

## 4.3 Klinische Untersuchungen

### 4.3.1 Körperliche Untersuchung

Die körperliche Untersuchung beinhaltet die Inspektion beim entkleideten Patienten, die Palpation des Abdomens, die Auskultation und Perkussion der Lunge, Prüfung der Finger auf Störungen der Durchblutung oder trophische Störungen und die Bestimmung der Reflexe und der Sensibilität im Seitenvergleich.

### 4.3.2 Kälteprovokationstest (KPT)

Der KPT ist nach DIN ISO 14835-1 „Mechanische Schwingungen und Stöße – Kälteprovokationstests zur Beurteilung der peripheren Gefäßfunktion – Teil 1: Messung und Bewertung der Hauttemperatur der Finger“ einheitlich festgelegt. Demnach wird die Hauttemperatur vor und nach dem Kaltwasserbad gemessen.

Die Hauttemperatur kann durch Fingerkuppen-Thermometrie (Abbildung 9) oder durch Infrarot-Thermografie (Abbildung 10) gemessen werden (Riedel und Dupuis 1997). Die beiden Methoden sind beispielhaft in den folgenden Abbildungen zu sehen.

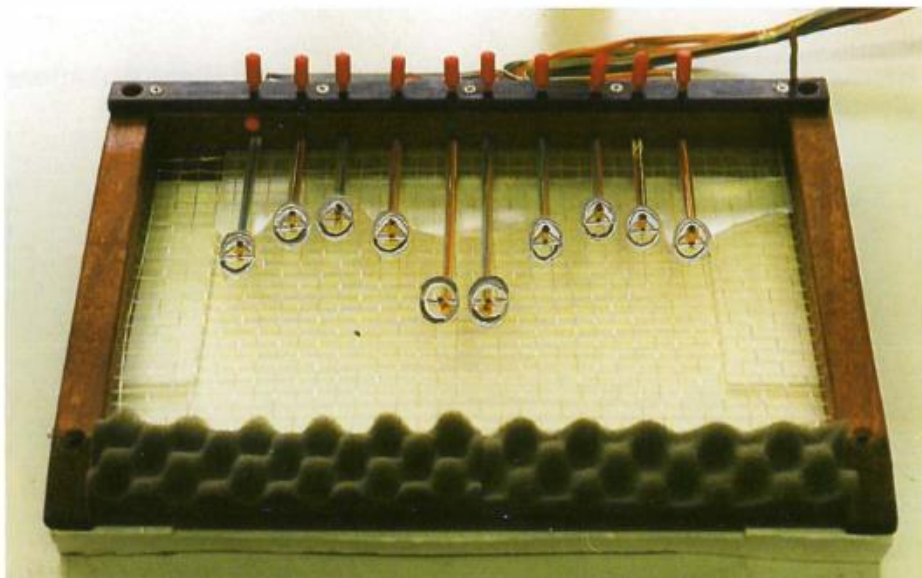
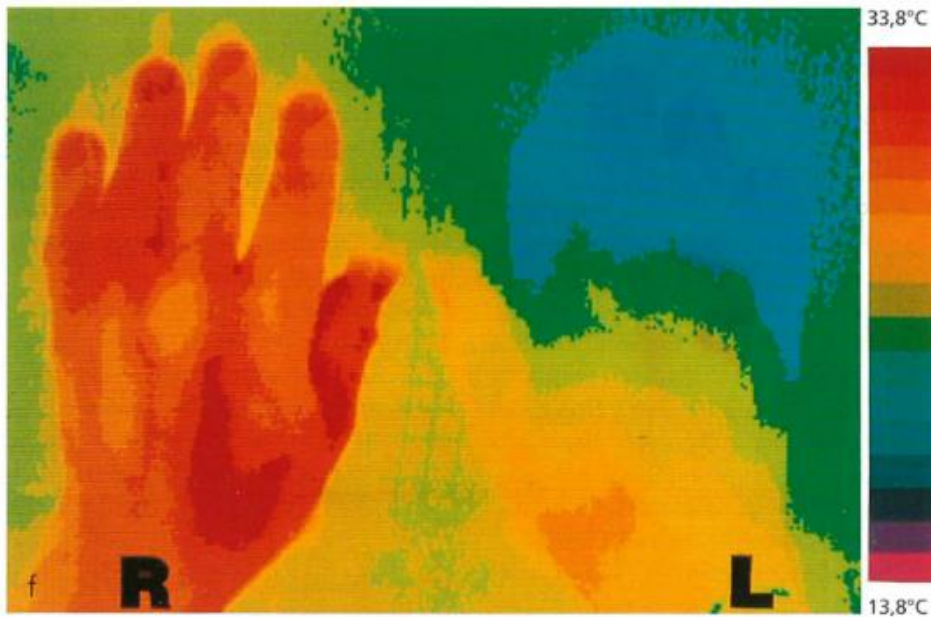


Abbildung 9: Aufbau einer Fingerkuppen-Thermometrie (Dupuis und Riedel 1997).



**Abbildung 10: Infrarot-Thermografie der Hände eines Patienten mit einem VVS. Das Bild zeigt die Aufnahme einer Infrarotkamera 25 min nach einem kalten Handbad im Rahmen eines KPT. Normalerweise sollte die Hauttemperatur bereits nach 15 min wieder 28 °C erreicht haben. Die mit „L“ gekennzeichnete Hand zeigt jedoch eine deutlich verzögerte Wiedererwärmung (Riedel und Dupuis 1997).**

Nach der ersten Messung der Hauttemperatur werden die Hände für 5 min in 12 °C kaltes Wasser eingetaucht. Danach wird wieder die Temperatur der Hände für 25 min gemessen, bevorzugt allerdings bis zur vollständigen Wiedererwärmung (Heblich et al. 2014). Die Hauttemperatur dient hier als indirektes Maß für die periphere Durchblutung (Dupuis und Riedel 1997). Ein Temperaturanstieg im KPT auf mindestens 28 °C innerhalb von 20 min gilt als unauffällig (Voelter-Mahlknecht et al. 2006). Dies bedeutet, dass eine verzögerte Wiedererwärmung vorliegt, wenn nach 20 min keine 28 °C Hauttemperatur erreicht sind.

Für die Auswertung der Ergebnisse des KPT wurde in dieser Arbeit der erste Messzeitpunkt nach 20 min festgelegt. Das fehlende Erreichen von 28 °C nach 25 min wurde als klares Zeichen für eine stark verzögerte Wiedererwärmung und eine deutlich gestörte Gefäßdynamik festgelegt. Dabei orientierte man sich an der Fachliteratur (Heblich et al. 2014). Zusammen mit der spezifischen Anamnese und der weiter oben beschriebenen apparativen Diagnostik ergibt sich daraus der Verdacht auf das Vorliegen eines VVS. In Abbildung 11 wird dies veranschaulicht. Der Daumen, der Zeigefinger und der kleine Finger zeigen eine normale Wiedererwärmung und erreichen 15 min nach der Kälteprovokation wieder 28 °C. Die grüne Kurve präsentiert den Mittelfinger, bei dem ein mäßig verzögerter

Temperaturanstieg zu beobachten ist. Erst nach knapp 18 min erreichte er 28 °C. Durch die blaue Kurve wird der Ringfinger dargestellt. Dieser erreichte auch bis zum Ende des Messintervalls nicht die Temperatur von 28 °C und zeigt eine deutlich verzögerte Wiedererwärmung.

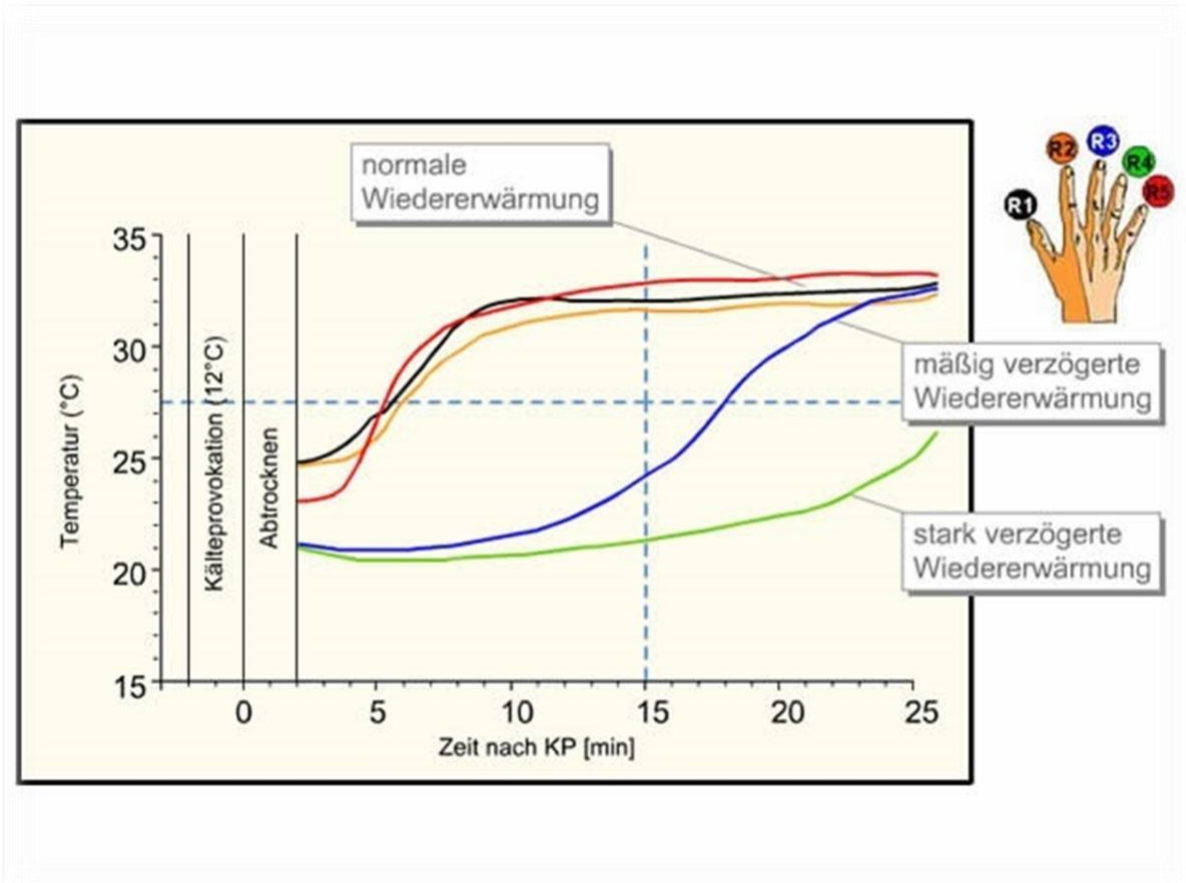


Abbildung 11: Wiedererwärmung nach einer Kälteprovokation (Riedel 2008).

Eine zentrale Fragestellung dieser Arbeit beschäftigte sich mit dem Verlauf der Symptome des VVS bei den untersuchten Gutachtenpatienten. Hierbei war es das Ziel, zu erfassen, ob eine Unterlassung der Tätigkeit mit vibrierenden Geräten zu einer Verbesserung der Symptomatik führte. Hierbei wurde die Fingertemperatur 25 min nach dem KPT als Richtwert ausgewählt, um eine mögliche Verbesserung oder sogar Verschlechterung der akralen Perfusion zu erfassen. Dabei wurde der Mittelwert aller Finger einer Hand bestimmt. Im weiteren Verlauf dieser Dissertation wird darauf Bezug genommen. Bei der Beschreibung der statistischen Berechnungen und Modelle wird die Temperatur der rechten oder linken Hand erwähnt. Dabei handelt es sich um den Mittelwert der Temperatur aller Finger der jeweiligen Hand.

#### 4.4 Labor

Im Labor können nicht traumatische Ursachen für ein sekundäres Raynaud-Syndrom festgestellt oder ausgeschlossen werden. Darunter fallen auch bestimmte Arzneimittel (u. a. Betablocker) (Ahrazoglu et al. 2014) und Intoxikationen. Die Basislaborparameter umfassen CRP (C-reaktives Protein), BSG (Blutsenkungsgeschwindigkeit), Blutbild, Serumeiweiß-Elektrophorese, Harnsäure und LDH (Laktatdehydrogenase). Besteht der Verdacht auf das Vorliegen einer Grunderkrankung als Ursache für die Beschwerden, sollte die jeweilige erweiterte Labordiagnostik folgen.

In Tabelle 4 ist eine Auswahl möglicher Grunderkrankungen bei einem sekundären Raynaud-Syndrom mit entsprechender Labordiagnostik dargestellt.

**Tabelle 4: Auswahl möglicher Grunderkrankungen bei einem sekundären Raynaud-Syndrom mit entsprechender Labordiagnostik (LaborInfo 2016).**

	Auswahl an Grunderkrankungen	Erweiterte Labordiagnostik
Kollagenosen/ rheumatische Erkrankungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• systemische Sklerose / CREST-Syndrom</li> <li>• MCTD (Sharp-Syndrom)</li> <li>• SLE</li> <li>• Sjögren-Syndrom</li> <li>• Polymyositis/Dermatomyositis</li> <li>• rheumatoide Arthritis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ANA, Scl-70-AK/ Centromere-AK</li> <li>• ANA, RNP-AK</li> <li>• ANA, dsDNA-AK, SS A-AK</li> <li>• ANA, SS-A- und SS-B-AK</li> <li>• Jo-1-AK, PmScl-AK u. a.</li> <li>• CCP-AK, RF</li> </ul>
Hämatologische Erkrankungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plasmozytom</li> <li>• Leukämien, Polycythaemia vera, essenzielle Thrombozythämie</li> <li>• Kryoglobulinämie</li> <li>• Kälteagglutininämie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Immunfixation (S+U), freie Leichtketten im Serum</li> <li>• BB mit Diff-BB, KM- Zytologie</li> <li>• Kryoglobuline</li> <li>• Kälteagglutinine</li> </ul>
Endokrine Erkrankungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypothyreose</li> <li>• Phäochromozytom</li>   <li>• Karzinoid-Syndrom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TSH (ggf. fT4, MAK)</li> <li>• Katecholamine im 24h-SU (gesammelt über Säure) oder Metanephrine im Plasma (Präanalytik)</li> <li>• 5-HIES im 24h-SU (gesammelt über Säure)</li> </ul>

## **4.5 Statistische Auswertung**

Die erhobenen Daten wurden deskriptiv ausgewertet. Hierfür wurde das Statistikprogramm SPSS (IBM, Statistical Package for the Social Sciences, Armonk, NY, USA, Version 23 und 27) verwendet.

### **4.5.1 Lagemaße**

Um die zentralen Tendenzen des Datensatzes zum Ausdruck zu bringen, wurden Lagemaße bzw. Lageparameter (Median, Mittelwert, Standardabweichung, Ausreißer [Minimum/Maximum] etc.) herangezogen (Bortz und Schuster 2010; Salkind 2010). Weiterhin erfolgte die Darstellung der Ergebnisse in tabellarischer Form und/oder in Form von Diagrammen. Dazu wurden beispielsweise Balken- und Kreisdiagramme sowie Boxplots verwendet. Zur anschaulicheren Darstellung wurden die Balken- und Kreisdiagramme teilweise mit Excel (Office 2019) erstellt.

### **4.5.2 Boxplot**

Bei den Boxplots im Ergebnisteil steht der Strich in der Mitte einer Box für den Median. Also der Wert, unter und über dem jeweils 50 % der Daten liegen. Der Bereich vom Median bis zu den Enden der Box umfasst jeweils 25 % der Stichprobe. Man nennt die Länge der gesamten Box auch Interquartilsabstand (engl. interquartile range, IQR). Die Antennen ober- und unterhalb der Boxen werden auch als oberer und unterer Whisker bezeichnet. Die Werte, die außerhalb der Whisker liegen, gelten in dieser Arbeit als Ausreißer (siehe Abbildung 12). In dem Statistikprogramm SPSS sind Ausreißer mit 2,5-fachem IQR ober- bzw. unterhalb der Quartile mit einem \* gekennzeichnet.

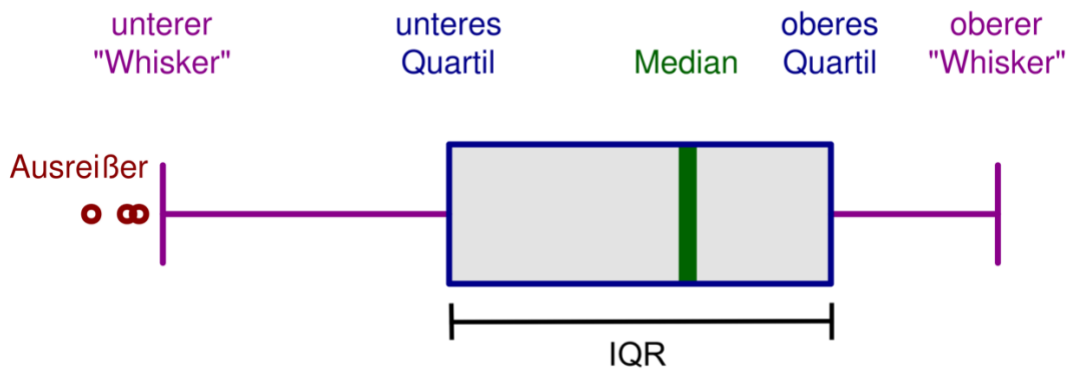


Abbildung 12: Exemplarische Darstellung eines Boxplots mit den Quartilen, den „Whiskern“, Ausreißern, dem Median und dem Interquartilsabstand (RobSeb 2011) (abgeändert).

#### 4.5.3 Korrelationskoeffizient R und p-Wert

Um lineare Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen zu verdeutlichen, wurde der Korrelationskoeffizient R betrachtet. Spearman's Rho und Kendall's Tau-b sind sogenannte Rangkorrelationskoeffizienten (nur der Rang der Werte wird miteinbezogen) und sind robust gegenüber Ausreißern. Für den Pearson'schen Korrelationskoeffizienten hingegen muss die Beziehung zwischen den Variablen linear und mindestens intervallskaliert sein. Mittels des p-Wertes wurde überprüft, ob die Ergebnisse signifikant waren. Dafür wurden die jeweiligen Nullhypothesen (es besteht keine Korrelation / alle Koeffizienten sind gleich Null) angenommen und die Alternativhypothese abgelehnt (es besteht eine Korrelation / mindestens einer der Koeffizienten ist ungleich Null), wenn der p-Wert oberhalb des allgemein anerkannten Signifikanzniveaus von  $\alpha = 0,05$  lag. Wenn sich der p-Wert unterhalb des Signifikanzniveaus befand, wurde die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen (Bortz und Schuster 2010; Salkind 2010). Weiterhin wurde der t-Test für gepaarte Stichproben und Regressionsmodelle zur Analyse der Beziehungen verschiedener Variablen zurate gezogen.

#### 4.5.4 Regressionsanalyse

Durch das statistische Verfahren der Regressionsanalyse können die Beziehungen zwischen unterschiedlichen Variablen (abhängige und unabhängige) dargestellt werden. Außerdem ist es möglich, durch Regressionsanalysen ein Modell für Vorhersagen zu konzipieren (Bortz und Schuster 2010; Salkind 2010).

Im Regressionsmodell nimmt das R-Quadrat Werte zwischen 0 und 1 an. Je mehr der Wert gegen 1 geht, desto besser eignet sich ein Regressionsmodell zur Vorhersage der Beziehung zwischen der abhängigen und den unabhängigen Variablen. Geht der Wert des R-Quadrats gegen 0, eignet sich das Modell nicht, um die abhängige Variable mit den unabhängigen Variablen vorhersagen zu können.

Mit einer Regression kann untersucht werden, ob ein Phänomen mit einer Gesetzmäßigkeit einhergeht. Diese Gesetzmäßigkeit kann durch eine Regressionsgleichung quantifiziert werden. Anhand der Regressionskoeffizienten kann eine solche Regressionsgleichung aufgestellt werden (Bortz und Schuster 2010; Salkind 2010). Mit der Regressionsanalyse dieser Arbeit wurde statistisch untersucht, welchen Einfluss die unabhängigen Variablen auf die Differenz der Mittelwerte der Temperatur aller Finger einer Hand 25 min nach dem KPT zwischen der ersten und der letzten Untersuchung (abhängige Variable) hatten. Als unabhängige Variablen wurden das Alter in Monaten, die Menge an inhalierten Zigaretten in Packyears, die totale Expositionsdauer und die Dauer der Expositionskarenz ausgewählt. Diese unabhängigen Variablen wurden bereits im Vorfeld festgelegt. Die Betrachtung erfolgte für die jeweilige Hand separat, eine abhängige Variable für die linke und eine abhängige Variable für die rechte Hand. Vor der eigentlichen Regressionsanalyse wurden eine Häufigkeitstabelle, eine einfache Korrelationsuntersuchung der abhängigen und der unabhängigen Variablen und eine deskriptive Statistik dargestellt. Dies diente der Darstellung der Eigenschaften des zu betrachtenden Datensatzes für beide Hände.

#### **4.5.5 Varianzanalyse (globaler F-Test)**

Die Varianzanalyse überprüft, ob das vorliegende Regressionsmodell die abhängige Variable (Differenz der Temperatur der linken Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT) vorhersagen kann. Der globale F-Test gibt Informationen über die Qualität eines Regressionsmodells. Der standardisierte Regressionskoeffizient (Betagewicht) gibt an, um wie viele Einheiten sich die abhängige Variable verändert, bei einer Veränderung der unabhängigen Variablen (Alter in Monaten, die Menge an inhalierten Zigaretten in Packyears, die totale Expositionsdauer und die Dauer der Expositionskarenz) um eine Einheit. Die Veränderung wird in Standardabweichungen angegeben und erlaubt einen direkten

Vergleich der Werte. Meist liegen die Werte der Betagewichte etwa zwischen -1 und +1. Betagewichte können aber auch Werte zwischen  $-\infty$  und  $+\infty$  annehmen.

Da mit den Gutachtendaten aus einer Stichprobe gearbeitet wird und nicht die Daten der Grundgesamtheit vorliegen, können die Parameter der angewendeten Modelle nur das Verhalten eines Merkmals in der Grundgesamtheit schätzen.

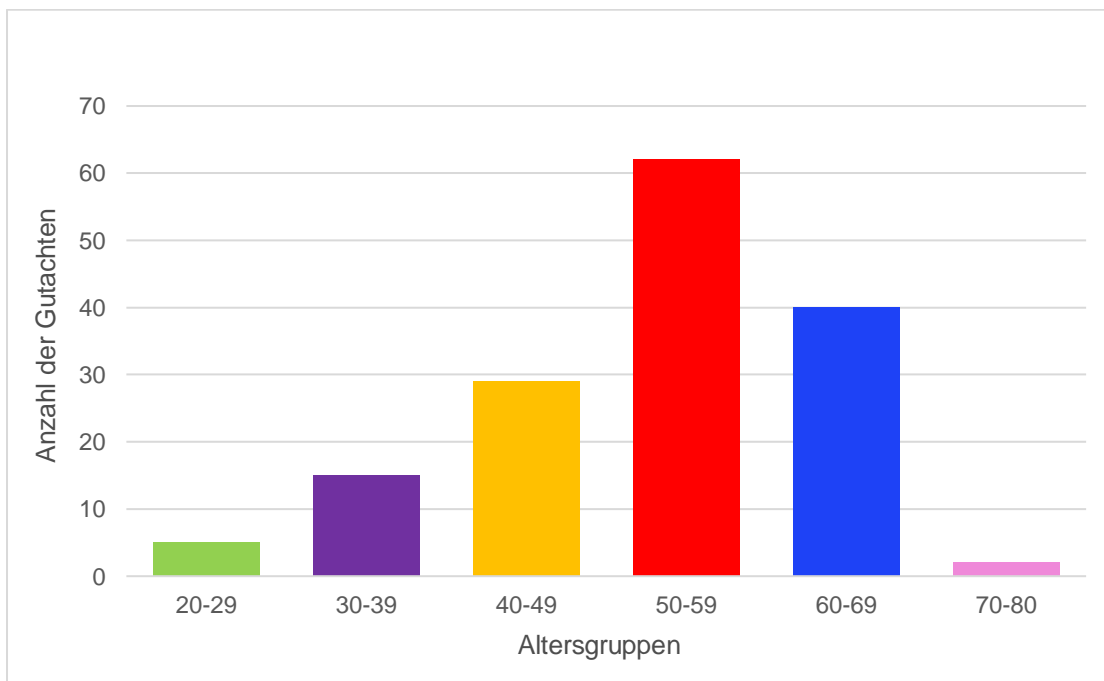
Mit dem Konfidenzintervall kann die Präzision dieser Schätzung eines Parameters berechnet werden (meist 95 %) (Bortz und Schuster 2010; Salkind 2010).

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Soziodemografische Angaben

#### 5.1.1 Alter

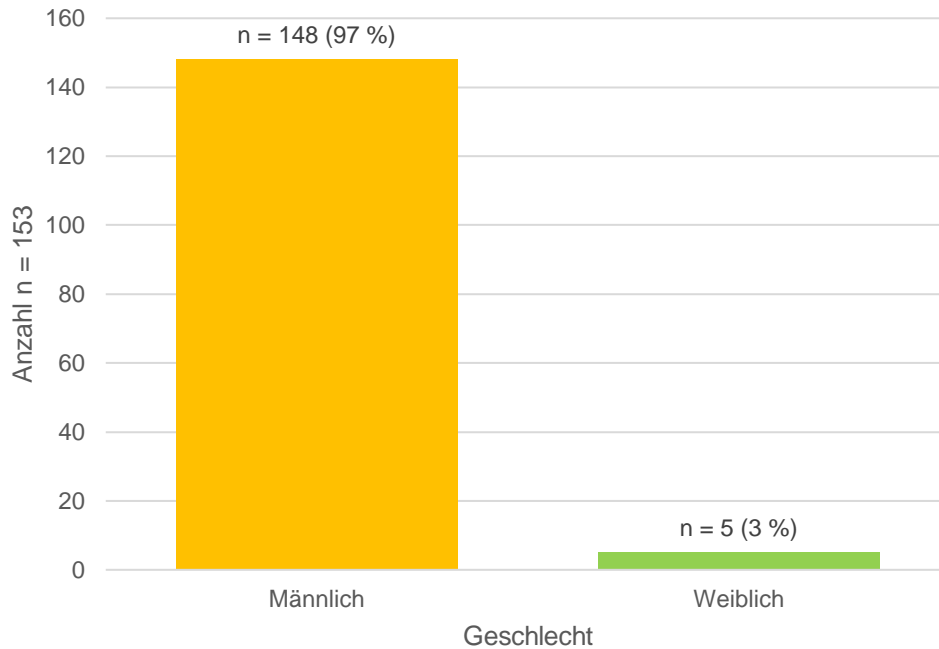
Das Alter der 153 Gutachtenpatienten bei den Untersuchungen variierte teilweise stark (Standardabweichung 124,2 Monate). Hierbei wurde das Alter bei der Erstbegutachtung berücksichtigt. Der jüngste Patient in dem Kollektiv war bei seiner Begutachtung 22,7 Jahre alt. Der älteste Patient war 74,8 Jahre alt. Im Schnitt waren die Patienten bei der Untersuchung 52,3 Jahre alt (627,8 Monate). Der Median lag bei 54,3 Jahren (651 Monate). In Abbildung 13 sind die Altersgruppen des Kollektivs als Balkendiagramm dargestellt. Insgesamt wurden die 153 Patienten 357-mal begutachtet. Weiter unten zeigt **Abbildung 15** die Anzahl der Untersuchungen pro Patient auf.



**Abbildung 13: Altersverteilung in Jahren (n = 153) (eigene Darstellung).**

### 5.1.2 Geschlechterverteilung

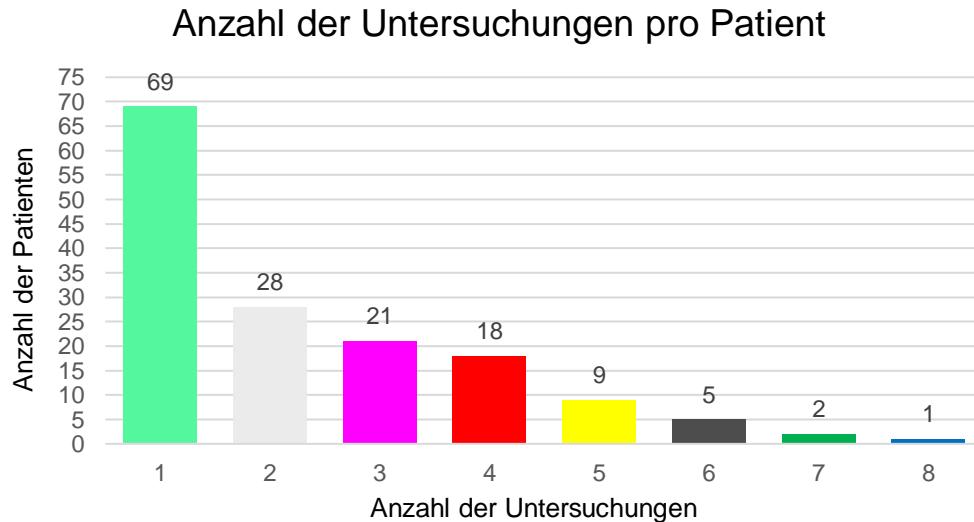
Von 153 Patienten waren 148 männlich (97 %) und fünf (3 %) weiblich. Zur Veranschaulichung der Geschlechterverteilung dient Abbildung 14.



**Abbildung 14: Geschlechterverteilung (n = 153) (eigene Darstellung).**

### 5.2 Anzahl der Begutachtungen pro Patient

Im Durchschnitt wurde jeder Gutachtenpatient 2,33-mal begutachtet. Allerdings weicht die Anzahl der Untersuchungen ab. **Abbildung 15** gibt einen Überblick darüber, wie oft ein Patient begutachtet wurde.



**Abbildung 15: Anzahl der Untersuchungen pro Patient. 153 Patienten wurden insgesamt 357-mal begutachtet (n = 153) (eigene Darstellung).**

## 5.3 Anamnese

### 5.3.1 Tätigkeit

Bei den Begutachtungen wurden 31 Berufe und Tätigkeiten erfasst. In mehr als 45 % der Gutachten wurde der Beruf des Forstwirtes angegeben (siehe Tabelle 5 **Error! Reference source not found.**). Forstwirte sind bei der Arbeit mit Kettensägen nicht nur Vibrationen, sondern auch kalten Temperaturen und feuchter oder nasser Witterung ausgesetzt.

**Tabelle 5: Mit absteigender Häufigkeit sind die ausgeübten Berufe der Gutachtenpatienten aufgeführt. In über 45 % der Gutachten wurde der Beruf des Forstwirtes angegeben. Insgesamt wurden 153 Patienten nach ihrem Beruf befragt (n = 153) (eigene Darstellung).**

	<b>Tätigkeit</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
Gültig	Gesamt	153	100,0
	Forstwirt	69	45,1
	Steinmetz	10	6,5
	Fahrzeugbauer/KFZ-Mechaniker/Karosseriebauer	10	6,5
	Maurer/Betonbauer	8	5,2
	Gärtner	6	3,9
	Schlosser	5	3,3
	Hoch- und Tiefbauer, Straßenbauer	5	3,3
	Steinbildhauer	4	2,6
	Zimmermann	3	2,0
	Glaser	3	2,0
	Werkzeugmechaniker/Werkzeugmacher	3	2,0

	Installateur	2	1,3
	Stahlformenbauer	2	1,3
	Gussputzer	2	1,3
	Lackierer	2	1,3
	Straßenwärter	2	1,3
	Bauhofangestellter	2	1,3
	Metallarbeiter	2	1,3
	Installateur und Schlosser	1	0,7
	Zahntechniker	1	0,7
	Eissporthallenmeister/Hausmeister	1	0,7
	Landwirt	1	0,7
	Monteur	1	0,7
	Hauer	1	0,7
	Bauarbeiter	1	0,7
	Edelsteinschleifer	1	0,7
	Ofenbauer	1	0,7
	Schreiner/Tischler	1	0,7
	Fußbodenleger	1	0,7
	Hilfsarbeiter in einer Schuhfabrik	1	0,7
	Polier	1	0,7

### 5.3.2 Expositionsdauer

Die durchschnittliche Expositionsdauer der Gutachtenpatienten lag bei 27,6 Jahren (331,32 Monate). Der Median lag bei 28,8 Jahren (345 Monaten). Ein Patient wurde bereits nach 2,3 Jahren (27 Monaten) Expositionsdauer begutachtet. Die maximale Expositionsdauer lag bei 47,8 Jahren (573 Monaten). Tabelle 6 zeigt die Lageparameter noch einmal auf.

**Tabelle 6: Gesamte Expositionsdauer in Monaten (eigene Darstellung).**

		Gesamte Expositionsdauer in Monaten
N	Gültig	149
	Fehlend	4
Mittelwert		331,32
Median		345,00
Standardabweichung		137,24
Minimum		27
Maximum		573

### 5.3.3 Expositionskaenz

Die Expositionskaenz ist in Tabelle 7 dargestellt. Der Mittelwert bei den 153 Patienten betraegt 36,75 Monate (3,1 Jahre), der Median 16 Monate (1,3 Jahre) und die maximale Expositionskaenz betraegt 290 Monate (24,2 Jahre). Die geringste Expositionskaenz betraegt null Monate.

**Tabelle 7: Expositionskaenz in Monaten (eigene Darstellung).**

N	Gültig	153
	Fehlend	0
Mittelwert		36,75
Median		16,00
Standardabweichung		53,5417
Minimum		0,0
Maximum		290,0

## 6 Krankengeschichte und Beschwerden

### 6.1 Dauer der Weißfingerattacken (WFA)

Für die Dauer der WFA bei den Patientengutachten wurde der Mittelwert in Minuten gewählt. Der Mittelwert wurde aus der minimalen und der maximalen Dauer der WFA bestimmt. Wichtig ist, dass die Dauer der WFA eine subjektive Angabe der Patienten war und nicht gemessen wurde. Der Mittelwert aller Gutachten betrug 35,9 min und der Median 23,5 min. Jedoch gab es bei den Ergebnissen extreme Ausreißer. Der längste, angegebene Wert betrug 390 min. Dies entspricht 6,5 h, bis die Finger des Patienten sich wieder komplett erwärmt hatten. Die Hälfte der Werte lag zwischen 15 und 40 min, das heißt, dass bei der Hälfte der 297 Patientengutachten eine WFA angegeben wurde, deren Mittelwert weniger als 1 h dauerte. Bei weiteren 25 % der Patientengutachten wurde eine WFA mit einer mittleren Dauer von 40–75 min angegeben. Bei den anderen 25 % wurde eine WFA mit einer mittleren Dauer von 2,5–15 min angegeben. Alle anderen Werte waren Ausreißer oder extreme Ausreißer mit längeren Mittelwerten der WFA.

Die Standardabweichung von 42,8 bedeutet in diesem Fall, dass die durchschnittliche Entfernung aller Angaben zum Mittelwert (35,9 min) 42,8 min beträgt. Dies gibt einen Eindruck über die Streubreite um den Mittelwert der angegebenen Werte. Abbildung 16 stellt die Mittelwerte der Dauer der WFA als Boxplot dar.

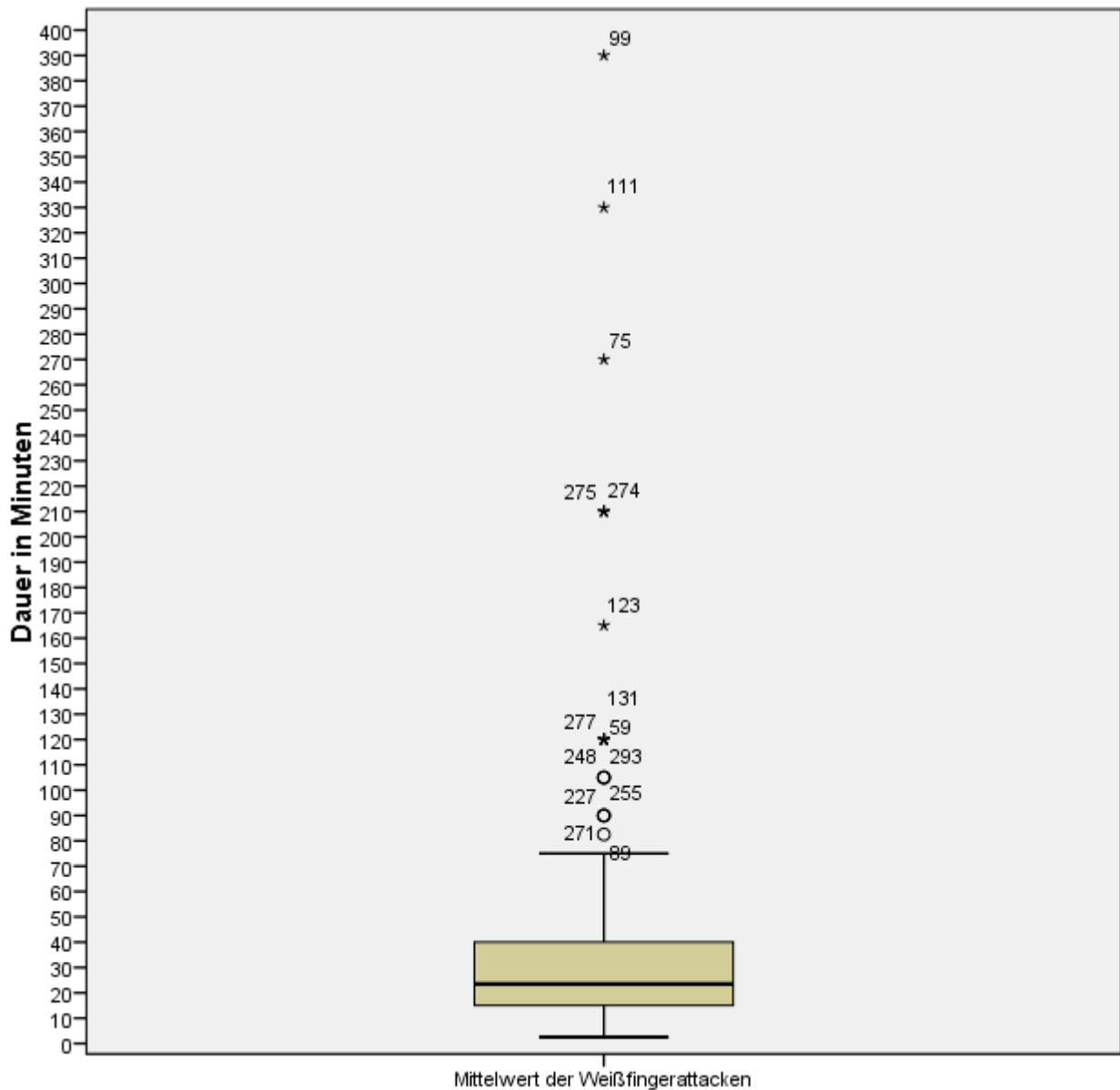


Abbildung 16: Dauer des Mittelwerts der Weißfingerattacken in Minuten (n = 297) (eigene Darstellung).

## 6.2 Untersuchung der Fingertemperatur

Bei der statistischen Auswertung der Patientengutachten wurden die vorher festgelegten Merkmale genauer betrachtet. Es wurde untersucht, inwiefern die Daten miteinander korrelieren, ob diese Korrelationen signifikant und somit auf die Gesamtpopulation übertragbar sind.

Die Ergebnisse des KPT wurden in diesem Fall als Boxplots dargestellt. Hierbei steht eine Box jeweils für einen Finger der untersuchten Patienten. Die erste Box von links

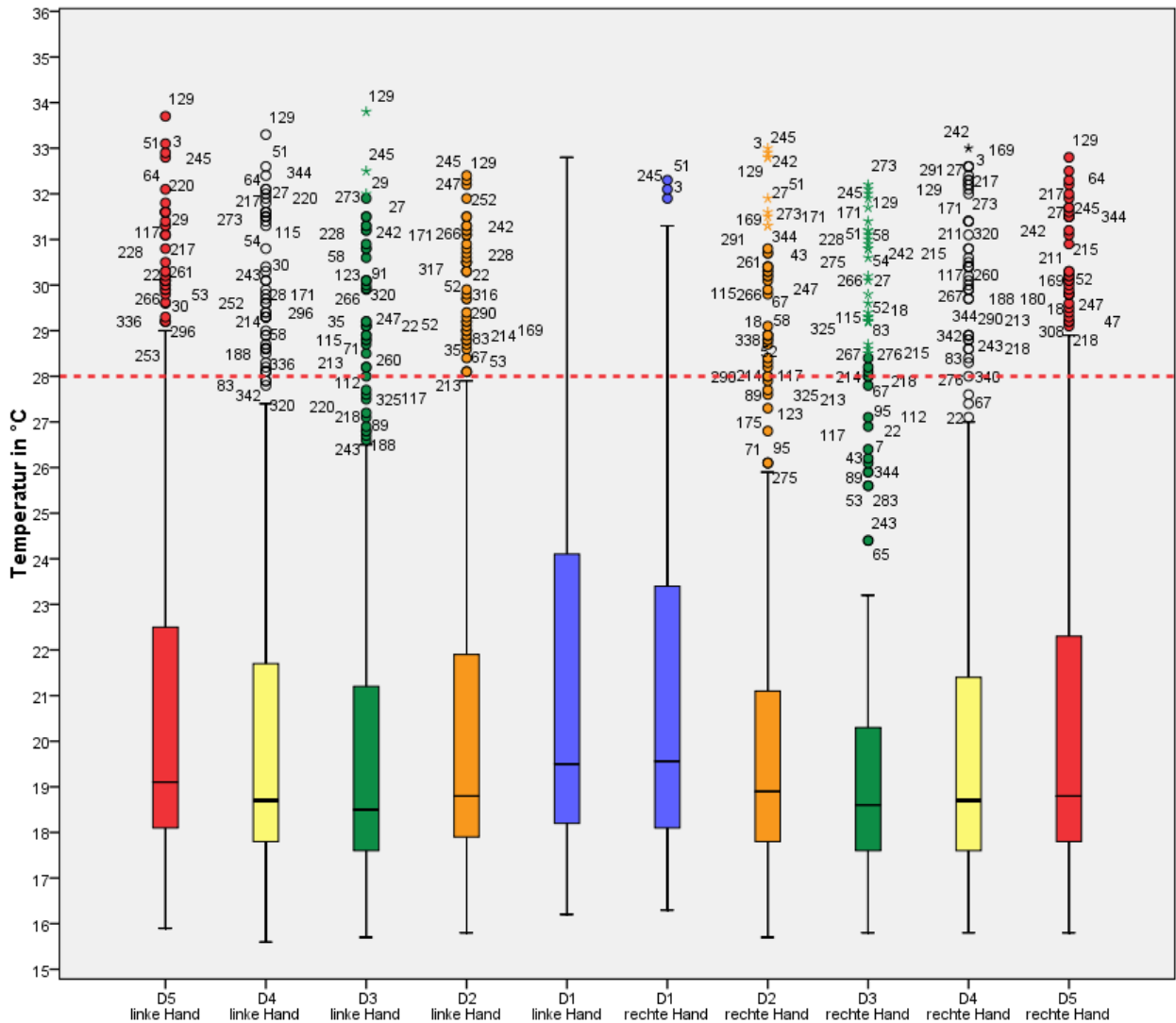
zeigt die Temperatur des kleinen Fingers aller Gutachtenpatienten. Nach den fünf Fingern der linken Hand folgen die Finger der rechten Hand, beginnend mit dem Daumen. Der Messzeitpunkt ist 25 min nach dem KPT.

Laut Fachliteratur spricht eine fehlende Wiedererwärmung auf 28 °C 25 min nach dem KPT für eine stark verzögerte Wiedererwärmung. Deswegen wurde im Folgenden eine rot gestrichelte Bezugslinie bei 28 °C gesetzt, um zu veranschaulichen, wie viele Patienten diese Temperatur nach 25 min Messzeit erreicht hatten.

Abbildung 17 zeigt, dass ein Großteil der gemessenen Fingertemperaturen unterhalb von 28 °C lag. Der IQR der einzelnen Finger befindet sich im Bereich zwischen 18 und 24 °C. Somit ist bei dem untersuchten Kollektiv 25 min nach dem KPT eine erniedrigte Fingertemperatur zu beobachten. Dies spricht für eine stark verzögerte Wiedererwärmung.

Auffallend ist, dass bei der vorliegenden Stichprobe die Finger der rechten Hand im Durchschnitt kälter waren als die Finger der linken Hand. Knapp 90 % der untersuchten Patienten waren Rechtshänder. **Error! Reference source not found.** zeigt hierfür die Verteilung der Händigkeit der Gutachtenpatienten. Hinzu kommt, dass die Spannweite der Temperatur der Daumen und der kleinen Finger höhere Temperaturen umfasste als die Spannweite der Finger Zwei bis Vier. Im Vergleich zu den anderen Fingern zeigte die Spannweite der Mittelfinger beider Hände die niedrigsten Temperaturen. Dies deutet darauf hin, dass die Mittelfinger mehr Vibrationen ausgesetzt waren als die übrigen Finger. Der IQR der rechten Mittelfinger umfasst niedrigere Temperaturen als die IQR der anderen Finger. Auch dies spricht für eine erhöhte Exposition des Mittelfingers.

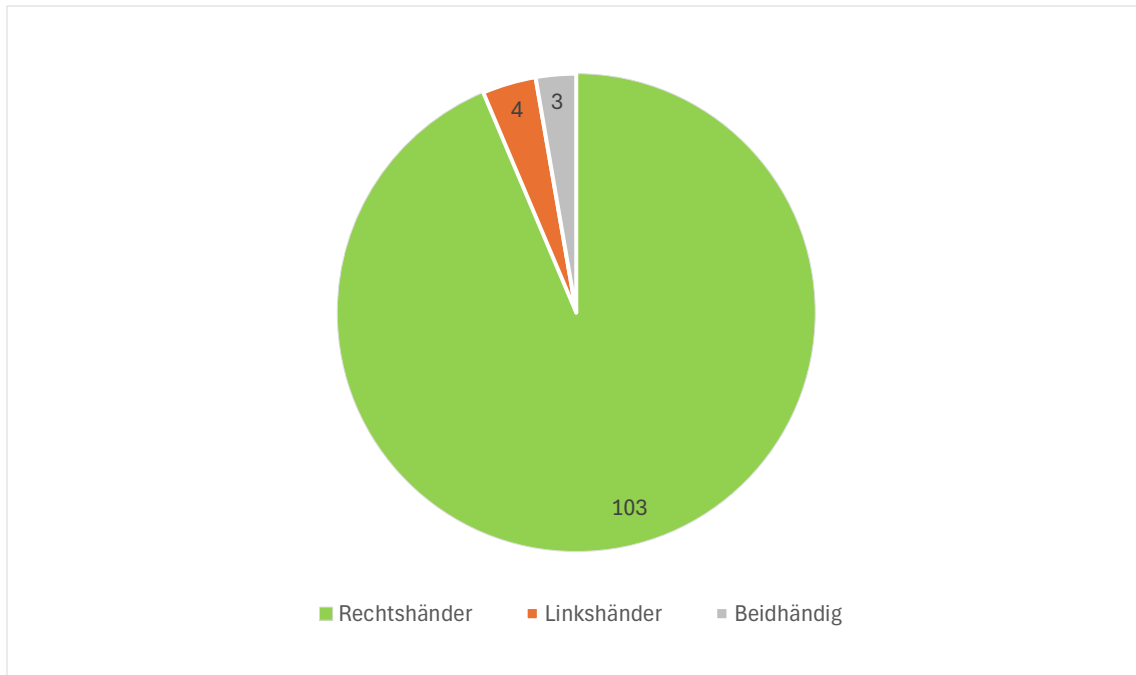
Weiterhin lag das Maximum der Mittelfinger der rechten Hand zwischen 23 und 24 °C. Diese Fingertemperaturen sprechen für eine deutlich verzögerte Wiedererwärmung nach dem KPT. Vereinzelt Ausreißer zeigten Werte von 34 °C.



**Abbildung 17: Der Boxplot zeigt die Fingertemperatur der einzelnen Finger aller Patientengutachten 25 min nach dem Kälteprovokationstest (KPT). D1–5 (Digitus 1–5) bezeichnet den jeweiligen Finger der linken oder rechten Hand. Dabei steht D1 für den ersten Finger (Daumen) und D5 für den letzten (kleiner Finger). Bei 28 °C ist eine rote, gestrichelte Bezugslinie eingezeichnet (n = 293) (eigene Darstellung).**

### 6.3 Händigkeit

Bei den 357 Patientengutachten liegen bei 293 Gutachten Daten der Fingertemperatur der einzelnen Finger 25 min nach dem Kälteprovokationstest (KPT) vor. Hierbei wurde bei 110 Patienten, bei denen entsprechende Daten für die Messungen 25 min nach dem KPT vorliegen, die Händigkeit erfragt und dokumentiert. Insgesamt sind in dieser Gruppe 103 Rechtshänder (93,64 %), 4 Linkshänder (3,64 %) und 3 beidhändig agierende Personen (2,72 %) vertreten. Abbildung 18 zeigt das entsprechende Kreisdiagramm.



**Abbildung 18: Verteilung der Händigkeit der Gutachtenpatienten bei der Messung der Fingertemperaturen 25 min nach dem KPT (n = 110) (eigene Darstellung).**

### 6.3.1 Stockholm Workshop Scale

Tabelle 8 zeigt die Häufigkeit und prozentualen Anteile der einzelnen Stadien des Stockholm Workshop Scales bei den 357 einzelnen Untersuchungen. Dabei wurde die Einteilung für vaskuläre Symptome des Stockholm Workshop Scales verwendet und beide Hände wurden erfasst.

Auffällig war, dass nur bei 2 % der Gutachten die rechte Hand keine Symptome hatte und mit Stadium 0 beziffert wurde. Bezüglich der linken Hand waren hingegen 7,3 % symptomfrei. Trotz der klaren Dominanz der Rechtshänder (siehe Abbildung 18) bei der Gutachtengruppe, zeigten trotzdem nur sehr wenige linke Hände keine vaskulären Auffälligkeiten. Das legt die Vermutung nahe, dass auch die nicht dominante Hand bei den Gutachtenpatienten erheblichen Vibrationsdosen ausgesetzt war. Das vierte Stadium des Stockholm Workshop Scales war bei keinem der Patienten zu verzeichnen. Es ist gekennzeichnet durch Weißfingerattacken und zusätzliche trophische Störungen der Haut. Diese Hautveränderungen waren bei den Gutachten nicht zu beobachten. Bei den meisten Patientengutachten zeigten sich Symptome der Stadien 2 und 3, unabhängig von der linken oder rechten Hand. Diese Stadien sind gekennzeichnet durch ein Weißwerden der mittleren und distalen

Phalangen eines oder mehrerer Finger. Bei Stadium 2 kommt dies gelegentlich, bei Stadium 3 regelmäßig vor.

**Tabelle 8: Stockholm Workshop Scale (vaskulär) beider Hände mit Häufigkeit und Prozentangaben (n = 357) (eigene Darstellung).**

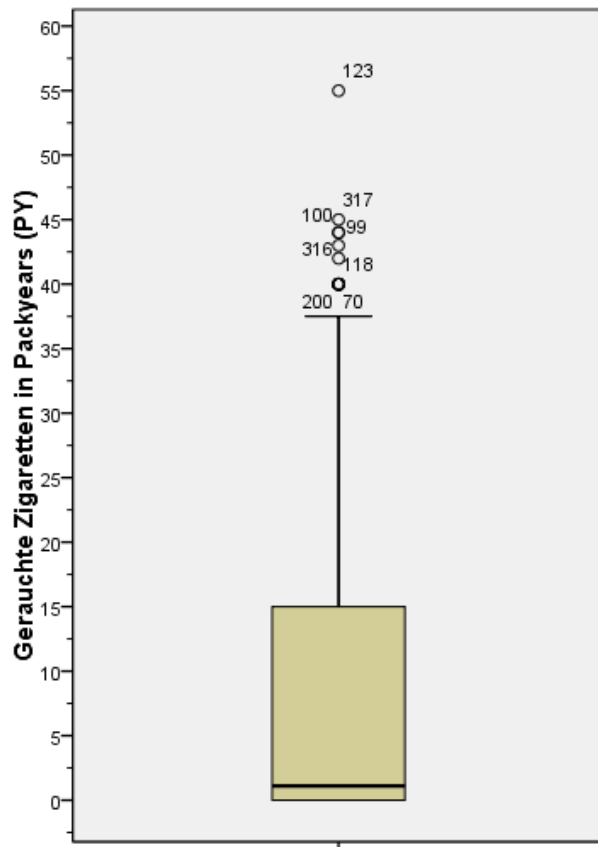
<b>Stockholm Workshop Scale beider Hände (vaskulär)</b>				
Stockholm Workshop Scale 0–4	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
	<b>rechte Hand</b>	<b>rechte Hand</b>	<b>linke Hand</b>	<b>linke Hand</b>
0) keine Symptome dokumentiert	7	2,0 %	26	7,3 %
1) Nur Fingerspitzen eines oder mehrerer Finger	42	11,8 %	40	11,2 %
2) Weißwerden der mittleren und distalen Phalangen eines oder mehrerer Finger (gelegentlich)	141	39,5 %	131	36,7 %
3) Weißwerden der mittleren und distalen Phalangen eines oder mehrerer Finger (regelmäßig)	167	46,8 %	160	44,8 %
4) Wie 3 mit zusätzlichen trophischen Veränderungen	0	0 %	0	0 %
Gesamt	357	100,0 %	357	100,0 %

#### **6.4 Vegetative Anamnese und Rauchverhalten**

Unter anderem wurde der Konsum von Genussmitteln erfasst. Dabei fiel das Augenmerk auf den Raucherstatus und einen eventuellen Einfluss auf die VVS-Symptomatik. Dazu wurde die Menge der bisher gerauchten Zigaretten erfragt und als Packyears festgehalten. Ein Packyear (PY) entspricht einer Schachtel Zigaretten pro Tag für ein ganzes Jahr. Die Zigarettenanzahl für eine Schachtel wird mit circa 20 Zigaretten beziffert. Bei 294 der 357 Patientengutachten wurde der Raucherstatus ermittelt. Dabei lag der Mittelwert bei 8,58 PY und der Median bei 1,1 PY. Bei 137 Begutachtungen (38,4 %) wurde angegeben, dass nicht geraucht wurde (0 PY). Die maximale Anzahl an PY bei einem Patienten lag bei 55 PY. Tabelle 9 zeigt die entsprechenden Lagemaße und Abbildung 19 veranschaulicht dies als Boxplot.

**Tabelle 9: Gerauchte Zigaretten in Packyears (1 PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr) (n = 294) (eigene Darstellung).**

N	Gültig	294
	Fehlend	63
Mittelwert		8,58 PY
Median		1,10 PY
Standardabweichung		11,896 PY
Spannweite		55 PY
Minimum		0 PY
Maximum		55 PY



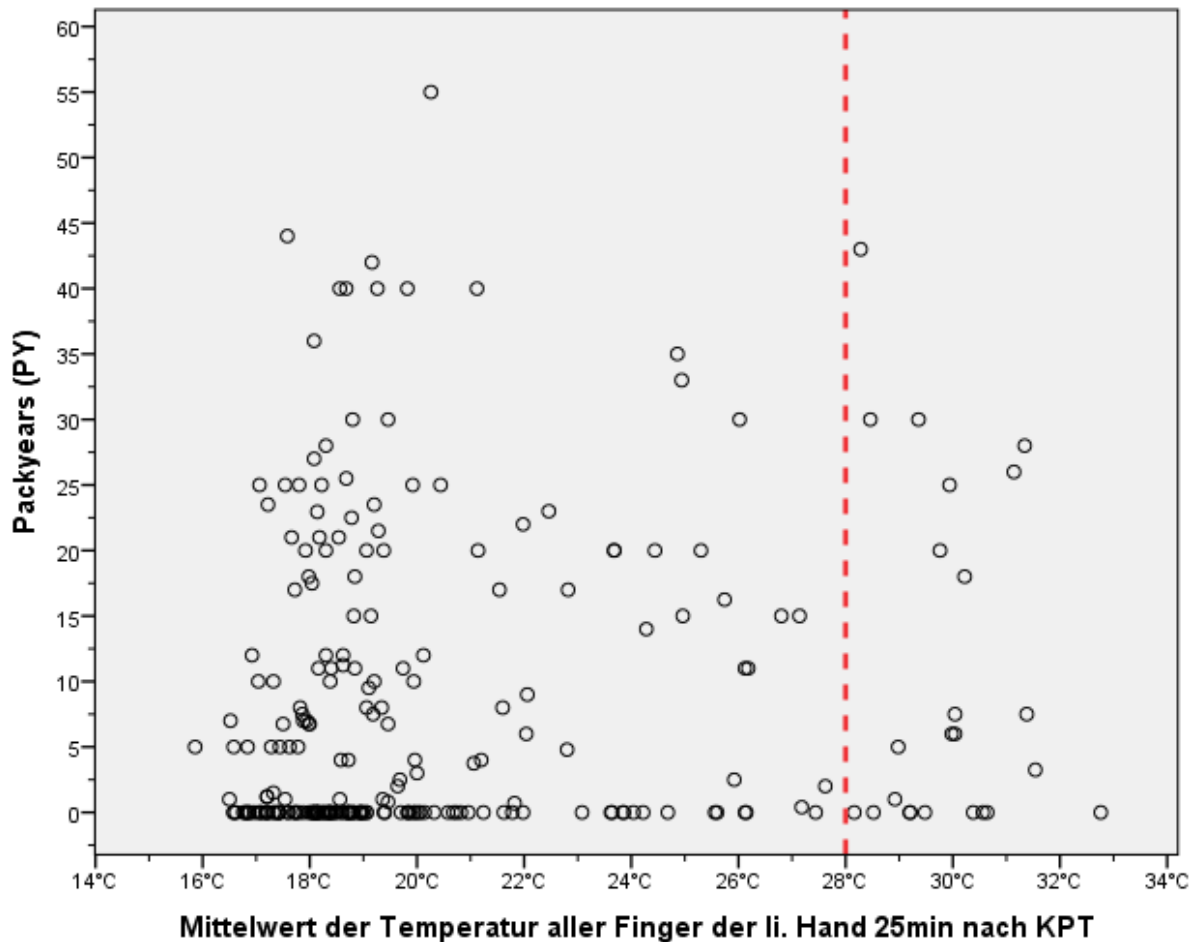
**Abbildung 19: Der Boxplot zeigt die Anzahl der gerauchten Zigaretten in Packyears (PY) (n = 294) (eigene Darstellung).**

## 7 Untersuchungsbefunde

### 7.1 Auswirkung des Raucherstatus auf die VVS-Symptomatik

Von Interesse für die Fragestellung dieser Dissertation war, ob das Rauchen die VVS-Symptomatik beeinflusst. Dafür wurde die Anzahl der Packyears mit den Ergebnissen aus dem KPT korreliert. Beim KPT wurde die Fingertemperatur jedes einzelnen Fingers ermittelt. Deswegen wurde der Mittelwert der Temperatur aller Finger einer Hand berechnet. Als Messzeitpunkt der Ergebnisse des KPT wurde 25 min gewählt. Wenn zu diesem Messzeitpunkt die Fingertemperatur nicht mindestens 28 °C erreicht hatte, war von einer stark verzögerten Wiedererwärmung und von einer gestörten Gefäßdynamik durch die langzeitige Vibrationsexposition auszugehen (Heblich et al. 2014).

Dafür wurde in dem folgenden Streudiagramm eine rote, gestrichelte Bezugsline bei 28 °C eingefügt. Der Scatter-Blot in Abbildung 20 zeigt den Mittelwert der Temperatur aller Finger der linken Hand. Auf der Y-Achse ist die Anzahl der PY aufgezeichnet. Weiterhin wurden die Werte auf statistisch relevanten Korrelationen untersucht.



**Abbildung 20: Streudiagramm. Die Y-Achse zeigt die gerauchten Zigaretten in PY und die X-Achse den Mittelwert der Temperatur aller Finger der linken Hand 25 min nach dem KPT (n = 295) (eigene Darstellung).**

Es fällt auf, dass ein Großteil der Probanden 25 min nach dem KPT die Temperatur von 28 °C nicht erreicht haben. Die vielen Kreise auf der Höhe des Wertes Null auf der Y-Achse zeigen die Nichtraucher unter den Gutachtenpatienten. Bei der statistischen Auswertung zeigte sich eine geringe positive Korrelation zwischen PY und dem Mittelwert der Fingertemperaturen der linken Hand. Des Weiteren war diese Korrelation auf dem 0,05-Niveau signifikant (zweiseitig). Bei den rechten Händen zeigt sich keine relevante Korrelation zwischen den gerauchten Zigaretten in PY und der Fingertemperatur. Das Streudiagramm dazu ist im Anhang zu finden (siehe Abbildung 28).

Das bedeutet, dass aus mehr gerauchten Zigaretten höhere Mittelwerte der Fingertemperaturen der linken Hand resultierten und dass anhand der Ergebnisse auf die Gesamtpopulation geschlossen werden kann. Sowohl der Kendall-Tau-b- als

auch der Spearman-Rho-Korrelationskoeffizient waren leicht positiv (0,106 und 0,148). Allerdings ist anzumerken, dass 90 % der Probanden Rechtshänder waren.

## 7.2 Auswirkungen der Expositionskarenz

Zwischen der Expositionskarenz in Monaten und dem Mittelwert der Fingertemperaturen der beiden Hände 25 min nach dem KPT bestand eine minimale negative Korrelation. Der Kendall-Tau-b- und der Spearman-Rho-Korrelationskoeffizient waren leicht negativ. Das bedeutet, dass eine längere Expositionskarenz mit einem leicht niedrigeren Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der linken und der rechten Hand 25 min nach KPT korrelierte. Allerdings war diese leicht negative Korrelation nicht signifikant und man kann anhand dessen die Ergebnisse nicht auf die Gesamtpopulation übertragen (Korrelation auf dem 0,05- bzw. 0.01-Niveau nicht signifikant) (Bortz und Schuster 2010; Salkind 2010).

**Tabelle 10: Korrelation zwischen Expositionskarenz in Monaten und Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der Hand 25 min nach KPT (linke Hand: n = 295, rechte Hand: n = 296) (eigene Darstellung).**

			Expositions- karenz in Monaten	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25 min nach KPT	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re. Hand 25 min nach KPT
Kendall- Tau-b	Expositionskarenz in Monaten	Korrelationskoeffizient	1,000	-,014	-,044
		Sig. (2-seitig)	.	,722	,262
		N	357	295	296
Spearman- Rho	Expositionskarenz in Monaten	Korrelationskoeffizient	1,000	-,022	-,070
		Sig. (2-seitig)	.	,705	,231
		N	357	295	296

## 7.3 Weitere mögliche Korrelationen

Weitere Korrelationen, die mit SPSS untersucht wurden, waren das Alter in Monaten und die Temperatur der Hände 25 min nach dem KPT. Hierbei gab es keine Korrelation und auch keine signifikanten Ergebnisse (siehe Tabelle 21 im Anhang).

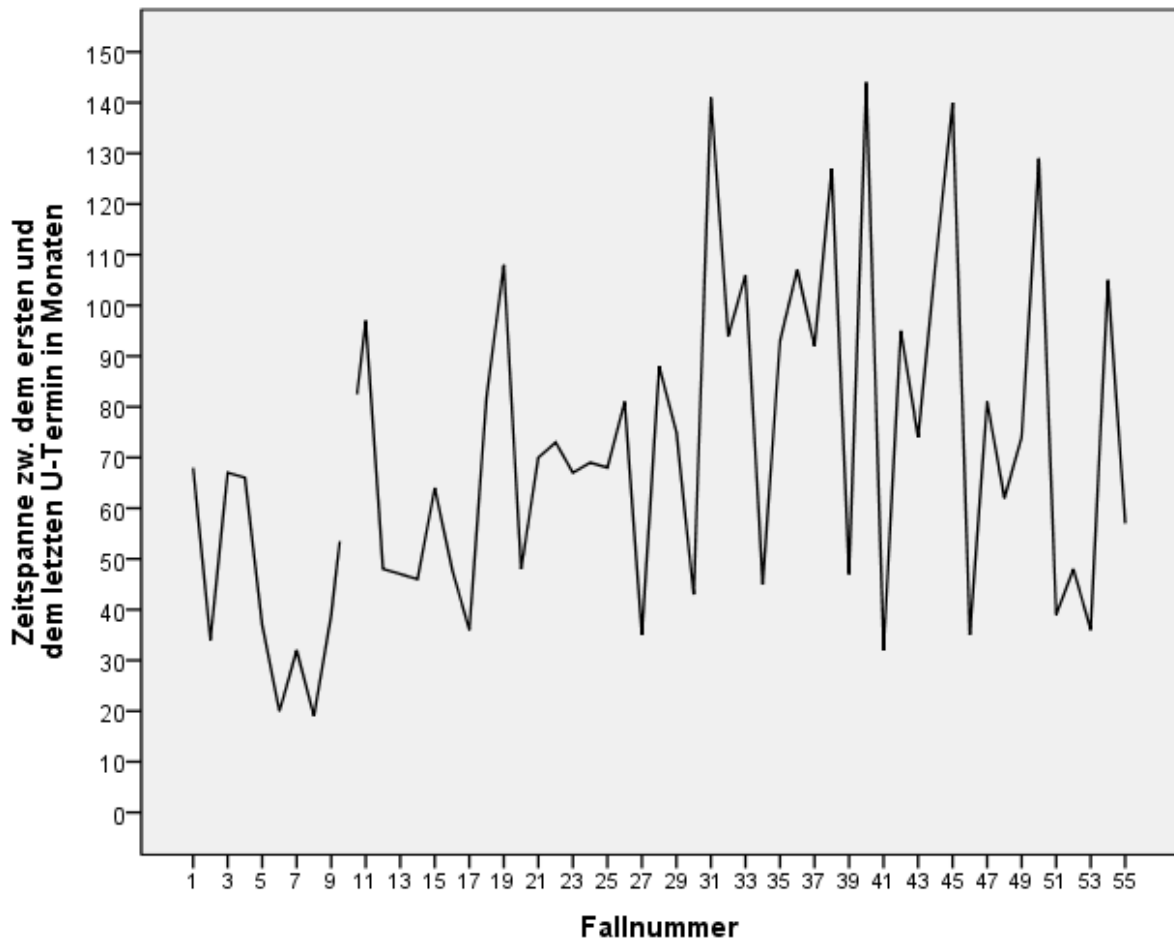
Auch zwischen dem Alter in Monaten und dem Mittelwert der Dauer der Weißfingerattacken in Minuten (subjektive Angabe) zeigte sich keine eindeutige Korrelation. Die Untersuchung einer möglichen Korrelation zwischen den Variablen Packyears, der Expositionskaenz in Monaten und der gesamten Expositionsdauer in Monaten mit der Dauer der WFA zeigte keinen statistisch relevanten Zusammenhang.

#### **7.4 Progredienz oder Reversibilität der VVS-Symptomatik**

Für die Untersuchung einer möglichen Reversibilität oder einem Progress wurde in dieser Arbeit der gepaarte t-Test ausgewählt. Dieselbe abhängige Variable wird zu zwei Zeitpunkten gemessen. Im Durchschnitt wurde jeder Gutachtenpatient 2,33-mal begutachtet. Allerdings weicht die Anzahl der Untersuchungen ab. Aus den oben genannten Gründen wurde sich dazu entschieden, die Ergebnisse der ersten mit denen der letzten Untersuchung zu vergleichen. Patienten, die nur einmal vorstellig waren, wurden hierbei nicht berücksichtigt. Weiterhin konnten nur Patienten analysiert werden, bei denen beim ersten und beim letzten Untersuchungstermin die Ergebnisse des KPT bis Minute 25 aufgezeichnet wurden. Unter die oben genannten Kriterien fielen 55 Gutachtenpatienten.

##### **7.4.1 Abstand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung**

In Abbildung 21: Das Liniendiagramm zeigt den zeitlichen Abstand zwischen dem ersten und dem letzten Untersuchungstermin in Monaten. Abbildung 21 ist der zeitliche Abstand zwischen dem ersten und dem letzten Untersuchungstermin in Monaten als Liniendiagramm dargestellt. Durchschnittlich beträgt der Abstand 70,1 Monate (5,84 Jahre), der kürzeste Abstand beträgt 19 Monate (1,58 Jahre), der längste 144 Monate (12 Jahre). Der Median beträgt 67,5 Monate (5,63 Jahre). Bei der Auswertung in SPSS konnte bei einem Patienten kein Abstand zwischen dem ersten und letzten Termin berechnet werden und wurde als fehlender Wert mit aufgeführt. Dies ist auch in der Unterbrechung im Liniendiagramm zu sehen.



**Abbildung 21:** Das Liniendiagramm zeigt den zeitlichen Abstand zwischen dem ersten und dem letzten Untersuchungstermin in Monaten. Die Unterbrechung der Linie zeigt einen fehlenden Wert (eigene Darstellung).

#### 7.4.2 Expositionsdauer

Bei den 55 ausgewählten Patienten betrug der Mittelwert der Expositionsdauer 331,05 Monate (27,59 Jahre). Der Median lag bei 335 Monaten (27,92 Jahre) und die Standardabweichung bei 137,71 (11,48 Jahre). Die kürzeste Expositionsdauer (Minimum) betrug 27 Monate (2,25 Jahre) und die längste (Maximum) 573 Monate (47,75 Jahre). Das 25. Perzentil lag bei 257 Monaten (21,42 Jahre) und das 75. Perzentil bei 456 Monaten (38 Jahre). Tabelle 11 zeigt die dazugehörigen Daten und Abbildung 22 den entsprechenden Boxplot.

Tabelle 11: Expositionsdauer in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung).

N	Gültig	55
	Fehlend	0
Mittelwert		331,05
Median		335,00
Standardabweichung		137,710
Minimum		27
Maximum		573
Perzentile	25	257,00
	50	335,00
	75	456,00

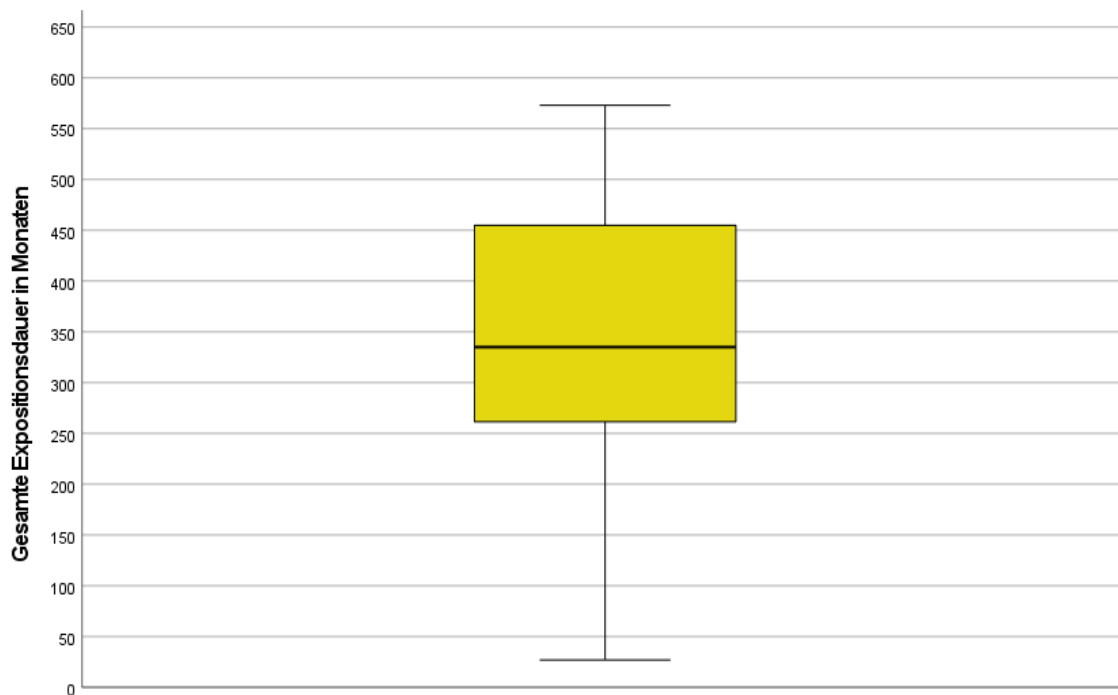


Abbildung 22: Der Boxplot veranschaulicht die gesamte Expositionsdauer in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung).

### 7.4.3 Expositionskarenz

Tabelle 12 und Abbildung 23 veranschaulichen die Expositionskarenz in Monaten. Dabei wurden die 55 Patienten betrachtet, die den oben genannten Kriterien entsprachen. Der Mittelwert lag bei 34,04 Monaten (2,83 Jahre), der Median bei 13 Monaten (1,08 Jahre). Die Standardabweichung lag bei 48,51 Monaten (4,04 Jahre). Die längste Expositionskarenz (Maximum) betrug 255 Monate (21,25 Jahre). Der Patient mit der kürzesten Expositionskarenz (Minimum) war zum

Untersuchungszeitpunkt noch seiner Tätigkeit mit vibrierenden Geräten nachgegangen (keine Expositionskaenz). Das 25. Perzentil betrug 0 Monate und das 75. Perzentil 47 Monate (3,92 Jahre). Abbildung 24 zeigt auf, welche Patienten bei der Begutachtung noch gearbeitet hatten (Expositionskaenz = 0 Monate) und wie lange die anderen Patienten schon die Arbeit mit vibrierenden Geräten eingestellt haben. 17 der 55 Patientin hatten zum Zeitpunkt ihrer ersten Untersuchung noch mit vibrierenden Geräten gearbeitet. Acht waren mindestens einen und maximal 12 Monate nicht mehr exponiert gewesen. Insgesamt 10 Patienten waren länger als fünf Jahre (73–264 Monate) und davon vier länger als 10 Jahre (121–264 Monate) keinen Vibrationen mehr ausgesetzt.

**Tabelle 12: Expositionskaenz in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung).**

N	Gültig	55
	Fehlend	0
Mittelwert		34,036
Median		13,000
Standardabweichung		48,5077
Minimum		,0
Maximum		255,0
Perzentile	25	,000
	50	13,000
	75	47,000

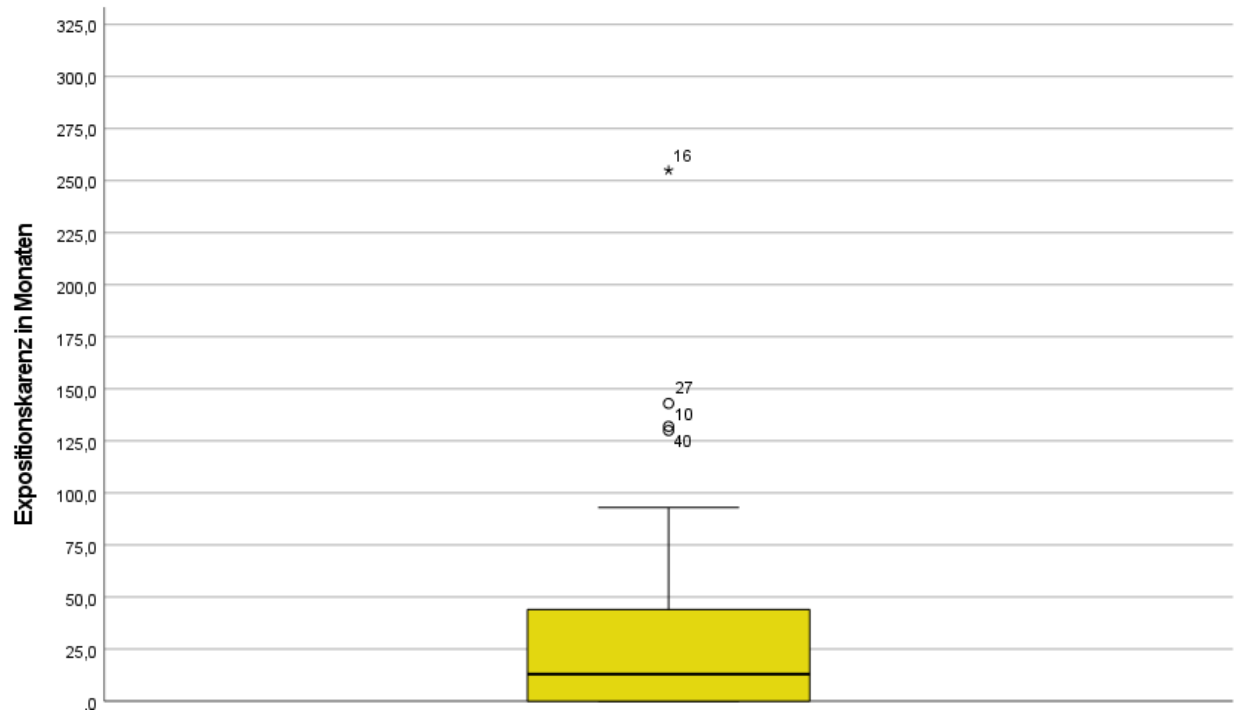


Abbildung 23: Der Boxplot veranschaulicht die Expositionskarenz in Monaten (n = 55) (eigene Darstellung).

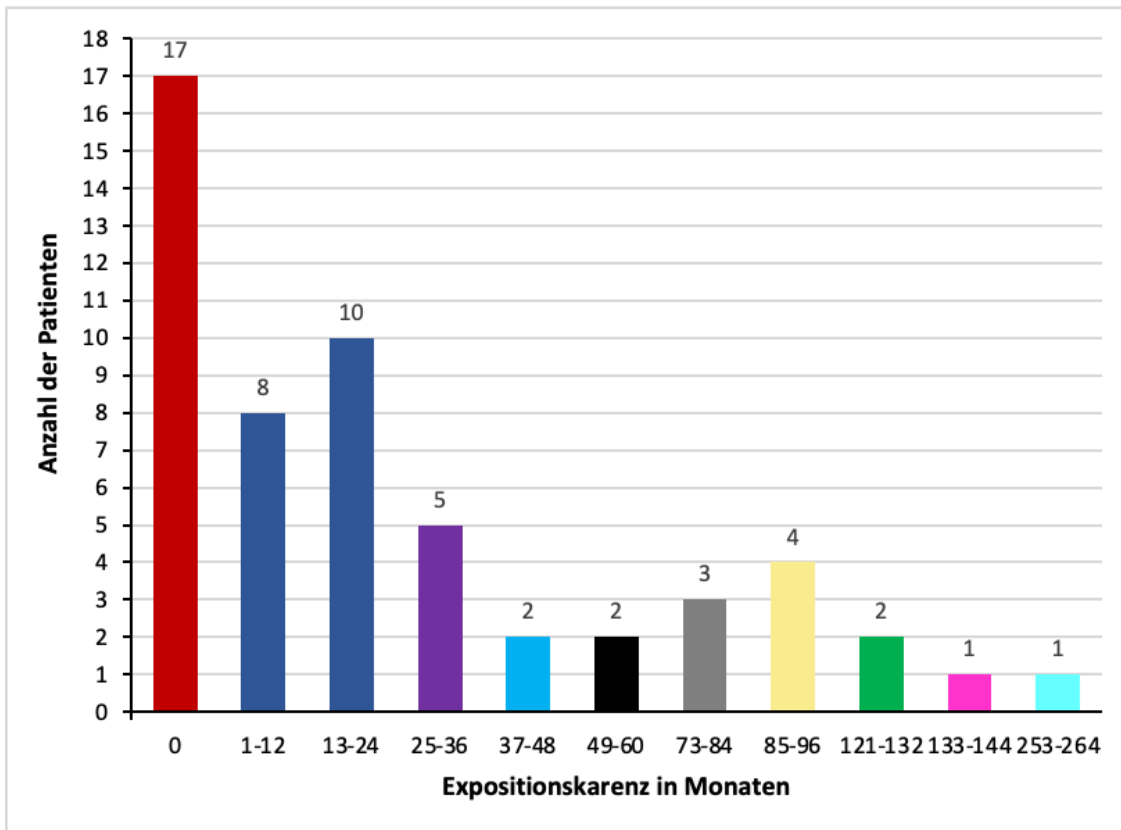


Abbildung 24: Expositionskaenz in Monaten. 17 von den 55 ausgewählten Gutachtenpatienten hatten zum Zeitpunkt ihrer ersten Untersuchung noch mit vibrierenden Geräten gearbeitet (eigene Darstellung).

#### 7.4.4 t-Test für gepaarte Stichproben

Tabelle 13 zeigt die Mittelwerte der Fingertemperaturen 25 min nach dem KPT der ersten und zweiten Untersuchung. 55 Patienten erfüllten die Kriterien für den gepaarten t-Test. „Paarung 1“ zeigt die Ergebnisse der linken und „Paarung 2“ die der rechten Hand. Auf den ersten Blick fällt auf, dass sich die Mittelwerte zwischen der ersten und der letzten Untersuchung kaum unterscheiden.

Tabelle 13: Mittelwerte der zwei Paarungen des t-Tests (n = 55) (eigene Darstellung).

		Mittelwert	N	Standard- abweichung
Paarung 1 (linke Hand)	- Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25 min nach KPT bei der <u>ersten</u> Untersuchung	21,2721	55	4,58244
	- Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25 min nach KPT bei der <u>letzten</u> Untersuchung	20,0029	55	3,64518
Paarung 2 (rechte Hand)	- Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re. Hand 25 min nach KPT bei der <u>ersten</u> Untersuchung	21,4263	55	4,79918
	- Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re. Hand 25 min nach KPT bei der <u>letzten</u> Untersuchung	20,0960	55	3,64239

Außerdem wurde geprüft, ob es eine Korrelation zwischen den Ergebnissen der ersten und der letzten Untersuchung gab. Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Positive Werte sprechen für eine positive Korrelation. In diesem Fall ergaben die Berechnungen eine leicht positive Korrelation (0,135 und 0,123) für die erste und letzte Untersuchung beider Hände. Da die Werte für die Signifikanz über dem allgemein anerkannten Signifikanzniveau von 0,05 liegen, kann anhand der Ergebnisse nicht auf die Gesamtpopulation geschlossen werden.

Der Mittelwert des Temperaturunterschieds zwischen der ersten und der letzten Untersuchung betrug rund 1,27 °C für die linke und rund 1,33 °C für die rechte Hand. Weiterhin lagen die Mittelwerte der Temperaturdifferenzen zwischen der ersten und der letzten Untersuchung zwischen der unteren und oberen Grenze des 95%-Konfidenzintervalls (siehe Tabelle 14). Auch dies zeigt, dass die Ergebnisse nicht signifikant waren.

**Tabelle 14: t-Test zum Vergleich der Ergebnisse der Mittelwerte aller Finger einer Hand 25 min nach dem KPT (eigene Darstellung).**

**Test bei gepaarten Stichproben**

	Gepaarte Differenzen					T	p-Wert Sig. (2- seitig)
	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95%-Konfidenzintervall der Differenz			
				Untere Grenze	Obere Grenze		
Paarung 1: Linke Hand, erste und letzte Untersuchung	1,26916	5,45746	,73588	-,20619	2,74452	1,725	,090
Paarung 2: Rechte Hand, erste und letzte Untersuchung	1,33025	5,65523	,76255	-,19857	2,85908	1,744	,087

Die p-Werte liegen oberhalb des Signifikanzniveaus von 0,05. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Temperaturen der jeweiligen Hand, 25 min nach dem KPT, zwischen der ersten und der letzten Untersuchung.

## 7.5 Regressionsanalyse

### Häufigkeitstabelle der Differenzen

Tabelle 15 zeigt eine Häufigkeitstabelle der 55 Patienten, die für den t-Test und das Regressionsmodell infrage kamen. Dabei wurde die Differenz der Temperatur der linken und rechten Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT betrachtet. Dabei fiel auf, dass die Temperaturspanne zwischen dem Minimum und Maximum mehr als 25 °C betrug (siehe Minimum und Maximum).

**Tabelle 15: Häufigkeitstabelle der Differenzen, Differenz der Temperatur der linken und rechten Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT (n = 55) (eigene Darstellung).**

		<b>Häufigkeitstabelle</b>	
		Differenz der Temp. der li. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25 min nach KPT	Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25 min nach KPT
N	Gültig	55	55
	Fehlend	0	0
	Mittelwert	-1,269	-1,330
	Median	-,280	-,140
	Standardabweichung	5,4575	5,6552
	Minimum	-13,3	-13,6
	Maximum	14,1	13,7

### 7.5.1 Korrelationen

Des Weiteren wurde vor der eigentlichen Regressionsanalyse die Differenz der Handtemperaturen der ersten und der letzten Untersuchung (Differenz der Temperatur zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT) mit den ausgewählten unabhängigen Variablen korreliert. Die Ergebnisse waren für beide Hände ähnlich. Es gab zwar Korrelationen, die allerdings nicht signifikant waren. Für beide Hände ergaben sich negative Korrelationen bezüglich des Alters, der gerauchten Zigaretten in Packyears und der Expositionsdauer. Das bedeutet, je höher das Alter, desto mehr gerauchte Zigaretten Packyears und je höher die Expositionsdauer, desto geringer war die Temperatur bei der letzten Untersuchung der jeweiligen Hand im Vergleich zur ersten Untersuchung. Für die Expositionskarenz ergab sich eine leicht positive Korrelation. Das bedeutet, dass bei einer längeren Expositionskarenz die Temperatur bei der letzten Untersuchung der jeweiligen Hand etwas höher war im Vergleich zur ersten Untersuchung. Auch diese Korrelation war nicht signifikant. Die entsprechende Tabelle ist im Anhang zu finden (**Error! Reference source not found.**).

### 7.5.2 Regressionsmodell für die linke Hand

In Tabelle 16 sind die Mittelwerte der Variablen der 47 Gutachtenpatienten, die in das Regressionsmodell aufgenommen wurden und jeweils einen Messwert für die

linke Hand bei der ersten und der letzten Untersuchung hatten, zu sehen. Die durchschnittliche Differenz der Temperatur der linken Hand (Mittelwert der Temperatur aller Finger der Hand 25 min nach dem KPT) zwischen dem ersten und dem letzten Untersuchungstermin betrug  $-0,658$  °C. Im Schnitt waren die 47 Patienten bei ihrer ersten Untersuchung 51,04 Jahre alt und hatten durchschnittlich 8,68 Packyears geraucht. Der Mittelwert für die gesamte Expositionsdauer betrug 322,28 Monate (28,86 Jahre) und für die Expositionskarenz 30,85 Monate (2,57 Jahre).

**Tabelle 16: Deskriptive Statistik des Regressionsmodells für die Temperatur der linken Hand (eigene Darstellung).**

Deskriptive Statistiken			
	Mittelwert	Standardabweichung	N
- Differenz der Temp. (°C) der li. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25 min nach KPT	-,658	5,2014	47
- Alter in Monaten bei Untersuchung	612,53 (51,04 Jahre)	117,734	47
- Packyears	8,68	11,264	47
- Gesamte Expositionsdauer in Monaten	322,28 (26,86 Jahre)	142,683	47
- Expositionskarenz in Monaten	30,851 (2,57 Jahre)	48,4813	47

### Modellzusammenfassung der linken Hand

In der Modellzusammenfassung dieser Regressionsanalyse für die Differenz der Temperatur der linken Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT nahm das R-Quadrat den Wert 0,079 an. Dies zeigte, dass eine Korrelation als unerheblich betrachtet wurde und das Regressionsmodell nicht dafür geeignet war, um die abhängige Variable mit den unabhängigen Variablen

vorherzusagen ( $R\text{-Quadrat} < 0,3$ ). Hier erfüllten 47 Gutachtenpatienten alle Kriterien für das Regressionsmodell ( $n = 47$ ).

Dies bedeutet, dass anhand der Prädiktoren Expositionskarenz in Monaten, Expositionsdauer in Monaten, Packyears und Alter in Monaten bei Untersuchung die Fingertemperatur der linken Hand nicht vorhergesagt werden konnte.

### **Globaler F-Test (ANOVA [Varianzanalyse])**

Hierbei ergab sich, dass die Auswirkungen der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable (Differenz der Temperatur der linken Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT) nicht signifikant waren und die Nullhypothese (alle Koeffizienten sind gleich 0) angenommen wurde. Dies ergab sich daraus, dass der p-Wert den Wert von 0,474 annahm und größer war als das Signifikanzniveau  $\alpha$  von 0,05. Das  $R^2$  nahm den Wert 0,079 an und zeigte, dass das Modell nicht geeignet war, um die abhängige Variable vorherzusagen.

### **Koeffizienten des Modells für die Temperatur der linken Hand**

Tabelle 17 listet die Koeffizienten (unabhängige Variablen oder zu untersuchende Einflussgrößen) auf. Hierbei ist es möglich, den Einfluss der unabhängigen Variablen noch mal im Einzelnen und unabhängig voneinander zu untersuchen. Auch hier fiel auf, dass der p-Wert bei jedem Fall über dem Signifikanzniveau von 0,05 lag.

In diesem Regressionsmodell zeigte sich, dass das Alter in Monaten ( $\text{Beta} = -0,304$ ) und die gerauchten Zigaretten in Packyears ( $\text{Beta} = 0,198$ ) einen negativen Zusammenhang mit der Temperaturdifferenz der linken Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung haben. Ein höheres Alter und mehr gerauchte Zigaretten führten zu geringeren Fingertemperaturen der linken Hand im Vergleich zur ersten Untersuchung. Bei der Expositionsdauer bestand ein positiver Zusammenhang ( $\text{Beta} = 0,224$ ). Je länger die Expositionsdauer war, desto höher war die Temperatur der linken Hand im Vergleich zur ersten Begutachtung. Die Variable „Expositionskarenz“ ( $\text{Beta} = 0,066$ ) zeigte einen geringen positiven Zusammenhang mit dem Mittelwert der Finger der linken Hand 25 min nach dem KPT im Vergleich zur ersten Untersuchung. Allerdings nahm der p-Wert für alle

Koeffizienten des Modells Werte  $> 0,05$  an. Das heißt, dass rechnerisch kein linearer Zusammenhang zwischen den Koeffizienten und der abhängigen Variablen besteht. Somit wurde die Nullhypothese (keiner der Koeffizienten nimmt Werte ungleich 0 an) angenommen und die Alternativhypothese (mindestens einer der Koeffizienten nimmt Werte ungleich 0 an) verworfen.

**Tabelle 17: Koeffizienten des Modells (eigene Darstellung).**

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	Sig. (p-Wert)	95,0%-Konfidenzintervalle für B	
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		Untergrenze	Obergrenze
(Konstante)	5,516	4,845		,261	-4,262	15,293
Alter_bei_U.1: <u>Alter in Monaten bei Untersuchung</u>	-,013	,012	-,304	,256	-,037	,010
Packyears.1: <u>Packyears</u> (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	-,092	,073	-,198	,213	-,238	,055
Expositionsdauer_total.1: <u>Gesamte Expositionsdauer in Monaten</u>	,008	,009	,224	,385	-,011	,027
Expos_karenz_Dauer.1: <u>Expositions karenz in Monaten</u>	,007	,018	,066	,699	-,030	,044

**Tabelle 18: Modellzusammenfassung (eigene Darstellung).**

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,281 <sup>a</sup>	,079	-,009	5,2249

a. Einflussvariablen: (Konstante), Expositions karenz in Monaten, gesamte Expositions dauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung

Tabelle 19: Globaler F-Test (ANOVA)<sup>a</sup> (eigene Darstellung).

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1 Regression	97,937	4	24,484	,897	,474 <sup>b</sup>
Nicht standardisierte Residuen	1146,587	42	27,300		
Gesamt	1244,524	46			

a. Abhängige Variable: Differenz der Temperatur der linken Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT

b. Einflussvariablen: (Konstante), Expositions-karenz in Monaten, gesamte Expositions-dauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung

### 7.5.3 Regressionsmodells für die rechte Hand

Während der Beschreibung der statistischen Berechnungen wurde ebenfalls Bezug genommen auf die rechte Hand. Dabei handelte es sich immer um die Differenz der Temperatur der rechten Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT in °C.

Die deskriptive Statistik der Variablen des Regressionsmodells für die rechte Hand war, bis auf den Mittelwert der abhängigen Variablen, identisch. Die unabhängigen Variablen waren dieselben wie bei den Berechnungen für die linke Hand und hatten die gleichen Werte. Der Mittelwert der Differenz der Temperatur der rechten Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT betrug 0,895 °C. **Error! Reference source not found.** zeigt dies und ist im Anhang zu finden.

#### Modellzusammenfassung der rechten Hand

Bei dem Regressionsmodell der rechten Hand nahm das R-Quadrat den Wert 0,08 an. Daraus resultiert, dass das Regressionsmodell nicht dafür geeignet ist, um die abhängige Variable mit den unabhängigen Variablen vorherzusagen.

Dies bedeutet, dass anhand der Prädiktoren Expositions-karenz in Monaten, Expositions-dauer in Monaten, Packyears und Alter in Monaten bei Untersuchung die Fingertemperatur der rechten Hand nicht vorhergesagt werden konnte. Die

Modellzusammenfassung für die rechte Hand ist im Anhang zu finden (**Error! Reference source not found.**).

### **Globaler F-Test (ANOVA [Varianzanalyse])**

Die Auswirkungen der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable (Differenz der Temperatur der rechten Hand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung 25 min nach KPT) war nicht signifikant und die Nullhypothese (alle Koeffizienten sind gleich 0) wurde angenommen. Dies ergab sich daraus, dass der p-Wert den Wert von 0,467 annahm und größer war als das Signifikanzniveau  $\alpha$  von 0,05. Tabelle 40 für den globalen F-Test liegt dem Anhang bei.

### **Koeffizienten des Modells für die Temperatur der rechten Hand**

Die Ergebnisse des Regressionsmodells der rechten Hand ähnelten denen der linken Hand. Die Betagewichte (standardisierte Koeffizienten) nahmen allerdings andere Werte an. Das Betagewicht für das Alter in Monaten nahm den Wert -0,371 an. Laut dem Modell ging ein höheres Alter bei der Begutachtung also mit durchschnittlich niedrigeren Temperaturen der rechten Hand im Vergleich zur ersten Untersuchung einher. Für die unabhängige Variable „Packyears“ hatte das Betagewicht den Wert 0,102. Interessant war, dass auch hier das Betagewicht für die Expositionsdauer ein positives Vorzeichen hatte (0,207). Eine längere Expositionsdauer korrelierte laut dem Modell mit einer höheren Temperatur der rechten Hand. Für die Expositionskarenz ergab sich ein Betagewicht von 0,162. Eine längere Expositionskarenz führte laut dem Modell zu durchschnittlich höheren Temperaturen der rechten Hand im Vergleich zur ersten Untersuchung.

Wie bei den Koeffizienten der linken Hand lagen auch bei dem Modell für die rechte Hand die p-Werte über dem Signifikanzniveau von 0,05. Somit bestand auch hier kein linearer Zusammenhang zwischen den Koeffizienten sowie der abhängigen Variablen und die Nullhypothese (alle Koeffizienten nehmen den Wert 0 an) wurde angenommen. Die Koeffiziententabelle (Tabelle 41) liegt dem Anhang bei.

## 7.6 Temperaturdifferenz

Bei den 55 Gutachtenpatienten wurde einzeln überprüft, ob es Temperaturunterschiede zwischen der ersten und der letzten Untersuchung gab. Dabei wurde die durchschnittliche Temperatur aller Finger der rechten Hand untersucht. Ein Temperaturunterschied von mindestens  $-5\text{ °C}$  beziehungsweise  $+5\text{ °C}$  wurde festgehalten. Zusätzlich wurden dabei auch die ausgeübte Tätigkeit und mögliche Korrelationen mit dem Alter, den gerauchten Zigaretten in Packyears, der Expositionsdauer und der Expositionskarenz betrachtet.

Vier Patienten zeigten bei der letzten Begutachtung eine Fingertemperatur der rechten Hand, die mindestens  $5\text{ °C}$  höher war im Vergleich zur ersten Begutachtung. Drei davon hatten als Forstwirte gearbeitet und einer in der Berufsgruppe Fahrzeugbauer/KFZ-Mechaniker/Karosseriebauer. Dabei zeigten sich keine statistisch relevanten Korrelationen mit dem Alter, den gerauchten Zigaretten in Packyears, der Expositionsdauer oder der Expositionskarenz.

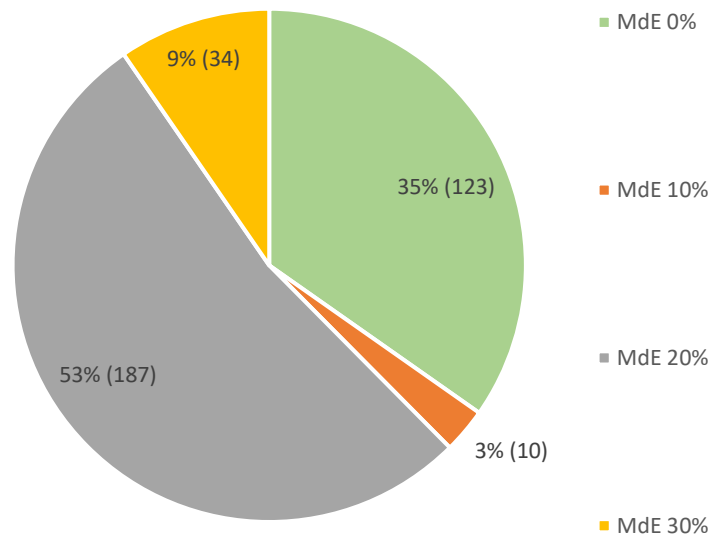
Bei 13 der 55 untersuchten Patienten wurde eine Temperaturdifferenz von kleiner als mindestens  $-5\text{ °C}$  aufgezeichnet. Darunter waren acht Forstwirte, zwei Fahrzeugbauer/KFZ-Mechaniker/Karosseriebauer, ein Monteur, ein Maurer/Betonbauer und ein Hilfsarbeiter in einer Schuhfabrik. Auch hierbei zeigten sich keine statistisch relevanten Korrelationen mit dem Alter, den gerauchten Zigaretten in Packyears, der Expositionsdauer oder der Expositionskarenz. **Error! Reference source not found.** ist im Anhang zu finden.

## 7.7 Gutachterliche Bewertung

### Minderung der Erwerbsfähigkeit

Unter anderem wurde bei den Gutachtenpatienten eruiert, ob eine Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE) vorgelegen hat. Bei den Gutachten, die im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz erstellt wurden, war in 52,4 % der Gutachten eine MdE von 20 % und in 9,5 % der Fälle eine MdE von 30 % zu beobachten. In 34,5 % der Gutachten lag keine MdE der Erwerbsfähigkeit vor. Abbildung 25 veranschaulicht die prozentuale Verteilung der MdE als Kreisdiagramm.

## Minderung der Erwerbsfähigkeit



**Abbildung 25: Minderung der Erwerbsfähigkeit in Prozent (n = 354) (eigene Darstellung).**

## 8 Diskussion

Aus der vorliegenden Dissertation geht hervor, dass die Arbeit mit vibrierenden Geräten langfristig zu einem VVS führt. Dabei ist die Zeit bis zum Auftreten erster Symptome bei den untersuchten Personen sehr unterschiedlich. Anhand der im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz durchgeführten Gutachten konnte gezeigt werden, dass die Fingertemperatur der Gutachtenpatienten beider Hände während des KPT erniedrigt und die Zeit bis zur Wiedererwärmung teilweise stark verzögert war.

Die Temperatur des Daumens und des kleinen Fingers war im Schnitt höher als die der übrigen Finger. Durchschnittlich zeigte der Mittelfinger die geringsten Temperaturen 25 min nach dem KPT. Hierbei waren die Mittelwerte der rechten Hand im Schnitt etwas geringer als die der linken Hand. Dies ist durch die Dominanz der Rechtshänder (90 %) bei den Gutachtenpatienten zu erklären. Studien zeigten, dass die rechte Hand bei Kettensägen stärkeren Vibrationen ausgesetzt war (Rukat et al. 2018).

Des Weiteren wurde ersichtlich, dass die Ausprägung eines VVS variieren und auch die Dauer von Weißfingerattacken sehr unterschiedlich sein kann. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien (Dupuis und Riedel 1997).

Betroffene Berufsgruppen bei den Gutachtenpatienten waren vor allem Forstwirte, Steinmetze, Steinbildhauer und die Gruppe der Fahrzeugbauer, KFZ-Mechaniker und Karosseriebauer. Auch in der Literatur werden Forstarbeiter als gefährdete Berufsgruppe für die Entstehung eines VVS genannt (Futatsuka et al. 1995).

Die starke Variabilität der Zeit bis zum Auftreten der ersten Symptome, die in der Literatur angegeben wurde (Nyantumbu et al. 2007), konnte die Auswertung unserer Daten bestätigen. Bis die Patienten zur Begutachtung vorstellig wurden, war die Dauer der Exposition gegenüber Vibrationen sehr variabel.

Dies zeigte zwei Sachverhalte auf. Zum einen unterstreichen die Ergebnisse, dass Menschen vermutlich ein individuell unterschiedliches Risiko für die Entstehung eines VVS haben. Zum anderen kommt der Prävention und der Einhaltung von Grenzwerten für die Arbeit mit vibrierenden Geräten eine besondere Bedeutung zu (Sauni et al. 2015).

Insgesamt zeigt der Boxplot der Fingertemperatur aller Finger die Auswirkungen der Vibrationsexposition auf die Gefäßdynamik der Hände (siehe Abbildung 17). Diese Schäden konnten mit dem KPT objektiv dargestellt werden, indem die

Temperaturmessungen der Fingertemperaturen während der Kälteprovokation gemessen wurden. Dabei blieben die Fingertemperaturen 25 min nach dem Kaltwasserbad von fast allen Messungen unterhalb des Grenzwertes von 28 °C. Außerdem gab es Unterschiede zwischen der linken und rechten Hand und auch bei den einzelnen Fingern gab es Finger, die stärker betroffen waren als andere.

## **8.1 Einfluss der unabhängigen Variablen**

### **8.1.1 Einfache Korrelationsuntersuchungen**

Die Prüfung des Einflusses des Alters, der Menge an gerauchten Zigaretten, der Expositionsdauer und der Expositionskarenz auf die Fingertemperatur ergab, dass zwar Korrelationen bestanden, diese allerdings nicht signifikant ( $p$ -Wert  $> 0,05$ ) waren und nicht auf die Gesamtpopulation übertragbar sind. Bei den 294 Patientengutachten, bei denen eine Raucheranamnese erhoben wurde, war bei 157 (61,4 %) die Angabe, dass ein Nikotinkonsum vorliegt oder früher bestanden hat. Zwar war es auffällig, dass in vielen Fällen ein Zigarettenkonsum bestand, allerdings konnte keine statistisch relevante Korrelation zwischen der Anzahl der gerauchten Zigaretten in Packyears und der gemessenen Fingertemperatur im KPT nachgewiesen werden. In der Literatur wird bei einem VVS unter anderem empfohlen, dass die betroffenen Patienten aufhören zu rauchen (Shen und House 2017). Einen größeren Einfluss auf den Verlauf der Erkrankung hat allerdings die Expositionskarenz, welche nachweislich zu einer Verbesserung der Symptomatik in manchen Fällen führen konnte (Dupuis und Riedel 1997).

### **8.1.2 Einfluss unabhängigen Variablen auf die Fingertemperatur**

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den unabhängigen und a priori festgelegten Variablen sowie der Fingertemperatur der Gutachtenpatienten in der Regressionsanalyse. Die erstellten Modelle mit den vorliegenden Daten aus den Patientengutachten zeigten, dass das Alter, die gerauchten Zigaretten in Packyears, die Expositionsdauer und die Dauer der Expositionskarenz als unabhängige Variablen die Fingertemperatur nicht vorhersagen konnten und Korrelationen als unerheblich betrachtet werden mussten. Es konnte somit kein Kausalzusammenhang zwischen den Prädiktoren

(unabhängigen Variablen) und der Fingertemperatur der Gutachtenpatienten in der Regressionsanalyse gezeigt werden. Neben der Fingertemperatur gibt es allerdings noch weitere Diagnosekriterien für das Vorliegen eines VVS (Poole et al. 2019). Deswegen könnte die Expositions-karenz beispielsweise auch die Sensibilität oder die Fingergeschicklichkeit verbessert haben, welche nicht in dieser Arbeit betrachtet wurden.

Im Regressionsmodell der linken Hand bestand bei der Expositionsdauer ein nicht signifikanter positiver Zusammenhang mit dem Mittelwert der Temperatur der Finger der linken Hand 25 min nach dem KPT im Vergleich zur ersten Untersuchung. Je länger die Expositionsdauer war, desto höher war die Temperatur der linken Hand im Vergleich zur ersten Begutachtung. Diese Korrelation wäre im Vorhinein eher nicht zu erwarten gewesen. Es wären bei längerer Expositionsdauer niedrigere Temperaturen der linken Hand zu erwarten gewesen, da die VVS-Symptomatik laut der Literatur mit der Expositionsdauer zunimmt. Allerdings wird hierbei nicht nur die Fingertemperatur, sondern unter anderem auch die Fingerspitzensensibilität, die Griffkraft, die Geschicklichkeit der Finger und das Ausmaß und die Häufigkeit von WFA betrachtet (Heaver et al. 2011).

## **8.2 Reversibilität oder Verschlechterung der VVS-Symptomatik bei den Gutachtenpatienten**

### **8.2.1 Korrelationsuntersuchung zwischen der Expositionsdauer und der Fingertemperatur**

Die Korrelationsuntersuchung zwischen der Expositions-karenz und der Fingertemperatur 25 min nach dem KPT ergab keine statistisch signifikanten Zusammenhänge. Dies zeigte, dass die VVS-Symptomatik bei den Gutachtenpatienten weder reversibel noch progredient war, wenn die Exposition gegenüber Vibrationen beendet wurde. Andere Studien zeigten hingegen eine Verbesserung der Symptome (Dupuis und Riedel 1997).

Bezüglich der Expositions-karenz wäre zu erwarten gewesen, dass eine längere Expositions-karenz gegenüber Vibrationen mit höheren Mittelwerten der Temperatur (°C) aller Finger der jeweiligen Hand 25 min nach KPT einhergeht. Diese Annahme beinhaltet, dass man von einer Reversibilität der Symptomatik nach Unterbrechung

der Vibrationsexposition ausgeht. Dupuis und Riedel konnten 1997 eine Reversibilität der VVS-Symptomatik nachweisen, als ein VVS-Patient nach 5-jähriger Expositionskarenz eine deutlich verbesserte akrale Perfusion im KPT aufwies (Dupuis und Riedel 1997).

### **8.2.2 Reversibilität oder Verschlechterung der VVS-Symptomatik**

Für die Untersuchung wurden die Ergebnisse des t-Tests für gepaarte Stichproben betrachtet. Die Resultate der Berechnungen und der Vergleich des ersten und des letzten Untersuchungstermins sprechen gegen eine Reversibilität der VVS-Symptomatik. Bei einer Reversibilität wären signifikant höhere Temperaturen der Mittelwerte der Finger der jeweiligen Hand bei der letzten Begutachtung im Vergleich zur ersten Begutachtung zu erwarten gewesen. Dies hätte für eine Verbesserung der Durchblutung der Finger gesprochen. Auch eine Verschlechterung der Symptomatik lässt sich anhand der Berechnungen der vorliegenden Gutachtendaten nicht erkennen. Dafür hätten bei der letzten Untersuchung signifikant geringere Temperaturen der Mittelwerte aller Finger einer Hand im Vergleich zur ersten Untersuchung vorliegen müssen. Durch die Ergebnisse und dadurch, dass die p-Werte oberhalb des Signifikanzniveaus von 0,05 lagen, wurde die Nullhypothese beibehalten und die Alternative verworfen. Für diese Arbeit bedeutet dies, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Temperaturen der jeweiligen Hand 25 min nach dem KPT zwischen der ersten und der letzten Untersuchung gab.

Alles in allem sprechen die Ergebnisse der Berechnungen dieser Arbeit dafür, dass die VVS-Symptomatik bei den untersuchten Gutachtenpatienten weder signifikant reversibel noch signifikant progredient war. Die Literatur zeigte diesbezüglich sehr heterogene Untersuchungsergebnisse. Sauni et al. zeigten beispielsweise 2015, dass 8,5 Jahre nach der ersten VVS-Diagnose bei einem Drittel der untersuchten Patienten eine Besserung der VVS-Symptomatik zu beobachten war. Dabei war ein niedrigeres Alter und eine kürzere Vibrationsexposition mit einer Verbesserung der Symptome assoziiert. Zwei Drittel der Patienten zeigten beim Follow-up eine Stabilisierung der Symptome oder sogar eine Verschlechterung (Sauni et al. 2015). Bei einer Verschlechterung der Symptomatik konnte ein Zusammenhang mit dem Rauchen gefunden werden (Sauni et al. 2010). Hier lassen sich Parallelen zu den Ergebnissen dieser Arbeit sehen, denn auch in der Literatur zeigte ein Teil der

Patienten keine Veränderung der VVS-Symptome nach einer Beendigung der Arbeit mit vibrierenden Geräten (Sauni et al. 2015). Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Studie konnte allerdings keine statistisch signifikante Korrelation zwischen den Einflussfaktoren Rauchen, der Vibrationsexposition, dem Alter und einer Progredienz beziehungsweise einer Verbesserung der VVS-Symptomatik in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt werden.

Ein VVS entwickelt sich im Allgemeinen nach einer langfristigen Exposition der Hände gegenüber hochfrequenten Vibrationen. Die anfänglich intermittierenden Symptome chronifizieren, wenn die Exposition nicht früh genug unterbrochen wird. Außerdem ist mit einer Verschlimmerung der Symptome zu rechnen, wenn die Exposition zunimmt (Heaver et al. 2011).

Bezüglich der Expositionsdauer konnte in dieser Arbeit keine signifikante Korrelation zwischen den untersuchten unabhängigen Variablen und dem Verlauf der Erkrankung gefunden werden. Jedoch wurden hierbei die neurologischen Symptome des VVS nicht betrachtet und nur die Ergebnisse des KPT miteinbezogen.

### **8.3 Limitationen der Studie**

Der Abstand zwischen der ersten und der letzten Untersuchung fiel teilweise sehr verschieden aus. Zum Beispiel lag bei manchen Gutachtenpatienten nur ein Jahr zwischen der ersten und der letzten Begutachtung. Wenn diese insgesamt nur zweimal begutachtet wurden, hatte das Weichteilgewebe oder Hände und auch der ganze Organismus nur wenig Zeit, um zu messbaren Verbesserungen der Gefäßdynamik zu führen.

Außerdem war es bei dieser Arbeit nicht einfach, einen Indikator für die VVS-Symptomatik zu bestimmen. Beispielsweise war die Angabe für die Länge der Weißfingerattacken eine subjektive Angabe und eignete sich nur begrenzt für statistische Auswertungen.

Des Weiteren schien es für die generelle Diagnostik eines VVS keine detaillierte Übereinkunft zu geben. Laut DIN ISO 14835-1 wurde zwar einheitlich festgelegt, wie der KPT durchzuführen ist, für die Beurteilung gibt es aber keine eindeutigen Richtlinien. In der Literatur gibt es hier verschiedenste Ansätze für die Bewertung der

Ergebnisse des KPT. Hierbei wird beispielweise der Wiederanstieg der Hauttemperatur der Finger, nach fünfminütigem Kaltwasserbad, zusammen mit anderen Indikatoren, als bester Indikator für die Diagnose eine VVS genannt (Xiao et al. 2019). Eine weitere Studie weist darauf hin, dass die Zeit der Wiedererwärmung der Finger nach dem KPT stark durch die Raumtemperatur und durch ein weibliches Geschlecht beeinflusst werde. Für Frauen seien andere diagnostische Kriterien notwendig. Die Raumtemperatur müsse strikt eingehalten werden und die Wiedererwärmungszeit der Finger sei, bei einer Raumtemperatur von 20 °C, länger, als bei 28 °C (Ye und Griffin 2017).

## **8.4 Ausblick**

### **8.4.1 Prävention**

Bereits in den 70er-Jahren des letzten Jahrhunderts konnte weltweit die Inzidenz des VVS gesenkt werden, indem Grenzwerte für die Arbeit mit vibrierenden Geräten festgelegt wurden. Leider werden diese Grenzwerte oftmals nicht eingehalten oder die exponierten Arbeiter wissen nicht um die Auswirkungen ihrer Tätigkeit mit vibrierenden Geräten. Mit der Schaffung eines Bewusstseins für dieses Erkrankungsbild kann die Inzidenz des VVS weiter zurückgehen. Eine kanadische Studie evaluierte, ob Poster, die auf die Gefahren von Vibrationen hinweisen, helfen könnten (Budd und Holness 2018). Interessant ist, dass es bereits viele Poster zum Schutz am Arbeitsplatz gab, aber keine zum Schutz vor einem VVS (Budd und Holness 2018).

Weiterhin wurden die entsprechenden Geräte modifiziert, um die Vibrationstransmission zu reduzieren (Palmer und Collin 1993). Dazu gehören beispielsweise beheizbare und von der Vibrationsquelle entkoppelte Griffe bei Kettensägen. Des Weiteren existieren spezielle, mit Gummi verstärkte Anti-Vibrations-Handschuhe, die die Übertragung der Vibrationen auf die Hände reduzieren.

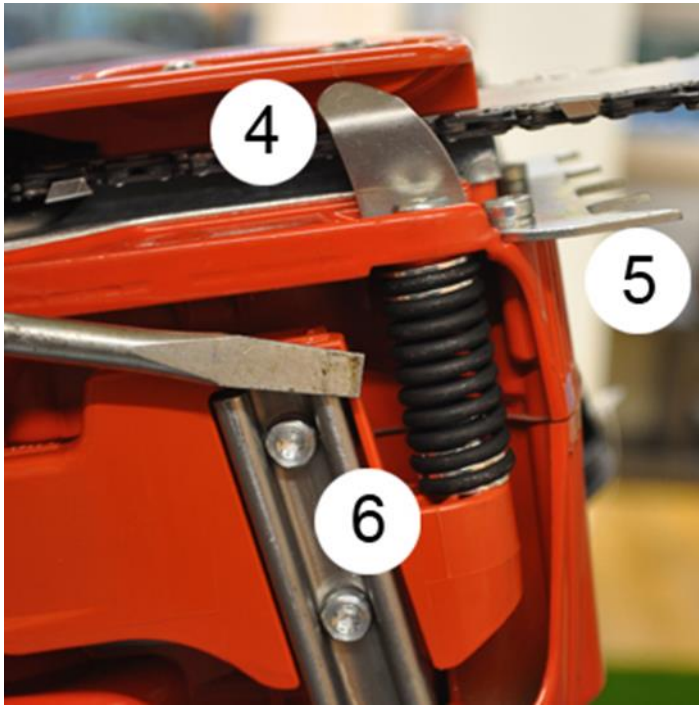


Abbildung 26: Gezeigt ist die schwarze Feder des Anti-Vibrations-Systems bei einer Motorsäge (Grube Magazin 2024).

#### 8.4.2 Dosimetrie per Smartwatch

Oftmals ist die subjektive Einschätzung der Vibrationsexposition sehr zeitaufwendig, nicht selten ungenau und stört den Arbeitsablauf (Bieber und Kaulbars 2019). Des Weiteren entsprechen die angegebenen Werte der Hersteller zur Vibrationsemission nicht den tatsächlichen Emissionen. Die Herstellerangaben der Schwingungen, die auf die Arbeiter einwirken, sind oft niedriger, als sie tatsächlich sind (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) 2023).

Durch die verschiedenen Sensoren, die Smartwatches heutzutage in sich tragen, stellte sich die Frage, ob mit ihnen HAV adäquat gemessen werden können. Die effiziente Verarbeitungseinheit, leistungsfähige Beschleunigungs-, Drehraten- und Akustiksensoren bieten ein enormes Potenzial. In Feldstudien und unter Laborbedingungen konnte gezeigt werden, dass Smartwatches HAV gut messen können (Bieber und Kaulbars 2019). Die Erkennungsrate der genutzten Arbeitsgeräte lag bei 72 % und bezüglich der Bestimmung der Tagesdosis von  $5 \text{ m/s}^2$  zeigten die Smartwatches eine Überbewertung von 11 %. Letztendlich ist festzuhalten, dass eine kontinuierliche Erfassung der HAV-Dosis mit Smartwatches unkompliziert zu bewerkstelligen ist (Bieber und Kaulbars 2019).



**Abbildung 27:** Das Display der Smartwatch zeigt die Dosimetrie der einwirkenden Vibrationen und den Tageshöchstwert (Bieber und Kaulbars 2019).

### 8.4.3 Aussichten für die Zukunft

Das frühe Erkennen von exponierten Personen und des Auftretens erster Anzeichen von vibrationsbedingten Schäden an den Fingern ist essentiell. Durch eine entsprechende Beendigung der Tätigkeit mit vibrierenden Geräten lässt sich eine Verschlimmerung der Symptome vermeiden.

Bei einem Monitoring von gefährdeten Arbeitern sollte nicht nur nach Symptomen gefragt werden, sondern es sollten auch klinische Untersuchungen durchgeführt werden, um ein mögliches VVS schon in einem frühen Stadium zu erkennen. Die beste Therapie ist eine frühzeitige Unterbindung der Exposition (Heaver et al. 2011).

Es ist davon auszugehen, dass durch den rasanten Fortschritt der Technik geringere Schäden durch Vibrationen zu verzeichnen sind (Bieber und Kaulbars 2019). Die Anzahl der exponierten Personen sinkt und optimierte Geräte arbeiten vibrationsärmer (Bieber und Kaulbars 2019). Smartwatches und andere unkomplizierte Messinstrumente werden in Zukunft das Ausmaß von Vibrationsexpositionen immer besser darstellen können. Somit sinkt das Risiko, dass Arbeiter schädlichen Vibrationsdosen ausgesetzt sind. Auch der vermehrte Einsatz von Robotern in der Produktion wird die Inzidenz von Schäden durch HAV senken. Dazu kommt noch der Fortschritt im Bereich der künstlichen Intelligenz und somit eine bessere Erkennung von vermeidbaren Belastungen am Arbeitsplatz und

frühzeitig angebrachte Vorschläge zum Schutz von Arbeitern (Bieber und Kaulbars 2019).

## 9 Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit

- Wie alt sind die Patienten bei ihrer Erstuntersuchung?
- Welches Geschlecht ist häufiger betroffen?
- Welche Berufsgruppen zeigen am häufigsten Symptome eines VVS?
- Welche Finger sind betroffen?
- Wie hoch ist die Expositionsdauer mit vibrierenden/oszillierenden Geräten?
- Haben die Patienten geraucht (Raucheranamnese)?
- Inwiefern unterscheidet sich die Schwere und Dauer der Symptome?
- Gibt es Korrelationen zwischen Merkmalen des Patientenkontexts und der Schwere der Symptomatik?
- Gibt es eine Reversibilität der Symptomatik oder nehmen die Beschwerden zu?

Die Gutachtenpatienten waren bei ihrer Erstuntersuchung durchschnittlich 52,3 Jahre alt. Männer waren häufiger betroffen als Frauen. 148 der Patienten waren männlich (97 %) und fünf weiblich (3 %). Die Berufsgruppe der Forstwirte (45,1 % aller Gutachtenpatienten) zeigte am häufigsten Symptome eines VVS. Beim KPT wiesen die Mittelfinger durchschnittlich niedrigere Temperaturen auf als die übrigen Finger und die durchschnittliche Temperatur der Finger war bei den rechten Händen niedriger. Die Expositionsdauer lag durchschnittlich bei 27,6 Jahren. Bei 294 der 357 Patientengutachten wurde der Raucherstatus erfragt und bei 137 Begutachtungen (38,4 %) wurde angegeben, dass nicht geraucht wurde (0 Packyears [PY]). Der Mittelwert lag bei 8,58 PY. Die Schwere und Dauer der Symptome unterschieden sich stark. Der Mittelwert der Weißfingerattacken aller Patientengutachten betrug 35,9 min, die längste angegebene Dauer 390 min (6,5 h). Auch beim Stockholm Workshop Scale zeigten sich Unterschiede bei der Schwere und Dauer der Weißfingerattacken. Mehr als 80 % der Patientengutachten wiesen Symptome der Stadien 2 oder 3 auf. Mehr gerauchte Zigaretten korrelierten gering positiv mit dem Mittelwert der Fingertemperaturen der linken Hand. Ansonsten gab es keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen Merkmalen des Patientenkontexts und der Schwere der Symptomatik. Vier von 55 ausgewählten Patienten zeigten bei ihrer letzten Untersuchung höhere Fingertemperaturen der rechten Hand im Vergleich zur ersten Untersuchung. Dabei war die Temperatur mindestens 5 °C

höher als bei der ersten Begutachtung und spricht für eine Reversibilität der Symptomatik. 13 Patienten von 55 zeigten eine Abnahme der Temperatur um mindestens  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , was für eine Verschlechterung der Durchblutung der Finger spricht.

## **10 Zusammenfassung**

Das vibrationsbedingte vasospastische Syndrom (VVS) ist eine in Deutschland anerkannte Berufserkrankung. Kennzeichnend ist eine vibrationsbedingte, gestörte Durchblutung und Sensibilität der Finger, die mit Schmerzen einhergehen kann. Für die Betroffenen kann es zu Behinderungen im beruflichen als auch im alltäglichen Leben kommen. Grundlage dieser Arbeit sind 357 Patientenbegutachtungen von 153 verschiedenen Patienten, die im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz zwischen 2001 und 2018 durchgeführt wurden. Auch stellte sich die Frage einer möglichen Reversibilität oder Verschlimmerung der Symptome. Dabei wurden Merkmale des Patientenkollektivs und deren Einfluss auf die Erkrankung untersucht.

### Methoden:

Die Daten der Gutachtenpatienten wurden im Vorfeld durch eine ausführliche Anamnese, körperliche Untersuchung und mittels des Kälteprovokationstests (KPT) gesammelt. Beim KPT werden die Hände für 5 min in 12 °C kaltes Wasser eingetaucht und die Wiedererwärmungszeit wird mittels Infrarot-Thermografie gemessen. Die Daten aus den Patientengutachten wurden in dieser Arbeit statistisch ausgewertet. Dabei wurden die gängigen Lagemaße sowie statistischen Tests verwendet und mittels Grafiken, Boxplots, Balken-, Streu- und Kreisdiagrammen dargestellt.

### Ergebnisteil:

Das Alter, die Berufsgruppe, die Expositionsdauer und die Expositionskarenz zeigten keine statistisch signifikanten Korrelationen mit der durchschnittlichen Fingertemperatur der Hände beim KPT. Bei ihrer Erstuntersuchung waren die Patienten durchschnittlich 52,3 Jahre alt. Die Berufsgruppe der Forstwirte war am häufigsten vertreten gewesen. Männer waren deutlich häufiger betroffen als Frauen. Die Ausprägung der Symptome der Gutachtenpatienten variierte stark. Die durchschnittliche Fingertemperatur der Hände beim KPT, die Dauer der Weißfingerattacken und auch die Zeit bis zur Wiedererwärmung zeigten deutliche Unterschiede. Der Mittelfinger der rechten Hand wies durchschnittlich geringe Temperaturen auf als die anderen Finger. Nur die Anzahl der gerauchten Zigaretten korrelierte gering positiv mit dem Mittelwert der Fingertemperaturen der linken Hand.

Ansonsten gab es keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen Merkmalen des Patientenlientels und der Schwere der Symptomatik. Vier von 55 ausgewählten Patienten zeigten bei ihrer letzten Untersuchung höhere Fingertemperaturen der rechten Hand im Vergleich zur ersten Untersuchung. Dabei war die Temperatur mindestens 5 °C höher als bei der ersten Begutachtung und spricht für eine Verbesserung der Durchblutung. 13 Patienten von 55 zeigten eine Abnahme der Temperatur um mindestens -5 °C, was für eine Verschlechterung der Durchblutung der Finger spricht.

### Diskussion:

Auf mikroskopischer Ebene führen hochfrequente Vibration mit geringen Amplituden und Frequenzen von circa 20–1.000 Hz zu einer Zerstörung des arteriellen Endothels. Diese endothelialen Traumata können sich im Verlauf addieren. Es liegt ein gestörtes Gleichgewicht zwischen Vasokonstriktion und Vasodilatation durch Vibrationsexposition vor. Die VVS-Symptomatik kann nur bei Expositionskarenz reversibel sein. Bei einer Expositionskarenz in sehr frühen Stadien ist die Chance größer, dass sich bereits vorhandene Symptome zurückbilden. Die Arbeit mit vibrierenden Geräten muss unterlassen werden. Die Zeit zwischen Exposition und dem Auftreten erster Symptome kann sehr variabel sein. Eine frühe Diagnose und die Prävention haben einen besonderen Stellenwert beim Umgang mit vibrierenden Geräten und deren potenzieller Gefahr für die Gesundheit. In dieser Arbeit war es nicht einfach, einen Indikator für die VVS-Symptomatik zu bestimmen. Die Länge der Weißfingerattacken war eine subjektive Angabe und eignete sich nur begrenzt für statistische Auswertungen. Laut DIN ISO 14835-1 ist zwar einheitlich festgelegt, wie der KPT durchzuführen ist, für eine Interpretation der Ergebnisse gibt es aber keine eindeutigen Richtlinien. Auch die Fachliteratur gibt hier verschiedenste Ansätze für die Bewertung der Ergebnisse des KPT. Die Abstände zwischen der ersten und der letzten Untersuchung waren sehr unterschiedlich. Bei den 55 ausgewählten Patienten, bei denen eine Reversibilität der Symptomatik untersucht wurde, lagen 1,58 bis 12 Jahre zwischen der ersten und der letzten Begutachtung. Das Weichteilgewebe der Finger braucht Zeit, um zu messbaren Verbesserungen der Gefäßdynamik zu führen. Ärzte und gefährdete Personengruppen sollen für das Krankheitsbild des VVS und Grenzwerte von Vibrationsdosen sensibilisiert werden. Damit ist das Fundament dafür gelegt, dass bei Beschwerden die

Vibrationsexposition reduziert werden kann. Leider zeigt die Praxis, dass VVS-Patienten oftmals nur mit Verzögerung bei einem Arzt vorstellig werden. Auch die Industrie sollte dazu angehalten werden, dass Arbeitsplätze mit hohen Vibrationsbelastungen optimiert werden und die verwendeten Werkzeuge weniger Vibrationen auf die geräteführenden Personen übertragen.

Fazit:

Die vorliegende Arbeit sollte weitere Einblicke in die Pathomechanismen der Entstehung des VVS geben, aber gleichzeitig auch klarstellen, dass das Krankheitsbild noch nicht gänzlich erforscht ist. Die Ergebnisse dieser Arbeit decken sich mit dem aktuellen Forschungsstand. Es ist weiterhin von Bedeutung, dass das VVS auch in Zukunft Gegenstand der Forschung bleibt.

## 11 Literaturverzeichnis

Ahrazoglu, M.; Moinzadeh, P.; Hunzelmann, N. (2014): Differenzialdiagnosen des Raynaud-Syndroms. In: *Dtsch Med Wochenschr* 139 (20), S. 1064–1069. DOI: 10.1055/s-0034-1370036.

Bieber, Gerald; Kaulbars, Uwe (2019): Schnelles Feedback per Smartwatch. Hg. v. Sicherheitsingenieur. Online verfügbar unter [https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2019\\_076.pdf](https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2019_076.pdf).

Bortz, Jürgen; Schuster, Christof (2010): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Botson Daniels (2020): The hidden threats of HAVS (hand arm vibration syndrome). Online verfügbar unter <https://botsondaniels.com/the-hidden-threats-of-havs-hand-arm-vibration-syndrome/>.

Budd, D.; Holness, D. L.; House, R. (2018): Functional limitations in workers with hand-arm vibration syndrome (HAVS). In: *Occupational medicine (Oxford, England)* 68 (7), S. 478–481. DOI: 10.1093/occmed/kqy097.

Budd, Diandra; Holness, D. Linn (2018): Raising awareness of hand-arm vibration syndrome (HAVS) using posters. In: *Work (Reading, Mass.)* 61 (1), S. 3–10. DOI: 10.3233/WOR-182775.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2023): Handbuch Gefährdungsbeurteilung. DOI: 10.21934/baua:fachbuch20230531.

Bundesarbeitsblatt 7/8/1979, S. 74.

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2015): Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung. In: *Gemeinsames Ministerialblatt GMBI Nr. 25/26 vom 24. Juni 2015 (25/26)*, S. 485. Online verfügbar unter [https://www.bgn-branchenwissen.de/daten/tr/trlv\\_vib\\_1/titel.htm](https://www.bgn-branchenwissen.de/daten/tr/trlv_vib_1/titel.htm).

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2007): EU-Handbuch HAV, Handbuch zum Thema Hand-Arm-Vibrationen. Hg. v. Europäische Kommission. Online verfügbar unter [https://lavg.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/EU\\_HAV\\_Handbuch.pdf](https://lavg.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/EU_HAV_Handbuch.pdf).

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2023): DGUV-Statistiken DGUV-Statistiken für die Praxis 2022. Online verfügbar unter [www.dguv.de/de/zahlen-fakten](http://www.dguv.de/de/zahlen-fakten).

Dupuis, Heinrich; Riedel, Stephan (1997): Zur Reversibilität des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms VVS (BK Nr. 2104) nach Unterlassung der beruflichen Schwingungsbelastung. In: *VDI Berichte*, S. 257–262.

Futatsuka, M.; Inaoka, T.; Ohtsuka, R.; Sakurai, T.; Moji, K.; Igarashi, T. (1995): Hand-arm vibration in tropical rain forestry workers. In: *Central European journal of public health* 3 Suppl, S. 90–92.

Gemne, G.; Pyykkö, I.; Taylor, W.; Pelmear, P. L. (1987): The Stockholm Workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmear scale) 13, S. 275–278. DOI: 10.5271/sjweh.2038.

Gerhardsson, Lars; Ahlstrand, Christina; Ersson, Per; Jonsson, Per; Gustafsson, Ewa (2021): Vibration related symptoms and signs in quarry and foundry workers. In: *International archives of occupational and environmental health* 94 (5), S. 1041–1048. DOI: 10.1007/s00420-021-01660-8.

Govindaraju, Sandya R.; Bain, James Lw; Eddinger, Thomas J.; Riley, Danny A. (2008): Vibration causes acute vascular injury in a two-step process: vasoconstriction and vacuole disruption. In: *Anatomical record (Hoboken, N.J. : 2007)* 291 (8), S. 999–1006. DOI: 10.1002/ar.20718.

Grube Magazin (2024): Die Sicherheitseinrichtungen der Motorsäge. Online verfügbar unter <https://www.grube.de/magazin/sicherheitseinrichtung-der-motorsaege/>.

Heaver, C.; Goonetilleke, K. S.; Ferguson, H.; Shiralkar, S. (2011): Hand-arm vibration syndrome: a common occupational hazard in industrialized countries. In: *The Journal of hand surgery, European volume* 36 (5), S. 354–363. DOI: 10.1177/1753193410396636.

Heblich, F.; Becker, Q.; Sammito, S. (2014): Kälteprovokationstests nach DIN ISO 14835-1 Beurteilung unterschiedlicher Bewertungskriterien. In: *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*.

Herrick, A. L. (2005): Pathogenesis of Raynaud's phenomenon. In: *Rheumatology (Oxford)* 44 (5), S. 587–596. DOI: 10.1093/rheumatology/keh552.

Institute of Sound and Vibration Research at the University of Southampton (2014): Multi-Channel Plethysmograph. Hg. v. University of Southampton. University of Southampton. Online verfügbar unter <https://www.southampton.ac.uk/hvlab/diagnostic-inst/multi-channel.page>.

Krajnak, Kristine; Waugh, Stacey; Johnson, Claud; Miller, Roger; Kiedrowski, Megan (2009): Vibration disrupts vascular function in a model of metabolic syndrome. In: *Industrial health* 47 (5), S. 533–542. DOI: 10.2486/indhealth.47.533.

LaborInfo (2016): Sinnvolle Labordiagnostik beim sekundären Raynaud-Syndrom. Online verfügbar unter [https://www.labor28.de/media/4636/laborinfo\\_199\\_raynaud-phaenomen\\_l28.pdf](https://www.labor28.de/media/4636/laborinfo_199_raynaud-phaenomen_l28.pdf).

Lawson, Ian J. (2018): Alice Hamilton, 1869-1970, 'The Mother of Occupational Medicine'. In: *Occupational medicine (Oxford, England)* 68 (4), S. 224–225. DOI: 10.1093/occmed/kqy002.

Letzel, S.; Muttray, A. (2013): Raynaud-Phänomen bei einer beruflichen Vibrationsbelastung. In: *Dtsch Med Wochenschr* 138 (10), S. 473–476. DOI: 10.1055/s-0032-1332913.

Letzel, Stephan (2021): Teilkörperschwingungen. Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 2021.

Letzel, Stephan; Muttray, Raynaud: Phänomen bei einer beruflichen Vibrationsbelastung. In: *Dtsch Med Wochenschr* 2013, S. 473–476.

Medizinische Universität Wien (2024): Diagnostisches Leistungsspektrum, Kapillarmikroskopie.

Neuwirth, Wolfgang; Benesch, Michael (2004): Motorische Leistungsserie (MLS) Version 24.00. Hg. v. Dr. Gernot Schuhfried Gesellschaft m.b.H. Mödling, Österreich. Online verfügbar unter <https://psydok.psycharchives.de/jspui/bitstream/20.500.11780/1018/1/MLs.pdf>.

- Noël, B. (2000): Pathophysiology and classification of the vibration white finger. In: *International archives of occupational and environmental health* 73 (3), S. 150–155. DOI: 10.1007/s004200050021.
- Nyantumbu, Busi; Barber, Chris M.; Ross, Mary; Curran, Andrew D.; Fishwick, David; Dias, Belinda et al. (2007): Hand-arm vibration syndrome in South African gold miners. In: *Occupational medicine (Oxford, England)* 57 (1), S. 25–29. DOI: 10.1093/occmed/kql089.
- Olsen, Niels (2002): Diagnostic aspects of vibration-induced white finger. In: *International archives of occupational and environmental health* 75 (1-2), S. 6–13. DOI: 10.1007/s004200100272.
- Palmer, R. A.; Collin, J. (1993): Vibration white finger. In: *The British journal of surgery* 80 (6), S. 705–709. DOI: 10.1002/bjs.1800800608.
- Pauling, John D.; Hughes, Michael; Pope, Janet E. (2019): Raynaud's phenomenon—an update on diagnosis, classification and management // Raynaud's phenomenon-an update on diagnosis, classification and management. In: *Clin Rheumatol* 38 38 (12), S. 3317–3330. DOI: 10.1007/s10067-019-04745-5.
- Poole, C. J. M.; Bovenzi, M.; Nilsson, T.; Lawson, I. J.; House, R.; Thompson, A.; Youakim, S. (2019): International consensus criteria for diagnosing and staging hand-arm vibration syndrome. In: *International archives of occupational and environmental health* 92 (1), S. 117–127. DOI: 10.1007/s00420-018-1359-7.
- Riedel, S.; Dupuis, H. (1997): Thermometrie und Infrarot Thermographie im Kälteprovokationstest. In: *Medizin im Bild* 1997, S. 17–22. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/340413672\\_Thermometrie\\_und\\_Infrarot\\_Thermographie\\_im\\_Kalteprovokationstest](https://www.researchgate.net/publication/340413672_Thermometrie_und_Infrarot_Thermographie_im_Kalteprovokationstest).
- Riedel, Stephan (2008): Wiedererwärmungsverlauf der Finger nach dem Kaltwasserbad. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Kpt-verlauf.jpg#mw-jump-to-license>.
- RobSeb (2011): Beschreibung der Elemente eines Boxplots. Beispiel eines Boxplots. Kommentierter Boxplot. Online verfügbar unter <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14697172>.

Rolke, Roman; Rolke, Silke; Vogt, Thomas; Birklein, Frank; Geber, Christian; Treede, Rolf-Detlef et al. (2013): Hand-arm vibration syndrome: clinical characteristics, conventional electrophysiology and quantitative sensory testing.

Rukat, Wojciech; Barczewski, Roman; Jakubek, Bartosz; WrÓbel, Mateusz (2018): The comparison of vibro-acoustic impact of chainsaws with electric and combustion drives. In: *MATEC Web Conf.* 182, S. 2020. DOI: 10.1051/mateconf/201818202020.

S. Pattnaik (2011): Development of Analytical Models to Study Musculoskeletal and Vascular Damage Leading to Hand-Arm Vibration Syndrome. University of Cincinnati.

Salkind, Neil (2010): Encyclopedia of Research Design. 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States: SAGE Publications, Inc.

Sauni, Riitta; Toivio, Pauliina; Pääkkönen, Rauno; Malmström, Jari; Uitti, Jukka (2015): Work disability after diagnosis of hand-arm vibration syndrome. In: *International archives of occupational and environmental health* 88 (8), S. 1061–1068. DOI: 10.1007/s00420-015-1034-1.

Sauni, Riitta; Virtema, Pauliina; Pääkkönen, Rauno; Toppila, Esko; Pyykkö, Ilmari; Uitti, Jukka (2010): Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome. In: *International archives of occupational and environmental health* 83 (2), S. 209–216. DOI: 10.1007/s00420-009-0441-6.

Shen, Shixin; House, Ronald A. (2017): Hand-arm vibration syndrome, What family physicians should know. In: *Le Médecin de famille canadien | Vol 63*.

Su, Anselm Ting; Darus, Azlan; Bulgiba, Awang; Maeda, Setsuo; Miyashita, Kazuhisa (2012): The clinical features of hand-arm vibration syndrome in a warm environment--a review of the literature. In: *Journal of occupational health* 54 (5), S. 349–360. DOI: 10.1539/joh.12-0089-RA.

Voelter-Mahlknecht, S.; Krummenauer, F.; Koulele, D.; Mahlkecht, U.; Escobar Pinzón, L. C.; Dupuis, H.; Letzel, S. (2006): First experiences with DIN ISO 14835-1 in the context of vibration-induced white finger disease. In: *International archives of occupational and environmental health* 79 (5), S. 427–432. DOI: 10.1007/s00420-005-0070-7.

Wahl, Uwe; Kaden, Ingmar; Köhler, Andreas; Hirsch, Tobias (2019): Vascular trauma of the hand - a systematic review. In: *VASA. Zeitschrift für Gefasskrankheiten* 48 (3), S. 205–215. DOI: 10.1024/0301-1526/a000743.

Xiao, Bin; Zhang, Danying; Yan, Maosheng; Qu, Hongying; Wen, Wei; Zhang, Xiao et al. (2019): Cold water immersion test (10 °C, 10 min) for diagnosing vibration-induced white finger among a group of polishers in a subtropical environment. In: *International archives of occupational and environmental health* 92 (6), S. 865–872. DOI: 10.1007/s00420-019-01425-4.

Ye, Ying; Griffin, Michael J. (2017): Effect of room temperature on tests for diagnosing vibration-induced white finger: finger rewarming times and finger systolic blood pressures. In: *International archives of occupational and environmental health* 90 (6), S. 527–538. DOI: 10.1007/s00420-017-1214-2.

Yıldızel, Sadık Alper; Çöğürçü, Mustafa Tolga; Uzun, Mehmet; ARMAĞAN, Kemal (2019): Optimal Retirement Age for Construction Workers Exposed to Vibration: A Case Study in Turkey. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.31590/ejosat.661690>.

## 12 Anhang

### 12.1 Tabellen aus SPSS

**Tabelle 20: Lagemaße für Alter, MdE und Expositionsdauer**

		Alter in Monaten bei Untersuchung	Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE) in %	Gesamte Expositionsdauer in Monaten
N	Gültig	357	354	353
	Fehlend	0	3	4
Mittelwert		654,17	13,73	332,72
Median		671,00	20,00	345,00
Standardabweichung		127,845	10,602	132,311
Minimum		272	0	27
Maximum		897.6	30	584

**Tabelle 21: Korrelationen zwischen Alter und Fingertempeartur**

#### Korrelationen

			Alter in Monaten bei Untersuchung	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25min nach KPT	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re. Hand 25min nach KPT
Spear man- Rho	Alter in Monaten bei Untersuchung	Korrelationskoeffizient	1,000	,009	,043
		Sig. (2-seitig)	.	,876	,463
		N	357	295	296
	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25min nach KPT	Korrelationskoeffizient	,009	1,000	,921**
		Sig. (2-seitig)	,876	.	,000
		N	295	295	295
	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re. Hand 25min nach KPT	Korrelationskoeffizient	,043	,921**	1,000
		Sig. (2-seitig)	,463	,000	.
		N	296	295	296

\*\* . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Tabelle 22: Korrelationen zwischen Alter und Mittelwert der WFA

Korrelationen			Alter in Monaten bei Untersuchung	Mittelwert der Weißfingerattac ken
Kendall-Tau-b	Alter in Monaten bei Untersuchung	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig) N	1,000 . 357	,069 ,082 297
	Mittelwert der Weißfingerattacken	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig) N	,069 ,082 297	1,000 . 297
Spearman-Rho	Alter in Monaten bei Untersuchung	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig) N	1,000 . 357	,098 ,093 297
	Mittelwert der Weißfingerattacken	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig) N	,098 ,093 297	1,000 . 297

Tabelle 23: Korrelation zwischen Expositionskarenz und Fingertemperatur

Korrelationen			Expositionskar renz in Monaten	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25min nach KPT	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re. Hand 25min nach KPT
Kendall-Tau-b	Expositionskarenz in Monaten	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig) N	1,000 . 357	-,014 ,722 295	-,044 ,262 296
	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25min nach KPT	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig) N	-,014 ,722 295	1,000 . 295	,791** ,000 295
Spearman-Rho	Expositionskarenz in Monaten	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig)	1,000 .	-,022 ,705	-,070 ,231

		N	357	295	296
Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li.	Korrelationskoeffizient		-,022	1,000	,921**
	Sig. (2-seitig)		,705	.	,000
Hand 25min nach KPT	N		295	295	295
Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re.	Korrelationskoeffizient		-,070	,921**	1,000
	Sig. (2-seitig)		,231	,000	.
Hand 25min nach KPT	N		296	295	296

\*\* . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

**Tabelle 24: Minderung der Erwerbsfähigkeit**

MdE in %	Häufigkeit	Prozent
Gültig 0	123	34,5
10	10	2,8
20	187	52,4
30	34	9,5
Gesamt	354	99,2
Fehlend System	3	,8
Gesamt	357	100,0

**Tabelle 25: Verteilung der Händigkeit der Gutachtenpatienten bei der Messung der Fingertemperaturen 25 Minuten nach dem KPT.**

		Häufigkeit	Prozent
Gültig 0 (fehlend)		1	0,35
Rechtshänder		264	90,10
Linkshänder		18	6,14
Beidhändig		10	3,41
Gesamt		293	100,0

**Tabelle 26: Statistik der Dauer der Mittelwerte der Weißfingerattacken in Minuten.**

N	Gültig	297
	Fehlend	60
Mittelwert		35,9343
Median		23,5000
Modus		30,00
Standardabweichung		42,78292
Varianz		1830,378
Schiefte		4,536
Standardfehler der Schiefe		,141
Kurtosis		27,489
Standardfehler der Kurtosis		,282
Minimum		2,50
Maximum		390,00
Summe		10672,50

**Tabelle 27: Alter in Monaten bei Untersuchung**

		Alter in Monaten bei Untersuchung
N	Gültig	357
	Fehlend	0
Mittelwert		654,17
Median		671,00
Standardabweichung		127,845
Minimum		272
Maximum		938

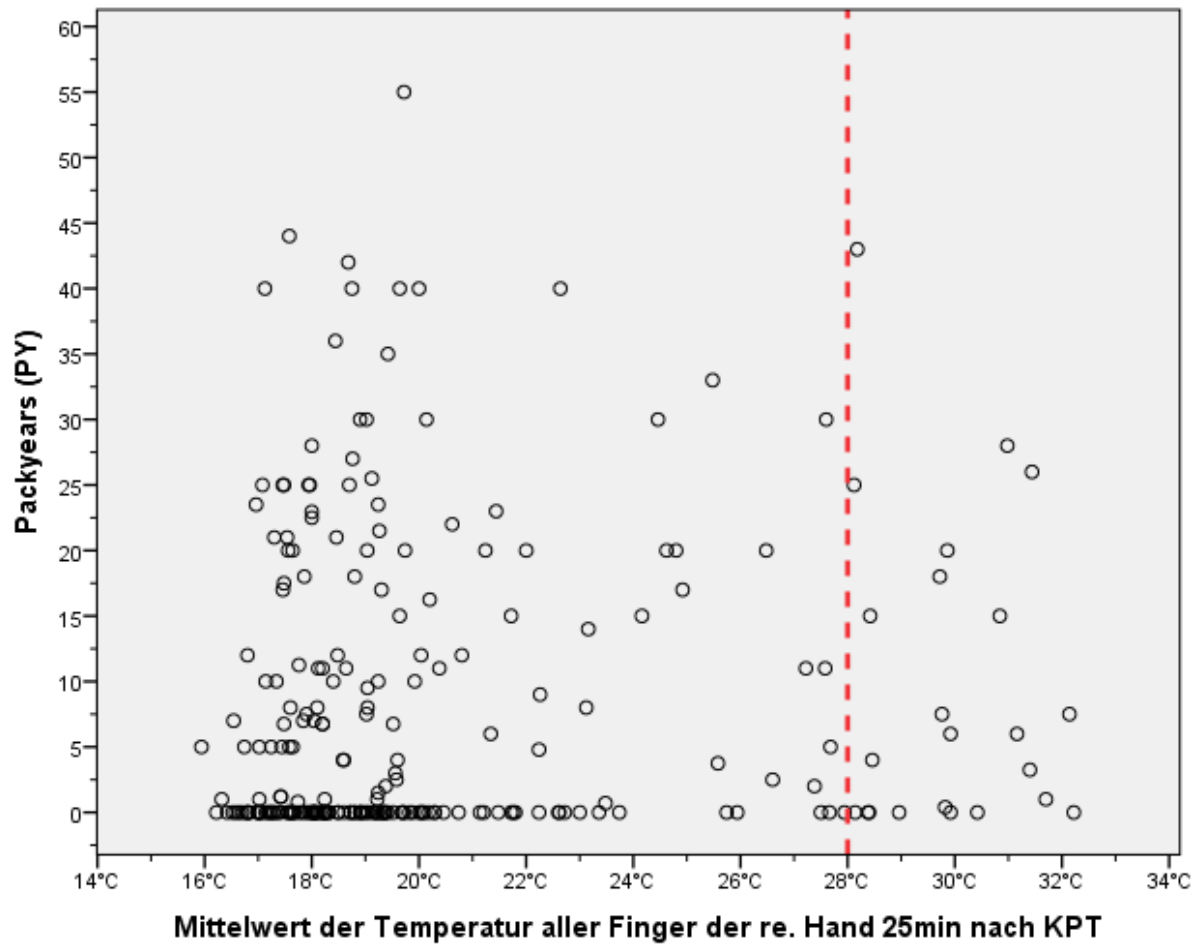


Abbildung 28: Streudiagramm. Die Y-Achse zeigt die gerauchten Zigaretten in PY und die X-Achse den Mittelwert der Temperatur aller Finger der rechten Hand 25 Minuten nach dem KPT.

Tabelle 28: Korrelationen mit der Dauer der WFA

		Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Expositionska- renz in Monaten	Gesamte Expositionsda- uer in Monaten	Mittelwert der Weißfingeratta- cken
Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Korrelation nach Pearson	1	-,072	,058	,065
	Signifikanz (2-seitig)		,215	,327	,307
	N	294	294	291	248
Expositionska- renz in Monaten	Korrelation nach Pearson	-,072	1	,015	,017
	Signifikanz (2-seitig)	,215		,779	,765
	N	294	357	353	297
Gesamte Expositionsda- uer in Monaten	Korrelation nach Pearson	,058	,015	1	,044
	Signifikanz (2-seitig)	,327	,779		,451
	N	291	353	353	294
Mittelwert der Weißfingeratta- cken	Korrelation nach Pearson	,065	,017	,044	1
	Signifikanz (2-seitig)	,307	,765	,451	
	N	248	297	294	297

Tabelle 29: Korrelation zwischen den gerauchten Zigaretten in PY und dem Mittelwert der Temperatur aller Finger der linken und rechten Hand 25 Minuten nach dem KPT.

			Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der li. Hand 25min nach KPT	Mittelwert der Temperatur (°C) aller Finger der re. Hand 25min nach KPT
Kendall- Tau-b	Packyears	Korrelationskoeffizient	,106*	,082
	(1PY)	Sig. (2-seitig)	,022	,076
		N	245	246
Spearman- Rho	Packyears	Korrelationskoeffizient	,148*	,113
	(1PY)	Sig. (2-seitig)	,020	,076
		N	245	246

\*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

**Tabelle 30: Abstand zwischen erster und letzter Untersuchung**

N	Gültig	54
	Fehlend	1
Mittelwert		70,1111
Median		67,5000
Standardabweichung		32,19555
Minimum		19,00
Maximum		144,00
Perzentile	25	44,5000
	50	67,5000
	75	93,2500

**Tabelle 31: Korrelation der Temperaturen der jeweiligen Hand 25 Minuten nach dem KPT aus der ersten und letzten Begutachtung. Paaren 1 entspricht der linken und Paaren 2 rechten Hand.****Korrelationen bei gepaarten Stichproben**

	N	Korrelation	Signifikanz
Paaren 1 (linke Hand)	55	,135	,327
Paaren 2 (rechte Hand)	55	,123	,369

**Tabelle 32: Korrelation der abhängigen Variablen (Differenz der Temp. der linken Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT) mit den unabhängigen Variablen.**

Linke Hand		Alter in Monaten bei Untersuchung	Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Gesamte Expositionsdauer in Monaten	Expositionskaren z in Monaten
Differenz der Temp. der li. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT	Korrelation nach Pearson	-,214	-,222	-,100	,042
	Signifikanz (2-seitig)	,116	,134	,466	,758
	N	55	47	55	55

**Tabelle 33: Korrelation der abhängigen Variablen (Differenz der Temp. der rechten Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT) mit den unabhängigen Variablen.**

Rechte Hand		Alter in Monaten bei Untersuchung	Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Gesamte Expositionsdauer in Monaten	Expositionskaren z in Monaten
Differenz der	Korrelation nach Pearson	-,232	-,163	-,122	,091
Temp. der re. Hand	Signifikanz (2-seitig)	,088	,274	,373	,510
zw. der ersten u. der letzten	N				
Untersuchung		55	47	55	55
25min nach KPT					

**Tabelle 34: Deskriptive Statistik der Variablen der linken Hand bei der Regressionsanalyse.**

Linke Hand	Mittelwert	Standardabweic hung	N
- Differenz der Temp. der li. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT	-,658	5,2014	47
- Alter in Monaten bei Untersuchung	612,53	117,734	47
- Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	8,68	11,264	47
- Gesamte Expositionsdauer in Monaten	322,28	142,683	47
- Expositionskarenz in Monaten	30,851	48,4813	47

**Tabelle 35: Deskriptive Statistik der Variablen der rechten Hand bei der Regressionsanalyse.**

<b>Deskriptive Statistiken</b>			
	Mittelwert	Standardabweichung	N
- Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT	-,895	5,6440	47
- Alter in Monaten bei Untersuchung	612,53	117,734	47
- Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	8,68	11,264	47
- Gesamte Expositionsdauer in Monaten	322,28	142,683	47
- Expositionskarenz in Monaten	30,851	48,4813	47

**Tabelle 36: Modellzusammenfassung für das Regressionsmodell für die linke Hand (n=47).**

<b>Modellzusammenfassung</b>				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,281 <sup>a</sup>	,079	-,009	5,2249

a. Einflussvariablen: (Konstante), Expositionskarenz in Monaten, Gesamte Expositionsdauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung

**Tabelle 37: ANOVA (Varianzanalyse) des Regressionsmodells.**

ANOVA <sup>a</sup>						
Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1	Regression	97,937	4	24,484	,897	,474 <sup>b</sup>
	Nicht standardisierte Residuen	1146,587	42	27,300		
	Gesamt	1244,524	46			

a. Abhängige Variable: Differenz der Temp. der li. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT

b. Einflussvariablen: (Konstante), Expositions-karenz in Monaten, Gesamte Expositions-dauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung

c.  $R^2=0,079$ ,  $p=0,474$

**Tabelle 38: Deskriptive Statistik vor der Regressionsanalyse für die rechte Hand.**

Deskriptive Statistiken			
	Mittelwert	Standardabweichung	N
- Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT (°C)	-,895	5,6440	47
- Alter in Monaten bei Untersuchung	612,53 (52,04 Jahre)	117,734	47
- Packyears	8,68	11,264	47
- Gesamte Expositions-dauer in Monaten	322,28 (26,86 Jahre)	142,683	47
- Expositions-karenz in Monaten	30,851 (2,57 Jahre)	48,4813	47

**Tabelle 39: Modellzusammenfassung für die Regression der Temperatur der rechten Hand.**

a. Einflussvariablen: (Konstante) Expositions-karenz in Monaten, Gesamte Expositions-dauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung

Modellzusammenfassung				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,282 <sup>a</sup>	,080	-,008	5,6662

**Tabelle 40: ANOVA-Tabelle für das Regressionsmodell der rechten Hand.**

**a: Abhängige Variable: Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT**

**b. Einflussvariablen: (Konstante), Expositions-karenz in Monaten, Gesamte Expositions-dauer in Monaten, Packyears, Alter in Monaten bei Untersuchung**

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1 Regression	116,860	4	29,215	,910	,467 <sup>b</sup>
Nicht standardisierte Residuen	1348,443	42	32,106		
Gesamt	1465,303	46			

**Tabelle 41: Koeffiziententabelle der Regressionsanalyse der rechten Hand.**

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
1 (Konstante)	7,236	5,254		1,377	,176
Alter in Monaten bei Untersuchung	-,018	,013	-,371	-1,406	,167
Packyears	-,051	,079	-,102	-,651	,519
Gesamte Expositions-dauer in Monaten	,008	,010	,207	,812	,421
Expositions-karenz in Monaten	,019	,020	,162	,953	,346

a. Abhängige Variable: Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT

**Tabelle 42: Temperaturdifferenz der rechten Hand einzelner Patienten zwischen der ersten und der letzten Untersuchung, Temperaturdiff. +5°C**

		Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT	Alter_bei_U.1: Alter in Monaten bei Untersuchung	Packyears .1: Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Expositions_dauer_total.1: Gesamte Expositions_dauer in Monaten	Expos_karenz_Dauer.1: Expositions_karenz in Monaten
Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	1  4	-,604 -,396 4	-,881 -,119 4	-,210 -,790 4	,122 -,878 4
Alter_bei_U.1: Alter in Monaten bei Untersuchung	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	-,604 -,396 4	1  4	,564 -,436 4	,887 -,113 4	-,572 -,428 4
Packyears.1: Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	-,881 -,119 4	,564 -,436 4	1  4	,122 -,878 4	,231 -,769 4
Expositions_dauer_total.1: Gesamte Expositions_dauer in Monaten	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	-,210 -,790 4	,887 -,113 4	,122 -,878 4	1  4	-,788 -,212 4
Expos_karenz_Dauer.1: Expositions_karenz in Monaten	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	,122 -,878 4	-,572 -,428 4	,231 -,769 4	-,788 -,212 4	1  4

**Tabelle 43: Korrelationen: Temperaturdifferenz der rechten Hand einzelner Patienten zwischen der ersten und der letzten Untersuchung, Temperaturdiff. -5°C**

		Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT	Alter_bei_U.1: Alter in Monaten bei Untersuchung	Packyears.1: Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Expositionsdaue_r_total.1: Gesamte Expositionsdaue_r in Monaten	Expos_karenz_Dauer.1: Expositionska_renz in Monaten
Differenz der Temp. der re. Hand zw. der ersten u. der letzten Untersuchung 25min nach KPT	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	1  13	,193  13	-,485  9	,477  13	-,024  13
Alter_bei_U.1: Alter in Monaten bei Untersuchung	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	,193  13	1  13	,389  9	,715**  13	,391  13
Packyears.1: Packyears (1PY = 1 Päckchen pro Tag für ein Jahr)	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	-,485  9	,389  9	1  9	,556  9	-,377  9
Expositionsdaue_r_total.1: Gesamte Expositionsdaue_r in Monaten	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	,477  13	,715**  13	,556  9	1  13	-,089  13
Expos_karenz_Dauer.1: Expositionska_renz in Monaten	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	-,024  13	,391  13	-,377  9	-,089  13	1  13

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

### **13 Danksagung**

Meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Stephan Letzel möchte ich meinen sehr herzlichen Dank aussprechen, dass ich die Möglichkeit bekommen habe, im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Mainz zu promovieren. Im Rahmen meiner Dissertation durfte ich das spannende Krankheitsbild des VVS kennenlernen. Ich möchte mich einerseits für die strukturelle und finanzielle Ermöglichung dieser statistischen Doktorarbeit bedanken, aber auch für die langjährige Unterstützung und das entgegengebrachte Vertrauen.

Ich möchte mich bei dem Team des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin bedanken, besonders bei Frau Anita Becht, die mir stets eine große Hilfe gewesen ist und immer für Rückfragen zur Verfügung stand. Auch Klemens Bußmann hat mir bei der Arbeit mit SPSS sehr geholfen. Außerdem bedanke ich mich bei Herr Dr. Herbst vom IMBEI für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

**14 Lebenslauf**

Vor- und Zuname	Arman Simon Albrecht
Geburtsdatum/-ort	26.12.1993 in Gießen
Familienstand	ledig

Beruflicher Werdegang:

2022 – jetzt	Arzt im Bereich der ästhetischen Medizin bei der M1 Beauty GmbH an den Standorten Frankfurt, Nürnberg und Wiesbaden
2023 – jetzt	Freiberufliche Tätigkeit als Arzt auf Retreats

Hochschulstudium und Schulausbildung:

2000 – 2004	Korczak-Schule in Gießen
2004 – 2013	Gesamtschule Gießen-Ost (gymnasiale Oberstufe)
10/2014 – 04/2017	Studium am Universitätscampus Homburg/Saar
05/2017 – 10/2020	Universität Mainz mit Abschluss des 2. Staatsexamens im Winter 2020
11/2021	Abschluss des 3. Staatsexamens im GPR Rüsselsheim
12/2021	Approbation als Arzt

Weiteres:

2013	dreimonatiger Aufenthalt in Mittelamerika mit gemeinnütziger Arbeit für bedürftige Einheimische in Barrio Jesús (Costa Rica)
2014 – 2015	Absolvierung von Pflegepraktika und Ferienarbeit im Vorfeld des Studiums
2019 – 2024	Arbeit an der Dissertation
2019	Tätigkeit als studentische Hilfskraft an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (Institut für ASU)
2020 – 2021	Arbeit für die Corona-Hotline im Landesamt für Soziales, Jugend und Versorgung Mainz