

---

# Bachelorarbeit

---

Frau  
**Nancy Grogorenz**

**Entstehung und Vererbung  
biometrischer Merkmale der  
menschlichen Hand**

Mittweida, 2021

## **Bachelorarbeit**

---

# **Entstehung und Vererbung biometrischer Merkmale der menschlichen Hand**

Autor:

**Frau**

**Nancy Grogorenz**

Studiengang:

**Allgemeine und Digitale Forensik**

Seminargruppe:

**FO18w2-B**

Erstprüfer:

**Prof. Dr. rer. nat., Dirk Labudde**

Zweitprüfer:

**Master of Science, Marleen Mohaupt**

Einreichung:

**Mittweida, 15.11.2021**

Verteidigung/Bewertung:

**Mittweida, 2021**

Applied computer and life sciences

---

## **Bachelor Thesis**

---

### **Origin and Inheritance of biometric Characteristics of the human Hand**

author:

**Ms.**

**Nancy Grogorenz**

course of studies:

**General and Digital Forensics**

seminar group:

**FO18w2-B**

first examiner:

**Prof. Dr. rer. nat., Dirk Labudde**

second examiner:

**Master of Sciences, Marleen Mohaupt**

submission:

**Mittweida, 15.11.2021**

defence/ evaluation:

**Mittweida, 2021**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Grogorenz, Nancy:

Entstehung und Vererbung biometrischer Merkmale der menschlichen Hand. - 2021. - 14, 76, 3 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Bachelorarbeit, 2021

## **Referat:**

Zusammenfassung der verbreitetsten Theorien zur Entstehung und Vererbung von Papillarleistenmustern und weiteren biometrischen Merkmalen der menschlichen Hand. Zusätzlich Beschreibung einer durchgeführten biometrischen Datenaufnahme zweier Familien bezüglich der Vererbungsforschung mit nachfolgender Auswertung der Ergebnisse.

# Inhalt

## Inhalt I

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>9</b>
1.1 <i>Motivation.....</i>	9
1.2 <i>Biometrische Merkmale der Hand .....</i>	10
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>12</b>
2.1 <i>Aufbau der Leistenhaut .....</i>	12
2.2 <i>Furchen und Falten .....</i>	13
2.3 <i>Entstehung der Papillarleisten (-Muster).....</i>	14
2.3.1 <i>Das menschliche Genom .....</i>	14
2.3.2 <i>Genexpression und Zufall.....</i>	16
2.4 <i>Vererbung der Papillarleisten (-Muster) .....</i>	20
2.4.1 <i>Familien- und Zwillingsforschung .....</i>	20
2.4.2 <i>Vererbung von Minutien .....</i>	24
2.4.3 <i>Papillarleistenanzahl .....</i>	25
2.5 <i>Venenmuster.....</i>	26
<b>3 Krankheiten .....</b>	<b>29</b>
3.1 <i>Adermatoglyphie .....</i>	29
3.2 <i>Rheumatoide Arthritis.....</i>	30
<b>4 Praktikumsinhalt .....</b>	<b>31</b>
4.1 <i>Experimentplan .....</i>	31
4.2 <i>Datenaufnahme.....</i>	32
<b>5 Auswertung der Datenaufnahme.....</b>	<b>38</b>
5.1 <i>Analyse der Grundmuster an den Fingerkuppen .....</i>	38
5.2 <i>Analyse der Handmuster .....</i>	44

---

5.3	<i>Analyse der primären Beugefurchen</i> .....	47
5.4	<i>Analyse der Handform</i> .....	59
5.5	<i>Analyse der Handgeometrie</i> .....	67
<b>6</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>80</b>
6.1	<i>Scanneraufnahmen</i> .....	80
6.2	<i>Handfotos</i> .....	81
6.3	<i>Handgeometrie</i> .....	81
6.4	<i>Fazit</i> .....	82
<b>7</b>	<b>Ausblick für weiterführende Arbeiten</b> .....	<b>83</b>
<b>Literatur</b>		<b>84</b>
<b>Anlagen</b>		<b>89</b>
<b>Anlagen, Datenblatt Vorlage</b> .....		<b>90</b>
<b>Anlagen, Notizen zu den Messstrecken der Handgeometrie</b> .....		<b>92</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b> .....		<b>93</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Leistenhaut.....	13
Abbildung 2: Wilders elf Musterflächen.....	21
Abbildung 3: Schwanenhalsdeformität.....	30
Abbildung 4: Stammbaum Familie A .....	31
Abbildung 5: Stammbaum Familie B .....	32
Abbildung 6: Handgeometrie Position der Hand .....	33
Abbildung 7: Handgeometrie Messstrecken .....	33
Abbildung 8: Vorlage Handposition links .....	35
Abbildung 9: Vorlage Handposition rechts.....	35
Abbildung 10: Personen-ID-Karten.....	36
Abbildung 11: Allgemeine Grundmusterverteilung.....	38
Abbildung 12: Grundmusterverteilung Familie A.....	39
Abbildung 13: Grundmusterverteilung Familie B.....	39
Abbildung 14: Grundmuster linke Hand Familie A .....	40
Abbildung 15: Grundmuster rechte Hand Familie A.....	40
Abbildung 16: Grundmuster linke Hand Familie B .....	42
Abbildung 17: Grundmuster rechte Hand Familie B.....	42
Abbildung 18: Handmuster Familie A .....	45
Abbildung 19: Handmuster Familie B .....	46
Abbildung 20: Primäre Beugefurchen.....	48

---

Abbildung 21: Vierfingerfurche .....	48
Abbildung 22: A.1 rechte Handinnenfläche .....	49
Abbildung 23: A.2 rechte Handinnenfläche .....	49
Abbildung 24: A.3 rechte Handinnenfläche .....	49
Abbildung 25: A.4 rechte Handinnenfläche .....	49
Abbildung 26: A.5 rechte Handinnenfläche .....	50
Abbildung 27: A.6 rechte Handinnenfläche .....	50
Abbildung 28: A.7 rechte Handinnenfläche .....	50
Abbildung 29: A.1 linke Handinnenfläche .....	52
Abbildung 30: A.2 linke Handinnenfläche .....	52
Abbildung 31: A.3 linke Handinnenfläche .....	52
Abbildung 32: A.4 linke Handinnenfläche .....	52
Abbildung 33: A.5 linke Handinnenfläche .....	53
Abbildung 34: A.6 linke Handinnenfläche .....	53
Abbildung 35: A.7 linke Handinnenfläche .....	53
Abbildung 36: B.1 rechte Handinnenfläche .....	55
Abbildung 37: B.2 rechte Handinnenfläche .....	55
Abbildung 38: B.3 rechte Handinnenfläche .....	55
Abbildung 39: B.4 rechte Handinnenfläche .....	55
Abbildung 40: B.5 rechte Handinnenfläche .....	56
Abbildung 41: B.6 rechte Handinnenfläche .....	56
Abbildung 42: B.1 linke Handinnenfläche .....	57
Abbildung 43: B.2 linke Handinnenfläche .....	57



---

Abbildung 44: B.3 linke Handinnenfläche .....	57
Abbildung 45: B.4 linke Handinnenfläche .....	57
Abbildung 46: B.5 linke Handinnenfläche .....	58
Abbildung 47: B.6 linke Handinnenfläche .....	58
Abbildung 48: A.1 linker Handrücken .....	59
Abbildung 49: A.1 rechter Handrücken .....	59
Abbildung 50: A.2 linker Handrücken .....	60
Abbildung 51: A.2 rechter Handrücken .....	60
Abbildung 52: A.3 linker Handrücken .....	61
Abbildung 53: A.3 rechter Handrücken .....	61
Abbildung 54: A.4 linker Handrücken .....	61
Abbildung 55: A.4 rechter Handrücken .....	61
Abbildung 56: A.5 linker Handrücken .....	62
Abbildung 57: A.5 rechter Handrücken .....	62
Abbildung 58: A.6 linker Handrücken .....	62
Abbildung 59: A.6 rechter Handrücken .....	62
Abbildung 60: A.7 linker Handrücken .....	63
Abbildung 61: A.7 rechter Handrücken .....	63
Abbildung 62: B.1 linke Handinnenfläche (Ersatz) .....	64
Abbildung 63: B.1 rechter Handrücken .....	64
Abbildung 64: B.2 linker Handrücken .....	64
Abbildung 65: B.2 rechter Handrücken .....	64
Abbildung 66: B.3 linker Handrücken .....	65

---

Abbildung 67: B.3 rechter Handrücken.....	65
Abbildung 68: B.4 linker Handrücken .....	66
Abbildung 69: B.4 rechter Handrücken.....	66
Abbildung 70: B.5 linker Handrücken .....	66
Abbildung 71: B.5 rechter Handrücken.....	66
Abbildung 72: B.6 linker Handrücken .....	67
Abbildung 73: B.6 rechter Handrücken.....	67
Abbildung 74: Boxplots für die Messstrecken 1 und 2 der rechten Hand, Familie A .....	68
Abbildung 75: Boxplots für die Messstrecken 3 bis 6 der rechten Hand, Familie A.....	69
Abbildung 76: Boxplots für die Messstrecken 7 und 14 der rechten Hand, Familie A .....	69
Abbildung 77: Boxplots für die Messstrecken 8 bis 13 der rechten Hand, Familie A.....	69
Abbildung 78: Boxplots für die Messstrecken 15 und 16 der rechten Hand, Familie A ....	70
Abbildung 79: Boxplots für die Messstrecken 1 und 2 der linken Hand, Familie A.....	71
Abbildung 80: Boxplots für die Messstrecken 3 bis 6 der linken Hand, Familie A .....	71
Abbildung 81: Boxplots für die Messstrecken 7 und 14 der linken Hand, Familie A.....	72
Abbildung 82: Boxplots für die Messstrecken 8 bis 13 der linken Hand, Familie A .....	72
Abbildung 83: Boxplots für die Messstrecken 15 und 16 der linken Hand, Familie A.....	72
Abbildung 84: Boxplots der Messstrecken 1 und 2 der rechten Hand, Familie B .....	74
Abbildung 85: Boxplots der Messstrecken 3 bis 6 der rechten Hand, Familie B .....	74
Abbildung 86: Boxplots der Messstrecken 7 und 14 der rechten Hand, Familie B .....	74
Abbildung 87: Boxplots der Messstrecken 8 bis 10 der rechten Hand, Familie B .....	75
Abbildung 88: Boxplots der Messstrecken 11 bis 13 der rechten Hand, Familie B .....	75
Abbildung 89: Boxplots der Messstrecken 15 und 16 der rechten Hand, Familie B.....	75

---

Abbildung 90: Boxplots der Messstrecken 1 und 2 der linken Hand, Familie B.....	77
Abbildung 91: Boxplots der Messstrecken 3 bis 6 der linken Hand, Familie B .....	77
Abbildung 92: Boxplots der Messstrecken 7 und 14 der linken Hand, Familie B.....	77
Abbildung 93: Boxplots der Messstrecken 8 bis 10 der linken Hand, Familie B .....	78
Abbildung 94: Boxplots der Messstrecken 11 bis 13 der linken Hand, Familie B .....	78
Abbildung 95: Boxplots der Messstrecken 15 und 16 der linken Hand, Familie B.....	78
Abbildung 96: Vorlage Datenblatt Teil 1 .....	90
Abbildung 97: Vorlage Datenblatt Teil 2 .....	91
Abbildung 98: Handgeometrie Messstrecken Notizen .....	92

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung Messstrecken.....	26
---	----

# 1 Einleitung

In diesem Kapitel wird die Motivation des Projektes vorgestellt und allgemein erklärt, was unter biometrischen Merkmalen der Hand verstanden wird.

## 1.1 Motivation

Im Rahmen dieses Projektes werden die Entstehung und Vererbung biometrischer Merkmale der Hand betrachtet. Neben der Theorie werden in der Praxis die biometrischen Merkmale mehrerer Familien auf Gemeinsamkeiten untersucht, welche möglicherweise einen genetischen Hintergrund haben könnten. Dabei werden zuerst verschiedene Theorien der Wissenschaft beleuchtet. Durch die vielen unterschiedlichen Ansätze ist erkennbar, dass es sowohl in der Vergangenheit als auch in der Gegenwart immer wieder Versuche gab, die Art und Weise der Entstehung und mögliche Vererbung von Papillarleisten zu erklären. Jedoch fehlen meistens die eindeutigen Beweise, sodass es zum aktuellen Zeitpunkt immer noch keine endgültige Antwort gibt. Auch wenn die Papillarleisten der Hände und Finger in diesem Projekt im Fokus stehen, wurden auch Bereiche der Handgeometrie und des Venenmusters beleuchtet.

Wird sich tiefer gehend mit der vorhandenen Literatur dazu beschäftigt wird schnell ersichtlich, dass die meisten Werke aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts stammen bzw. sich auf solche Werke bezogen wird. Das liegt daran, dass ein Großteil der Studien im Embryonalstadium durchgeführt wurde. Dadurch wurde sich erhofft die Ursprünge der Papillarleistenmuster genauer untersuchen zu können bezüglich ihrer Entstehung und erblichen Anzeichen. Die damals angewendeten Methoden sind in der heutigen Zeit ethisch und moralisch verwerflich und es wurden bisher kaum Methoden entwickelt, welche die Alten ersetzen könnten.

Zukunftsbasierend gedacht führen all diese Studien, wie auch dieses Bachelorprojekt, zu der Frage, ob es irgendwann möglich sein wird, Systeme zu entwickeln, welche den Fingerabdruck eines Menschen noch vor dessen Geburt berechnen und somit vorab speichern zu können, wodurch eine exorbitante Datenbank mit den Fingerabdrücken aller Menschen erstellt werden könnte. Verbunden mit weiterentwickelten Zugangssystemen, brächte dies durchaus eine beängstigende Kontrolle über den Menschen mit sich. Für den aktuellen Zeitpunkt soll diese Bachelorarbeit einen Überblick zu verschiedenen Ansätzen geben und anhand der erhobenen Daten diese möglicherweise belegen bzw. widerlegen zu können. Zukunftsbasierend gedacht könnte der im Zuge dieses Projektes aufgenommene Datensatz erweitert werden und die im späteren Bereich der Analyse getroffenen Aussagen bekräftigt oder verworfen werden.

Anzumerken für die nachfolgende Arbeit ist, dass alle Quellenangaben absatzweise anzusehen sind, solange innerhalb der Absätze nichts anderes angegeben ist.

## 1.2 Biometrische Merkmale der Hand

Die Biometrie, von welcher hier ausgegangen wird, ist die Wissenschaft zur Messung und Analyse körperlicher Merkmale des Menschen. Dafür werden nicht veränderliche Körpermerkmale aufgenommen, um eine Person authentifizieren zu können [TechTarget, 2008]. Durch die große Individualität dieser Merkmale kann eine eindeutige Erkennung stattfinden. Sie sind direkt an eine Person gebunden. Biometrische Merkmale können nicht exakt vererbt werden an andere Personen. Um ein biometrisches Merkmal als physikalischen Parameter für weitere Analysen verwenden zu können, muss dieses Merkmal spezifisch, dauerhaft und universell verwendbar sein. [BSI]

In der Vergangenheit wurde der Fingerabdruck zur Unterzeichnung von Verträgen oder als Kennzeichnung von Künstlern verwendet. Im alten Ägypten wurde die Körpergröße als Identifikator einer Person aufgenommen. Auch in der Strafverfolgung haben sich biometrische Merkmale, wie der Fingerabdruck, seit dem 19. Jahrhundert etabliert. Im Laufe der Jahre wurden die Systeme zur Merkmalsaufnahme immer automatisierter. [BSI]

Biometrische Merkmale entstehen zum einem genotypisch, was auf Vererbung schließen lässt, und zum Teil randotypisch, das bedeutet, sie entstehen in der Embryonalphase durch eine Reihe von Zufallsprozessen. Merkmale, die sich ein Leben lang nicht verändern, heißen statische Merkmale bzw. physiologische Merkmale. Dem gegenüber stehen dynamische oder auch verhaltensbezogene Merkmale, wie die Handschrift, welche verhaltensgesteuert sind. Dadurch können sie geändert und umerzogen werden, wodurch sich dynamische Merkmale weniger zur Identifikation eignen als statische Merkmale. Dynamische Merkmale werden allerdings immer durch eine physische Komponente mit beeinflusst. [BSI]

Zu den physiologischen oder passiven Merkmalen der Hand gehören der Finger- und Handabdruck, die Handgeometrie und das Venenmuster. Zusätzlich zur Handschrift gehört der Anschlagrhythmus auf einer Tastatur zu den verhaltensbezogenen bzw. aktiven Merkmalen. [BSI]

Ein wichtiger Aspekt bei der Untersuchung von Papillarleistenmustern der Fingerkuppen ist die Abhängigkeit von der Populationsgruppe, mit welcher die Studien durchgeführt wurden. Die Verteilungen der Häufigkeiten von Grundmustern können je nach Populationsgruppe stark voneinander abweichen. Die in diesem Praxismodul erhobenen Daten bilden eine Stichprobe aus der europäischen Population. In dieser werden folgende Häufigkeiten der Grundmuster angenommen: Schleifen (Doppelschleifen, ulnare und radial Schleifen) sind am häufigsten mit einer Wahrscheinlichkeit von 60 bis 65%, Wirbel treten mit einer Wahrscheinlichkeit von 30 bis 35% auf und Bögen kommen am seltensten vor mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 5% [Fabian Hauf, 2013].

Da das Hauptaugenmerk in diesem Projekt auf den Papillarmustern der Hände und Finger gerichtet ist, sei an dieser Stelle angemerkt, dass nur die ersten zwei Ebenen eines Papillarleistenmusters betrachtet werden. Die erste Ebene beschreibt dabei die Grundmuster

## Einleitung

---

bzw. allgemeine Musterstrukturen. Die zweite Ebene umfasst die Minutien, kleine Details, die einem Papillarleistenmuster ihre Einzigartigkeit verleihen. Die dritte Ebene, welche hier nicht betrachtet wird, enthält beispielsweise Schweißsporen oder die Breite von Papillarleisten. [Maltoni et. Al, 2009]

## 2 Grundlagen

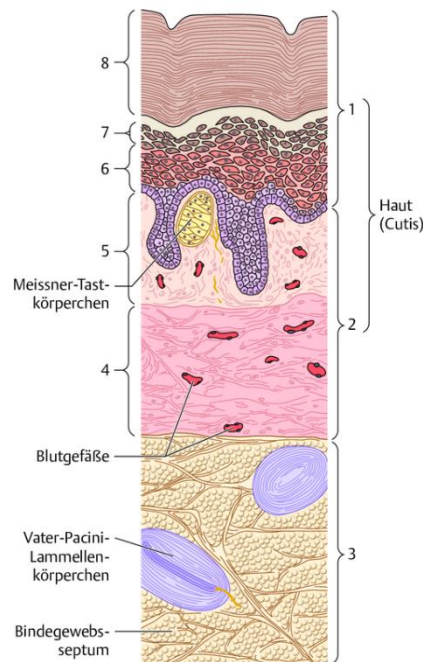
In diesem Kapitel werden die verbreitetsten Theorien bezüglich der Entstehung und Vererbung biometrischer Merkmale, mit Fokus auf den Finger- und Handabdruck, vorgestellt. Damit diese nachvollzogen werden können, werden vorher der Aufbau der Leistenhaut und weitere Begriffe erläutert.

### 2.1 Aufbau der Leistenhaut

Die Leistenhaut befindet sich an den Innenseiten der Hände und an der Fußsohle. Im Gegensatz zur Felderhaut kommen in der Leistenhaut nur Schweißdrüsen vor, während Haar, Talg- und Duftdrüsen fehlen. Abgesehen von den fehlenden Hautanhangsgebilden sind der Aufbau von Leisten- und Felderhaut relativ gleich, bis auf gewisse Größenunterschiede. [Amboss]

Von oberflächlich nach tief betrachtet, lässt sich die Haut in Kutis und Subkutis unterteilen. Bei der Kutis wird wiederum in Epidermis (Oberhaut) und Dermis (Lederhaut) unterschieden. Die Epidermis besteht aus fünf Schichten und ist der gefäßfreie Teil der Haut. In dem Stratum basale (Basalzellschicht) liegen die Merkel-Zellen, diese sind Druckrezeptoren. Nach dem Stratum basale folgen das Stratum spinosum (Stachelzellschicht), Stratum granulosum (Körnerzellschicht), Stratum lucidum (Glanzschicht) und Stratum corneum (Hornzellschicht). Die Dermis ist der gefäßtragende Teil der Haut und unterteilt sich in zwei Schichten, das Stratum papillare und das Stratum reticulare. Das Stratum papillare besteht aus lockerem Bindegewebe und beinhaltet neuronale Zellen, wie die Meissner-Tastkörperchen, welche sich von den Ausläufern in der Epidermis in die Dermis erstrecken. Im Falle der Leistenhaut wird das Stratum papillare dicker, sodass es zur wellenförmigen Leistenbildung kommt. Das sind dann die Papillarleisten. Dies bedeutet, jede Papillarleiste besteht aus einer dickeren Schicht des Stratum papillare und ist mit der Epidermis überzogen. Das Stratum reticulare besteht wiederum aus straffem Bindegewebe und enthält unter anderem die Ruffini-Körperchen. Diese gehören wie die Merkel-Zellen zu den Drucksensoren. Die Subkutis (Unterhaut) besteht aus Bindegewebe, welches mit Fettgewebe durchzogen ist. In dieser Schicht der Haut liegen oberflächliche Venen und Hautnerven. Des Weiteren lassen sich in dieser Schicht die Vater-Pacini-Tastkörperchen finden, welche Mechanorezeptoren, zur Vermittlung des Vibrationsempfinden, sind (siehe Abbildung 1). [Amboss]





**Abbildung 1: Aufbau der Leistenhaut**

In Abbildung 1 ist der Aufbau der Leistenhaut grafisch dargestellt. Die einzelnen Hautschichten sind zur Veranschaulichung in unterschiedlichen Farben dargestellt, welche nicht der Realität entsprechen. Im Folgenden ist eine Legende zu finden, welche den abgebildeten Nummern die richtige Hautschicht zuweist: 1: Epidermis, 2: Dermis, 3: Subcutis, 4: Stratum reticulare, 5: Stratum papillare, 6: Stratum generativum, 7: Stratum granulosum, 8: Stratum corneum. [B1]

## 2.2 Furchen und Falten

Furchen sind Oberflächenvertiefungen der Leistenhaut, welche im Gegensatz zu Falten stark ausgeprägt sein können. Die Grundverlaufsrichtungen sind im Regelfall bei allen Menschen annähernd gleich und haben typische Aussehencharakteristika. Furchen verändern sich im Laufe des Lebens nicht und verlaufen annähernd parallel zu den umgebenden Papillarleisten, allerdings werden diese von den Furchen unterbrochen. Die Beugefurchen sind Sollknickstellen des Bewegungsapparates der Hand. Häufig laufen Furchen in verzweigten Falten, wie beispielsweise Krähenfüßen aus. [Tietze, Witthuhn, 2001]

In der Handinnenfläche lassen sich Furchen in Handflächenfurchen und Grenzfurchen, welche den Übergang zu anderen Teilen des Körpers markieren, unterteilen. Zu den Grenzfurchen gehören die Handwurzelfurche und die Fingerwurzelfurchen. Die Handflächenfurchen setzen sich aus Daumenballenfurche, Fünffingerfurche und Dreifingerfurche zusammen. Zusammen bilden diese drei Furchen ein Muster in Form eines Ms, das sogenannte Falten-M. Neben diesen drei Hauptfurchen gibt es noch die Mittelfingerfurche. In Ausnahmefällen werden die Dreifinger- und Fünffingerfurche durch die Vierfingerfurche ersetzt. [Tietze, Witthuhn, 2001]

Falten sind schwache ausgeprägte Oberflächenvertiefungen der Leistenhaut. Bereits junge Menschen können faltige Handinnenflächen aufweisen. Es wird angenommen, dass einmal entstandene Falten in ihrer Lage unveränderlich sind. Weibliche Individuen weisen im Lebensalter eher Falten auf als männliche. Sie verlaufen nicht parallel zu den Papillarleisten. Einige Faltenarten fallen bei allen Menschen gleich aus. Andere wiederum haben ein rein zufälliges Aussehen. Typische Faltenarten sind Gitternetzfaltens, welche nur im Daumenballen auftreten. Des Weiteren gibt es noch Keilfaltens, welche sich an der ulnaren Handkante befinden und stets nach ulnar geöffnet sind und Krähenfüße, welche die Ausläufer großer Furchen sind. Dasselbe gilt für Schwalbenschwänze, welche einzelne Linien sind, die von den Furchen abgehen. Dehnungsfalten verlaufen parallel zu den verlängerten Fingerlängsachsen, sind aber meistens eher regellos, wie der letzte Faltentyp. Die atypischen Falten sind regellos über die Handinnenfläche verteilt zu finden, wo keine Gitternetzfaltens sind. Sie sind ein Resultat aus Hautalterung und tätigkeitsbedingten Veränderungen. Da sie in ihrer Ausprägung durch keine Regeln zu beschreiben sind, sind diese für die Analyse irrelevant. [Tietze, Witthuhn, 2001]

## **2.3 Entstehung der Papillarleisten (-Muster)**

Bei der Entstehung von Papillarleisten und ihren Mustern muss vorher klargestellt sein, dass ein Muster etc. nur entstehen kann, wenn die dafür notwendige Information im Genom abgespeichert ist. Das bedeutet, wenn von Entstehung die Rede ist, muss die Erbinformation in die Betrachtung mit einbezogen werden. Eine klare Trennung von Entstehung und Vererbung der Muster der Papillarleisten ist demzufolge nicht immer einfach und es kommt oft zu Vermischungen.

### **2.3.1 Das menschliche Genom**

Die gesamte genetische Information eines Menschen verteilt sich auf 23 Chromosomen. Alle gewöhnlichen Zellen des menschlichen Körpers enthalten in ihrem Zellkern diesen Chromosomensatz doppelt, da jeweils 23 Chromosomen von einem Elternteil vererbt werden. Demzufolge enthalten die Fortpflanzungszellen (Eizellen, Spermien) nur 23 Chromosomen. Die Reduktion auf 23 Chromosomen in den Keimzellen sorgt dafür, dass es zu neuen Kombinationen der Gene kommt, wodurch auch Mutationen auftreten können. Somit besitzt jeder Mensch sein individuelles Genom und es wird ein evolutionärer Fortschritt gewährleistet. [Gloria Behrens, 2001]

Das System der Meiose wurde in der Genetik in den Jahren 1887 und 1888 bewiesen, wodurch das Dilemma der Verdopplung des Kernmaterials gelöst wurde. Allerdings gab es schon 1885 eine Theorie über die Keimbahn, welche Keimzellen beschrieb, die genetisches Material generationsübergreifend weitergeben können. Auf diese Theorie baut die Arbeit von Mendel auf, welcher die Mendel'schen Gesetze entwickelte, die der heutigen Vererbungslehre zugrunde liegen. [Sengbusch, 1985]

Es gibt drei Mendel'sche Regeln: Uniformitätsregel, Spaltungsregel und Unabhängigkeitsregel. Die Uniformitätsregel beschreibt den Vererbungsvorgang von zwei homozygoten Elternteilen, welche sich in einem Merkmal unterscheiden. Deren Nachkommen sind genotypisch und phänotypisch alle gleich. Die Spaltungsregel beschreibt den Vererbungsvorgang der ersten Nachfolgenergeneration. Wenn sich die Nachkommen untereinander vermehren, spaltet sich die nächste Generation sowohl in Phäno- als auch Genotyp in einem bestimmten Zahlenverhältnis auf. Die Unabhängigkeitsregel beschreibt eine Kreuzung der Eltern, welche sich in zwei Merkmalen unterscheiden und für diese jeweils rein erblich sind. Die Nachkommen erhalten die Erbanlagen frei und unabhängig voneinander. Diese Regel gilt allerdings nur für Gene, welche auf unterschiedlichen Chromosomen liegen. [Mendel'sche Regeln, 2021]

Auf der Grundlage dieser Regeln wurden weitere Vererbungsvorgänge, wie die plasmatische Vererbung, im Laufe der Geschichte der Genetik abgeleitet [Sengbusch, 1985].

Allerdings war es Joseph Kölreuter, welcher 1759 die ersten Gesetze der Vererbung entwickelte, indem er in einem Experiment mit Tabakpflanzen bewies, dass sowohl Mutter als auch Vater an der Vererbung teilhaben. Dieses Experiment war der Grundstein für die wissenschaftliche Genetik. [KIT, 2021]

Im Karyogramm (geordnete Darstellung aller Chromosomen in einer Zelle) werden die Chromosomen bezüglich ihrer Größe und Form zusammengefasst. Zwei gleichartige Chromosomen bilden dabei Paare, wodurch 22 Paare von homologen Chromosomen (Autosomen) und ein Paar aus heterologen Chromosomen (Heterosomen, Geschlechtschromosomen) gebildet werden. Auf den homologen Chromosomen liegen im Regelfall an der gleichen Stelle (Genlokus) auch die gleichen Gene. Die darauf gespeicherte Information kann entweder gleich oder unterschiedlich sein. Wenn ein Merkmal durch verschiedene Gene gebildet werden kann, werden diese Gene Allele genannt. [Gloria Behrens, 2001]

Ein doppelter Chromosomensatz heißt diploid, während ein einfacher haploid genannt wird. In einem Chromosom liegt zusammengewickelt die DNA als ein komplexes Molekül in Form einer Doppelhelix. Ein Strang der Doppelhelix setzt sich aus einer langen Kette an Basenteilchen zusammen. Jeweils drei Basenteilchen bilden eine Sequenz bzw. Bauleitung für eine Aminosäure. Aus einer großen Kette von Aminosäuren wird ein Protein aufgebaut und diese sind wiederum die wichtigsten Bausteine des menschlichen Körpers, um weitere Strukturen aufbauen zu können. Aus Proteinen werden Enzyme, Hormone und weitere organische Strukturen gebildet. Eine Aminosäure-Sequenz von einer definierten Länge beschreibt ein Gen und dieses kann die Ausprägung eines Körpermerkmals bestimmen. Es gibt allerdings auch Gene, welche Prozesse steuern und nicht an einer Merkmalsausprägung beteiligt sind. [Peter Zukowski]

Das menschliche Genom setzt sich aus ca. 25'500 Genen [BR, 2021] zusammen. Das komplette Genom befindet sich in jeder einzelnen Zelle des Körpers, allerdings wird nicht

jeder Teil davon genutzt bzw. die jeweiligen Bauanleitungen umgesetzt. Wenn ein Protein nach der Anleitung eines Gens gebildet wird, so wird dieses Gen im jeweiligen Körpermerkmal sichtbar und man spricht von einer Genexpression. Im menschlichen Genom sind ca. 30% Gene [Gloria Behrens, 2001], welche Anleitungen für die Proteinsynthese enthalten. Die Funktionen der restlichen 70% sind zum heutigen Stand noch unbekannt und werden von einigen Wissenschaftlern als „junk-DNA“ bezeichnet. [Gloria Behrens, 2001]

### 2.3.2 Genexpression und Zufall

Die Genexpression ist einer von mehreren entscheidenden Punkten bei der Ausbildung von biometrischen Merkmalen. Gene können sowohl nur in der embryonalen Phase eines Menschen aktiv sein als auch in der späteren Entwicklung eines Individuums und dahingehend Körpermerkmale beeinflussen. Ein weiterer Punkt bei der Ausprägung eines Merkmals ist der Zufall, in welchem unter anderem Umweltfaktoren oder das Chaosprinzip Einfluss haben. Das führt dazu, dass selbst eineiige Zwillinge beispielsweise nicht die gleichen Fingerabdrücke haben. Bei der Genexpression ist zusätzlich noch der Fakt zu beachten, ob ein Körpermerkmal monogen ist, das bedeutet es wird nur von einem Gen bestimmt, oder polygen, also von mehreren Genen bestimmt ist. Das Papillarmuster der Fingerkuppe ist ein polygenes Merkmal. Bei der Entstehung der Fingerkuppe sind viele Gene beteiligt, unter anderem für die Bindegewebsfasern oder die Blutgefäße. Die einzelnen Bestandteile beeinflussen sich in ihrer Entstehung gegenseitig, sodass hier das Chaosprinzip zur Wirkung kommt. [Peter Zukowski]

Über Generationen hinweg durchläuft das Genom der Menschen mehrere Mischungen der Gene väterlicher- und mütterlicherseits. Durch zusätzliche Genmutationen gibt es eine weitere Vielzahl an Variationen. Eineiige Mehrlinge haben zwar dasselbe Genom, allerdings unterscheiden sich trotzdem einige phänotypische Merkmale. Diese Variabilität in der Genexpression lässt sich in einen von vielen Punkten dadurch erklären, dass viele Gene im menschlichen Körper polymorph vorliegen, das bedeutet, es gibt von einem Gen mehrere Varianten (Allele). Welches Gen am Ende ausgebildet wird, hängt von der Genregulation ab, sprich rezessive/dominante Erbgänge. Umweltfaktoren können sich auch auf die Genexpression auswirken. Wenn beispielsweise ein Nährstoffmangel im Blut vorliegen sollte, kann ein bestimmtes Protein nicht mehr gebildet werden. Diese Unterschiede können schon bei Mehrlingen im Mutterleib auftreten, wenn der eine Embryo besser über das Blut versorgt wird als der andere Embryo. Zusätzliche Faktoren können beispielsweise auch Stress oder Fieber sein. Diese Variabilität bei eineiigen Mehrlingen kann allerdings nur bei polygenen Merkmalen auftreten, da monogene Merkmale nur von einem Gen bestimmt werden. Ist dieses Gen vorhanden, wird auch das entsprechende Merkmal ausgeprägt (Beispiel: Vererbung der Blutgruppe). [Gloria Behrens, 2001]

Das Fingerbild ein polygenes Merkmal. Die Hautleisten entstehen durch das Zusammenlegen der Bindegewebsfasern im Unterhautgewebe. Zur selben Zeit werden allerdings

auch Blutgefäße, Schweißdrüsen und Tastkörperchen in den Papillarleisten gebildet. Der ganze Aufbau wird zusätzlich noch von einer Deckschicht der Haut überzogen (siehe Kapitel 2.1). Bei der Bildung des Fingerbildes sind demzufolge mehrere Komponenten beteiligt und jede einzelne Komponente beruht auf den Bauplänen, welche in vielen verschiedenen Genen gespeichert sind. Neben dem Faktor der Beeinflussung durch Allele spielen auch so genannte repetitive Gene eine wichtige Rolle. Repetitive Gene sind Gene, welche mehrfach auf den Chromosomen vorhanden sind. Der Grund dafür ist, dass beispielsweise Bindegewebsfasern in großer Zahl im menschlichen Körper benötigt werden. Je mehr Gene die Information tragen, Bindegewebsfasern zu produzieren, desto mehr davon kann in kürzerer Zeit produziert werden. Das kann auch auf andere Komponenten der Fingerbildung übertragen werden. Repetitive Gene können sich untereinander unterscheiden und sind nicht immer identisch. Es obliegt dem Zufall, welches Gen letztendlich für die Bindegewebsfasern der Fingerkuppe verantwortlich ist. Wenn mehrere Gene, welche die Codierung von Bindegewebsfasern enthalten, für die Bildung eben dieser in der Fingerkuppe herangezogen werden, bilden sich gleichzeitig mehrere Proteinstränge und beanspruchen Platz. Dabei kann es zu Zusammenstößen der einzelnen Stränge kommen und somit zur gegenseitigen Beeinflussung. Somit kann eine Faser den Weg für eine andere versperren, sodass diese dem Zufall entsprechend ausweichen muss. Das kommt zustande, da die Gene nur die Information beinhalten, z.B. Bindegewebsfasern zu bilden, allerdings nicht, diese in einem bestimmten Muster anzuordnen. Demzufolge wirkt hier das Chaosprinzip mit der Beeinflussung durch äußere Faktoren und die Muster bilden sich zufällig. Das Zusammenspiel der konstanten genetischen Informationen und der zufälligen Umweltfaktoren sorgen neben dem Genpolymorphismus für die Variabilität eines Körpermerkmals. Diese Unterschiede würden auch bei einem Klonvorgang auftreten, da der Klon unter anderen Bedingungen entsteht als der Spender. Im Zeitraum von der 5.-18. Schwangerschaftswoche bilden sich die Hautleisten komplett aus. Wenn dieser Zeitraum vorbei ist, besitzen alle Zellen des Körpers ihre phänotypischen Merkmale, welche sie lebenslang behalten. Das bedeutet auch, dass genetische Manipulation von außen nur in diesem Zeitraum möglich ist. [Gloria Behrens, 2001]

Gloria Behrens Ansatz wird durch das Paper „Versuch einer Phänogenetik der normalen körperlichen Eigenschaften des Menschen“ von Eugene Fischer aus dem Jahre 1939 bestätigt. Auch Fischer beschreibt in seinem Paper den Ansatz, dass die körperlichen Merkmale zwei Einflüssen unterliegen, welche eng miteinander verwoben und nicht klar trennbar sind. Zum einen die genetische Grundlage, allerdings vertritt Fischer die Ansicht, dass die Wirkung der Gene nicht allzu starr betrachtet werden darf. Vielmehr übertragen die Gene die Eigenschaften mit einer gewissen Reaktionsbreite, welche je nach Eigenschaft/Merkmal unterschiedlich groß ausfallen. Neben der genetischen Grundlage sieht Fischer, wie Behrens, die Vielzahl von Umwelteinflüssen, genannt Peristase, als zweiten großen Faktor bei der Ausbildung körperlicher Merkmale. Fischer vertritt die Ansicht, dass man in einem Körpermerkmal immer die Wirkung von Gen und Peristase sieht, deren Verhältnis allerdings schwanken kann. Fischer führt im Zuge dieses Praxismoduls den Begriff polymere Gene ein, welche bei der Entstehung von körperlichen Merkmalen auch

eine Rolle spielen. Darunter lässt sich die Einteilung in Haupt- und Nebengene verstehen. Ein Hauptgen wäre demzufolge vorrangig für die Ausbildung eines Merkmals verantwortlich, während ein Nebengen für feinere Ausprägungen bzw. Details verantwortlich ist. Behrens sprach diesen Aspekt nicht an, allerdings lässt ihr Ansatz schlussfolgern, dass sie von einer gleichmäßigen Beteiligung aller Gene ausgeht, welche an der Bildung von körperlichen Merkmalen beteiligt sind. [Eugene Fischer, 1939]

Im späteren Verlauf seines Papers lenkt Fischer sein Augenmerk auf die Hand- bzw.-Fingerflächen und deren Musterentstehung. In Bezug auf die großen Beugefurchen der Hand bezieht sich Fischer auf seinen Schüler Würth. Dieser fand heraus, dass die großen Beugefurchen, nicht wie bis dahin angenommen, als Folge embryonaler und späterer Hand- und Fingerbewegungen entstehen, sondern diese sich im 2./3. Embryonalmonat bilden, noch bevor die Hand regelmäßige Bewegungen ausführt. Das Wachstum von Korium (Lederhaut) und Epithel (Oberhaut) ist an diesen Stellen strichweise verringert. Aus diesen Strichen entstehen dann die großen Beugefurchen. Die Furchenentwicklung verläuft dabei regelmäßig von radial nach ulnar und von distal nach proximal. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass ein oder mehrere Gene formbestimmend auf die Haut wirken. Dabei ist bekannt, wann die Wirkung des Gens einsetzt, mehr kann dazu allerdings nicht gesagt werden. Wichtig hierbei zu erwähnen ist, dass dies nur für die primären/ großen Beugefurchen gilt. Bei den sekundären/ kleinen Beugefurchen gehen Fischer und sein Schüler Würth davon aus, dass diese im späteren Verlauf der Entwicklung durch Bewegungen und andere Umstände zustande kommen. Die Sonderform der Vierfingerfurchen wird dabei von einem anderen Gen bestimmt. Fischer verweist hierbei auf Portius, welcher den rezessiven Erbgang für die Vierfingerfurchen mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit herausgefunden hat. Diese Furche tritt in verschiedenen Populationsgruppen unterschiedlich häufig auf. Fischer schließt aus diesem Fakt auf einen Hinweis auf Erblichkeit der Furche. Bei der Vererbung der Vierfingerfurchen wurden starke Manifestationschwankungen festgestellt, welche sich sowohl in Rechts-Links-Unterschieden äußern als auch in der Diskordanz bei eineiigen Mehrlingen. Das bedeutet, bei einem Mehrling tritt die Furche auf und bei dem anderen nicht. Portius stellte in seinen Untersuchungen einen Bezug zwischen dem Auftreten der Furche, in ihrer Manifestierung und psychischen Erb-leiden her. Diese Aussage kann durch ein Buch von Tietze und Witthuhn von 2001 bestätigt werden. Durch moderne Untersuchungen konnte herausgefunden werden, dass alle Menschen, welche am Langdon-Down-Syndrom erkrankt sind, diese Furche auf ihrer Handinnenfläche aufweisen. Das bedeutet allerdings nicht, dass jede Person, welche die Vierfingerfurchen hat, auch am Langdon-Down-Syndrom erkrankt ist [Tietze, Witthuhn, 2001]. Genau wie Behrens ist auch Fischer der Meinung, dass es keine einzelnen Erbanlagen für die Bildung einzelner Muster gibt, allerdings vertritt er die Ansicht, dass es durchaus möglich ist, dass es genetische Neigungen zur Bildung bestimmter Muster geben kann, beispielsweise die Bildung vieler Wirbel auf den Fingerkuppen oder eine größere Musterbildung am Thenar. Diese Neigungen sind aber neben starken Schwankungen auch Geneinflüssen unterworfen, welche nur indirekt wirken. Fischer hat dabei die Vorstellung einer sekundären Wirkung von Genen, welche primär etwas mit der Entwicklung

von Hand/ Fingern zu tun haben. Mit einem Bezug auf die Arbeit von Bonnevie ist sich Fischer sicher, dass die Musterbildung von Genen abhängig ist. [Eugene Fischer, 1939]

Bonnevie entwickelte die Theorie, dass sich das Zentrum des Musters auf der Fingerbeere zuerst dort entwickelt, wo die erste Spitze eines Tastnervenzweigchens auf die Haut trifft. Fischer hält dieses Verhältnis für genbedingt, allerdings auch für entwicklungsstabil. Das bedeutet, es ist zufällig, wo genau das Zweigchen auf die Haut trifft, die Tatsache, dass sich an dieser Stelle das Zentrum des Musters bildet, ist allerdings ein fundierter Fakt. Bonnevie konnte aufzeigen, dass an einem Embryo verschiedene Hautdicken auf den zukünftigen Fingerkuppen in Beziehung zu einer stärkeren/ geringeren Leistenbildung stehen. Daraus leitete Bonnevie Erbfaktoren ab, welche direkt mit der Epidermisdicke in Verbindung stehen. Demzufolge nahm sie ein Genpaar an, welches für die gesamte Epidermisdicke verantwortlich ist und zwei Genpaare, welche die Polsterung des Gewebes beeinflussen. Durch weitere Untersuchungen leitete Bonnevie Dickenfaktoren ab, wie ein Epidermis-Dicken-Faktor. Diese Dickenfaktoren sollen auf den Druck, der in den Fingern fließenden Flüssigkeit, reagieren. Laut Bonnevie hängt das Leistenbild von der Stärke der Hautwölbung ab und diese hängt von der Epidermisdicke ab, welche genbedingt ist. [Eugene Fischer, 1939]

Gegen diesen Ansatz steht die Annahme von Abel, welche auch in Fischers Paper beleuchtet wird. Er nahm den Flüssigkeitsdruck in den Fingerkuppen als Hauptwirkung an. Der Druck sei dabei individuell verschieden und dies ist laut Abels Ansatz von Erbfaktoren abhängig. Anstatt Dicken- und Polsterungsgene wie Bonnevie anzunehmen, baut Abel seine Theorie auf Druckgenen auf. Im Vergleich der Theorien von Bonnevie und Abel, kommt Fischer zu dem Schluss, dass beide Theorien unzureichend und ungenau sind. Was am Ende genau genbedingt ist bei der Bildung von Fingerkuppen, ist zum aktuellen Stand der Forschung immer noch unbekannt. Genau wie Behrens ist auch Fischer der Meinung, dass in der Entstehung von Papillarleistenmustern sehr viele Faktoren eng miteinander verwoben sind und dass kleine Schwankungen, wie Ernährung, Druck etc. in der Embryonalphase einen großen Einfluss haben können. Der ganze Vorgang unterliegt einer starken Entwicklungsstabilität. Fischer fasst in seinem Paper von 1939 den Stand der Wissenschaft zusammen, der heute auch noch gültig ist: Zum einem kann man gut erbliche Einflüsse erkennen, auf der anderen Seite gibt es zum Teil so große Schwankungen, dass von Vererbung nicht mehr viel zu sehen ist. [Eugene Fischer, 1939]

Ein weiterer Ansatz aus dem Jahre 2005 bezieht sich auch auf die eben erwähnte Arbeit von Bonnevie. Dieser Ansatz stammt von Michael Kücken, ein Mathematiker der TU Dresden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Grundmuster genetisch festgelegt sind, die Minuzien allerdings dem Zufall unterliegen. Genau wie Behrens und Fischer, geht Kücken davon aus, dass äußere Umweltfaktoren Einfluss auf die Entstehung der Abdrücke nehmen können. In der Embryonalphase der 5.-18. Schwangerschaftswoche bilden sich Gewebepolster an den Handinnenflächen. Diese bilden sich nach bestimmter Zeit wieder zurück, allerdings geht Kückens Ansatz davon aus, dass die Geometrie dieser Polster bestimmt, welches Grundmuster sich am Ende bildet. Große Polster sollen dabei

zu Wirbelstrukturen werden, während mittelgroße unsymmetrische Polster eher zu Schleifen führen und flache Ausstülpungen bilden sich zu Bögen zurück. Die Entstehung des Papillarlinienmusters aus den Gewebepolstern lässt sich auf Bonnevies Arbeit zurückführen, welche die Muster als Ergebnis von Spannungen auf der Haut sieht, welche durch unterschiedlich schnelles Wachstum der Hautschichten entstehen. Wenn sich die einzelnen Hautschichten differenzieren, wächst die Basalschicht schneller als die benachbarten Hautschichten. Dadurch kommt es zu wellenförmigen Ausstülpungen, aus welchen sich schlussendlich die Papillarleisten bilden. Die Computersimulation von Kücken bestätigt die Theorie, dass Spannungsunterschiede in den einzelnen Hautschichten für die Bildung der Papillarleisten verantwortlich sein könnten. Ausgangspunkt für die Rechenformel der Simulation ist eine Formel, welche zur Bestimmung der Zustände elastischer Membranen unter Spannung verwendet werden. Das Ergebnis sind die typischen Grundmuster, allerdings ohne Berücksichtigung der Minuzien, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit nur durch den Zufall bestimmt sind. Allerdings gibt sich Kücken zuversichtlich, dass es nur eine Frage der Zeit ist, bis die Forschung und Technik so weit ist, auch Minuzien berechnen zu können. [Michael Kücken, 2005 + Peter Frey, 2008]

Ein Paper von Evelyn John Evatt beschäftigt sich mit der evolutionären Entstehung der Papillarleistenmuster. Sie erläutert, dass zu den Anfangszeiten der Primaten an den Handinnenflächen nur parallele Papillarlinien vorhanden waren. Mit der Funktion des Greifens passten sich die Papillarleisten der Belastung an, sinnbildlich kann davon gesprochen werden, dass die Papillarleisten „Verständnis“ zeigten und sich der neuartigen Belastung anpassten. Mit dieser Entwicklung sollten die ersten einfachen Bögen entstanden sein. Demzufolge wäre der Bogen das grundlegendste Grundmuster in der Entwicklung der Primaten. Die anderen Muster entstanden dann durch die Variabilität der unterschiedlichen Nutzung der Hand. Es kann davon ausgegangen werden, dass es in der Evolution der Papillarleisten zur Mutation von Genen kam, welche zusätzlich Einfluss auf die Entstehung der Muster nahm. [Evelyn John Evatt, 1906]

## **2.4 Vererbung der Papillarleisten (-Muster)**

Die hier beschriebenen Studien bezüglich der Vererbung von Papillarleistenmustern beinhalten lediglich Tendenzen und Andeutungen, welche auf Vererbung hindeuten könnten. Der Grund dafür liegt zum einem in der für eine solche Studie verwendete geringe Datenmenge an Abdrücken und zum anderen in dem großen Einfluss der Umweltfaktoren und somit dem Zufall, wie in Kapitel 2.3 erläutert. Dadurch können Aspekte der Vererbung kaum erkennbar sein.

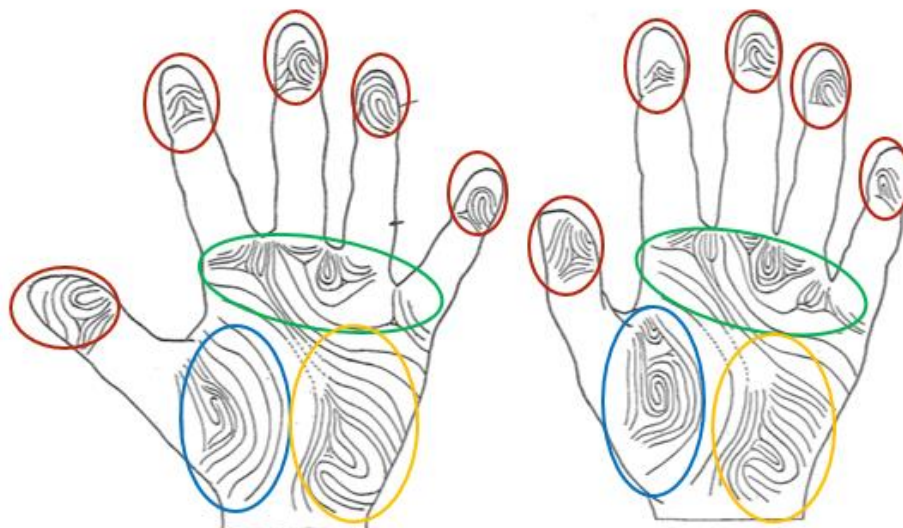
### **2.4.1 Familien- und Zwillingsforschung**

Im Paper „Studies on Papillary Patterns of Human Fingers“ von Kristine Bonnevie aus dem Jahre 1924 fasst eben diese unter anderem die Studien von Galton und Wilder zum



Thema Vererbung und Papillarleistenmustern zusammen. Galton untersuchte in einer Studie von 1892 150 Geschwisterpaare und 17 Zwillingspaare. Zusätzlich führte er einen Vergleich von Kindern mit ihren Eltern durch, unter der Voraussetzung, dass beide Elternteile ähnliche Muster vorweisen konnten. Laut Galton konnte in den Ergebnissen eine Tendenz zur Vererbung erkennbar gemacht werden. Es musste allerdings der Fakt berücksichtigt werden, dass die Zahl der untersuchten Fälle zu gering war, um quantitative Schlussfolgerungen belegen zu können. Bonnevie erläutert diese Studie allerdings nicht weiter und bringt stattdessen als Vergleich eine Studie von Wilder, welcher seine Ergebnisse in Werken aus dem frühen 20. Jahrhundert zusammenfasste. [Kristine Bonnevie, 1924]

Dieser fokussierte seine Untersuchungen auf die Hand- und Sohlenmuster. Dafür untersuchte er einerseits 50 Zwillingspaare. Sowohl bei eineiigen als auch zweieiigen Zwillingen waren ihre Muster auffallend ähnlich, auch in der allgemeinen Struktur wiesen diese starke Ähnlichkeit auf. Allerdings konnte auch Wilder keine Gemeinsamkeiten bei den Minuzien feststellen. Um auf der Handfläche leichter Zuordnungen treffen zu können bzw. diese einfacher untersuchen zu können, unterteilte Wilder die Handfläche in elf Musterflächen: fünf apikale Flächen (Fingerkuppen), vier interdigitale Flächen (Bereich der Fingerwurzel), eine thenare Fläche (Daumenballen) und eine hypothenare Fläche (Kleinfingerballen) (siehe Abbildung 2). Das Auftauchen von spezifischen Mustern an allen elf Musterflächen ist ein sehr seltenes Phänomen. Wilder schlossfolgerte aus diesen Annahmen, dass, sollte dieser Fall beispielsweise bei eineiigen Zwillingen auftreten, die Entwicklung der Muster in der Eizelle vor deren Teilung festgelegt wird. Das sah Wilder als möglichen Hinweis auf die Vererbbarkeit von Mustern in der Handinnenfläche. [Kristine Bonnevie, 1924]



**Abbildung 2: Wilders elf Musterflächen**

Abbildung 2 zeigt die Aufteilung der Handinnenfläche in elf Musterbereiche, welche Wilder vornahm, um die Muster lokaler beschreiben zu können. Die rot markierten Bereiche ste-

hen für die apikalen Flächen, die Grünen für die interdigitalen Flächen, die blaue Fläche steht für die thenare Fläche und die gelbe Fläche steht für den hypothenare Bereich. Die eingefärbten Bereiche wurden eigenhändig hinzugefügt zur besseren Veranschaulichung. [B2]

1916 führte Wilder Studien zur Vererbung an ganzen Familien durch. In einem näher beschriebenen Beispiel besaß der Vater einer Familie thenare und hypothenare Muster, während bei der Mutter diese Muster fehlten. In den Händen der sechs Kinder wurden keine hypothenaren Muster nachgewiesen, allerdings waren an zehn Händen thenare Muster vorhanden. Wilder beschrieb das Vorkommen von thenaren Mustern als recht selten mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 4% [Wilder, 1916]. Diese Wahrscheinlichkeit bezieht sich laut Wilder auf die komplette weiße Bevölkerungsgruppe [Wilder, 1916]. Das seltene Auftreten eines thenaren Musters und das fast universelle Auftreten in der untersuchten Familie führte Wilder dies auf eine direkte Vererbung über den Vater zurück, allerdings nur bezogen auf das thenare Muster. Bei dem universellen Fehlen des hypothenaren Musters schlussfolgert Wilder einen genetischen Einfluss seitens der Mutter [Wilder, 1916]. Trotz der zwei Hände, welche kein thenares Muster aufwiesen, vermutete Wilder in diesem Fall eine dominante Vererbung über den Vater. Für das Fehlen des Musters an den beiden Händen brachte Wilder als Erklärung, dass der Vater in diesem Merkmal heterozygot, also mischerbig, ist oder dass das Merkmal kein monogames Merkmal ist und somit noch andere Faktoren den Verlauf mit beeinflussen. Auch wenn Wilder in der Unterteilung der Musterflächen die Fingerkuppen mit beschreibt, so lässt er die Papillarleistenmuster der Fingerbeeren nicht in seine Untersuchungen der Familien mit einfließen. [Kristine Bonnevie, 1924]

Wilder führte zusätzlich Studien an siamesischen Zwillingen durch. Bei einem weiblichen Zwillingenpaar im Alter von vier Jahren untersuchte Wilder die Handinnenflächen und Fußsohlenbereiche. Dabei stellte er fest, dass sich die Muster der Zwillinge stark ähneln. Der Aufbau der Muster sei gleich gewesen, allerdings seien die Details verschieden gewesen. Bei seinen Familienforschungen konnte Wilder feststellen, dass sich neben den Mustern an den Fingerwurzeln beispielsweise auch die Handfurchen von Eltern und Kindern zum Teil stark ähneln. Dabei sei eine Vater-Kind-Ähnlichkeit stärker als eine Mutter-Kind-Ähnlichkeit, was darauf hindeuten könnte, dass bestimmte Merkmale dominant seitens des Vaters vererbt werden könnten. [Wilder, 1916]

Nach dem Vergleich der Studien von Galton und Wilder schließt Bonnevie, dass diese keine aussagekräftigen Beweise für Vererbung liefern, ihre Untersuchungen allerdings starke Indizien dafür zeigen. Häufig erhalten Wissenschaftler nur Hinweise auf die Vererbung, wenn sich die Muster von Geschwistern stark ähneln. Ein Beispiel hierfür wäre das Auftreten von Bögen an allen zehn Fingern bei Geschwistern. Um aussagekräftigere Theorien entwickeln zu können ist ein viel größerer Datensatz notwendig, als bisher für alle Studien verwendet wurde. [Kristine Bonnevie, 1924]

Dies bedeutet auch, dass der Datensatz, welcher im Zuge dieses Projektes aufgenommen wurde, nicht aussagekräftig genug ist, um eindeutige Hinweise auf Vererbung von Papillarleistenmuster liefern zu können.

Ein weiteres Werk, welches Studien zu Zwillingsforschungen zusammenfasst, stammt von Bowyer und Flynn. Darin werden die Studien von Wilder, Lin, Jain und weiteren Wissenschaftlern kurz beschrieben und verglichen. All diese Forschungen ergaben, dass sich die Papillarleistenmuster von Zwillingen stärker ähneln als dies bei normalen Geschwistern der Fall wäre. In den meisten Fällen weisen Zwillinge die gleichen Grundmusterstrukturen auf. Dabei stellte sich heraus, dass die Ähnlichkeit zwischen eineiigen Zwillingen höher als bei zweieiigen Zwillingen ist. Doch auch in diesen Studien konnten keine deutlichen Übereinstimmungen der Minutien gefunden werden, welche Tendenzen zur Vererbung verdeutlichen würden. [Bowyer, Flynn, 2016]

Ein Paper, welches sich unter anderem auch auf die Studien von Galton und Bonnevie bezieht, stammt von Fabian Hauf und wurde im Rahmen einer „Jugend forscht“-Initiative angefertigt. Er untersuchte die Vererbbarkeit von Grundmustern in Familien. Zusätzlich verglich Hauf die Ähnlichkeit der Abdrücke zwischen nicht verwandten Personen. Mit Bezug auf Maltoni stellt er heraus, dass es zwischen Verwandten Korrelationen bei den Grundmustern der Fingerkuppen geben kann. Aber auch er geht, wie Behrens davon aus, dass die Entstehung der Minuzien nicht genetisch bedingt ist. Hauf bezieht sich bzgl. der Grundmusterverteilung auf eine europäische Populationsgruppe. Die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten der Grundmuster wurden bereits in Kapitel 1.2 vorgestellt. Für seine Untersuchung nahm Hauf die rechten Daumenabdrücke von 450 nicht verwandten Individuen. Für die Familienforschung fertigte Hauf 14 Stammbäume mit insgesamt 117 Fingerabdrücken an, wobei diese Familien aus drei bis vier Generationen bestanden. Für eine Untersuchung bezüglich der Umwelteinflüsse in der Embryonalphase bei Mehrlingen, nahm Hauf die Abdrücke von 18 Zwillingspaaren. Die Abnahme der Fingerabdrücke erfolgte mit Hilfe eines einfachen Stempelkissens und herkömmlichen Papier als Abdruckfläche. Um unterschiedliche Untersuchungen durchführen zu können, verwendete Hauf drei verschiedene Formblätter: ein Formblatt führt pro Blatt 35 Abdrücke der nicht verwandten Gruppe auf, allerdings nach Geschlechtern getrennt, das zweite Formblatt zeichnet die Abdrücke der Familien auf mit den jeweiligen Verwandtschaftsverhältnissen und das dritte Formblatt wurde explizit für Mehrlinge angefertigt. Anhand der Stammbäume sollte einer von vier möglichen Erbgängen und ob ein Muster rezessiv oder dominant vererbt worden ist, nachgewiesen werden. Allerdings konnten aufgrund der zu geringen und teils widersprüchlichen Datenmenge kein Nachweis von dominanter bzw. rezessiver Vererbung erbracht werden. Eine weitere von Hauf verwendete Methode bestand in einer Häufigkeitsanalyse. Dazu wurde mit Hilfe der Daten aus der Zufallsgruppe eine Verteilung der Fingerabdrücke ermittelt. Dabei stellt sich heraus, dass das Merkmal ulnare Schleife bei Frauen häufiger auftritt als bei Männern. Unter der Vermutung einer gonosomalen Vererbung wurden die Grundmuster der weiblichen Individuen aus den Großfamilien betrachtet. Von 19 Müttern konnten bei 13 Töchtern das gleiche Grundmuster nachgewiesen

werden, während sechs Töchter ein anderes Muster trugen. Dies könnte eine Tendenz sein, aufgrund der geringen Datenmenge lässt sich die Theorie nicht bestätigen. Auch ein Vergleich der Musterverteilungen zwischen Zufallsgruppe und Großfamilien könnte Tendenzen auf eine Vererbung liefern, da die Ergebnisse aus den Großfamilien zum Teil stark abweichen von denen der Zufallsgruppe. Daraus könnte geschlossen werden, dass bestimmte Muster innerhalb einer Familie häufiger auftreten als zu erwarten wäre, da hier Vererbung im Spiel wäre. Aber auch für diesen Vergleich wird eine größere Datenmenge benötigt, um sicher Aussagen treffen zu können. Durch weitere statistische Untersuchungen fand Hauf heraus, dass die Grundmuster bei Geschwistern häufiger übereinstimmen als die Grundmuster von zufällig ausgewählten Paaren von unverwandten Menschen. Die größte Häufigkeit an Übereinstimmungen von Mustern konnte bei Zwillingen und danach bei Geschwistern beobachtet werden. Hauf konnte zusätzlich noch feststellen, dass die Übereinstimmung von Mutter-Kind-Vergleichen häufiger auftraten als bei Vater-Kind-Vergleichen. Die Ergebnisse lassen demzufolge eine Vermutung auf genetische Vererbung zu, wobei Hauf betont, dass die Möglichkeit besteht, dass Geschwister auch durch ähnliche Umgebungseinflüsse geprägt sein können, welche die Ähnlichkeit zusätzlich beeinflussen können. [Fabian Hauf, 2013]

## 2.4.2 Vererbung von Minutien

Ein wichtiges Verfahren, mit welchem die Vererbung von Minutien nachgewiesen werden könnte, liefert eine Untersuchungsmethode des ungarischen Wissenschaftlers Ökrös. Seine Methode wurde mehrfach kritisch betrachtet und entsprechende Nachforschungen wurden angestellt. Untersuchungsmaterial für diese Methode bilden sogenannte sichere Familien. Dies sind Familien, bei denen die Kinder aufgrund mehrerer Ähnlichkeitsmerkmale sicher von den Eltern abstammen. Ökrös vertrat die Theorie, dass Minutienmerkmale von beiden Elternteilen bei dem Kind wiederzufinden wären. Er betrachtete dafür die Abdrücke von 100 sicheren Familien und 300 gerichtlichen Fällen, in denen es um die Abstammungsfrage bezüglich einer Vaterschaft ging. Um die Abdrücke anzufertigen, wurde zum einen die Celophanpapier-Diapositiv-Methode angewendet und es wurden als Vergleichsmaterial Abdrücke auf weißem Papier mit Tinte genommen. Die Aufnahme auf Papie- und Celophanstreifen ermöglicht es, die Abdrücke von Eltern und Kindern nebeneinander gleichzeitig zu vergleichen, was einen großen Vorteil gegenüber anderen Methoden darstellt, allerdings auch viel Umsicht und Präzision erfordert. Für entsprechende Vergleiche suchte Ökrös die Abdrücke heraus, bei denen der Finger und das Grundmuster übereinstimmten. Um die Grundmuster zu klassifizieren erstellte Ökrös ein System mit 60 verschiedenen Mustertypen, in denen auch Tendenzen zu anderen Grundmustern oder Kombinationen mehrerer Muster beschrieben sind. Eine solch genaue Klassifizierung erfordert allerdings viel Übung und würde dem Laien schwerfallen. Diese Unterscheidung ermöglicht einen sehr feinen Vergleich zwischen Eltern und Kind(ern). Ökrös untersuchte die Finger von 400 Kindern und fand 28,57% väterliche und 28,57% mütterliche Übereinstimmung der Muster, während in 42,85% der Fälle eine Kombination der elterlichen Muster vorhanden waren [Fazekas, Veress, 1967]. In den Kombinationen ka-

men dabei Mustervereinfachungen oder Musterfortentwicklungen vor. Die angestellten Nachforschungen von Fazekas und Veress können die ermittelten Werte von Ökrös bestätigen. Aus diesen Befunden kann geschlussfolgert werden, dass Papillarleistenmuster von den Eltern vererbt werden. Zusätzlich konnten sowohl Ökrös als auch die Nachforschungen bezüglich seiner Methodik Beobachtungen zur Musterentwicklung anstellen. Durch das Zusammenwirken beider Elternteile auf das Kind, kann bei den Papillarleistenmustern teilweise eine Verschiebung in die Richtung des Musters eines Elternteils beobachtet werden. Bei einer Verschiebung zu einem Elternteil mit entwickelterem Muster spricht Ökrös von Musterfortentwicklung, während bei einer Verschiebung zu einem Elternteil mit weniger entwickelten Papillarleisten von Mustervereinfachung geredet wird. Zusätzlich zur Musterentwicklung wurde auch die Musterrichtung betrachtet, bei welcher mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit auf Vererbbarkeit geschlossen werden kann. Ein weiteres untersuchtes Merkmal von Ökrös war die Papillarleistenanzahl zwischen Kern des Grundmusters und Delta. Dieses Feature konnte in den Nachforschungen allerdings keine verwertbaren Beweise auf Erblichkeit liefern. Dass die Papillarleistenanzahl einem genetischen Einfluss unterliegt beweisen zusätzlich die Arbeiten von Holt, Saha und Chauhan, auf welche im späteren Verlauf noch einmal zurückgegriffen wird. Einer der bedeutsamsten Punkte für die Wissenschaft bildet Ökrös Untersuchung bezüglich der Minutien. Er vertritt die Ansicht, dass väterliche und mütterliche Minutien, nicht unbedingt vollzählig, bei den Kindern an den gleichen Papillarleisten und in der gleichen Lage vorzufinden sind. Die Minutien der Kinder können dabei einer gewissen Entwicklungsbandbreite unterliegen, sodass auch neue Formen an Minutien entstehen können, allerdings soll der elterliche Einfluss dabei trotzdem abzuleiten sein. In 99% der untersuchten Fälle von Ökrös konnte dieser keine Minutie zwischen einer nichtverwandten Person und einem Kind nachweisen, welche an der gleichen Position der Papillarleisten eingebaut ist. Auch die Nachforschungen von Fazekas und Veress konnten die gleiche Lage von Minutien bei Elternteil und Kind beobachten, allerdings liegen die Zahlen der Nachforschungen weit hinter denen von Ökrös. Ein Grund dafür liegt in der Musterentwicklung. Durch Musterfortentwicklung oder -Vereinfachung verändert sich die Papillarleistenanzahl und die Positionen der Minutien können sich somit verschieben. Auch die Weiterentwicklung der Minutien führte dazu, dass in den Nachforschungen von Fazekas und Veress Minutien, welche nicht exakt mit denen eines Elternteils übereinstimmten, nicht betrachtet wurden. Dies spricht gegen die Annahme von Ökrös, gleich welcher Mustertyp bei den Kindern vorliegt, die Minutien der Eltern können immer nachgewiesen werden. In Bezug auf dieses Projekt wurden den Minutien nicht die gleiche Aufmerksamkeit geschenkt, wie das bei der Ökrösschen Untersuchungsmethode der Fall ist. Allerdings kann dieser Aspekt in weiterführenden Bachelorprojekten aufgegriffen werden. [Fazekas, Veress, 1967]

### **2.4.3 Papillarleistenanzahl**

Wie im vorherigen Kapitel erwähnt konnten die Arbeiten von Holt, Saha und Chauhan Tendenzen verdeutlichen, welche darauf hinweisen, dass die Papillarleistenanzahl genetisch bedingt ist. Holt führte Forschungen an Familien und Zwillingen durch. Dabei erstell-

te sie Korrelationen einerseits zwischen Geschwistern und andererseits zwischen Eltern und Kindern. Die hohen Ähnlichkeiten der totalen Papillarleistenanzahlen lassen Holt darauf schließen, dass in diesem Fall Vererbung vorliegt. Zusätzlich schließt sie Einflussfaktoren aus der Umwelt auf dieses Merkmal komplett aus. [Holt, 1953]

Bestätigt wird Holts Annahme durch eine Arbeit von Saha und Chauhan. Diese führten Studien bezüglich der Papillarleistenanzahl in Familien der indischen Population durch. Dafür markierten sie in jedem Abdruck einen 16 mm<sup>2</sup> großen Bereich auf dem Kleinfingerballen und zählten die Papillarleisten aus. Anschließend führten sie mit diesen Daten statistische Analysen durch. Zufällige, nicht verwandte Personen, welche verglichen wurden, wiesen dabei weniger Ähnlichkeiten auf als Familienmitglieder, die miteinander verglichen wurden. Die Ähnlichkeiten von Vater-Kind-Vergleich waren dabei sehr viel stärker vertreten als bei Mutter-Kind-Vergleichen, allerdings trifft dies nur auf die meisten daktylokopischen Merkmale der Hände zu und nicht auf die Papillarleistenanzahl. Saha und Chauhan schließen aus ihren Forschungen, dass viele Charakteristiken der Papillarleisten durch Gene weitervererbt werden können, auch wenn die Muster an sich nicht übereinstimmen. [Saha, Chauhan, 2020]

## 2.5 Venenmuster

Das Venenmuster ist genauso wie der Fingerabdruck ein sehr individuelles Merkmal. Es gibt keine Menschen, die das gleiche Venenmuster aufweisen. Nicht nur die Anordnung der Venen beschreibt ein individuelles Muster. Hinzu kommen Faktoren bezüglich der Tiefe, in welcher die Venen im Gewebe liegen, ihre Dicke und andere. All diese Merkmale machen das Venenmuster zu einem sehr sicheren biometrischen Merkmal. Somit kann eine Person anhand ihres Venenmusters eindeutig identifiziert werden. Venenmuster können auch an anderen Körperstellen gefunden werden und wären da genauso individuell, wie auf dem Handrücken. Allerdings wird das Venenmuster der Hand aufgrund der leichten Zugänglichkeit und der guten Sichtbarkeit einiger Venen bevorzugt. Im folgenden Teil wird eine Studie von Freerksen behandelt, welche sich erstmals an einer gründlichen Untersuchung des Venenmusters versucht.

Freerksen fertigte für seine Untersuchungen 250 Aufnahmen aus den Gießener Kliniken an. Er verwendete dafür Infrarot-Fotografie. Sein daraus resultierender Datensatz ist ausbalanciert, das bedeutet er verwendete zur Hälfte Daten von weiblichen Personen, während die andere Hälfte aus Aufnahmen von männlichen Personen stammt. Freerksen beschreibt das Venenmuster als absolut einzigartig. Es unterscheidet sich nicht nur bei Personen untereinander, sondern selbst bei einer einzelnen Person sind die Venenmuster der rechten und linken Hand nicht übereinstimmend. Die Unterschiede sind so groß, dass diese schon mit bloßem Auge festgestellt werden können. Noch deutlicher wird es in Infrarot-Aufnahmen, da dort auch Gefäße sichtbar werden, die tiefer im Gewebe liegen und von außen nicht zu sehen sind. [Freerksen, 1937]

Durch den ausbalancierten Datensatz konnten Geschlechtsunterschiede anhand des Venenmusters festgestellt werden. Die Venen von weiblichen Individuen sind im allgemeinen Fall dünner und liegen tiefer im Gewebe als bei männlichen Personen. Die zum Teil schlechte Sichtbarkeit der Venen bei weiblichen Probanden lässt sich dadurch erklären, dass eingelagerte Lipide die Aufnahmen verschlechtern, je mehr sie vorhanden sind. Frauen weisen dabei mehr Fetteinlagerungen auf als Männer. Wichtig zu erwähnen ist an dieser Stelle auch der Umstand, dass Frauenhände leichter mit Kinderhänden verwechselt werden können, da der Aufbau meist sehr ähnlich ist. [Freerksen, 1937]

Um der Frage nach der Vererbung von Venenmustern nachzugehen, führte Freerksen Untersuchungen an Zwillingen durch. Wie aus den vorhergegangenen Kapiteln hervorgeht, hat die Zwillingsforschung, insbesondere die Forschung bei eineiigen Zwillingen, einen hohen Stellenwert, wenn es darum geht, die Vererbung biometrischer Merkmale nachzuweisen. Ist bei eineiigen Zwillingen ein Merkmal in der gleichen Ausprägung vorhanden, liefert dieser Umstand Hinweise, welche auf Vererbung hindeuten könnten. Ein solches Merkmal müsste in der Zeit der Schwangerschaft in der befruchteten Eizelle festgelegt worden sein, bevor diese sich geteilt hat, sodass monozygote Zwillinge entstehen konnten. Freerksen konnte bei seiner Zwillingsforschung feststellen, dass in einem Großteil der Fälle die beiden linken bzw. rechten Hände des Zwillingspaars ähnlicher waren als die linke und rechte Hand eines Zwillings. Die Hände eines Zwillings sind sich dabei nicht ähnlicher als bei anderen Personen. Freerksen beschreibt eine Kongruenz der beiden linken bzw. rechten Hände von Zwillingspaaren. Da einige Zwillingspaare allerdings nicht dieses Phänomen der Konkordanz aufwiesen, führt Freerksen Teilkonkordanzen in seine Forschung ein, da diese eher zutreffend sind als totale Konkordanzen. Denn bis zum Entstehungszeitpunkt von Freerksens Studie war es üblich in der Zwillingsforschung nur jene Merkmale zu betrachten, welche eine totale Konkordanz aufwiesen. Als Teilkonkordanzen werden hier hauptsächlich die Seitenkonkordanz (die homologen Seiten weisen starke Ähnlichkeiten auf) und die Rechts-Linkskonkordanz (die rechte und linke Körperhälfte ist symmetrisch) betrachtet. Dadurch können mehr Treffer in der Zwillingsübereinstimmung gefunden werden als das bis dato der Fall war. Mit einem Vergleich bezüglich Seitenkonkordanzen von Gesichtshälften bei Zwillingspaaren (Bezug auf eine Arbeit von Prof. Dr. Becker, Anatomische Untersuchungen an eineiigen Zwillingen) schlussfolgert Freerksen, dass die Seitenkonkordanz ein durchgehendes Merkmal für den gesamten Organismus ist. [Freerksen, 1937]

Um die Erblichkeit des Venenmusters zu untersuchen, führte Freerksen eine Studie an einer Familie durch. Diese bestand aus einem Stammelternpaar und zwei Nachkommengenerationen. Die erste Filialgeneration bestand aus 6 Kindern, darunter ein zweieiiges Zwillingsspaar. In der Zweiten Filialgeneration gab es ein eineiiges Zwillingsspaar. Bei dem Stammelternpaar besteht eine typische Divergenz zwischen rechts und links und beide haben ein großes Venenreichtum vorzuweisen. Bei den Kindern kommen ebenfalls vermehrt Venen vor, allerdings ist bei keinem eine große Ähnlichkeit zu einem Muster der Eltern festzustellen. Freerksen hält den Venenverlauf nicht für vererbbar, allerdings kann-

te er beispielsweise bei dem Grad des Hervortretens aus der Haut eine bemerkenswerte Übereinstimmung aller Kinder feststellen. Als Einflussfaktor bei der Bildung des Hauptvenensystems nennt Freerksen intrauterine Momente (Zeitraum der Schwangerschaft) und distanziert sich somit von einem möglichen genetischen Ursprung. Bei der Untersuchung des zweieiigen Zwillingspaares konnte festgestellt werden, dass diese nur eine Ähnlichkeit aufweisen wie bei normalen Geschwistern. Durch das verschiedene Verhalten der Venenmuster bei monozygoten und dizygoten Zwillingen erachtet es Freerksen als erwiesen, dass die Ähnlichkeiten der Venenmuster bei eineiigen Zwillingen eine besondere Bedeutung haben müssen, unabhängig von Vererbung und anderen Faktoren. Für eine genauere Untersuchung der Entstehungsumstände und Musterausprägungen ist ein größerer Datensatz notwendig und weitere Methoden sollten bei der Untersuchung hinzugezogen werden. [Freerksen, 1937]



## 3 Krankheiten

Im folgenden Kapitel werden zwei Krankheiten betrachtet, welche sich auf die biometrischen Merkmale des Fingerabdrucks und der Handgeometrie auswirken.

### 3.1 Adermatoglyphie

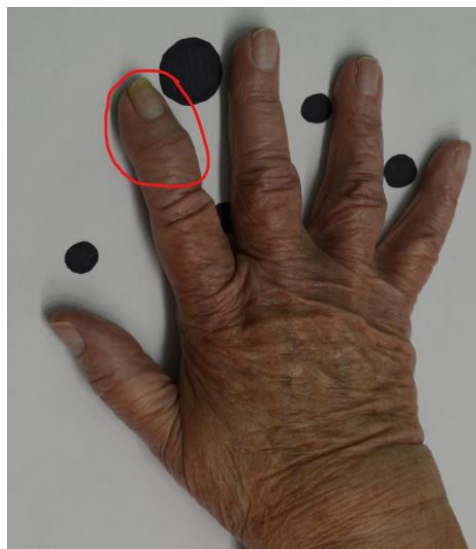
Bei Fingerabdrücken denkt jeder an ein typisches Muster aus Papillarlinien. Allerdings gibt es auch Vorfälle, bei denen der Abdruck nur einen undefinierten schwarzen Fleck zeigt. Der Grund dafür liegt in einer Krankheit namens Adermatoglyphie und nicht etwa in irgendwelchen kriminellen Machenschaften. Diese Krankheit trägt unter anderem auch den Namen „Einwanderungsverzögerungskrankheit“, da sie bei einer Grenzkontrolle, bei welcher die Fingerabdrücke überprüft werden, zu einer unfreiwilligen Zeitverzögerung führt. Diese Krankheit ist sehr selten und konnte bisher nur bei vier Familien weltweit festgestellt werden. Der Grund für das Auftreten dieser Krankheit liegt in dem Gen SMARCAD1. Dieses erzeugt ein Protein, welches an der Bildung der Hautleisten an unseren Handinnen- und Sohlenflächen beteiligt ist. Bei einer an Adermatoglyphie erkrankten Person ist dieses Gen mutiert, sodass eben erwähntes Protein nicht mehr gebildet werden kann. Dadurch wird die Bildung der Hautleisten beeinträchtigt, wodurch wenn überhaupt nur ein unspezifisches Durcheinander an Linien entsteht. Nach aktuellem Stand der Wissenschaft ist dieser Gendefekt nicht behandelbar. Neben dem Fehlen der Papillarleisten schwitzen die betroffenen Personen auch weniger, da die Schweißdrüsen in ihrer Leistenhaut nicht vorhanden sind. Hinzu kommt, dass die Haut der Erkrankten sehr lichtempfindlich ist und schnell Blasen bildet oder verhornt. Diese Krankheit ist alles andere als schmerzfrei. [Ina Hübener, 2011]

Daraus habe ich die Theorie entwickelt, dass der Tastsinn und somit auch die motorischen Fähigkeiten der betroffenen Personen sehr eingeschränkt sind, da durch die Nichtbildung von Papillarleisten auch die darin enthaltenen Tastkörperchen, wie die Merkel-Zellen, nicht oder kaum vorhanden sind. Sind diese Druckrezeptoren nicht vorhanden, wird auch die Informationsgewinnung und -Verarbeitung im Gehirn beeinträchtigt. In einem Paper von Michael Kücken wird am Beispiel der Merkel-Zellen beschrieben, wie sich diese in der embryonalen Entwicklung der Papillarleisten so anordnen, dass sie direkt in eben diesen Linien liegen [Michael Kücken, 2013]. Sind demzufolge keine Hautleisten vorhanden, dürfte es auch kaum bis gar keine Merkel-Zellen geben, wodurch eben genannte Einschränkungen entstehen könnten.

## 3.2 Rheumatoide Arthritis

Rheumatoide Arthritis ist eine chronisch-entzündliche Autoimmunerkrankung unbekannter Ätiologie. Es wird vermutet, dass eine Immunreaktion auf einen unbekanntem Infekt bei genetischer Disposition der Grund für die Erkrankung ist. Sie verläuft meist in Schüben mit voranschreitendem Verlauf. Vorrangig zerstört diese Krankheit die Gelenke, so auch die Fingergelenke, allerdings kann sie auch innere Organe befallen. Die Diagnose basiert hauptsächlich auf dem klinischen Erscheinungsbild mit symmetrischen Schwellungen und Schmerzen der kleinen Gelenke von Händen und Füßen. Die Krankheit beginnt meist zwischen dem 35. und 50. Lebensjahr und verschlimmert sich mit zunehmendem Alter. Symptomatisch äußert sich rheumatoide Arthritis unter anderem in der symmetrischen Schwellung von Fingergrund- und -mittelgelenken, andauernden Schmerzen, Morgensteifigkeit der Gelenke, Rheumaknoten und dem Karpaltunnelsyndrom. Wenn die Krankheit nicht behandelt wird oder ein schwerer Verlauf vorliegt kann es zu irreversibler Destruktion der betroffenen Gelenke kommen mit Versteifung und Fehlstellungen als Folge. Charakteristisch hierfür ist die sogenannte Rheumahand, zu welcher die Schwanenhalsdeformität (siehe Abbildung 3) zählt. Nach aktuellen medizinischen Erkenntnissen kann aufgrund des vermehrten Vorkommens innerhalb von Familien eine Vererbung nicht ausgeschlossen werden. [Arasteh et. Al, 2018]

In der später beschriebenen Analyse der erhobenen Daten konnte festgestellt werden, dass Person A.1 eine Schwanenhalsdeformität vorweisen kann (siehe Abbildung 3), obwohl in der allgemeinen Informationserhebung der Person keine rheumatischen Krankheiten genannt wurden. Auch Person A.3 zeigt Anzeichen von symmetrischen Schwellungen, welche auf rheumatoide Arthritis hindeuten könnten.



**Abbildung 3: Schwanenhalsdeformität**

Abbildung 3 zeigt vermutlich eine Schwanenhalsdeformität am rechten Zeigefinger. Die Destruktion des Fingerendgelenks des Zeigefingers ist rot markiert. Die Aufnahme wurde von Person A.1 im Rahmen der Datenaufnahme angefertigt. [Quelle: selbst erstellt]

## 4 Praktikumsinhalt

In diesem Kapitel wird ein Überblick über den Verlauf des Projektes gegeben. Dazu zählt sowohl die Vorbereitung für die praktische Arbeit als auch die, im späteren Verlauf des Bachelorprojektes, durchgeführte Datenaufnahme.

### 4.1 Experimentplan

Zuallererst wurde der Plan für ein ID-System erstellt. Das sollte dafür sorgen, dass genau zugeordnet werden konnte, welcher Abdruck zu welcher Person gehörte. Im Vorhinein wurde für jeden Probanden ein Datenblatt angelegt, in welchem am Ende alle notwendigen Informationen notiert wurden (Vorlage siehe Anlagen). Dazu zählen sowohl allgemeine Angaben wie Alter, Geschlecht etc. als auch spezifische Angaben, wie die Messwerte der Handgeometrie oder die vorhandenen Grundmuster der Fingerkuppen. Der ganze Ablauf der Datenaufnahme wurde in 4 Stationen unterteilt: Allgemeine Informationsangaben, Handvermessung, Abdruckscanner und Handfotos. Zusätzlich zur Einteilung der Stationen wurde sich auch Gedanken gemacht bezüglich benötigter Geräte und eventueller Hilfsmittel, welche eine gleiche Datenaufnahme für alle Probanden ermöglichen. Zur späteren Veranschaulichung wurden für die Familien jeweils ein Stammbaum (siehe Abbildungen 4 und 5) angelegt. Dieser umfasst in beiden Fällen drei Generationen mit insgesamt 7 Personen in jeder Familie und dient als Vorlage, welche durch spätere Vergleiche an Informationen entsprechend erweitert wird. Ein violetter Kreis steht dabei für eine weibliche Person und ein hellblaues Quadrat für eine männliche Person.

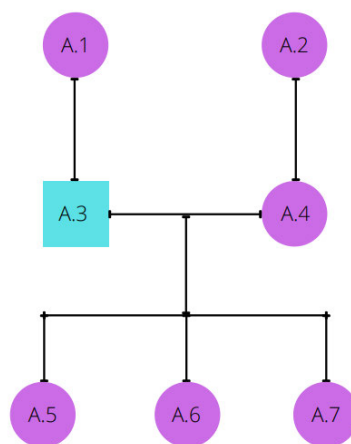
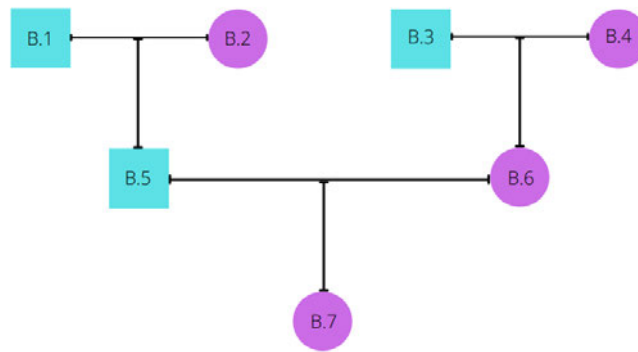


Abbildung 4: Stammbaum Familie A



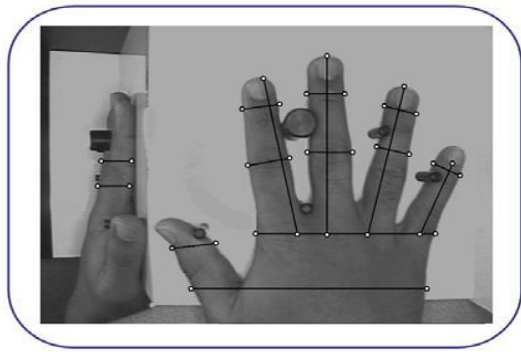
**Abbildung 5: Stammbaum Familie B**

In den Abbildungen 4 und 5 sind die selbst erstellten Stammbäume dargestellt, welche auf Grundlage der vorliegenden Familieninformationen angefertigt wurden. [Quelle: selbst erstellt]

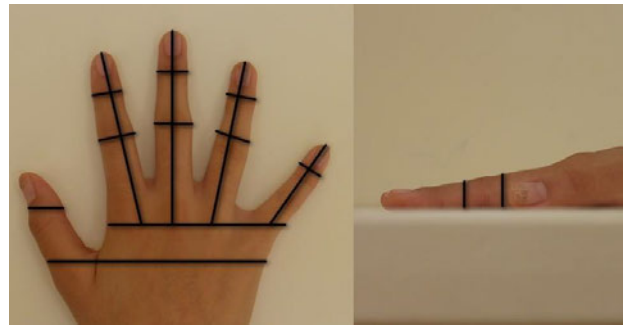
## 4.2 Datenaufnahme

Die erste Station der Datenaufnahme bestand in der Erhebung von allgemeinen Personendaten. Dabei wurden Angaben zum Alter/ Geburtsdatum, biologischem Geschlecht, Familienrolle, Krankheiten, Körpergröße, Herkunft und Primärhand aufgenommen. Diese Daten wurden durch ein Gespräch mit den Probanden erhoben. Es wird davon ausgegangen, dass die Personen wahrheitsgemäß geantwortet haben und die Daten somit als zutreffend anzusehen sind.

Die zweite Station bildete die Handgeometrie, bei welcher beide Hände vermessen wurden. Dazu wurden im Rahmen der Vorbereitung Vorlagen angefertigt, welche eine ähnliche Handposition bei allen Personen ermöglichen sollten. Diese wurden auf Grundlage von Abbildung 6 angefertigt. Nach erfolgreicher Positionierung der Hände, wurden jeweils 16 Messstrecken erfasst. Diese Messstrecken beruhen auf der Vorlage von Abbildung 7. Die selbst angefertigten Vorlagen für die richtigen Handpositionen sind in den Abbildungen 8 und 9 abgebildet und Notizen zu den einzelnen Messstrecken sind in den Anlagen zu finden. Die Messstrecken wurden mit einem Messschieber (Gerätename: Powerfix Profi- Digitaler Messschieber) gemessen und in einer Tabelle notiert.



**Abbildung 6: Handgeometrie Position der Hand**



**Abbildung 7: Handgeometrie Messstrecken**

In den Abbildungen 6 ist die Handposition dargestellt, an welcher sich orientiert wurde für die Datenaufnahme. Abbildung 7 zeigt die Messstrecken, welche für die Handgeometrie verwendet wurden. [B3, B4]

In der nachfolgenden Tabelle werden die einzelnen Messstrecken genauer beschrieben. Die genaue Nummerierung der Messstrecken ist in den Anlagen Teil 2 zu finden.

**Tabelle 2: Beschreibung Messstrecken**

<b>Messstreckennummer</b>	<b>Beschreibung der Messstrecke</b>
Messstrecke Nr. 1	Oberhalb des Daumengrundgelenks bis unterhalb des Fingergrundgelenkes des kleinen Fingers
Messstrecke Nr. 2	Unterhalb des Fingergrundgelenkes des Zeigefingers bis zum Anfang des kleinen Fingers im Bereich der Fingerwurzel
Messstrecke Nr. 3	Unterhalb des Fingergrundgelenkes des Zeigefingers bis zur Fingerspitze des Zeigefingers (Spitze der Fingerkuppe und nicht Spitze des Fingernagels)
Messstrecke Nr. 4	Unterhalb des Fingergrundgelenkes des Mittelfingers bis zur Fingerspitze des Mittelfingers (Spitze der Fingerkuppe und

	nicht Spitze des Fingernagels)
Messstrecke Nr. 5	Unterhalb des Fingergrundgelenkes des Ringfingers bis zur Fingerspitze des Ringfingers (Spitze der Fingerkuppe und nicht Spitze des Fingernagels)
Messstrecke Nr. 6	Unterhalb des Fingergrundgelenkes des kleinen Fingers bis zur Fingerspitze des kleinen Fingers (Spitze der Fingerkuppe und nicht Spitze des Fingernagels)
Messstrecke Nr. 7	Oberhalb des Daumenendgelenkes bis zur zugehörigen Beugefurche
Messstrecke Nr. 8	Breiteste Stelle des Mittelgelenks des Zeigefingers
Messstrecke Nr. 9	Breiteste Stelle des Endgelenks des Zeigefingers
Messstrecke Nr. 10	Breiteste Stelle des Mittelgelenks des Mittelfingers
Messstrecke Nr. 11	Breiteste Stelle des Endgelenks des Mittelfingers
Messstrecke Nr. 12	Breiteste Stelle des Mittelgelenks des Ringfingers
Messstrecke Nr. 13	Breiteste Stelle des Endgelenks des Ringfingers
Messstrecke Nr. 14	Breiteste Stelle des Endgelenks des kleinen Fingers

Messstrecke Nr. 15	Höhe vor dem Mittelgelenk des Zeigefingers (in Richtung Fingerkuppe)
Messstrecke Nr. 16	Höhe hinter dem Mittelgelenk des Zeigefingers (in Richtung Fingerwurzel)

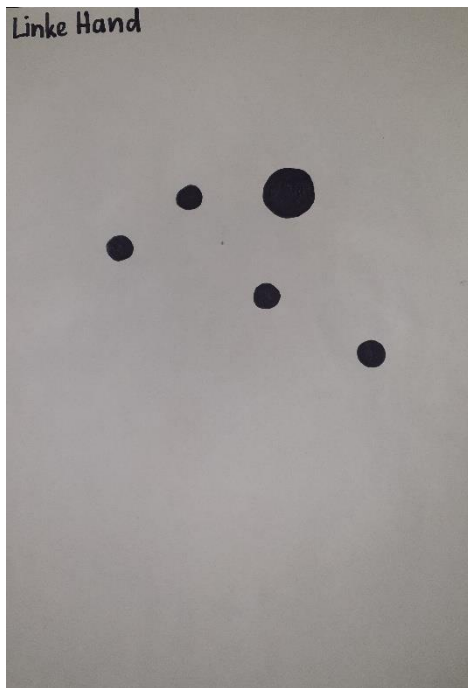


Abbildung 8: Vorlage Handposition links

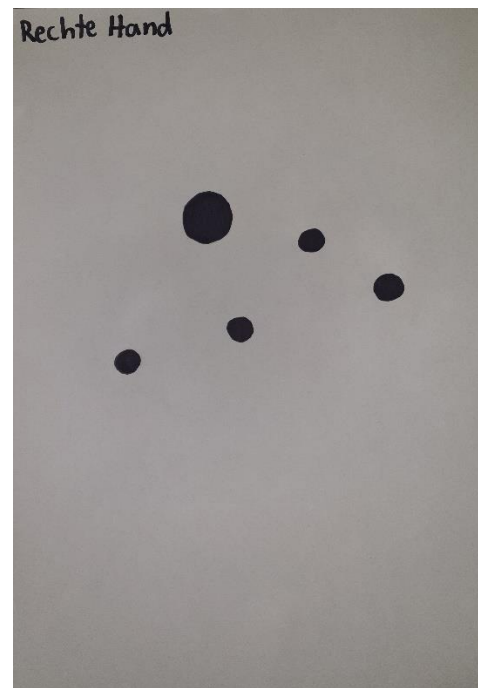
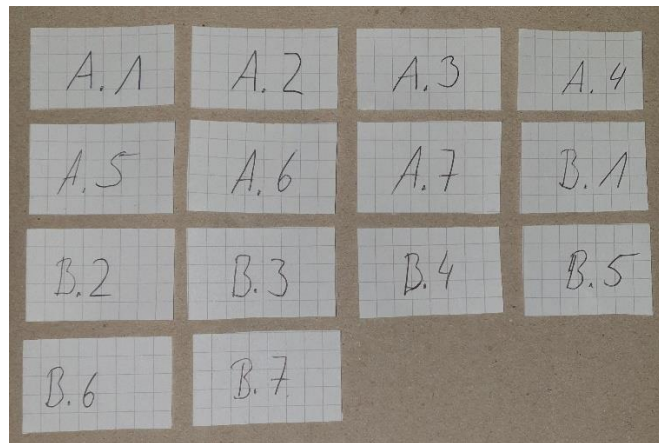


Abbildung 9: Vorlage Handposition rechts

In den Abbildungen 8 und 9 sind die Vorlagen abgebildet, welche die Handposition in der Datenaufnahme bestimmten. Diese wurden selbst angefertigt und orientieren sich an Abbildung 6. [Quelle: selbst erstellt]

Bei der dritten Station wurden Fotoaufnahmen der Hände angefertigt. Dabei wurden sowohl von der Handinnen- als auch -Außenfläche Fotos gemacht. Auf den Fotoaufnahmen ist zusätzlich ein Maßstab (Gerätname: Lightning Powder) und die Personen-ID (ID-Karte, selbst angefertigt, siehe Abbildung 10) zu sehen, um eine spätere Zuordnung zu ermöglichen. Die Aufnahmen wurden mit der Kamera Nikon D7100 angefertigt.



**Abbildung 10: Personen-ID-Karten**

Abbildung 10 zeigt die Kärtchen, auf welchen die Personen-IDs notiert wurden, um spätere Kameraaufnahmen richtig zuzuordnen zu können. [Quelle: Selbst erstellt]

Die letzte Station bestand in der Scanneraufnahme. Gearbeitet wurde mit dem Scanner BioID Technologies- BioPalm. Die verwendete Software trägt den Namen BioPalm\_EnrollDemo\_CSharp.exe. Die folgende Liste führt alle Bereiche der Hand auf, welche durch das Aufliegen auf den Scanner aufgenommen wurden. Die aufgeführten Bereiche sind doppelt zu sehen, da von beiden Händen Aufnahmen angefertigt wurden.

- beide Daumen
- Vierfingerbild (Zeigefinger, Mittelfinger, Ringfinger, kleiner Finger)
- Handinnenfläche
- Handkante
- Daumen einzeln
- Zeigefinger einzeln
- Mittelfinger einzeln
- Ringfinger einzeln
- Kleiner Finger einzeln
- Zweifingerbild 1 (Zeigefinger, Mittelfinger)
- Zweifingerbild 2 (Ringfinger, kleiner Finger)

Insgesamt wurden für jede Person 42 Scanneraufnahmen angefertigt, allerdings sind die Aufnahmen von A.1 und A.2 aus nicht nachvollziehbaren Gründen unvollständig und weisen somit weniger Aufnahmen auf als die restlichen Personen. Von Person B.7 konnten keine Aufnahmen mit dem Scanner angefertigt werden, da aufgrund des jungen Alters (4



Jahre) und dem damit verbunden Verhalten ein ruhiges, konzentriertes Arbeiten nicht möglich war. Stattdessen wurden Abdrücke von B.7 mittels Fingermalfarbe angefertigt, sodass ein paar Informationen der Handmuster extrahiert werden konnten. Die Grundmuster der Fingerkuppen von B.7 wurden durch Betrachtung mit dem bloßen Auge ermittelt. Dabei sei zu beachten, dass durch die extrem feine Struktur der Papillarleisten eine Ermittlung des Grundmusters erheblich erschwert wurde. Aus diesem Grund sind die daraus resultierenden Ergebnisse nicht zu 100% aussagekräftig.

Alle Geräte und die Software, mit denen gearbeitet wurde, sind von der Hochschule Mittweida zur Verfügung gestellt worden.

## 5 Auswertung der Datenaufnahme

In diesem Kapitel werden die erhobenen Daten ausgewertet. In Bezug auf die Theorien bezüglich der Vererbung biometrischer Merkmale, welche umfangreich vorgestellt wurden, wird analysiert, ob die Daten der Familien die Theorien bestätigen oder widerlegen können.

### 5.1 Analyse der Grundmuster an den Fingerkuppen

Beide Familien entstammen der europäischen Population. Die allgemeine Grundmusterverteilung in dieser sieht wie folgt aus:

- Schleifen: 60-65 %
- Wirbel: 30-35 %
- Bögen: <5 %

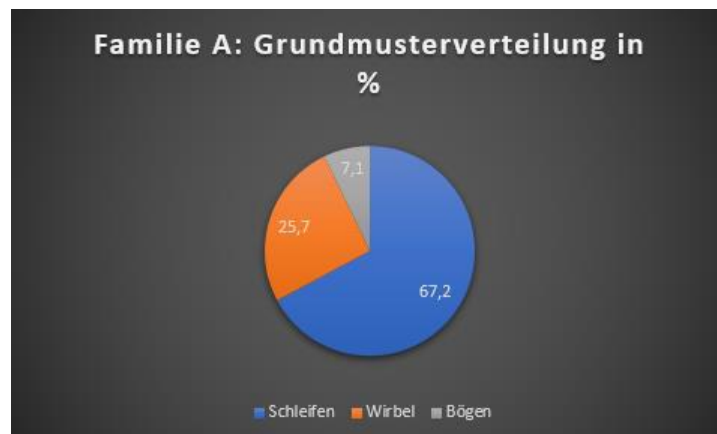
Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 11 zu sehen. Für die Schleifen und die Wirbel wurden jeweils die Mittelwerte der angegebenen Wertebereiche ermittelt, während für das Muster Bogen der Höchstwert von 5% angenommen wurde.



Abbildung 11: Allgemeine Grundmusterverteilung

In der Abbildung ist die allgemeine Grundmusterverteilung einer europäischen Population in % angegeben. Der blaue Bereich steht für das Grundmuster Schleife, der orangene Bereich für das Muster Wirbel und der graue Bereich für die Papillarleistenstruktur des Bogens. [Quelle: selbst erstellt]

Für jede Familie wurde ein Kreisdiagramm mit der jeweiligen Grundmusterverteilung innerhalb der Familien erstellt (siehe Abbildungen 12 und 13). Dafür wurde die Gesamtanzahl an Grundmustern ermittelt und davon ausgehend die jeweiligen Anteile der Grundmuster berechnet. Ulnare, radiale und Doppelschleifen wurden dabei zusammengeführt zu dem Muster Schleife. Flache Bögen und Tannenbögen wurden zusammengefasst als Bögen und Wirbel und entsprechende Mischformen aus Wirbel und Schleife zählen in den Bereich der Wirbel.



**Abbildung 12: Grundmusterverteilung Familie A**



**Abbildung 13: Grundmusterverteilung Familie B**

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen die Grundmusterverteilungen innerhalb der jeweiligen Familie in %. Der blaue Bereich steht für das Schleifenmuster, der orangene Bereich steht für das Grundmuster Wirbel und der graue Bereich symbolisiert den Anteil an vorkommenden Bögen. [Quelle: selbst erstellt]

Bei Familie A geht hervor, dass Schleifen und Bögen im Gegensatz zur allgemeinen Verteilung der Grundmuster deutlich häufiger auftreten, während der Anteil an Wirbelmustern stark unter dem Wertebereich der allgemeinen Grundmusterverteilung liegt. Allerdings bleibt das Schleifenmuster das Häufigste, gefolgt von den Wirbelmuster und der Bogen ist weiterhin das am wenigsten vorkommende Muster. Diese Reihenfolge stimmt mit der allgemeinen Verteilung der Grundmuster in der europäischen Population überein.

In Familie B liegt das Wirbelmuster über dem Wertebereich der allgemeinen Verteilung, während das Schleifenmuster prozentual gesehen an der unteren Grenze des Wahrscheinlichkeitsbereiches der Schleifen in der allgemeinen Verteilung liegt. Das Bogenmuster liegt hierbei deutlich unter der Höchstgrenze von 5%, welche in der europäischen Population vorliegt. Doch auch in dieser zweiten untersuchten Familie verändert sich nicht die Reihenfolge der Muster bezogen darauf, welches am häufigsten vorkommt und welches am seltensten.

Um Tendenzen der Vererbung grafisch sichtbar zu machen, wurden die in der Vorbereitung erstellten Stammbäume erweitert. Unter jede Person wurden die Grundmuster der Fingerkuppen aufgelistet, jeweils für die Rechte und die linke Hand. Die Stammbäume von Familie A sind in den folgenden Abbildungen zu sehen (Abbildungen 14 und 15).

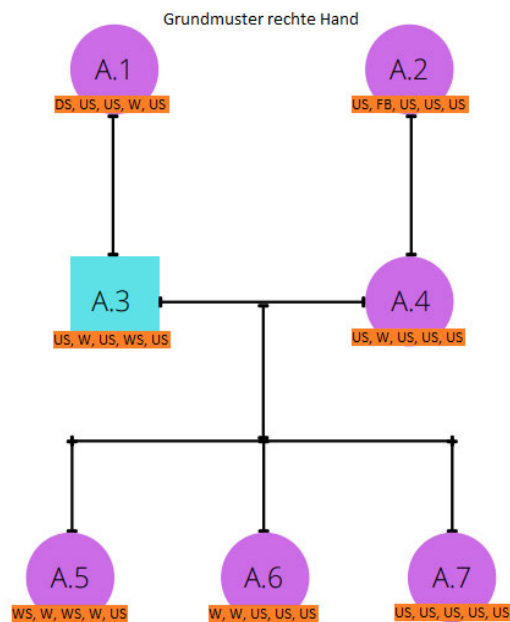
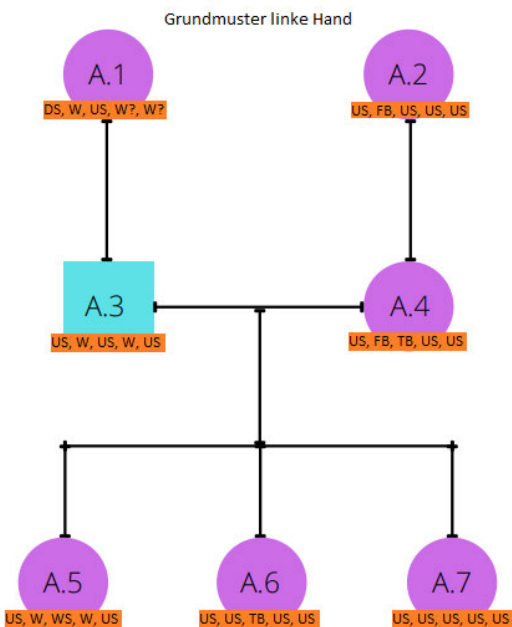


Abbildung 14: Grundmuster linke Hand Familie A

Abbildung 15: Grundmuster rechte Hand Familie A

In den Abbildungen 14 und 15 sind die Stammbäume von Familie A dargestellt. Jeweils ein Stammbaum bezieht sich auf eine Hand und führt alle Grundmuster der einzelnen Personen auf. Die Reihenfolge der Grundmuster sind von links nach rechts zu lesen. Ganz links steht das Grundmuster des Daumens, danach folgt das Muster des Zeigefingers, des Mittelfingers, des Ringfingers und ganz rechts steht das Muster des kleinen Fingers. Im Folgenden sind die verwendeten Abkürzungen erklärt: W = Wirbel; W? = vermutlicher Wirbel (nicht eindeutig aus den Aufnahmen hervorgegangen); WS = Wirbelschleife; DS = Doppelschleife; US = ulnare Schleife; FB = flacher Bogen; TB = Tannenbogen. [Quelle: selbst erstellt]

In Familie A kann eine erbliche Tendenz zwischen der Stammelterngeneration und der ersten Filialgeneration (Nachkommengeneration) nur schwer nachvollzogen werden, da in der Stammelterngeneration bei beiden Paaren die väterliche Seite fehlt. Betrachtet wird zuerst die linke Hand. Ausgehend davon können dennoch einige Gemeinsamkeiten zwischen A.1 und A.3 bzw. A.2 und A.4 extrahiert werden. A.1 und A.3 haben beide am Zeigefinger ein Wirbelmuster und am Mittelfinger eine ulnare Schleife. Dies lässt sich auch bei A.5 beobachten. A.2 und A.4 weisen hier mehr Ähnlichkeit auf. Beide Personen haben am Daumen eine ulnare Schleife, am Zeigefinger einen flachen Bogen, am Ringfinger eine ulnare Schleife sowie am kleinen Finger. Ein erbliches Indiz könnte das gemeinsame Auftreten des flachen Bogens am Zeigefinger der Personen A.2 und A.4 sein, da der Bogen das seltenste Muster der europäischen Population ist und hier am gleichen Finger auftritt. Stärkere Indizien, welche auf Vererbung schließen lassen, sind zwischen der ersten und zweiten Filialgeneration zu erkennen. Auffallend ist, dass alle Probanden der ersten und zweiten Filialgeneration sowohl am Daumen als auch am kleinen Finger ulnare Schleifen aufweisen. A.4 und A.6 haben allgemein eine große Ähnlichkeit, da alle Muster bis auf das des Zeigefingers übereinstimmen. Am Mittelfinger weisen beide Personen einen Tannenbogen auf. Auch A.3 und A.5 haben bei ihren Grundmustern eine starke Ähnlichkeit, da hier alle Mustertypen bis auf das Muster des Mittelfingers übereinstimmen. Die Muster von A.7 haben mit den Mustern von A.3 und A.4 am wenigsten Ähnlichkeit. Auffallend hierbei ist, dass A.7 an der linken Hand ausschließlich ulnare Schleifen vorweist. Ausgehend von A.2 über A.4 bis zu den drei Personen der zweiten Filialgeneration können all diese Individuen am Daumen und kleinen Finger ulnare Schleifen vorweisen.

Wird die rechte Hand betrachtet, können auch hier einige Gemeinsamkeiten generationsübergreifend beobachtet werden. A.1 und A.3 weisen die gleichen Muster an Mittelfinger und kleinen Finger auf (ulnare Schleifen). A.2 und A.4 haben bei der rechten Hand wieder mehr Ähnlichkeiten vorzuweisen als A.1 und A.3. Bei diesen zwei Personen stimmen alle Muster außer das des Zeigefingers überein. Die Muster von A.4 und A.6 stimmen überein bis auf das Daumenmuster. Auch A.4 und A.7 stimmen bis auf das Muster des Zeigefingers überein. A.7 weist auch bei der rechten Hand durchgehend ulnare Schleifen auf, was ein eher ungewöhnliches Phänomenen ist. A.5 weist von den Personen der zweiten Filialgeneration die wenigsten Ähnlichkeiten zur ersten Filialgeneration auf. A.5 hat die meisten Wirbelmuster in Familie A.

Werden die Grundmuster der Stammbäume von Familie A mit Hilfe der Mendel'schen Regeln untersucht, legt es den Verdacht einer kodominanten Vererbung nahe.

Im Folgenden werden die erweiterten Stammbäume von Familie B betrachtet. Diese sind in den Abbildungen 16 und 17 dargestellt.

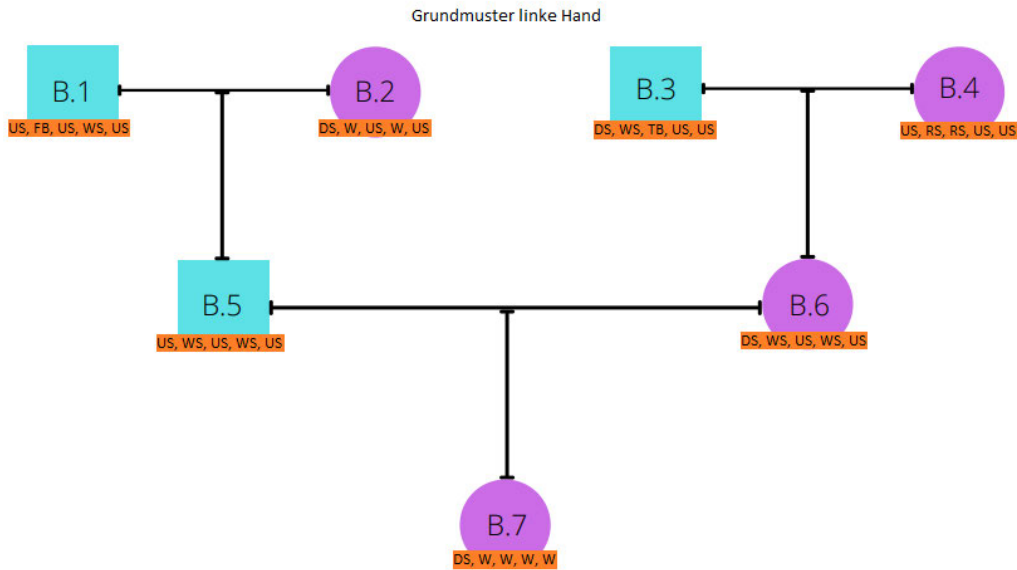


Abbildung 16: Grundmuster linke Hand Familie B

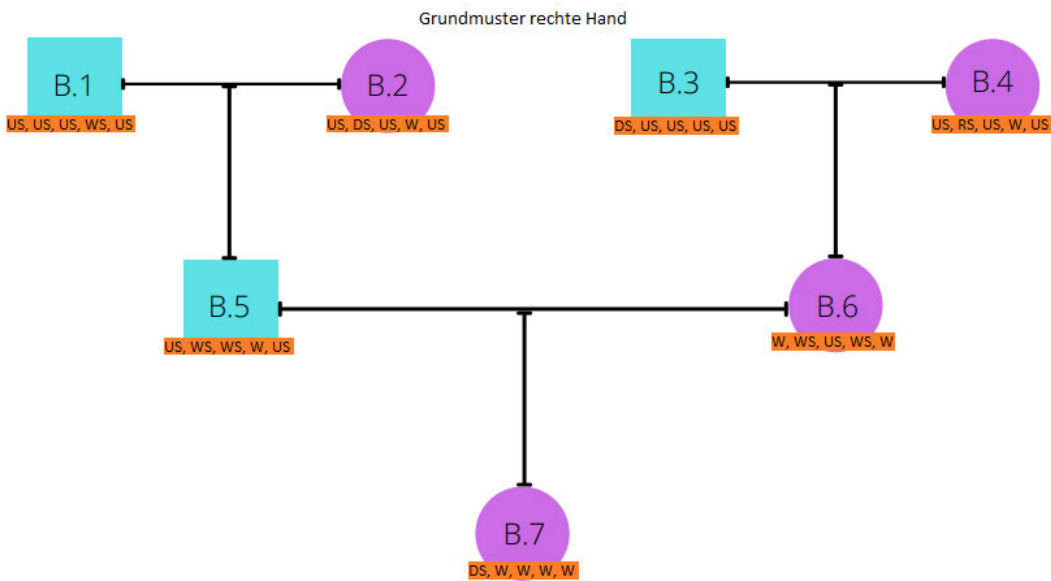


Abbildung 17: Grundmuster rechte Hand Familie B

In den Abbildungen 16 und 17 sind die Stammbäume von Familie B dargestellt. Jeweils ein Stammbaum bezieht sich auf eine Hand und führt alle Grundmuster der einzelnen Personen auf. Die Reihenfolge der Grundmuster sind von links nach rechts zu lesen. Ganz links steht das Grundmuster des Daumens, danach folgt das Muster des Zeigefingers, des Mittelfingers, des Ringfingers und ganz rechts steht das Muster des kleinen Fingers. Im Folgenden sind die verwendeten Abkürzungen erklärt: W = Wirbel; WS = Wirbelschleife; DS = Doppelschleife; US = ulnare Schleife; RS = radiale Schleife; FB = flacher Bogen; TB = Tannenbogen. [Quelle: selbst erstellt]

Bei den Grundmustern der linken Hand ist erkennbar, dass B.1 aus der Stammelterngeneration und B.5 aus der ersten Filialgeneration große Ähnlichkeiten haben. Hier stimmen die Muster bis auf den Zeigefinger überein. B.2 und B.5 hingegen haben nur die Muster an Mittelfinger und kleinen Finger gemeinsam (ulnare Schleifen). B.3 und B.6 haben die Muster an Daumen, Zeigefinger und kleinen Finger gemeinsam, während B.4 und B.6 nur eine gemeinsame ulnare Schleife am kleinen Finger vorweisen können. Auffallend hierbei ist, dass sich sowohl der flache Bogen von B.1 als auch der Tannenbogen von B.3 nicht in der ersten Filialgeneration wiederfinden lassen, wie das in Familie A der Fall ist. Von B.3 ausgehend über B.6 hin zu B.7 können diese drei Personen eine gemeinsame Doppelschleife am Daumen vorweisen. Die restlichen Muster von B.7 sind Wirbel, was ungewöhnlich ist, da in der ersten Filialgeneration nur Kombinationen von Wirbeln und Schleifen auftreten. Hier könnte B.7 ein Indiz für die Mustervereinfachung hervorbringen.

Die rechte Hand von B.2 und B.5 weist mehr Ähnlichkeiten auf als bei der linken Hand beobachtet werden konnte. Hier weisen Daumen (ulnare Schleife), Ringfinger (Wirbel) und kleine Finger (ulnare Schleife) gemeinsame Mustertypen auf. B.1 und B.5 haben am Daumen und am kleinen Finger gemeinsame ulnare Schleifen. Herausstechend beim Stammbaumzweig von B.6 ist, dass diese Person mit B.3 und B.4 aus der Stammelterngeneration nur am Mittelfinger ein gemeinsames Muster (ulnare Schleife) vorweist. B.3 und B.7 weisen am Daumen eine gemeinsame Doppelschleife auf. Das könnte bedeuten, dass die Doppelschleife eine Generation übersprungen hat oder hier eine Musterfortentwicklung aus der ulnaren Schleife von B.5 und dem Wirbel von B.6 vorliegt. Auffallend bei B.7 ist die Symmetrie der Grundmuster, welche diese Person bei linker und rechter Hand vorweist. B.7 hat an beiden Daumen eine Doppelschleife, während an allen anderen Fingerkuppen Wirbel festzustellen sind. Die Wirbel von B.7 rechter Hand könnten auch wieder ein Indiz auf Mustervereinfachung sein.

Wird die These aufgestellt, dass das Papillarleistenmuster an den Fingerkuppen ein polygenes Merkmal ist, bedeutet dies, dass die Informationen für die Mustertypen auf mehreren Genen liegen. Diese Gene liegen auf mehreren Allelen, da jeweils eine Hälfte des Erbgutes vom Vater bzw. der Mutter vererbt wird. Es wird nun davon ausgegangen, dass per Zufall ausgewählt wird, welches Allel für die Musterbildung an einer Hand ausgewählt wird. Dadurch kann ein Allel des Vaters Muster an der linken Hand ausbilden, während das Allel, welches von der Mutter vererbt wird, die Grundmuster an der rechten Hand be-

stimmt. Wird diese Annahme bei der Untersuchung von Familie B herangezogen, ist ein deutliches Vererbungsschema erkennbar.

Zusammenfassend betrachtet kann geschlussfolgert werden, dass beide Familien Tendenzen zur Vererbung von Grundmustern aufweisen. Es liegen viele gemeinsame Muster vor, welche sich zum Teil über alle Generationen erstrecken. Auch können mehrere Fälle von Musterfortentwicklung und -vereinfachung beobachtet werden, in welchen auf die Grundmuster der jeweiligen Eltern zurückgeführt werden kann. Es liegen aber auch Beispiele vor in denen Anzeichen von Vererbung nicht beobachtet werden können, was wiederum ein Indiz für den zum Teil großen Einfluss von Umweltfaktoren sein könnte. Um aussagekräftige Schlussfolgerungen treffen zu können, welche die vorgestellten Theorien bestätigen oder widerlegen können, ist ein sehr viel größerer Datensatz mit mehr Familien nötig. Im besten Fall würden diese Familien auch mehr als drei Generationen vorweisen können, an denen Abdrücke genommen werden können.

## 5.2 Analyse der Handmuster

Auch der Handabdruck kann eine Person eindeutig identifizieren, da in der Handinnenfläche einzigartige Muster vorgefunden werden können. Bei der Station der Scanneraufnahmen im Rahmen der Datenaufnahme wurden auch Aufnahmen der Handinnenflächen angefertigt. Anhand der Bilder wurde versucht Muster in den Bereichen der Fingerwurzel, des Daumenballens und des Kleinfingerballens zu identifizieren. In einigen Fällen konnte aufgrund der schlechten Qualität der Papillarleistenstruktur und dem daraus resultierenden Informationsverlust in den Bildern keine genauen Angaben bezüglich der Muster getätigt werden. Die betroffenen Bereiche wurden aus der Analyse dementsprechend ausgeschlossen. Für Vergleiche der Muster innerhalb einer Familie wurde ein selbst erdachtes System erarbeitet, welches in den folgenden Abbildungen (Abbildungen 18 und 19) dargestellt wird. Die einzelnen Musterbereiche wurden pro Familie untereinander geschrieben in tabellarischer Form. Anschließend wurde von den vorhandenen Mustern einer Hand das Häufigste ermittelt, welches entsprechend grün markiert wurde. Leichte Abweichungen von dem häufigsten Muster, beispielsweise in Form von Kombination mit anderen Mustertypen, wurden gelb markiert. Musterstrukturen, welche komplett verschieden waren, in Bezug auf das häufigste Muster, wurden rot markiert. Alle Bereiche, bei denen keine Musterbestimmung stattfinden konnte, wurden grau markiert. Stehen in einer Zelle zwei Musterstrukturen, verbunden durch das „+“-Zeichen (Bsp.: Fingerwurzel MF) bedeutet das, dass das zweite Muster zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fingern liegt (Bsp.: zwischen Mittelfinger und Ringfinger). Steht in der Zelle nur ein Muster mit einem „+“-Zeichen davor bedeutet das, dieses Muster liegt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fingern (Bsp.: steht bei Fingerwurzel MF = Muster befindet sich zwischen Mittel- und Ringfinger).



## Auswertung der Datenaufnahme

	Hand	Fingerwurzel ZF	Fingerwurzel MF	Fingerwurzel RF	Fingerwurzel KF	Daumenballen	Kleinfingerballen	Basisdelta
A.1	rechte Hand	Delta + Schleife	Schleife	Delta	Delta	Trichter	Schleife	ja, auf Kleinfingerballen
	linke Hand	Delta	Delta + Schleife	Schleife	Delta	nichts Spezifisches	Schleife	n.b.
A.2	rechte Hand	Delta?	n.b.	n.b.	Delta	n.b.	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	n.b.	Schleife	n.b.	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
A.3	rechte Hand	Delta	Delta + Schleife	n.b.	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta + Schleife	Delta + Schleife	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
A.4	rechte Hand	Delta	Delta + Schleife	Delta + Schleife	n.b.	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta	+ Schleife	n.b.	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
A.5	rechte Hand	Delta	Delta + Schleife	+ Schleife	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	ja, auf Kleinfingerballen
	linke Hand	Delta	Delta	+ Schleife	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	ja, auf Kleinfingerballen
A.6	rechte Hand	Delta	Delta	Schleife + Schleife	Delta	Schleife, T-Muster	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta + Schleife	+ Schleife	Delta	Wirbel, T-Muster	nichts Spezifisches	ja, auf Kleinfingerballen
A.7	rechte Hand	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	n.b.	n.b.	n.b.	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	ja, auf Kleinfingerballen

Abbildung 18: Handmuster Familie A

In der obigen Abbildung sind die Handmuster von Familie A dargestellt, sowohl für die rechte als auch für die linke Hand. Betrachtet wurden folgende Bereiche: die Fingerwurzel des Zeigefingers (Fingerwurzel ZF), die Fingerwurzel des Mittelfingers (Fingerwurzel MF), die Fingerwurzel des Ringfingers (Fingerwurzel RF), die Fingerwurzel des kleinen Fingers (Fingerwurzel KF), der Bereich des Daumenballens (Daumenballen), der Bereich des Kleinfingerballens (Kleinfingerballen) und die Frage nach dem Vorhandensein des Basisdeltas (Basisdelta). Die Abkürzung n.b. in den grau markierten Zellen steht für nicht bestimmbar und beschreibt die Bereiche, an denen kein Muster identifiziert werden konnte. [Quelle: selbst erstellt]

Im Bereich der Fingerwurzel des Zeigefingers an beiden Händen kann beobachtet werden, dass das Delta die häufigste Musterstruktur ist. Lediglich A.1 weist an der rechten Hand eine leichte Abweichung auf, bei welcher eine Kombination aus Delta und Schleife vorliegt. Die Schleife liegt dabei zwischen Zeige- und Mittelfinger. Im Fingerwurzelbereich des Mittelfingers beschreibt das häufigste Muster eine Kombination aus Delta mit darauffolgender Schleife. Abweichend davon war die Struktur von A.1 an der rechten Hand (Schleife), die Strukturen an den linken Händen von A.4 und A.5 (einzelne Deltas) und das Muster an der rechten Hand von A.6 (einzelnes Delta). Die Mittelfingerwurzelbereiche von A.2 und A.7 konnten nicht zur Analyse herangezogen werden. Eine Kombination aus Delta und Schleifen bildete das häufigste Muster im Fingerwurzelbereich des Ringfingers der rechten Hand. Eine solche Kombination ist bei A.4 und A.6 vorzufinden. A.1 wies nur ein Delta auf und bei A.5 konnte eine Schleife zwischen Ringfinger und kleinen Finger identifiziert werden. Das häufigste Muster der linken Hand im Bereich der Fingerwurzel des Ringfingers besteht allerdings in einer Schleifenstruktur. Diese liegt bei A.1 und A.2 direkt auf der Fingerwurzel, während sie bei A.4, A.5 und A.6 verschoben ist in den Bereich zwischen Mittel- und Ringfinger. A.3 weist an der Stelle eine Kombination von Delta und Schleife auf und die Musterbereiche von A.7 konnten nicht hinzugezogen werden, genauso wie der Bereich von A.2 rechter Hand. Die Fingerwurzel des kleinen Fingers wies bei allen Personen an beiden Händen, sofern die Bereiche zur Analyse hinzugezo-

gen werden konnten, ein Deltamuster auf. Im thenaren Bereich konnten mit Ausnahme von A.1 und A.6 keine spezifischen Muster an beiden Händen festgestellt werden. A.1 weist am Daumenballen der rechten Hand eine trichterförmige Musterstruktur auf, während A.6 sehr komplexe Musterstrukturen an beiden Händen aufweist. An der rechten Hand von A.6 lässt sich eine Schleifenstruktur und ein T-Muster finden und an der linken Hand ist eine Kombination aus Wirbel- und T-Muster zu sehen. Der Bereich der rechten Hand von A.2 konnte nicht zur Analyse hinzugezogen werden. Im Bereich des Kleinfingerballens konnte an beiden Händen bei keinem Probanden, außer A.1, eine spezifische Musterstruktur identifiziert werden. A.1 weist an beiden Händen im hypothenaren Bereich ein Schleifenmuster auf. Sofern bei den Personen aus Familie A ein Basisdelta identifiziert werden konnte, befand sich dieses auf dem Kleinfingerballen.

	Hand	Fingerwurzel ZF	Fingerwurzel MF	Fingerwurzel RF	Fingerwurzel KF	Daumenballen	Kleinfingerballen	Basisdelta
B.1	rechte Hand	Delta	Delta	Delta	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta	Schleife	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
B.2	rechte Hand	Delta	n.b.	n.b.	n.b.	nichts Spezifisches	Doppelschleife	n.b.
	linke Hand	Delta	n.b.	n.b.	n.b.	nichts Spezifisches	n.b.	n.b.
B.3	rechte Hand	Delta	Schleife	n.b.	n.b.	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta + Schleife	+ Schleife	n.b.	nichts Spezifisches	radiale Schleife	n.b.
B.4	rechte Hand	Delta	Delta + Schleife	+ Schleife	Delta	n.b.	n.b.	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta + Wirbel	Wirbel	Delta	radiale Schleife + ulnare Schleife	nichts Spezifisches	n.b.
B.5	rechte Hand	Delta	+ Schleife	n.b.	n.b.	nichts Spezifisches	n.b.	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta	Delta	n.b.	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
B.6	rechte Hand	Delta	Delta + Schleife	+ Schleife	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta	Schleife	Delta	nichts Spezifisches	nichts Spezifisches	n.b.
B.7	rechte Hand	Delta	Delta + Schleife	+ Schleife	Delta	n.b.	n.b.	n.b.
	linke Hand	Delta	Delta + Schleife	Delta	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Abbildung 19: Handmuster Familie B**

In der obigen Abbildung sind die Handmuster von Familie B dargestellt, sowohl für die rechte als auch für die linke Hand. Betrachtet wurden folgende Bereiche: die Fingerwurzel des Zeigefingers (Fingerwurzel ZF), die Fingerwurzel des Mittelfingers (Fingerwurzel MF), die Fingerwurzel des Ringfingers (Fingerwurzel RF), die Fingerwurzel des kleinen Fingers (Fingerwurzel KF), der Bereich des Daumenballens (Daumenballen), der Bereich des Kleinfingerballens (Kleinfingerballen) und die Frage nach dem Vorhandensein des Basisdeltas (Basisdelta). Die Abkürzung n.b. in den grau markierten Zellen steht für nicht bestimmbar und beschreibt die Bereiche, an denen kein Muster identifiziert werden konnte. [Quelle: selbst erstellt]

Im Bereich der Fingerwurzel des Zeigefingers wurde eine Deltastruktur als häufigstes Muster identifiziert. Dieses Muster tritt universal an beiden Händen bei allen Personen auf. Bei B.4, B.6 und B.7 konnte an der rechten Hand bei der Fingerwurzel des Mittelfingers eine Kombination aus Delta und Schleife als häufigstes Muster herausgefiltert werden. Abweichend davon sind die Muster von B.1 (einzelnes Delta), B.3 (Schleife) und B.5 (Schleife zwischen Mittel- und Ringfinger). Die linke Hand im Bereich des Mittelfingerwurzelbereichs wies eine Deltastruktur als häufigstes Muster auf. Das Delta ist bei B.1, B.5 und B.6 vorzufinden. B.3, B.4 und B.7 haben hingegen eine Kombination aus Delta und

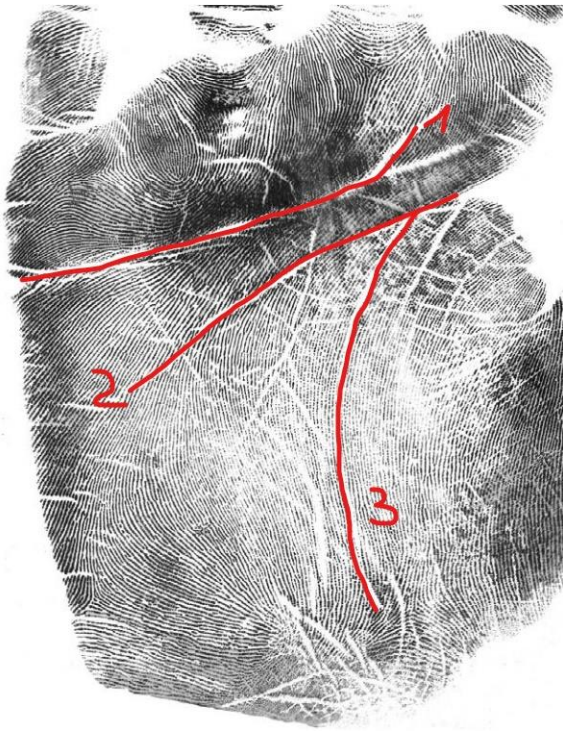
Schleife bzw. im Fall von B.4 Wirbelstruktur. Die Fingerwurzelbereiche von B.2 konnten nicht zur Analyse hinzugezogen werden. Bei beiden Händen ist das häufigste Muster im Fingerwurzelbereich des Ringfingers eine Schleifenstruktur. Abweichend davon weisen B.1 (rechte Hand), B.5 und B.7 (jeweils linke Hand) eine komplett andere Struktur in Form eines Deltas auf. Bereiche von B.2 und B.5 konnten nicht betrachtet werden. Im Bereich unterhalb des kleinen Fingers konnte, sofern die Bereiche zur Analyse hinzugezogen werden konnten, universal ein Deltamuster gefunden werden. Bei den meisten Personen von Familie B konnte auf dem Daumenballen kein spezifisches Muster gefunden werden. Ausschließlich bei B.4 linker Hand wurde eine Kombination aus ulnarer und radialer Schleife identifiziert. Auch beim Kleinfingerballen wies der Großteil der Probanden keine spezifische Musterstruktur auf. An B.2 rechten Kleinfingerballen wurde eine Doppelschleife gefunden und an B.3 linkem hypothenaren Bereich konnte eine radiale Schleife identifiziert werden. Bei keiner Person aus Familie B war mittels der Handabdrücke die Identifizierung eines Basisdeltas möglich.

Die daraus resultierenden Schlussfolgerungen lassen die Behauptung zu, dass erbliche Tendenzen aufgrund der vielen gemeinsamen Musterstrukturen bei beiden Familien erkennbar sind. Deutlich wird dies bei dem (fast) universalen Auftreten von Deltastrukturen in den Bereichen der Zeigefingerfingerwurzel beider Familien. Die leicht abweichenden Musterstrukturen geben Aufschluss über Musterfortentwicklung und -vereinfachung über die Generationen hinweg und lassen sich dadurch immer auf die vorangegangene Generation zurückführen.

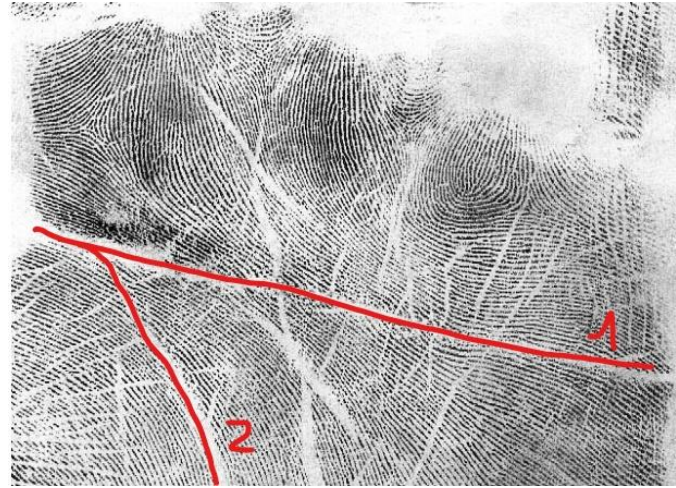
### **5.3 Analyse der primären Beugefurchen**

Als primäre Beugefurchen, welche im Zuge dieses Kapitels näher untersucht wurden, werden die Dreifingerfurche, Fünffingerfurche, Daumenballenfurche und Vierfingerfurche verstanden. Die einzelnen Furchen wurden anhand der Fotoaufnahmen der Handinnenfläche und teilweise auch mittels der Handabdrücke betrachtet und für jede Person einzeln beschrieben. Wichtig an dieser Stelle zu erwähnen ist, dass eine solche Beobachtung subjektiv erfolgt und somit von den Beobachtungsergebnissen weiterer Personen in eventuellen Nachforschungen abweichen kann. Zur besseren Veranschaulichung wurde der Verlauf der Handfurchen in den Aufnahmen der Handinnenflächen rot markiert. Nach erfolgreicher Beschreibung aller Furchen wurden die einzelnen Beschreibungen pro Furche tabellarisch untereinandergeschrieben und anschließend auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede untersucht.

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch, wo die primären Beugefurchen auf der Handinnenfläche zu finden sind (siehe Abbildung 20). Die Vierfingerfurche ist dabei nicht eingezeichnet. Als Sonderform der primären Beugefurchen würde sie die Dreifingerfurche und die Fünffingerfurche ersetzen (siehe Abbildung 21).



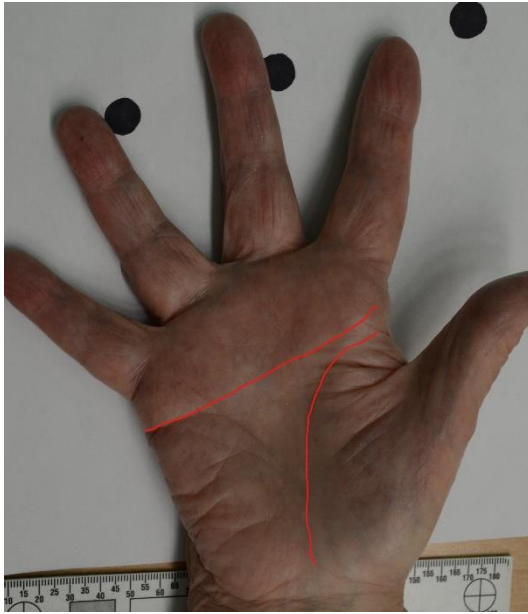
**Abbildung 20: Primäre Beugefurchen**



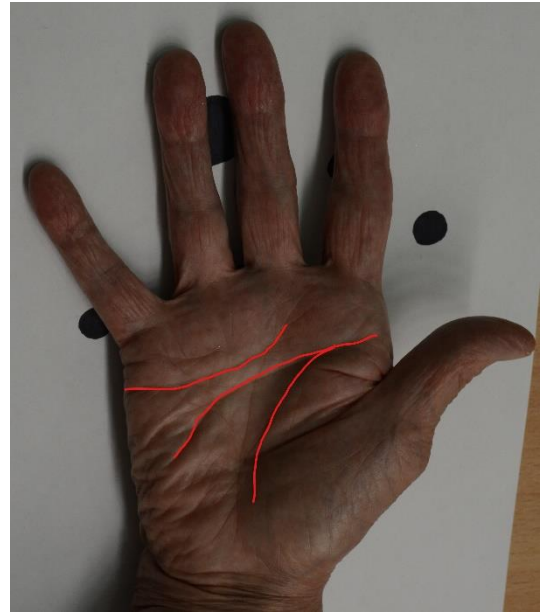
**Abbildung 21: Vierfingerfurchche**

In Abbildung 20 sind die Dreifingerfurchche (Nummer 1), die Fünffingerfurchche (Nummer 2) und die Daumenballenfurchche (Nummer 3) dargestellt [Tietze, Witthuhn, 2001]. Es soll veranschaulicht werden, wo diese Furchen auf der Handinnenfläche zu finden sind. Rechts daneben ist die Sonderform der Vierfingerfurchche (Nummer 1) dargestellt und als Orientierungspunkt Anfänge der Daumenballenfurchche (Nummer 2) [Tietze, Witthuhn, 2001]. Die Vierfingerfurchche ersetzt bei Vorhandensein die Dreifingerfurchche und die Fünffingerfurchche. Die Markierten Furchen wurden eigenhändig in die Bilder eingefügt.

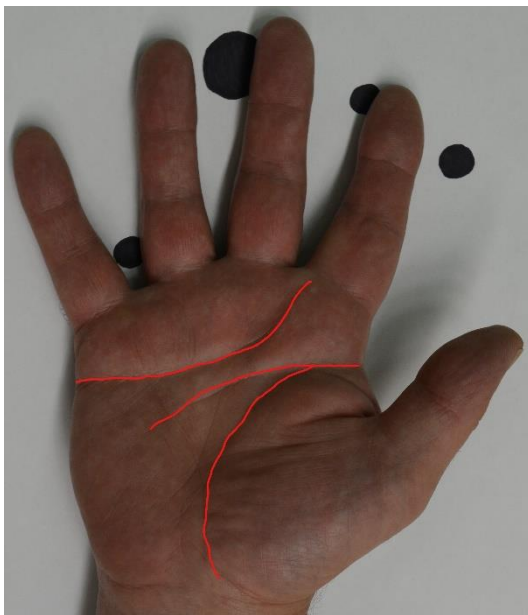
Im folgenden Abschnitt werden die Aufnahmen der Handinnenflächen der rechten Hände von Familie A abgebildet. Für ein besseres Verständnis der darauffolgenden Analyse sind die primären Beugefurchen in Ihrem Verlauf rot hervorgehoben.



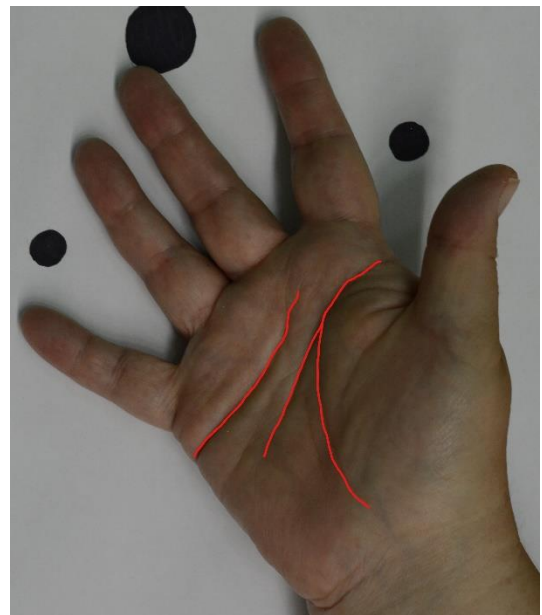
**Abbildung 22: A.1 rechte Handinnenfläche**



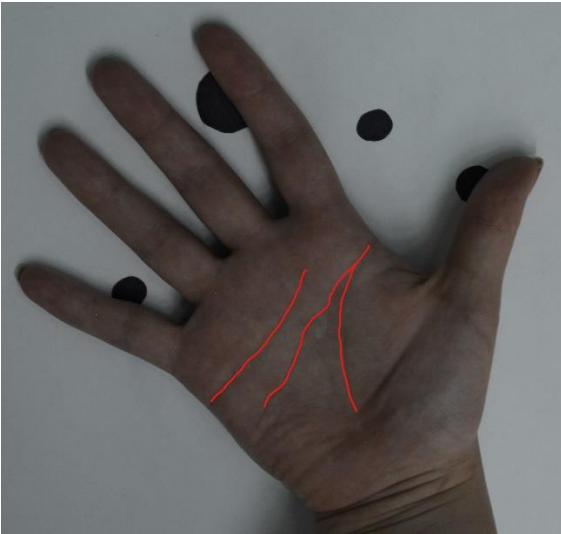
**Abbildung 23: A.2 rechte Handinnenfläche**



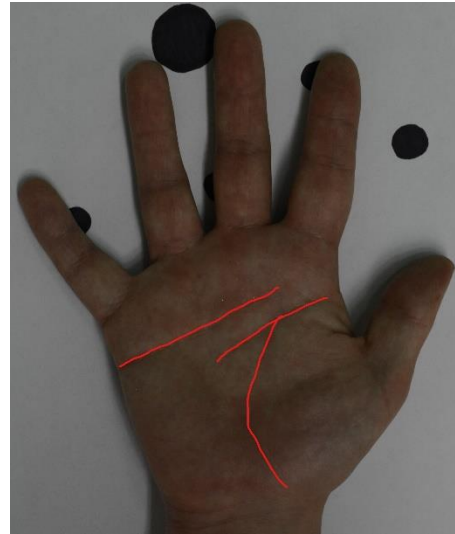
**Abbildung 24: A.3 rechte Handinnenfläche**



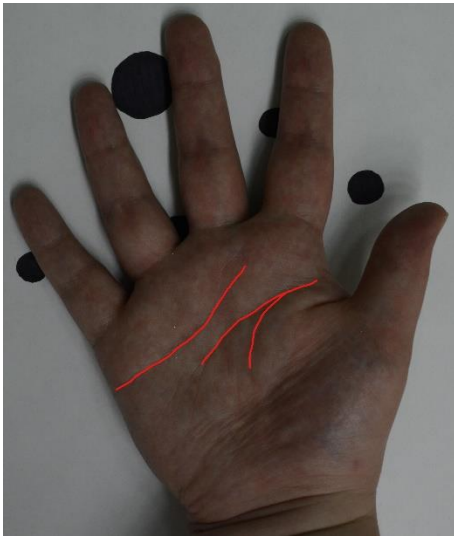
**Abbildung 25: A.4 rechte Handinnenfläche**



**Abbildung 26: A.5 rechte Handinnenfläche**



**Abbildung 27: A.6 rechte Handinnenfläche**



**Abbildung 28: A.7 rechte Handinnenfläche**

In den oberen Abbildungen sind von Familie A jeweils die rechten Handinnenflächen dargestellt. Die primären Beugefurchen sind rot markiert, um den Verlauf der Furchen deutlicher zu veranschaulichen. [Quelle: selbst erstellt]

Wird die Dreifingerfurche aller sieben Personen miteinander verglichen, so kann festgestellt werden, dass jede der Furchen durchgehend bis zur Handkante verläuft. Bei den Personen A.4, A.5, A.6 und A.7 beginnt die Furche im radialen Bereich unter der Fingerwurzel des Mittelfingers. Bei A.2 und A.3 beginnt die Furche am ulnaren Ansatz des Zeigefingers. Bei A.1 ist die Dreifingerfurche nicht vorhanden.

Die Fünffingerfurche beginnt bei allen Personen, außer A.1, zusammen mit der Daumenballenfurche. Keine der Furchen verläuft durchgehend bis zur Handkante, denn alle enden im Bereich unterhalb des Ringfingers und des kleinen Fingers. Auffallend ist dabei, dass

die Fünffingerfurche von A.2 im Bereich unterhalb des Ringfingers stark in Richtung Handwurzel abknickt und dass die Furche von A.5 einem sehr unregelmäßigen Verlauf folgt. Bei A.1 ist die Fünffingerfurche nicht vorhanden.

Bei allen Probanden, außer A.1, beginnt die Daumenballenfurche zusammen mit der Fünffingerfurche. Die Furchen von A.1, A.3 und A.4 verlaufen durchgehend bis zur Handwurzel, während die Furche von A.2 nicht durchgehend ist. Ungewöhnlich ist die Tatsache, dass alle Furchen von Personen der zweiten Filialgeneration noch weit über der Handwurzel enden, obwohl die Furchen der Eltern aus der ersten Filialgeneration beide durchgehend verlaufen.

A.1 ist die einzige Person aus Familie A, welche eine Vierfingerfurche aufweist. Diese ersetzt die Dreifinger- und Fünffingerfurche. Die Furche von A.1 verläuft in einer recht geraden Linie unterhalb der Fingerwurzeln durchgehend bis zur Handkante. Da die Vierfingerfurche einem rezessiven Vererbungsvorgang unterliegt, solange kein Langdon-Down-Syndrom vorliegt, wäre an dieser Stelle eine Untersuchung vorangegangener Generationen und zukunftsorientiert betrachtet auch nachfolgender Generationen von großem Interesse. Dadurch könnte ermittelt werden, ob die Vierfingerfurche in dieser Familie vermehrt, auftreten würde.

Im folgenden Abschnitt werden die Aufnahmen der Handinnenflächen der linken Hände von Familie A abgebildet. Für ein besseres Verständnis der später folgenden Analyse sind die primären Beugefurchen in Ihrem Verlauf rot hervorgehoben.

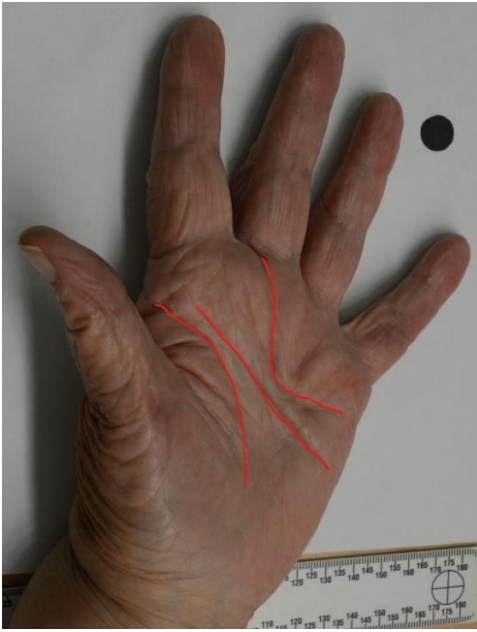


Abbildung 29: A.1 linke Handinnenfläche

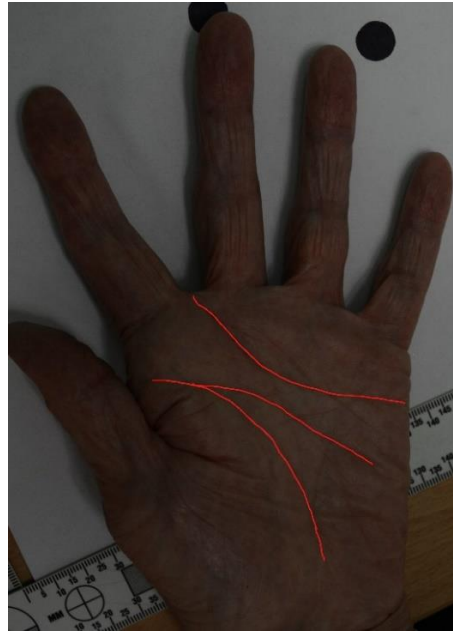


Abbildung 30: A.2 linke Handinnenfläche

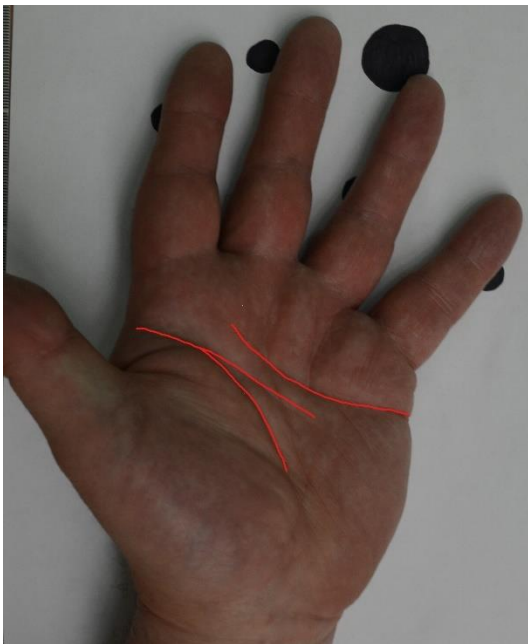


Abbildung 31: A.3 linke Handinnenfläche

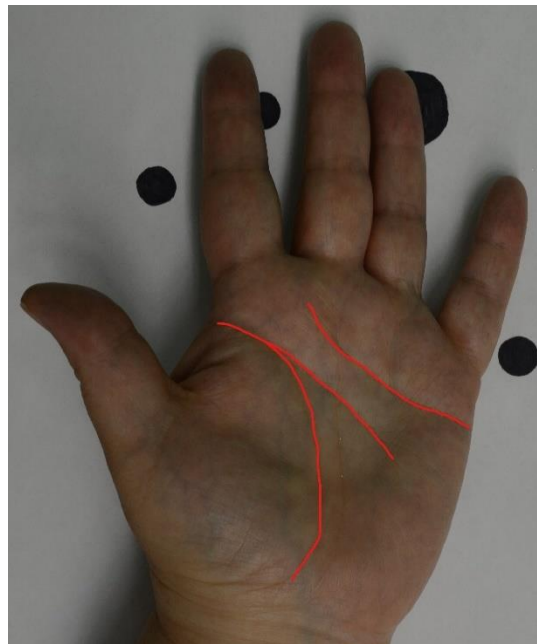
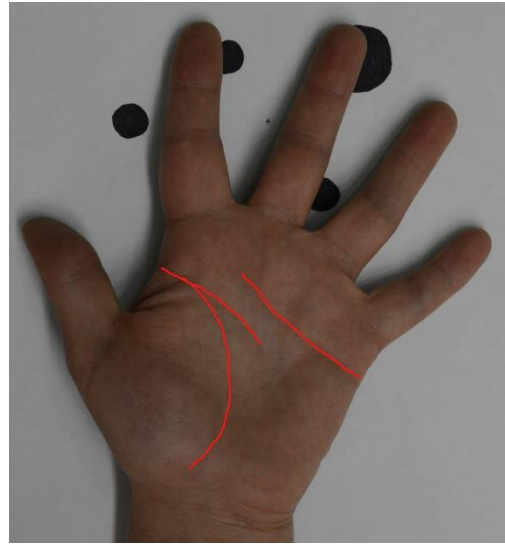


Abbildung 32: A.4 linke Handinnenfläche

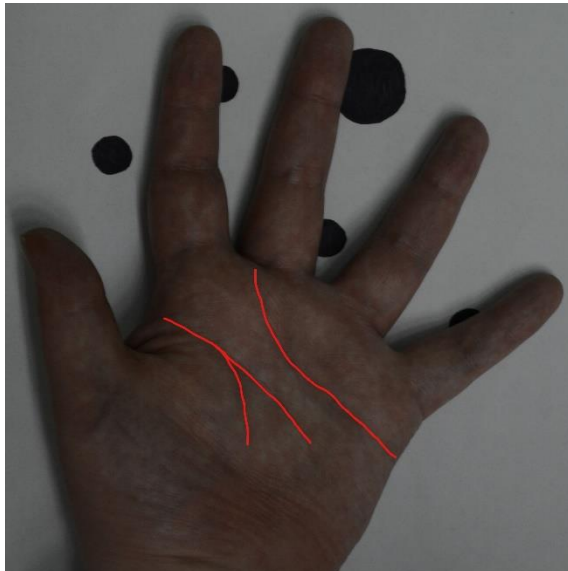




**Abbildung 33: A.5 linke Handinnenfläche**



**Abbildung 34: A.6 linke Handinnenfläche**



**Abbildung 35: A.7 linke Handinnenfläche**

In den oberen Abbildungen sind von Familie A jeweils die linken Handinnenflächen dargestellt. Die primären Beugefurchen sind rot markiert, um den Verlauf der Furchen deutlicher zu veranschaulichen. [Quelle: selbst erstellt]

Die Dreifingerfurche von jeder Person, außer A.2, beginnt im Bereich unterhalb des Mittelfingers. Die Furche von A.2 beginnt am ulnaren Ansatz des Zeigefingers. Zusätzlich verläuft die Furche bei allen durchgehend bis zur Handkante, ausgeschlossen hierbei die Furche von A.1. Auffällig bei der Furche von A.1 ist, dass diese sich recht stark beugt im Bereich der Fingerwurzel des Ringfingers.

Die Fünffingerfurche beginnt bei sechs der sieben Probanden (A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7) zusammen mit der Daumenballenfurche. Keine der Furchen aus Familie A verläuft durchgehend bis zur Handkante. Die Furchen von A.3, A.5, A.6, A.7 enden im Bereich unterhalb des Ringfingers. Bei A.1, A.2 endet die Furche kurz vor der Handkante, während die Furche von A.4 im radialen Bereich unterhalb des kleinen Fingers endet. Auffallend bei der Betrachtung der Furchen ist, dass sich die Fünffingerfurche von A.5 verzweigend auflöst, was bei dem Großteil der anderen Furchen weniger deutlich wird.

Bei allen Personen aus Familie A, bis auf A.1, beginnt die Daumenballenfurche zusammen mit der Fünffingerfurche. Die Furchen von A.4 und A.6 sind die einzigen, welche einen durchgehenden Verlauf aufweisen. Die meisten der verbleibenden Daumenballenfurchen enden noch weit über der Handwurzel (A.3, A.5, A.7). Die Furchen von A.1 und A.2 enden kurz über der Handwurzel. Hierbei fällt die A.5 Furche auf, dass obwohl sie noch weit über der Handwurzle endet, das Basisdelta auf dem Kleinfingerballen zu sehen ist. Das ist eine Anomalie, da davon ausgegangen wird, dass das Basisdelta im Bereich des Kleinfingerballens liegt, wenn die Daumenballenfurche durchgehend verläuft [Tietze, Witthuhn, 2001]. Ist die Daumenballenfurche nicht durchgehend, lässt sich das Basisdelta im Regelfall auf der Seite des Daumenballens finden [Tietze, Witthuhn, 2001].

Es ist keine Vierfingerfurche bei den rechten Händen der Probanden vorzufinden.

Im folgenden Abschnitt werden die Aufnahmen der Handinnenflächen der rechten Hände von Familie B abgebildet. Für ein besseres Verständnis der darauffolgenden Analyse sind die primären Beugefurchen in ihren Verlauf rot hervorgehoben. Von Person B.7 konnten keine Fotoaufnahmen der Hände angefertigt werden und auch auf den Handabdrücken, welche mit Fingermalfarbe angefertigt wurden, konnte der Verlauf der primären Beugefurchen nicht nachvollzogen werden. Aus diesem Grund entfällt Person B.7 der folgenden Analyse.

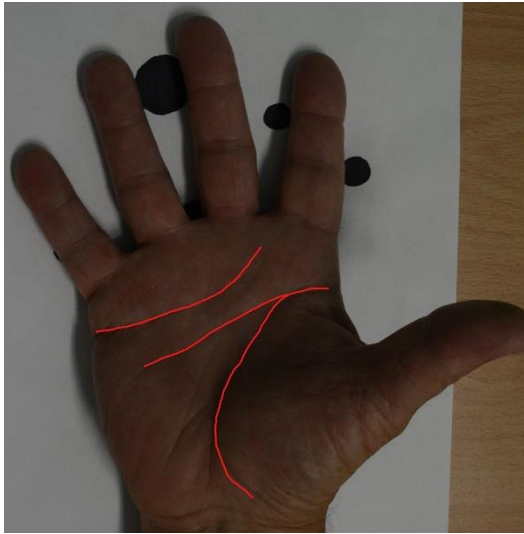


Abbildung 36: B.1 rechte Handinnenfläche

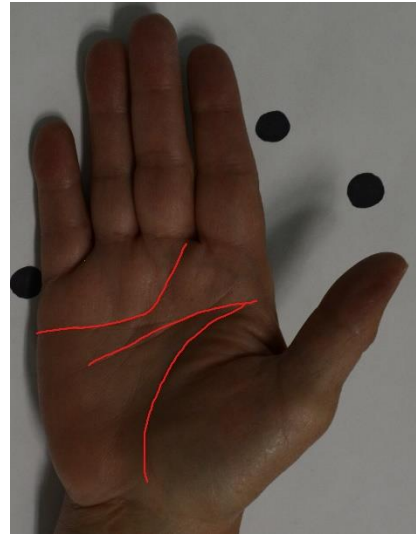


Abbildung 37: B.2 rechte Handinnenfläche

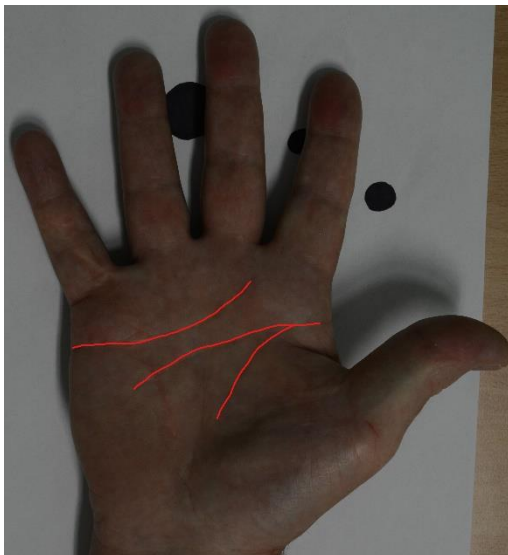


Abbildung 38: B.3 rechte Handinnenfläche

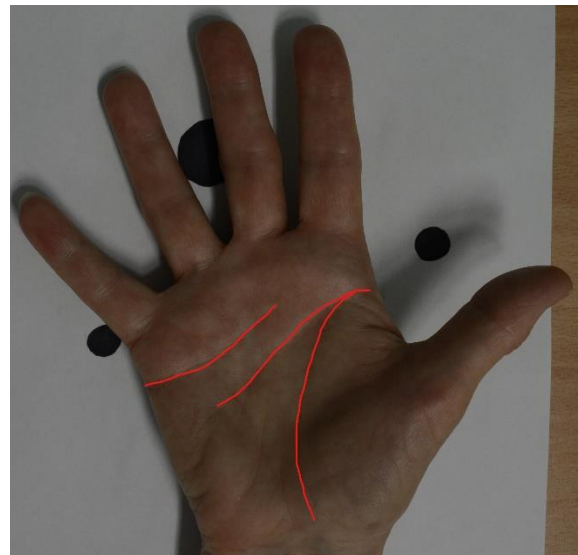
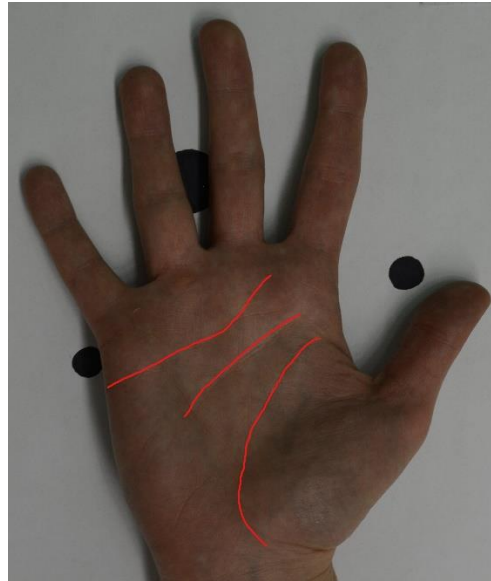
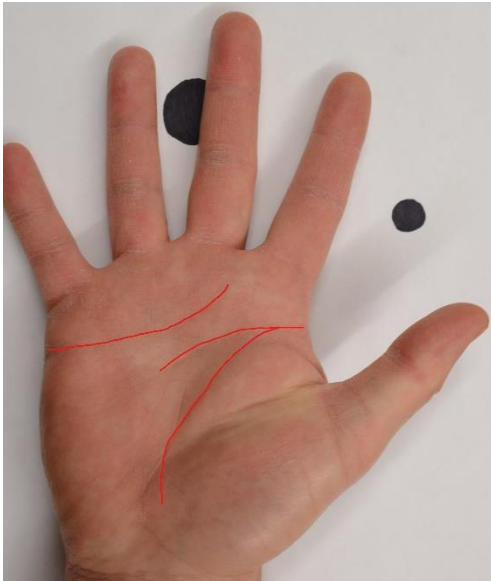


Abbildung 39: B.4 rechte Handinnenfläche



**Abbildung 40: B.5 rechte Handinnenfläche**      **Abbildung 41: B.6 rechte Handinnenfläche**

In den oberen Abbildungen sind von Familie B jeweils die rechten Handinnenflächen dargestellt. Die primären Beugefurchen sind rot markiert, um den Verlauf der Furchen deutlicher zu veranschaulichen. [Quelle: selbst erstellt]

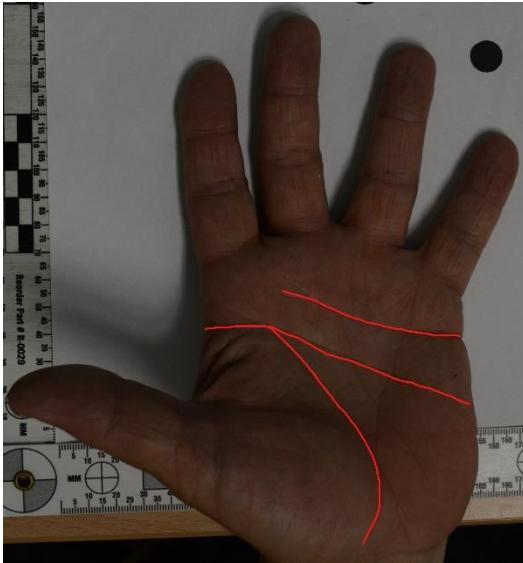
Alle Dreifingerfurchen in Familie B beginnen im Bereich zwischen Zeige- und Mittelfinger oder unterhalb des Mittelfingers. Sie haben also alle den gleichen Anfangsbereich. Zusätzlich verlaufen die Furchen aller Personen aus Familie B durchgehend bis zur Handkante.

Bei den Fünffingerfurchen beginnen alle, mit Ausnahme von B.6, zusammen mit der Daumenballenfurche. Hinzu kommt, dass sämtliche Furchen im relativ gleichen Bereich enden. Dieser liegt unterhalb des Ringfingers und des kleinen Fingers. Das bedeutet auch, dass keine Furche einen durchgehenden Verlauf aufweist. Die Furchen von B.1, B.3 und B.4 verlaufen zudem flacher als die übrigen Fünffingerfurchen.

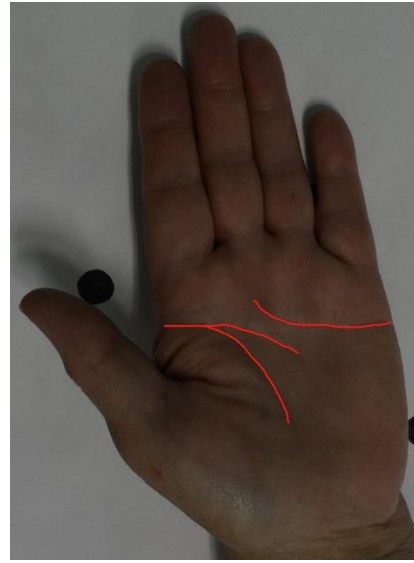
Alle Personen aus Familie B, bis auf Person B.6, haben Daumenballenfurchen, welche zusammen mit den jeweiligen Fünffingerfurchen starten. Bis auf die Furche von B.3 verlaufen alle anderen durchgehend bis zur Handwurzel. Die meisten Daumenballenfurchen (B.1, B.4, B.5, B.6) verlaufen in einem flacheren Bogen, als das bei B.2 und B.3 beobachtet werden kann.

Bei allen rechten Händen aus Familie B ist keine Vierfingerfurche vorhanden.

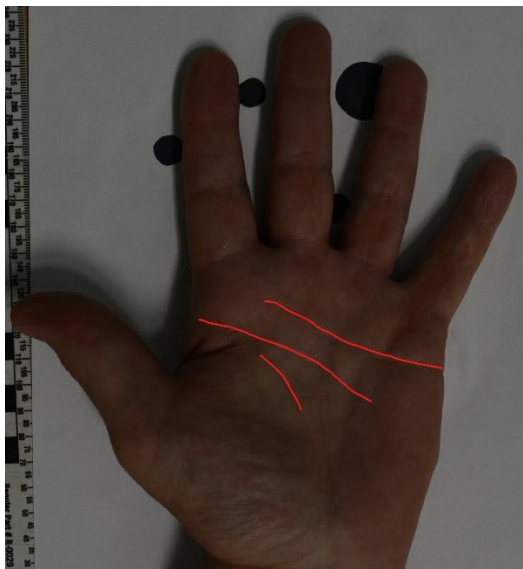
Im folgenden Abschnitt werden die Aufnahmen der Handinnenflächen der linken Hände von Familie B abgebildet. Für ein besseres Verständnis der darauffolgenden Analyse sind die primären Beugefurchen in Ihrem Verlauf rot hervorgehoben.



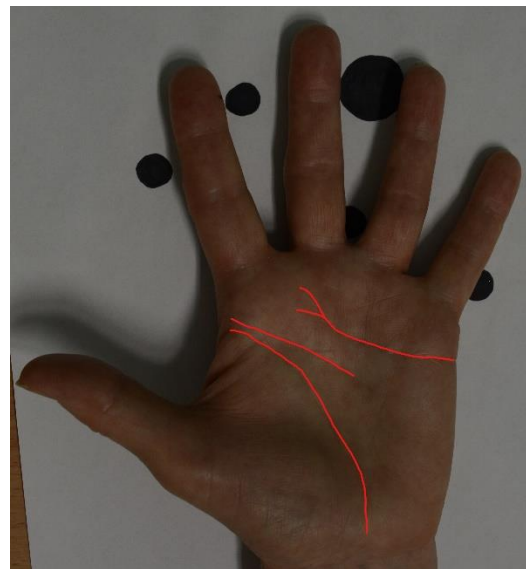
**Abbildung 42: B.1 linke Handinnenfläche**



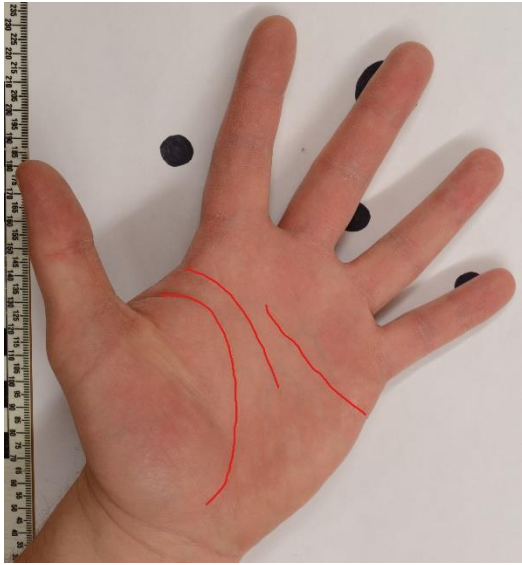
**Abbildung 43: B.2 linke Handinnenfläche**



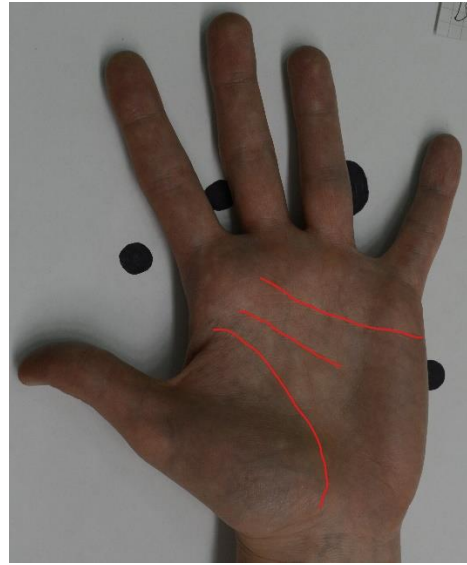
**Abbildung 44: B.3 linke Handinnenfläche**



**Abbildung 45: B.4 linke Handinnenfläche**



**Abbildung 46: B.5 linke Handinnenfläche**



**Abbildung 47: B.6 linke Handinnenfläche**

In den oberen Abbildungen sind von Familie B jeweils die linken Handinnenflächen dargestellt. Die primären Beugefurchen sind rot markiert, um den Verlauf der Furchen deutlicher zu veranschaulichen. [Quelle: selbst erstellt]

Sämtliche Dreifingerfurchen der Personen aus Familie B beginnen im Bereich unterhalb des Mittelfingers. Zusätzlich verläuft jede der Furchen durchgehend bis zur Handkante.

Die Fünffingerfurchen von B.3 und B.6 sind die einzigen der linken Hände aus Familie B, welche nicht zusammen mit der Daumenballenfurche beginnen. Bei allen Personen, ausgenommen B.1, endet die Furche in einem Bereich unterhalb des Ringfingers. Die Fünffingerfurchen von B.1 verläuft dagegen durchgehend bis zur Handkante.

Alle Daumenballenfurchen, bis auf die von B.3 und B.6, beginnen zusammen mit der Fünffingerfurchen. Jede Furche verläuft in einem flacheren Bogen, anders als dies bei den rechten Handinnenflächen beobachtet werden konnte. Die Furchen von B.2 und B.3 verlaufen nicht durchgehend bis zur Handwurzel, während die Furchen der restlichen Personen durchaus einen durchgehenden Verlauf aufweisen.

Bei keiner der linken Handinnenflächen aus Familie B konnte eine Vierfingerfurchen identifiziert werden.

Nach Abschluss der Analyse der primären Beugefurchen kann auf Grund der häufig auftretenden Gemeinsamkeiten, davon ausgegangen werden, dass bei der Bildung der primären Beugefurchen die Genetik eine große Rolle spielt. Dementsprechend ist eine Vererbung bestimmter Merkmale, wie Anfangs- und Endpunkt einer Furche, wie auch allgemeine Faktoren bezüglich des Verlaufes, nicht auszuschließen und kann als gegeben betrachtet werden. Um diese Ergebnisse zu festigen wäre auch hier ein größerer Datensatz mit mehreren Familien notwendig.

## 5.4 Analyse der Handform

In diesem Kapitel wird die Handform aller Personen anhand der Fotoaufnahmen des Handrückens analysiert. Wie bei der Betrachtung der Handfurchen erfolgt auch hier die Beschreibung der Handform subjektiv und kann dementsprechend von den Ergebnissen eventueller Nachforschung abweichen. Hauptaugenmerk der Untersuchung der Handrücken besteht in der Betrachtung der Finger- und Fingernagelform, der Menge an Lipideinlagerungen, Anomalien bzw. Fehlstellungen und der allgemeinen Form der Hand.

In den folgenden Abbildungen (Abbildungen 48 bis 61, Quelle: selbst erstellt) sind die Handrücken von Familie A dargestellt. Dabei stehen sich die rechte und linke Hand einer Person gegenüber.

Im Groben kann beobachtet werden, dass der grundlegende Aufbau der Handrücken bei jeder Person symmetrisch ist. A.1 weist verstärkte Fetteinlagerungen im Bereich der Handwurzel und des Handrückens auf. Die Finger von A.1 sind im Vergleich zum Handrücken schmaler. Die Fingernägel sind schmal und verlaufen geradlinig in Richtung der Fingerspitze. Auffällig bei A.1 zu beobachten ist, dass der Daumen in Relation zur restlichen Hand kürzer ausfällt, was eventuell auch dem Fakt geschuldet ist, dass das Daumengrundgelenk durch die vermehrten Fetteinlagerungen nicht zu sehen ist. Bei der rechten Hand von A.1 fällt auf, dass die Lipideinlagerungen nicht so stark wie bei der linken Hand sind. Der rechte Zeigefinger weist hier eine Fehlstellung am Endgelenk auf. Es wird vermutet, dass diese Form eine Schwanenhalsdeformität darstellt, welche ein Anzeichen für rheumatoide Arthritis ist.



Abbildung 48: A.1 linker Handrücken



Abbildung 49: A.1 rechter Handrücken

A.2 weist einen sehr schlanken Handaufbau vor mit kaum vorhandenen Fetteinlagerungen. Auch an den Fingern gibt es kaum eingelagerte Lipide. Dadurch verschmälert sich der Verlauf der Finger im Bereich der Knochenschäfte deutlich. Die Fingernägel sind schmal und verlaufen geradlinig in Richtung der Fingerspitze. Der Zeigefinger der linken Hand ist leicht in die ulnare Richtung gekrümmt. Das rechte Daumengrundgelenk sticht im Vergleich zum linken Gelenk ungewöhnlich stark hervor.



**Abbildung 50: A.2 linker Handrücken**



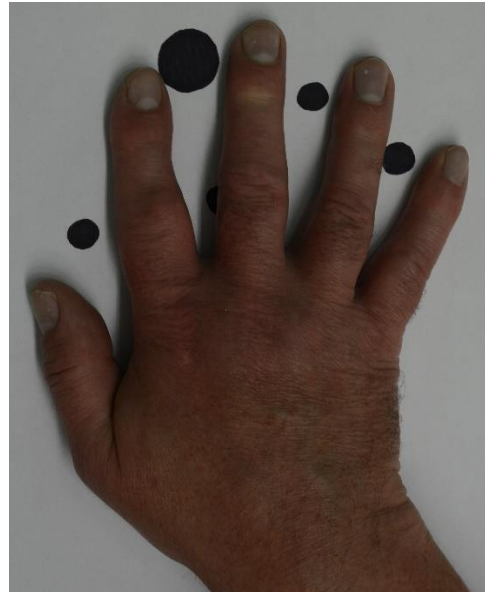
**Abbildung 51: A.2 rechter Handrücken**

A.3 weist, für ein männliches Individuum, einen typisch kräftigen Aufbau vor. Im Bereich der Handwurzel und des Handrückens sind vermehrte Lipideinlagerungen zu sehen. Die Finger sind kräftig gebaut und die Fingergrundknochen haben zum Teil stärkere Fetteinlagerungen. Dies wird vor allem am Zeigefinger der linken Hand deutlich. Diese Bereiche vermitteln ein geschwollenes/ verdicktes Bild. Die Fingernägel sind etwas breiter und werden im Verlauf in Richtung der Fingerspitze noch breiter. An beiden Händen fällt eine Anomalie am Zeigefinger auf. Diese weisen jeweils eine abnormale Ausprägung und Krümmung auf. In Kombination mit den geschwollenen Fingergelenken könnte auch dies ein Indiz für rheumatoide Arthritis sein. Da A.1 und A.3 miteinander verwandt sind, wäre es möglich, dass in diesem Fall eine vererbte Rheumaerkrankung vorliegt. In diesem Fall müsste die zweite Filialgeneration im fortgeschrittenen Alter erneut untersucht werden, um zu schauen ob auch da Anzeichen einer Rheumaerkrankung vorliegen.





**Abbildung 52: A.3 linker Handrücken**



**Abbildung 53: A.3 rechter Handrücken**

A.4 weist starke Fetteinlagerungen an beiden Händen auf. Diese erstrecken sich über die komplette Handfläche. An den Fingern sind so viele Lipide eingelagert, dass der Eindruck vermittelt wird, dass die Finger geschwollen sind. Das Daumengrundgelenk ist durch die eingelagerte Fette nicht mehr zu sehen, wodurch der Eindruck eines verkürzten Daumenknochens vermittelt wird. Dieses Bild der Handform gleicht sich mit dem von A.1, obwohl hier keine genetische Verwandtschaft vorliegt. Die Fingernägel sind schmal und verlaufen geradlinig in Richtung der Fingerspitze.



**Abbildung 54: A.4 linker Handrücken**



**Abbildung 55: A.4 rechter Handrücken**

A.5 hat einen recht schmalen Aufbau der Hände. An den Fingern sind dabei allerdings vermehrt Lipide eingelagert, sodass es im Bereich der Knochenschäfte nicht zu einer Verschmälerung kommt. Im Verlauf Richtung der Fingerspitze werden die Finger etwas schmaler. Die Fingernägel sind schmal und verlaufen geradlinig in Richtung der Fingerspitze. Es sind keine Anomalien oder Fehlstellungen erkennbar.



**Abbildung 56: A.5 linker Handrücken**



**Abbildung 57: A.5 rechter Handrücken**

A.6 weist einen etwas kräftigeren Aufbau der Hände vor, als bei A.5 zu sehen ist. Die Finger verlaufen gleichmäßig ohne, dass es zu Verschmälerungen im Bereich der Knochenschäfte kommt. Der kräftigere Aufbau der Finger ähnelt denen von A.3. Die Fingernägel beginnen schmal und verbreitern sich in Richtung der Fingerspitze. Die Fingernägel der Zeigefinger und der kleinen Finger sind allerdings schmaler als die übrigen. Der Verlauf der Fingernägel, ausgenommen der Zeigefinger, ähnelt denen von A.3. Die schmaleren Fingernägel gleichen denen von A.5, A.4 und könnten sich auch auf A.2 zurückführen lassen. Es sind keine Fehlstellungen oder sonstigen Anomalien erkennbar.



**Abbildung 58: A.6 linker Handrücken**



**Abbildung 59: A.6 rechter Handrücken**

Bei A.7 sind an beiden Händen etwas stärkere Lipideinlagerungen zu beobachten. Die Finger haben dabei an ihren Ansätzen mehr eingelagertes Fett. Dies wird im Verlauf der Finger weniger. Die Fingernägel sind schmal und verlaufen recht geradlinig in Richtung der Fingerspitze. Auch bei A.7 scheinen die Daumen in Relation zu den Händen verkürzt (links stärker als rechts), ein Merkmal, welches sich auf A.1 und A.4 zurückführen lässt. Das Daumengrundgelenk ist durch vermehrte Fetteinlagerungen nicht sehr gut zu sehen.



**Abbildung 60: A.7 linker Handrücken**



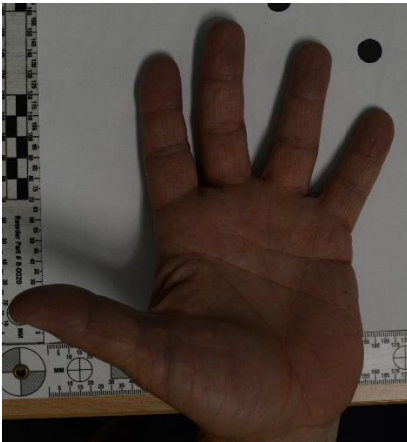
**Abbildung 61: A.7 rechter Handrücken**

Nach abgeschlossener Betrachtung der Handrücken von Familie A sind eindeutige Zeichen der Vererbung erkennbar. Deutlich wird dies an der Art und Weise der Fetteinlagerungen, welche sich bei mehreren Personen stark auf den Handrücken konzentrieren und den Phänomenen des verkürzt erscheinenden Daumens, welches in allen drei Generationen gefunden wurden. Auch die Form der Fingernägel ist bei den meisten Probanden aus Familie A sehr ähnlich. Hinzu kommen die generationsübergreifenden Anzeichen einer Rheumaerkrankung. Aufgrund dieser Indizien ist die Vererbung bestimmter Merkmale der Hand, wie beispielsweise der Fingernagelform, mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit als gegeben anzusehen.

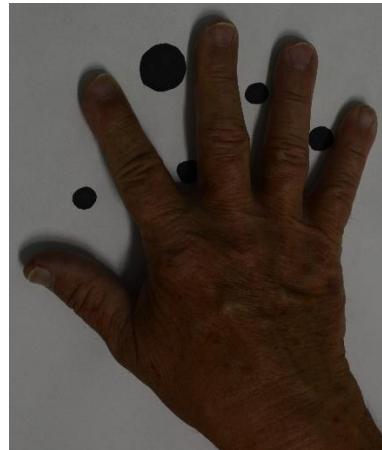
In den folgenden Abbildungen (Abbildungen 62 bis 73, Quelle: selbst erstellt) sind die Handrücken von Familie B dargestellt. Dabei stehen sich die rechte und linke Hand einer Person gegenüber. Bei Person B.1 ist keine Fotoaufnahme des linken Handrückens vorhanden. Aus diesem Grund wurde für die linke Hand eine Aufnahme der Handinnenfläche mit hinzugezogen. Von Person B.7 konnten keine Aufnahmen der Hände angefertigt werden, weshalb diese nicht in die Betrachtung mit eingezogen wird.

Auch bei der zweiten Familie ist eine starke Symmetrie zwischen den einzelnen Händen einer Person vorzufinden.

B.1 hat einen großen und breiten Handaufbau. Die Finger sind recht breit und verlaufen geradlinig in Richtung der Fingerspitze. Der Mittelfinger der linken Hand knickt ab dem Mittelgelenk in Richtung des kleinen Fingers ab. Bei der Fotoaufnahme des rechten Handrückens sind deutliche Lipideinlagerungen in den Gelenkbereichen der Finger zu sehen. Die Fingernägel verbreitern sich stark im Verlauf in Richtung der Fingerspitze. Der rechte Daumen weist zusätzlich eine stärkere Krümmung nach außen auf.



**Abbildung 62: B.1 linke Handinnenfläche (Ersatz)**



**Abbildung 63: B.1 rechter Handrücken**

B.2 hat einen recht gewöhnlichen Handaufbau beider Hände. Der Handbereich weist dabei mehr Lipideinlagerungen auf als die Finger. Diese enthalten an ihrem Ansatz mehr eingelagertes Fett als im weiteren Verlauf. Die Fingernägel beginnen schmäler und verbreitern sich je weiter es in Richtung der Fingerspitze geht. Es sind keine Fehlstellungen zu sehen.

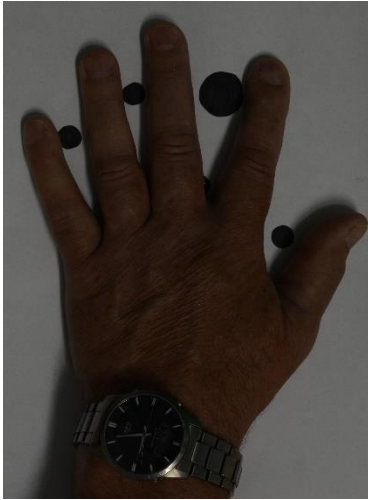


**Abbildung 64: B.2 linker Handrücken**



**Abbildung 65: B.2 rechter Handrücken**

Auch B.3 weist wie B.1 einen großen und breiten Handaufbau auf, charakteristisch für ein männliches Individuum. Bei B.3 sind leichte Lipideinlagerungen erkennbar, allerdings konzentrieren sie sich auf den Bereich der Finger und nicht auf den Handrücken. Die Fingernägel sind breiter und verlaufen geradliniger in Richtung der Fingerspitze. Das Daumengrundgelenk der rechten Hand steht ungewöhnlich stark hervor bezüglich der Dicke des Gelenks. Beide Daumen weisen stärkere Fetteinlagerungen auf als die anderen Finger.

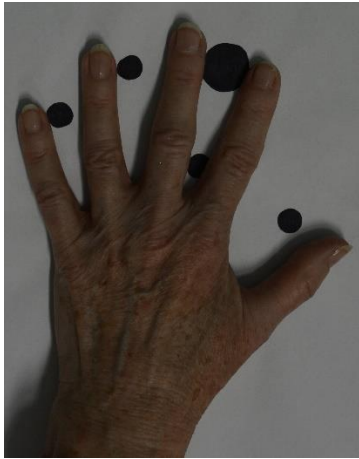


**Abbildung 66: B.3 linker Handrücken**



**Abbildung 67: B.3 rechter Handrücken**

B.4 weist einen schmalen Handaufbau mit kaum sichtbaren Lipideinlagerungen auf. Dadurch kommt es auch zu einer Verschmälerung der Finger im Bereich der Knochenstäbe. Die Fingernägel sind weder besonders schmal noch besonders breit und verlaufen geradlinig in Richtung der Fingerspitze. Das Daumengrundgelenk der rechten Hand sieht im Vergleich zum linken Gelenk dicker aus.



**Abbildung 68: B.4 linker Handrücken**

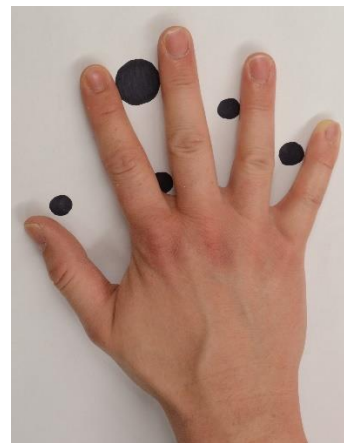


**Abbildung 69: B.4 rechter Handrücken**

B.5 weist für ein männliches Individuum einen eher schmalen Handaufbau vor. Der Handrückenbereich enthält mehr eingelagertes Fett als die Finger. Diese verlaufen recht geradlinig in Richtung Fingerspitze. Die Fingernägel verbreitern sich in ihrem Verlauf in Richtung der Fingerspitze, ähnlich dem Verlauf der Fingernägel von B.1 und B.2. Das Daumenendstück ist nicht so stark gewölbt wie bei den anderen Personen und sieht eher flach aus. Das Daumengrundgelenk ist an beiden Händen deutlich erkennbar, was auch bei B.1 und B.2 zu sehen ist. Es sind keine Anomalien in der Struktur der Hände zu sehen.



**Abbildung 70: B.5 linker Handrücken**

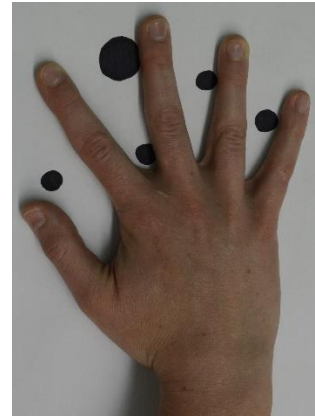


**Abbildung 71: B.5 rechter Handrücken**

B.6 hat einen relativ gewöhnlichen Aufbau der beiden Hände. An den Fingern sind weniger eingelagerte Lipide erkennbar, sodass es teilweise zu Verschmälerungen der Finger im Bereich der Knochenschäfte kommt. Die Finger sind in Relation zur Handfläche sehr lang, ähnlich denen von B.3, bei B.3 ist dies allerdings nicht so deutlich wie bei B.6. Die Fingernägel sind breiter und verbreitern sich in ihren Verlauf in Richtung der Fingerspitze. Die Form der Fingernägel ähnelt denen von B.3.



**Abbildung 72: B.6 linker Handrücken**



**Abbildung 73: B.6 rechter Handrücken**

Auch bei Familie B können generationsübergreifend Gemeinsamkeiten bestimmter Merkmale gefunden werden. Da allerdings keinen Aufnahmen von B.7, also der zweiten Filialgeneration existieren, wird es erschwert, Merkmale zu finden, welche auf Vererbung hindeuten könnten. Anhand von zwei untersuchten Generationen sind durchaus Tendenzen zur Vererbung erkennbar, allerdings nicht so deutlich wie bei Familie A, in welcher bestimmte Merkmale über drei Generationen beobachtet werden konnten. Die erbaren Tendenzen in Familie B können beispielsweise durch die wiederkehrende Form der Fingernägel zwischen dem jeweiligen Stammelternpaar und Kind erkannt werden.

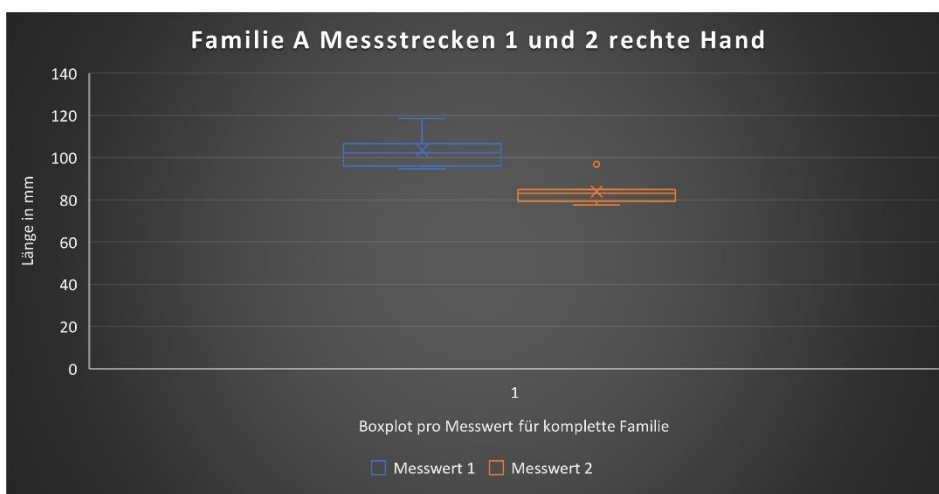
Anhand der Ergebnisse aus beiden Familien ist die Behauptung, die Abstammung anhand bestimmter Merkmale der Handform festzustellen, durchaus zulässig. Um die Behauptung zu festigen kann der Datensatz im Zuge weiterführender Untersuchungen durch mehrere Familien erweitert werden.

## 5.5 Analyse der Handgeometrie

Zur Untersuchung der Handgeometrie wurden bei jeder Person 16 Messstrecken pro Hand mit Hilfe eines Messschiebers gemessen. Die Messstrecken wurden bereits in Kapitel 4.2 Datenaufnahme erläutert. Für die Analyse der Messstrecken in den Familien wurden Boxplots erstellt. Ein Boxplot fasst dabei die Messwerte einer Messstrecke aller Personen zusammen. Von Person B.7 konnten keine Messwerte erhoben werden, weshalb dieses Individuum nicht weiter in die Analyse mit einbezogen wird. Die Einheit der Messwerte wurde auf Millimeter festgelegt und die gemessenen Strecken wurden jeweils auf eine Nachkommastelle gerundet. Zu jedem Boxplot wurden die entsprechenden Grenzwerte berechnet. Dazu gehören Minimum, unteres Quartil, Median, oberes Quartil und Maximum. Die Grenzwerte wurden für jede Messstrecke tabellarisch erfasst. Zur richtigen Interpretation eines Boxplots ist ein Verständnis des Aufbaus einer solchen grafischen Darstellung notwendig.

In einem Boxplot enthält der Bereich zwischen unterem und oberem Quartil 50% der einbezogenen Daten. Das Minimum repräsentiert den niedrigsten und das Maximum den höchsten Wert der eingespeisten Daten. Minimum und Maximum sind mit der Box, welche 50% der Daten um den Median enthält, durch Linien verbunden, auf welchen eventuelle Ausreißer bzw. die restlichen 50% verteilt sind. Diese Linien mit dazugehörigem Minimum oder Maximum werden als Whiskers bezeichnet. Sollten beispielsweise zwischen Maximum und Box keine Werte liegen, so wird der entsprechende Grenzwert nur durch einen Punkt markiert und nicht mit einer waagerechten Linie. Je schmaler die Box mit 50% der Werte um den Median ist, desto näher liegen die Messwerte beieinander und ähneln sich. Wäre der Boxplot demzufolge eine einheitliche Linie, bedeutet dies, dass alle Werte gleich groß wären. Der Median ist nicht gleichzusetzen mit dem Mittelwert. Der Median ist ein gängiges Maß für die Lage der Daten. Die Hälfte der einbezogenen Daten ist kleiner bzw. gleich dem Median, während die andere Hälfte der Daten größer oder gleich ist. In einem Boxplot ist der Median durch einen zusätzlichen Strich in der Box dargestellt. Wird der arithmetische Mittelwert in den Boxplot hinzugefügt, wird dieser durch ein Kreuz in der Box präsentiert.

Die Boxplots wurden anhand einer logischen Einteilung in mehrere Diagramme aufgegliedert. Die Messstrecken 1 und 2, welche über den Handrücken verlaufen wurden zusammengefasst in ein Diagramm. Die Messstrecken 3 bis 6 messen jeweils die Längen von Zeigefinger, Mittelfinger, Ringfinger und kleinen Finger. Die Strecken 7 und 14 wurden zusammengefasst, da sie jeweils nur eine Breite am Daumen und kleinen Finger messen. Außerdem wurden die Messwerte der Strecken 8 bis 13 zusammengefasst, weil sie jeweils zwei Breiten an den Fingern messen. Bei Familie B wurden die 6 Messstrecken noch einmal unterteilt aufgrund technischer Gegebenheiten. Schlussendlich sind die Strecken 15 und 16 in einem Diagramm zu finden, da sie die einzigen Messwerte sind, welche die Höhe eines Fingers messen. Im Folgenden sind die Boxplots aller Messstrecken der rechten Hand aus Familie A dargestellt (Abbildungen 74, 75, 76, 77, 78).



**Abbildung 74: Boxplots für die Messstrecken 1 und 2 der rechten Hand, Familie A**



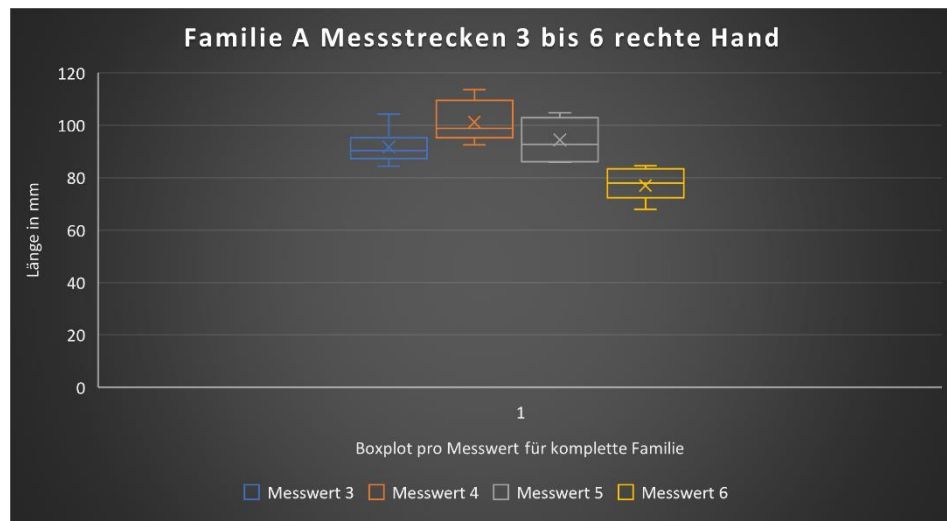


Abbildung 75: Boxplots für die Messstrecken 3 bis 6 der rechten Hand, Familie A

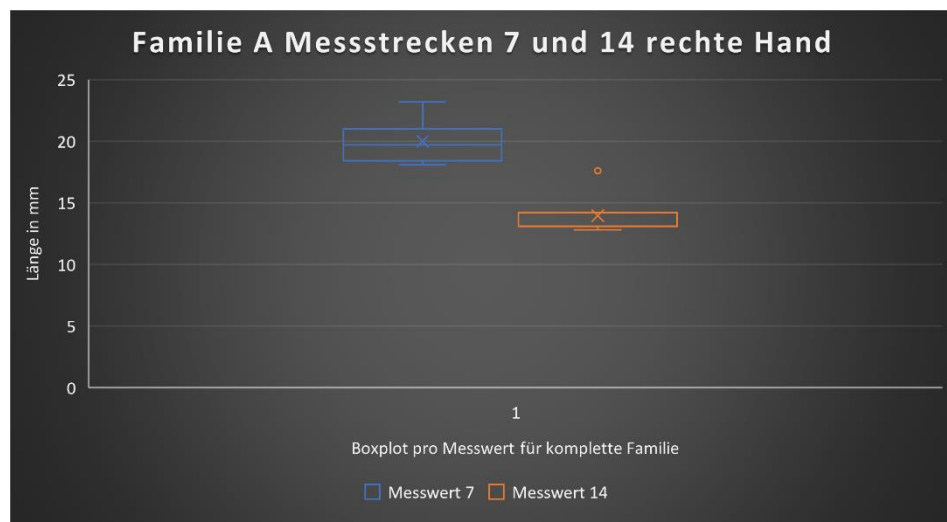


Abbildung 76: Boxplots für die Messstrecken 7 und 14 der rechten Hand, Familie A

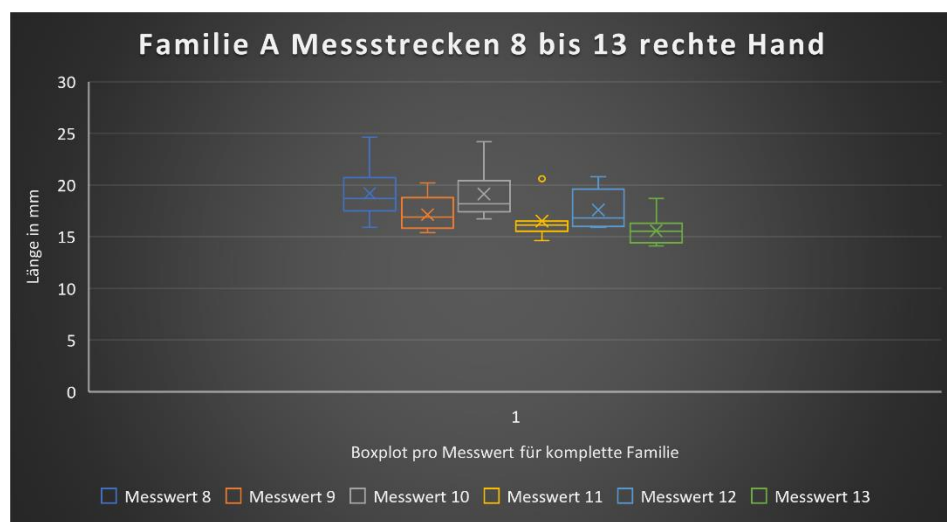
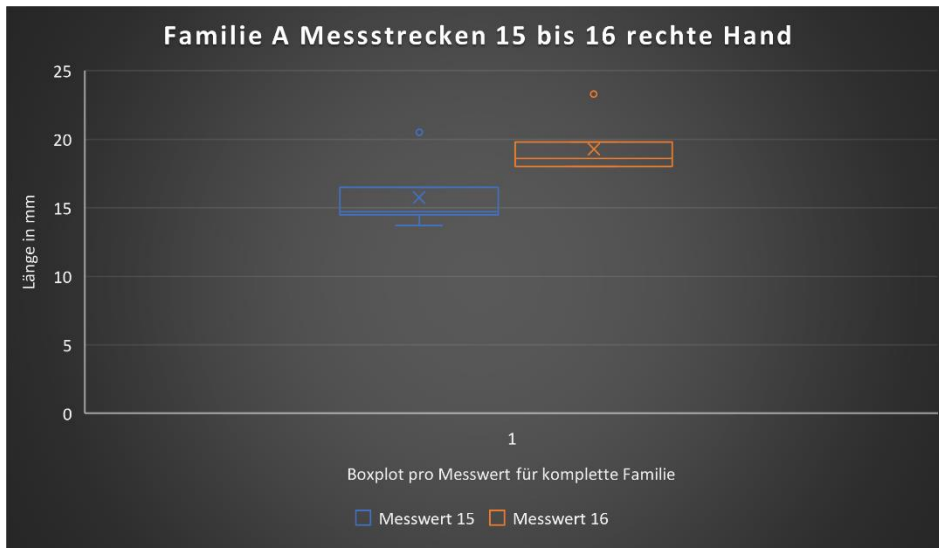


Abbildung 77: Boxplots für die Messstrecken 8 bis 13 der rechten Hand, Familie A



**Abbildung 78: Boxplots für die Messstrecken 15 und 16 der rechten Hand, Familie A**

Die Abbildungen 74 bis 78 zeigen Diagramme, in denen Boxplots der einzelnen Messstrecken der rechten Hand dargestellt sind. Jeder Boxplot wurde mit den Daten aller Personen einer Familie berechnet. Die Boxplots sind farblich gekennzeichnet, um sie den Messwerten eindeutig zuordnen zu können. Die Zuordnung zwischen Farben und Messstrecken ist in der Legende unter jedem Diagramm zu sehen. Die Einheit, in welcher die Werte gemessen wurden, beträgt Millimeter. [Quelle: selbst erstellt]

In Abbildung 74 ist zu sehen, dass die Boxen der Boxplots recht schmal sind. Zudem sind die Whisker in Richtung des Minimums kaum vorhanden. Das Maximum von Messstrecke 2 ist als Punkt dargestellt, was bedeutet, dass es zwischen Maximum und oberem Quartil keine vorhandenen Werte gibt. Aufgrund des schmalen Aufbaus der Boxplots kann geschlossen werden, dass die Werte von A.1 bis A.7 sehr nah beieinander liegen. Wird das zweite Diagramm (Abbildung 75) betrachtet, ist zu erkennen, dass die Boxplots im Gegensatz zum ersten Diagramm größer sind. Die dazugehörigen Messstrecken stehen für die Länge der Finger, ausgenommen des Daumens. Das bedeutet die Werte der Fingerlängen bewegen sich in einem größeren Wertebereich und sind somit verstreuter. Wird das arithmetische Mittel betrachtet kann allerdings festgestellt werden, dass der Mittelfinger der längste Finger im Durchschnitt ist. Gefolgt von Ringfinger, dem Zeigefinger und dem kleinen Finger ergibt sich daraus ein einheitliches Handbild bezüglich der Fingerlängen. Im dritten Diagramm (Abbildung 76) sind die Boxplots der Messstrecken 7 und 14 dargestellt. Der Boxplot von Strecke Nummer 7 ist dabei größer als der von Nummer 14. Das bedeutet die Werte der Personen aus Familie A variieren bei der Breitenmessung des Daumens mehr als bei der Breitenmessung des kleinen Fingers. Bei Strecke 14 stellt das Maximum den einzigen Ausreißer dar. Im Diagramm der Messstrecken 8 bis 13 (Abbildung 77) sind starke Schwankungen der Boxplots zu sehen. Die meisten der Boxplots sind größer, bis auf die der Strecken 11 und 13. Bei den zwei Strecken liegen die Messwerte recht nah beieinander. Zum Teil können die starken Unterschiede dadurch erklärt werden, dass bei einigen Probanden Anomalien in der Handstruktur auftraten, welche in

den vorherigen Kapiteln genauer beschrieben wurden. Im letzten Diagramm der Messstrecken 15 und 16 ist zu sehen (Abbildungen 78), dass beide Boxplots schmal aufgebaut sind. Demzufolge sind sich die Werte sehr ähnlich. Die Maxima der beiden Messstrecken stellen die einzigen Ausreißer über dem oberen Quartil dar. Von den 16 gemessenen Strecken der rechten Hände aus Familie A zeigen 7 Boxplots eine hohe Ähnlichkeit der Werte zueinander. Je mehr Messwerte der Personen nah beieinander liegen, desto mehr erhöht sich die Wahrscheinlichkeit Tendenzen zur Vererbung zu erkennen, da sich die Hände der Personen demnach immer mehr ähneln müssten. Da im Falle der rechten Hand von Familie A nur 7 Boxplots (unter 50% der Messstreckenanzahl) ein solches Ergebnis vorweisen können, kann nicht mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass an den Messwerten ein Vererbungsvorgang nachgewiesen werden kann.

Im Folgenden sind die Boxplots aller Messstrecken der linken Hand aus Familie A dargestellt (Abbildungen 79, 80, 81, 82, 83).

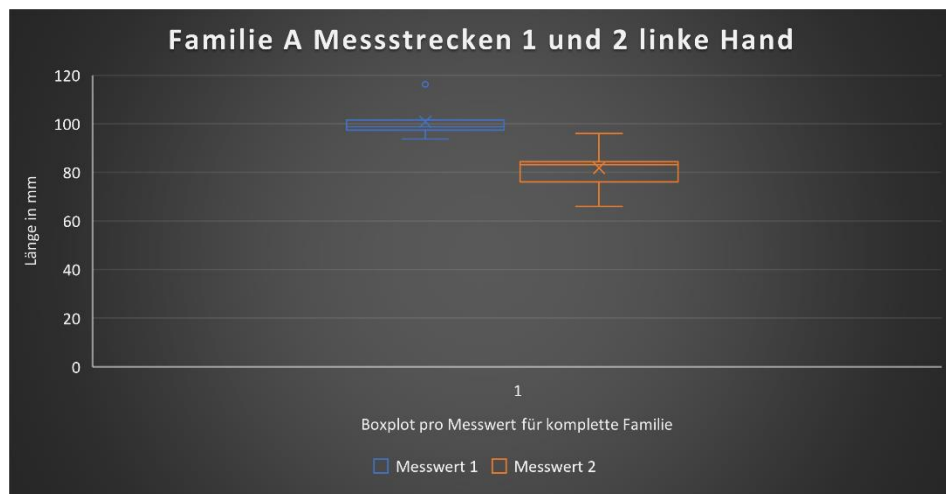


Abbildung 79: Boxplots für die Messstrecken 1 und 2 der linken Hand, Familie A

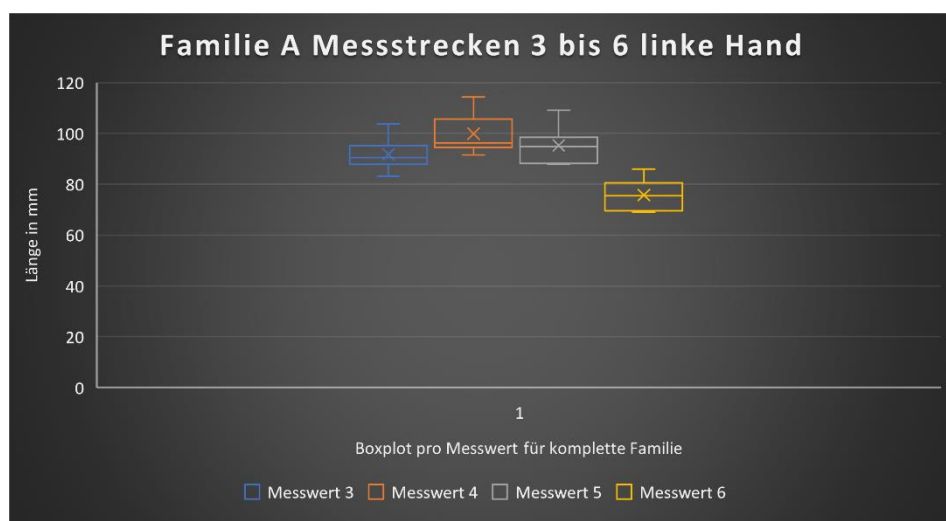


Abbildung 80: Boxplots für die Messstrecken 3 bis 6 der linken Hand, Familie A

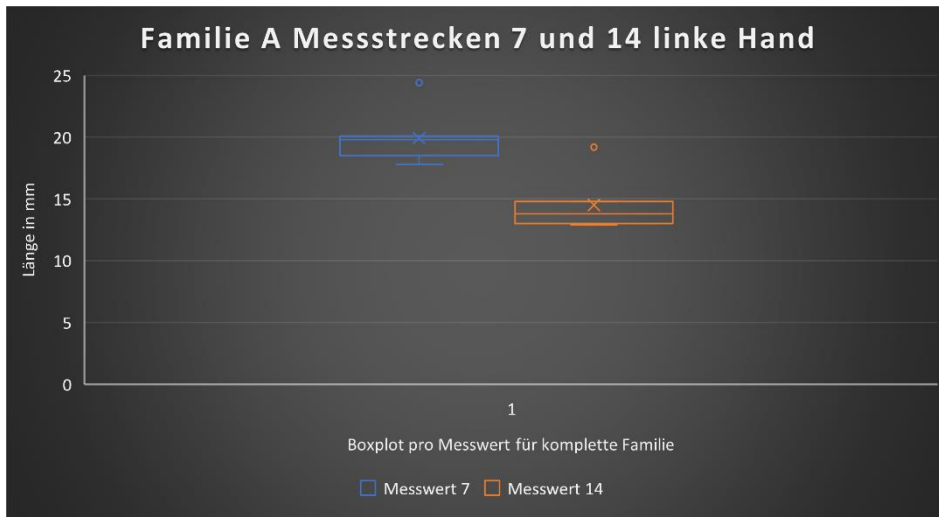


Abbildung 81: Boxplots für die Messstrecken 7 und 14 der linken Hand, Familie A

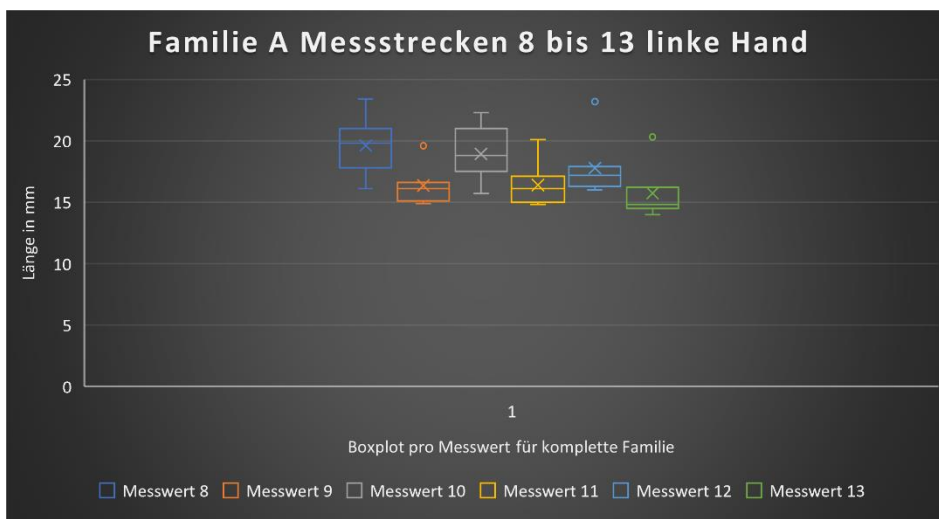


Abbildung 82: Boxplots für die Messstrecken 8 bis 13 der linken Hand, Familie A

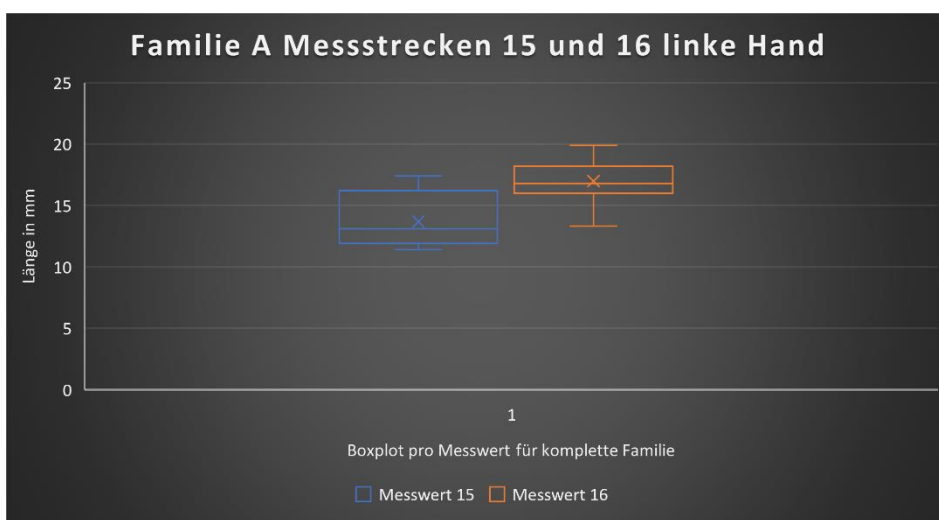


Abbildung 83: Boxplots für die Messstrecken 15 und 16 der linken Hand, Familie A

Die Abbildungen 79 bis 83 zeigen Diagramme, in denen Boxplots der einzelnen Messstrecken der linken Hand dargestellt sind. Jeder Boxplot wurde mit den Daten aller Personen einer Familie berechnet. Die Boxplots sind farblich gekennzeichnet, um sie den Messwerten eindeutig zuordnen zu können. Die Zuordnung zwischen Farben und Messstrecken ist in der Legende unter jedem Diagramm zu sehen. Die Einheit, in welcher die Werte gemessen wurden, beträgt Millimeter. [Quelle: selbst erstellt]

Im ersten Diagramm mit den Boxplots der Messstrecken 1 und 2 (Abbildung 79) ist erkennbar, dass die Boxen sehr schmal sind, wobei die Werte außerhalb der Box bei Strecke Nummer 2 mehr streuen als bei Strecke Nummer 1. Das Maximum von Strecke 1 ist der einzige Ausreißer über dem oberen Quartil. Alle Messwerte der Strecken 1 und 2 liegen demnach sehr eng beieinander. Die Boxplots für die Messstrecken 3 bis 6 (Abbildung 80) zeigen schon größere Schwankungen. Bis auf die Werte von Messstrecke 3 zeigen die jeweiligen Boxplots eine breitere Verteilung ihrer Messwerte. Auch die Streuung der Messwerte außerhalb der Box ist größer. Allerdings ergibt sich wie auch bei der rechten Hand aus Familie A ein einheitliches Bild der Fingerlänge anhand der Betrachtung des arithmetischen Mittels. Demnach ist auch hier der Mittelfinger im Mittel der Längste, gefolgt vom Ringfinger, Zeigefinger und kleinen Finger. Daraus ergibt sich eine Symmetrie der Handpaare bezüglich ihrer Fingerlängen. Bei den Messstrecken 7 und 14 (Abbildung 81) ist eine starke Ähnlichkeit der Messwerte zu erkennen, da die Boxen der Boxplots sehr schmal sind. Zudem sind die Maxima die einzigen Ausreißer im oberen Wertebereich. Im nächsten Diagramm, welches die Boxplots der Messstrecken 8 bis 13 enthält (Abbildung 82), sind wie bei der rechten Hand stärkere Schwankungen zu beobachten. Lediglich die Boxplots der Strecken 9, 12 und 13 zeigen durch ihren schmalen Boxenaufbau eine höhere Ähnlichkeit der gemessenen Werte. Auffällig bei diesen 3 Messstrecken ist, dass ihre Maxima sehr weit oberhalb der Boxen als einzige Ausreißer vorkommen. Beim letzten Diagramm (Abbildung 83) ist die Box der Messstrecke 15 größer als die von Strecke 16. Das bedeutet die Werte von Strecke 15 streuen mehr um den Median herum als die Werte der Messstrecke 16. Insgesamt weisen 9 Boxplots Werte auf, welche näher beieinander liegen als der Rest. Demzufolge ähneln sich 9 Messpunkte bei sieben Personen einer Familie. Bei 16 Messstrecken liegt dieses Verhältnis bei über 50%. Somit ist eine Tendenz bezüglich der Vererbung deutlicher als bei der rechten Hand von Familie A. Eine erbbaare Tendenz ist in diesem Fall wahrscheinlicher, allerdings treten die Ähnlichkeiten in unzureichender Anzahl auf, um ein hinreichend genaues Fazit ziehen zu können.

Im Folgenden sind die Boxplots aller Messstrecken der rechten Hand aus Familie B dargestellt (Abbildungen 84, 85, 86, 87, 88, 89).

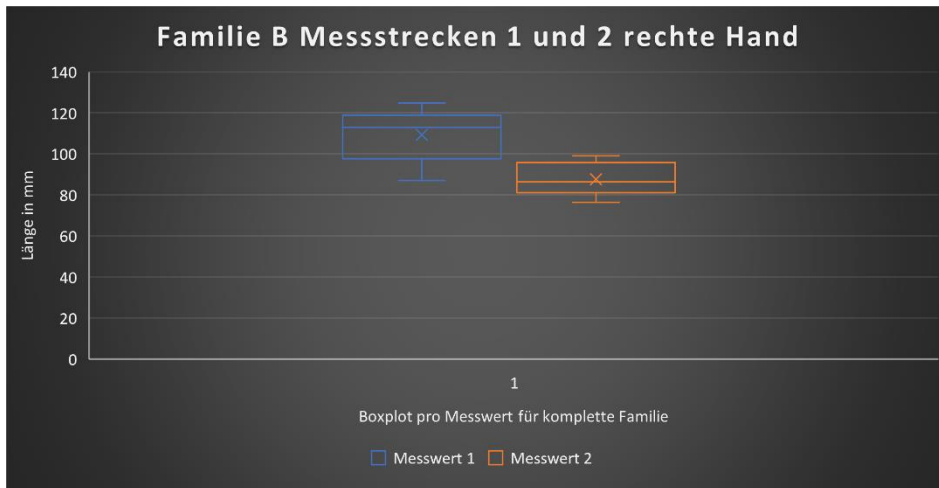


Abbildung 84: Boxplots der Messstrecken 1 und 2 der rechten Hand, Familie B

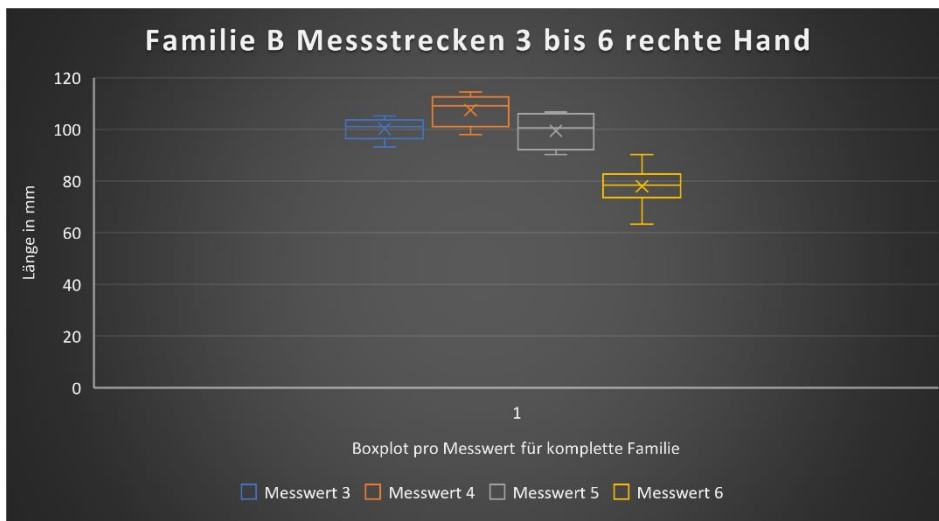


Abbildung 85: Boxplots der Messstrecken 3 bis 6 der rechten Hand, Familie B

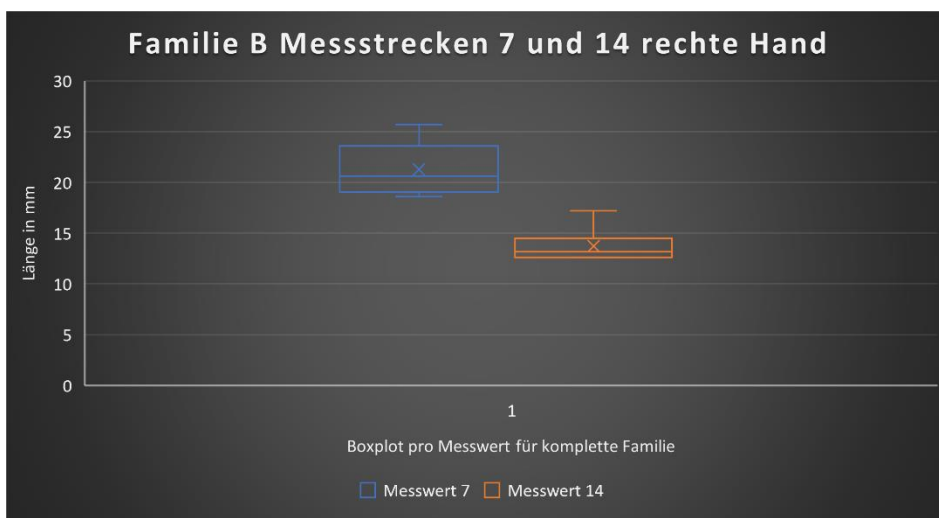


Abbildung 86: Boxplots der Messstrecken 7 und 14 der rechten Hand, Familie B

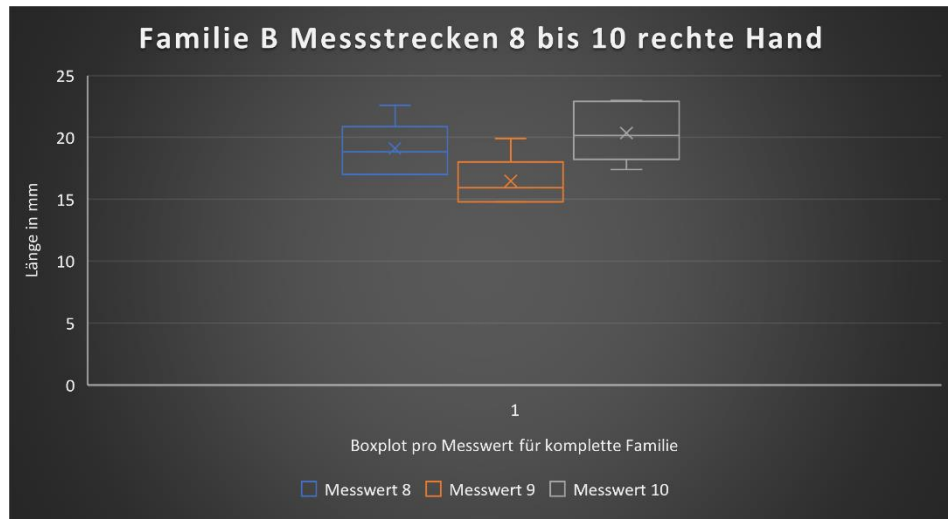


Abbildung 87: Boxplots der Messstrecken 8 bis 10 der rechten Hand, Familie B

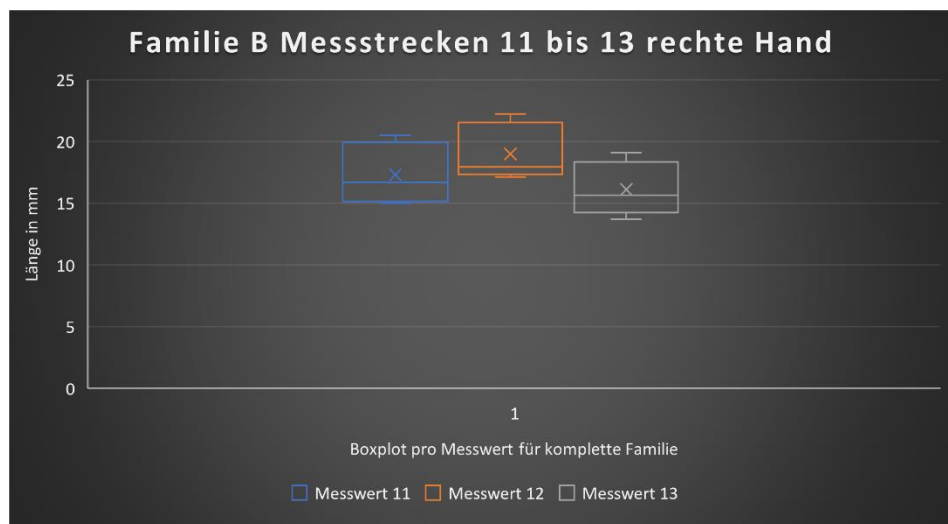


Abbildung 88: Boxplots der Messstrecken 11 bis 13 der rechten Hand, Familie B

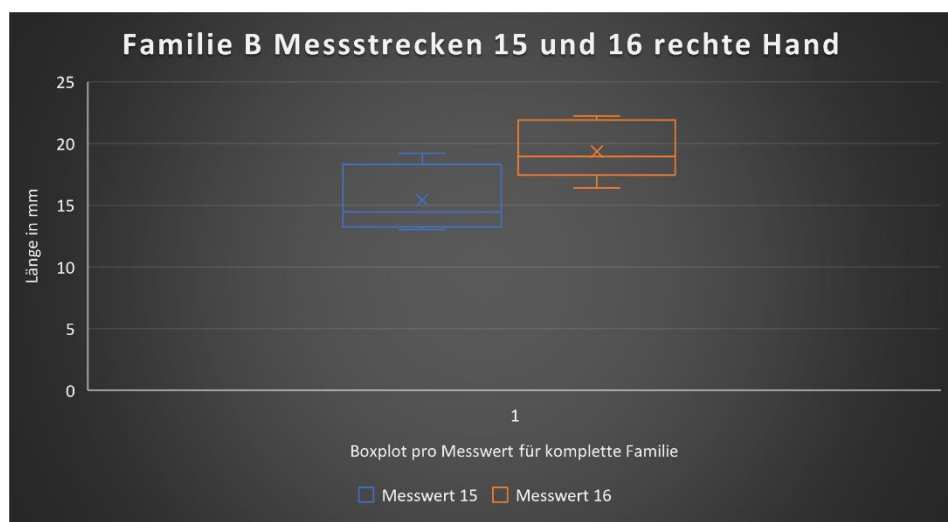


Abbildung 89: Boxplots der Messstrecken 15 und 16 der rechten Hand, Familie B

Die Abbildungen 84 bis 89 zeigen Diagramme, in denen Boxplots der einzelnen Messstrecken der rechten Hand dargestellt sind. Jeder Boxplot wurde mit den Daten aller Personen einer Familie berechnet. Die Boxplots sind farblich gekennzeichnet, um sie den Messwerten eindeutig zuordnen zu können. Die Zuordnung zwischen Farben und Messstrecken ist in der Legende unter jedem Diagramm zu sehen. Die Einheit, in welcher die Werte gemessen wurden, beträgt Millimeter. [Quelle: selbst erstellt]

Im ersten Diagramm (Abbildung 84), welches die Messstrecken 1 und 2 grafisch darstellt, ist zu beobachten, dass die Werte von Strecke Nummer 1 weiter streuen als die Messwerte von Strecke 2. Bei Messstrecke 2 liegen die Werte so nah beieinander, dass die Grenzwerte nicht weit über bzw. unter den Quartilen liegen. Im nächsten Diagramm (Abbildung 85) liegen die Werte der Messstrecken 3 und 6 näher beieinander, während die Werte der Strecken 4 und 5 etwas weiter streuen. Bei allen Boxplots, außer der von Strecke 6, liegen die Grenzwerte nah an der Box, während diese bei Messstrecke 6 weiter entfernt sind. Wie auch bei Familie A kann auch hier anhand der Betrachtung des arithmetischen Mittels ein Handbild bezüglich der Fingerlänge herausgearbeitet werden. Demnach ist der Mittelfinger im Mittel der Längste, gefolgt vom Zeigefinger, Ringfinger und dem kleinen Finger, welcher um einiges kürzer ist. In Abbildung 86 ist erkennbar, dass die Werte von Messstrecke 14 aufgrund der schmalen Box enger beieinander liegen und somit sehr ähnlich sind. Die Werte bei Strecke Nummer 7 streuen dabei mehr. Die Maxima sind bei diesen zwei Boxplots weiter von der Box entfernt als die Minima. Die Messstrecken 8 bis 13 (Abbildungen 87 und 88) zeigen einheitlich große Streuungen. Dabei liegen die Grenzwerte allerdings zum Großteil nahe der Boxen, welche 50% der eingespeisten Daten enthalten. Auch die Messstrecken 15 und 16 (Abbildung 89) weisen relativ große Streuungen auf, sodass kaum von Ähnlichkeit der Messwerte gesprochen werden kann. Insgesamt kann bei 4 Boxplots ein näheres Zusammenliegen der Messwerte beobachtet werden. Da dies in Bezug auf alle 16 Messstrecken weit unter 50% liegt, kann hier nicht festgestellt werden, ob die Messstrecken der 4 Boxplots aufgrund von Vererbung so ähnlich sind oder dies doch andere Faktoren hat. Bei Familie B muss zudem beachtet werden, dass es zwei Stammelternpaare gibt, welche jeweils ein Kind hervorbringen. Demnach sind die genetischen Beziehungen in kleinerer Zahl vorhanden, als es bei Familie A der Fall ist.

Im Folgenden sind die Boxplots aller Messstrecken der linken Hand aus Familie B dargestellt (Abbildungen 90, 91, 92, 93, 94, 95).



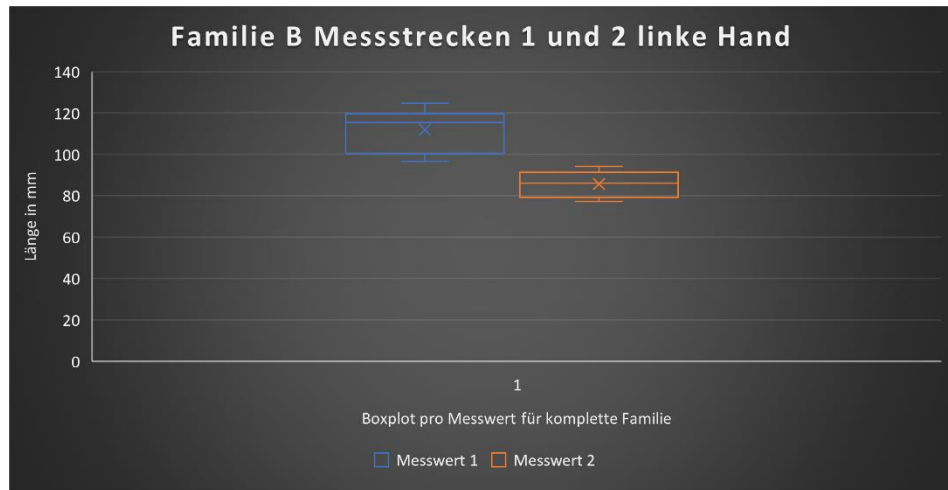


Abbildung 90: Boxplots der Messstrecken 1 und 2 der linken Hand, Familie B

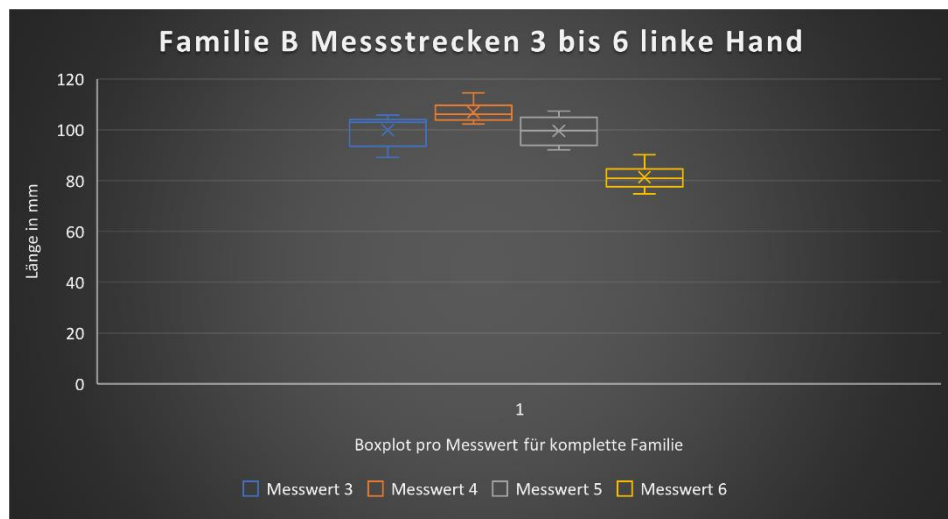


Abbildung 91: Boxplots der Messstrecken 3 bis 6 der linken Hand, Familie B

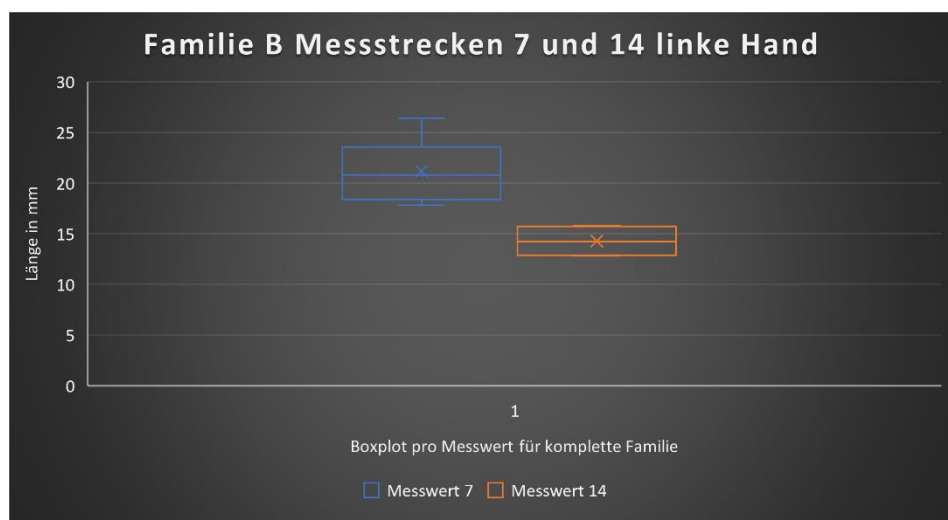


Abbildung 92: Boxplots der Messstrecken 7 und 14 der linken Hand, Familie B

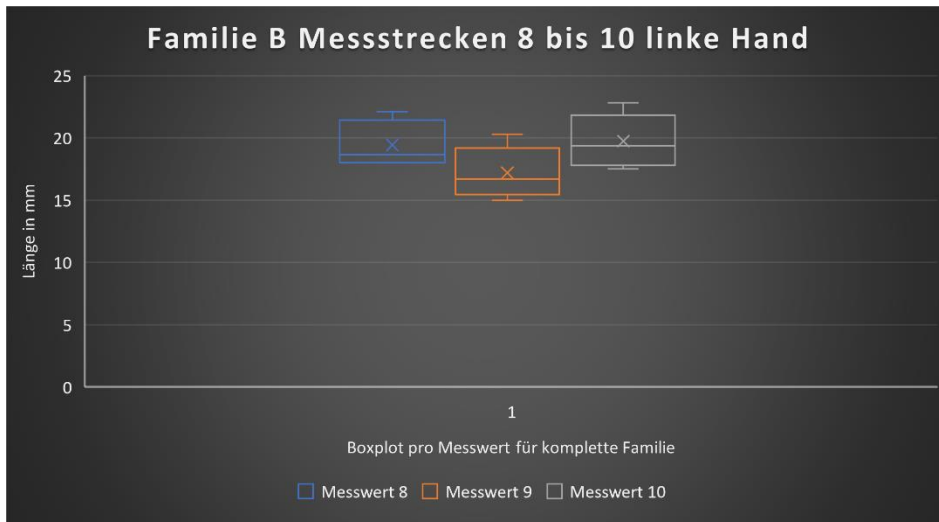


Abbildung 93: Boxplots der Messstrecken 8 bis 10 der linken Hand, Familie B

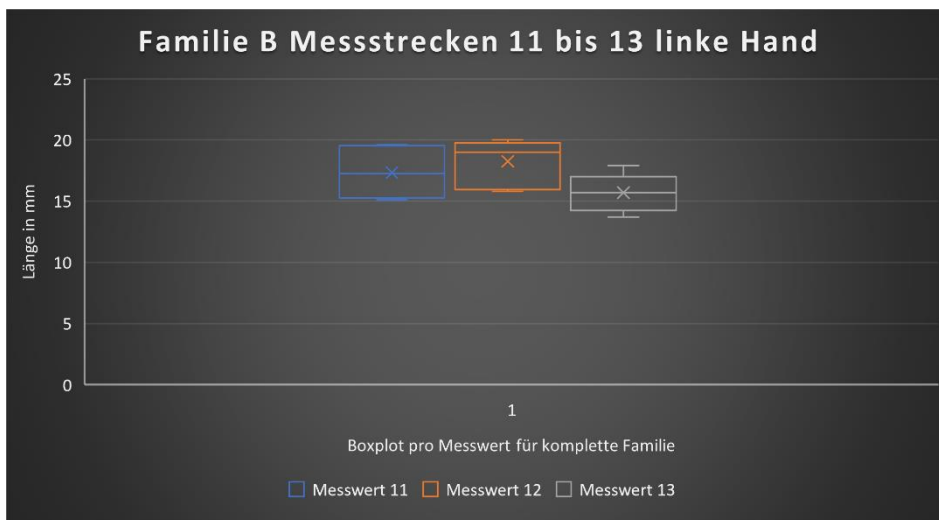


Abbildung 94: Boxplots der Messstrecken 11 bis 13 der linken Hand, Familie B

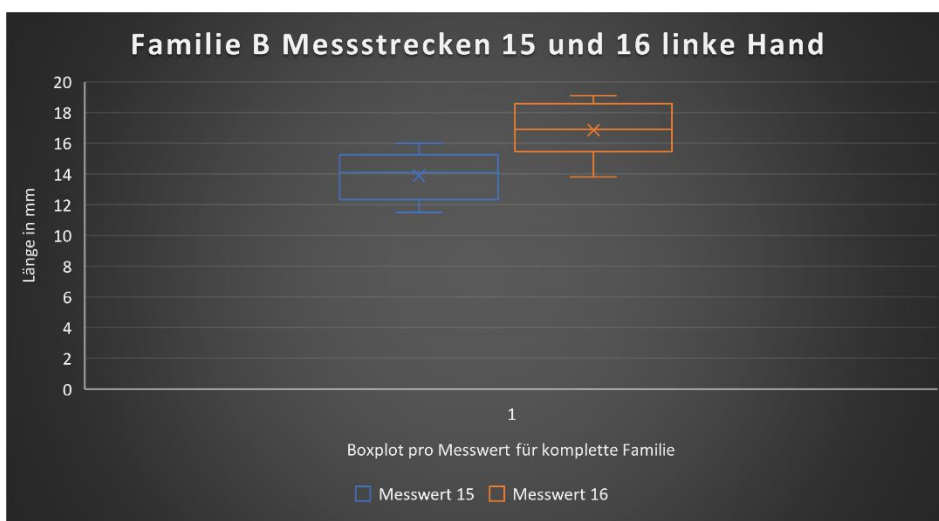


Abbildung 95: Boxplots der Messstrecken 15 und 16 der linken Hand, Familie B

Die Abbildungen 90 bis 95 zeigen Diagramme, in denen Boxplots der einzelnen Messstrecken der linken Hand dargestellt sind. Jeder Boxplot wurde mit den Daten aller Personen einer Familie berechnet. Die Boxplots sind farblich gekennzeichnet, um sie den Messwerten eindeutig zuordnen zu können. Die Zuordnung zwischen Farben und Messstrecken ist in der Legende unter jedem Diagramm zu sehen. Die Einheit, in welcher die Werte gemessen wurden, beträgt Millimeter. [Quelle: selbst erstellt]

Aus den Boxplots der Messstrecken 1 und 2 (Abbildung 90) geht hervor, dass die Messwerte von Strecke Nummer 1 weiter streuen als die Werte von Strecke Nummer 2. Die Werte von Nummer 2 liegen sehr nah beieinander, was aufgrund der schmalen Box geschlossen werden kann. Bei beiden Messstrecken liegen die Grenzwerte nicht weit von den Quartilsgrenzen entfernt. Im zweiten Diagramm (Abbildung 91) ist zu sehen, dass die Messwerte der Strecken 4 und 6 am nächsten beieinander liegen, während die Boxen der Strecken 3 und 5 größer sind, wodurch deren Werte weiter auseinander verstreut gemessen wurden. Auch hier sind die Grenzwerte in keinem großen Abstand zu den jeweiligen Boxen. Wie bei den vorher analysierten Messwerten der anderen Hände kann bei der linken Hand von Familie B ebenfalls ein Handbild bezüglich der Fingerlänge herausgearbeitet werden. Nach Betrachtung der Position des arithmetischen Mittelwerts geht der Mittelfinger als längster Finger hervor, gefolgt vom Zeigefinger, Ringfinger und dem kleinen Finger, welcher wiederholt um einiges kürzer ist. Genauso wie bei Familie A kann anhand des ermittelten Fingerbildes eine Symmetrie der jeweiligen Handpaare erkannt werden. In Abbildung 92 ist herauszulesen, dass die Messwerte der Strecke Nummer 7 um einiges mehr streuen als die Werte von Strecke 14. Diese liegen sehr nah beieinander, was aufgrund der schmalen Box deutlich wird. Zudem liegen die Grenzwerte von Messstrecke 14 fast genau auf den Quartilsgrenzen, was die Streuung, der außerhalb der Box liegenden Werte, stark begrenzt. Die Boxplots, welche die Messstrecken 8 bis 13 (Abbildungen 93 und 94) darstellen, zeigen alle eine recht große Streuung der vorliegenden Messwerte auf. Demzufolge zeigen die entsprechenden Messwerte kaum Ähnlichkeiten. Auch im letzten Diagramm (Abbildung 95) zeigen die Messstrecken 15 und 16, dass die jeweiligen Messwerte recht weit auseinanderliegen. Auch bei der linken Hand aus Familie B kann nur bei 4 Boxplots eine hohe Ähnlichkeit der Messwerte beobachtet werden. Wie bei der rechten Hand kann demzufolge nicht mit ausreichend großer Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass die Ähnlichkeiten erblich bedingt sind. Als großen Einflussfaktor hierbei wird vermutet, dass die Werte der zwei Personen aus der ersten Filialgeneration zu wenig sind, sodass die Messwerte der vier Personen aus der Stammeltern-generation, welche nicht genetisch miteinander verwandt sind, einen zu großen Einfluss haben. Dadurch streuen die Werte mehr aus und weniger Ähnlichkeit kann beobachtet werden.

## 6 Diskussion der Ergebnisse

### 6.1 Scanneraufnahmen

Das größte Problem bei den Aufnahmen, welche mit dem Scanner angefertigt wurden, besteht in der teilweise sehr schlechten Qualität der Bilder. Einige Stellen sind zu hell oder zu dunkel, andere Stellen konnten vom Scanner nicht erfasst werden, sind somit nicht vorhanden oder werden überlagert durch vorherige Abdrücke. Die zu hellen Stellen sind größtenteils der schlechten Qualität der Papillarleisten der Personen geschuldet. Betroffen davon sind vor allem die Personen aus den Stammelterngenerationen. Dieser Faktor kann leider nicht umgangen werden, da die Papillarleistenstruktur mit dem Alter immer undeutlicher wird. Die dunklen Stellen haben ihre Ursache hauptsächlich darin, dass beim Auflegen der eingescannten Bereiche zu viel Druck ausgeübt wurde. Der Druck, welcher ausgeübt wird, ist schwer für alle Personen einheitlich zu beschreiben, da jeder ein subjektives Verständnis davon hat. Werden die Probanden also gebeten während der Aufnahme mit der aufgelegten Fläche leichten Druck auszuüben, fällt dies bei jedem anders aus. Zusätzlich ist es auch abhängig davon, wieviel Handschweiß eine Person in dem Moment der Aufnahme bildet. Schweiß lässt die Papillarleisten zwar deutlicher hervorheben in der Aufnahme, allerdings kann zu viel Schweiß mehrere dunkle Stellen hervorrufen, aus welchen dann keine Informationen extrahiert werden können. Dies könnte umgangen werden, indem die Personen vor der Aufnahme eine Weile in einem Raum mit Zimmertemperatur warten, sodass die Schweißproduktion möglichst normalisiert wird. Danach müssten sich die Probanden gründlich die Hände reinigen, im besten Fall mit Wasser und Desinfektionsmittel. Danach müssten die Hände mit einem Lufttrockner getrocknet werden, da dadurch keine Partikel von Handtüchern an die Hände gelangen. Die fehlerhaften Überlagerungen in einigen Abdrücken können nur durch gründliche Reinigung des Scanners verhindert werden. Trotz gründlicher Reinigung mit einem Brillenputztuch, welches keine Schlieren hinterlässt, traten nach jeder Aufnahme Überlagerungen mit vorherigen Aufnahmen auf. Eine Verbesserung wäre es, den Scanner zusätzlich nach jeder Aufnahme mit einem Reinigungs- oder Desinfektionsmittel zu reinigen, welchen Sekretablagerungen entfernen kann. Die Abdrücke von B.7 mittels Fingermalfarbe sind auch alles andere als optimal, da viel zu wenige Informationen daraus extrahiert werden konnten, sodass Person B.7 in vielen Analysen außen vorgelassen wurde. Dies wirkt sich negativ auf die Ergebnisse aus, da dadurch in Familie B eine komplette Filialgeneration fehlt. In diesem Zuge müsste eine spielerische Methode erarbeitet werden, vor welcher ein Kind nicht zurückschreckt und aus welcher ausreichend viele Informationen gewonnen werden können. Ein Vorschlag hierbei wäre die gleiche Methodik, wie mit Fingermalfarbe zu verwenden, nur in diesem Fall handelsübliche Tinte zu benutzen.

## 6.2 Handfotos

Bei der Station der Handfotos bestanden mehrere Probleme. Die selbst erstellten Vorlagen, welche eine ähnliche Handposition für alle Personen ermöglichen sollten, war nicht optimal. Zum einem wurde die Vorlage anhand einer recht großen Hand erstellt, das bedeutet für kleinere Hände war es schwierig, die richtige Position einzuhalten. Dadurch konnten nicht alle Personen die gleiche Handposition einhalten. Des Weiteren waren die Orientierungspunkte lediglich aufgemalt, wodurch es auch zu Verschiebungen kommen konnte. Dieses Problem könnte umgangen werden, wenn eine stabile Vorlage erstellt werden würde, bei denen die Orientierungspunkte zylinderförmige Stäbe wären, welche die Hände in einer festen Position halten. Um den Größenunterschied der Hände ausgleichen zu können, wäre es einerseits möglich verschiedene Vorlagen in unterschiedlichen Größen zu erstellen oder zu versuchen eine allgemeine Vorlage für alle Handgrößen zu erstellen. Dies erfordert möglicherweise mehrere Versuche, um die perfekten Maße zu erhalten. Ein weiteres Problem bei den Fotoaufnahmen der Hände besteht in der sehr schwankenden Qualität der Bilder. Dabei ist auffällig, dass die meisten Bilder unterschiedliche Lichtverhältnisse aufweisen und der Winkel der Aufnahmen auch verschieden ist. Dadurch kann eine gleiche Perspektive nicht gewährleistet werden. Durch die ungleichen Lichtverhältnisse wird es erschwert, die Handfurchen zu betrachten und ihren Verlauf nachzuvollziehen. Um diese Probleme zu vermeiden, ist ein gleichmäßig ausgeleuchteter Bereich notwendig, in dem die Fotoaufnahmen angefertigt werden. Für eine gleiche Perspektive der Fotos, von oben senkrecht auf die Hand fotografiert, besteht die Möglichkeit ein Stativ zu verwenden und die Kamera entsprechend einzustellen. Durch die gleichbleibenden Lichtverhältnisse dürfte es dann nicht mehr notwendig sein, die Einstellungen der Kamera zu verändern. Dadurch können zusätzlich zu den bisher analysierten Merkmalen weitere Features, wie verschiedene Hauttöne, untersucht werden. Diese waren auf den Aufnahmen zum Teil nur schwer zu erkennen. Eine weitere Überlegung wäre es, auch Fotoaufnahmen von den Seiten aufzunehmen. Dadurch wäre es beispielsweise bei Krankheiten möglich zusätzliche Perspektiven zu erhalten und somit eine genauere Beschreibung liefern können. All diese Verbesserungsvorschläge benötigen eine ausgiebige Vorbereitung, bei welcher ein Vertraut machen mit der Ausrüstung und das Optimieren der Einstellungen im Vordergrund stehen. Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens, welcher für die Datenaufnahme zur Verfügung stand, war eine solch umfangreiche Vorbereitung nicht möglich.

## 6.3 Handgeometrie

Das größte Problem bei der Station der Handvermessung bestand in den Messschiebern. Diese enthalten sowohl eine digitale als auch eine manuelle Anzeige der gemessenen Strecke. Aufgrund der genaueren Werte wurde dabei Hauptaugenmerk auf die digitale Anzeige gelegt. Im Verlauf der Datenaufnahme kam es allerdings vor, dass die Messschieber nicht mehr richtig funktionierten. In diesem Zuge zeigten sie entweder Messwer-

te an, welche nicht stimmen konnten oder ein Messen der vorgegebenen Strecken war erst gar nicht möglich. Die Messung wurde deswegen mit mehreren Messschiebern durchgeführt, allerdings wiesen alle das gleiche Problem auf. Hätten Ersatzbatterien zur Verfügung gestanden, wäre dieses Problem möglicherweise behoben worden. In diesem Fall konnten die Batterien nicht ausgetauscht werden. Demzufolge musste im fortschreitenden Verlauf der Datenaufnahme auf manuelles Ablesen der Messwerte umgeschaltet werden. Die manuellen Werte sind ungenauer als die digitalen Werte, was daran liegt, dass diese mit bloßem Auge abgelesen werden und nicht von Sensoren erfasst werden. Durch diese Probleme ist es möglich, dass es bei den Messwerten zu Ungenauigkeiten kommen kann. Um dies zu vermeiden wären Mehrfachmessungen notwendig gewesen, aus denen dann das arithmetische Mittel gebildet wird, welches dann als Endwert angesehen wird. Doch diese Methode erfordert sehr viel Zeit, welche im Falle dieses Projektes nicht zur Verfügung stand. Ein weiteres Problem liegt in den Messstrecken an sich. Anhand eines Bildes wurde abgeleitet, wo welche Messstrecke anfängt bzw. aufhört. In der Literatur konnte dabei keine einheitliche Beschreibung gefunden werden. Die exakten Messpunkte der Strecke dann am lebenden Probanden zu treffen, erfordert Erfahrung mit dieser Methode, welche nicht gegeben war. Auch hier würden sich Mehrfachmessungen anbieten, um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen und die Streuung abweichender Messergebnisse einzugrenzen.

## 6.4 Fazit

Als Pilotprojekt für die Erfassung biometrischer Merkmale der Hand liefert die im Rahmen des Bachelorprojektes durchgeführte Datenaufnahme eine umfassende Grundlage. Allerdings können an der Durchführung noch einige Verbesserungen vorgenommen werden, welche jedoch mehr Vorbereitungszeit benötigen. Diese wird für eventuelle Nachforschungen ausdrücklich empfohlen. Wenn die hier beschriebenen Methoden entsprechend verbessert werden, wäre es denkbar daraus weitere Untersuchungsmethoden zu entwickeln und somit mehr Ergebnisse zu erhalten, welche die Vererbungstheorien bestätigen bzw. widerlegen können.

## 7 Ausblick für weiterführende Arbeiten

Dieses Projekt bildet eine Grundlage für eine Vielzahl weiterführender Forschungen. Der vorhandene Datensatz kann erweitert werden, das bedeutet im Allgemeinen können mehr Daten analysiert werden, wodurch erbliche Tendenzen stärker hervortreten können. Ein Punkt, mit dem sich ein weiterführendes Projekt beschäftigen kann, ist eine Minutienanalyse der Fingerabdrücke orientiert an der Arbeit von Ökrös. Dabei kann untersucht werden, ob bei den Minutien Tendenzen zur Vererbung erkennbar sind. Ein weiteres Thema könnte sich mit der Analyse von Röntgenaufnahmen der Hände beschäftigen. Dies erfordert allerdings die nötige Ausrüstung und könnte in Kooperation mit anderen Institutionen verwirklicht werden, wenn vorher eine genaue Aufklärung und vermutlich auch ein Ethikvotum erfolgt ist. Denn hierbei handelt es sich um einen Eingriff in die Gesundheit eines Menschen. Dadurch wäre es möglich die Knochenstrukturen der Hände innerhalb einer Familie zu vergleichen, da diese nur bedingt von außen sichtbar sind. Die einzelnen Untersuchungen, welche in diesem Projekt durchgeführt wurden, könnten außerdem einzeln betrachtet werden. Dadurch sind spezifischere Analysen und somit auch genauere Ergebnisse möglich. Wenn weitere Handaufnahmen mit gleichbleibender und sehr guter Beleuchtung angefertigt werden, ist eine Untersuchung der Hautoberflächenstruktur durchaus möglich. Dabei können Gemeinsamkeiten zwischen Hauttönen und spezifischen Pigmenteinlagerungen untersucht werden. Da im Zuge dieses Bachelorprojektes das Hauptaugenmerk auf Familienverbänden lag, kann sich ein weiterführendes Projekt mit nicht verwandten Personen hinsichtlich biometrischer Merkmale der Hand beschäftigen. Daraus können Vergleiche zwischen den Ergebnissen von Familien und unabhängigen Personen genauere Ergebnisse liefern, mit welchen sich die vorgestellten Theorien bestätigen oder widerlegen lassen. Auch die Entwicklung neuer Methoden zur Untersuchung biometrischer Merkmale stellt ein Thema dar, welches dieses Projekt weiterführt. Mittels Infrarotkameras wäre es zusätzlich möglich Venenmuster praktisch zu untersuchen, da dieses biometrische Merkmal in der hier vorliegenden Arbeit lediglich theoretisch behandelt werden konnte. Wie in diesem Projekt hervorging, stellen Studien bei eineiigen Zwillingen einen wichtigen Punkt in der Vererbungsforschung dar. Allerdings gibt es bei monozygoten Zwillingen Unterschiede in der Schwangerschaft, deren Einfluss in einem weiteren Projekt behandelt werden kann. Dabei können die Verhältnisse der Eihäute betrachtet werden. Es kann unterschieden werden, ob sich eineiige Zwillinge im Mutterleib eine Plazenta geteilt haben, sowie zusammen nur eine Amnionhöhle (innere Eihaut) und Chorionhöhle (äußere Eihaut) besaßen oder ob sie sich eine Plazenta und eine Chorionhöhle teilten und jeder für sich eine eigene Amnionhöhle hatte. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass jeder der Zwillinge eine eigene Plazenta, Amnionhöhle sowie Chorionhöhle besessen hätte. Letzteres würde bedeuten, dass sie frühzeitig in der Schwangerschaft unterschiedlichen Umweltfaktoren ausgesetzt gewesen wären.

## Literatur

- [Amboss] Haut und Hautanhangsgebilde; 2021;  
<https://next.amboss.com/de/article/so0tWS?q=leistenhaut#Zc7abd0400bf63ac17572dcf518648457> verfügbar am 02.06.2021
- [Arasteh et. Al, 2018] Duale Reihe- Innere Medizin; Arasteh, Baenkler, Bieber et. Al; Thieme, 4. Auflage; 2018, Seiten 1357, 1358
- [B1] <https://www.brainyoo.de/Brainyoo2Web/haut-967001132-Lernkarte.html>, verfügbar am 03.08.2021
- [B2] <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/jgen/015/01/0001-0111>, verfügbar am 22.04.2021
- [B3] <https://docplayer.org/docs-images/72/67913540/images/26-0.jpg>, verfügbar am 29.07.2021
- [B4] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Hand\\_Geometry\\_and\\_Measurements.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Hand_Geometry_and_Measurements.jpg), verfügbar am 03.08.2021
- [Bowyer, Flynn, 2016] Biometric identification of identical twins: A survey; Kevin W. Bowyer, Patrick J. Flynn; IEEE 8th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS); 2016; URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7791176> verfügbar am 08.09.2021
- [BR, 2021] Forscher kartieren menschlichen Bauplan; BR Wissen; 08.02.2021; <https://www.br.de/wissen/menschliches-erbgut-dna-gen-human-genom-project-venter100.html> verfügbar am



08.09.2021

- [BSI] Grundsätzliche Funktionsweise biometrischer Verfahren; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik; [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Technologien\\_sicher\\_gestalten/Biometrie/AllgemeineEinfuehrung/allgemeineeinfuehrung\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Technologien_sicher_gestalten/Biometrie/AllgemeineEinfuehrung/allgemeineeinfuehrung_node.html) verfügbar am 25.05.2021
- [Eugene Fischer, 1939] Versuch einer Phänogenetik der normalen körperlichen Eigenschaften des Menschen; Eugene Fischer; Zeitschrift für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre; 1939; <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01740885> verfügbar am 22.04.2021
- [Evelyn John Evatt, 1906] The Development and Evolution of the „Papillary“ Ridges and Patterns on the Volar Surface of the Hand; Evelyn John Evatt; Anatomical Society of Great Britain and Ireland; 1906; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1289095/> verfügbar am 22.04.2021
- [Fabian Hauf, 2013] Wie der Vater so der Sohne- Untersuchungen zur Vererbbarkeit der Grundmuster von Fingerabdrücken; Fabian Hauf; Junge Wissenschaft 99; 2013; [https://www.junge-wissenschaft.ptb.de/fileadmin/paper/bis\\_2017/pdf/juwi-99-2013-02.pdf](https://www.junge-wissenschaft.ptb.de/fileadmin/paper/bis_2017/pdf/juwi-99-2013-02.pdf) verfügbar am 29.04.2021
- [Fazekas, Veress, 1967] Kritische Bewertung der Ökrösschen daktyloskopischen Untersuchungsmethode auf Grund von Untersuchungen an sog. Sicheren Familien und in gerichtlich-medizinischen Fällen; I. Gy. Fazekas, L. Veress; Institut für Gerichtliche Medizin der Universität Szeged, 09.03.1967; URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00593525.pdf> verfügbar am 08.09.2021

- [Freerksen, 1937] Die Venen des menschlichen Handrückens; Enno Freerksen; Anatomisches Institut Gießen; 1937; URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02134549.pdf> verfügbar am 04.10.2021
- [Gloria Behrens, 2001] Biometrische Identifikation: Grundlagen, Verfahren, Perspektiven; Hrsg.: Michael Behrens, Richard Roth; Vieweg + Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden; 2001; Kapitel 4 Humangenetische Aspekte: Zusammenhang zwischen Biometrik, Körpermerkmalen und Genen, Seite 55-69; <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-322-90843-8> verfügbar am 22.04.2021
- [Holt, 1953] Genetics of dermal ridges: Inheritance of total finger ridge-count; Sarah B. Holt; Galton Laboratory; 1953; URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-1809.1953.tb02542.x> verfügbar am 04.10.2021
- [Ina Hübener, 2011] Menschen ohne Fingerabdruck; Ina Hübener; Stuttgarter Nachrichten; 2011; <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.medizin-menschen-ohne-fingerabdruck.346dba89-4859-4475-9617-ecd33e0eb2a9.html> verfügbar am 29.04.2021
- [KIT, 2021] Forschung im botanischen Garten; Karlsruher Institut für Technologie; Der Garten des Botanischen Instituts; 10.09.2021; URL: <https://www.botanik.kit.edu/garten/848.php> verfügbar am 04.10.21
- [Kristine Bonnevie, 1924] Studies on Papillary Patterns of Human Fingers; Kristine Bonnevie; University of Kristiania; 1924; <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/jgen/015/01/0001-0111> verfügbar am 22.04.2021
- [Maltoni et. Al, 2009] Handbook of Fingerprint Recognition; D. Maltoni, D. Maio, A. Jain, S. Prabhakar; Springer-Verlag; 2. Auflage; 2009; URL:

- <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84882-254-2> verfügbar am 04.11.2021
- [Mendel'sche Regeln, 2021] Mendel'sche Regeln; Studyfix; 2021; URL: <https://studyflix.de/biologie/mendelsche-regeln-2650> verfügbar am 02.11.21
- [Michael Kücken, 2005] Fingerprint foration; Michael Kücken, Alan C. Newell; Journal of Theoretical Biology 235; 2005; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022519304006198> verfügbar am 07.05.2021
- [Michael Kücken, 2013] Merkel cells and the individuality of friction ridge skin; Michael Kücken; Journal of Theoretical Biology 317; 2013; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022519312005346> verfügbar am 07.05.2021
- [Peter Frey, 2008] Was der Fingerabdruck über die Gesundheit verrät; Peter Frey; Welt; 2008; <https://www.welt.de/wissenschaft/article1720659/Was-der-Fingerabdruck-ueber-die-Gesundheit-verraet.html> verfügbar am 02.08.2021
- [Peter Zukowski] Biometrie; Peter Zukowski; [https://homepages.thm.de/~hg10013/Lehre/MMS/WS0304\\_SS04/Zukowski/text.htm](https://homepages.thm.de/~hg10013/Lehre/MMS/WS0304_SS04/Zukowski/text.htm) verfügbar am 22.04.2021
- [Saha, Chauhan, 2020] Determination of genetic inherited Features in palmar surface among the family members; Tanmay Saha, Dr. Amit Chauhan; Amity Institut of Forensic Sciences, Amity University, Noida, sec-125, Uttar Pradesh, INDIA-201313; URL: <http://www.druckhaus-hofmann.de/gallery/17-wj-may-2242.pdf> verfügbar am 01.11.2021
- [Sengbusch, 1985] Einführung in die Allgemeine Biologie; Peter von Sengbusch; Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo; 3. Auflage 1985; URL: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642->

70077-4\_21 verfügbar am 08.09.2021

- [TechTarget, 2008] Definition Biometrie; Redaktion ComputerWeekly.de; TechTarget; 2008; <https://www.computerweekly.com/de/definition/Biometrie> verfügbar am 25.05.2021
- [Tietze, Witthuhn, 2001] Papillarleistenstruktur der menschlichen Handinnenfläche und Bestimmung des spurenverursachenden Papillarleistenbereichs bei Handflächen Spuren; Steffi Tietze, Klaus Witthuhn; Hermann Luchterhand Verlag GmbH; 2001; [https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj0nP-F4\\_jwAhXLhqQKHdq2AYYQFjABegQIBRAD&url=https%3A%2F%2Fwww.bka.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2FPublikationen%2FPublikationsreihen%2FPolizeiUndForschung%2F1\\_09\\_PapillarleistenstrukturDerMenschlichenHandinnenflaecheUndBestimmungDesSpurenverursachendenPapillarbereichsBeiHandflaechenspu-ren.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D3&usg=AOvVaw3fm8iAtRcb56dOdTZnJ1Ei](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj0nP-F4_jwAhXLhqQKHdq2AYYQFjABegQIBRAD&url=https%3A%2F%2Fwww.bka.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2FPublikationen%2FPublikationsreihen%2FPolizeiUndForschung%2F1_09_PapillarleistenstrukturDerMenschlichenHandinnenflaecheUndBestimmungDesSpurenverursachendenPapillarbereichsBeiHandflaechenspu-ren.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D3&usg=AOvVaw3fm8iAtRcb56dOdTZnJ1Ei) verfügbar am 15.03.2021
- [Wilder, 1916] Biological Bulletin, Palm and Sole Studies; Harris Hawthorne Wilder; 1916; URL: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.2307/1536265> verfügbar am 08.09.21

## Anlagen

Datenblatt Vorlage.....	A-I
Notizen zu den Messstrecken der Handgeometrie.....	A-III

# Anlagen, Datenblatt Vorlage

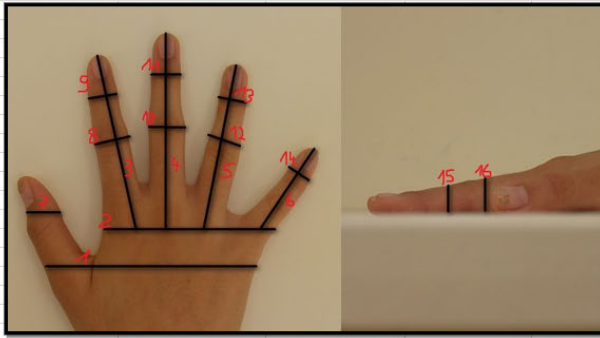
<b>Datenblatt</b>							
<b>Allgemeine Daten:</b>							
Personen-ID		Herkunft					
Geburtsdatum, Alter		Körpergröße					
Biologisches Geschlecht		Rechts/Linkshänder					
Nr. der Familie							
Familienrolle (Vater, Kind,...)							
(genetische) Krankheiten							
<b>Daten der Fingerabdrücke:</b>				<b>Bemerkungen zu den FAs:</b>			
Finger	ID des Abdruckes	Grundmuster	Anzahl der Deltas				
rechter Daumen							
rechter Zeigefinger							
rechter Mittelfinger							
rechter Ringfinger							
rechter kleiner Finger							
linker Daumen							
linker Zeigefinger							
linker Mittelfinger							
linker Ringfinger							
linker kleiner Finger							
<b>Daten der Handabdrücke:</b>							
Hand	ID des Abdruckes						
rechte Hand							
linke Hand							
<b>Handmuster:</b>							
Hand	Fingerwurzel ZF	Fingerwurzel MF	Fingerwurzel RF	Fingerwurzel KF	Daumenballen	Kleinfingerballen	Basisdelta
rechte Hand							
linke Hand							
<b>Handfurchen:</b>							
Hand	Furche	Beschreibung					
rechte Hand	Dreifingerfurche						
	Füuffingerfurche						
	Daumenballenfurche						
	Vierfingerfurche						
linke Hand	Dreifingerfurche						
	Füuffingerfurche						
	Daumenballenfurche						
	Vierfingerfurche						

Abbildung 96: Vorlage Datenblatt Teil 1

[Quelle: selbst erstellt]

# Anlagen, Datenblatt Vorlage

**Handgeometrie:**



Hand	Strecke Nr. 1 in mm	Strecke Nr. 2 in mm	Strecke Nr. 3 in mm	Strecke Nr. 4 in mm	Strecke Nr. 5 in mm	Strecke Nr. 6 in mm	Strecke Nr. 7 in mm	Strecke Nr. 8 in mm
rechte Hand								
linke Hand								
Hand	Strecke Nr. 9 in mm	Strecke Nr. 10 in mm	Strecke Nr. 11 in mm	Strecke Nr. 12 in mm	Strecke Nr. 13 in mm	Strecke Nr. 14 in mm	Strecke Nr. 15 in mm	Strecke Nr. 16 in mm
rechte Hand								
linke Hand								

**Beschreibung der Hand-/ Fingerform:**

\* = Arthrose u.a. abnormale Ausprägungen

**Abbildung 97: Vorlage Datenblatt Teil 2**

[Quelle: selbst erstellt]

# Anlagen, Notizen zu den Messstrecken der Hand- geometrie

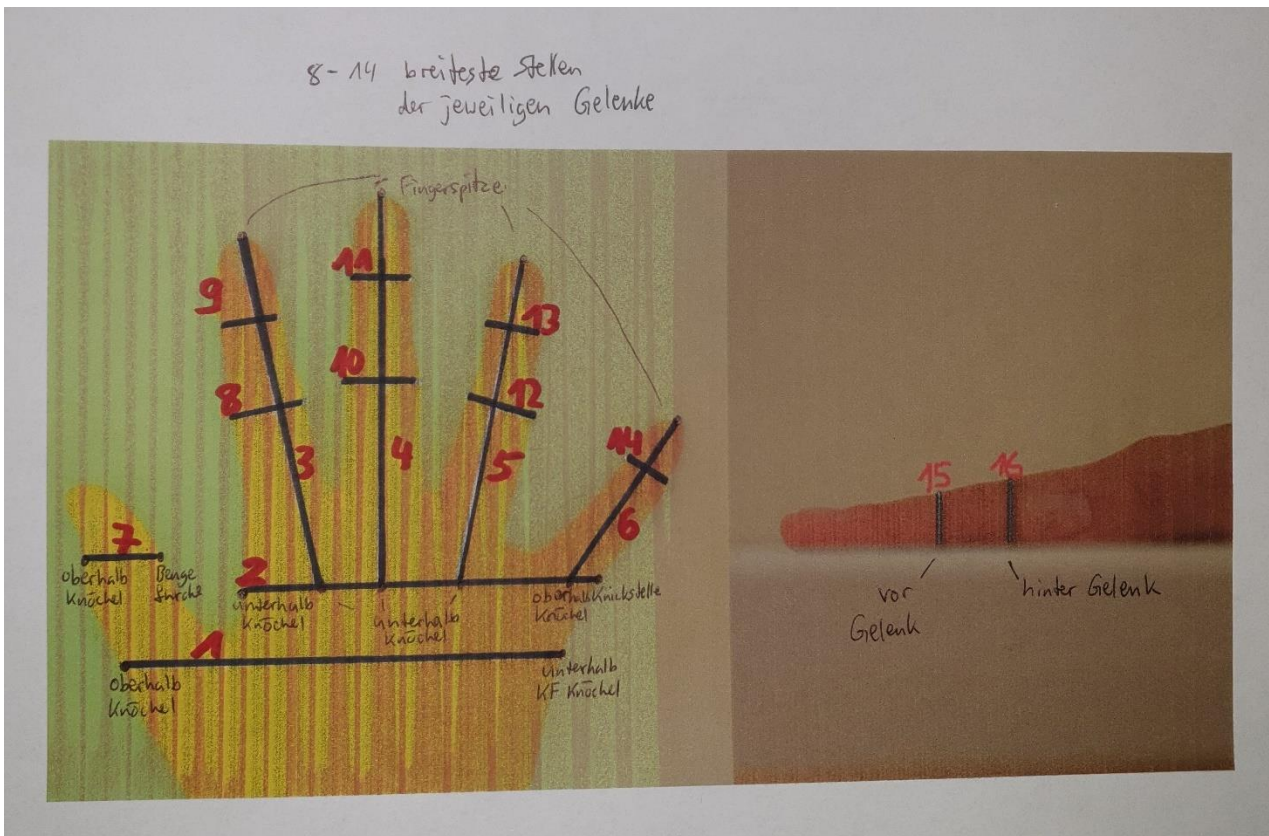


Abbildung 98: Handgeometrie Messstrecken Notizen

[Quelle: selbst erstellt]



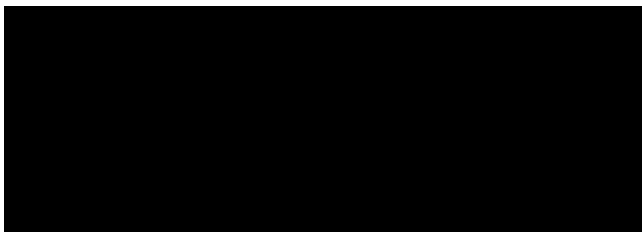
## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Voigtsdorf, den 15.11.2021



Nancy Grogorenz