
BACHELORARBEIT

Herr
Sebastian Prager

**Bestimmung des menschlichen
Geschlechtes anhand
der Dicke der Papillarlinien in
bestimmten Bereichen des
Fingerabdrucks**

Mittweida, 2022

BACHELORARBEIT

Bestimmung des menschlichen Geschlechtes anhand der Dicke der Papillarlinien in bestimmten Bereichen des Fingerabdrucks

Autor:
Herr

Sebastian Prager

Studiengang:
Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:
FO18w3-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Zweitprüfer:
M. Sc. Marleen Mohaupt

Einreichung:
Mittweida, 10.01.2022

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2022

Bibliografische Beschreibung:

Prager, Sebastian:

Bestimmung des menschlichen Geschlechtes anhand der Dicke der Papillarlinien in bestimmten Bereichen des Fingerabdrucks - 2022 – 60 Seiten – 22 Abbildungen – 12 Tabellen

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Bachelorarbeit, 2022

Referat:

In der vorliegenden Arbeit wird die Papillarliniendicke anhand eines neu erstellten Programmes bestimmt und analysiert. Die dafür entwickelte Methode und ihre Grundlagen werden gesondert erklärt und evaluiert. Bei der Überprüfung des Merkmals auf geschlechtsspezifische Unterschiede kann eine signifikante Abweichung der Verteilungen beobachtet werden. Weiterhin wird ein Regressionsmodell anhand der extrahierten Merkmale trainiert und ausgewertet.

Inhalt

Inhalt I

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Ziel der Arbeit.....	2
1.2 Kapitelübersicht.....	2
2 Grundlagen	3
2.1 Daktyloskopie.....	3
2.1.1 Biologischer Hintergrund	4
2.1.1.1 Aufbau der Haut	4
2.1.1.2 Felderhaut.....	5
2.1.1.3 Leistenhaut.....	6
2.1.2 Daktyloskopische Spuren	8
2.1.3 Merkmale daktyloskopischer Spuren	9
2.1.3.1 Ebene 1.....	10
2.1.3.2 Ebene 2.....	14
2.1.3.3 Ebene 3.....	15
2.1.3.4 Chemische Ebene	15
2.1.4 Identitäts- und Geschlechtsnachweis anhand daktyloskopischer Spuren	16
2.2 <i>Forschungsstand der Geschlechtsbestimmung anhand der Papillarliniendicke</i>	17
2.3 <i>Bisherige Arbeiten an der Hochschule Mittweida</i>	23
3 Methodik	24
3.1 <i>Spezifika des Datensatzes</i>	24
3.2 <i>Bildverbesserung</i>	25
3.3 <i>Kernpunktdetektion</i>	28
3.4 <i>Programme zur Messung der Papillarliniendicke</i>	29
3.4.1 Naive Messung	29
3.4.2 Angepasste Messung.....	31

3.4.3	Manuelle Messung	32
3.5	<i>Programmablauf</i>	33
3.6	<i>Genauigkeit der Methoden</i>	34
3.6.1	Unterschied zwischen „rohen“ und verbesserten Bildern	34
3.6.2	Genauigkeit der naiven und der angepassten Methode	35
3.6.2.1	Untersuchung der naiven Messung	35
3.6.2.2	Untersuchung der angepassten Messung	36
3.7	<i>Schlussfolgerungen bezüglich der zu verwendenden Vermessungsmethode</i>	37
3.8	<i>Analyse des Datensatzes</i>	38
4	Ergebnisse	39
4.1	<i>Vergleich der durchschnittlichen Linien- und Talbreiten</i>	39
4.2	<i>Statistische Beobachtungen</i>	40
4.3	<i>Logistische Regression</i>	41
5	Diskussion	42
6	Fazit	44
7	Literaturverzeichnis	45
Anlagen 48		
Anlagen, Teil 1		XLIX
Selbstständigkeitserklärung		51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Aufbau der Felderhaut (entnommen aus (Karl Zilles, 2010)).....	5
Abbildung 2 Aufbau der Leistenhaut ohne Schweißsporen (entnommen und bearbeitet aus: (Karl Zilles, 2010)).....	6
Abbildung 3 Typische Schleifenmuster.....	10
Abbildung 4 Typisches Wirbelmuster	11
Abbildung 5 Typisches Bogenmuster	11
Abbildung 6 Typisches Doppelschleifenmuster	12
Abbildung 7 Fingerabdruck mit markierten Sonderheiten	13
Abbildung 8 Fingerabdruck mit Kernpunkt und Typenlinie	13
Abbildung 9 Fingerabdruck mit markierten Minutien (entnommen aus (Herrmann & Saternus, 2007))	14
Abbildung 10 Durchschnittliche Anzahl der Papillarlinien bei Männern (entnommen aus: (Cummins, Waits, & McQuitty, 1941)).....	17
Abbildung 11 Durchschnittliche Anzahl der Papillarlinien bei Frauen (entnommen aus: (Ohler & Cummins, 1942)).....	18
Abbildung 12 Messung der Distanz zwischen den palmaren Triradien a und b (entnommen aus: (Penrose & Loesch, 1966)).....	19
Abbildung 13 Darstellung der Messgeraden (entnommen aus: (Mundorff, Bartelink, & Murad, 2014)).....	21
Abbildung 14 Darstellung der manuell platzierten Messgeraden A-F (entnommen aus: (Czech, Szabelak, & Sowinski, 2019)).....	22
Abbildung 15 Zuordnung der Ziffern zu den jeweiligen Fingern	24
Abbildung 16 Qualitativ hochwertiges Scannerbild	25

Abbildung 17 Scannerbild mit variierend Liniendicken	25
Abbildung 18 Einzelne Verarbeitungsschritte der Bildverbesserung (entnommen aus: (Stoeter, 2020)).....	26
Abbildung 19 Orientation Maps verschiedener Grundmuster (entnommen aus: (Stoeter, 2020))	28
Abbildung 20 Fingerabdrücke mit eingetragenen Messgeraden.....	29
Abbildung 21 Darstellung der angepassten Messung	31
Abbildung 22 Manuelles Messfenster.....	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Durchschnittliche Papillarliniendicke in μm (entnommen aus: (David, 1981))...	20
Tabelle 2 Abweichung der Papillarliniendicke der verbesserten Bilder gegenüber den Originalen.....	34
Tabelle 3 Abweichung der Talliniendicke in den verbesserten Bilder gegenüber der Originalen.....	35
Tabelle 4 Durchschnittliche Abweichung der naiven Messmethode bei unverarbeiteten Bildern.....	35
Tabelle 5 Durchschnittliche Abweichung der naiven Messmethode bei verbesserten Bildern	36
Tabelle 6 Durchschnittliche Abweichung der angepassten Messmethode bei unverarbeiteten Bildern	36
Tabelle 7 Durchschnittliche Abweichung der angepassten Messmethode bei verbesserten Bildern.....	37
Tabelle 8 Durchschnittliche Papillarliniendicke bei Männern und Frauen (mit der zugehörigen Standardabweichung)	39
Tabelle 9 Durchschnittliche Talliniendicke bei Männern und Frauen (mit der zugehörigen Standardabweichung)	40
Tabelle 10 Ergebnisse der verwendeten Signifikanztests	40
Tabelle 11 Kontingenztabelle des ersten Modells.....	41
Tabelle 12 Kontingenztabelle des zweiten Modells.....	41

Abkürzungsverzeichnis

rtvr Ridge-to-Valley-ratio

dpi dots per inch

1 Einleitung

Bei der Daktyloskopie handelt es sich um eines der berühmtesten Teilgebiete der Forensik. Der Fingerabdruck eignet sich aufgrund seiner unveränderlichen und einzigartigen Natur sowohl für die Identifikation, als auch die Authentifikation eines Menschen. Damit nimmt er in der Forensik einen hohen Stellenwert ein. (Labudde & Mohaupt, 2018)

Doch der Fingerabdruck eines Menschen liefert möglicherweise noch weitaus mehr Möglichkeiten, als eine Feststellung der Identität. Spätestens ab 1941 (zeitigste gefundene Quelle) begannen Forscher auch andere Merkmale des Menschen mit dem Fingerabdruck zu assoziieren. Dabei stand unter anderem auch eine Bestimmung des Geschlechtes, anhand verschiedener daktyloskopischer Merkmale, im Zentrum der Bemühungen. (Cummins, Waits, & McQuitty, 1941)

Diese Bemühungen setzen sich auch bis in die heutige Zeit mit unterschiedlichen Methoden fort. So wurde diese Form der Geschlechtsbestimmung auch im Zuge des Studiengangs „Allgemeine und Digitale Forensik“ an der Hochschule Mittweida weiter untersucht. Den letzten Beitrag lieferten die Studentinnen Sieke Stoeter und Cynthia Reuter. In diesen Arbeiten wurde vor allem das Merkmal der Papillarliniendichte betrachtet. Dabei stellte sich heraus, dass die Papillarliniendichte die Bestimmung des Geschlechtes mit einer Accuracy von ~65-68% ermöglicht. (Reuter, 2020; Stoeter, 2020)

Ziel dieser Arbeit ist es nun, an die vorangegangenen Arbeiten anzuknüpfen und die Aussagekraft eines weiteren daktyloskopischen Merkmals bezüglich des Geschlechtes zu überprüfen.

In früheren Arbeiten hat sich neben der Papillarliniendichte, der Papillarlinienanzahl und der Anzahl der Täler auch die Papillarliniendicke als mögliches Merkmal etabliert. (Chauhan, Anjekar, & Tarare, 2015; Omidiora, Ojo, & Nureni, 2012)

Dieses Merkmal ist an der Hochschule Mittweida noch kaum erforscht wurden. Daher ist die Papillarliniendicke der zentrale Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit.

1.1 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit dient zur Entwicklung von Methoden, welche die Papillar- und Talliniendicke von Fingerabdrücken extrahieren sollen. Dafür steht ein 121 Probanden umfassender Datensatz zur Verfügung. Die aus diesem Datensatz entnommenen daktyloskopischen Merkmale sollen im Weiteren auf ihre Diskriminanz bezüglich des menschlichen Geschlechtes geprüft werden.

Dies ist die erste (Abschluss-) Arbeit an der Hochschule Mittweida, welche sich dem Merkmal der Liniendicken widmet. Daher soll diese Arbeit auch einen möglichen Grundstein für weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet darstellen.

In der Zukunft sollen die verschiedenen Arbeiten bezüglich daktyloskopischer Merkmale zusammengeführt werden. Die Verbindung verschiedener Merkmale soll eine zuverlässige Bestimmung des Geschlechtes anhand daktyloskopischer Fingerspuren zu ermöglichen.

1.2 Kapitelübersicht

Die Arbeit ist in sechs übergeordnete Kategorien unterteilt.

In der vorangegangenen **Einleitung** wird ein grober Überblick über das Thema und die spezifische Richtung der Arbeit gegeben.

Die für das Verständnis notwendigen **Grundlagen** folgen in Kapitel zwei. Hier werden neben den Grundbegriffen der Daktyloskopie auch deren biologische Hintergründe beleuchtet. Das Kapitel endet mit einer Zusammenfassung des historischen Forschungsstandes bezüglich der Papillarliniendicke.

Im darauffolgenden Kapitel werden die verwendeten **Methoden** und Materialien thematisiert. Es werden sowohl die neu erstellten Programme, als auch die bereits bestehenden Skripte in ihren Grundlagen erklärt. Die im Zuge der Analyse unternommenen Untersuchungen sind ebenso dort gelistet.

Das vierte Kapitel dient zur Evaluierung der Programmdateien. Die **Ergebnisse** von männlichen und weiblichen Probanden werden einander gegenüber gestellt und es wird versucht einen Klassifikator aufzustellen.

Anschließend werden die Ergebnisse interpretiert und potentielle Fehlerquellen erörtert. Nach dieser **Diskussion** schließt die Arbeit mit einem entsprechenden **Fazit**.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel dient der Erläuterung grundlegender Begriffe der Daktyloskopie bzw. des Fingerabdruckes. Auf die biologischen und daktyloskopischen Hintergründe folgt eine Darstellung des Forschungsstandes zur Ermittlung des Geschlechtes anhand der Papillarliniendicke.

Es ist anzumerken, dass die genannten Themen hier nur in einer, für das Verständnis der Arbeit, notwendigen Breite behandelt werden. Tiefere Themeninhalte können aus den jeweiligen Quellen entnommen werden.

2.1 Daktyloskopie

Der Begriff „Daktyloskopie“ setzt sich aus den Griechischen Wörtern „Daktylos“ und „skopein“ zusammen. Separat übersetzt bedeuten die Wörter „Finger“ und „schauen“. Dementsprechend handelt es sich bei der Daktyloskopie um die „Fingerschau“. (Herrmann & Saternus, 2007)

Entgegen dieser Betitelung setzt sich die Daktyloskopie jedoch nicht direkt mit dem Finger auseinander. Vielmehr wird bei daktyloskopischen Untersuchungen die Haut an den Handinnen- und Fußunterseiten betrachtet. (Steinert, 2010)

Diese Betrachtungen begannen ungefähr 3000 v. Chr. Aus dieser Zeit fand man vereinfachte Höhlenmalereien von Hautleistenbildern bzw. Handmustern. Derartige archäologische Funde legen ein zeitiges Interesse des Menschen an der Daktyloskopie nahe. Gegen 2200 v. Chr. nutzten die Babylonier und Assyrer den Fingerabdruck für die Authentifikation von Urkunden. Dafür wurde die Fingerspitze mitsamt Fingernagel in die entsprechende Tontafel gedrückt. Um ca. 1160 wurde die Identifikation von Straftätern anhand des Fingerabdrucks in einem zeitgenössischen, chinesischen Kriminalroman beschrieben. Dies lässt darauf schließen, dass der Identifizierungswert des Fingerabdrucks zu dieser Zeit bereits an- oder zumindest bekannt war. In der westlichen Welt wurde die Verbrechensaufklärung mit Fingerabdrücken vorrangig durch die Forschungen von Sir Francis Galton (1822 – 1911) ermöglicht. Bei Galtons Forschungen stellten sich verschiedene Merkmale des Fingerabdruckes heraus, welche seine besondere Eignung zur Verbrechensbekämpfung deutlich machten. (Steinert, 2010)

In der heutigen Wissenschaft und Rechtsprechung ist die Daktyloskopie eine unumstritten anerkannte und häufig verwendete Personenidentifizierungsmethode. Dabei werden meist zwei oder mehr Fingerabdrücke miteinander abgeglichen. (Herrmann & Saternus, 2007)

Im Weiteren werden die, für diese Identifikation/Authentifikation nötigen, biologischen und morphologischen Eigenschaften der Haut an den Handinnen- und Fußunterseiten näher erklärt. Dabei wird vorrangig auf die Haut der Handflächen bzw. der sogenannten „Fingerbeere“ eingegangen, da dieses Areal zentraler Bestandteil dieser Arbeit ist.

2.1.1 Biologischer Hintergrund

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, sind lediglich die Haut der Handflächen und der Fußsohlen, Objekt von daktyloskopischen Untersuchungen. Dies ist dem Fakt zuzuschreiben, dass lediglich diese Areale mit der sogenannten „Leistenhaut“ bedeckt sind. Der restliche Körper ist hingegen von „Felderhaut“ umhüllt. Beide Hauttypen unterscheiden sich im Aufbau und dementsprechend auch in ihrer äußerlichen Beschaffenheit. (Lippert, 2000)

Im Folgenden werden der Aufbau der Haut und die Unterschiede dieser beiden Hauttypen geklärt.

2.1.1.1 Aufbau der Haut

Die Haut wird im weiteren Sinne in drei Schichten eingeteilt. Die Oberste ist die **Epidermis** oder auch **Oberhaut**. An ihrer Oberfläche befinden sich verhornte Zellen. Diese gehen durch die alltägliche Nutzung als Abrieb verloren und müssen ständig durch tieferliegende Zellen ersetzt werden. Die Epidermis kann weiterhin in verschiedene Unterschichten unterteilt werden. Die Tiefste dieser Unterschichten, ist die sogenannte „Basalschicht“ (bzw. Stratum basale). Diese Basalschicht besteht aus einer dünnen Reihe kubischer Zellen, welche mit den Zellen der Dermis über Ankerfasern befestigt sind. (Lippert, 2000)

Bei der **Dermis** handelt es sich um die mittlere der drei Hautschichten. Sie wird auch Corium oder **Lederhaut** genannt. Auch die Lederhaut kann in zwei Unterschichten unterteilt werden. Die oberste dieser Schichten ist die **Papillarschicht** (Stratum papillare). Sie besteht aus gefäß- und nervenreichen, säulenartigen Einstülpungen (sogenannten „Papillen“) in die Epidermis. Dort sind sie mit der bereits genannten Basalschicht verknüpft. Auf diese Weise ist die Oberhaut mit der Lederhaut verzahnt. Aufgrund dieser engen Verbindung wird die Einheit aus Oberhaut und Lederhaut auch „**Cutis**“ genannt. Die unterste Schicht der Dermis besteht wiederum aus miteinander verflochtenen Fasern, welche der Haut ihre Reißfestigkeit und Elastizität verleihen. (Karl Zilles, 2010)

Die letzte Hautschicht ist die **Unterhaut**, auch **Subkutis** genannt. Sie besteht hauptsächlich aus Fett und Bindegewebe und erfüllt vor allem zwei Aufgaben. Zum einen befestigt sie die Cutis an tiefer liegenden Körperteilen. Um diese Aufgabe zu erfüllen zweigen straffe Bindegewebsbündel von der Unterseite der Lederhaut ab und durchziehen das Fettgewebe der Subkutis. Abschließend dient die fetthaltige Schicht auch zum Schutz tieferer Organe vor Druck, Stößen und Wärmeverlust. (Lippert, 2000)

2.1.1.2 Felderhaut

Die Felderhaut bedeckt ~96% der Körperoberfläche. Ihr Aufbau folgt dem zuvor geschilderten Schema. Darüber hinaus besitzt die Felderhaut jedoch auch noch Haare sowie Talg- und (ekkrine) Schweißdrüsen. An bestimmten Stellen des Körpers befinden sich auch apokrine Schweißdrüsen (siehe: Abbildung 1). (Karl Zilles, 2010)

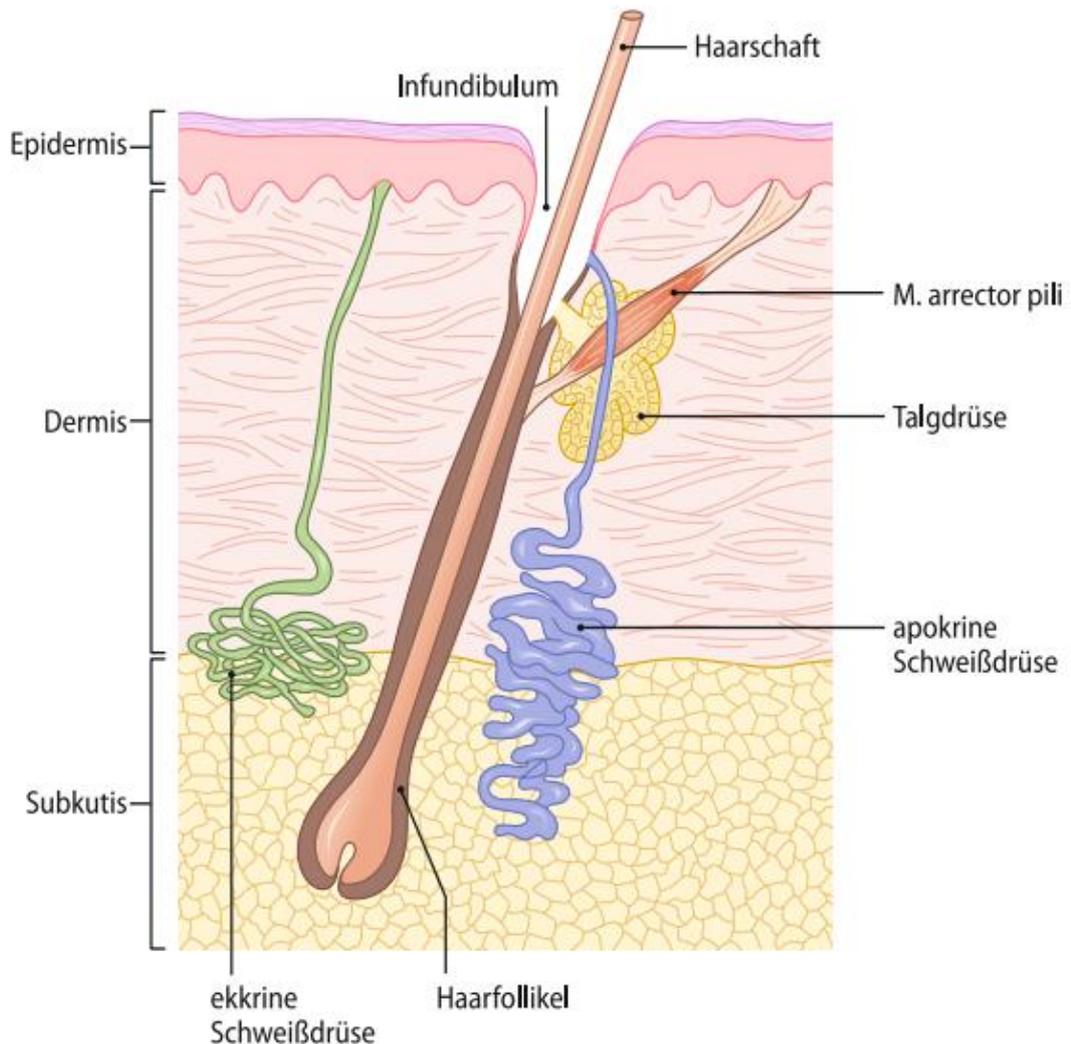


Abbildung 1 Aufbau der Felderhaut (entnommen aus (Karl Zilles, 2010))

Das Haar ist mit einem kleinen Muskel (M. arrector pili) verbunden. Dieser wird genutzt um das Haar bei einem entsprechenden Reiz aufzustellen (Gänsehaut). Die anliegende Talgdrüse dient der Ausschüttung des namensgebenden Sekrets. Der Talg macht sowohl das Haar als auch die umgebende Haut geschmeidiger. Des Weiteren trägt er zur Erhaltung des Säureschutzmantels auf der Haut bei. Über die ekkrinen Schweißdrüsen wird vor allem Körperschweiß abgegeben um die Körpertemperatur zu regulieren. Sie können aber auch andere Stoffe wie bspw. Kochsalz ausscheiden. Die Funktion der apokrinen Drüsen besteht in der Abgabe von Duftstoffen mit pheromonartiger Wirkung. (Karl Zilles, 2010)

Der Name „Felderhaut“ ist auf die Oberflächenbeschaffenheit dieses Hauttyps zurückzuführen. Die Oberfläche der Felderhaut wird durch feine Rinnen in polygonale Felder unterteilt. Die Variation der Größe und Form dieser polygonalen Felder ist der unterschiedlich starken Verzahnung der Cutis durch die Papillen zuzuschreiben. Apokrine Schweißdrüsen, Haare und Talgdrüsen münden ausschließlich in den feinen Furchen zwischen den Hautfeldern. Die Ausgänge ekkriner Schweißdrüsen befinden sich immer auf der Höhe der Felder. (Karl Zilles, 2010)

2.1.1.3 Leistenhaut

Die Leistenhaut bedeckt die übrigen 4% der Körperoberfläche und ist gänzlich unbehaart. Sie kommt nur an den Handinnen- und Fußunterseiten vor und besitzt weder apokrine Schweiß- noch Talgdrüsen (siehe Abbildung 2). Weiterhin ist sie besonders stark am unterliegenden Gewebe befestigt. Dies ist notwendig, um einen festen Griff bzw. Stand zu ermöglichen. Im Vergleich zur Felderhaut besitzt die Leistenhaut weitaus mehr Nervenenden. (Lippert, 2000)

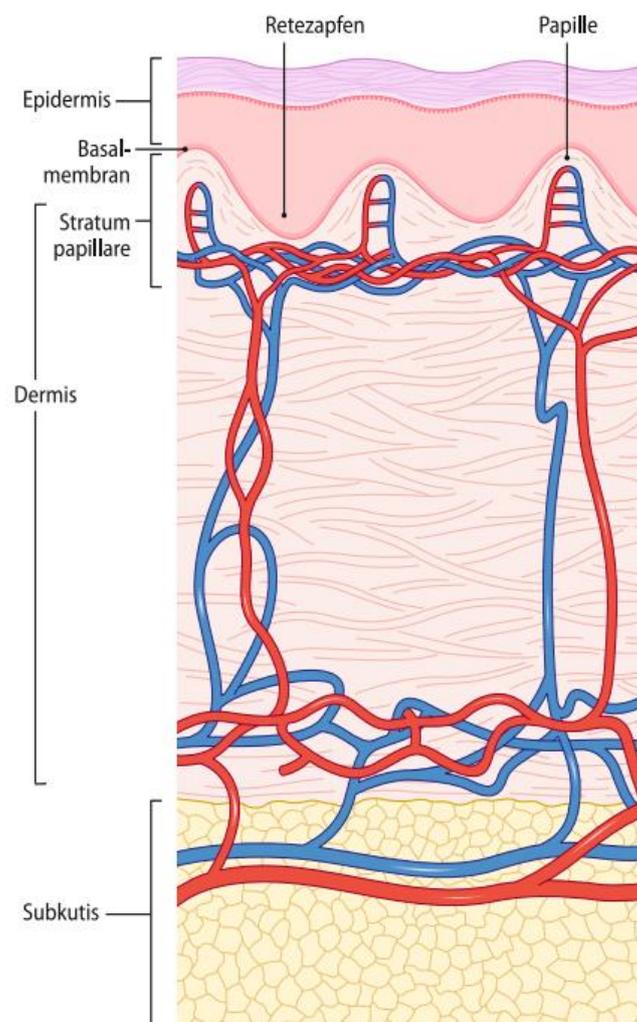


Abbildung 2 Aufbau der Leistenhaut ohne Schweißsporen
(entnommen und bearbeitet aus: (Karl Zilles, 2010))

Der für diese Arbeit ausschlaggebende Unterschied besteht jedoch in der Oberflächenbeschaffenheit. Hier weist die Leistenhaut parallel ausgerichtete Leisten und Furchen auf. Die Leisten gehen auf die reihenförmig angeordneten Papillen in der unterliegenden Dermis zurück und tragen häufig die Öffnungen von darunter liegenden Schweißdrüsen. Der Ursprung der Falten liegt in Einstülpungen der Oberhaut in die Lederhaut. Eine solche Einstülpung nennt sich auch „Retezapfen“ (siehe Abbildung 2). Das Muster, welches die Leisten und Furchen gemeinschaftlich bilden, ist dementsprechend vollständig von der regionalen Anordnung der Papillen und Retezapfen abhängig. (Karl Zilles, 2010)

Aufgrund ihres Ursprungs werden diese Hautleisten bzw. Hauterhebungen auch „**Papillarleisten**“ genannt. Die die Papillarleisten umgebenden Hautfurchen bzw. Vertiefungen werden als „**Tal**“ beschrieben. (Steinert, 2010)

Täler werden weiterhin auch „**Epithel-**“ oder „**Reteleisten**“ genannt. (Labudde & Mohaupt, 2018)

Bis heute gilt die axiomatische Annahme, dass die Muster der Leistenhaut für jeden Menschen einzigartig sind. Trotz zahlreichen Untersuchungen konnten noch keine zwei Menschen mit dem gleichen Papillarleisten- und Talverlauf gefunden werden. Diese Einzigartigkeit stützt sich auf die empirisch geprüfte Tatsache, dass sich in der Natur keine individuelle Lebensform wiederholt. (Labudde & Mohaupt, 2018)

Eine weitere Begründung dieser Individualität liegt im Entstehungsvorgang der Hautleisten. Die Ausbildung dieser beginnt im dritten Embryonalmonat und unterliegt vor allem einer Vielzahl von Umweltfaktoren. Diese Umweltfaktoren können als Zufallsfaktoren interpretiert werden und sorgen in Verbindung mit potentiellen genetischen Komponenten für eine derzeit noch nicht vollständig einschätzbare Zahl möglicher Leistenbilder. (Herrmann & Saternus, 2007)

Nach der vollendeten Entwicklung im Mutterleib sind die Hautleisten für ein Leben lang unveränderlich und können auch nur begrenzt beschädigt werden. Eine Beschädigung der Oberhaut durch bspw. Reibung oder Säure führt zu einem temporären Verschwinden der Muster. Nach einer gewissen Zeit bilden diese sich jedoch stets in ihrer ursprünglichen Form neu aus. Tiefere Verletzungen der Lederhaut können Narben hinterlassen. Diese Narben sind jedoch ihrerseits charakteristisch für das zugrunde liegende Individuum. Selbiges gilt für, durch das Alter hinzukommende, Falten. (Herrmann & Saternus, 2007)

Diese **Einzigartigkeit** und **Unveränderlichkeit** bzw. **Unzerstörbarkeit** (abgesehen von temporärer, physischer Beschädigung oder vollständiger Zerstörung des Fingergliedes) der Leistenhaut bildet die Grundlage für den daktyloskopischen Identitätsnachweis (Herrmann & Saternus, 2007). Ohne diese Merkmale wäre der hohe Stellenwert der Daktyloskopie in der Verbrechensbekämpfung bzw. Identifikation und Verifikation von Personen nicht möglich (Labudde & Mohaupt, 2018).

2.1.2 Daktyloskopische Spuren

Als eine daktyloskopische Spur bezeichnet man alle an Objekten hinterlassen Abbilder der menschlichen Leistenhaut. Dabei kann es sich sowohl um Abdrücke als auch um Eindrücke handeln. Ein solches Abbild einer Papillarleiste nennt man dann auch „**Papillarlinie**“. (Steinert, 2010)

Das genaue Aussehen der Spur wird von verschiedensten Faktoren beeinflusst. Zu diesen zählen unter anderem die Berührungsdauer, der ausgeübte Druck, der Zustand der Papillarleisten oder die Eigenschaften der Oberfläche des berührten Objektes. Weiterhin kann ein, der Leistenhaut oder dem Objekt anhaftendes, Sekret die Morphologie einer Spur verzerren. (Herrmann & Saternus, 2007)

Um eine Untersuchung der Spur zu ermöglichen muss diese häufig erst sichtbar gemacht werden. Hierfür kommt eine von drei Methoden in Frage. Die Methode ist abhängig von der Beschaffenheit der Spur und des Spurenräger zu wählen. Bei physikalischen Methoden wird die Spur mithilfe eines Pinsels mit einem feinen Pulver bestäubt. Dies nennt sich „Adhäsionsverfahren“ oder auch „Einstäubeverfahren“ und eignet sich besonders bei Spuren auf glatten Oberflächen. Ist der Spurenräger hingegen eher rau oder porös sollte die chemische Methode genutzt werden. In diesen Fällen wird der Spurenräger mit Chemikalien besprüht, bedampft oder in diese eingetaucht. Die Chemikalien reagieren dann mit den Bestandteilen des Schweißes auf dem Spurenräger und bilden mit diesem ein sichtbares Produkt. Im Gegensatz zum Adhäsionsverfahren wird die chemische Methode nur unter Laborbedingungen durchgeführt. (Steinert, 2010)

Diese Methode kann häufig angewandt werden, da etwa 80% aller Papillarleistenabdrücke durch Schweiß gebildet werden. Dies ist auf die, in den Papillarleisten mündenden, Schweißdrüsen zurückzuführen. (Herrmann & Saternus, 2007)

Die dritte Methode ist die optische Methode. Diese wird bevorzugt verwendet, da sie berührungs- bzw. zerstörungsfrei ist. Hierbei werden Lichtquellen wie Tageslicht, Schräglicht, Durchlicht, Halogenlicht oder UV-Licht genutzt um die Spur besser erkennbar zu machen. Sollte die Spur mit dem bloßen Auge schwer zu sehen sein werden Werkzeuge wie Lupen eingesetzt. (Steinert, 2010)

Ist die Spur sichtbar bzw. sichtbar gemacht wurden, kann die Sicherung erfolgen. Die Sicherung kann durch das abkleben, fotografieren oder gegenständliche sicherstellen des Spurenrägers stattfinden. (Steinert, 2010)

In der Theorie gilt jedes Abbild der Leistenhaut als daktyloskopische Spur. In der Praxis ist aber vor allem der Fingerabdruck bzw. der Abdruck der Fingerbeere relevant (Herrmann & Saternus, 2007). Die Fingerbeere ist die mit Leistenhaut überzogene, abgerundete, fleischige Vorwölbung unterhalb des Fingernagels (Labudde & Mohaupt, 2018). Die besondere Geltung dieses Bereiches ist auf mehrere Gründe zurückzuführen.

Zum einen sind die Finger, insbesondere die Fingerspitzen, essentieller Bestandteil von Greif- und Hebebewegungen (Lippert, 2000). Diese sind fest in den menschlichen Alltag integriert (Steinert, 2010). Dementsprechend sind Spuren dieser Art eine häufige Konsequenz menschlichen Handelns (Maltoni, Maio, Jain, & Prabhakar, 2009). Weiterhin bilden die Papillarleisten im zentralen Bereich der Fingerbeere spezifische Konfigurationen (Herrmann & Saternus, 2007). Diese Merkmale sind für eine systematische Klassifizierung ausreichend (Herrmann & Saternus, 2007).

Im Folgenden werden diese Merkmale näher betrachtet.

2.1.3 Merkmale daktyloskopischer Spuren

Die Merkmale daktyloskopischer Spuren werden methodisch in drei Ebenen feststellbarer Sonderheiten unterteilt. Diese Sonderheiten sind nicht auf den Bereich der Fingerbeere beschränkt. (Steinert, 2010)

Da diese Arbeit sich jedoch vorrangig mit der Analyse von Abdrücken der Fingerbeere beschäftigt, stehen die Merkmale dieser im Vordergrund.

2.1.3.1 Ebene 1

Die erste Informationsebene wird vom generellen Verlauf der Papillarlinien gebildet (Steinert, 2010). Die durch den typischen Verlauf entstehenden Muster werden auch „**Grundmuster**“ genannt (Labudde & Mohaupt, 2018).

Die Grundmuster der Fingerbeere können meist einer von drei Kategorien zugeordnet werden (Herrmann & Saternus, 2007).

Das am häufigsten vorkommende Grundmuster ist die **Schleife**. Circa 60-65% aller Fingerbeeren sind mit Schleifen besetzt. Die Papillarlinien von Schleifen krümmen sich um den Mittelpunkt des Fingerabdrucks und laufen entlang ihres Ursprungs aus. (Herrmann & Saternus, 2007)

Je nach Orientierung der Linien wird zwischen links- (siehe Abbildung 3, links) oder rechtsauslaufenden (siehe Abbildung 3, rechts) Schleifen unterschieden (Herrmann & Saternus, 2007). Diese Bezeichnung kann noch erweitert werden. So spricht man bspw. von einer „**Ulnarschleife**“, wenn diese zum kleinen Finger hin ausläuft (Herrmann & Saternus, 2007). Liegt der Ursprung der Schleife hingegen in Daumenrichtung bezeichnet man dies als „**Radialschleife**“ (Herrmann & Saternus, 2007).



Abbildung 3 Typische Schleifenmuster

Insgesamt gehören ~95% aller Schleifen zu den Ulnarschleifen (Steinert, 2010).

Das zweithäufigste Grundmuster wird von den „**Wirbeln**“ gebildet. Wirbel zeichnen sich durch einen wirbel- bzw. zyklonartigen Verlauf der Papillarleisten in Richtung des Zentrums aus (siehe Abbildung 4). Sie stellen ~30-35% aller Grundmuster dar. (Herrmann & Saternus, 2007)



Abbildung 4 Typisches Wirbelmuster

Der „**Bogen**“ ist das letzte der drei großen Grundmuster. Bei einem Bogen treten die Papillarlinien auf einer Seite des Fingerabdrucks ein, wellen sich mäßig bis stark in der Mitte und treten dann auf der anderen Seite des Abdruckes wieder aus (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). (Herrmann & Saternus, 2007)



Abbildung 5 Typisches Bogenmuster

Neben diesen drei Hauptkategorien können auch seltene Mischmuster vorkommen. Ein Beispiel für ein solches Mischmuster ist die sogenannte „Doppelschleife“ (siehe Abbildung 6). Darüber hinaus ist es möglich, dass ein Papillarlinienbild gar keiner der grundlegenden Musterarten entspricht. (Steinert, 2010)



Abbildung 6 Typisches Doppelschleifenmuster

Weitere für ein Grundmuster relevante Merkmale sind das „**Delta**“ sowie der „**Kernpunkt**“. (Steinert, 2010)

Ein Delta besteht aus zwei auseinanderlaufenden Papillarleisten (siehe Abbildung 7). Alternativ bildet auch eine gegabelte Papillarleiste zusammen mit einer dritten, konvex zur Gabelung verlaufenden, Leiste ein Delta. Der Name wurde aufgrund der morphologischen Ähnlichkeit zum griechischen Großbuchstaben (Δ) gewählt. Die Anzahl an Deltas in einem Fingerabdruck ist ein Indiz für das Grundmuster. Wirbel enthalten häufig zwei, Schleifen ein und Bögen kein Delta. (Herrmann & Saternus, 2007)

Der Kernpunkt ist als das „Zentrum“ des zugehörigen Musters definiert. Diese Definition lässt einigen Raum für Interpretation. Aufgrund dessen wird der Kernpunkt in verschiedensten Arbeiten auch unterschiedlich platziert. (Steinert, 2010)

Da sich diese spezielle Arbeit auf die Kernpunktdetektion von den vorangegangenen Bachelorarbeiten (insbesondere die Arbeiten von Sieke Stoeter und Cynthia Reuter) stützt, wird die Definition des Kernpunktes aus diesen übernommen.

Dementsprechend ist der Kernpunkt der oberste Punkt der am stärksten gekrümmten Papillarleiste bzw. Papillarlinie (siehe Abbildung 7). (Stoeter, 2020)



Abbildung 7 Fingerabdruck mit markierten Besonderheiten

In Abbildung 7 sind sowohl der Kernpunkt als auch die zwei vorhandenen Deltas auf dem Fingerabdruck rot markiert.

Mithilfe des Kernpunktes und des Deltas ist es möglich die sogenannte „**Typenlinie**“ zu bestimmen. Diese teilt den Fingerabdruck in einen inneren Bereich (auch Musterbereich) und einen äußeren Bereich. Der äußere Bereich ist für die Bestimmung des Grundmusters nicht relevant (Herrmann & Saternus, 2007).

Die Typenlinie verläuft so, dass das entstehende Areal sowohl die Deltas, als auch den Kernpunkt beinhaltet (siehe Abbildung 8). (Steinert, 2010)



Abbildung 8 Fingerabdruck mit Kernpunkt und Typenlinie

2.1.3.2 Ebene 2

Obwohl das Grundmuster von Ebene 1 bereits zur groben Unterscheidung von Fingerabdrücken geeignet ist, reicht es allein noch nicht aus, um die Individualität eines Fingerabdruckes darzustellen. Hierfür müssen die anatomischen Merkmale der einzelnen Papillarlinien herangezogen werden. (Herrmann & Saternus, 2007)

Bei einer solchen Untersuchung sind sowohl die Form der einzelnen Merkmale als auch deren regionale Lage zueinander relevant. (Steinert, 2010)

Diese „Kleinstmerkmale“ machen die zweite Informationsebene der Fingerabdrücke aus (Steinert, 2010). Sie werden auch „**Minuzien**“ bzw. „**Minutien**“ genannt (Herrmann & Saternus, 2007). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Schreibweise mit „t“ verwendet. Das Wort leitet sich vom lateinischen „minutus“ ab, was so viel wie „Kleinigkeit“ bedeutet (Labudde & Mohaupt, 2018).

Die Ausprägung einer Minutie kann verschiedene Formen annehmen. Am häufigsten kommen Papillarlinienenden und Gabelungen vor (Herrmann & Saternus, 2007). Ein Beispiel für die verschiedenen Formen von Minutien ist in Abbildung 9 zu finden.

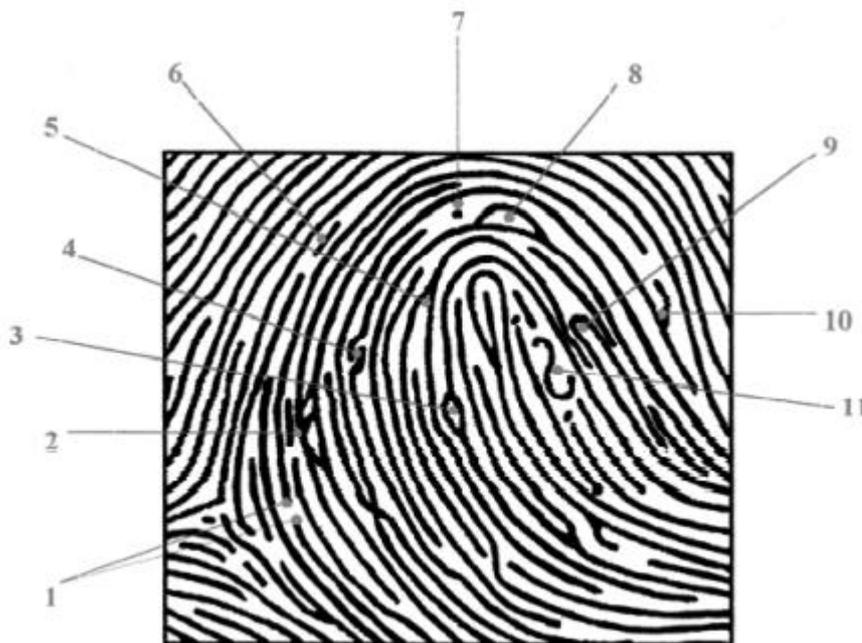


Abbildung 9 Fingerabdruck mit markierten Minutien (entnommen aus (Herrmann & Saternus, 2007))

Im Original von Abbildung 9 war die Beschriftung wie folgt (sinngemäß): (1) Linienbeginn bzw. Linienende, (2) verästelte Linie, (3) Auge, (4) ausweichende Endstücke, (5) Gabelung, (6) eingelagerte Linie, (7) Punkt, (8) Insel, (9) eingelagerte Schleife, (10) Haken, (11) Sonderheit. Das Original entnahm das Bild aus einer Quelle des Bundeskriminalamts, diese war jedoch nicht aufzufinden.

2.1.3.3 Ebene 3

Für Ebene 3 werden zusätzliche daktyloskopische Erscheinungsformen herangezogen. Diese sind häufig feiner Natur, weshalb sie nicht in jedem Fingerabdruck vorliegen. Zu den Merkmalen der dritten Informationsebene gehören **Zwischenlinien (bzw. Zwischenleisten)**, **Poren** und **Kantenverläufe**. (Steinert, 2010)

Bei Zwischenleisten handelt es sich um Gebilde in den Vertiefungen zwischen den Papillarleisten. Sie haben einen papillarleistenähnliche Gestalt, sind allerdings schmaler und weniger stark ausgeprägt. Wie und ob Zwischenleisten auf einem Fingerabdruck abgebildet werden ist abhängig vom verwendeten Druck. (Steinert, 2010)

Poren sind die Mündungen der in 2.1.1.3 angesprochenen ekkrinen Schweißdrüsen. Ihre Anzahl und Lage ist, wie der Fingerabdruck selbst, unveränderlich. Ihre Ausprägung kann allerdings bspw. vom Alterungsprozess beeinflusst werden. (Steinert, 2010)

Die natürliche Verdickung und Verschlingung der Papillarleisten kann in der Gesamtdarstellung als Profil betrachtet werden. Dieses Profil sind die sogenannten Kantenverläufe. Kantenverläufe können sich mit der Zeit aufgrund verschiedener Faktoren verändern. (Steinert, 2010)

2.1.3.4 Chemische Ebene

Neben den morphologischen Eigenschaften von daktyloskopischen Spuren kann auch die chemische Zusammensetzung dieser analysiert werden. Bei dieser Analyse steht vorrangig der, über die Schweißsporen abgesonderte, Körperschweiß im Vordergrund. Durch Untersuchungen dieses Sekrets kann bspw. nachgewiesen werden ob die zugehörige Person bestimmte Drogen konsumierte. (Herrmann & Saternus, 2007)

2.1.4 Identitäts- und Geschlechtsnachweis anhand daktyloskopischer Spuren

Die im vorherigen Kapitel genannten morphologischen und chemischen Merkmale des Fingerabdrucks können ausgewertet werden um weitere Informationen über das dahinter stehende Individuum zu gewinnen.

Allem voran ist der Identitätsnachweis zu nennen. Dafür werden zwei Fingerabdrücke untereinander verglichen. Zunächst gilt die Annahme, dass beide Leistenbilder vom gleichen Individuum stammen. In Deutschland gilt dieser Identitätsnachweis als erbracht bzw. erfolgreich, insofern das Grundmuster sowie 12 anatomische Merkmale der Ebene 2 in Form und Lage übereinstimmen. (Herrmann & Saternus, 2007)

Insgesamt lässt der versuchte Identitätsnachweis drei Schlussfolgerungen zu. Herrscht die geforderte Übereinstimmung von Grundmuster und Minutien, so gilt die Annahme, dass es sich beim Spurenverursacher um das geprüfte Individuum handelt, als bestätigt. Kann an keinem Punkt die gewünschte Übereinstimmung der Fingerspuren festgestellt werden und liegen beide Fingerspuren in ausreichender Qualität vor, so muss diese Annahme abgelehnt werden. (Steinert, 2010)

Es existieren jedoch auch Fälle in denen lediglich eine partielle Übereinstimmung der Vergleichsmaterialien vorliegt (Steinert, 2010). Die Faktoren, welche die Bildung der Papillarleisten beeinflussen, sind derzeit noch unzureichend erforscht (Herrmann & Saternus, 2007). Daher konnte auch noch kein wissenschaftlich fundiertes, mathematisches Modell erstellt werden, welches die Wahrscheinlichkeit zur Bildung eines bestimmten Papillarleistenmusters darlegt (Herrmann & Saternus, 2007). Ohne ein solches Modell kann die Daktyloskopie keine rechtlich verwertbaren Aussagen über die Identität eines partiell übereinstimmenden Individuums machen (Steinert, 2010).

Dies betrifft jedoch nur den traditionellen Identitätsnachweis. Ab 1941 begannen Forscher den Fingerabdruck des Menschen auch mit anderen Merkmalen zu assoziieren. Neben bspw. dem Alter einer Person stand auch die Bestimmung des Geschlechts im Zentrum der Bemühungen. Hierfür wurden verschiedene Merkmale des Fingerabdruckes genutzt. (Cummins, Waits, & McQuitty, 1941)

Für diese Bestimmung haben sich, neben weiteren Merkmalen, Versuche mittels der **Papillarliniendichte** und der **Papillarliniendicke** etabliert. Bei der Papillarliniendichte wird die Anzahl der Papillarlinien in einem bestimmten Feld gemessen. Die gefundene Anzahl soll dann Aussagekraft über das Geschlecht der Person haben. (Omidiora, Ojo, & Nureni, 2012; Chauhan, Anjekar, & Tarare, 2015)

Die Papillarliniendicke ist in verschiedenen Publikationen unterschiedlich verstanden. Sie ist das zentrale Thema dieser Arbeit und wird im Folgenden mit den zugehörigen Forschungsergebnissen näher erörtert.

2.2 Forschungsstand der Geschlechtsbestimmung anhand der Papillarliniendicke

Im Verlauf der Geschichte wurde die Papillarliniendicke auf unterschiedliche Weise ermittelt, untersucht und interpretiert. Die folgende Abhandlung soll einen Überblick über die bisher erfolgten Untersuchungen vermitteln.

Bereits 1941 maß eine Studie die Papillarliniendicke von 200 männlichen Probanden im Alter von 18-30 Jahren. Die Papillarliniendicke wurde dabei nur indirekt bestimmt. Dafür wurde eine 1cm lange Linie transversal auf dem Abdruck platziert. Anschließend wurde die Anzahl der so geschnittenen Papillarleisten mit einer Lupe bestimmt. Dieser Vorgang wurde sowohl für jeden Finger, als auch für unterschiedliche Regionen der Handfläche wiederholt. Dabei stellte sich heraus dass die Papillarliniendicke an den Fingern signifikant geringer ist als an den Handflächen. Weiterhin war es möglich ein geringes Maß an Korrelation zwischen diesem Maß der Papillarliniendicke, dem Körpergewicht, der Statur, der Handlänge und der Handbreite zu etablieren. Die für die jeweilige Handregion bestimmte Papillarlinienanzahl findet sich in Abbildung 10. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der linken und der rechten Hand gefunden werden. (Cummins, Waits, & McQuitty, 1941)

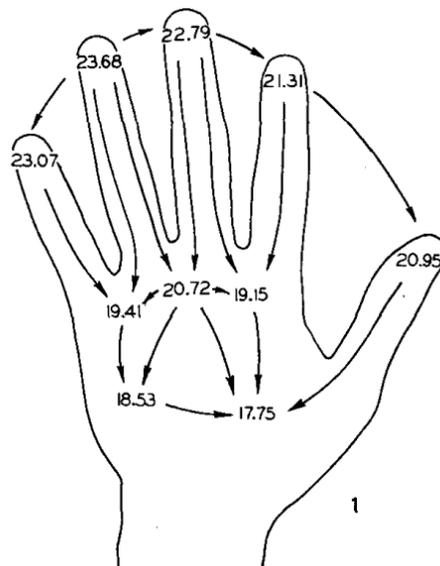


Abbildung 10 Durchschnittliche Anzahl der Papillarlinien bei Männern (entnommen aus: (Cummins, Waits, & McQuitty, 1941))

Dieselbe Methode wurde 1942 erneut angewandt. Diesmal wurden die Handabdrücke von 100 Frauen im Alter von 18-28 Jahren untersucht. Ziel war es einen möglichen Unterschied, dieser indirekten Dicken, zwischen den Geschlechtern nachzuweisen. Auch hier war das indirekte Maß auf der Handfläche deutlich geringer als an den Fingerbeeren. Ein Unterschied zwischen den beiden Händen konnte erneut nicht etabliert werden. In Abbildung 11 sind die Durchschnitte der einzelnen gemessenen Regionen zu sehen. Dabei fiel auf, dass bei Frauen im Durchschnitt mehr Linien gezählt wurden als bei Männern. Dies suggerierte eine geringere Papillarliniendicke bei Frauen. (Ohler & Cummins, 1942)

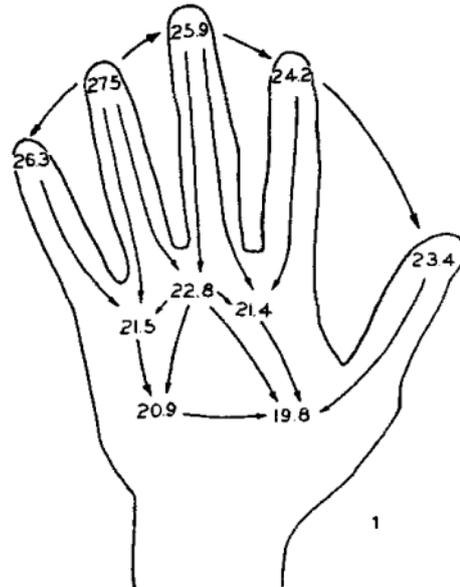


Abbildung 11 Durchschnittliche Anzahl der Papillarlinien bei Frauen (entnommen aus: (Ohler & Cummins, 1942))

In weiteren Untersuchungen wurde die Papillarliniendicke mittels des Abstandes der palmaren Triradien a und b bestimmt. Bei den palmaren Triradien handelt es sich um Y-förmige Papillarleisten bzw. -linien, welche sich an der Basis eines Fingers befinden. Die Palmaren Triradien a und b befinden sich dabei an der Basis des Zeigefingers (a) bzw. des Mittelfinger (b). Die Papillarliniendicke wird dann ähnlich der ersten Methode bestimmt. Die Länge der Geraden zwischen den Triradien wird gemessen und durch die Anzahl der geschnittenen Papillarleisten geteilt. Eine solche Messung ist zur Verdeutlichung in Abbildung 12 angefügt. Diese Maß wurde vor allem aufgrund der starken Parallelität der, zwischen den beiden Punkten verlaufenden, Papillarlinien gewählt. (Penrose & Loesch, 1966)

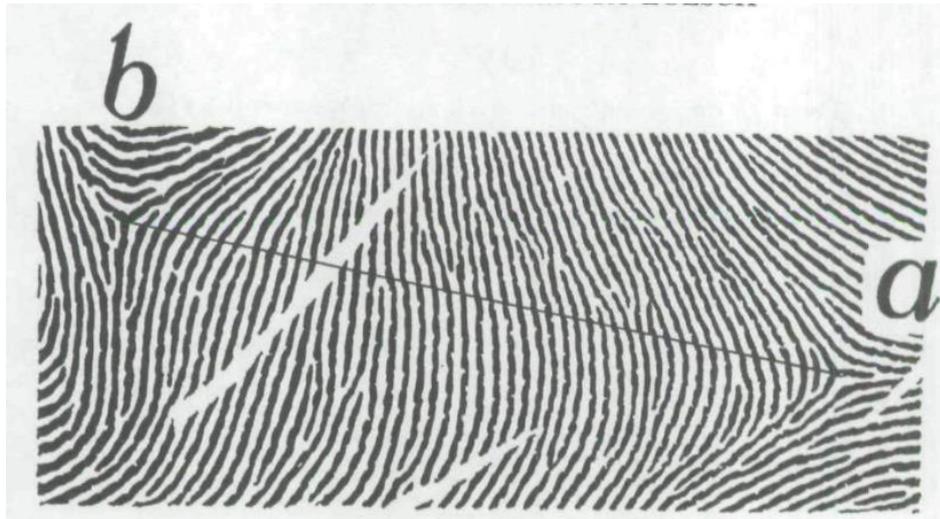


Abbildung 12 Messung der Distanz zwischen den palmaren Triradien a und b (entnommen aus: (Penrose & Loesch, 1966))

In Abbildung 12 entspricht der Triradius a dem Triradius an der Basis des Zeigefingers. Der Triradius b entspricht dem Triradius an der Basis des Mittelfingers.

Diese Messung der Papillarliniendicke kam auch bei einer Studie von 1981 zum Einsatz. Dabei wurden diesmal 500 Männer und 500 Frauen untersucht. Es sollte erneut die Korrelation verschiedener menschlicher Merkmale mit der Papillarliniendicke untersucht werden. Neben der Auswirkung des Geschlechtes wurde auch das Alter betrachtet. Dabei stellte sich heraus, dass die Papillarliniendicke mit dem Alter signifikant ansteigt. Darüber hinaus konnte erneut festgestellt werden, dass die Papillarlinien von Frauen im Durchschnitt kleiner sind, als die der Männer. Beide diese Beobachtungen sind in Tabelle 1 dargestellt. (David, 1981)

Tabelle 1 Durchschnittliche Papillarliniendicke in μm (entnommen aus: (David, 1981))

Group	Number	Mean
Males, 4-7 years	21	399.48
Males, 8-11 years	61	452.18
Males, 8-11 years	61	452.18
Males, 12-15 years	71	498.44
Males, 12-15 years	71	498.44
Males, 16-19 years	86	533.60
Males, 16-19 years	86	533.60
Males, 20 years +	259	541.29
Females, 16-19 years	96	486.77
Females, 20 years +	381	492.51
Females, 16-19 years	96	486.77
Males, 16-19 years	86	533.60
Females, 20 years +	381	492.51
Males, 20 years +	259	541.29

Die in Tabelle 1 gelisteten Daten führen neben den durchschnittlichen Leistendicken auch die Anzahl der getesteten Individuen, sowie deren Altersgruppe.

Diese Methode zur Bestimmung der Papillarliniendicke wurde jedoch in darauffolgenden Studien ebenso als ungeeignet bezeichnet. Dies ist vor allem zwei Faktoren zuzuschreiben. Zum einen besitzt nicht jeder Mensch die für die Messung genutzten Triradien. Außerdem ist die Position der Triradien abhängig von der Handgröße bzw. Handbreite. Dementsprechend wird eine mittels der Triradien bestimmte Dicke durch diese Faktoren eventuell ungenauer. (Mundorff, Bartelink, & Murad, 2014)

Aufgrund dessen wurden weitere Methoden zur Bestimmung der Papillarliniendicke eingeführt. Eine neue Form kam bei einer Studie mit 250 Männern und 250 Frauen zum Einsatz. Um die Dicke der Papillarlinien zu bestimmen wurde die Länge einer Geraden ermittelt, welche 10 Papillarlinien möglichst orthogonal schneidet. Bei der manuellen Platzierung dieser Geraden wurde darauf geachtet, keine Minutien zu erfassen. Eine solche Gerade ist in Abbildung 13 dargestellt. Mit dieser Methode war man dazu in der Lage einen signifikanten Unterschied der Papillarliniendicke, zwischen den Geschlechtern festzustellen. Die ermittelte Papillarliniendicke der Männer war im Durchschnitt größer als die der Frauen. Dahingehend stimmt diese Studie mit den vorangegangenen Beobachtungen überein. Allerdings wurden auch widersprüchliche Beobachtungen gemacht. So wurde bspw. ein Unterschied zwischen den Dicken der linken und der rechten Hand festgestellt. (Mundorff, Bartelink, & Murad, 2014)



Abbildung 13 Darstellung der Messgeraden (entnommen aus: (Mundorff, Bartelink, & Murad, 2014))

Die in Abbildung 13 dargestellte Messgerade beginnt und endet an den Tälern.

In einem Paper von 2019 wurde die Papillarliniendicke als Durchschnitt von 6 manuell platzierten und gemessenen Werten bestimmt. Ein Beispiel für die Position der Messungen ist in Abbildung 14 zu sehen. Die Studie mit 80 männlichen und 120 weiblichen Probanden sollte den Zusammenhang zwischen der Papillarliniendicke, dem BMI und dem Geschlecht der Personen betrachten. Es wurde nur der Zeigefinger der rechten Hand untersucht. Auch hier wurde ein Zusammenhang zwischen Geschlecht und Papillarliniendicke festgestellt. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Studien wiesen jedoch hier die weiblichen Teilnehmer dickere Papillarlinien auf. Dies ist relevant, da die Messung der Papillarliniendicke von allen bisher genannten Studien hier am direktesten erfolgte (siehe: Abbildung 14). In der Studie wurden die dickeren Papillarlinien damit erklärt, dass die weiblichen Probanden häufiger fetthaltige Handpflegecremes nutzten, als die männlichen. (Czech, Szabelak, & Sowinski, 2019)

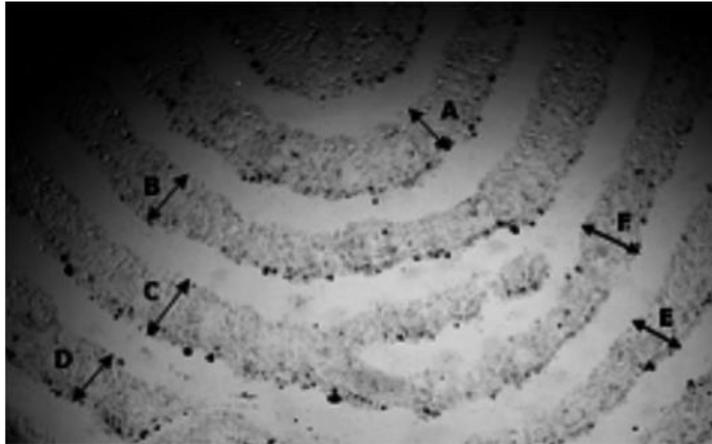


Abbildung 14 Darstellung der manuell platzierten Messgeraden A-F (entnommen aus: (Czech, Szabelak, & Sowinski, 2019))

Die erfolgte Darstellung des Forschungsstandes erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie liefert lediglich einen Überblick, über den damaligen und aktuellen Forschungsstand bezüglich der Papillarliniendicke.

Bei der näheren Betrachtung der getätigten Forschungen wird deutlich, dass einige Arbeiten die Papillarliniendicke im Titel thematisieren, dann allerdings ein Maß verwenden, welches eher der Papillarliniendichte entspricht. Betroffen sind dabei alle im vorherigen Teil dieses Kapitels gelisteten Arbeiten von 1941-2014. (Cummins, Waits, & McQuitty, 1941; Ohler & Cummins, 1942; David, 1981; Mundorff, Bartelink, & Murad, 2014)

Dieser Umstand macht die Formulierung einer Definition der Papillarliniendicke für diese Arbeit notwendig. Die Papillarliniendicke ist im Folgenden als die Länge jener Linie zu verstehen, welche die Papillarlinie orthogonal schneidet und sich von einer Seite der Leiste zur anderen erstreckt. Diese Definition stimmt mit der, in der Arbeit von Czech, Szabelak, & Sowinski überein (Czech, Szabelak, & Sowinski, 2019). Die Definition der Talliniendicke ist analog.

Weiterhin geschah die Messung in den Arbeiten größtenteils von Hand. Es gibt Arbeiten, welche die Papillarliniendicke im Sinne der obigen Definition automatisch erfassen. In diesen wird die Papillarliniendicke allerdings nicht als eigenes Merkmal verwendet. Stattdessen wird sie mit der Talliniendicke zur sogenannten „**Ridge-to-Valley-ratio**“ kombiniert. Diese Ridge-to-Valley-ratio fließt dann mit anderen Merkmalen in einen Klassifikator ein. (Tadross, Badawi, Mahfouz, Jantz, & Blair, 2006; Chauhan, Anjekar, & Tarare, 2015; Abdullah, Abas, Rahman, & Saad, 2016)

Dementsprechend scheint eine detaillierte, automatisierte Betrachtung der Papillar- und Talliniendicke als alleiniges Klassifikationsmerkmal für das menschliche Geschlecht noch wenig erforscht.

Diese Arbeit soll im weiteren Verlauf einen Einblick in ebendieses Thema geben.

2.3 Bisherige Arbeiten an der Hochschule Mittweida

Dies ist die erste (Abschluss-)Arbeit an der Hochschule Mittweida, welche sich explizit mit der Papillar- und Talliniendicke auseinandersetzt. Zum jetzigen Zeitpunkt wurden allerdings bereits mehrere Untersuchungen anderer daktyloskopischer Themen angestellt.

Vor allem die Papillarliniendichte wurde in mehreren Arbeiten thematisiert. Die letzten Untersuchungen zu diesem Thema stellten Sieke Stoeter (Stoeter, 2020) und Cynthia Reuter (Reuter, 2020) an. Im Rahmen ihrer Arbeiten schrieben sie ein Programm zur automatischen Messung der Papillarliniendichte.

Weiterhin verbesserten sie das bereits bestehende Skript für die automatische Detektion des Kernpunktes und erreichten dabei Genauigkeiten von ~95%. Damit der Kernpunkt auf diese Weise gefunden werden kann muss das Bild des Fingerabdrucks zunächst verbessert werden. Das Programm zur Verbesserung des Bildes wurde von Jiang H. aus seiner Arbeit „Fingerprint Image Enhancement“ von 2019 übernommen. Die Verlinkung zu jener Arbeit ist mittlerweile erloschen. (Stoeter, 2020; Reuter, 2020)

Die Bildverbesserung und das Skript für die automatische Detektion des Kernpunktes finden auch in dieser Arbeit Anwendung. Ihre Funktionsweise wird im folgenden Methodenteil in den Grundzügen erläutert.

3 Methodik

In diesem Teil der Arbeit werden die verwendeten Mittel und Methoden erklärt. Nach einer Darstellung des zur Verfügung stehenden Datensatzes wird auf die von Stoeter und Reuter angewandte Bildverbesserung und die Kernpunktdetektion eingegangen. Anschließend wird die Funktionsweise des Programms, welches die Papillar- und Talliniendicken extrahiert, beschrieben. Es folgt eine Überprüfung der Genauigkeit der einzelnen Methoden. Im speziellen wird überprüft, inwieweit bzw. ob die Bildverbesserung die dargestellte Papillarliniendicke beeinflusst und wie genau die entwickelten Methoden die Papillarliniendicke erfassen können. Die Auswertung dieser Überprüfung erfolgt zugunsten des Verständnisses des Lesers bereits in diesem Kapitel. Abschließend werden die mit dem Datensatz vollzogenen analytischen Schritte gelistet.

3.1 Spezifika des Datensatzes

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit stellte die Hochschule Mittweida einen Datensatz mit insgesamt 1150 Fingerabdrücken zur Verfügung. Diese stammten von insgesamt 121 Probanden. Von den 121 Probanden waren 69 weiblich und 52 männlich. Neben dem Geschlecht und der jeweils zufällig generierten Kennung wurden auch das Geburtsjahr, die Größe, das Gewicht, die Herkunft, die Blutgruppe, die Schuhgröße, die Augenfarbe, die Haarfarbe, die dominante Hand sowie die Lieblingsfarbe der Probanden vermerkt. Es wurde versucht, alle 10 Fingerabdrücke eines Probanden mittels eines Scanners zu erfassen. Welcher Finger auf einem Scannerbild zu sehen ist, wurde im Dateinamen mit einer Zahl vermerkt. Die Zahlen 1-5 beziffern dabei Finger der linken Hand, während 6-10 einen Finger der rechten Hand anzeigen. Die genaue Zuordnung findet sich in Abbildung 15 (Stoeter, 2020).



Abbildung 15 Zuordnung der Ziffern zu den jeweiligen Fingern

3.2 Bildverbesserung

Alle Bilder wurden mit einer Auflösung von 640x480 Pixeln bei 500 dpi aufgenommen. Die individuelle Qualität der vorliegenden Scannerbilder variiert jedoch von Aufnahme zu Aufnahme. In den meisten der Bilder sind die Papillarleisten durchgängig und vollständig abgebildet. Ein Beispiel für eine solche Aufnahme findet sich in Abbildung 16.



Abbildung 16 Qualitativ hochwertiges Scannerbild

In einzelnen Bildern des Datensatzes ist der Papillarlinienverlauf jedoch unterbrochen. Bei diesen Bildern ist mit dem bloßen Auge erkenntlich, dass an ihnen keine verlässliche Bestimmung der Papillarliniendicke möglich sein wird. Ein solches Bild ist in Abbildung 17 zu finden.



Abbildung 17 Scannerbild mit variierend Liniendicken

Um die weniger qualitativ hochwertigen Aufnahmen trotzdem testen zu können, wurde eine Bildverbesserung verwendet. Dabei handelt es sich um das von Sieke Stoeter und Cynthia Reuter modifizierte Programm von Jiang H. Diese Bildverbesserung ist auch für die Detektion des Kernpunktes notwendig.

Aufgrund der verloschenen Verlinkung zur Arbeit von Jiang H. erfolgt die Zitation bei der anschließenden Erklärung der Bildverbesserung in Form der Arbeiten von Sieke Stoeter bzw. Cynthia Reuter. Es ist an dieser Stelle jedoch noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Originalprogramm „image_enhance“ von Jiang H. stammt (Jiang, 2019). Die Zitation erfolgt auf diese Weise, da die Originalarbeit in Form des GitHub Repositorys nicht mehr zu Verfügung steht und die beiden Bachelorarbeiten die Funktionsweise des Programmes detailliert beschreiben. Im Folgenden sind die einzelnen Verarbeitungsschritte dargestellt (siehe Abbildung 18).

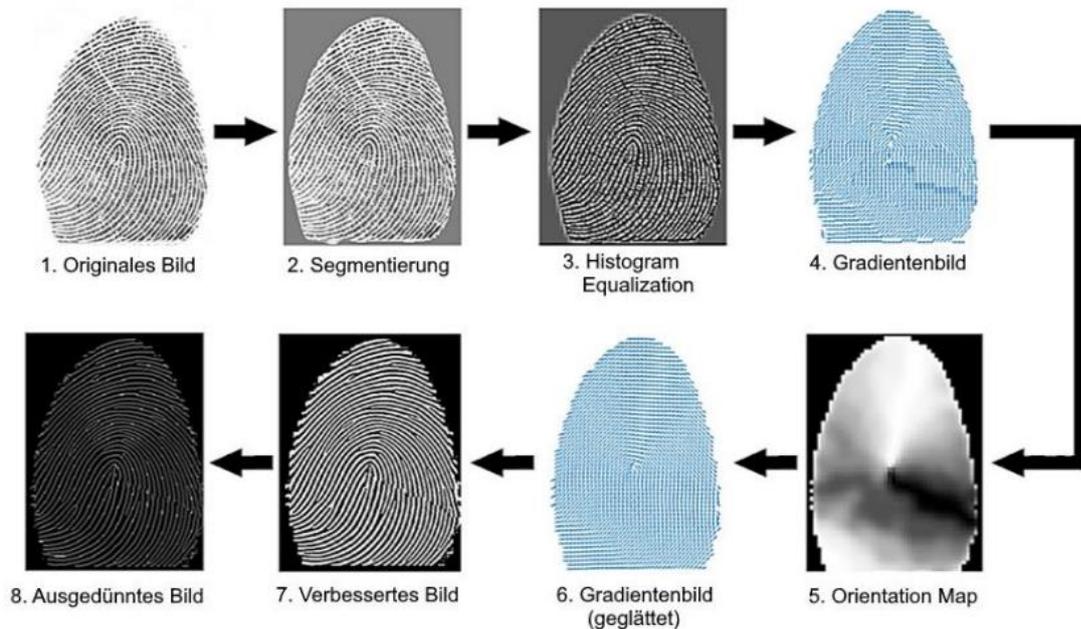


Abbildung 18 Einzelne Verarbeitungsschritte der Bildverbesserung (entnommen aus: (Stoeter, 2020))

Die Verbesserung des Bildes beginnt mit der **Segmentierung** nach Fahmy und Thabet. Diese soll eventuelle Artefakte aus dem Bild entfernen und den Fingerabdruck vom Hintergrund abgrenzen. Dafür wird das Bild in 3x3 große Blöcke unterteilt und invertiert. Dann werden die Grauwerte der einzelnen Blöcke berechnet. Anhand des Grauwertes wird eine Binarisierung durchgeführt, welche die Umriss des Fingerabdrucks erkenntlich macht. Diese Umriss werden anschließend noch mittels Contour Smoothing abgerundet. Abschließend wird der Hintergrund des so entstandenen Umrisses hellgrau eingefärbt. (Fahmy & Thabet, 2013)

Die auf die Segmentierung folgenden Schritte 3-7 (siehe Abbildung 18) gehören zum Programm „image_enhance“. Sie soll die Lücken in den einzelnen Papillarlinien verbinden und die Linien insgesamt gleichmäßig einfärben. (Stoeter, 2020)

Die ungleichmäßige Färbung der einzelnen Papillarlinien entsteht durch den variierenden Druck des Fingers auf dem Scanner. Durch ihn wird die gleiche Papillarlinie teilweise in unterschiedlichen Grauwerten dargestellt. (Stoeter, 2020)

Um den Kontrast der einzelnen Linien (und Täler) zu erhöhen wird die **Histogram Equalization** angewandt (Stoeter, 2020). Dabei werden die Grauwerte eines Pixels aufgrund ihre Verteilung im Bild entweder erhöht oder gesenkt (MathWorks, histeq).

Im nächsten Schritt wird das **Gradientenbild** erstellt. Er wird sowohl für die Kantendetektion als auch für die Erstellung der **Orientation Map** benötigt. Die Orientation Map ist essentieller Bestandteil der Kernpunktdetektion (Stoeter, 2020). Der Gradient beschreibt die Stärke einer Richtungsänderung im Bild und macht dadurch die Kanten bzw. Umrisse der Papillarlينien sichtbar (Li & Jain, 2009).

Die darauffolgenden Schritte sind anfällig für Bildrauschen, daher ist eine **Diskrete Fourier Transformation** erforderlich (Stoeter, 2020). Die Transformation ist in der Lage Bildrauschen zu detektieren und zu filtern. Das Filtern erfolgt aufgrund der berechneten Frequenzen der Bildwerte (MathWorks, Discrete Fourier Transform).

Um die Linien des verbesserten Bildes gleichförmiger zu machen kommt zunächst ein **Gauß-Filter** mit der Blockgröße 5x5 zum Einsatz (Stoeter, 2020). Beim Gaußfilter werden die einzelnen Pixel des Bildes geglättet in dem die Farbwerte ihrer Nachbarn mit einer bestimmten Gewichtung versehen werden. Je höher die Gewichtung eines Nachbarpixels, desto höher sein Einfluss auf die Glättung (MathWorks, Gaussian Filter).

Für eine weiter verbesserte Erkennung der Papillarlينien wird anschließend ein **Gabor-Filter** angewandt (Stoeter, 2020). Dieser soll starke Strukturänderungen erfassen und besser zur Geltung bringen (MathWorks, Gabor Filters).

Nach dieser Vorverarbeitung sind die Papillarlينien geschlossen und gleichmäßig (Stoeter, 2020). Abschließend wird das Bild **binarisiert**. Dementsprechend erhält jeder Pixel des Bildes einen eindeutigen Farbwert. Für die konkrete Zuweisung des jeweiligen Farbwertes wird ein adaptiver Schwellenwert genutzt, welcher die umgebenden Pixel miteinbezieht (MathWorks, imbinarize).

In Abbildung 18 wird als letzter Verarbeitungsschritt die Ausdünnung des Bildes gelistet. Ein ausgedünntes Bild wäre für die Messung der Papillarlينienstärke kontraproduktiv. Daher wurde dieses bei der weiteren Bestimmung der Liniendicken nicht verwendet.

3.3 Kernpunktdetektion

Die verwendete Kernpunktdetektion basiert auf den Erkenntnissen von Bahgat et al. Sie nutzt die, bei der Bildverbesserung entstandene, Orientation Map. Die Orientation Map stellt Bildbereiche, in denen Linien ihre Richtung ändern, dunkel dar (siehe Abbildung 18). Der Kernpunkt ist der oberste Punkt der Linie mit der stärksten Richtungsänderungen. Dementsprechend ist eine Orientation Map geeignet, um den Kernpunkt ausfindig zu machen. (Bahgat, Khali, Kader, & Mashali, 2013)

Für ein verbessertes Verständnis der Materie wurden in Abbildung 19 die Orientation Maps verschiedener Grundmuster dargestellt.

Stoeter und Reuter wandten diese Eigenschaft der Orientation Map in Verbindung mit **Template Matching** an. Das Template Matching vergleicht zwei Bildausschnitte miteinander und bestimmt ihre Ähnlichkeit. Um den Kernpunkt aller Grundmuster zu finden, wurden vier Vorlagen von Orientation Maps erstellt. Diese Vorlagen sind die namensgebenden "Templates". Ein Template verkörpert das jeweils zugehörige Grundmuster. Für das Schleifengrundmuster mussten zwei Templates erstellt werden. Dies war aufgrund der unterschiedlichen Auslaufrichtungen von Schleifen (siehe 2.1.3.1 Schleife) notwendig. Die Orientation Map des Fingerabdruckes wird dann mit den Templates verglichen. Findet sich ein Bereich mit besonders hoher Übereinstimmung wird der Kernpunkt am höchsten schwarzen Pixel dieser Orientation Map platziert. Sollten mehrere Bereiche hohe Übereinstimmungen aufweisen, werden die höchstgelegenen Nachbarpixel zur Analyse hinzugezogen. (Reuter, 2020; Stoeter, 2020)

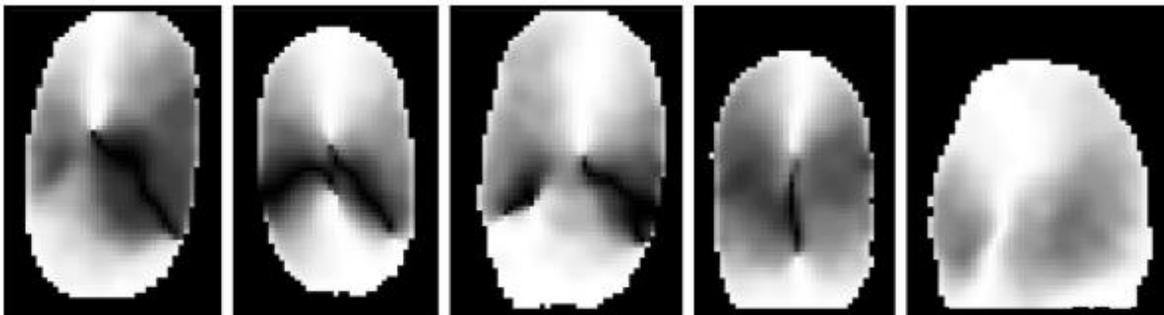


Abbildung 19 Orientation Maps verschiedener Grundmuster (entnommen aus: (Stoeter, 2020))

Die Orientation Maps aus Abbildung 19 gehören zu den folgenden Grundmustern: (von links nach rechts aufgeführt) Schleife, Wirbel, Doppelschleife, Tannenbogen, Breiter Bogen.

3.4 Programme zur Messung der Papillarliniendicke

Für die Messung der Papillar- und Talliniendicken wurden drei Methoden von Grund auf programmiert. Dafür wurde die Software „Matlab“ verwendet. Diese Software wurde gewählt, weil die bereits bestehenden Programme in Form der Bildverbesserung und Kernpunktdetektion ebenso in Matlab geschrieben wurden. Weiterhin verfügt Matlab über spezifische, vorinstallierte Funktionen zur Bildverarbeitung. Diese erleichterten das Programmieren der neuen Methoden. Die Spezifika der einzelnen Messungen werden in den folgenden Kapiteln besprochen.

3.4.1 Naive Messung

Die Papillarliniendicke wurde (in 2.2) als die Länge der orthogonal schneidenden Strecke bezeichnet. Die naive Messung nutzt diese Definition aus. Sie erfolgt unter der Hypothese, dass der Kernpunkt des Fingerabdruckes von den Papillarlinien umwunden ist. Dementsprechend sollte jede vom Kernpunkt ausgehende Strecke die Papillarlinien annähernd orthogonal schneiden. Diese Hypothese ist in Abbildung 20 an verschiedenen Grundmustern verbildlicht.



Abbildung 20 Fingerabdrücke mit eingetragenen Messgeraden

Bei den Grundmustern der in Abbildung 20 dargestellten Fingerabdrücke handelt es sich um (von links nach rechts) eine Schleife (linksauslaufend), einen Wirbel und einen Bogen.

Entsprechend dieser Hypothese werden bei der naiven Messung sieben Geraden durch das Bild gezogen (siehe Abbildung 20). Um die Liniendicken auf diesen Geraden zu evaluieren durchläuft das Programm jede einzelne Gerade. Die Messung beginnt vom Kernpunkt ausgehend. Um zu vermeiden, dass in jeder Messrichtung zunächst die Kernlinie gemessen wird, werden die ersten fünf Pixel übersprungen (drei Pixel bei den diagonalen Messungen). Sollte das Programm die Zählung deshalb auf einem Linienpixel starten so wird die Linie vollständig übersprungen und die Messung beginnt erst beim nächsten Linienbeginn. Sollte das Programm auf einem Talpixel beginnen durchläuft es dieses weiter, bis es auf den ersten Linienpixel trifft.

Dies ist aufgrund des verwendeten Offsets notwendig, um die Zählung unvollständiger Linien und Täler zu vermeiden.

Ist dieser initiale Vorgang abgeschlossen beginnt die eigentliche Messung. Das Programm vermerkt den Startpunkt der Linie und beginnt diese Pixel für Pixel entlang der zugehörigen Geraden zu durchlaufen. Sollte es dann auf einen Talpixel treffen speichert es den Endpunkt der vorhergehenden Linie. Mittels dieses Start- und Endpunktes kalkuliert es dann die Dicke der Linie nach der euklidischen Norm (Beutelspracher, 2014). Der Verlauf für die Berechnung der Talliniendicke geschieht analog anhand von Tallinienpixeln.

Die Messung gilt als beendet, wenn das Programm die Bildränder erreicht hat oder zehn Linienpixel hintereinander zählt (Hintergrund). Nach der Terminierung des Vorgangs wird der Mittelwert aller gemessenen Dicken dieser Geraden gebildet. Ebenjener Vorgang erfolgt insgesamt drei Mal für jede der sieben Messgeraden. Nach jedem dieser Durchläufe wird die derzeitige Messgerade um einen Pixel verschoben. Dies soll dazu beitragen, dass vor allem die tatsächlichen Dicken in die Mittelwerte einfließen. Bei einer einzelnen Messgeraden wäre der Einfluss von Bildartefakten, Poren, auslaufenden Linien oder Narben größer. Durch die Verschiebung und Wiederholung des Vorgangs in der gleichen Messrichtung sollen derartige negative Einflüsse reduziert werden.

Neben den so entstandenen sieben Messungen werden noch zwei weitere Merkmale gebildet. Als Erstes wird der Mittelwert aller Messungen berechnet. Anschließend wird der Durchschnitt aller Messungen ohne die Werte der unteren Diagonalen erstellt. Abschließend gibt die naive Messfunktion 18 Werte aus. Neun dieser Werte beschreiben die Papillarliniendicke, die anderen neun beziehen sich auf die Messung der Täler.

Der Name „naive“ Messung wurde gewählt, da bereits anhand der angezeichneten Messgeraden auf einzelnen Fingerabdrücke zu erkennen ist, dass nicht immer ein orthogonaler Verlauf durch die umgebenden Papillar- und Tallinien vorliegt. Dies ist insbesondere bei den unteren, diagonal verlaufenden Messgeraden fraglich. Daher bildet die Funktion auch einen Durchschnitt, bei dem diese Geraden nicht näher betrachtet werden. Eine Auswertung der Genauigkeit dieser Messung erfolgt im späteren Verlauf dieses Kapitels.

3.4.2 Angepasste Messung

Die angepasste Messung wurde als Verbesserung gegenüber der naiven Messung entwickelt. Auch sie basiert auf den sieben, vom Kernpunkt ausstrahlenden Messgeraden. Ebenso wird die Messung entlang einer Messgeraden insgesamt drei Mal durchgeführt.

Der Unterschied besteht in der zugrundeliegenden Hypothese. Bei der angepassten Messung wird angenommen, dass die Nachbarpixel des Startpixels (also jenes Pixel, auf den die Messgerade beim normalen Durchlaufen als erstes trifft) eine Aussage über die Orientierung der zugehörigen Linie bzw. des zugehörigen Tals treffen können. Kennt man die Orientierung einer Linie, ist klar, wie man sie orthogonal durchläuft.

Der Funktionsablauf der naiven und der angepassten Messfunktion unterscheidet sich daher erst beim Auftreffen auf den ersten Linien- bzw. Talpixel. Findet die angepasste Messung einen solchen Beginn, detektiert sie die entsprechenden Nachbarpixel. Dafür durchläuft sie zwei, zur Messlinie parallele, Geraden. Diese Geraden sind im Vergleich zur Messlinie jeweils um einen Pixel nach links und rechts bzw. oben und unten (abhängig von der zugehörigen Messlinie) versetzt. Stoßen die Geraden auf mehrere Pixel passender Farbe, wird der Pixel mit der kleineren Distanz zum Startpixel gewählt.

Mit den Positionen der Nachbarpixel bildet die Funktion einen Vektor. Anschließend wird die, zu diesem Vektor zugehörige, Normale berechnet. Bei der Normalen eines Vektors handelt es sich um die Orthogonale durch den Ursprungsvektoren. (Beutelspracher, 2014)

Das Programm durchläuft die zum Startpixel zugehörige Linie anhand dieses orthogonalen Vektors. Der weitere Verlauf ist analog zur naiven Messung.

Die Darstellung in Abbildung 21 wurde anhand von programminternen Informationen erstellt. Auf ihr sind die Vektorfindung und der zugehörige Normalenvektor abgebildet.

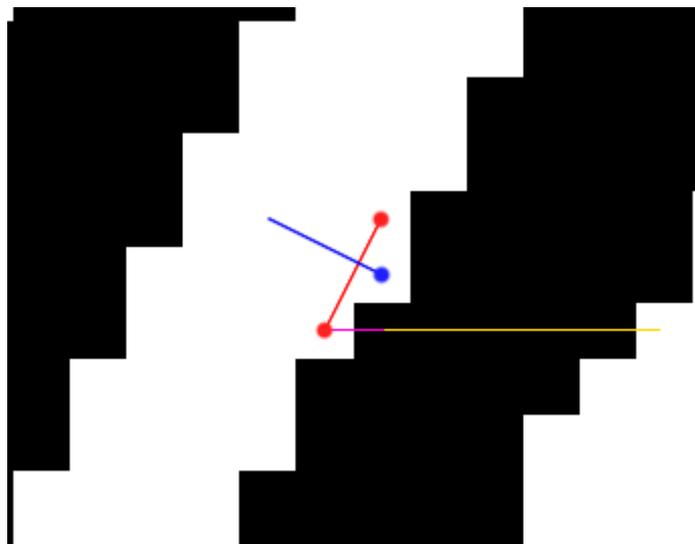


Abbildung 21 Darstellung der angepassten Messung

Die in Abbildung 21 dargestellten roten Kreise markieren die gefundenen Nachbarpixel. Die rote Linie zwischen den beiden Kreisen ist der zugehörige Vektor. Der blaue Kreis steht für den Startpixel. Der berechnete Normalenvektor ist als blaue Linie vermerkt. Die magenta-farbene bzw. gelbe Linie steht für den, nach dem unteren Nachbarpixel abgesuchten Bereich. Die Farbänderung soll die Suchrichtung suggerieren. Derartige „Suchlinien“ sind beim oberen Nachbarpixel nicht gegeben. Dies liegt daran, dass dieser eine spezielle Abbruchbedingung erfüllt. Startet die Nebensuchung auf einem Pixel passender Farbe und sorgt eine Bewegung um eine Einheit für einen Farbwechsel, ist klar, dass man sich auf dem gesuchten Nachbarpixel befindet. Die Suche wird eingestellt.

3.4.3 Manuelle Messung

Die manuelle Messung wurde zur Gewinnung von Vergleichsdaten erstellt. Wird die manuelle Messfunktion aufgerufen, öffnet sich ein interaktives Fenster. In diesem Fenster sind der Fingerabdruck, sowie eine Messlinie eingeblendet. Die Messlinie suggeriert die Position der Messgeraden bei einer automatischen Dickendetektion. Die auszuführende Tätigkeit wird oben im Titel des Fensters eingeblendet.

Der Nutzer wird zuerst dazu angehalten die Papillarlinien entlang der Messlinie von Hand auszumessen. Dafür kann er die jeweiligen Start- und Endpixel via „Drag and Drop“ markieren. Ist dies einmal geschehen zeigt das System die erkannte Linie an. Ist der Nutzer zufrieden mit der erkannten Linie, kann er sie durch das Drücken von Enter bestätigen. Wurde die Linie falsch erkannt, kann sie durch Klicken wieder entfernt werden.

Nach der Messung der Papillarlinien erfolgt die Vermessung der Taldicken. Wie viele Linien und Täler je Messlinie vermessen werden sollen, kann der Funktion als Argument übergeben werden. Abbildung 22 zeigt eine beispielhafte, manuelle Messung.

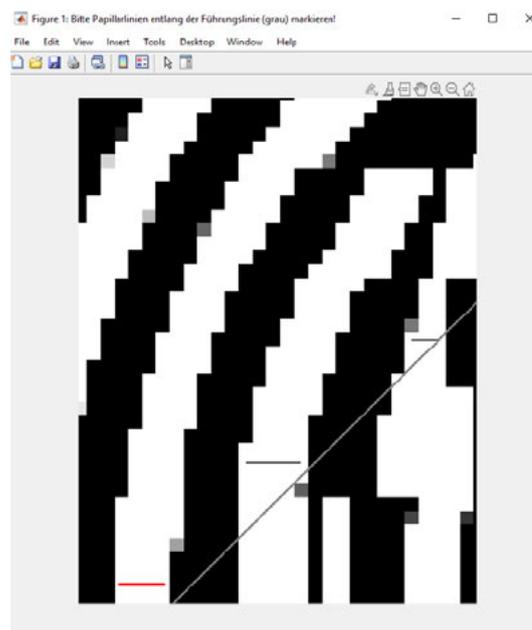


Abbildung 22 Manuelles Messfenster

Die waagerechten grauen Linien in Abbildung 22 sind vom Nutzer bestätigte Messungen. Die rote Linie stellt eine gerade geführte Messung dar.

Nach dem die spezifisch festgelegte Anzahl an Messungen erfolgt ist, schließt sich das Fenster und der normale Programmfluss wird fortgesetzt. .

3.5 Programmablauf

Beim ersten Start des Programmes erstellt es die notwendigen Templates. Dafür müssen diese in einem extra Ordner des Arbeitsverzeichnisses vorhanden sein. Anschließend durchsucht das Programm das derzeitige Arbeitsverzeichnis nach Bildern des „.jpg“-Formats. Findet es entsprechende Dateien, versucht es diese via „image_enhance“ zu verbessern und anschließend ihren Kernpunkt zu bestimmen. Der gefundene Kernpunkt wird daraufhin dem Nutzer präsentiert.

Bestätigt der Nutzer die Korrektheit des Kernpunktes, läuft das Skript weiter und die aktivierten Messungen beginnen. Die jeweiligen Messfunktionen binarisieren das Bild ihnen übergebene Bild. Ist die manuelle Messung eingestellt, öffnet sich zudem ein Fenster in dem der Nutzer die Linien und Täler markieren kann.

Ist der Kernpunkt inkorrekt, kann der Nutzer dies durch klicken indizieren. Bei Stoeter und Reuter wurde ein inkorrekt Kernpunkt von Hand korrigiert (Reuter, 2020; Stoeter, 2020). Davon wurde in diesem Fall abgesehen. Ein von Hand platzierter Kernpunkt ist nicht reproduzierbar und kann daher variierende Ergebnisse liefern.

Der Vorgang wiederholt sich solange, bis alle Bilder im Arbeitsverzeichnis verarbeitet wurden. Während der Verarbeitung gibt das Programm den derzeitigen Gesamtfortschritt im Konsolenfeld aus.

3.6 Genauigkeit der Methoden

Um zu überprüfen, wie genau die genannten Methoden arbeiten wurde ein Testdatensatz manuell ausgewertet. Der Datensatz umfasste insgesamt 60 Fingerabdrücke. Die Fingerabdrücke stammten zu 50% von weiblichen Individuen. Die restlichen 50% waren männlichen Geschlechts. Die Papillarlinien- und Taldicken wurden zweimal von Hand bestimmt. Einmal anhand der unverarbeiteten, binarisierten Bilder und einmal mittels der von „image_enhance“ verbesserten Bilder. Im Folgenden werden nun zwei Faktoren ausgewertet. Zum einen soll gezeigt werden welchen Einfluss die Bildverbesserung auf die Linien- und Taldicken hat. Zum anderen wird die Genauigkeit der naiven und der angepassten Messmethode dargestellt. Diese Auswertung geschieht in diesem Teil um dem Leser das weitere Vorgehen verständlicher zu machen.

3.6.1 Unterschied zwischen „rohen“ und verbesserten Bildern

Um zu überprüfen, inwieweit die Bildverbesserung die Papillarliniendicken beeinflusst, wurde die durchschnittliche Abweichung berechnet. Dafür wurden die manuell ermittelten Werte voneinander abgezogen. Darüber hinaus wurden die Minima und Maxima der Beiträge der Abweichungen kalkuliert.

Tabelle 2 Abweichung der Papillarliniendicke der verbesserten Bilder gegenüber den Originalen

Verwendete Messlinie	Durchschnittliche Abweichung	Minimale Abweichung	Maximale Abweichung
Linke untere Diagonale	1,239	0,046	3,799
Linke Gerade	1,111	0,005	4,603
Obere Linke Diagonale	1,527	0,082	4,337
Obere Gerade	1,987	0,238	5,234
Obere Rechte Diagonale	1,365	0,008	4,08
Rechte Gerade	1,1	0	3,42
Untere Rechte Diagonale	1,003	0	2,8
Gesamtdurchschnitt	1,253	0,04	3,049
Durchschnitt ohne untere Diagonalen	1,362	0,365	3,463

Es ergab sich, dass die Papillarliniendicke des verbesserten Bildes im Durchschnitt um einen Pixel von der tatsächlich vorliegenden Dicke abweicht (siehe Tabelle 2). Im maximalen Bereich waren Abweichungen von bis zu ~5,2 Pixeln feststellbar. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Bildverbesserung die Dicken vor allem ausdünnert. In vier Fällen suggerierte das verbesserte Bild breitere Linien als das Original.

Die Untersuchung der Taldicken verlief analog zu der der Papillarlinien.

Tabelle 3 Abweichung der Talliniendicke in den verbesserten Bilder gegenüber der Originale

Verwendete Messlinie	Durchschnittliche Abweichung	Minimale Abweichung	Maximale Abweichung
Linke untere Diagonale	-1,278	0,058	3,201
Linke Gerade	-1,463	0,01	3,643
Obere Linke Diagonale	-1,434	0,155	2,738
Obere Gerade	-1,547	0,08	3,294
Obere Rechte Diagonale	-1,496	0,038	2,983
Rechte Gerade	-1,498	0,089	3,578
Untere Rechte Diagonale	-1,303	0,004	3,422
Gesamtdurchschnitt	-1,431	0,032	2,514
Durchschnitt ohne untere Diagonalen	-1,488	0,024	2,805

In Tabelle 3 zeigt sich, dass die Talliniendicke im verbesserten Bild um $\sim 1,4$ Pixel vom Original abwich. Die Maxima waren weniger ausgeprägt als bei der Papillarliniendicke. Es wurde eine maximale Abweichung von $\sim 3,6$ Pixeln festgestellt. Entgegen der Papillarliniendicke wurden die Täler im verbesserten Bild eher breiter dargestellt.

3.6.2 Genauigkeit der naiven und der angepassten Methode

Im Folgenden wurde die Genauigkeit der beschriebenen, automatischen Bestimmungsmethoden untersucht. Auf die Darstellung der Minima und Maxima wurde verzichtet, da vordergründig geprüft werden sollte, welche der beiden Methoden sich im Durchschnitt besser für die Extraktion der Merkmale eignet.

3.6.2.1 Untersuchung der naiven Messung

Für die Evaluierung der naiven Methode wurde zunächst die durchschnittliche Abweichung der Messung bei unverarbeiteten Bildern geprüft (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4 Durchschnittliche Abweichung der naiven Messmethode bei unverarbeiteten Bildern

Verwendete Messlinie	Durchschnittliche Abweichung der Papillarliniendicken	Durchschnittliche Abweichung der Talliniendicken
Linke untere Diagonale	-2,711	-2,918
Linke Gerade	0,475	-1,367
Obere Linke Diagonale	1,034	-0,657
Obere Gerade	1,836	-1,291
Obere Rechte Diagonale	1,603	-0,767
Rechte Gerade	0,358	-1,494
Untere Rechte Diagonale	-3,646	-2,862
Gesamtdurchschnitt	-0,15	-1,585
Durchschnitt ohne untere Diagonalen	1,061	-1,115

Die größte durchschnittliche Abweichung wies die naive Messmethode in den unteren Diagonalen auf. Die Abweichung an diesen Stellen beträgt bis zu $\sim 3,6$ Pixel. Die kleinsten Abweichungen waren bei der linken und rechten Gerade feststellbar. Die maximalen Abweichungen gingen nur bei den Messungen der unteren Diagonalen weit über 2 Pixel hinaus (bis zu 42 Pixel). Die festgestellten, durchschnittlichen Abweichungen der Talliniendicke waren größer als die der Papillarliniendicke.

Es folgt die Evaluation der Performance an verbesserten Bildern (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5 Durchschnittliche Abweichung der naiven Messmethode bei verbesserten Bildern

Verwendete Messlinie	Durchschnittliche Abweichung der Papillarliniendicken	Durchschnittliche Abweichung der Talliniendicken
Linke untere Diagonale	-4,406	-2,291
Linke Gerade	-0,225	-0,128
Obere Linke Diagonale	0,579	0,591
Obere Gerade	0,021	0,077
Obere Rechte Diagonale	0,461	0,529
Rechte Gerade	-0,354	-0,204
Untere Rechte Diagonale	-3,227	-1,977
Gesamtdurchschnitt	-1,021	-0,443
Durchschnitt ohne untere Diagonalen	0,097	0,177

Bei der Untersuchung der Performance des naiven Modells an verbesserten Bildern setzten sich die in Tabelle 4 sichtbaren Trends fort. Die Messungen der unteren diagonalen wiesen die höchste durchschnittliche Abweichung auf. Im Vergleich zu den unverbesserten Bildern waren die Ergebnisse exakter. Auch die maximale Abweichung verringerte sich und überschritt nur in den unteren Diagonalen ~1,5 Pixel.

3.6.2.2 Untersuchung der angepassten Messung

Die Untersuchungen der angepassten Messmethode erfolgten analog zu denen der naiven Methode. Auch in diesem Fall wurde zunächst die Performance des Modells anhand nicht verbesserter Bildern geprüft (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6 Durchschnittliche Abweichung der angepassten Messmethode bei unverarbeiteten Bildern

Verwendete Messlinie	Durchschnittliche Abweichung der Papillarliniendicken	Durchschnittliche Abweichung der Talliniendicken
Linke untere Diagonale	0,888	-1,1
Linke Gerade	0,763	-1,193
Obere Linke Diagonale	1,4	-1,133
Obere Gerade	1,69	-1,43
Obere Rechte Diagonale	1,015	-1,375
Rechte Gerade	0,868	-1,196
Untere Rechte Diagonale	0,824	-1,008
Gesamtdurchschnitt	1,064	-1,205
Durchschnitt ohne untere Diagonalen	1,147	-1,265

Die angepasste Messung erzielte vor allem in den unteren Diagonalen genauere Ergebnisse als das naive Model. In anderen Bereichen konnten ebenfalls leichte Verbesserungen festgestellt werden. Bei weiteren Untersuchungen wurden maximale Abweichungen von bis zu 6 Pixeln gefunden. Dementsprechend musste davon ausgegangen werden, dass die niedrigeren Werte lediglich einer gleichmäßigeren Varianz der Abweichungen zuzuschreiben war. Dieses Phänomen wurde auch bei der Messung der verbesserten Bilder beobachtet (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Durchschnittliche Abweichung der angepassten Messmethode bei verbesserten Bildern

Verwendete Messlinie	Durchschnittliche Abweichung der Papillarliniendicken	Durchschnittliche Abweichung der Talliniendicken
Linke untere Diagonale	0,01	0,014
Linke Gerade	0,111	0,013
Obere Linke Diagonale	0,105	0,123
Obere Gerade	-0,106	-0,074
Obere Rechte Diagonale	-0,13	-0,085
Rechte Gerade	0,054	0,074
Untere Rechte Diagonale	0,161	0,072
Gesamtdurchschnitt	0,029	0,02
Durchschnitt ohne untere Diagonalen	0,007	0,01

Die angepasste Messung wich bei verbesserten Bildern im Durchschnitt nicht mehr als $\sim 0,16$ Pixel ab. Auch hier wurden maximale Abweichungen von bis zu $\sim 1,8$ Pixeln im Plus- und Minusbereich beobachtet. Dementsprechend wurde die Verbesserung der Ergebnisse demselben Phänomen wie schon bei den unverarbeiteten Bildern zugesprochen.

3.7 Schlussfolgerungen bezüglich der zu verwendenden Vermessungsmethode

Die Evaluierung der einzelnen Messmöglichkeiten zeigte, dass die Methoden trotz scheinbar guter Durchschnittsergebnisse teilweise noch starke Abweichungen aufweisen. Dies erschwert die Wahl einer spezifischen Messmethode für das weitere Vorgehen.

Die Ergebnisse der naiven Messungen erwiesen sich bei den unteren Diagonalen als nicht belastbar. Allerdings war das Modell in den anderen Bildbereichen konstant. Das angepasste Modell wies auf unverarbeiteten Bildern noch größere Schwankungen auf als die naive Methode. Bei der Verwendung verbesserter Bilder stieg seine Genauigkeit auf ein ähnliches Level. Darüber hinaus ist es in der Lage die Werte der unteren Diagonalen ansatzweise korrekt darzustellen. Aufgrund dessen wird im weiteren Verlauf der Arbeit das angepasste Modell für die Feststellung der Papillar- und Talliniendicke verwendet.

Dem Modell werden im Weiteren die via „image_enhance“ verbesserten Bilder übergeben. Die nicht bestreitbare Differenz zwischen der tatsächlichen und der dargestellten Papillarliniendicke wird in diesem Fall zugunsten akkuraterer Messungen vernachlässigt. Zudem ist nicht auszuschließen, dass ein signifikanter Unterschied der Liniendicken von Mann und Frau trotz der Differenz erhalten bleibt.

3.8 Analyse des Datensatzes

Insgesamt wurden nur 1004 der zur Verfügung gestellten 1150 Fingerabdrücke ausgelesen. Die übrigen 146 konnten aufgrund von inkorrekt erkannten Kernpunkten oder falsch verlaufenen Bildverbesserungen nicht verwendet werden.

Zur Untersuchung und Darstellung der erhaltenen Daten wurde RStudio genutzt.

Als erster Analyseschritt wurde die durchschnittliche Papillar- und Talliniendicke der beiden Geschlechter miteinander verglichen. Die Analyse erfolgt spezifisch für jeden Finger sowie für die Gesamtheit aller Fingerglieder. Weiterhin wurde zu jedem der genannten Werte die Standardabweichung dargestellt.

Darauffolgend sollten die Merkmale auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern getestet werden. Dementsprechend wurden die durchschnittlichen Tal- und Liniendicken zunächst auf ihre Normalverteilung getestet. Anschließend wurde der dem Ergebnis entsprechende statistische Test angewandt.

Abschließend wurden mehrere Versuche der Geschlechtsbestimmung unternommen. Dabei kamen zwei unterschiedliche lineare Regressionen zum Einsatz. Bei der ersten Durchführung wurde das Modell ausschließlich mit den ermittelten daktyloskopischen Merkmalen trainiert.

Das zweite Modell erhielt neben den ermittelten Daten auch noch das Gewicht sowie die Körpergröße des jeweiligen Individuums. Diese anatomischen Merkmale wurden bei der ursprünglichen Datenaufnahme vermerkt.

4 Ergebnisse

Die aus den Methoden gewonnenen Ergebnisse werden in diesem Kapitel erläutert. Der Vergleich der Durchschnittswerte, die statistischen Überprüfungen und die erstellten Modelle zur logistischen Regression werden gesondert betrachtet.

4.1 Vergleich der durchschnittlichen Linien- und Talbreiten

Männliche Individuen wiesen im Durchschnitt auf jedem Finger eine Papillarliniendicke von mindestens 3,067 Pixeln auf. Der Gesamtdurchschnitt aller männlichen Probanden lag bei 3,372 Pixeln. Die Standardabweichung lag zwischen 0,348 und 0,454 Pixeln. (siehe Tabelle 8)

Tabelle 8 Durchschnittliche Papillarliniendicke bei Männern und Frauen (mit der zugehörigen Standardabweichung)

Finger	Durchschnitt Männer	Standardabweichung Männer	Durchschnitt Frauen	Standardabweichung Frauen
Finger 1	3,201	0,351	2,933	0,318
Finger 2	3,067	0,348	2,749	0,322
Finger 3	3,175	0,372	2,838	0,339
Finger 4	3,419	0,36	3,086	0,329
Finger 5	3,616	0,381	3,232	0,365
Finger 6	3,812	0,454	3,554	0,483
Finger 7	3,609	0,381	3,295	0,378
Finger 8	3,332	0,368	2,993	0,366
Finger 9	3,179	0,379	2,801	0,345
Finger 10	3,305	0,355	2,98	0,359
Gesamtdurchschnitt:	3,372	0,436	3,046	0,428

Weibliche Individuen wiesen im Schnitt dünnere Papillarlinien auf. Sie erreichten einen maximalen Durchschnitt von 3,554 Pixeln. Der Mittelwert aller Liniendicken betrug 3,046 Pixel und die Standardabweichung siedelte sich zwischen 0,318 und 0,483 Pixeln an. (siehe Tabelle 8)

Bei allen berechneten Werten lag die durchschnittliche Dicke der männlichen Teilnehmer über der weiblichen Probanden. Weiterhin wurde die jeweils höchste durchschnittliche Dicke bei beiden Geschlechtern am Daumen der rechten Hand festgestellt (Finger 6).

Dieselbe Feststellung konnte auch bei den Talliniendicken gemacht werden. Der Höchstwert der Männer lag in diesem Fall bei 3,821 Pixeln. Der Durchschnitt aller Täler wurde mit 3,456 Pixeln aufgenommen. Die Abweichung bewegte sich zwischen 0,329 und 0,401 Bildelementen. (siehe Tabelle 9)

Tabelle 9 Durchschnittliche Talliniendicke bei Männern und Frauen (mit der zugehörigen Standardabweichung)

Finger	Durchschnitt Männer	Standardabweichung Männer	Durchschnitt Frauen	Standardabweichung Frauen
Finger 1	3,321	0,33	3,067	0,318
Finger 2	3,168	0,324	2,868	0,336
Finger 3	3,289	0,329	2,976	0,334
Finger 4	3,521	0,358	3,213	0,325
Finger 5	3,683	0,362	3,358	0,369
Finger 6	3,821	0,385	3,622	0,419
Finger 7	3,682	0,36	3,402	0,373
Finger 8	3,423	0,377	3,059	0,385
Finger 9	3,253	0,335	2,929	0,339
Finger 10	3,395	0,33	3,101	0,338
Gesamtdurchschnitt:	3,456	0,401	3,16	0,415

Die höchste von Frauen erreichte Durchschnittsdicke belief sich auf 3,622. Bei der Standardabweichungen konnten Variationen von 0,318 bis hin zu 0,419 Pixeln festgestellt werden. (siehe Tabelle 9)

Auch bei den Tallinien übertrafen die Durchschnittswerte der Männer die der Frauen auf jedem Finger.

4.2 Statistische Beobachtungen

Um zu überprüfen, welcher Signifikanztest in diesem Falle anzuwenden war, wurde zunächst überprüft, ob die vorliegenden Daten normalverteilt sind. Hierfür kam der Shapiro-Wilk-Test zum Einsatz. Der Test wurde sowohl für die durchschnittliche Linien-, als auch Tallänge durchgeführt.

In allen vier Fällen (siehe Tabelle 10) lag der berechnete p-Wert unter dem Signifikanzniveau von 0,05. Daher war anzunehmen, dass die vorliegenden Verteilungen nicht normalverteilt waren.

Tabelle 10 Ergebnisse der verwendeten Signifikanztests

Angewandter Test	p-Wert
Bei Frauen:	
Shapiro-Wilk Test (Liniendicke)	7,38E-08
Shapiro-Wilk Test (Taldicke)	5,37E-06
Bei Männern:	
Shapiro-Wilk Test (Liniendicke)	0,027
Shapiro-Wilk Test (Taldicke)	0,0058
Nach Ausschluss der Normalverteilung	
Mann-Whitney-U-Test (Liniendicke)	2,20E-16
Mann-Whitney-U-Test (Taldicke)	2,10E-15

Aufgrund des Ausschlusses einer Normalverteilung wurde anschließend der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Den Ergebnissen entsprechend wurde ein signifikanter Unterschied beider Verteilungen angenommen (siehe Tabelle 10).

4.3 Logistische Regression

Es wurden zwei Regressionsmodelle für die Klassifikation trainiert. Das erste der beiden Modelle wurde ausschließlich mit daktyloskopischen Merkmalen gebildet. Dieses Modell wies eine erhöhte Genauigkeit auf, wenn es nur auf den Durchschnittswerten eines Fingerabdrucks trainierte. Es erreichte eine Genauigkeit von 65,4% (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11 Kontingenztabelle des ersten Modells

Erstes Modell	Männlich	Weiblich
Vorhersage Männlich	154	111
Vorhersage Weiblich	51	154

Dem zweiten Modell wurden neben den daktyloskopischen Merkmalen auch das Gewicht und die Größe des Individuums übergeben. Mit diesen Eigenschaften erreichte es eine Klassifikationsgenauigkeit von 85,1% und einen F1-Score von 0,86 (siehe Tabelle 12). Dieser setzte sich aus einer Precision von 0,89 und einem Recall von 0,83 zusammen.

Tabelle 12 Kontingenztabelle des zweiten Modells.

Zweites Modell	Männlich	Weiblich
Vorhersage Männlich	179	42
Vorhersage Weiblich	26	209

5 Diskussion

Anhand der durchgeführten Analysen erscheint die Papillarliniendicke durchaus für eine Indizierung des Geschlechtes geeignet. Um das exakte Maß dieser Eignung zu verstehen sollten jedoch weitere Untersuchungen dieses Merkmals erfolgen.

In dieser Arbeit präsentiert die Papillar- und Talliniendicke ein gewisses Maß an Diskriminanz bzgl. des Geschlechtes. So waren die durchschnittlichen Tal- und Papillarliniendicken von Männern statistisch signifikant größer, als die der weiblichen Probanden. Dies deckt sich mit einem Großteil der in 2.2 angesprochenen Studien. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die, zu den Durchschnitten gehörenden Standardabweichungen eine Durchmischung der beiden Geschlechter suggerieren. Die Lücke zwischen den beiden Gruppen wirkt nicht groß genug, um eine eindeutige Zuordnung anhand eines einzelnen Messwertes zu ermöglichen.

Dieser Eindruck wird von den Ergebnissen der Klassifikation mittels logistischer Regression verstärkt. Ohne die Verwendung anderer Feature war mittels der Papillarliniendicke lediglich eine zu ~65% korrekte Trennung möglich. Die Tatsache, dass die Einbringung der unterschiedlichen Messgeraden keinen positiven Effekt auf die Genauigkeit hatte suggeriert, dass der Informationsgehalt des Merkmals eventuell beschränkt ist. Dementsprechend ist auch unklar, ob die gesteigerte Genauigkeit von 85% unter Einbringung des Gewichtes und der Körpergröße auf einen synergetischen Effekt mit der Papillarliniendicke zurückzuführen ist. Es ist auch möglich, dass die Körpergröße in Verbindung mit dem Gewicht genug eigene Diskriminanz besitzt um eine solche Genauigkeit hervorzubringen.

Eine mögliche Begründung für eine geringere Diskriminanz des Merkmals könnten die durchlaufenen Abstrahierungsprozesse sein. Dementsprechend wäre es möglich, dass das in dieser Arbeit verwendete Merkmal nicht deckungsgleich mit der tatsächlichen Papillar- und Talliniendicke ist. Dies wäre vorrangig auf die drei Verarbeitungsschritte zurückzuführen, welche jeder der Fingerabdrücke durchläuft. Bereits bei der Aufnahme des Fingerabdruckes können Informationen verloren gehen. Das entstehende Scannerbild ist abhängig vom verwendeten Druck und eventuellen Rückständen auf dem Sensor. Ein garantierter Informationsverlust entsteht bei der Verbesserung des Bildes nach „image_enhance“. Die dort angewandten Methoden besitzen wohlweislich das Potential, die Morphologie eines Fingerabdruckes zu beeinflussen. Besonders die Glättung der Papillarlinien mittels des Gauß-Filters birgt das Risiko, die tatsächliche Dicke einer Linie zu verändern. Dass ein Unterschied der Dicken zwischen dem verbesserten und dem Originalbild besteht, wurde in der Arbeit gezeigt.

Die letzte Abstraktionsebene wird durch die Messung der Dicke gebildet. Die beiden verwendeten Methoden wiesen deutliche Differenzen bezüglich der manuell ermittelten Werte auf. Dementsprechend wird die tatsächliche Dicke auch in diesem Schritt teilweise verfälscht.

Dass der sexuelle Dimorphismus trotz dieser verschiedenen Veränderungen zu Tage trat, lässt zweierlei Vermutungen zu. Entweder die angesprochenen Probleme sind weit weniger ausschlaggebend als gedacht oder die Diskriminanz der Papillar- und Talliniendicken ist so stark, dass sie auch nach einer mehrfachen Glättung und Verfälschung noch zu Tage tritt. Aufgrund dieser verschiedenen Unklarheiten bedarf das Thema weiterer Untersuchungen.

6 Fazit

Im Rahme dieser Arbeit wurden drei Methoden zur Bestimmung der Papillar- und Talliniendicke entwickelt. Mit diesen Methoden konnten Daten gesammelt werden, welche den in der Forschung beschriebenen, sexuellen Dimorphismus der Liniendicken bestätigten.

Dementsprechend ist die durchschnittliche Papillarliniendicke bei Männern höher als bei Frauen. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen konnten daher Modelle aufgestellt werden, welche die Liniendicken für die Geschlechtsklassifikation nutzen. An diesen Modellen zeigt sich, dass die tatsächliche Diskriminanz des Merkmals eher gering ist.

Der genaue Grund für diese geringe Aussagekraft ging aus der Arbeit nicht hervor und bedarf weitere Untersuchungen. Allerdings wurden während der Analyse mehrere mögliche Ursachen offenbart. Die Papillarliniendicke wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Allen voran verändert die Verbesserung des Bildes auch die Liniendicke. Des Weiteren könnten auch ungenaue Messungen zu enger gestreuten Werten führen.

Derartige Fehlerquellen bilden Ansatzpunkte für weitere Arbeiten im gleichen Themengebiet. So gilt es zu untersuchen, inwiefern eine Verbesserung des Bildes möglich ist, ohne die Morphologie der Liniendicken dabei zu verändern. Eine weitere Fortsetzungsmöglichkeit besteht in der Verbesserung der genannten Methoden zur Bestimmung der Liniendicken in einzelnen Arealen des Fingerabdrucks.

Zusammenfassend kann diese Arbeit als erster Schritt zur Erforschung der Papillarliniendicke an der Hochschule Mittweide verstanden werden. Dementsprechend kann diese Untersuchung als Basis für weitere Bemühungen und Analysen dieses daktyloskopischen Merkmals herhalten.

7 Literaturverzeichnis

Abdullah, S. F., Abas, Z., Rahman, A. F., & Saad, W. H. (2016). *Fingerprint Gender Classification using Univariate Decision Tree*.

Bahgat, G. A., Khali, A. H., Kader, N. S., & Mashali, S. (2013). *Fast and accurate algorithm for core point detection in fingerprint images*. Giza.

Beutelspracher, A. (2014). *Linear Algebra - Eine Einführung in die Wissenschaft der Vektoren, Abbildungen und Matrizen 8. Auflage*. Springer.

Chauhan, A., Anjekar, A., & Tarare, S. (2015). *Study of Ridge Based and Image Based Approach for Fingerprint Gender Classification*. Nagpur.

Cummins, H., Waits, W. J., & McQuitty, J. T. (1941). *The Breadths of Epidermal Ridges on the Finger Tips and Palms: A Study of Variation*. New Orleans.

Czech, A., Szabelak, A., & Sowinski, A. (2019). *Changes in Fingerprints Depending on Physiological Factors*.

David, T. J. (1981). *Distribution, Age and Sex Variation of the Mean Epidermal Ridge Breadth*. Manchester.

Fahmy, M. F., & Thabet, M. A. (2013). *A Fingerprint Segmentation Technique Based on Morphological Processing*. Assiut.

Herrmann, B., & Saternus, K.-S. (2007). *Biologische Spurenkunde - Kriminalbiologie*. Springer.

Jiang, H. (2019). *Fingerprint Image Enhancement*. Von GitHub Repository: <https://github.com/jianghaojun/Fingerprint-Image-Enhancement> abgerufen

Karl Zilles, B. N. (2010). *Anatomie*. Springer.

Labudde, D., & Mohaupt, M. (2018). *Bioinformatik im Handlungsfeld der Forensik*. Springer.

Li, S. Z., & Jain, A. K. (2009). *Encyclopedia of Biometrics*. Springer.

Lippert, H. (2000). *Lehrbuch Anatomie 7. Auflage*. Elsevier.

Maltoni, D., Maio, D., Jain, A. K., & Prabhakar, S. (2009). *Handbook of Fingerprint Recognition - Second Edition*. Springer.

- MathWorks. (29. Dezember 2021). *Discrete Fourier Transform*. Von <https://www.mathworks.com/help/signal/ug/discrete-fourier-transform.html> abgerufen
- MathWorks. (2. Januar 2022). *Gabor Filters*. Von https://www.mathworks.com/help/images/texture-segmentation-using-gabor-filters.html?searchHighlight=gabor%20filter&s_tid=srchtitle_gabor%20filter_1 abgerufen
- MathWorks. (2. Januar 2022). *Gaussian Filter*. Von https://www.mathworks.com/help/images/apply-gaussian-smoothing-filters-to-images.html?searchHighlight=gaussian%20filter&s_tid=srchtitle_gaussian%20filter_1 abgerufen
- MathWorks. (3. Januar 2022). *histeq*. Von <https://www.mathworks.com/help/images/ref/histeq.html> abgerufen
- MathWorks. (3. Januar 2022). *imbinarize*. Von https://www.mathworks.com/help/images/ref/imbinarize.html?s_tid=doc_ta abgerufen
- Mundorff, A. Z., Bartelink, E. J., & Murad, T. A. (2014). *Sexual Dimorphism in Finger Ridge Breadth Measurements: A Tool for Sex Estimation from Fingerprints*.
- Ohler, E. A., & Cummins, H. (1942). *Sexual Differences in Breadths of Epidermal Ridges on Finger Tips and Palms*. New Orleans: Tulane University.
- Omidiora, E., Ojo, O., & Nureni, Y. (2012). *Analysis, Design and Implementation of Human Fingerprint Patterns System "Towards Age & Gender Determination, Ridge Thickness to Valley Thickness Ratio & Ridge Count on Gender Detection*. Yaba Lagos Nigeria: Yaba College of Technology.
- Penrose, L. S., & Loesch, D. (1966). *A Study of Dermal Ridge Width In The Second (Palmar) Interdigital Area with Special Reference to Aneuploid States*. St. Albans.
- Reuter, C. (2020). *Automatisierte Geschlechtsbestimmung anhand der Papillarliniendichte des Fingerabdruckes*. Mittweida.
- Steinert, U. (2010). *Kriminalistik / Kriminaltechnik Skriptum Daktyloskopie*.
- Stoeter, S. (2020). *Automatisierte Bestimmung der Papillarleistendichte des daktyloskopischen Fingerabdrucks zur Vorhersage des Geschlechts*. Mittweida.
- Tadross, R. A., Badawi, A. M., Mahfouz, M. R., Jantz, R. L., & Blair, C. M. (2006). *Sex Determination from Fingerprint*. Knoxville.

Anlagen

Teil 1 A-I

Anlagen, Teil 1

Da die in dieser Arbeit berechneten Ergebnisse insgesamt 1004 Messpunkte zu je 19 bzw. 38 Merkmalen beinhaltet wurde auf das Anhängen der bildlichen Ergebnistabelle verzichtet. Stattdessen wurde die Ergebnistabelle in Form einer .csv-Datei mitsamt der Bachelorarbeit übersandt.

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.

Jena, den 10.01.2022

