
Bachelorarbeit

Herr

Florian Stopp

**Vergleich zwischen Original-
und Fakefingerabdrücken mit
einem Bildbearbeitungspro-
gramm**

2021

Fakultät **Angewandte Computer- und
Biowissenschaften**

Bachelorarbeit

Vergleich zwischen Original- und Fakefingerabdrücken mit einem Bildbearbeitungspro- gramm

Autor:

Herr Florian Stopp

Studiengang:

Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:

FO17w3-B

Erstprüfer:

Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

Zweitprüfer:

M.Sc. Michele-Nadine Wagner

Einreichung:

Burgstädt, 23. August 2021

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2021

Faculty: **Applied Computer- and Biological
Science**

Bachelor Thesis

Comparison between Original- and Fake Fingerprints with a image manipulation program

author:

Mr. Florian Stopp

course of studies:

General and Digital Forensics

seminar group:

FO17w3-B

first examiner:

Prof. Dr. rer. nat. Dirk Labudde

second examiner:

M.Sc. Michele-Nadine Wagner

submission:

Burgstädt, 23. August 2021

defence/ evaluation:

Mittweida, 2021

Bibliografische Beschreibung:

Stopp, Florian: Vergleich zwischen Original- und Fakefingerabdrücken mit einem Bildbearbeitungsprogramm, 97 Seiten, 94 Abbildungen, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften

Bachelorarbeit, 2021

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Referat:

In der folgenden Bachelorarbeit sollen die Bedingungen zur Herstellung von Fakefingerabdrücken, die mit einem Tintenstrahldrucker und einem Material aus Holzleim und Glycerin hergestellt wurden verbessert werden. Grund dafür ist, dass es im vorangegangenen Praktikumsbeleg noch Mängel bei der Herstellung der Fakes gab. Außerdem sollen die idealen Bedingungen (Materialzusammensetzung und Bearbeitungsmethoden) herausgefunden werden, um Fakes dieser Art herzustellen. Außerdem soll ein neues Unterscheidungsmerkmal für die Erkennung von Fakefingerabdrücken untersucht werden, um in Zukunft die Unterscheidung zwischen Original und Fälschung zu verbessern.

Inhalt

<i>Bibliografische Beschreibung:</i>	vii
<i>Referat:</i>	vii
Inhalt	i
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	xiii
Abkürzungsverzeichnis	xv
1 Einleitung und Zielstellung	1
2 Grundlagen	3
2.1 <i>Fingerabdruck</i>	3
2.1.1 Definition: Fingerabdruck	3
2.1.2 Papillarleisten	3
2.1.3 Anatomische Merkmale	3
2.1.3.1 Ebene 1, Grundmuster	3
2.1.3.2 Ebene 2, Minuzien.....	4
2.1.3.3 Ebene 3, Furchendetails	4
2.2 <i>Fingerabdruckscanner</i>	5
2.2.1 Arten von Scannern	5
2.2.1.1 Optische Sensoren	5
2.2.1.2 Siliziumsensoren	6
2.2.1.3 Ultraschallwellensensoren.....	6
2.2.2 Der Scanprozess	6
2.2.2.1 Die Aufnahme (Abtastung) des Fingerabdruckbildes	6
2.2.2.2 Bildqualitätsverbesserung	6
2.2.2.3 Bildaufarbeitung	6
2.2.2.4 Musterklassifizierung	7
2.2.2.5 Merkmalsextraktion	7
2.2.2.6 Verifikationsphase.....	7
2.3 <i>Angriffsarten</i>	8
2.3.1 Typ 1 Angriffe.....	8
2.3.2 Typ 2 Angriffe.....	8
2.3.3 Typ 3 Angriffe.....	8
2.3.4 Typ 4 Angriffe.....	8

2.3.5	Typ 5 Angriffe	8
2.3.6	Typ 6 Angriffe	9
2.3.7	Typ 7 Angriffe	9
2.3.8	Typ 8 Angriffe	9
2.4	<i>FRR, FAR und EER</i>	10
2.4.1	False Rejection Rate (FRR)	10
2.4.2	False Accept Rate (FAR)	10
2.4.3	Equal Error Rate (EER)	10
2.5	<i>Grundbegriffe der Fotografie</i>	11
2.5.1	Blendenzahl	11
2.5.2	ISO (International Standart Organization)	11
2.5.3	Brennweite	12
2.6	<i>Zusammenfassung vorangegangener Arbeiten</i>	12
2.6.1	Hintergrund und Ziele des Berichts	12
2.6.2	Methoden und Ergebnisse	13
2.6.2.1	Versuchsreihe 1	13
2.6.2.2	Versuchsreihe 2	14
2.6.2.3	Versuchsreihe 3	19
2.6.2.4	Versuchsreihe 4	21
3	Material	25
3.1	<i>Materialien</i>	25
3.2	<i>Geräte</i>	25
3.3	<i>Versuchsaufbau</i>	26
4	Methoden	31
4.1	<i>Versuchsreihe 1</i>	31
4.1.1	Verbesserung des Mischvorgangs	31
4.1.2	Verbesserung des Auftragens	31
4.1.3	Versuch zur Qualitätsverbesserungen der Fakes	31
4.2	<i>Versuchsreihe 2</i>	33
4.2.1	Genutzte Programme zur Bildbearbeitung	33
4.2.1.1	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	33
4.2.2	Vergleich von Fakes mit unterschiedlichem Glycerinanteil	34
4.3	<i>Versuchsreihe 3</i>	35
4.3.1	Allgemeine Vorbereitungen	35
4.3.2	Testen der Fakes mit und ohne Überzug	36
4.3.3	Untersuchung des Merkmals „Papillarlücken“	36
4.3.3.1	Definition Papillarlücken	36
4.3.3.2	Genutzte Programme zur Analyse der Bilder (ImageJ)	37

4.3.3.3	Bedingungen für die Untersuchung.....	38
4.4	<i>Versuchsreihe 4</i>	43
4.4.1	Versuchsaufbau	43
4.4.1.1	Vorbereitung der Aufnahmen.....	44
4.4.1.2	Einstellungen für die Aufnahmen	46
4.4.1.3	Bearbeitung der aufgenommenen Bilder.....	46
4.4.2	Fakeherstellung und Analyse	48
5	Ergebnisse und Diskussion	51
5.1	<i>Versuchsreihe 1</i>	51
5.1.1	Testergebnisse	51
5.1.1.1	Test 1	51
5.1.1.2	Test 2.....	51
5.1.1.3	Test 3	52
5.1.1.4	Test 4	52
5.1.1.5	Test 5.....	52
5.1.1.6	Test 6.....	53
5.1.1.7	Test 7	53
5.1.1.8	Test 8.....	53
5.1.2	Erkenntnisse der Versuchsreihe	54
5.2	<i>Versuchsreihe 2</i>	55
5.2.1	Vergleich der Scanergebnisse	55
5.2.2	Allgemeine Eigenschaften und Probleme der Fakes.....	57
5.3	<i>Versuchsreihe 3</i>	58
5.3.1	Ergebnisse der Tests mit und ohne Überzug	58
5.3.1.1	Verbesserungen und Nachteile durch den Überzug	58
5.3.1.2	Ergebnisse der Scans für beide Testpersonen	60
5.3.1.3	Auffälligkeiten bei der Herstellung.....	63
5.3.2	Untersuchung des Merkmals „Papillarlücken“	65
5.3.2.1	Untersuchungsergebnisse der Original-Fingerabdrücke	65
5.3.2.2	Untersuchungsergebnisse der Fakefingerabdrücke	68
5.4	<i>Versuchsreihe 4</i>	72
5.4.1	Betrachtung der aufgenommenen Fingerabdrücke	72
5.4.1.1	Abdrücke ohne weitere Bearbeitung	72
5.4.1.2	Abdrücke mit silbernem Fingerabdruckpulver	75
5.4.1.3	Abdrücke mit weißem Fingerabdruckpulver.....	77
5.4.2	Auswertung der Scanergebnisse.....	79
5.4.2.1	Auswertung der Ergebnisse ohne Bearbeitung durch Fingerabdruckpulver.....	79
5.4.2.2	Auswertung der Ergebnisse bei der Bearbeitung mit Fingerabdruckpulver (Silber)	81

5.4.2.3	Auswertung der Ergebnisse bei der Bearbeitung mit Fingerabdruckpulver (Weiß)	82
6	Zusammenfassung und Ausblick	85
6.1	<i>Zusammenfassung</i>	85
6.2	<i>Ausblick</i>	87
	Literaturverzeichnis.....	89
	Anlagen	93
	Anlagen, Teil 1.....	A-I
	Selbstständigkeitserklärung	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weitere Beispiele für Level 1-3 Feature: Level 1 Feature = Beispiele für Bögen (Arch), Schleifen (Loop) und Wirbel (Whorl); Level 2 Feature = Beispiele für Furchenendungen (Ending), Gabelungen (Bifurcation), etc; Level 3 Feature = Beispiele für Schweißporen, Schnittwunden (hier Scars), etc [19].....	4
Abbildung 2: Aufbau und Funktionsweise eines optischen Fingerabdrucksensors [8].....	5
Abbildung 3: Ablauf des Scanprozesses beginnend mit der Aufnahme (Abtastung des Fingerabdruckbildes) und endend mit der Verifikationsphase	7
Abbildung 4: Modell nach Ratha et al.: in den weißen Boxen sind die Instanzen eines biometrischen Systems dargestellt; die Pfeile zeigen die verschiedenen Angriffstypen [23]9	
Abbildung 5: Darstellung der Verhältnisse zwischen FRR, FAR und EER; die Y-Achse gibt den Wert der Wahrscheinlichkeiten in einem Bereich zwischen 0 und 1 an; die X-Achse stellt den Threshold dar, den z.B. ein Fingerabdruck mindestens bezüglich seiner Qualität erreichen müsste, um vom System erkannt zu werden [18]	11
Abbildung 6: Ergebnisse des Materialtests; Probe 1 (links oben) und Probe 10 (rechts unten) fehlen	14
Abbildung 7: Original-Abdruck des linken Daumens	15
Abbildung 8: Original-Abdruck des linken Mittelfingers	15
Abbildung 9: Abdruck des linken Daumens bearbeitet mit linearer Umkehrung	15
Abbildung 10: Abdruck des linken Mittelfingers bearbeitet mit linearer Umkehrung.....	15
Abbildung 11: Abdruck des linken Daumens bearbeitet mit Sobel-Kantendetektion.....	16
Abbildung 12: Abdruck des linken Mittelfingers bearbeitet mit der Sobel-Kantendetektion	16

Abbildung 13: Reihe 1 = Abdruck Daumen links mit linearer Umkehrung, Reihe 2 = Abdruck Daumen links mit Sobel-Kantendetektion, Reihe 3 = Abdruck Mittelfinger links mit linearer Umkehrung, Reihe 4 = Abdruck Mittelfinger links mit Sobel-Kantendetektion	17
Abbildung 14: Bilder der gedruckten Fingerabdrücke mit den Druckdurchgängen 1 - 7 ...	19
Abbildung 15: Bilder der gedruckten Fingerabdrücke mit einem Druckdurchgang und den Durchgängen 8 -10.....	19
Abbildung 16: Erfolgreicher Fake des linken Daumens bei einem Druckdurchgang	20
Abbildung 17: Abgelehnter Fake des linken Daumens bei zehn Druckdurchgängen und einem klebengebliebenen Stück getrockneter Tinte	20
Abbildung 18: Erfolgreicher Fake des linken Mittelfingers bei einem Druckdurchgang....	20
Abbildung 19: Abgelehnter Fake des linken Mittelfingers bei 10 Druckdurchgängen	20
Abbildung 20: Abgelehnter Fake des linken Zeigefingers bei zehn Druckdurchgängen und einem klebengebliebenen Stück getrockneter Tinte	21
Abbildung 21: Erfolgreicher Fake des linken Zeigefingers bei einem Druckdurchgang	21
Abbildung 22: TASKalfa 2552ci (Drucker) (Kyocera)	26
Abbildung 23: 1: Palm-Print Live Scanner (Modell: Bio Palm) (BioID Technologies); 2: Mikrofasertuch (BioID Technologies).....	26
Abbildung 24: 1: Kopierfolie Klar (folex Imaging); 2: Ponal Express Holzleim (Henkel); 3: Glycerin 85% (Otto Fischar GmbH & Co. KG); 4: GEMPRO 300 (Feinwaage) (MyWeight)	27
Abbildung 25: Hilfsmittel zum Mischen der Fakematerialien aus Versuchsreihe 1 (siehe Abschnitt 4.1) von links 1: Plastikstäbchen; 2: Metallstab; 3: Größerer Plastikstab; 4: Einmalpipette	28
Abbildung 26: Fingerüberzüge (ohne Abdruck) der Firma Sumifun zum Testen der Fakeabdrücke in Versuchsreihe 3 (siehe Abschnitt 4.3).....	28

Abbildung 27: Magnetpulver mit zugehörigem Magnetstab zum Auftragen des Pulvers auf die Abdrücke in Versuchsreihe 4 (siehe Abschnitt 4.4)	29
Abbildung 28: Kamera Modell: Panasonic Lumix g91 zur Fotografie der Abdrücke aus Versuchsreihe 4 (siehe Abschnitt 4.4)	29
Abbildung 29: Abbildung des getrockneten, mit den Mischmethoden aus Tabelle 11 bearbeiteten Fakematerials; Von oben links startend: Test 1, Test 2, Test 3, Test 4, Test 5, Test 6, Test 7, Test 8.....	33
Abbildung 30: Testfakes der Versuchsreihe 2; Reihe 1 mit 2 T. Glycerin und Reihe 2 nur mit 1 T. Glycerin; Anordnung der Finger für beide Reihen (von links nach rechts): Mittelfinger, Zeigefinger, Daumen	34
Abbildung 31: Gedruckte Abdrücke der Testpersonen; das schwarze Rechteck trennt die Abdrücke der linken Hand von denen der rechten (von oben nach unten betrachtet).....	35
Abbildung 32: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit markiertem Beispiel für eine Papillarlücke	37
Abbildung 33: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 (bereits zugeschnitten) ohne weitere Markierungen außer dem eingezeichneten Core nach Vorlage der Markierungen des Programms	38
Abbildung 34: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Minuzien und dem Core.....	38
Abbildung 35: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Minuzien und Core.....	39
Abbildung 36: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 (bereits zugeschnitten) ohne weitere Markierungen außer dem eingezeichneten Core nach Vorlage der Markierungen des Programms	39
Abbildung 37: Bild des linken Daumens der Testperson T1 mit 2 Cores und markierten Minuzien	40

Abbildung 38: Bild der durch ImageJ markierten Linie zwischen 2 Cores; an ihrem Mittelpunkt liegt das Zentrum des Daumenabdrucks	40
Abbildung 39: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit eingezeichneter Region of Interest.....	41
Abbildung 40: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit eingezeichneter Region of Interest	41
Abbildung 41: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit den durch ImageJ markierten Papillarlücken	42
Abbildung 42: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Papillarlücken.....	43
Abbildung 43: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Luftblasen.....	43
Abbildung 44: Abbildung des Glasplättchens mit aufgedrucktem Zeigefinger (ohne Bearbeitung).....	44
Abbildung 45: Aufnahme des rechten Daumenabdrucks bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver	45
Abbildung 46: Aufnahme des rechten Daumenabdrucks bearbeitet mit weißem Fingerabdruckpulver	45
Abbildung 47: Druck der Tests ohne Pulver; Reihe 1: r4 mit Kontraststeigerung; Reihe 2: r5 mit Kontraststeigerung; Reihe 3: Abdrücke von r5 mit unterschiedlicher Kontraststeigerung und Anwendung der Threshold-Funktion	47
Abbildung 48: Drucke der Tests mit Pulver; Reihe 1: r4 mit Silberpulver; Reihe 2: r4 mit weißem Pulver; Reihe 3: r5 mit Silberpulver; Reihe 4: r5 mit weißem Pulver	48
Abbildung 49: (Von links nach rechts: Test 1; Test 2; Test 3) Die Luftblasen im Bild werden durch die roten Umrandungen markiert	52

Abbildung 50: (Von links nach rechts: Test 4; Test 5) Deutliche, große Luftblasen sind bei Test 4 zu sehen; Die Luftbasen in Test 5 sind durch rote Umrandungen markiert	53
Abbildung 51: (Von links nach rechts: Test 6; Test 7; Test 8) Die Luftblasen von Test 6 sind rot umrandet.....	54
Abbildung 52: alte Fakes aus dem Praktikumsbeleg; auffällig sind die deutlich zu sehenden Luftblasen und die Kompaktheit der Fakes	55
Abbildung 53: Daumenabdruck mit 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)	56
Abbildung 54: Daumenabdruck mit 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)	56
Abbildung 55: Mittelfingerabdruck mit 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin (Versuch 3 auf dem Scanner)	56
Abbildung 56: Mittelfingerabdruck mit 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin (Versuch 3 auf dem Scanner)	56
Abbildung 57: Zeigefingerabdruck mit 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)	57
Abbildung 58: Zeigefingerabdruck mit 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)	57
Abbildung 59: Abdruck des linken kleinen Fingers der Testperson T1 ohne Überzug	59
Abbildung 60: Abdruck des linken kleinen Fingers der Testperson T1 mit Überzug	59
Abbildung 61: Rechter Daumenabdruck der Testperson T1 mit nur teilweise abgedeckter Fläche.....	59
Abbildung 62: Fake des linken Mittelfingers der Testperson T2 mit verloren gegangenem Papillarlinienmuster (Aufnahme ohne Überzug)	63
Abbildung 63: Fake des linken Mittelfingers der Testperson T2 mit doppelt eingedrücktem Papillarlinienmuster (Aufnahme mit Überzug)	64

Abbildung 64: Fake des linken Ringfingers der Testperson T2 mit 2 Schmutzpartikeln (Aufnahme ohne Überzug).....	64
Abbildung 65: Abdruck des rechten Daumens (r5) der Testperson T1 mit Narben	66
Abbildung 66: Abdruck des linken Ringfingers der Testperson T2 mit teilweise nur bloss wahrgenommenen Papillarlinien.....	68
Abbildung 67: Aufnahme des Abdrucks des rechten Mittelfingers der Testperson T2 mit eingezeichneten Papillarlücken.....	70
Abbildung 68: Aufnahme des Fakeabdrucks des rechten Mittelfingers der Testperson T2; fehlende Lücken 3 und 6 rot markiert; neue Lücken 1-4 gelb markiert; Verunreinigungen grün markiert.....	70
Abbildung 69: Aufnahme des rechten Mittelfingers der Testperson T2 ohne Überzug.....	71
Abbildung 70: Fotografie vom Fingerabdruck des Fingers r4 ohne Pulver	72
Abbildung 71: Fotografie vom Fingerabdruck des Fingers r5 ohne Pulver	73
Abbildung 72: mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4 ohne Pulver..	74
Abbildung 73: mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5 ohne Pulver mit anschließender Threshold-Bearbeitung.....	74
Abbildung 74: mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5 ohne Pulver..	74
Abbildung 75: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver	75
Abbildung 76: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver	75
Abbildung 77: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4.....	76
Abbildung 78: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4	76
Abbildung 79: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5.....	77

Abbildung 80: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5	77
Abbildung 81: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit weißem Fingerabdruckpulver	77
Abbildung 82: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver	78
Abbildung 83: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4	78
Abbildung 84: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4	78
Abbildung 85: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5	79
Abbildung 86: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5	79
Abbildung 87: Fakefingerabdruck des Fingers r4 aus Reihe 1 der Abbildung 47 ohne Pulver	80
Abbildung 88: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 der Abbildung 47 ohne Pulver	80
Abbildung 89: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 3 (Mitte) der Abbildung 47 ohne Pulver	80
Abbildung 90: Fakefingerabdruck des Fingers r4 aus Reihe 4 (linke Seite) der Abbildung 48 mit silbernem Pulver	81
Abbildung 91: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 (rechte Seite) der Abbildung 48 mit silbernem Pulver	81
Abbildung 92: Fakefingerabdruck des Fingers r4 aus Reihe 1 (linke Seite) der Abbildung 48 mit weißem Pulver	82
Abbildung 93: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 (linke Seite) der Abbildung 48 mit weißem Pulver	83

Abbildung 94: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 (rechte Seite) der Abbildung 48 mit weißem Pulver	83
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stoffzusammensetzung der Testproben	13
Tabelle 2: Ergebnisse der Materialauswahl	14
Tabelle 3: Messergebnisse je Druckdurchgang	16
Tabelle 4: Standard Scan-Einstellungen	18
Tabelle 5: Ergebnisse der getesteten Fakes mit drei Druckdurchgängen	18
Tabelle 6: Geänderte Scan-Einstellungen für jeden Testdurchgang.....	22
Tabelle 7: Einstellungen, die während der Tests nicht geändert wurden	22
Tabelle 8: Ergebnisse der getesteten Fakes bei verschiedenen Scan-Einstellungen	23
Tabelle 9: Versuchsmaterialien zur Erstellung eines Fakes	25
Tabelle 10: Werkzeuge für das Experiment	25
Tabelle 11: Bearbeitungsmethoden für jeden Testdurchgang	32
Tabelle 12: Kameraeinstellungen der Fotografien für beide Finger.....	46
Tabelle 13: Bearbeitungsschritte zur Vorbereitung der Abdrücke aus Abbildung 46.....	47
Tabelle 14: Testergebnisse der Mischverfahren	51
Tabelle 15: Beschreibung der Abkürzungen die für die Finger genutzt wurden.....	60
Tabelle 16: Ergebnisse der getesteten Fakes (mit und ohne Überzug) der Testperson T1..	61
Tabelle 17: Ergebnisse der getesteten Fakes (mit und ohne Überzug) der Testperson T2..	62
Tabelle 18: Anzahl der gefundenen Papillarlinien je Finger (für beide Testpersonen).....	65
Tabelle 19: Durchschnittslängen der Papillarlücken für beide Testpersonen.....	65

Tabelle 20: Messergebnisse der Lücken aus Abbildung 56 (Längenangaben in Pixeln)	67
Tabelle 21: Durchschnittsgröße der Papillarlücken bei Fakes mit Überzug.....	69
Tabelle 22: Durchschnittsgröße der Luftblasen bei Fakes mit Überzug.....	69
Tabelle 23: Durchschnittsgröße der Papillarlücken bei Fakes ohne Überzug	71
Tabelle 24: Durchschnittsgröße der Luftblasen bei Fakes ohne Überzug	71
Tabelle 25: Messergebnisse der erfolgreichen Daumenfakes.....	83

Abkürzungsverzeichnis

CNT	Carbon Nano Tube
FAR	False Acceptance Rate
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CCD	Charge-Coupled Device
AFIS	Automated Fingerprint Identification System
BKA	Bundeskriminalamt
CCC	Chaos-Computer-Club
GIMP	GNU Image Manipulation Program
T.	Tropfen
T1	Testperson 1
T2	Testperson 2
µm	Mikrometer
px	Pixel
l1	Kleiner Finger (links)
l2	Ringfinger (links)
l3	Mittelfinger (links)
l4	Zeigefinger (links)
l5	Daumen (links)
r1	Kleiner Finger (rechts)
r2	Ringfinger (rechts)
r3	Mittelfinger (rechts)
r4	Zeigefinger (rechts)
r5	Daumen (rechts)
Q.T.	Quality Threshold

FRR	False Rejection Rate
EER	Equal Error Rate
ISO	International Standard Organisation
l.u.	Lineare Umkehrung
m.Ü.	mit Überzug
o.Ü.	ohne Überzug
g	Gramm
ml	Milliliter

1 Einleitung und Zielstellung

Der menschliche Fingerabdruck ist ein einzigartiges, beständiges und durch markante Eigenschaften, ein sehr geeignetes biometrisches Merkmal, um Personen voneinander zu unterscheiden. Vor allem für Verifikationssysteme ist er dadurch sehr beliebt geworden. Verifikationssysteme, die den Fingerabdruck als biometrisches Merkmal zur Identifikation von Personen nutzen, sind darum auch am weitesten verbreitet. [20]

Allerdings sind Fingerabdrucksysteme auch sehr anfällig gegenüber Täuschungen durch Imitate (Fakes). In einem Experiment von Soum et al. aus dem Jahr 2019 konnte ein Smartphone mit einem leitfähigen Abdruck, der mit CNT-Tinte und einem handelsüblichen Tintenstrahldrucker auf Papier gedruckt wurde, entsperrt werden. [22] Auch der Chaos-Computer-Club schaffte es, das Fingerabdrucksystem eines Smartphones (Modell: iPhone 5s) zu überwinden. Das geschah bereits im Jahr 2013 und das mit wesentlich günstigeren Materialien als die von Soum et al. verwendete CNT-Tinte. Das Biometrie-Team des CCC nutzte handelsübliche Druckertinte zusammen mit dem dazugehörigen Laserdrucker, um einen zuvor unter hoher Auflösung aufgenommenen und bereinigten Abdruck auf eine Klarsichtfolie zu drucken. Der Abdruck wurde anschließend mit einer hautfarbenen Latexmilch oder alternativ Holzleim bedeckt. Nach dem Trocknen konnte das feste Material, mit dem eingepprägten Fingerabdruckbild, abgenommen werden und zum Entsperren des Smartphones genutzt werden. [4]

Basierend auf diesem Experiment wurde ein Versuch mit dem Thema „Erstellung von Fakefingerabdrücken mit dem Tintenstrahldrucker und Untersuchung dieser auf Akzeptanz mit dem Fingerscanner“ durchgeführt [25]. Der Grund für Durchführung dieses Versuchs war, dass auf der Internetseite des CCC keine genauen Angaben zu den Herstellungsbedingungen und der Materialzusammensetzung des Fakematerials zu finden sind. Darum sollten sie über diesen Versuch herausgefunden werden. Weiterhin sollte geprüft werden, ob die Herstellung solch einfacher Fakes auch mit einem Tintenstrahldrucker möglich wäre. In dieser Arbeit soll es wiederum das Ziel sein, die Ergebnisse aus diesem Versuch zu verbessern und die hergestellten Fakefingerabdrücke bezüglich eines neuen Merkmals von den Originalen zu unterscheiden. Der Grund für die geplanten Verbesserungen ist, dass die Fakes aus dem alten Test noch einige Mängel aufwiesen, die ihr Ergebnis auf dem Fingerabdruckscanner verschlechterten. Das Ziel soll es dabei sein im Fakematerial befindliche Luftblasen zu vermeiden und den Lichteinfall auf das durchsichtige Fakematerial zu minimieren. So soll die Sichtbarkeit der Papillarlinien verbessert werden. Als neues Unterscheidungsmerkmal zwischen Original und Fake sollen die Papillarlücken betrachtet werden. Ziel der Versuche soll es sein für dieses Merkmal eine durchschnittliche Größe, sowie einen geeigneten Messbereich zu ermitteln (siehe Kapitel 4.3.3 und 5.3.2). Auch ihre Anzahl pro individuellem Fingerabdruck soll betrachtet werden. Dadurch wird geprüft, ob sich dieses Merkmal in Zukunft

für eine bessere Unterscheidung zwischen Fake- und Originalabdrücken eignet. Als Abschluss der Arbeit soll getestet werden, ob sich die bisherigen Bearbeitungsmethoden eignen, um gute Fakes aus Fotografien von Abdrücken, die auf Oberflächen gefunden wurden, herzustellen.

2 Grundlagen

Im folgenden Kapitel sollen einige Grundkenntnisse, die für das Verständnis des Versuchs nötig sind, erläutert werden.

2.1 Fingerabdruck

2.1.1 Definition: Fingerabdruck

Unter einem Fingerabdruck werden die Muster verstanden, welche bei der Übertragung körpereigener Substanzen (z.B. Schweiß oder Talg) oder körperfremder Substanzen (z.B. Farbe oder Butter) über die menschliche Leistenhaut auf ein Objekt oder eine Oberfläche, entstehen. [1] [2]

2.1.2 Papillarleisten

Papillarleisten sind die charakteristischen Linien, die auf der Haut der Handinnenseiten und den Fußsohlen gefunden werden können. Diese besondere Form der Haut wird deswegen auch Leistenhaut genannt. [3]

Jeder Fingerabdruck gilt bisher als individuell. Forscher sind sich bisher nicht einig, auf welche Art und Weise der Fingerabdruck genau im Mutterleib entsteht. Basler und Schutt geben in ihrem Vortrag „Fingerabdrucksysteme“ an, dass die Papillarleisten in den ersten sieben Monaten der Embryonalzeit zufällig entstehen würden. In dieser Zeit findet auch die Differenzierung von zunächst noch generischen Körperzellen statt. Durch diesen Prozess bilden sich die für die Finger spezifischen Hautzellen. Die Papillarleisten entstehen nun, laut den Autoren, weil das Fruchtwasser durch die Bewegungen des Embryos mit den sich entwickelnden Hautzellen der Finger interagieren würde und so deren Strukturbildung und Beschaffenheit beeinflusst. [20]

2.1.3 Anatomische Merkmale

Die anatomischen Merkmale eines Fingerabdrucks werden für die eindeutige Identifikation eines Individuums genutzt. Für die Analyse werden sie dabei in drei Ebenen unterteilt.

2.1.3.1 Ebene 1, Grundmuster

In der ersten Ebene werden der Furchenverlauf und die Musterstruktur der Papillarleisten betrachtet. Dazu gehören Bögen, Schleifen und Wirbel (siehe Abbildung 1). Trotz der

Tatsache, dass sie keine einzigartigen Merkmale bei Fingerabdrücken sind, bleiben sie bei der Klassifikation eines Abdrucks hilfreich. [5] [21]

2.1.3.2 Ebene 2, Minuzien

Mit Hilfe der Minuzien sind eindeutige Entscheidungen zwischen Fingerabdrücken verschiedener Individuen möglich. Der Grund dafür ist, dass diese Endpunkte und Verzweigungen der Papillarleisten bei jedem Abdruck unterschiedlich verteilt sind. Aktuell sind über 150 verschiedene Minuzien bekannt. Zu den häufigsten zählen die Furchenenden und Gabelungen. Weitere Beispiele für Minuzien können in Abbildung 1 betrachtet werden. [5] [6] [21]

2.1.3.3 Ebene 3, Furchendetails

Bei den Furchendetails handelt es sich um die Details der Papillarlinien. Dazu gehören z.B. Schweißporen, Schnittwunden und der natürliche Verlauf einer Papillarlinie. Sie ermöglichen ebenfalls eine eindeutige Unterscheidung zwischen den Fingerabdrücken zwischen Individuen. Allerdings benötigen sie hochauflösende Aufnahmen (1000 dpi oder höher), um überhaupt erkannt zu werden. Weitere Beispiele für diese Merkmale können in Abbildung 1 betrachtet werden. [5] [21]

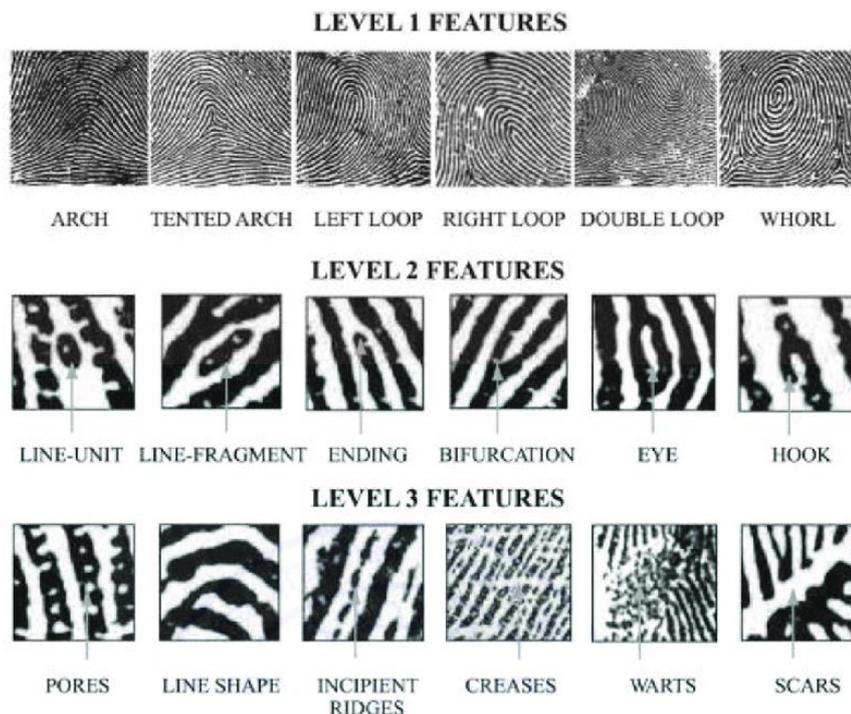


Abbildung 1: Weitere Beispiele für Level 1-3 Feature: Level 1 Feature = Beispiele für Bögen (Arch), Schleifen (Loop) und Wirbel (Whorl); Level 2 Feature = Beispiele für Furchenendungen (Ending), Gabelungen (Bifurcation), etc; Level 3 Feature = Beispiele für Schweißporen, Schnittwunden (hier Scars), etc [19]

2.2 Fingerabdruckscanner

2.2.1 Arten von Scannern

Heutzutage sind die optischen Sensoren, die Siliziumsensoren und die Ultraschallwellensensoren die am weitesten verbreiteten Arten von Fingerabdrucksensoren. Im folgenden Abschnitt soll deren Funktionsweise kurz erläutert werden.

2.2.1.1 Optische Sensoren

Bei der Nutzung von optischen Sensoren wird zur Abtastung des Fingerabdrucks in der Regel eine Kamera oder ein Scanner genutzt. Dazu wird der Finger zunächst auf eine transparente Oberfläche, wie z.B. ein Glasprisma oder Fiberglas, gelegt und anschließend beleuchtet. Das vom Finger reflektierte Licht wird danach an einen optischen Sensor (z.B. einem Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS) oder einem Charge-Coupled Device (CCD)) geleitet und aufgenommen. Wichtig bei der Aufnahme ist es, die transparente Schicht zu reinigen. Der Grund dafür ist, dass leichte Verschmutzungen oder die Abdrücke einer Person, die den Scanner zuvor genutzt hat, sich negativ auf das Ergebnis des neuen Bilds auswirken können. Ein großer Nachteil der Technologie ist, dass sie leicht von einfachen Fingerabdruckfakes (z.B. Fakes aus Silikon) umgangen werden kann. Dafür sind mit optischen Sensoren besonders hochauflösende Aufnahmen möglich (bis 50 dpi). [20] Ein optischer Sensor wurde auch im Rahmen dieser Arbeit genutzt (Palm-Print Live Scanner (Modell: Bio Palm)). Ein Beispiel für den Aufbau eines optischen Sensors ist in Abbildung 2 dargestellt.

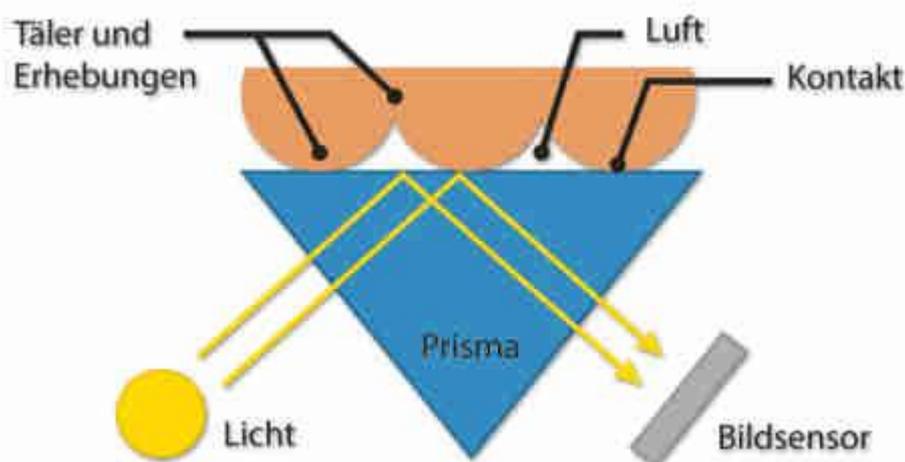


Abbildung 2: Aufbau und Funktionsweise eines optischen Fingerabdruckscanners [8]

2.2.1.2 Siliziumsensoren

Die Siliziumsensoren messen, je nach Ausrichtung, verschiedene physikalische Größen wie Wärme, Kapazität oder die elektrische Feldstärke. Für die Messungen wird der Finger auf eine sehr dünne Schutzschicht, z.B. auf eine Kondensatorplatte gelegt, um die Kapazität zu messen. Jeder Sensor besteht aus einem Array von zweidimensionalen Sensoren, die im erzeugten Fingerabdruckbild jeweils genau einem Pixel entsprechen. Ein großer Nachteil dieser Sensoren ist die dünne Schutzschicht, durch welche sie sehr anfällig für äußere Einflüsse sind. Dadurch kann eine kleine elektrische Ladung des Fingers schon zur Funktionsuntüchtigkeit eines kapazitiven Sensors führen. Dafür sind diese Sensoren sehr kostengünstig. Beim Messen ist der Finger der Testperson, wie bei den optischen Scannern, in Kontakt zu der Oberfläche des Scanners. Aus diesem Grund muss die Oberfläche regelmäßig gereinigt werden. [1] [20]

2.2.1.3 Ultraschallwellensensoren

Die Ultraschallwellensensoren sind eine recht neue und teure Sensorvariante. Mit Hilfe von Ultraschallwellen wird die Distanz zu der Oberfläche des Fingers gemessen werden. Dazu werden akustische Wellen vom Sensor zum Finger gesandt und von dessen Oberfläche reflektiert. Der große Vorteil liegt darin, dass kein Kontakt zwischen dem Finger und der Oberfläche des Fingers stattfinden muss. So ist der Scanner sehr resistent gegenüber Verunreinigungen durch die Haut der Testperson. [20]

2.2.2 Der Scanprozess

Bei dem Scannen eines Fingerabdrucks durchläuft der Scanner mehrere Phasen, um den gescannten Abdruck aufzubereiten und im Anschluss zu verifizieren. Die sechs Phasen sollen im folgenden Abschnitt kurz beschrieben werden.

2.2.2.1 Die Aufnahme (Abtastung) des Fingerabdruckbildes

Besonders wichtig für die Aufnahme ist es, einen Scanner zur Verfügung zu haben, der Fingerabdrücke in einer möglichst hohen Qualität aufnimmt. Außerdem sollten gute Scanner in der Lage sein, mit natürlichen (z.B. verschiedene Hautfarben) oder unnatürlichen (z.B. Beschädigungen oder Feuchtigkeit) Variationen der Haut umzugehen. [20]

2.2.2.2 Bildqualitätsverbesserung

Die Papillarlinien werden auf dem abgetasteten Bild einer optischen Verbesserung unterzogen. [20]

2.2.2.3 Bildaufarbeitung

Bei der Bildaufarbeitung wird das Bild für die Merkmalsextraktion und zur Klassifizierung vorbereitet. [20]

2.2.2.4 Musterklassifizierung

Der gescannte Fingerabdruck soll in eine der drei Hauptfingerklassen eingeordnet werden. Diese Phase ist sehr fehleranfällig, da manche Fingerabdruckmuster nicht eindeutig einer der drei Klassen zuzuordnen sind. Die Fehler können dabei sowohl von Algorithmus-basierten Systemen als auch von menschlichen Experten gemacht werden. Aus diesem Grund gibt es diese Phase nicht bei Zutrittssystemen, sondern nur bei den daktyloskopischen Systemen des Bundeskriminalamts (BKA) oder dem Automated Fingerprint Identification System (AFIS). [20]

2.2.2.5 Merkmalsextraktion

Mit der Hilfe von Algorithmen wird die Lage der Minuzien im Fingerabdruckbild detektiert und extrahiert. Bei diesem Schritt ist eine gute Bildqualität sehr wichtig, weil die Funktionen der Algorithmen bei zu vielen Bildfehlern eingeschränkt werden. [20]

2.2.2.6 Verifikationsphase

Der Merkmalsvektor des eingescannten Fingerabdrucks wird mit den registrierten Abdrücken aus der Datenbank verglichen. Daraus ergibt sich, ob ein Nutzer des Scanners akzeptiert wird oder nicht. [20]

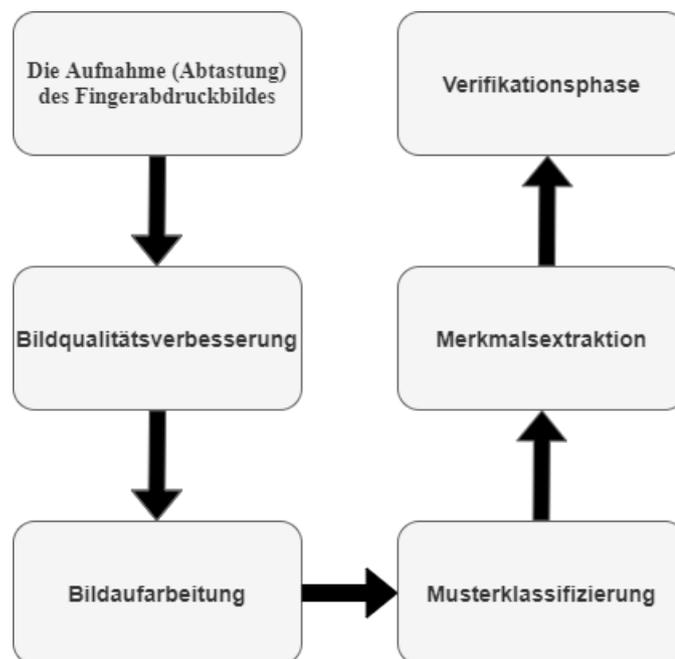


Abbildung 3: Ablauf des Scanprozesses beginnend mit der Aufnahme (Abtastung des Fingerabdruckbildes) und endend mit der Verifikationsphase

2.3 Angriffsarten

Es gibt verschiedene bekannte Angriffsarten auf einen Fingerabdruckscanner. Im folgenden Abschnitt soll ein Überblick über verschiedene Angriffstypen nach dem Modell von Ratha et al. (Abbildung 4) gegeben werden. Darin wurden verschiedene Schwachstellen biometrischer Systeme betrachtet und dazu verschiedene Angriffstypen auf die Schwachstellen notiert.

2.3.1 Typ 1 Angriffe

Bei dieser Angriffsart werden dem biometrischen System gefälschte biometrische Daten vorgelegt, die ein Angreifer zuvor von einem autorisierten Nutzer gestohlen (z.B. den Fingerabdruck von einer Wasserflasche) und einen Fake daraus erzeugt hat. In dieser Arbeit wurde ebenfalls diese Angriffsart verwendet. [23]

2.3.2 Typ 2 Angriffe

Bei dieser Angriffsart fängt der Angreifer die biometrischen Daten eines autorisierten Nutzers auf dem Kommunikationskanal zwischen dem biometrischen Eingabefeld und dem Feature-Extraktions-Modul ab. Das abgefangene Signal kann er nun dem biometrischen System erneut präsentieren, um so den Sensor zu umgehen. [23]

2.3.3 Typ 3 Angriffe

Bei dieser Angriffsart überschreibt der Angreifer das Feature-Extraktions-Modul, indem er z.B. einen Trojaner auf dem Modul installiert. [23]

2.3.4 Typ 4 Angriffe

Bei dieser Angriffsart greift der Angreifer den Kommunikationskanal zwischen dem Feature-Extraktions-Modul und dem Vergleichsmodul an. So kann er Feature-Sets von Fingerabdrücken abfangen und sie nach kurzer Zeit dem System erneut zu präsentieren. Es ist sogar möglich, die Sets direkt dem Vergleichsmodul zu übergeben, um das Feature-Extraktions-Modul zu umgehen. Typ 4 Angriffe sind jedoch schwieriger umzusetzen, weil das Feature-Extraktions-Modul und das Vergleichsmodul meist nicht separat sind. Dadurch gibt es keinen anfälligen Kommunikationskanal. [23]

2.3.5 Typ 5 Angriffe

Bei dieser Angriffsart überschreibt der Angreifer mit Hilfe eines Trojaners den Ähnlichkeits-score-Wert des Vergleichsmoduls. [23]

2.3.6 Typ 6 Angriffe

Bei dieser Angriffsart kann der Angreifer über Sicherheitslücken in der Template-Datenbank die Templates gespeicherter Nutzer sammeln. Die Templates kann er danach entweder direkt nutzen, um Zutritt zu einem Sicherheitsbereich zu erlangen oder er modifiziert sie vorher, um die Daten verschiedener Nutzer zu erhalten. [23]

2.3.7 Typ 7 Angriffe

Bei dieser Angriffsart greift der Angreifer den Kommunikationskanal zwischen der Datenbank und dem Vergleichsmodul an. Dadurch ist er in der Lage, Templates aus dem Datenstrom abzufangen. Die abgefangenen Templates können dem System erneut präsentiert werden, damit der Täter Zutritt zum gesicherten Bereich erhält. [23]

2.3.8 Typ 8 Angriffe

Bei dieser Angriffsart manipuliert der Angreifer direkt die Entscheidung des Systems, ob ein eingeleiteter Abdruck zugelassen wird oder nicht. Damit umgeht er alle anderen Komponenten des Systems. So kann er auch das genaueste System überwinden. [23]

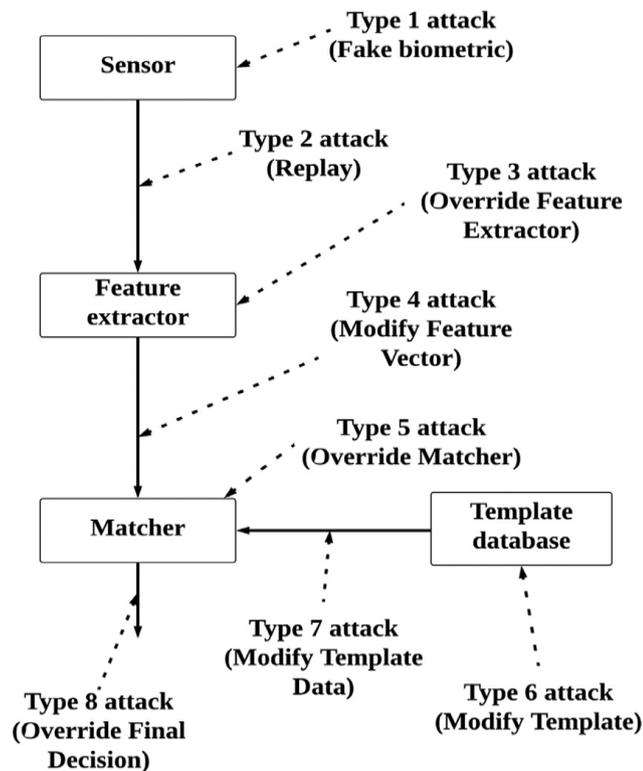


Abbildung 4: Modell nach Ratha et al.: in den weißen Boxen sind die Instanzen eines biometrischen Systems dargestellt; die Pfeile zeigen die verschiedenen Angriffstypen [23]

2.4 FRR, FAR und EER

Im folgenden Abschnitt sollen die Begriffe FRR, FAR und EER kurz erläutert werden. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Akzeptanz und Ablehnung von Fingerabdrücken bei ihrer Prüfung mit einem biometrischen System.

2.4.1 False Rejection Rate (FRR)

Die FRR definiert die Wahrscheinlichkeit, dass ein Nutzer, der in einem biometrischen System registriert ist, trotzdem vom System abgelehnt wird. Angegeben wird sie durch einen Wert zwischen 0 und 1. Dieser Wert hängt wiederum von einem Schwellenwert (Threshold) ab, den z.B. ein aufgelegter Fingerabdruck erreichen muss, um von einem System akzeptiert zu werden. Im Falle der FRR gilt, je höher der Schwellenwert, desto größer ist ihr Wert (siehe Abbildung 5). [9] [24]

2.4.2 False Accept Rate (FAR)

Die FAR definiert die Wahrscheinlichkeit, dass ein nicht registrierter Nutzer trotzdem von einem biometrischen System akzeptiert wird. Auch sie wird als ein Wert zwischen 0 und 1 angegeben. Dieser Wert hängt wie bei der FRR von einem Schwellenwert (Threshold) ab, den z.B. ein aufgelegter Fingerabdruck erreichen muss, um von einem System akzeptiert zu werden. Im Falle der FAR gilt, je niedriger der Threshold, desto größer ist ihr Wert (siehe Abbildung 5). [9] [24]

2.4.3 Equal Error Rate (EER)

Die EER spielt dann eine Rolle, wenn die Werte der FRR und FAR stark ähnlich sind. Gute biometrische Systeme haben das Ziel keine der beiden Fehlerraten zu sehr dominieren zu lassen. Deswegen ist die beste Lösung, dass die Werte für FRR und FAR nahezu identisch und gleichzeitige maximal (im Fall der FRR) bzw. minimal (im Fall der FAR) sein sollen. Dieser Punkt, an dem die beiden Fehlerraten identisch sind, nennt man Equal Error Rate. [9] [24] Der genaue Sachverhalt wird in Abbildung 5 bildlich veranschaulicht.

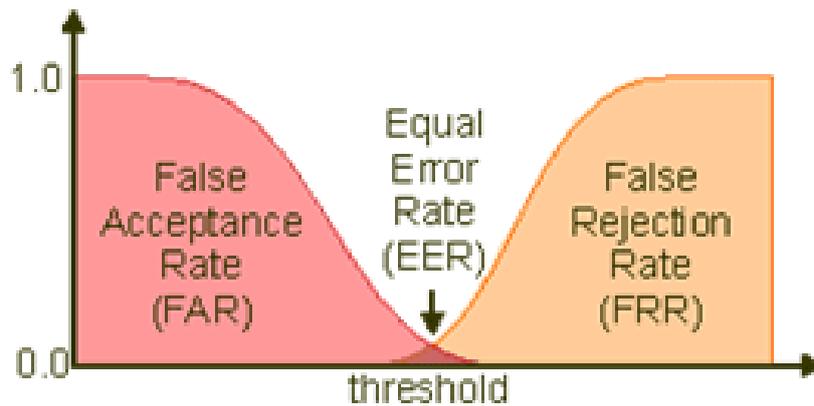


Abbildung 5: Darstellung der Verhältnisse zwischen FRR, FAR und EER; die Y-Achse gibt den Wert der Wahrscheinlichkeiten in einem Bereich zwischen 0 und 1 an; die X-Achse stellt den Threshold dar, den z.B. ein Fingerabdruck mindestens bezüglich seiner Qualität erreichen müsste, um vom System erkannt zu werden [18]

2.5 Grundbegriffe der Fotografie

Im folgenden Abschnitt sollen kurz ein paar Grundbegriffe der Fotografie erläutert werden. Diese sind vor allem notwendig, um die Methoden und Ergebnisse der vierten Versuchsreihe zu verstehen (siehe Abschnitt 4.4).

2.5.1 Blendenzahl

Die Blendenzahl gibt Auskunft darüber wie stark die Linse der Kamera geöffnet ist. Je größer die Zahl ist, desto mehr Licht fällt durch diese auf den lichtempfindlichen Sensor bzw. je kleiner ihre Zahl ist desto weniger Licht fällt durch diese auf den lichtempfindlichen Sensor. [13]

2.5.2 ISO (International Standart Organization)

Der ISO-Wert bei einer Kamera bestimmt die Lichtempfindlichkeit des Sensors in der Kamera. Bei dunkleren Aufnahmeorten wird ein höhere ISO-Wert empfohlen, um die Beleuchtungsverhältnisse eines Bildes zu verbessern, indem die Lichtempfindlichkeit des Kamerasensors erhöht wird. Dasselbe gilt umgekehrt für Aufnahmen an gut beleuchteten Orten. [14]

2.5.3 Brennweite

Die Brennweite (Angabe in Millimeter) legt in der Fotografie die Größe des Bildausschnitts bzw. des Bildwinkels fest, der auf dem Kamerasensor abgebildet wird. Nur dieser Bereich wird dann bei einer Fotografie aufgenommen. [15]

2.6 Zusammenfassung vorangegangener Arbeiten

Die Tests und Ergebnisse dieser Bachelorarbeit basieren auf dem Praktikumsbeleg zum Thema „Erstellung von Fakefingerabdrücken mit dem Tintenstrahldrucker und Untersuchung dieser auf Akzeptanz mit dem Fingerscanner“ von Herrn Florian Stopp (21.05.2021). Darum sollen die Ergebnisse des Berichts im folgenden Abschnitt kurz zusammengefasst werden.

2.6.1 Hintergrund und Ziele des Berichts

Die Versuche im Praktikumsbeleg basierten auf einem Bericht des Chaos Computer Clubs. In diesem ist es dem Biometrie-Team des CCC gelungen den Fingerabdruckscanner eines Smartphones zu umgehen, indem sie eine einfache Fingeratrappe aus getrockneter hautfarbener Latexmilch oder alternativ Holzleim genutzt haben. Der Fingerabdruck für die Herstellung wurde zuerst mit einer hochauflösenden Kamera von einer Oberfläche abfotografiert. Danach konnte er, nach seiner Bereinigung durch Bildbearbeitungsmethoden, mit einem Laserdrucker und handelsübliche Druckertinte auf eine Klarsichtfolie gedruckt werden. Am Ende wurde der Abdruck mit den oben genannten Materialien bedeckt, sodass er sich in das Material einprägen konnte. [7] [12]

In Berichten wie dem des CCC wurden in der Vergangenheit keine genauen Angaben zu den verwendeten Materialmengen gemacht. Darum sollten im Praktikumsbeleg die idealen Bedingungen herausgefunden werden, um einfache Fakes dieser Art herzustellen. Dazu gehörten die ideale Zusammensetzung des Fakematerials und die ideale Anzahl an Druckdurchgängen für gut sichtbare Fakes. Nach der Herstellung wurden die Fakes auf ihre Akzeptanz auf einem modernen optischen Fingerabdruckscanner getestet, um herauszufinden welche Anforderungen ein Scanner haben sollte, um solche einfachen Abdrücke in Zukunft nicht mehr zu akzeptieren.

Im Gegensatz zu den Experimenten des CCC wurde im Beleg statt eines Laserdruckers ein Tintenstrahldrucker genutzt. Außerdem wurde anstelle von reinem Holzleim ein Holzleim-Glycerin-Gemisch als Fakematerial verwendet. Letzteres wurde in einem weiteren Versuch des CCC empfohlen, um einer Austrocknung des Materials entgegenzuwirken. [7]

2.6.2 Methoden und Ergebnisse

Der Praktikumsbeleg wurde in 4 Versuchsreihen unterteilt, um ein ideales Mischverhältnis des Fakematerials zu finden, eine ideale Anzahl von Druckdurchgängen herauszufinden und um die Qualität der hergestellten Fakes auf einem optischen Fingerabdruckscanner zu prüfen. Die im Beleg genutzten Abdrücke entsprechen denen der Testperson T1 in dieser Bachelorarbeit.

2.6.2.1 Versuchsreihe 1

In der ersten Versuchsreihe wurde nach einem idealen Mischverhältnis für ein Fakematerial aus Holzleim und Glycerin gesucht, indem Ponal Express Holzleim und Glycerin (85%) in verschiedenen Verhältnissen miteinander vermischt wurden. In Tabelle 1 werden die genutzten Mischverhältnisse gezeigt. Die Maßangabe „T.“ steht dabei für Pipetten- „Tropfen“ des Materials Glycerin.

Tabelle 1: Stoffzusammensetzung der Testproben

	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7	Probe 8	Probe 9	Probe 10
Leim	1 g	1 g	1 g	1 g	1 g	1 g	1 g	1 g	1,5 g	1,5 g
Glycerin	1 ml	1 T.	2 T.	3 T.	4 T.	5 T.	6 T.	7 T.	10 T.	15 T.

Die nebeneinander platzierten Proben können in Abbildung 6 betrachtet werden. Die Proben 1 und 10 sind auf dem Bild nicht mehr vorhanden, weil sie, auch nachdem sie wie alle Proben über Nacht trocknen konnten, durch den hohen Glycerinanteil zu flüssig waren. Deswegen wurden sie schon vor der Fotografie weggewischt. Außerdem dienten die abgedruckten Abdrücke nur als Testvorlage, um zu prüfen wie gut sich das Fakematerial an ihre Form anpasst.



Abbildung 6: Ergebnisse des Materialtests; Probe 1 (links oben) und Probe 10 (rechts unten) fehlen

Das Ergebnis war, dass sich eine Mischung aus 1 g Holzleim und 2 Pipettentropfen Glycerin am besten für die Herstellung eines stabilen Fakematerials eignet. In Tabelle 2 können die Ergebnisse des Materialtests betrachtet werden. Dabei steht ein „+“ für eine geeignete Stoffmischung und ein „-“ für eine ungeeignete Stoffmischung.

Tabelle 2: Ergebnisse der Materialauswahl

	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7	Probe 8	Probe 9	Probe 10
Ergebnis	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-

2.6.2.2 Versuchsreihe 2

In den zweiten Versuchsreihen sollten die ersten Fakes hergestellt werden. Getestet wurde mit dem Mittelfingerabdruck und dem Daumenabdruck der linken Hand. Es sollte ebenso versucht werden, wie sich mehrere Druckdurchgänge (im Experiment mit drei Durchgängen getestet) und verschiedene Bildbearbeitungsmethoden (lineare Umkehrung und Sobel-Kantendetektion) auf die Qualität des Fakes auswirken. Außerdem wurde reiner Ponal Express Holzleim für einen Vergleich mit dem Holzleim-Glycerin-Gemisch als Fakematerial getestet. Vor dem Drucken der Abdrücke mussten die Farben der normalen Fingerabdrücke

umgekehrt werden. Grund dafür ist, dass sich nur die mit Tinte bedruckten Stellen in das Fakematerial einprägen. Würde der Fingerabdruck unbearbeitet genutzt werden, würden die bedruckten Papillarlinien in das Material eingedrückt und die Furchen würden hervorstehen. Aus diesem Grund müssen die schwarzen und weißen Farbteile des Fingerabdruckbildes getauscht werden, um den richtigen Abdruck in das Fakematerial zu drücken. Die bearbeiteten Bilder aus dem Praktikumsbeleg können in den Abbildungen 7-12 betrachtet werden. Bearbeitet wurden diese und alle weiteren Abdrücke des Belegs und der Bachelorarbeit mit dem Bildbearbeitungsprogramm GNU Image Manipulation Program (GIMP).



Abbildung 7: Original-Abdruck des linken Daumens



Abbildung 8: Original-Abdruck des linken Mittelfingers



Abbildung 9: Abdruck des linken Daumens bearbeitet mit linearer Umkehrung



Abbildung 10: Abdruck des linken Mittelfingers bearbeitet mit linearer Umkehrung



Abbildung 11: Abdruck des linken Daumens bearbeitet mit Sobel-Kantendetektion



Abbildung 12: Abdruck des linken Mittelfingers bearbeitet mit der Sobel-Kantendetektion

Zwischen den einzelnen Druckdurchgängen wurden die Drucke der Finger jeweils gemessen (Tabelle 8). Grund dafür war, dass sich die Qualität und Größe der Abdrücke je nach Druckdurchgang unterscheiden kann. Verantwortlich dafür ist die kurze Distanz zwischen Druckkopf und Druckmedium. In diesem kleinen Bereich kann die Druckertinte streuen, wodurch bei mehrfachem Drucken z.B. Details durch die Tinte verschwinden können. Dieses Phänomen wurde auch im Paper von Soum et al. beobachtet. Dort wurde auch mit einem Tintenstrahldrucker gearbeitet, bei dem aber Carbon Nanotubes-Tinte (CNT-Tinte) verwendet wurde. [22] Das Ergebnis der Messung war, dass die Drucke tatsächlich weniger vom Fingerabdruck zeigten und darum kürzer waren. Die Ergebnisse der Messungen können in Tabelle 3 betrachtet werden. Dabei wird die jeweilige Originalgröße des Abdrucks im Tabellenkopf gezeigt.

Tabelle 3: Messergebnisse je Druckdurchgang

	<u>Daumen links (21,6 mm)</u>		<u>Mittelfinger links (15,9 mm)</u>	
	<u>Lineare Umkehrung</u>	<u>Sobel-Kantendetektion</u>	<u>Lineare Umkehrung</u>	<u>Sobel-Kantendetektion</u>
Druck 1	21,5 mm	21,5 mm	15,8 mm	15,8 mm
Druck 2	19,8 mm	21,5 mm	15,3 mm	15,1 mm
Druck 3	19,8 mm	20,8 mm	14,9 mm	15,1 mm

Zum Test der Bildbearbeitungsmethoden und der Fakematerialien wurde der in Abbildung 13 gezeigte Versuchsaufbau vorgenommen.

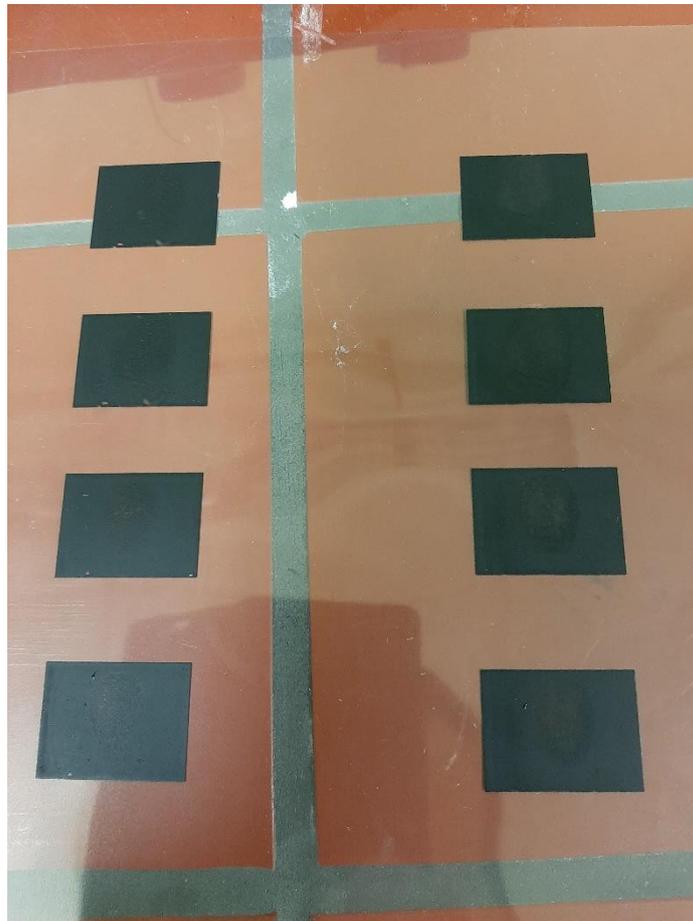


Abbildung 13: Reihe 1 = Abdruck Daumen links mit linearer Umkehrung, Reihe 2 = Abdruck Daumen links mit Sobel-Kantendetektion, Reihe 3 = Abdruck Mittelfinger links mit linearer Umkehrung, Reihe 4 = Abdruck Mittelfinger links mit Sobel-Kantendetektion

Vom linken Daumen und Mittelfinger wurden in Kombination mit der jeweiligen Bildbearbeitungsmethode jeweils zwei Abdrücke derselben Art pro Reihe nebeneinander abgedruckt. Somit konnte jede Bildbearbeitungsmethode für beide Finger und beide Fakematerialien je einmal getestet werden. Beide Materialien konnte beide über Nacht trocknen. Die Fakes wurden nun mit einem Palm Print Live Scanner (Modell: Bio Palm) aufgenommen und mit dem Programm Fingers Sample C++ analysiert. Jeder Fake wurde für die Redundanz dreimal getestet, um zufällige Erfolge und Fehler auszuschließen. Die Tests wurden bei den Standardeinstellungen des Programms vorgenommen. Diese können in Tabelle 4 eingesehen werden.

Tabelle 4: Standard Scan-Einstellungen

<u>Name der Einstellung</u>	<u>Wert</u>
Minimum minutia count	10
Quality Threshold	40
Extracted Ridge Counts	Eight Neighbors with indexes
FAR	0,01%
Maximal rotation	180
Maximal Result Count	1000

Die Ergebnisse der getesteten Fakes können in Tabelle 5 betrachtet werden (Definition der FAR in Abschnitt 2.4.2).

Tabelle 5: Ergebnisse der getesteten Fakes mit drei Druckdurchgängen

	<u>Daumen links</u> <u>(Lineare Umkehrung)</u>		<u>Daumen links</u> <u>(Sobel-Kantendetektion)</u>		<u>Mittelfinger links</u> <u>(Lineare Umkehrung)</u>		<u>Mittelfinger links</u> <u>(Sobel-Kantendetektion)</u>	
	Leim	L. + Gl.	Leim	L. + Gl.	Leim	L. + Gl.	Leim	L. + Gl.
Test 1	Fehler	Erfolg	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler
Test 2	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Erfolg	Fehler	Fehler
Test 3	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler	Fehler

Bei den getesteten Fakes waren nur diejenigen erfolgreich, die mit dem Holzleim-Glycerin-Gemisch hergestellt und mit der linearen Umkehrung bearbeitet wurden. Aus diesem Grund wurden sowohl Fakematerial, als auch Bildbearbeitungsmethode für die weiteren Versuche des Praktikumsbelegs, sowie den Versuchen in der Bachelorarbeit weiter verwendet. Auch wurde in den Versuchen zur Bachelorarbeit derselbe Scanner und dasselbe Analyseprogramm verwendet. Zwei Eigenschaften der Fakes führten anfänglich zu Fehlern. Die hergestellten Fakes waren durchsichtig, weshalb beim Auflegen auf den Scanner der Abdruck der Testperson durchschimmerte und so das Ergebnis verfälschte. Außerdem waren beim Mischen Luftblasen in das Fakematerial geraten, die bei Lichteinfall ebenfalls auf dem gescannten Bild zu sehen waren. Die Lösung dafür war das Überziehen eines Mikrofasertuchs über den Finger der Testperson. So wurden der Lichteinfall und das Durchschimmern des eigenen Fingers etwas vermieden. Im Rahmen der Bachelorarbeit sollen diese Schwachpunkte bei der Fakeherstellung noch ausgebessert werden.

2.6.2.3 Versuchsreihe 3

In der dritten Versuchsreihe wurden verschiedene Drucke mit bis zu zehn Druckdurchgängen getestet. Für die Tests wurde neben dem linken Mittelfinger und dem linken Daumen auch der linke Zeigefinger verwendet. Grund dafür ist, dass Zeigefingerabdrücke häufig auf Oberflächen gefunden werden können. Dort können sie entnommen werden und für die Fakeherstellung genutzt werden. In den Abbildungen 14 und 15 wird der Versuchsaufbau zum Testen der verschiedenen Druckdurchgänge gezeigt.



Abbildung 14: Bilder der gedruckten Fingerabdrücke mit den Druckdurchgängen 1-7

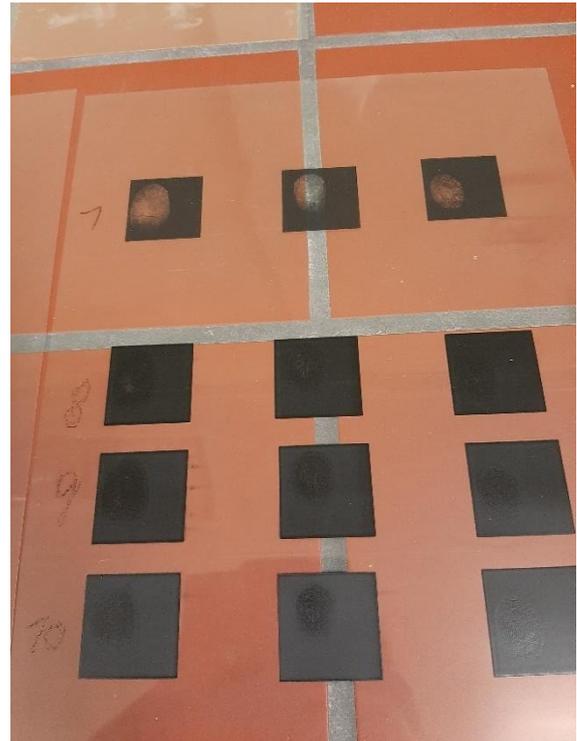


Abbildung 15: Bilder der gedruckten Fingerabdrücke mit einem Druckdurchgang und den Durchgängen 8-10

Alle Abdrücke wurden mit dem Gemisch aus 1 g Holzleim und 2 Tropfen Glycerin bedeckt und über Nacht trocknen gelassen. Es stellte sich heraus, dass die Fakes, die bei nur einem Druckdurchgang hergestellt wurden, am erfolgreichsten vom Scanner akzeptiert wurden. Sie enthielten noch besonders viele Details des Originalfingers. Fakes mit einer höheren Anzahl von Druckdurchgängen wirkten auf dem Bild verschwommen. Außerdem ergab es sich, dass Stücke der getrockneten Tinte am Fake klebten und ebenfalls auf dem Bild sichtbar waren (siehe Abbildungen 16-21).



Abbildung 16: Erfolgreicher Fake des linken Daumens bei einem Druckdurchgang



Abbildung 17: Abgelehnter Fake des linken Daumens bei zehn Druckdurchgängen und einem klebengebliebenen Stück getrockneter Tinte



Abbildung 18: Erfolgreicher Fake des linken Mittelfingers bei einem Druckdurchgang



Abbildung 19: Abgelehnter Fake des linken Mittelfingers bei 10 Druckdurchgängen



Abbildung 20: Abgelehnter Fake des linken Zeigefingers bei zehn Druckdurchgängen und einem klebengebliebenen Stück getrockneter Tinte



Abbildung 21: Erfolgreicher Fake des linken Zeigefingers bei einem Druckdurchgang

Eine weitere Fehlerquelle war, dass beim Auflegen auf den Scanner nicht immer gleichmäßig Druck auf den Fake ausgeübt wurde, weshalb die Bilder je nach Durchgang leicht in ihrer Form variierten. Für die letzte Versuchsreihe und die Bachelorarbeit wurden weiterhin Abdrücke mit nur einem Druckdurchgang verwendet.

2.6.2.4 Versuchsreihe 4

In der vierten Versuchsreihe wurden die erfolgreichsten Fakes aus Versuchsreihe 3 bei geänderten Akzeptanzeinstellungen auf dem Scanner getestet. Die bei jedem Testdurchgang veränderten Akzeptanzeinstellungen können in Tabelle 6 eingesehen werden.

Tabelle 6: Geänderte Scan-Einstellungen für jeden Testdurchgang

Nummer des Tests	<u>Geänderte Einstellungen</u>		
	Minimale Anzahl zu erkennender Minuzien	Quality Threshold	FAR
1	14	40%	0,01%
2	14	40%	0,0001%
3	14	50%	0,0001%
4	14	60%	0,0001%
5	14	70%	0,0001%
6	14	80%	0,0001%
7	14	90%	0,0001%
8	14	100%	0,0001%
9	14	100%	0,0001%
10	14	80%	0,0001%
11	14	70%	0,0001%
12	14	60%	0,0001%

Tabelle 7 zeigt die Einstellungen, die bei den Tests immer gleichgeblieben sind. Diese wurden auch während der Scans im Rahmen der Bachelorarbeit nicht verändert. Eine Definition des Begriffs FAR ist in Abschnitt 2.4.2 zu finden.

Tabelle 7: Einstellungen, die während der Tests nicht geändert wurden

<u>Name der Einstellung</u>	<u>Wert</u>
Template Size	Large
Extracted Ridge Counts	Eight Neighbors with indexes
Maximal Rotation	180 (Maximum)
Maximal Result Count	1000

In Tabelle 8 werden die Ergebnisse der jeweiligen Fakes bei den veränderten Akzeptanzeinstellungen im Analyseprogramm gezeigt. Das Symbol „-“ steht hier entweder dafür, dass ein Fake nicht mehr betrachtet wurde, weil er bei höheren Einstellungen nicht mehr erkannt wurde oder, dass einzelne Abdrücke in einem Test noch einmal allein betrachtet wurden.

Tabelle 8: Ergebnisse der getesteten Fakes bei verschiedenen Scan-Einstellungen

<u>Nummer des Tests</u>	<u>Ergebnisse für Fake des linken Daumens</u>			<u>Ergebnisse für Fake des linken Mittelfingers</u>			<u>Ergebnisse für den Fake des linken Zeigefingers</u>		
1	Erfolg	Erfolg	Erfolg	Erfolg	Erfolg	Erfolg	Erfolg	Erfolg	Erfolg
2	Erfolg	Erfolg	Erfolg	Fehler	Fehler	Fehler	Erfolg	Erfolg	Erfolg
3	Erfolg	Erfolg	Erfolg	-			Erfolg	Erfolg	Erfolg
4	Erfolg	Erfolg	Erfolg	-			Erfolg	Erfolg	Erfolg
5	Erfolg	Erfolg	Erfolg	-			Erfolg	Erfolg	Erfolg
6	Erfolg	Erfolg	Erfolg	-			Fehler	Fehler	Fehler
7	Erfolg	Fehler	Fehler	-			-		
8	Erfolg	Fehler	Fehler	-			-		
9	Fehler	Fehler	Fehler	-			-		
10	Erfolg	Erfolg	Erfolg	-			-		
11	-			-			Fehler	Fehler	Fehler
12	-			-			Fehler	Fehler	Fehler

Der Fake des linken Daumens stellte sich als der erfolgreichste heraus. Er wurde auch bei einem Quality Threshold von 80%, einer FAR von 0,0001% (Definition des Begriffs in Abschnitt 2.4.2) und 14 zu erkennenden Minuzien noch vom Scanner akzeptiert (Tabelle 6). Für diesen Fake wurde in Test 10 noch einmal ein spezieller Test für den Fake gemacht. Dort wurde er mit dem Quality Threshold bei dem er zuletzt erkannt wurde und der kleinstmöglichen FAR des Programms erneut getestet und perfekt akzeptiert. In den Tests 11 und 12 wurde Ähnliches auch mit dem Fake des Zeigefingers gemacht. Dort wurde allerdings der Quality Threshold einmal um 10% verringert. Nachdem der Fake trotzdem nicht erkannt wurde, ist er nicht weiter betrachtet worden.

Die Scaneinstellungen des linken Daumens waren zu Beginn dieser Arbeit maßgebend für die anfänglichen Akzeptanztests der neu hergestellten Fakes.

3 Material

Im folgenden Kapitel sollen die Materialien aufgelistet werden, die notwendig waren, um den Versuch durchzuführen.

3.1 Materialien

Die Materialien aus Tabelle 9 wurden genutzt, um die Fakes herzustellen.

Tabelle 9: Versuchsmaterialien zur Erstellung eines Fakes

<u>Material</u>	<u>Hersteller</u>
Ponal Express Holzleim	Henkel
Glycerin 85% (Charge: 1070011)	Otto Fischar GmbH & Co. KG
Kyocera TK-8325 K BK, schwarz (Druckerpatrone)	Kyocera
Kopierfolie „klar“	folex Imaging
Inoculating Loops (Plastikstäbchen)	-
Metallstäbchen	-
Einwegpipette	-
Magnetpulver Silber (Charge: 614)	Voigtländer
Magnetpulver Weiß (Charge: 640)	Voigtländer

3.2 Geräte

In Tabelle 10 werden die Geräte aufgelistet, die zum Erstellen der Fakes und deren anschließende Überprüfung genutzt wurden.

Tabelle 10: Werkzeuge für das Experiment

<u>Geräte</u>	<u>Hersteller</u>
Palm-Print Live Scanner (Modell: Bio Palm)	BioID Technologies
GEMPRO 300 (Feinwaage)	MyWeight
TASKalfa 2552ci (Drucker)	Kyocera
Fingerüberzug (ohne Abdruck)	Sumifun
Kamera (Modell: Lumix g91)	Panasonic
Magnetstab	-

3.3 Versuchsaufbau

In den Abbildungen 22 bis 28 werden die für den Versuch genutzten Materialien und Geräte gezeigt. Diese sollen bezüglich ihrer Funktion innerhalb der Experimente noch einmal kurz erläutert werden.

In Abbildung 22 wird der Tintenstrahldrucker TASKalfa 255ci der Firma „Kyocera“ gezeigt. Er wurde in den Experimenten genutzt, um die Originalabdrücke auf eine Klarsichtfolie zu drucken.

Auf Abbildung 23 wird der Palm-Print Live Scanner gezeigt. Er diente für alle Versuche ab Versuchsreihe 2 (Abschnitt 4.2) dazu, die Originale und Fakefingerabdrücke aufzunehmen, damit sie im Analyseprogramm „Fingers Sample C++“ analysiert werden konnten. Auf dem selben Bild wird das Mikrofasertuch gezeigt, welches bereits im Praktikumsbeleg (z.B. Abschnitt 2.6.2.2) genutzt wurde, um die Fakes auf den Scanner zu legen. Es sollte verhindern, dass Licht und der eigene Fingerabdruck beim Scannen durch das Material schimmern. In Versuchsreihe 3 (Abschnitt 4.3) wurden seine Ergebnisse beim Auflegen mit denen der Fingerüberzüge aus Abbildung 26 verglichen.



Abbildung 22: TASKalfa 2552ci (Drucker) (Kyocera)

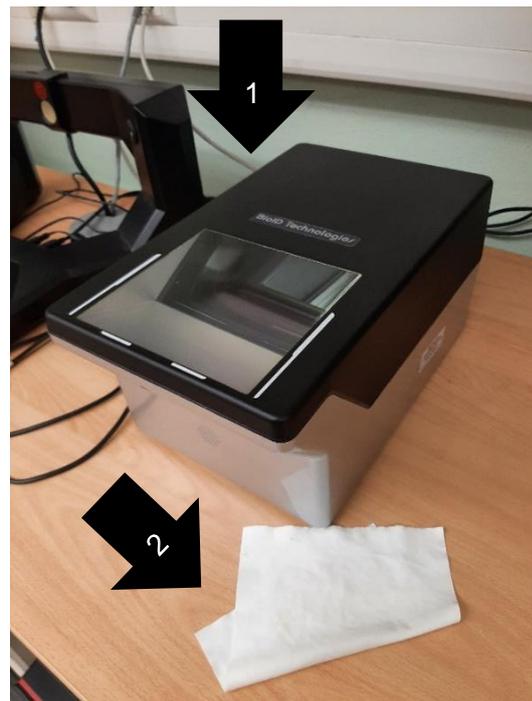


Abbildung 23: 1: Palm-Print Live Scanner (Modell: Bio Palm) (Bioid Technologies); 2: Mikrofasertuch (Bioid Technologies)

In Abbildung 24 werden die Materialien und Geräte gezeigt, die genutzt wurden, um das Fakematerial anzumischen. Mit der Nummer 1 wurden die Klarsichtfolien nummeriert, auf die die Originalabdrücke gedruckt wurden. Der mit einer 2 markierte Pfeil zeigt auf den genutzten Ponal Express Holzleim. Er ist ein Bestandteil des Holzleim-Glycerin-Gemischs, welches als Fakematerial genutzt wurde. Neben dem Leim ist das zugehörige Glycerin

(85%) mit der Nummer 3 markiert. Der Pfeil mit der Zahl 4 zeigt auf die Feinwaage des Modells GEMPRO 300 der Firma „MyWeight“. Sie diente zum Abwiegen des Holzleims.



Abbildung 24: 1: Kopierfolie Klar (folex Imaging); 2: Ponal Express Holzleim (Henkel); 3: Glycerin 85% (Otto Fischar GmbH & Co. KG); 4: GEMPRO 300 (Feinwaage) (MyWeight)

Abbildung 25 zeigt die Hilfsmittel mit denen in Versuchsreihe 1 (Abschnitt 4.1) versucht wurde, die Menge an Luftblasen im Fake zu verringern. Alle gezeigten Utensilien wurden für die Tests genutzt. Die Einmalpipette mit der Nummer 4 wurde auch dazu genutzt, um das Material über den Fingerabdruck zu streichen.

In Abbildung 26 werden die Überzüge für die Finger gezeigt. Sie wurden in Versuchsreihe 3 (Abschnitt 4.3) genutzt, um die Fakes besser auf den Scanner aufzulegen. Diese Abdrücke wurden wiederum mit denen verglichen, die mit Hilfe des Mikrofasertuchs als Überzug auf den Scanner gelegt wurden.

In Abbildung 27 werden die in Versuchsreihe 4 (Abschnitt 4.4) genutzten Fingerabdruckpulver mit dem zugehörigen Magnetstab gezeigt. Mit ihrer Hilfe konnten die Abdrücke auf der Glasoberfläche sichtbar gemacht werden. Anschließend wurden sie mit der in Abbildung 28 gezeigten Kamera des Modells Lumix g91 von „Panasonic“ abfotografiert zu werden. Die Fotografien wurden anschließend mit Bildbearbeitungsprogrammen (GIMP, ImageJ) bearbeitet, sodass aus ihnen Fakes hergestellt werden konnten.

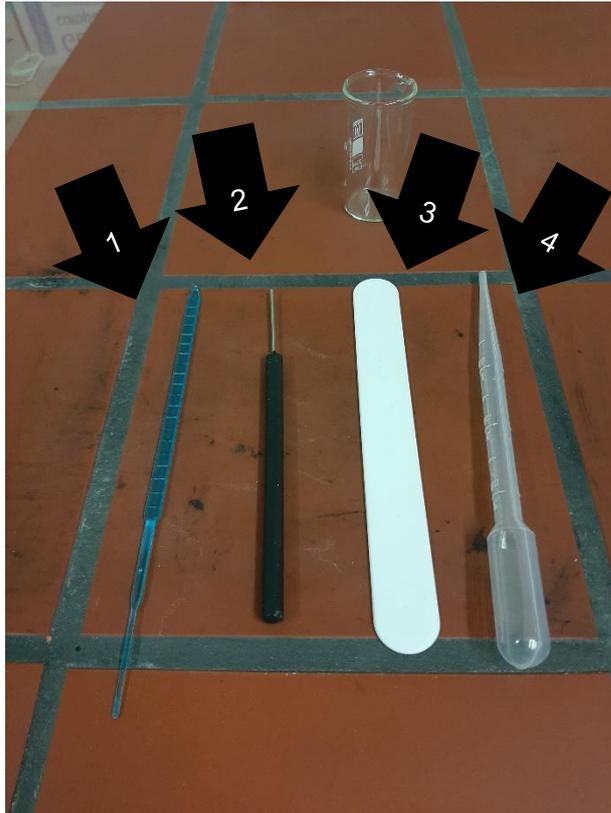


Abbildung 25: Hilfsmittel zum Mischen der Fakematerialien aus Versuchsreihe 1 (siehe Abschnitt 4.1) von links 1: Plastikstäbchen; 2: Metallstab; 3: Größerer Plastikstab; 4: Einmalpipette



Abbildung 26: Fingerüberzüge (ohne Abdruck) der Firma Sumifun zum Testen der Fakeabdrücke in Versuchsreihe 3 (siehe Abschnitt 4.3)



Abbildung 27: Magnetpulver mit zugehörigem Magnetstab zum Auftragen des Pulvers auf die Abdrücke in Versuchsreihe 4 (siehe Abschnitt 4.4)



Abbildung 28: Kamera Modell: Panasonic Lumix g91 zur Fotografie der Abdrücke aus Versuchsreihe 4 (siehe Abschnitt 4.4)

4 Methoden

Im folgenden Kapitel sollen die Methoden beschrieben werden, die angewendet wurden, um die Ergebnisse aus dem Praktikumsbeleg zu verbessern. Es werden ebenfalls die Arbeitsschritte beschrieben, die für eine genauere Untersuchung des Merkmals der Papillarlücken nötig waren (siehe Abschnitt 4.3.3).

4.1 Versuchsreihe 1

Das Ziel in Versuchsreihe 1 ist das Entfernen störender Luftblasen aus dem Fakematerial. Dieses Problem wurde bereits im Abschnitt zu Versuchsreihe 2 aus dem Praktikumsbeleg im Grundlagenteil kurz beschrieben (siehe Abschnitt 2.6.2.2).

4.1.1 Verbesserung des Mischvorgangs

Im Praktikumsbeleg wurden die Materialien Ponal Express Holzleim und Glycerin (85%) schnell bei einfachem Rühren mit einem Plastikstäbchen vermischt. Problem dabei war, dass sich dadurch viele Luftblasen in das Fakematerial einmischen konnten. So wurde die Qualität der Fakes stark beeinflusst und ihre Scanergebnisse waren bedeutend schlechter. Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln war die Lösung für eine Vermeidung zu vieler Luftblasen im Stoffgemisch das langsamere Vermischen der beiden Stoffe mit einem dünnen Gegenstand [16]. Zur Verfügung standen hierbei die in Abbildung 25 gezeigten Utensilien. Im Versuch, der im Teilabschnitt 4.1.3 beschrieben wird, soll getestet werden in wie weit sich die verwendeten Hilfsmittel auf die Qualität des Fakematerials auswirken.

4.1.2 Verbesserung des Auftragens

In den Arbeiten zum Praktikumsbeleg wurde das Fakematerial aus den Mischbehälter (siehe Abbildung 25) mit Hilfe des Plastikstäbchens auf die jeweiligen Abdrücke aufgetragen. Durch die erneute Bewegung des Materials konnten sich auch hier erneut Luftblasen untermischen. Aus diesem Grund wurden im Versuch verschiedene Ansätze überprüft, um das Material ohne weiteres Untermischen von Luftblasen auf den Abdruck zu bringen. Alle Änderungen der Methoden zum Auftragen sollten im in Teilabschnitt 4.1.3 beschriebenen Versuch gezeigt werden.

4.1.3 Versuch zur Qualitätsverbesserungen der Fakes

In Tabelle 11 werden die Bedingungen beschrieben, unter denen das Fakematerial hergestellt und aufgetragen wurde.

Tabelle 11: Bearbeitungsmethoden für jeden Testdurchgang

<u>Testdurchgänge</u>	<u>Bearbeitungsmethoden</u>
Test 1	<ul style="list-style-type: none"> - Langsames Mischen mit dem Plastikstab (breites Ende) aus Abbildung 25 - Material wird durch Gießen auf den Abdruck aufgetragen
Test 2	<ul style="list-style-type: none"> - Langsames Mischen mit dem Plastikstab (breites Ende) aus Abbildung 25 - Material an einem Ende des Fakes aufgetragen und mit dem Stab über den Abdruck gestrichen
Test 3	<ul style="list-style-type: none"> - Langsames Mischen mit dem Plastikstab (breites Ende) aus Abbildung 25 - Material an einem Ende des Fakes aufgetragen und mit einer leicht verbogenen Einmalpipette über den Abdruck gestrichen
Test 4	<ul style="list-style-type: none"> - Mischen des Materials mit dem dickeren Plastikstab aus Abbildung 24 - Material mit Einmalpipette eingesaugt und auf den Abdruck aufgetragen
Test 5	<ul style="list-style-type: none"> - Mischen mit Pipettenkopf der Einmalpipette - Material an einem Ende des Fakes aufgetragen und mit einer leicht verbogenen Einmalpipette über den Abdruck gestrichen
Test 6	<ul style="list-style-type: none"> - Wiederholung des Versuchs in Test 5, da dort etwas zu hastig gearbeitet wurde → so evtl. zu viele Luftblasen untergemischt
Test 7	<ul style="list-style-type: none"> - Mischen mit kleinem Metallstäbchen - Material an einem Ende des Fakes aufgetragen und mit einer leicht verbogenen Einmalpipette über den Abdruck gestrichen
Test 8	<ul style="list-style-type: none"> - Mischen mit Metallstab - Kurzes Klopfen und Schütteln des Mischbehältnisses → Luftblasen könnten so herausgelöst werden

Abbildung 29 zeigt den Aufbau des Versuchs. Die auf der Folie ersichtlichen Abdrücke wurden nicht bearbeitet und dienen nur zum Testen des Materials.



Abbildung 29: Abbildung des getrockneten, mit den Mischmethoden aus Tabelle 11 bearbeiteten Fakematerials; Von oben links startend: Test 1, Test 2, Test 3, Test 4, Test 5, Test 6, Test 7, Test 8

4.2 Versuchsreihe 2

In Versuchsreihe 2 sollte überprüft werden, wie sich eine Änderung des Glycerinanteils auf die Qualität und Stabilität der dünneren Fakes auswirkt.

4.2.1 Genutzte Programme zur Bildbearbeitung

4.2.1.1 *GIMP (GNU Image Manipulation Program)*

Das Programm GIMP ist ein plattformübergreifender Image Editor. Mit diesem lassen sich komplexe grafische Manipulationen von Bildern durchführen. [10] Das Programm wurde ebenfalls in den weiteren Versuchsreihen verwendet.

4.2.2 Vergleich von Fakes mit unterschiedlichem Glycerinanteil

Wegen der in Versuchsreihe 1 festgestellten mangelnden Stabilität der dünneren Fakes sollte in diesem Versuch die Qualität der Fakes bei einem niedrigeren Glycerinanteil festgestellt werden. Dazu wurden die drei Finger, die bereits im Praktikumsbeleg für die Untersuchungen genutzt wurden, verwendet. Dabei handelte es sich um den linken Mittelfinger, den linken Zeigefinger und den linken Daumen der Testperson 1 (T1). Alle Finger wurden zuerst mit Hilfe der Bildbearbeitungsmethode „linear umkehren“ über das Programm GIMP bearbeitet und zugeschnitten. So wurden die Bildfarben in ihr Negativ umgewandelt. Danach wurden die Abdrücke je zweimal auf eine Klarsichtfolie gedruckt. Jeweils ein Abdruck jedes Fingers wurde entweder mit einem Holzleim-Glycerin-Gemisch in der Zusammensetzung 2 T. Glycerin und 1 g Holzleim oder 1 T. Glycerin und 1 g Holzleim bedeckt. Das Material wurde über Nacht zum Trocknen liegen gelassen. Abschließend wurden alle Fakes auf dem Palm Print Live Scanner eingelesen und über das Programm Fingers Sample C++ analysiert. Die Einstellungen des Programms richten sich dabei nach denen welche in Tabelle 6 (Test 10) und Tabelle 7 abgebildet sind. Sie entsprechen somit den Werten, die der beste Fake innerhalb der Experimente im Praktikumsbeleg erreicht hat. Alle Fakes wurden für die Redundanz jeweils dreimal eingelesen. So soll überprüft werden, ob sie von ähnlicher Qualität sind, sodass eine Veränderung der Materialzusammensetzung unbedenklich ist.

In Abbildung 30 wird der Aufbau des Versuchs gezeigt. In der oberen Reihe befinden sich die Fakes, die mit 2 T. Glycerin und 1 g Holzleim hergestellt wurden. In der unteren Reihe sind die Fakes abgebildet, die mit 1 T. Glycerin und 1 g Holzleim hergestellt wurden.



Abbildung 30: Testfakes der Versuchsreihe 2; Reihe 1 mit 2 T. Glycerin und Reihe 2 nur mit 1 T. Glycerin; Anordnung der Finger für beide Reihen (von links nach rechts): Mittelfinger, Zeigefinger, Daumen

4.3 Versuchsreihe 3

Versuchsreihe 3 besteht aus zwei verschiedenen Tests. Im ersten Teilversuch soll überprüft werden, wie sich ein Fingerüberzug auf die Qualität der Fakes auf dem Scanner auswirkt. Anschließend werden die Fakebilder im zweiten Teil auf das neue Merkmal „Papillarlücken“ untersucht. Es wird auch verglichen, bei welchen Fakes sie deutlicher zu sehen sind.

4.3.1 Allgemeine Vorbereitungen

Die grundlegenden Vorbereitungen für den Versuch umfassen die Untersuchung einer Sammlung von Testfingerabdrücken. Aufgrund der Pandemiesituation und in Rücksichtnahme auf den allgemeinen Hygienestandard wurden für den Versuch nur die Fingerabdrücke zweier Testpersonen (Testperson 1 = T1 und Testperson 2 = T2) betrachtet. Die Abdrücke beider Tester wurden wieder über den Palm Print Live Scanner aufgenommen und über das Programm Fingers Sample C++ analysiert. Die Bilder der Abdrücke wurden für die Fakeherstellung erneut über das Programm Gimp linear umgekehrt und zugeschnitten. Als Fakematerial diente das Stoffgemisch aus 1 T. Glycerin und 1 g Holzleim.

Abbildung 31 zeigt die Fakes der beiden Testpersonen. Dabei werden im oberen Teil der Folie die Abdrücke der Testperson T1 und im unteren Teil die der Testperson T2 gezeigt.

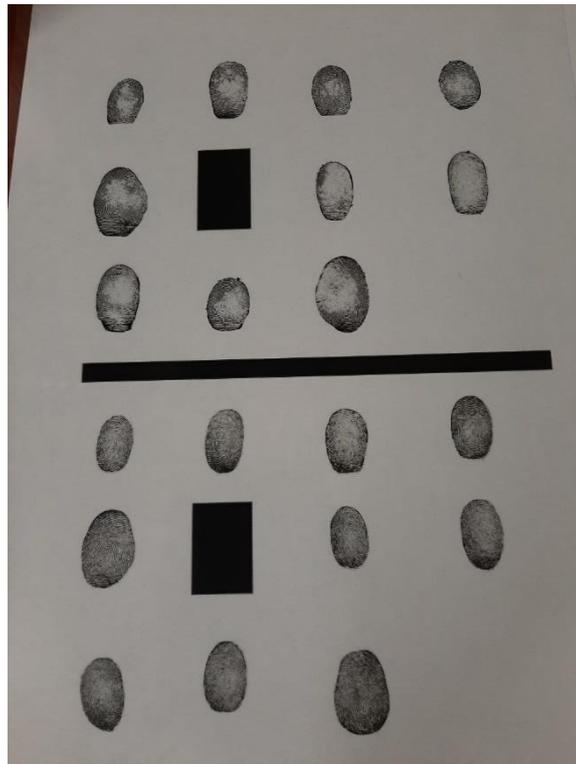


Abbildung 31: Gedruckte Abdrücke der Testpersonen; das schwarze Rechteck trennt die Abdrücke der linken Hand von denen der rechten (von oben nach unten betrachtet)

4.3.2 Testen der Fakes mit und ohne Überzug

Die zuvor bearbeiteten Fakes sollten bezüglich ihrer Qualität auf dem Scanner getestet werden. Da in den Versuchsreihe 2 festgestellt wurde, dass nur Außnahmefakes bei einer minimal zu erkennenden Anzahl von 14 Minuzien, einem Quality Threshold von 80% und einer FAR von 0,0001% (Definition des Begriffs in Abschnitt 2.4.2) vom Scanner akzeptiert werden, wurden die Anforderungen für jeden Fake (mit und ohne Überzug) individuell verringert. Gestartet wurde bei den eben genannten Spitzenwerten. Danach wurde der Quality Threshold immer um 10% verringert bis der Fake akzeptiert wurde. Das Minimum lag dabei bei einem Threshold von 40%. Bei diesem Wert wurde der im Praktikumsbeleg getestete Mittelfingerfake nicht mehr von dem Programm erkannt, ohne die FAR zu erhöhen. Für jede geänderte Einstellung im Programm wurden jeweils drei Aufnahmen des Fakes für die Redundanz gemacht. Sobald ein Fake bei einer Einstellung erkannt wurde, ist ein Bild des Ergebnisses mit und ohne Markierungen aufgenommen wurden. Die genutzten Überzüge sind in Abbildung 26 gezeigt. Die Fakes ohne Überzug wurden, wie in den bisherigen Versuchen, mit einem anderen Finger auf den Scanner gelegt und glattgestrichen.

4.3.3 Untersuchung des Merkmals „Papillarlücken“

Im folgenden Teilabschnitt soll zunächst eine Definition des neu untersuchten Merkmals erfolgen. Anschließend werden die Bedingungen erläutert unter denen die Papillarlücken untersucht wurden.

4.3.3.1 *Definition Papillarlücken*

Als Papillarlücken werden in dieser Arbeit Unterbrechungen im Verlauf der Papillarlinien angesehen, die nicht in ein bekanntes Merkmal wie eine Furchenendung oder einen Punkt (Dot) enden (Visualisierungen in Abschnitt 2.1.3). Nach der Unterbrechung folgt die Papillarlinie wieder ihrem ursprünglichen Verlauf. In Abbildung 32 wird für diesen Umstand ein Beispiel gezeigt. Die rote Umrandung markiert hierbei das Merkmal. In dieser Arbeit soll mit Hilfe von Versuchen eine feste Durchschnittsgröße bzw. ein Größenbereich für dieses Merkmal festgelegt werden.



Abbildung 32: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit markiertem Beispiel für eine Papillarlücke

4.3.3.2 Genutzte Programme zur Analyse der Bilder (ImageJ)

ImageJ ist eine frei zugängliche Software zur Verarbeitung und Analyse von wissenschaftlichen Darstellungen. [11] Dieses Programm wurde ebenfalls zur Analyse der Fakes in Versuchsreihe 4 genutzt.

4.3.3.3 Bedingungen für die Untersuchung

Nach den Vorbereitungen, die im Abschnitt 4.3.1 beschrieben wurden, sollte sowohl für die Fakeabdrücke, als auch die Originalabdrücke ein einheitlicher Bereich bzw. eine Region of Interest festgelegt werden in der gearbeitet werden sollte. Dabei war es für die Größe des Bereichs besonders wichtig alle relevanten Stellen des Abdrucks zu zeigen und dass sie auch für größere Fingerabdrücke wie einen Daumenabdruck angewandt werden kann. Außerdem wurden die Aufnahmen an den Rändern der Bilder häufig etwas blass. Das könnte zu einer möglichen Fehlerquelle bei der Analyse werden, da unklar aufgenommene Papillarlinien als Lücken zählen könnten. Deshalb sollte der unklare Bereich an der Bildober- bzw. Bildunterseite möglichst entfernt werden. Der erste Schritt hierfür war die Ermittlung eines Ausgangspunktes für das Zentrum dieser Region. Dafür wurde sich für den Kern (Core) des jeweiligen Fingerabdrucks entschieden. Dieser wurde bereits bei den im Programm Fingers Sample C++ erkannten Abdrücken automatisch erkannt und dann in den noch unbearbeiteten Fingerabdruckbildern, mit Hilfe des Programms GIMP, entsprechend rot markiert. In den Abbildungen 33 bis 36 werden Beispiele für diese Markierungen gezeigt. Dabei wird ein Fingerabdruck der Testperson T2 zusammen mit dem entsprechenden Fake gezeigt. Hierbei wird exemplarisch nur ein Fake der drei aufgenommenen Bilder gezeigt.



Abbildung 34: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 (bereits zugeschnitten) ohne weitere Markierungen außer dem eingezeichneten Core nach Vorlage der Markierungen des Programms



Abbildung 33: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Minuzien und dem Core

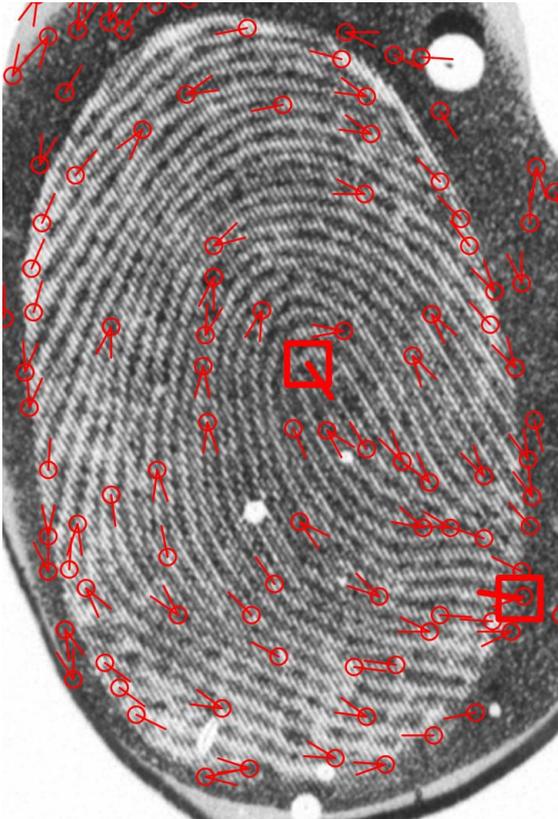


Abbildung 35: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Minuzien und Core

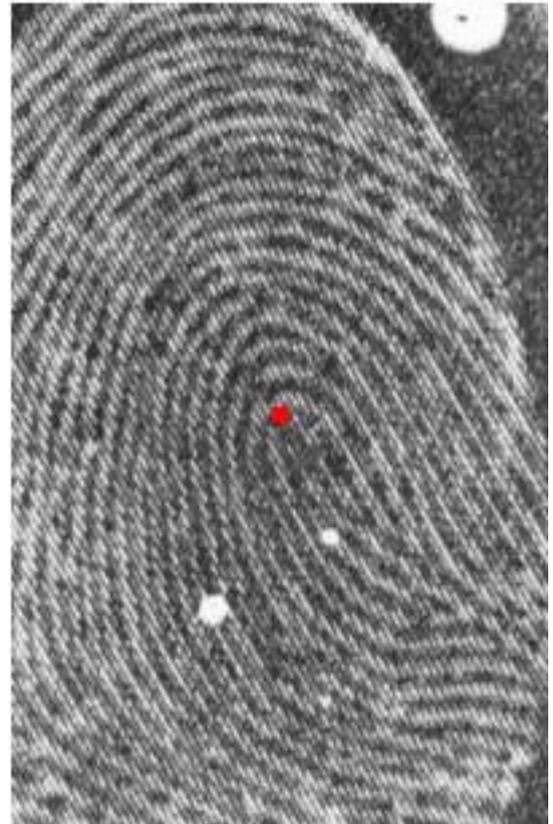


Abbildung 36: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 (bereits zugeschnitten) ohne weitere Markierungen außer dem eingezeichneten Core nach Vorlage der Markierungen des Programms

Bei Abdrücken die gleich zwei Cores besaßen musste zunächst der Mittelpunkt beider Cores bestimmt werden. Mit Hilfe des Programms ImageJ wurde dafür eine Linie zwischen den beiden Cores gezogen. Von dieser wurde dann der Mittelpunkt bestimmt, der dann wieder über GIMP rot markiert wurde. In den Abbildungen 37 und 38 wird jeweils ein Beispiel für einen Abdruck mit zwei Cores und der dazugehörigen Markierung gezeigt.



Abbildung 37: Bild des linken Daumens der Testperson T1 mit 2 Cores und markierten Minuzien



Abbildung 38: Bild der durch ImageJ markierten Linie zwischen 2 Cores; an ihrem Mittelpunkt liegt das Zentrum des Daumenabdrucks

Nach der Markierung der Cores in allen aufgenommenen Original- und Fakebildern konnte die Region of Interest markiert werden. Dafür wurde ein rechteckiger Bereich der Größe 200×300 px festgelegt. Dieser erfüllte die oben genannten Bedingungen an eine Region of Interest. Nach der Umrechnung von Pixeln (px) in Mikrometer (μm) nach dem folgenden Größenverhältnis

$$1 \text{ px} = 265.5833 \mu\text{m}$$

ergibt sich daraus ein Bereich von $52916,66 \mu\text{m} \times 79374,99 \mu\text{m}$. [17] In den Abbildungen 39 und 40 wird der jeweils markierte Bereich durch einen roten Rahmen, der durch GIMP eingefügt wurde, gekennzeichnet. Die ausgeschnittenen Versionen, die über das gleiche Programm bearbeitet wurden, können in den Abbildungen 33 und 36 betrachtet werden.



Abbildung 39: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit eingezeichneter Region of Interest



Abbildung 40: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit eingezeichneter Region of Interest

Nach dem Ausschneiden der Region of Interest aus allen Abdruckbildern sollten die Papillarlinien vermessen werden. Dabei wurden alle Fakebilder (Fake und Original) für beide Testpersonen immer zweimal vermessen und die Originale nur einmal. Grund dafür ist, dass es bei den Originalen keine Lufteinschlüsse gab. Beim ersten Vermessen der Fakes wurde auf die Papillarlinien und Lücken, die z.B. von einem Programm als solche angesehen werden konnten, geachtet. Dasselbe geschah bei den Originalen. Bei der zweiten Vermessung

der Fakes wurde nach Luftblasen und anderen Unreinheiten im Bild Ausschau gehalten. Diese könnten bei einem automatisierten Prozess ebenfalls als falsche Papillarlücken betrachtet werden. Ziel sollte es vor allem sein Größenbereiche festzulegen in denen sich die Distanzen von Papillarlücken und von auffälligen Luftblasen bewegen. Die Vermessung der Distanzen fand wieder über das Programm ImageJ statt. Dort wurden zwischen den Lücken und Luftblasen Linien gezogen, deren Größe vorläufig in der Einheit Pixel festgehalten wurde. Außerdem wurden die gezogenen Linien entsprechend in den Bildern eingezeichnet und im Bild mit der Nummer versehen, die sie auch in dem von ImageJ erstelltem Verzeichnis hatten. Exemplarisch dafür werden in den Abbildungen 41 bis 43 die Messdurchgänge für Original und Fake des linken kleinen Fingers der Testperson T2 gezeigt. Bei den Maßangaben in den Ergebnissen ist zu beachten, dass alle Bilder aus dem Analyseprogramm in der Auflösung 640×640 px aufgenommen wurden.



Abbildung 41: Bild des rechten kleinen Fingers der Testperson T2 mit den durch ImageJ markierten Papillarlücken

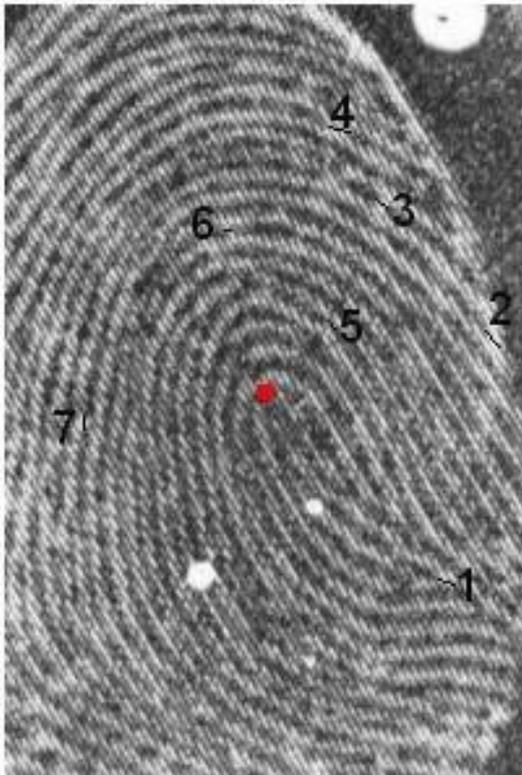


Abbildung 42: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Papillarlücken

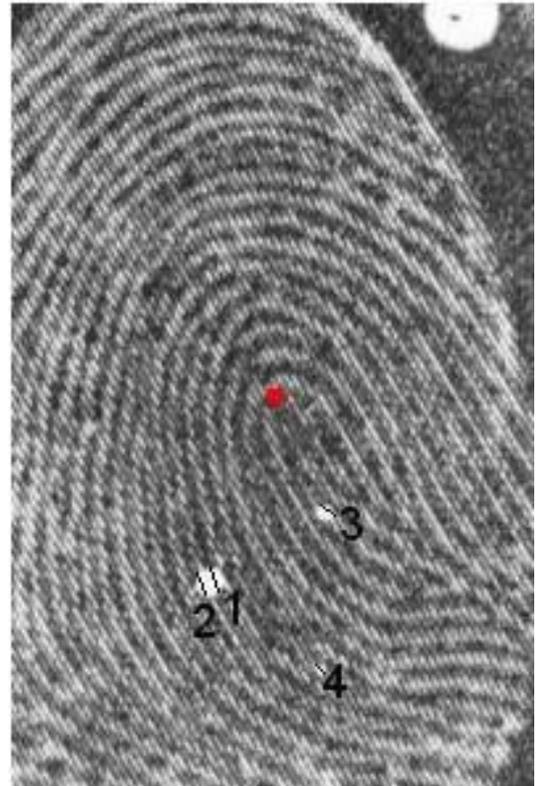


Abbildung 43: Bild des Fakes (Test 1 mit Überzug) des kleinen Fingers der Testperson T2 mit markierten Luftblasen

Bei Abbildung 43 ist zu beachten, dass innerhalb einer der Luftblasen zweimal gemessen wurde. Diese Methode wurde angewandt, um mehrere Möglichkeiten einzubeziehen, aus denen ein Analyseprogramm eine so große Lücke messen könnte.

4.4 Versuchsreihe 4

In Versuchsreihe 4 sollte überprüft werden, ob man mit Hilfe von Aufnahmen einer hochauflösenden Kamera qualitativ hochwertige Fakes durch die bisherigen Methoden herstellen kann. Dabei wird auch wieder die Relevanz der Papillarlücken zur Unterscheidung zwischen Fake und Original einbezogen.

4.4.1 Versuchsaufbau

Wie bereits erwähnt sollen in dieser Versuchsreihe die bereits untersuchten Herstellungsmethoden für Fakes auf Fotografien angewandt werden. Aus diesem Grund wurden für diesen Test nur zwei Fingerabdrücken einer Hand genutzt und keine ganzen Fingerabdrucksets mehrerer Personen wie bei den anderen Tests. Die genutzten Fingerabdrücke waren die des rechten Zeigefingers und Daumes der Testperson T1. Der Grund für die Auswahl dieser Finger war, dass beide häufig für alltägliche Aktivitäten genutzt werden. Darum können sie häufiger auf Oberflächen vorgefunden werden.

4.4.1.1 Vorbereitung der Aufnahmen

Der erste Schritt bei der Erstellung der zu fotografierenden Abdrücke war das Finden einer geeigneten Oberfläche, um den Abdruck abzufotografieren. Im Experiment des CCC wurde eine Glasflasche als Medium genutzt, von dem die Abdrücke abfotografiert werden sollten [12]. Aus diesem Grund sollte für den Versuch ebenfalls eine Unterlage aus Glas genutzt werden. Geeignet war dafür ein kleines Glasplättchen auf, das genau ein Abdruck passte. (Abbildung 44). Als Unterlage für die Glasplatte diente für alle Aufnahmen eine schwarze Papierunterlage.

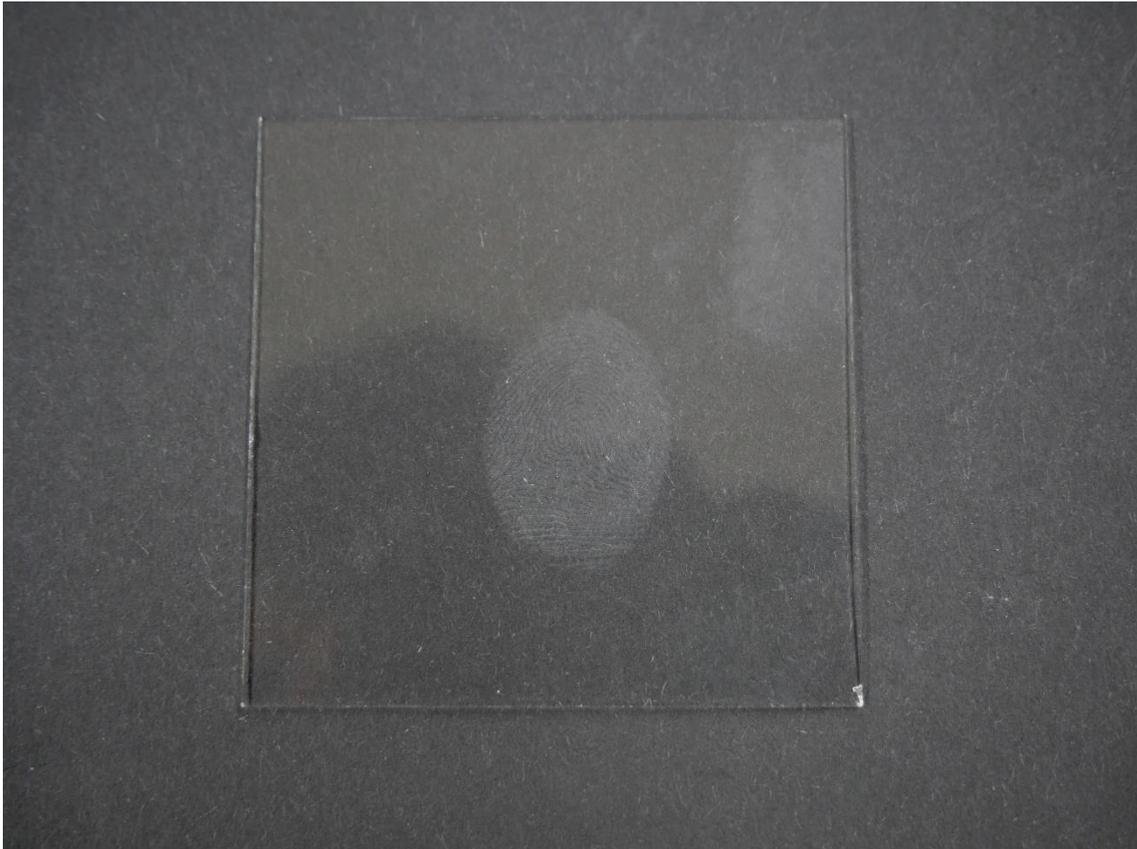


Abbildung 44: Abbildung des Glasplättchens mit aufgedrucktem Zeigefinger (ohne Bearbeitung)

Im nächsten Schritt wurden unterschiedliche Versionen eines Abdrucks aufgenommen. Zuerst wurde ein Abdruck aufgenommen ohne weitere Bearbeitung durch Materialien, die seine Sichtbarkeit steigern (als Beispiel siehe Abbildung 44). Zusätzlich wurden 2 weitere Aufnahmen desselben Fingers mit der Bearbeitung durch silbernes oder weißes Fingerabdruckpulver erstellt. Es wurde sich für diese beiden Pulver entschieden, weil sie einen ähnlich aufhellenden Effekt hatten wie der vom CCC genutzte Sekundenkleber [12]. Beispiele für die Aufnahmen mit Pulver sind in den Abbildungen 45 und 46 zu sehen.



Abbildung 45: Aufnahme des rechten Daumenabdrucks bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver



Abbildung 46: Aufnahme des rechten Daumenabdrucks bearbeitet mit weißem Fingerabdruckpulver

4.4.1.2 Einstellungen für die Aufnahmen

Für den Versuch wurde eine Vielzahl von Fotografien aufgenommen. In der folgenden Tabelle 12 sollen die Aufnahmeeinstellungen gezeigt werden, die genutzt wurden, um die jeweiligen Abdrücke aufzunehmen. Da das Glasplättchen nach jeder Bearbeitung des Abdrucks gereinigt wurde und der jeweilige Abdruck neu aufgetragen wurde, variieren die Einstellungen der Fotografien zwischen den Durchgängen etwas. Es wurde allerdings darauf geachtet, dass die untersuchten Aufnahmen trotz allem optisch eine ähnliche Qualität aufwiesen.

Tabelle 12: Kameraeinstellungen der Fotografien für beide Finger

<u>Aufnahmeeinstellungen</u>	<u>Aufnahmen ohne Pulver</u>		<u>Aufnahmen mit silbernem Pulver</u>		<u>Aufnahmen mit weißem Pulver</u>	
	r4	r5	r4	r5	r4	r5
Blendenzahl	f/5,0	f/5,4	f/5,6	f/5,6	f/5,6	f/5,6
ISO	200	200	200	200	200	200
Brennweite	3,2 mm	13 mm	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm

4.4.1.3 Bearbeitung der aufgenommenen Bilder

Die aufgenommenen Bilder sollten im letzten Schritt für die Fakeherstellung entsprechend vorbereitet werden. Dazu wurden die Programme GIMP und ImageJ genutzt. Ziel war es dabei, den Kontrast der Abbildung zu steigern, um die Papillarlinien auf den Fotografien deutlich sichtbar zu machen. Alle Bilder wurden dafür zuerst mit GIMP in Graustufenbilder umgewandelt. Danach wurden die Aufnahmen noch bezüglich der Größe den Originalfingern angepasst und auf eine Folie gedruckt. Die Drucke werden in den Abbildungen 47 und 48 gezeigt. Dazu sind in Tabelle 13 die durchgeführten Bearbeitungsschritte für die Abdrücke aus Abbildung 47 gezeigt. In Tabelle 13 ist außerdem zu beachten, dass die Abdrücke in Reihe 3 auf dieselbe Art und Weise bearbeitet wurden wie der Abdruck in Reihe 2. Sie unterscheiden sich allerdings in den genutzten Kontrastwerten und der Tatsache, dass sie im Programm ImageJ mit der Threshold-Funktion bearbeitet wurden.

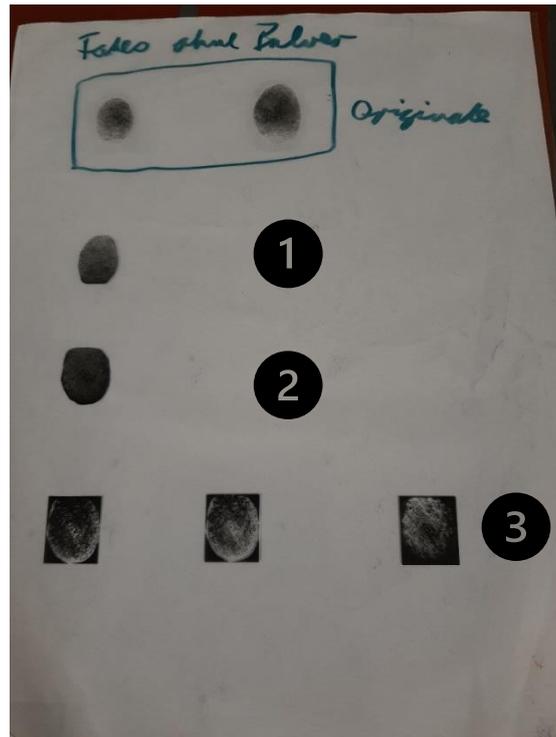


Abbildung 47: Druck der Tests ohne Pulver; Reihe 1: r4 mit Kontraststeigerung; Reihe 2: r5 mit Kontraststeigerung; Reihe 3: Abdrücke von r5 mit unterschiedlicher Kontraststeigerung und Anwendung der Threshold-Funktion

Tabelle 13: Bearbeitungsschritte zur Vorbereitung der Abdrücke aus Abbildung 46

	<u>r4</u>	<u>r5</u>
<u>Reihe 1</u>	1. Kontraststeigerung mit Gimp	
<u>Reihe 2</u>	-	1. Kontraststeigerung mit GIMP 2. Farben linear umkehren mit GIMP 3. Erneute Kontraststeigerung mit GIMP
<u>Reihe 3</u>	-	1. Nutzung des Bildes aus Reihe 2 2. Anwendung der Threshold-Funktion auf dieses Bild mit ImageJ
	-	1. Siehe Schritt 1-3 aus Reihe 2 2. Anwendung der Threshold-Funktion mit ImageJ
	-	1. Siehe Schritt 1-3 aus Reihe 2 2. Anwendung des Thresholds auf das Bild mit ImageJ

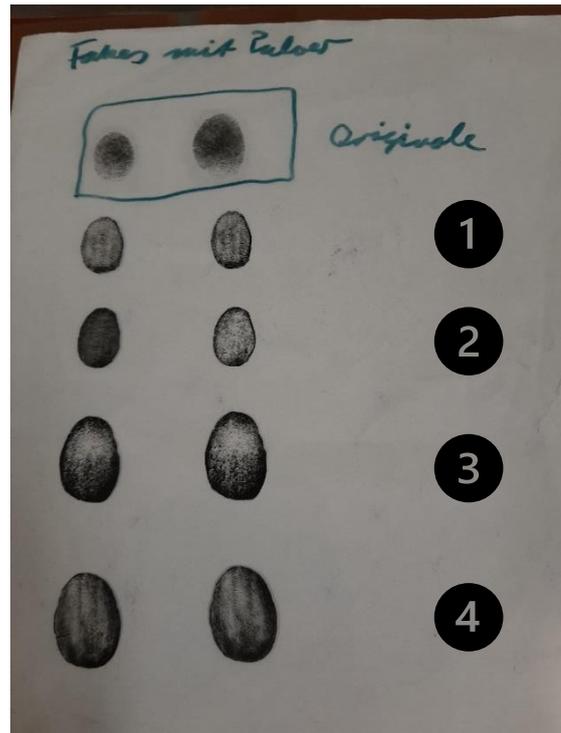


Abbildung 48: Drucke der Tests mit Pulver;
Reihe 1: r4 mit Silberpulver; Reihe 2: r4 mit
weißem Pulver; Reihe 3: r5 mit Silberpulver;
Reihe 4: r5 mit weißem Pulver

Die Bearbeitungsschritte aus Abbildung 48 folgen einem einfachen Muster. Alle Abdrücke auf der linken Seite der Folie wurden mit einer Kontraststeigerung über das Programm GIMP bearbeitet. Die Abdrücke auf der rechten Seite der Folie wurden nach der erstmaligen Kontraststeigerung linear umgekehrt. Danach erfolgte eine erneute Steigerung des Kontrasts, sowie eine weitere lineare Umkehrung der Bildfarben, um die Farben der Papillarlinien und Furchen wieder zu tauschen.

4.4.2 Fakeherstellung und Analyse

Für die Fakeherstellung aus diesen Abdrücken wurde wieder das Stoffgemisch aus 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin verwendet. Auch die Methode für das Auflegen des Materials war identisch zu der der Fakes die zur Analyse der Papillarlinien genutzt wurden. Aufgenommen wurden die Fakes wieder über den Palm Print Live Scanner und dem Analyseprogramm Fingers Sample C++. Einziger Unterschied zu den anderen Tests waren, die Analyseschritte. In diesem Versuch wurde bei einem Quality Threshold von 40% gestartet statt bei den vorherigen 80%. Die FAR blieb fest bei 0,0001% und die Anzahl der zu erkennenden Minuzien blieb bei 14 Stück. Auf diese Weise sollten die Anforderungen für mögliche gute Fakefingerabdrücke kontinuierlich gesteigert werden, um möglicherweise schneller zu einem Endergebnis zu gelangen. Außerdem sollten diesmal nur die Abdrücke mit Überzug überprüft werden. Grund dafür ist, dass sich die Ergebnisse der Fakes mit Überzug bereits in Versuchsreihe 3 als wesentlich besser erwiesen haben als die der Fakes, die ohne Überzug getestet wurden.

Sollte ein Fake erfolgreich gewesen sein, wurde sein Scanbild wie in Versuchsreihe 3 vorbereitet und bezüglich Papillarlücken und Luftblasen analysiert.

5 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der im vorherigen Kapitel durchgeführten Tests mit Hilfe von Tabellen und Bildern betrachtet und diskutiert. Außerdem soll darauf eingegangen werden, welche etwaigen Fehler seitens des Bearbeitenden gemacht wurden. Kam es zu unerwarteten Ergebnissen bei den Untersuchungen, sollen die möglichen Gründe dafür erläutert werden.

5.1 Versuchsreihe 1

In den folgenden Teilabschnitten werden die Ergebnisse der Mischverfahren kurz beschrieben. Dazu werden die jeweiligen Ergebnisse als Abbildungen gezeigt.

5.1.1 Testergebnisse

Als kurze Zusammenfassung wird in Tabelle 14 eine Übersicht darüber gegeben, ob ein Mischverfahren geeignet war oder nicht. Ein „+“ steht dabei für ein geeignetes Verfahren und ein „-“ für ein ungeeignetes Verfahren.

Tabelle 14: Testergebnisse der Mischverfahren

<u>Test</u>	1	2	3	4	5	6	7	8
<u>Ergebnis</u>	-	+	+	-	-	-	+	+

Die genauen Versuchsergebnisse werden in den folgenden Unterabschnitten beschrieben.

5.1.1.1 Test 1

Das Testergebnis wies weniger Luftblasen auf als das Mischverfahren im Praktikumsbeleg. Allerdings bildeten sich noch immer kleine und sogar größere Luftblasen, die sich negativ auf das Scanergebnis auswirken können (siehe Abbildung 49).

5.1.1.2 Test 2

Testdurchgang 2 lieferte ein wesentlich besseres Ergebnis als Testdurchgang 1. Jedoch waren trotz allem noch sichtbare kleine Blasen im Fake. Bei diesem Test wurde deutlich, dass unnötiges Auf- und Absetzen der Streichwerkzeuge vermieden werden sollte. Dadurch können sich unnötige Luftblasen in das Material mischen. In Abbildung 49 wird die Auswirkung davon durch die Luftblasen am oberen und unteren Rand des Fakes am deutlichsten sichtbar.

5.1.1.3 Test 3

Das Ergebnis des dritten Testdurchgangs war ähnlich zu dem des zweiten Durchgangs. Wieder haben sich Luftblasen durch zu häufiges Auf- und Absetzen an den Rändern gebildet (Abbildung 49).



Abbildung 49: (Von links nach rechts: Test 1; Test 2; Test 3) Die Luftblasen im Bild werden durch die roten Umrandungen markiert

5.1.1.4 Test 4

Testdurchgang 4 wies das schlechteste Ergebnis auf. Durch das Aufspritzen des Materials durch die Pipette haben sich sehr viele störende Luftblasen untergemischt (siehe Abbildung 50).

5.1.1.5 Test 5

Bei Testdurchgang 5 entstanden weniger Lufteinschlüsse als bei Durchgang 4. Durch das Mischen mit der Pipettenspitze haben sich trotz allen noch zu viele Luftblasen gebildet (siehe Abbildung 50).



Abbildung 50: (Von links nach rechts: Test 4; Test 5) Deutliche, große Luftblasen sind bei Test 4 zu sehen; Die Luftbasen in Test 5 sind durch rote Umrandungen markiert

5.1.1.6 Test 6

Testdurchgang 6 war eine Wiederholung des fünften Durchgangs. Das Ergebnis war nahezu identisch (siehe Abbildung 51).

5.1.1.7 Test 7

Testdurchgang 7 lieferte das beste Ergebnis. Im entstandenen Fake sind keine störenden Luftblasen entstanden. Nur an den Rändern, die später nicht auf dem Scanner aufliegen, sind durch das Auf- und Absetzen der Pipette kleine Blasen entstanden (siehe Abbildung 51).

5.1.1.8 Test 8

Testdurchgang 8 lieferte durch das zusätzlich durchgeführte Rütteln des Mischgefäßes kein besseres Ergebnis im Vergleich zu Durchgang 6 (siehe Abbildung 51).

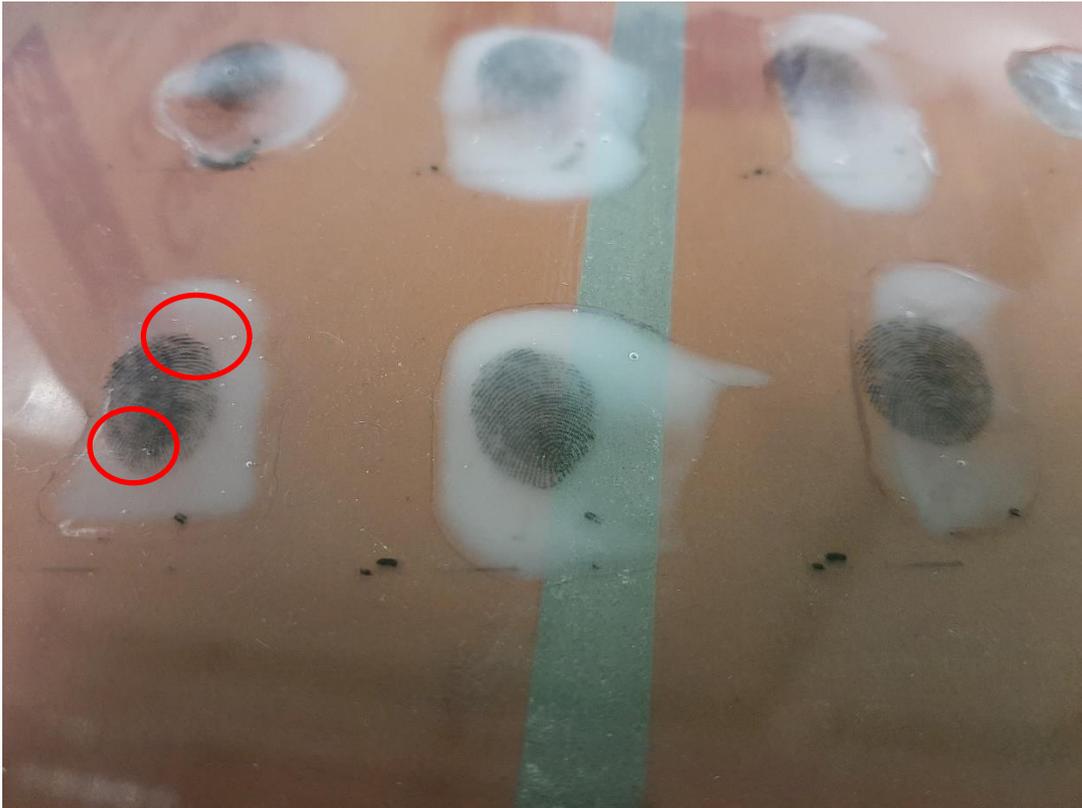


Abbildung 51: (Von links nach rechts: Test 6; Test 7; Test 8) Die Luftblasen von Test 6 sind rot umrandet

5.1.2 Erkenntnisse der Versuchsreihe

In allen zukünftigen Versuchen mit Fakes dieser Art sollte darauf geachtet werden, dass das Fakematerial langsam, insofern keine besseren Mischgeräte vorliegen, mit einem dünnen Stäbchen (idealerweise mit einem Metallstab) gemischt werden sollten. Weiterhin sollte das Auftragen des Materials auf den Abdruck mit einem Zug erfolgen, da sonst das Risiko besteht, neue Luftblasen unterzumischen. Eine weitere Feststellung wurde bezüglich des Fake-materials gemacht. Im Praktikumsbeleg waren die hergestellten Fakeabdrücke wesentlich dicker als die neu hergestellten. Die neuen wurden durch das Streichen wesentlich dünner und biegsamer. Aufgrund dieser Eigenschaften hat die Menge von 2 Glycerintropfen pro 1 g Holzleim sie noch unstabiler werden lassen. In der folgenden Versuchsreihe 2 wurden deswegen Vergleichsfakes mit nur einem Tropfen Glycerin pro 1 g Holzleim hergestellt, um zu testen, ob sich die niedrigere Glycerinmenge positiv auf die Stabilität auswirkt.

Als Vergleich zu den Ergebnissen der neuen Herstellungsmethoden werden in Abbildung 52 Fakes gezeigt, die im Rahmen des Praktikums hergestellt wurden. Die eingemischten Luftblasen sind schon auf den ersten Blick deutlich zu erkennen. Weiterhin fällt auf, dass die alten Fakes wesentlich kompakter waren als die neuen, glattgestrichenen.



Abbildung 52: alte Fakes aus dem Praktikumsbeleg; auffällig sind die deutlich zu sehenden Luftblasen und die Kompaktheit der Fakes

5.2 Versuchsreihe 2

5.2.1 Vergleich der Scanergebnisse

Optisch zeigten die hergestellten Fakes (beide Mischverhältnisse) kaum bis keine Unterschiede bei der Abformung des Papillarleistenmusters. Als Vergleich wird zu jedem getesteten Finger je ein Abdruck des jeweiligen Mischverhältnis gezeigt (Abbildungen 53 bis 58). Eine vollständige Sammlung der Abdruckbilder aus diesem Versuch liegt im Anhang vor.



Abbildung 53: Daumenabdruck mit 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)

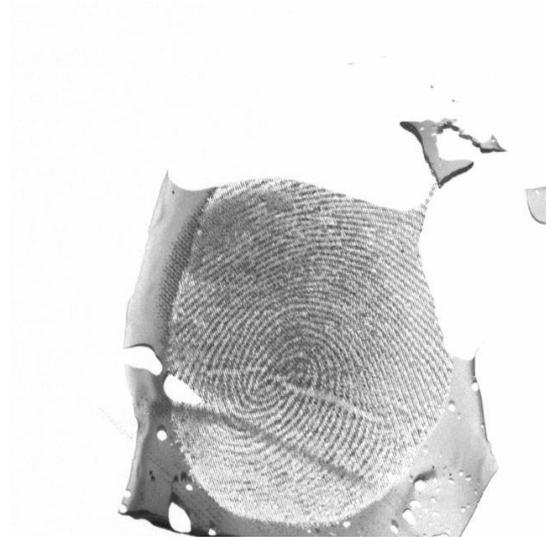


Abbildung 54: Daumenabdruck mit 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)



Abbildung 55: Mittelfingerabdruck mit 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin (Versuch 3 auf dem Scanner)



Abbildung 56: Mittelfingerabdruck mit 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin (Versuch 3 auf dem Scanner)



Abbildung 57: Zeigefingerabdruck mit 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)

Abbildung 58: Zeigefingerabdruck mit 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin (Versuch 1 auf dem Scanner)

Auch bei der Akzeptanz auf dem Scanner, die Einstellungen werden in Tabelle 6 (Test 10) und Tabelle 7 gezeigt werden, gab es für beide Testreihen der verschiedenen Mischverhältnisse fast keinerlei Auffälligkeiten. Alle Fakes des Versuches wurden bis auf einen vom Programm für alle 3 Versuche abgelehnt. Einzig und allein der in Abbildung 56 gezeigte Mittelfingerfake, hergestellt mit 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin, wurde bei den Einstellungen akzeptiert. Dieses Ergebnis trat allerdings erst nach dem dritten Test auf dem Scanner auf. Aus diesem Grund und weil das Ergebnis einmalig war, kann man auch von einem zufälligen Erfolg ausgehen.

5.2.2 Allgemeine Eigenschaften und Probleme der Fakes

Eine positive Eigenschaft der neuen Fakes ist, dass sie, wie in Versuchsreihe 1 gezeigt, deutlich weniger Luftblasen beinhalten als die Fakes aus dem Praktikumsbeleg. Dadurch waren bei beiden Mischverhältnissen die Papillarlinien der Fingerabdrücke besser zu sehen.

Probleme wies eher die Materialbeschaffenheit auf. Dadurch, dass die neuen Fakes sehr dünn sind, war es sehr schwierig sie sauber auf dem Scanner zu platzieren. Häufig war das Material gewellt. Diese Wellen waren, wie in den Abbildungen 53 und 54 zu sehen ist, deutlich als Lufteinschlüsse auf dem Scanner zu sehen. Weiterhin war das Fakematerial durchsichtig. Darum musste ein Mikrofaser Tuch als Überzug für den eigenen Finger beim Auflegen genutzt werden, damit der eigene Finger nicht beim Testen durchscheint. Ein Nachteil des Tuchs war, dass sich Falten im Tuch ungewollt mit auf das Scanbild gedrückt haben. Das kann in den Abbildungen 53, 54 und 56 gesehen werden. Ein weiteres Problem beim Auflegen mit dem Mikrofaser Tuch ist die ungleichmäßige Druckausübung. Dadurch sind manche Fakes nicht vollständig auf dem Scanbild. Beispiele dafür lassen sich in den Abbildungen 53, 54 und 56 finden. Weiterhin drückt sich der eigene Fingerabdruck bei längerem

Halten des Fakes in das Material. Das kann am oberen Rand von Abbildung 55 eingesehen werden. Grund dafür ist wieder das dünne Material. Dadurch können die Fakes leicht durch physische Einwirkungen wie Berührungen verfälscht werden. In Zukunft sollte für all diese Probleme ein Weg gefunden werden, um die Fakes besser, effizienter und schonender auf den Scanner aufzutragen. Am besten wäre hierfür ein Überzug für die Finger bzw. Hände geeignet.

Eine weitere negative Eigenschaft der neuen Fakes ist, dass das Fakematerial durch die neue Methode des Auftragens breiter über den Abdruck gezogen wird als im Praktikumsbeleg. Dadurch zeigt sich auf den Scanbildern das überstehende Material, um den Abdruck herum. Eine mögliche Lösung wäre das überflüssige Material vor dem Test auf dem Scanner abzuschneiden. Allerdings muss beachtet werden, dass der Mittelfingerfake aus Abbildung 56 trotz des überstehenden Materials einmal bei den hohen Scaneinstellungen von 80% Quality Threshold und einer FAR von 0,0001% erkannt wurden. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Umstand das Ergebnis auf dem Scanner nicht weiter beeinflusst. Darauf wird in der dritten Versuchsreihe noch einmal geachtet.

5.3 Versuchsreihe 3

5.3.1 Ergebnisse der Tests mit und ohne Überzug

5.3.1.1 Verbesserungen und Nachteile durch den Überzug

Die Ergebnisse der Tests mit und ohne Überzug fielen deutlich zu Gunsten der Tests aus, die mit einem entsprechenden Überzug durchgeführt wurden. Es konnten fast alle Probleme, die in Versuchsreihe 2 aufgetreten sind, beseitigt werden. Während des Auflegens auf den Scanner konnte mit Hilfe des Überzugs ein viel gleichmäßigerer Druck auf den Fake ausgeübt werden. Dadurch wellte er sich weniger und deshalb konnte die Anzahl und die Größe von Lufteinschlüssen zwischen dem Fake und der Oberfläche des Scanners verringert werden. Außerdem sorgte der gleichmäßige Druck dafür, dass der Abdruck vollständig auf dem Scanbild zu sehen war. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Einfluss von äußerem Licht stark verringert wurde. Dadurch waren die Muster der Papillarlinien viel stärker auf den Bildern zu sehen, die der Scanner von den Abdrücken gemacht hat. Weiterhin wurden dem Fake keine unerwünschten Merkmale wie die Falten des Mikrofasertuchs, oder der durchscheinende eigene Fingerabdruck hinzugefügt. Ein anschauliches Beispiel dafür wird in den Abbildungen 59 und 60 gezeigt. Der aufgenommene Fakeabdruck ohne den Überzug zeigt die Papillarlinienmuster nur sehr blass. Weiterhin wird das gesamte Bild des Abdrucks durch eine deutlich höhere Anzahl von Luftblasen beeinflusst.



Abbildung 59: Abdruck des linken kleinen Fingers der Testperson T1 ohne Überzug



Abbildung 60: Abdruck des linken kleinen Fingers der Testperson T1 mit Überzug

Es gab aber auch Probleme, die in Versuchsreihe 2 angesprochen wurden, die nicht mit Hilfe des Überzugs gelöst werden konnten oder als neue Fehlerquellen hinzugekommen sind. Zum einen konnte auch durch das präzisere Auflegen des Fakes das überstehende Fakematerial nicht für den Scanner unsichtbar gemacht werden. Wie in den Abbildungen 59 und 60 zu sehen ist, war nur ein etwas kleinerer Teil der Umrandung sichtbar. Weiterhin war es wichtig darauf zu achten, den Fake gerade auf den Überzug zu legen. Anderenfalls entsteht ein starker Farbkontrast auf dem Scanbild. Grund dafür ist, dass es durch die starke Beschattung des Überzugs sehr auffällig ist, wenn ein Teil des Fakeabdrucks nicht vollständig von ihm bedeckt ist. Ein Beispiel dafür kann in Abbildung 61 betrachtet werden.

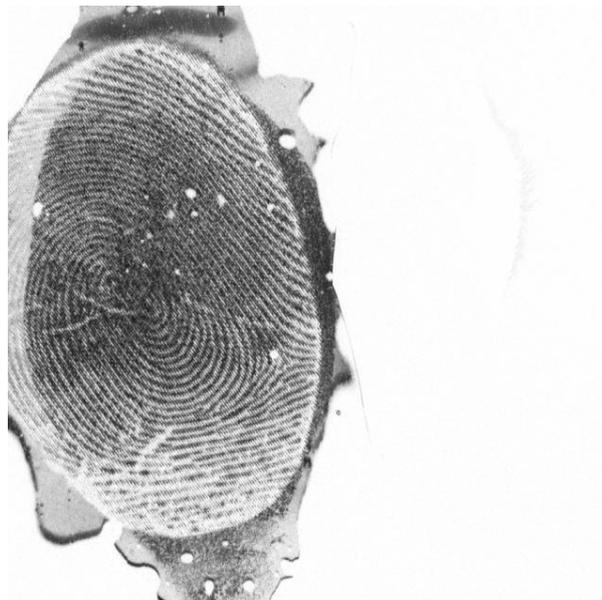


Abbildung 61: Rechter Daumenabdruck der Testperson T1 mit nur teilweise abgedeckter Fläche

5.3.1.2 Ergebnisse der Scans für beide Testpersonen

Die Ergebnisse für die Scans der beiden Testpersonen werden in den Tabellen 16 und 17 dargestellt. Zuvor werden die genutzten Abkürzungen der Finger, die dort und im folgenden Teil des Abschnitts genutzt werden sollen, in Tabelle 15 erläutert.

Tabelle 15: Beschreibung der Abkürzungen die für die Finger genutzt wurden

<u>Finger</u>	<u>Abkürzung</u>	
	<u>links</u>	<u>rechts</u>
Kleiner Finger	l1	r1
Ringfinger	l2	r2
Mittelfinger	l3	r3
Zeigefinger	l4	r4
Daumen	l5	r5

Für das Verständnis der Tabellen 16 und 17 sei angemerkt, dass die Abkürzung „Q.T.“ für Quality Threshold steht, die Abkürzung „m.Ü.“ für Fakes, die mit einem Überzug getestet wurden und die Abkürzung „o.Ü.“ für Fakes, die ohne Überzug getestet wurden. Weiterhin wurde der Score-Wert des Analyseprogramms nur dann genutzt, wenn der Fakefingerabdruck sowohl mit als auch ohne Überzug bei den gleichen Einstellungen erkannt wurde. Akzeptierte Fakes werden mit einem „+“ gekennzeichnet, abgelehnte mit einem „-“ und Felder für Werteeinstellungen, bei denen keine Tests durchgeführt wurden, werden ausgegraut. Der Score-Wert wird zum besseren Vergleich als Zahlenwert in den Feldern angegeben, bei denen beide Methoden erfolgreiche Ergebnisse geliefert haben.

Wie es sich schon im letzten Teilabschnitt angedeutet hat, sind die mit dem Überzug getesteten Fakes, von viel besserer Qualität als die die ohne Überzug getestet wurden. Selbst wenn sie bei denselben Einstellungen erkannt wurden, waren sie im Score-Wert den anderen weit unterlegen. Eine weitere Auffälligkeit, die sich in den Ergebnissen in den Tabellen 16 und 17 zeigt, ist die hohe Qualität der Daumenfakes beider Testpersonen. Bei beiden waren die Daumen jeweils bei einem Quality Threshold von 70% und einer FAR von 0,0001% erkennbar. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich vor allem Daumen für die Herstellung von Fakeabdrücken eignen.

5.3.1.3 Auffälligkeiten bei der Herstellung

Während der Tests mit den Fakes sind Auffälligkeiten festgestellt wurden, die bei der zukünftigen Arbeit mit Fakes dieser Art vermieden werden sollten. Es empfiehlt sich die Fakes am besten gleich nach der Trockenzeit (über Nacht) zu verwenden. Grund dafür ist ihre Eigenschaft sich an glatte Oberflächen, wie die Klarsichtfolie, auf der sie hergestellt wurden, anzusaugen. Ein Beispiel dafür wird in Abbildung 62 gezeigt. Der dort gezeigte Abdruck hat sich an die Folie gesaugt, nachdem er ein paar Tage länger nach dem Abziehen auf ihr gelegen hatte. Dabei sind sehr viele Details des ursprünglichen Abdrucks verloren gegangen.

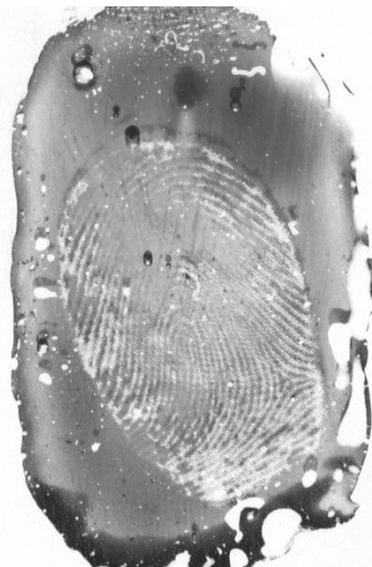


Abbildung 62: Fake des linken Mittelfingers der Testperson T2 mit verloren gegangenem Papillarlinienmuster (Aufnahme ohne Überzug)

Ein weiterer Fehler, der auf dieselbe Art und Weise in entstanden ist, wird in Abbildung 63 gezeigt. Dort hat sich der Fake ebenfalls an die Oberfläche der Folie angesaugt. Allerdings lag er gleichzeitig auf dem Muster des aufgedruckten Originalabdrucks. Dieser hat sich daraufhin erneut in das Material gedrückt, wodurch der Fake unbrauchbar wurde.

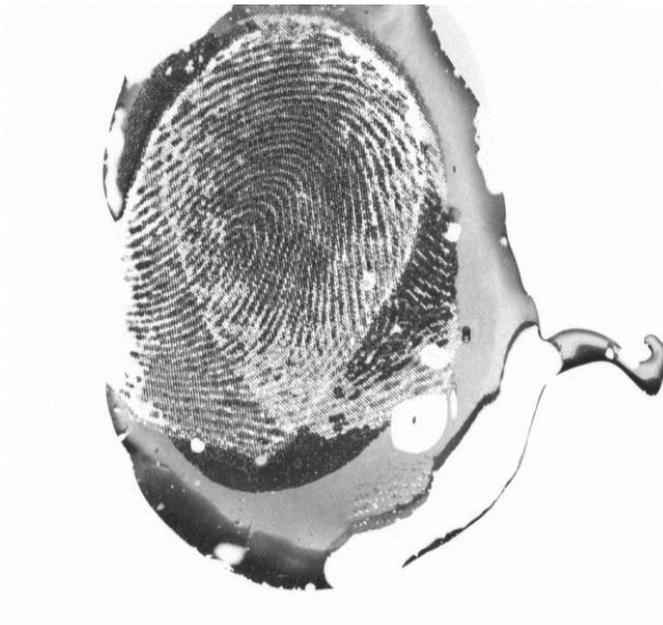


Abbildung 63: Fake des linken Mittelfingers der Testperson T2 mit doppelt eingedrücktem Papillarlinienmuster (Aufnahme mit Überzug)

Eine weitere Bedingung für die bestmögliche Nutzung der Fakes ist, dass sehr darauf geachtet werden muss, sie von jeglichen möglicherweise verschmutzten Oberflächen fernzuhalten. Anderenfalls können sich Schmutzpartikel auf dem Fakematerial absetzen, die zu Verfälschungen im Testergebnis führen können. Ein Beispiel dafür wird in Abbildung 64 gezeigt.

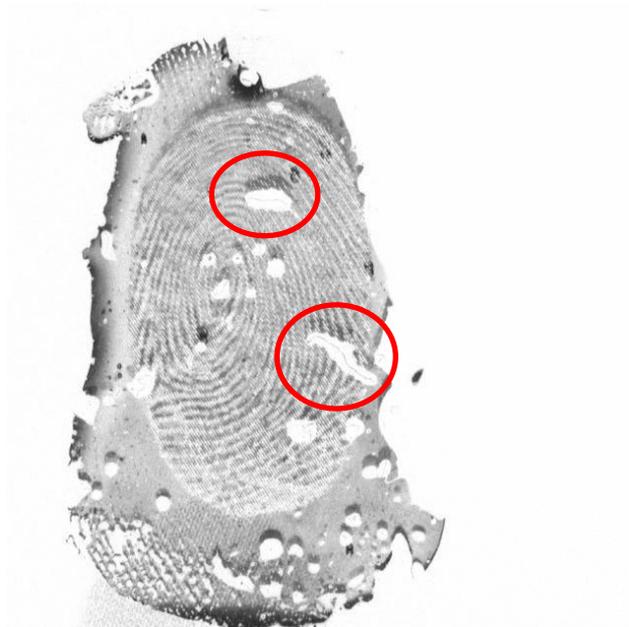


Abbildung 64: Fake des linken Ringfingers der Testperson T2 mit 2 Schmutzpartikeln (Aufnahme ohne Überzug)

Aus diesen Gründen mussten einige Fakes für die Versuche erneut hergestellt werden. Eine vollständige Sammlung der aufgenommenen Bilder von Fakes und Originalen kann im Anhang gefunden werden.

5.3.2 Untersuchung des Merkmals „Papillarlücken“

5.3.2.1 Untersuchungsergebnisse der Original-Fingerabdrücke

In den Tabellen 18 und 19 werden die Ergebnisse der Vermessung der Papillarlücken angegeben. In Tabelle 18 wird die gefundene Anzahl von Papillarlücken je Fingerabdruck für beide Testpersonen angegeben. Tabelle 19 zeigt die Durchschnittslängen der gemessenen Papillarlücken. Diese wurden auf die dritte Stelle nach dem Komma abgerundet. Dabei werden die Längenangaben einmal in Pixel und einmal in Mikrometer angegeben. Im Feld „Gesamt“ wird der Durchschnitt der Längen der Papillarlücken für beide Personen angegeben. Die Maße einzelner Papillarlücken werden im Anhang festgehalten. Dort sind die Tabellen aus dem Programm ImageJ gespeichert. Sie befinden sich in den Ordnern zu den jeweiligen Fingern. Zu beachten ist, dass die Angaben zu den Längen in den Tabellen noch als Pixel angegeben sind und noch nicht in Mikrometer umgerechnet wurden.

Tabelle 18: Anzahl der gefundenen Papillarlinien je Finger (für beide Testpersonen)

	<u>T1</u>	<u>T2</u>
<u>i1</u>	7	6
<u>i2</u>	4	17
<u>i3</u>	2	3
<u>i4</u>	0	2
<u>i5</u>	19	6
<u>r1</u>	6	9
<u>r2</u>	2	11
<u>r3</u>	3	7
<u>r4</u>	10	13
<u>r5</u>	21	7

Tabelle 19: Durchschnittslängen der Papillarlücken für beide Testpersonen

	<u>Durchschnittslänge</u>		<u>Minimalwert</u>		<u>Maximalwert</u>	
	px	µm	px	µm	px	µm
<u>T1</u>	3,519	931,022	1	264,583	12,454	3295,120
<u>T2</u>	3,294	871,446	1,302	344,487	11,344	3001,433
<u>Gesamt</u>	3,388	896,475				

Auffällig bei der Anzahl der Papillarlücken pro Finger ist, dass ihre Anzahl pro Finger sehr schwankend ist. Grund dafür ist, dass bekannte Merkmale wie Narben (Scars) die Anzahl der Lücken, die als Papillarlücken betrachtet werden könnten, stark erhöht. Ein Beispiel dafür wird in Abbildung 65 gezeigt. In dieser Aufnahme des rechten Daumens der Testperson T1 ziehen sich gleich drei Narben durch den Abdruck. Größentechnisch unterscheiden sie sich kaum von richtigen Papillarlinien und könnten deswegen von einem zukünftigen Analyseprogramm miterfasst werden. Dazu werden in Tabelle 20 die Messergebnisse für die Lücken aus Abbildung 65 gezeigt (Angaben in px). Die Spalten Area und Angle aus der Tabelle geben lediglich an in welchem Bildbereich die Messlinie gezogen wurde und in welchem Winkel sie gezogen wurde.



Abbildung 65: Abdruck des rechten Daumens (r5) der Testperson T1 mit Narben

Tabelle 20: Messergebnisse der Lücken aus Abbildung 56 (Längenangaben in Pixeln)

	Area	Angle	Length
1	3	-90	1.500
2	3	-90	1.750
3	3	-90	1.750
4	4	-90	2.750
5	3	-90	2
6	3	-90	2.016
7	3	-90	2.016
8	3	-135	1.820
9	5	-90	3.750
10	4	-90	2.512
11	4	-90	3
12	4	-90	2.750
13	4	-90	3.010
14	5	-90	3.509
15	5	-56.310	3.691
16	5	45	4.070
17	4	-90	2.550
18	3	-90	2.264
19	3	-90	2.016
20	4	-75.964	3.260
21	3	-90	1.820

Wie in der Tabelle zu sehen ist, bewegen sich die durch die Scars entstandenen Lücken in den Papillarlinien im Rahmen der möglichen Größen für die Papillarlücken. Ihre parallele Vermessung zu den Papillarlücken über ein Analyseprogramm könnte darum ebenfalls zu einer Unterscheidung zwischen Fakes und Originalen beitragen. Auf diesen Punkt wird bei der Analyse der Fakeabdrücke näher eingegangen.

Eine weitere Ursache für eine hohe Anzahl von möglichen Papillarlücken können Unreinheiten, Bildfehler oder zu sanft aufgelegte Finger sein [24]. In Abbildung 66 wird ein Beispiel dafür gezeigt.



Abbildung 66: Abdruck des linken Ringfingers der Testperson T2 mit teilweise nur blass wahrgenommenen Papillarlinien

Wie im obigen Bild zu sehen werden manche Teiler der Papillarlinien bei der Aufnahme nur sehr blass oder gar nicht vom Scanner erkannt. Dadurch kann es passieren, dass ein Analyseprogramm Papillarlücken an Stellen erkennt, die keine Lücken wären. Fakes, die aus solchen Abdruckbildern hergestellt wurden, könnten besonders fehleranfällig sein, weil die blassen Teile des gedruckten Fingerabdrucks sich nicht so gut in das Material eindrücken können. Auf diesen Umstand wird in der Analyse der Fakeabdrücke näher eingegangen.

Wie in Tabelle 19 gezeigt, gibt es bei den Papillarlücken auch einige stärkere Abweichungen vom Durchschnittswert. Bei einer Vermessung durch ein Programm könnten besonders die großen Abweichungen unter Umständen nicht als Lücken, sondern als mögliche Luftblasen eines Fakes erkannt werden. Auf die Ausmaße der Luftblasen wird bei der Analyse der Fakeabdrücke näher eingegangen.

5.3.2.2 Untersuchungsergebnisse der Fakefingerabdrücke

In den Tabellen 21 bis 24 werden die Ergebnisse der vermessenen Papillarlücken in den hergestellten Fakes gezeigt. Außerdem wird auch die Größen der entstandenen Luftblasen ausgewertet. Die Tabellen zeigen alle einen Durchschnittswert der gesammelten Messergebnisse. Dieser wird in der Zeile „Gesamt“ gezeigt. Weiterhin werden für einen Vergleich zwischen den zwei Testpersonen sowohl ihre jeweiligen Durchschnittslängen der Papillarlücken als auch Minimalwert und ein Maximalwert angegeben. Durch die letzteren Angaben sollen die höchsten Ausreißer bei den Messungen gezeigt werden.

Tabelle 21: Durchschnittsgröße der Papillarlücken bei Fakes mit Überzug

	<u>Durchschnittslänge</u>		<u>Minimalwert</u>		<u>Maximalwert</u>	
	px	µm	px	µm	px	µm
<u>T1</u>	4,365	1154,912	1,667	441,060	21,101	5582,972
<u>T2</u>	5,119	1354,542	1,537	406,665	24,466	6473,295
<u>Gesamt</u>	4,759	1259,323				

Tabelle 22: Durchschnittsgröße der Luftblasen bei Fakes mit Überzug

	<u>Durchschnittslänge</u>		<u>Minimalwert</u>		<u>Maximalwert</u>	
	px	µm	px	µm	px	µm
<u>T1</u>	12.138	3211.395	2,500	661,458	31,433	8316,032
<u>T2</u>	11,909	3150.928	2,173	574,939	37,000	9789,582
<u>Gesamt</u>	12.032	3183,564				

Bereits bei den Ergebnissen der vermessenen Papillarlücken innerhalb der Fakes ist festzustellen, dass die Messergebnisse im Durchschnitt mit 4,759 px leicht größer sind als die der Originalfinger mit 3,388 px. Gründe dafür sind, dass sich zum einen das Fakematerial, selbst bei einer besseren Herstellungsmethode, nicht genau an die abgedruckten Abdrücke anpassen kann. Dadurch kann es passieren, dass an Stellen, an denen eigentlich eine Papillarlücke vorkommen sollte, keine vorhanden ist. Das ist häufig bei kleineren Lücken der Fall. Dadurch wird der Durchschnittswert von weniger kleineren Werten beeinflusst und wird deshalb größer. Auch der genau umgekehrte Fall kann auftreten. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt kann es passieren, dass bestimmte Regionen und Teile der gedruckten Fingerabdrücke nicht sichtbar sind, weil diese z.B. nicht in bester Qualität aufgenommen wurden bzw. das Fakematerial sich nicht an gewisse Stellen des Abdrucks angepasst hat. So kann es passieren, dass sich neue Lücken auf den Fakes bilden, die von einem Programm oder einem Fachkundigen ebenfalls als Lücken wahrgenommen werden könnten. Je nachdem wie groß diese Fehler werden, können auch sie das Messergebnis mehr oder weniger beeinflussen. Vergleicht man dazu die Maximalwerte von Lücken in den Tabellen 19 und 21, fällt deutlich auf, dass solche falschen Lücken viel größere Ausmaße annehmen können als die Papillarlücken in einem echten Fingerabdruck. Ein Beispiel für beide Phänomene wird in den Abbildungen 67 und 68 gezeigt. Auf der Aufnahme des Fakeabdrucks der Testperson T2 können im Vergleich zum Original sowohl neu hinzugekommene Lücken und nicht erkannte Lücken erkannt werden. Wie zu erkennen ist, werden auf dem Fake z.B. die Lücken 3 und 6 in der Nähe des Cores nicht bzw. nur sehr undeutlich gezeigt. Aus diesem Grund wurden sie nicht markiert. Außerdem sind beispielsweise die Lücken 1, 2, 3 und 4 nicht im Original vorhanden. Ihre Entstehung ist auf die blasse Aufnahme der Papillarlinien des Originals im unteren Bildbereich zurückzuführen. Diese schlecht zu sehenden Details konnten mit dem Abdruck nicht so gut auf das Fakematerial übertragen werden. Zusätzlich sind auf Abbildung 68 zwei Verunreinigungen zu sehen. Diese können genau wie Luftblasen zu einer Verfälschung des Messergebnisses führen.



Abbildung 67: Aufnahme des Abdrucks des rechten Mittelfingers der Testperson T2 mit eingezeichneten Papillarlücken

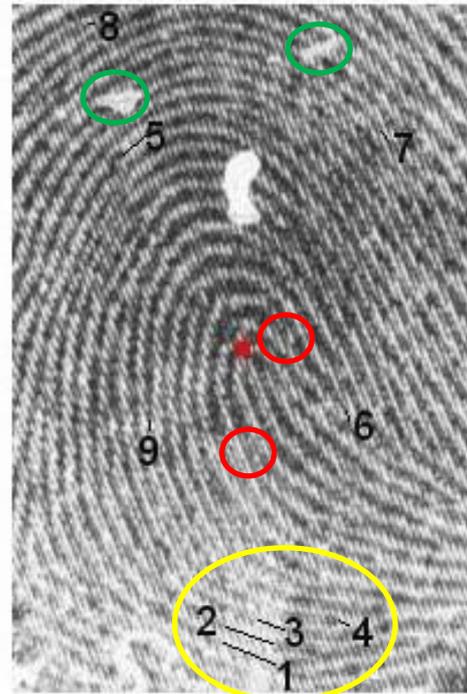


Abbildung 68: Aufnahme des Fakeabdrucks des rechten Mittelfingers der Testperson T2; fehlende Lücken 3 und 6 rot markiert; neue Lücken 1-4 gelb markiert; Verunreinigungen grün markiert

Die in Tabelle 22 gezeigten Messungen der Luftblasen sind noch ein viel deutlicheres Merkmal, um Fakeabdrücke von den Originalen zu unterscheiden. Ihr Durchschnittswert liegt mit 12,032 Pixeln deutlich höher als der der Originale. Auch ist er deutlich höher als die Messwerte innerhalb der eigenen Fakes. Dasselbe gilt für die Maximalwerte. Gründe für die Entstehung solcher Luftblasen wären Lufteinschlüsse im Fakematerial oder die wahrscheinlicheren Wellungen beim Auflegen des Abdrucks. Letztere ließen sich auch mit einem Überzug nicht vollständig vermeiden. Ein weiterer Vorteil von Luftblasen zum Erkennen von Fakefingerabdrücken sind die kleinen Lufteinschlüsse, die bezüglich der Größe einer Papillarlücke ähnlich sind. Bei einer Analyse eines Abdrucks könnten sie mit von einem Programm erfasst werden. Dadurch würde es zu Unterschieden bei der Anzahl vermessener Papillarlücken eines Originals, das in einem biometrischen System gespeichert ist und dem aufgelegten Fakeabdruck, kommen. Luftblasen sind daher ein deutliches Anzeichen dafür, dass ein überprüfter Fingerabdruck nur eine nachgemachte Attrappe ist und kein Original.

Tabelle 23: Durchschnittsgröße der Papillarlücken bei Fakes ohne Überzug

	<u>Durchschnittslänge</u>		<u>Minimalwert</u>		<u>Maximalwert</u>	
	px	µm	px	µm	px	µm
<u>T2</u>	5,540	1465,897	2,088	552,449	8,971	2373,577

Tabelle 24: Durchschnittsgröße der Luftblasen bei Fakes ohne Überzug

	<u>Durchschnittslänge</u>		<u>Minimalwert</u>		<u>Maximalwert</u>	
	px	µm	px	µm	px	µm
<u>T2</u>	16,182	4281,472	6,083	1609,460	29,590	7829,019

Tabelle 23 und 24 enthalten nur die Werte der Testperson T2. Grund dafür ist, dass nur die Fakes dieser Testperson auch ohne Überzug erfolgreich auf dem Scanner waren.

Die für die Tabellen 21 und 22 beschriebenen Ergebnisse für die Abdrücke mit Überzug spiegeln sich auch bei den wenigen, vom Scanner erkannten Fakes ohne Überzug, wider. Auch hier ist ein deutlicher Größenunterschied zwischen den Maßen der Originalabdrücke und denen der Fakeabdrücke erkennbar. Außerdem ist anzumerken, dass die Aufnahmen der Abdrücke ohne Überzug viel blasser waren. Dadurch waren einige ihrer Bereiche noch viel schwieriger zu erkennen, sodass die Papillarlücken nur sehr schwer zu auszumachen waren. Auch gab es viel mehr Luftblasen. Ein Beispiel dafür wird in Abbildung 69 gezeigt. Diese Aufnahme ist erneut vom rechten Mittelfinger der Testperson T2 erstellt wurden. Verglichen mit Abbildung 68 sind hier noch weniger Lücken erkennbar. Dazu gibt es noch eine höhere Anzahl von Luftblasen.

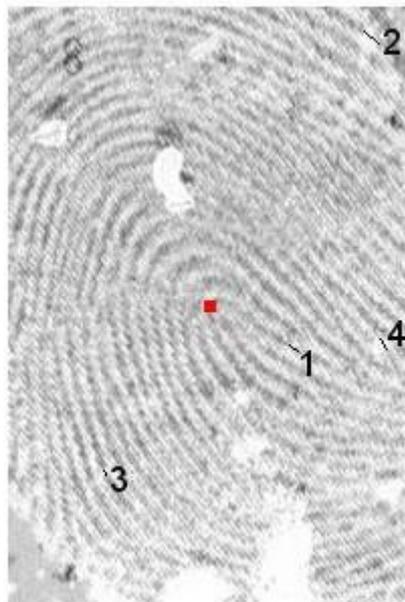


Abbildung 69: Aufnahme des rechten Mittelfingers der Testperson T2 ohne Überzug

Eine vollständige Sammlung der Aufnahmen und Messergebnisse der Papillarlinien und Luftblasen mit und ohne Überzug können im Anhang eingesehen werden.

5.4 Versuchsreihe 4

5.4.1 Betrachtung der aufgenommenen Fingerabdrücke

5.4.1.1 Abdrücke ohne weitere Bearbeitung

Besonders auffällig bei den Aufnahmen ohne eine vorherige Bearbeitung mit Fingerabdruckpulver ist, dass die Abdrücke sehr blass sind. Dadurch sind auf dem Foto kaum die Muster der Papillarlinien zu erkennen. Beispiele dafür finden sich in den Abbildungen 70 und 71. Dort wird je ein Bild des Fingerabdrucks der Finger r4 und r5 gezeigt. Weiterhin fällt bei einer näheren Betrachtung auf, dass die dunkle Papierunterlage bereits leichte Schmutzspuren aufweist. Diese können sich bei der späteren Bearbeitung negativ auf die Qualität des Abdrucks auswirken.

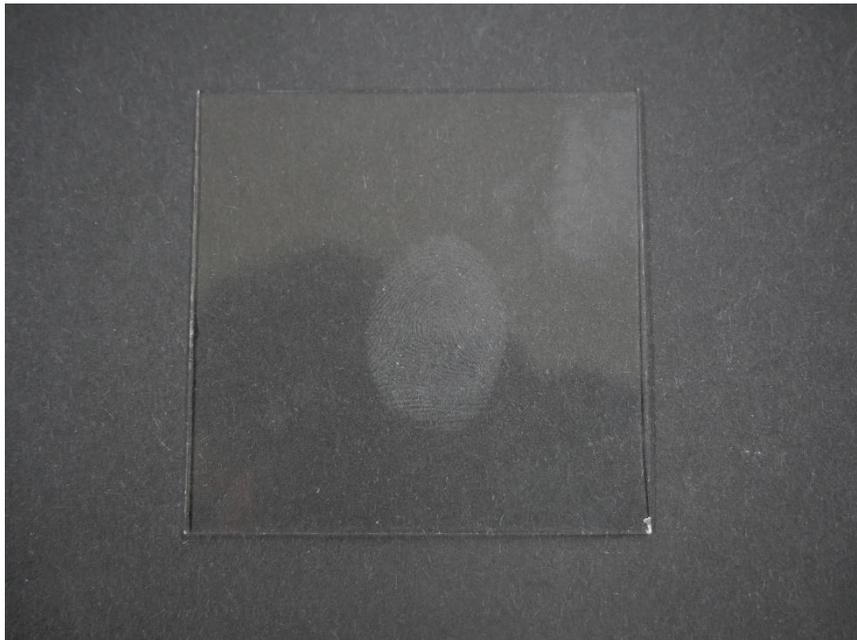


Abbildung 70: Fotografie vom Fingerabdruck des Fingers r4 ohne Pulver

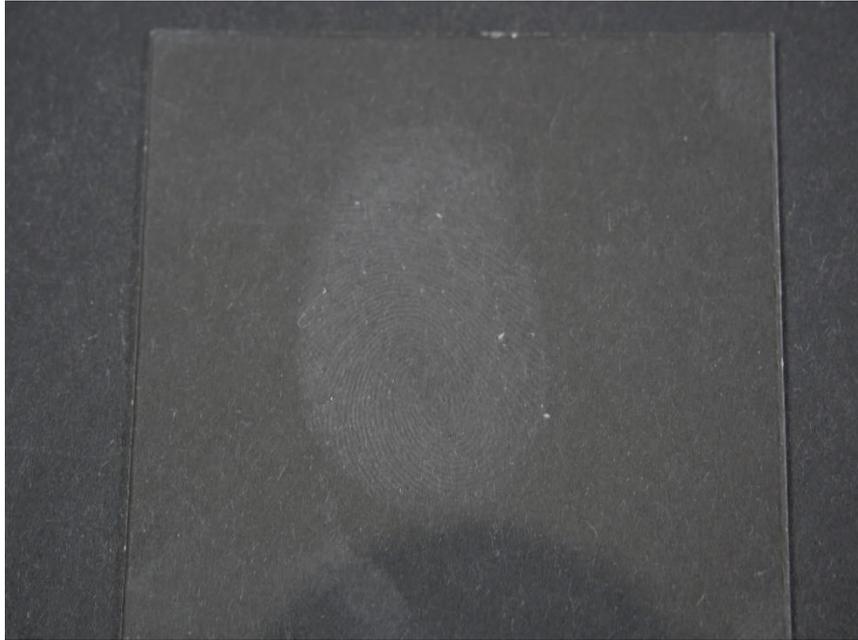


Abbildung 71: Fotografie vom Fingerabdruck des Fingers r5 ohne Pulver

In den folgenden Abbildungen 72 bis 74 wird ein bearbeiteter Abdruck des Fingers r4 und zwei des Fingers r5 gezeigt. Bei der Aufnahme des rechten Zeigefingers wurde nur die Kontraststeigerung über GIMP verwendet. Bei der Aufnahme aus Abbildung 74 des rechten Daumens wurde zuerst der Kontrast gesteigert, dann eine lineare Umkehrung durchgeführt und abschließend noch eine Kontraststeigerung. Abbildung 73 zeigt eine der Aufnahmen, die auf dieselbe Art und Weise bearbeitet wurden, wie der Abdruck aus Abbildung 74. Einziger Unterschied ist die weitere Bearbeitung mit der Threshold-Funktion des Programms ImageJ, um das Bild nur in zwei Farbwerte (hier schwarz und weiß) zu unterteilen. Eine vollständige Sammlung der aufgenommenen, sowie der bearbeiteten Bilder befindet sich hierbei im Anhang. Vor allem bei der Aufnahme des Finger r4 fallen sofort die Verunreinigungen durch die Papierunterlage auf. Große Teile des Papillarlinienmusters sind nicht bzw. nur schwer zu erkennen. Bei Aufnahme 74 des Daumens fallen die Verunreinigungen schon weniger auf. Allerdings ist durch das schlecht sichtbare Papillarlinienmuster auf dem Foto ein Teil des Musters auf dem bearbeiteten Bild nicht zu erkennen. Weiterhin wirken die Linien sehr blass. Grund dafür ist, dass der Kontrast nicht höhergestellt werden konnten. Bei einem zu hohen Kontrast konnten Details der Bilder bei einer Verdunkelung bzw. Erhellung verschwinden. Aufgrund dessen wurde die Bearbeitung mit der Threshold- Funktion nachgeholt. Dort werden zum einen die Papillarlinien besser sichtbar, aber dafür auch die verunreinigten Stellen des Fotos. Das galt bei der Bearbeitung aller Bilder in diesem Versuch. Auf das Scanergebnis wird im Abschnitt „Auswertung der Scanergebnisse“ näher eingegangen.



Abbildung 72: mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4 ohne Pulver



Abbildung 74: mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5 ohne Pulver mit anschließender Threshold-Bearbeitung



Abbildung 73: mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5 ohne Pulver

5.4.1.2 *Abdrücke mit silbernem Fingerabdruckpulver*

Mit Hilfe des Fingerabdruckpulvers wurden die Abdrücke deutlich besser sichtbar. Dadurch wurden auch bestimmte Verunreinigungen auf der Papierunterlage weniger auffällig. Einziger Nachteil ist, dass das Pulver an manchen Stellen verwischt ist. Dadurch gehen Details in den Papillarlinien verloren. Grund dafür könnte das Nutzen von zu viel Pulver oder die grobe Beschaffenheit des Pulvers sein. In den Abbildungen 75 und 76 werden die mit Pulver bearbeiteten Abdrücke, die später zu Fakes verarbeitet wurden, gezeigt.



Abbildung 75: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver

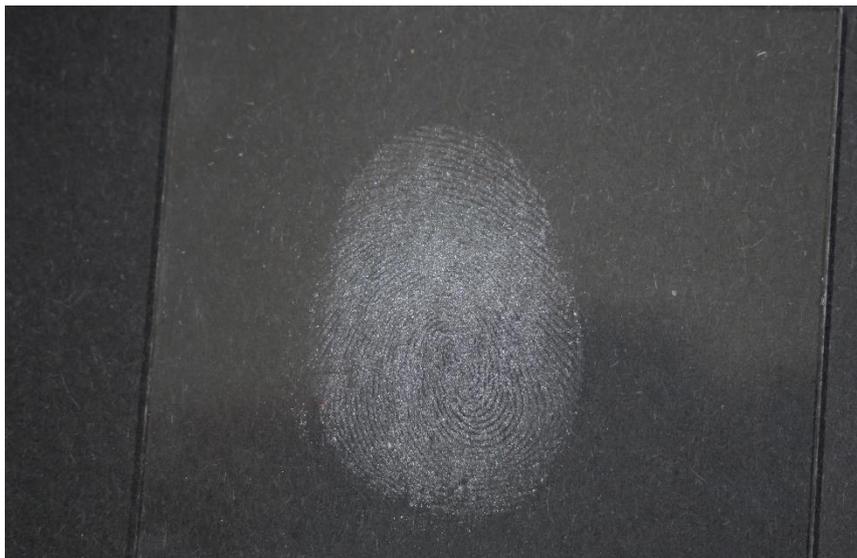


Abbildung 76: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver

In den Abbildungen 77 bis 80 werden die bearbeiteten Bilder, welche mit silbernem Fingerabdruckpulver bearbeitet wurden, gezeigt. Für beide Finger werden die Bilder der jeweiligen Bearbeitungsmethode gezeigt. Es fällt auf, dass die Papillarlinien und Furchen viel besser zu sehen sind als bei den unbearbeiteten Abdrücken. Grund dafür ist, dass sie sich durch das angewandte Pulver viel stärker vom Hintergrund abheben. Dadurch genügte es sie in GIMP zu bearbeiten. Eine weitere Bearbeitung mit Hilfe der Threshold-Funktion aus ImageJ war nicht nötig, um die Sichtbarkeit zu steigern. Allerdings fallen die Verwischungen des Pulvers sehr negativ bei den Aufnahmen auf, da sie einige Details des Abdrucks verdecken. Auf das Scanergebnis wird im Abschnitt „Auswertung der Scanergebnisse“ näher eingegangen.



Abbildung 77: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4



Abbildung 78: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4



Abbildung 79: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5



Abbildung 80: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5

5.4.1.3 Abdrücke mit weißem Fingerabdruckpulver

Die mit dem weißen Fingerabdruckpulver bearbeiteten Abdrücke waren optisch die besten Abdrücke. Dieses war wesentlich feiner als das silberne Pulver. Dadurch setzte es sich besser und sauberer an den Papillarlinien des Abdrucks ab. So blieben noch viele Details der Abdrücke erhalten. In den Abbildungen 81 und 82 werden die bearbeiteten Abdrücke gezeigt.



Abbildung 81: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit weißem Fingerabdruckpulver

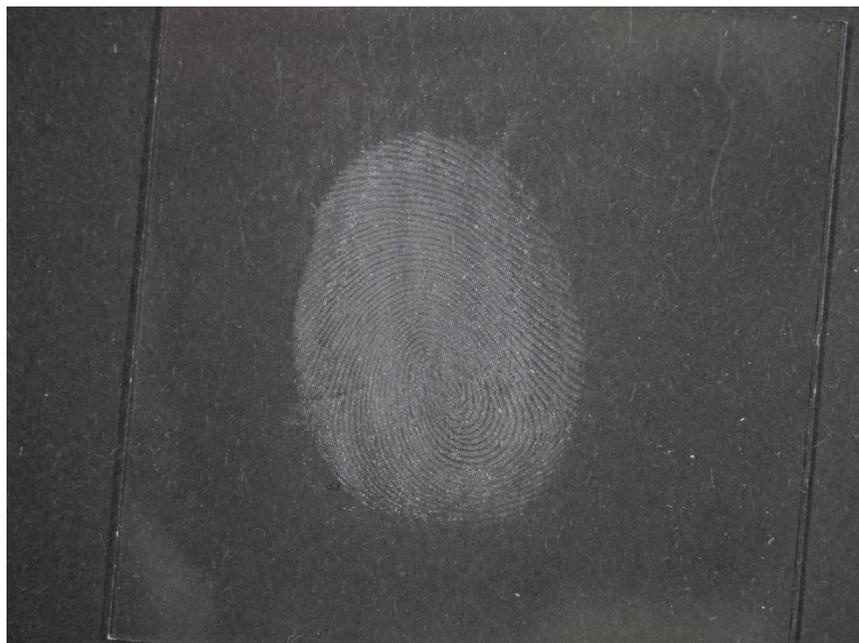


Abbildung 82: Fotografie des Fingerabdrucks des Fingers r4 bearbeitet mit silbernem Fingerabdruckpulver

Auch die bearbeiteten Versionen der Bilder zeigen mehr Details als die bereits betrachteten Bilder. Das Papillarlinienmuster ist deutlich zu sehen. Allerdings sind wieder ein paar Verunreinigungen der Unterlage zu sehen, die die Qualität der späteren Fakes beeinflussen könnten. In den Abbildungen 83 bis 86 werden die bearbeiteten Bilder, der mit weißem Fingerabdruckpulver bearbeiteten Abdrücke, gezeigt. Für beide Finger werden die Bilder der jeweiligen Bearbeitungsmethode gezeigt.



Abbildung 83: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4



Abbildung 84: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r4



Abbildung 85: Mit Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5



Abbildung 86: Mit Kontraststeigerung, linearer Umkehrung und Kontraststeigerung bearbeiteter Abdruck des Fingers r5

5.4.2 Auswertung der Scanergebnisse

5.4.2.1 Auswertung der Ergebnisse ohne Bearbeitung durch Fingerabdruckpulver

Die Fakes ohne eine vorherige Bearbeitung mit Fingerabdruckpulver waren in den drei Tests die schwächsten. Die Papillarlinienmuster auf den Scanbildern waren bereits mit bloßem Auge schwer zu erkennen. Auch die dazugehörigen Ergebnisse waren entsprechend schlecht. Die Fakes wurden selbst bei dem niedrigen Startwert des Quality Thresholds von 40% nicht vom Analyseprogramm erkannt. Die Fakes aus den ersten beiden Reihen der vorbereiteten Klarsichtfolie (Abbildung 47) wiesen vor allem die erwähnten unklaren Papillarlinienmuster auf. Dazu kommt, dass der Farbkontrast in diesen Bildern recht wenig zur Geltung kam. Bei den Fakes aus Reihe 3 war der Kontrast durch die Bearbeitung mit der Threshold-Funktion des Programms ImageJ zwar wesentlich besser, aber die Sichtbarkeit des Papillarlinienmusters wurde dadurch nicht verbessert. Außerdem wiesen alle Aufnahmen (auch die folgenden aus dieser Versuchsreihe) dieselben Probleme auf wie die Fakes aus Versuchsreihe 3. So stand z.B. das überschüssige Fakematerial über und bei einer ungleichmäßigen Auflage des Überzugs auf den Fake konnten durch das einfallende Licht unerwünschte Farbkontraste entstehen. In den Abbildungen 87 bis 89 werden Beispiele für die Fakefingerabdrücke aus den 3 Reihen gezeigt.

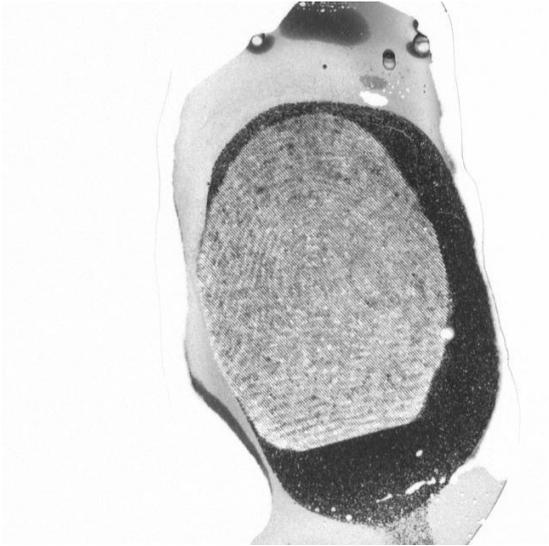


Abbildung 87: Fakefingerabdruck des Fingers r4 aus Reihe 1 der Abbildung 47 ohne Pulver

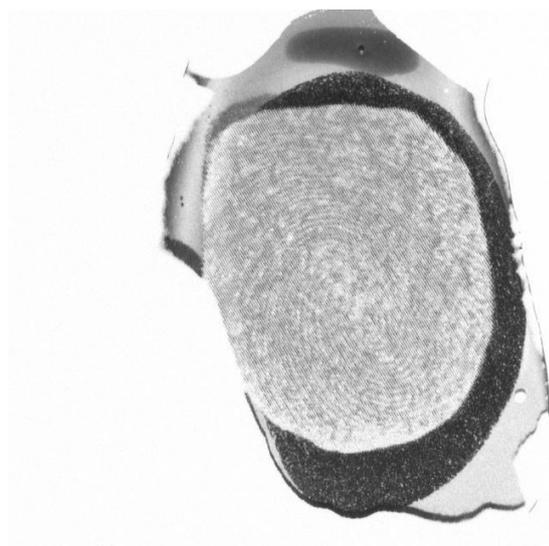


Abbildung 88: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 der Abbildung 47 ohne Pulver



Abbildung 89: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 3 (Mitte) der Abbildung 47 ohne Pulver

5.4.2.2 Auswertung der Ergebnisse bei der Bearbeitung mit Fingerabdruckpulver (Silber)

Die Fakes aus Abbildung 48, die mit silbernem Fingerabdruckpulver bearbeitet wurden (Reihe 1 und 3), zeigten auf den Scanbildern mehr Details als die ohne Bearbeitung. Die Papillarlinienmuster waren besser zu sehen, wiesen aber durch die Verwischungen des Pulvers auf den ursprünglichen Abdrücken einige Detailverluste auf. Bei den Fakes des Zeigefingers (Abbildung 90) waren die Papillarlinien und Furchen besser zu erkennen als bei den Aufnahmen des Daumens (Abbildung 91). Allerdings wurden um den Core herum viele Details durch das Fingerabdruckpulver, welches sich unsauber an das Muster des Abdrucks abgesetzt hatte, verwischt. Dadurch wurde der Abdruck auch bei einem Quality Threshold von nur 40% nicht erkannt. Bei den Abdrücken des Daumens (Beispiel in Abbildung 91) waren weit weniger Details sichtbar. Die Qualität des fotografierten Abdrucks war nicht gut genug, um das Papillarlinienmuster bei der Kontraststeigerung besser sichtbar zu machen. Besonders die Verwischungen des Pulvers sind schon in den Abbildungen 79 und 80 zu erkennen. Außerdem waren ein paar Lufteinschlüsse beim Auflegen des Fakes auf den Scanner entstanden. Das Scanergebnis für den Daumenabdruck war identisch mit dem des Zeigefingerabdrucks. Außerdem ist anzumerken, dass das silberne Fingerabdruckpulver etwas grobkörniger war als das weiße Pulver, welches im kommenden Abschnitt beschrieben wird.



Abbildung 91: Fakefingerabdruck des Fingers r4 aus Reihe 1 (linke Seite) der Abbildung 48 mit silbernem Pulver



Abbildung 90: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 (rechte Seite) der Abbildung 48 mit silbernem Pulver

5.4.2.3 Auswertung der Ergebnisse bei der Bearbeitung mit Fingerabdruckpulver (Weiß)

Die Fakeabdrücke aus Reihe 2 und 4 aus Abbildung 48, die mit dem weißen Fingerabdruckpulver bearbeitet wurden wiesen die besten Ergebnisse auf. Das Pulver setzte sich viel besser an den Papillarlinien ab. Dadurch war das Muster viel besser zu sehen als bei den anderen Tests aus dieser Versuchsreihe (siehe Abbildungen 83 bis 86). Allerdings wiesen die Abdrücke nach der Verarbeitung durch die Kontraststeigerung immer noch einige unklare Stellen im Papillarlinienmuster auf, weshalb ihre Scanergebnisse nicht optimal ausgefallen sind. Der Fake des Fingers r4 (Beispiel in Abbildung 92) zeigte das Muster besser als der in Abbildung 87 genutzte Fake, enthielt aber immer noch zu viele Fehler, um bei einem Quality Threshold von 40% erkannt zu werden. Die Fakes des Fingers r5 (Beispiele in den Abbildungen 93 und 94) wiesen bessere Ergebnisse auf. Beide Fakes konnten bei beiden angewendeten Methoden zur Kontraststeigerung bis zu einem Quality Threshold von 50% erkannt werden. Damit waren sie die ersten Fakes, die unter diesen Herstellungsmethoden erkannt wurden. Ihre Analyse bezüglich Papillarlücken und Luftblasen folgt im Verlauf des Abschnitts.



Abbildung 92: Fakefingerabdruck des Fingers r4 aus Reihe 1 (linke Seite) der Abbildung 48 mit weißem Pulver

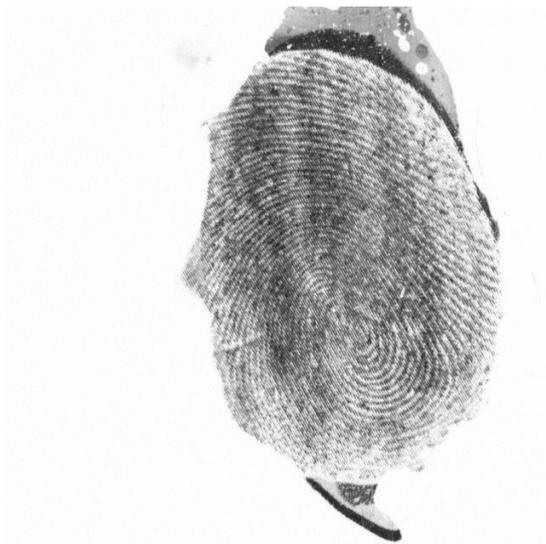


Abbildung 93: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 (linke Seite) der Abbildung 48 mit weißem Pulver

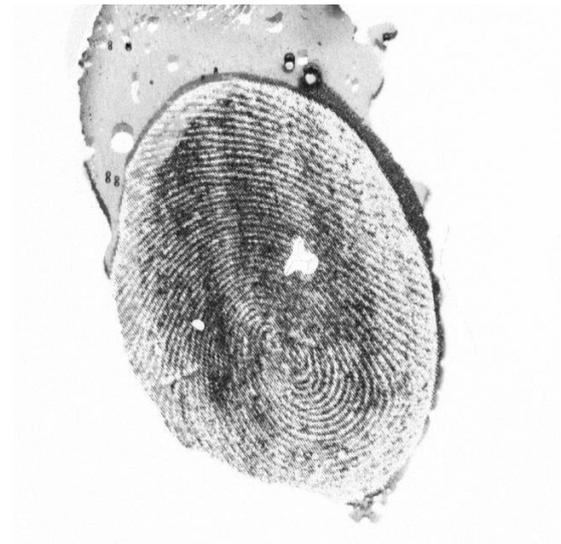


Abbildung 94: Fakefingerabdruck des Fingers r5 aus Reihe 2 (rechte Seite) der Abbildung 48 mit weißem Pulver

Auffällig bei den Fakes aus den Abbildungen 93 und 94 ist, dass auf beiden Teile des linken Randes der Aufnahme fehlen. Grund dafür ist ein etwas unsauberer Auflegen des Abdrucks mit dem Überzug auf den Scanner. Außerdem sind innerhalb des Papillarlinienmusters auf Abbildung 94 zwei Luftblasen zu sehen.

Die Ergebnisse der Analyse von Papillarlücken und Luftblasen wird in Tabelle 25 gezeigt.

Tabelle 25: Messergebnisse der erfolgreichen Daumenfakes

	<u>Papillarlücken</u>				<u>Luftblasen</u>			
	<u>r5 (links)</u>		<u>r5 (rechts)</u>		<u>r5 (links)</u>		<u>r5 (rechts)</u>	
	<u>px</u>	<u>µm</u>	<u>px</u>	<u>µm</u>	<u>px</u>	<u>µm</u>	<u>px</u>	<u>µm</u>
<u>Durchschnitt</u>	5,627	1488,81	6,099	1613,693	32,055	8481,218	19,551	5172,868
<u>Min.</u>	2,136	565,149	1,458	385,762	17,147	4536,809	6,604	1747,308
<u>Max</u>	13,29	3516,312	14,235	3766,343	39,781	10525,388	34,501	9128,388
<u>Gesamtdurchschnitt</u>	5,870 px		1553,104 µm		24,761 px		6551,347 µm	

Auch bei den vermessenen Papillarlücken der Daumenfakes ist festzustellen, dass sie bereits bezüglich ihrer Durchschnittsgröße wesentlich größer sind als die Lücken in den Bildern der Original-Fingerabdrücke. Natürlich gibt es, wie am Beispiel der Minimalwerte erkannt werden kann, Ausnahmen, die sich an den Durchschnittsgrößenwert von 3,388 px der richtigen Papillarlücken annähern. Diese sind allerdings deutlich in der Unterzahl im Vergleich zu den viel größeren Abweichungen. Alle Messergebnisse und bearbeitete Bilder können im Anhang eingesehen werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

In der ersten Versuchsreihe sollten neue Methoden gefunden werden das Fakematerial (2 T. Glycerin und 1 g Ponal Express Holzleim) anzumischen und aufzutragen. Grund dafür waren vor allem die eingeschlossenen Luftblasen in den Fakes des Praktikumsberichts (siehe Abschnitt 2.6.2.2). Für diesen Zweck wurden aus den zur Verfügung stehenden Mitteln verschiedene dünne Stäbchen genutzt (Tabelle 11), um das Material möglichst ohne Luftblasen bei langsamem Rühren herzustellen. Die Verbesserungen des Auftragens wurden ebenfalls mit diesen Materialien getestet. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass sich das Material am besten mit einem Metallstäbchen bei langsamem Rühren herstellen lässt und das Auftragen am besten mit einem Streichen erfolgen sollte. Für letzteres eignete sich eine leicht gebogene Einmalpipette am besten. Auffällig war außerdem die fehlende Festigkeit des nun dünner aufgetragenen Materials auf.

In Versuchsreihe 2 sollte eine Verbesserung des Mischverhältnisses zwischen Leim und Glycerin vorgenommen werden. Dazu wurden drei Testfingerabdrücke auf die bisherige Art und Weise über das Programm GIMP vorbereitet und je zweimal auf eine Klarsichtfolie gedruckt. Dort wurde eine Hälfte mit dem bisherigen Material aus 1 g Holzleim und 2 T. Glycerin und die andere Hälfte mit der neuen Mischung aus 1 g Holzleim und 1 T. Glycerin bedeckt. Nach dem Trocknen über Nacht wurden sie auf dem Scanner getestet. Es sollte geprüft werden, ob Qualitätsunterschiede zwischen den Mischungen bestehen. Das Ergebnis war, dass es keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Fakes aufgefallen sind. Deswegen wurde das neue Mischverhältnis für alle weiteren Fakes genutzt. Es wurde außerdem festgestellt, dass ein Quality Threshold von 80% bei einer FAR von 0,0001% und mindestens 14 zu erkennenden Minuzien ein Standard ist, welcher nur von wenigen Fakes erreicht werden kann. Bei weiteren Tests sollte auch bei niedrigeren Standards getestet werden. Es wurden auch Probleme bei den Fakes festgestellt, die ihre Qualität verschlechterten, wie das überstehende Fakematerial. Diese sollten auch in den kommenden Versuchsreihen verbessert werden.

Die dritte Versuchsreihe teilte sich in zwei Teile auf. In Teil 1 wurde geprüft, ob ein Überzug für den Finger während des Auflegens das Scanergebnis verbessert. Dazu wurden die vollständigen Fingerabdrucksets von zwei Testpersonen genutzt. Jeder Fakeabdruck wurde für die Redundanz jeweils dreimal mit und ohne Überzug aufgenommen. Es stellte sich heraus, dass die Fakes, die mit dem Überzug getestet wurden bei viel höheren Qualitätseinstellungen des Scanprogramms akzeptiert wurden als die Fakes ohne Überzug (siehe die Tabellen 16 und 17). Selbst wenn ein Fakefingerabdruck ohne Überzug bei denselben Einstellungen wie einer mit Überzug erkannt wurde, war er dennoch bezüglich des Scorewertes aus dem

Scanprogramm deutlich schlechter. Mit der neuen Methode wurden die Papillarlinienmuster auf dem Scanbild viel besser sichtbar. Außerdem konnte der Fake viel gleichmäßiger auf den Scanner gedrückt werden. Dadurch schlossen sich viel weniger Luftblasen in Wellungen des Fakematerials ein. Die Fakes ohne Überzug wiesen diese Fehler immer noch verstärkt auf. Es gab auch Fehler, die sich auch mit dem Fingerüberzug nicht vermeiden ließen. Dazu zählte auch das überstehende Fakematerial. Bei der Betrachtung der Ergebnisse schien dieser Umstand allerdings nicht unbedingt Einfluss auf das Scanergebnis zu haben. Eine weitere Fehlerquelle waren Staubpartikel, die sich auf der Fakeoberfläche abgesetzt haben. Diese waren stets deutlich auf dem Scanbild zu sehen. Es sollte daher vermieden werden die Scans mit der Seite des Abdrucks auf unsaubere Oberflächen zu legen. Weiterhin wurde innerhalb der Versuchsreihe festgestellt, dass sich die Fakes bei längerem Lagern (z.B. 2 bis 4 Tage lang) an glatte Oberflächen ansaugen können. Dadurch konnte der eingeprägte Abdruck zerdrückt werden bzw. konnte sich ein Muster der jeweiligen Unterlage in das Material drücken und den Fake so unbrauchbar machen. Es wird empfohlen die Fakes gleich nach dem Abziehen von der Folie zu nutzen.

Im zweiten Teil der 3. Versuchsreihe sollten die Papillarlücken analysiert werden. Dafür wurde zunächst eine Region of Interest einer festen Größe für alle Fingerabdrücke festgelegt. Die Größe der Region betrug dabei 200×300 Pixel. Ihr Zentrum lag dabei im Core des jeweiligen Abdrucks. Sollten bei einem Abdruck zwei Cores festgestellt worden sein, richtet sich das Zentrum des Messbereichs nach dem Mittelpunkt der beiden Punkte. Ziel war es dann zuerst die Originale bezüglich ihrer vorhandenen Papillarlücken mit Hilfe von ImageJ zu vermessen und einen durchschnittlichen Längenwert zu ermitteln. Der Durchschnittswert für die Größe einer solchen Lücke betrug rund 3,388 px was einer Länge von $896,475 \mu\text{m}$ entspricht. Die vermessenen Papillarlücken wurden dabei in das Scanbild eingezeichnet und nummeriert. Für die Fakes, die ein erfolgreiches Scanergebnis geliefert haben, wurden ebenfalls die Papillarlücken mit ImageJ vermessen. Außerdem wurden deren Positionen wieder auf dem Scanbild eingezeichnet. Es ergab sich, dass die Lücken auf den Fakes mit einem durchschnittlichen Wert von 4,759 px ($= 1259,323 \mu\text{m}$) leicht größer sind als die auf in den Originalen. Grund dafür waren unter anderem blass aufgenommene Teile der Original-Fingerabdrücke. Dadurch konnte sich die an diesen Stellen nur schwach gedruckte Tinte nur leicht in das Fakematerial drücken, wodurch auf dem Fake unklare Stellen entstanden. Dadurch konnte es passieren, dass entweder neue Lücken in dem Papillarlinienmuster entstanden oder eigentlich vorhandene Lücken verschwunden sind. Die neu entstandenen Papillarlücken waren teilweise auch größer als die Lücken in den Originalen. Eine weitere Fehlerquelle auf den Fakes waren die Luftblasen. Diese könnten von einem zukünftigen Programm ebenfalls als Papillarlücken angesehen werden. Aus diesem Grund wurden die Fakes dazu noch einmal extra vermessen. Die Durchschnittsgröße dieser Lufteinschlüsse liegt mit einem Wert von 12.032 px ($= 3183,564 \mu\text{m}$) noch einmal deutlich über dem Wert der Fake-Papillarlücken. Sie sind somit ein noch viel eindeutigeres Entscheidungsmerkmal zwischen Fake und Original, da sie von einem Programm als viel zu große Lücken markiert werden könnten. Bei den Fakes ohne Überzug fielen die Ergebnisse ähnlich aus. Für diese ergab sich

bei der Vermessung der Papillarlücken ein Durchschnittswert von 5,540 px (= 1465,897 μm) und für die Luftblasen ein Wert von 16,182 px (= 4281,472 μm).

In der vierten Versuchsreihe sollte abschließend versucht werden mit den bisherigen Mitteln einen guten Fake aus der Fotografie eines Fingerabdrucks heraus herzustellen. Dazu wurden der rechte Daumen und Zeigefinger der Testperson T1 betrachtet. Beide Abdrücke wurden für die Tests auf eine kleine Glasplatte gegeben. Von dort wurden nach 3 verschiedenen Bearbeitungsmethoden mehrere Aufnahmen von ihnen gemacht. Die ersten Aufnahmen wurden von den unbearbeiteten Abdrücken gemacht, die zweiten von mit silbernem Fingerabdruckpulver bearbeiteten Abdrücken und die dritten von mit weißem Fingerabdruckpulver bearbeiteten Fingerabdrücken. Bei den besten Aufnahmen wurden anschließend mit dem Programmen GIMP und ImageJ Kontraststeigerungen durchgeführt (siehe Tabelle 13), um den Abdruck besser sichtbar zu machen. Für die weitere Fakeherstellung wurden die Methoden aus Versuchsreihe 3 genutzt. Anschließend wurden die Fakes auf dem Scanner verglichen. Dabei schnitten die Daumenfakes, deren Abdrücke zuvor mit weißem Fingerabdruckpulver bearbeitet wurden am besten ab. Sie konnten noch bis zu einem Quality Threshold von 50% erkannt werden. Sie zeichneten sich vor allem dadurch aus, dass das Muster der Papillarlinien durch die Bearbeitung klar zu sehen war und durch das feine Pulver keine bzw. kaum Verwischungen entstanden sind, die die Sichtbarkeit des Papillarlinienmusters beeinflussen haben. Auch bei diesen erfolgreichen Fakes wurden die Papillarlücken und Luftblasen vermessen. Mit einer durchschnittlichen Lückengröße von 5,870 px (= 1553,104 μm) und einer durchschnittlichen Luftblasengröße von 24,761 px (= 6551,347 μm) könnten auch diese Fakes ohne Probleme von den Originalen unterschieden werden.

6.2 Ausblick

Versuchsreihe 1 hat dazu beigetragen das Ziel zur Verbesserung der hergestellten Fakes zu erreichen. Es konnte ein besseres Verfahren gefunden werden das Fakematerial ohne Luftblasen zu mischen und aufzutragen. In zukünftigen Experimenten könnten Geräte wie ein Rüttler oder eine Vakuum-Maschine nützlich sein, um die Blasen aus dem Stoffgemisch zu entfernen [16].

In Versuchsreihe 2 konnte eine erfolgreiche Anpassung beim Mischverhältnis des Fakematerials vorgenommen werden. Dadurch, dass der Glycerinanteil bei 1 g Holzleim von 2 T. auf 1 T. verringert wurde, sind die neuen dünneren Fakes viel stabiler geworden. So ließen sie sich bei den weiteren Versuchen viel besser auflegen. Für künftige Tests muss keine weitere Anpassung bei der Zusammensetzung des Fakematerials vorgenommen werden.

Im ersten Teil der dritten Versuchsreihe war das Ziel das Papillarlinienmuster auf den Fakes beim Auflegen auf den Scanner besser sichtbar zu machen. Das konnte mit einem einfachen Kunststoff-Überzug für den Finger ohne eigenen Abdruck erreicht werden. Fehlerquellen wie überstehendes Fakematerial sollten in Zukunft vor dem Auflegen mit einem Schneidegerät entfernt werden. Ebenfalls sollten eingeschlossene Luftblasen oder die unerwünschten

Schattierungseffekte in Zukunft durch ein präziseres Auflegen des Fakes auf den Scanner vermieden werden. Unerwünschte Veränderungen im Fakematerial, nach einer zu langen Lagerung sollten in den Ergebnissen vermieden werden. Dafür empfiehlt es sich, Fakes dieser Art sofort nach der Herstellung für die Testzwecke zu nutzen oder für geeignete Lagerbedingungen sorgen.

Ziel im zweiten Teil der dritten Versuchsreihe war die Überprüfung, ob die Papillarlücken sich als weiteres Unterscheidungsmerkmal für die zukünftige Analyse von Fakeabdrücken eignen. Außerdem sollte für sie eine Durchschnittsgröße ermittelt werden. Beide Ziele konnten erreicht werden. Die Papillarlücken wiesen deutliche Unterschiede in ihrer Größe und Position zwischen den Fakes und Originalen auf, sodass sich sowohl ihre Markierung als auch ihre Vermessung als Unterscheidungsmerkmal eignete. Der nächste Schritt wäre ein Programm, welches automatisch gezielt nach diesen Lücken in Fingerabdrücken sucht. Dazu würde sich als Testmaterial eine große Datenbank mit gespeicherten Original- und Fakeabdrücken eignen, um ein noch aussagekräftigeres Ergebnis zu erhalten.

In Versuchsreihe 4 war das Ziel zu testen, ob mit den bisherigen Methoden auch abfotografierte Abdrücke zu guten Fakes verarbeitet werden konnten. Das Ergebnis war hierbei, dass die meisten Fakes keine guten Ergebnisse auf dem Scanner lieferten. Nur die Daumenfakes, deren Abdrücke zuvor mit weißem Fingerabdruckpulver bearbeitet wurden, lieferten positive Ergebnisse. Die Erkenntnis dabei war, dass eine Herstellung von Fakes auf diesem Wege grundsätzlich möglich ist. Allerdings sollte die Bearbeitung der aufgenommenen Bilder in Zukunft am besten mit einer spezialisierten Software zur Aufbereitung von Fingerabdrücken durchgeführt werden, um die Ergebnisse stark zu verbessern. Das weiße Pulver eignete sich perfekt, um die Abdrücke für die Fotografien sichtbar zu machen.

Literaturverzeichnis

- [1. URL] https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Biometrie/Fingerabdruckererkennung_pdf.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 19.08.2021
- [2. URL] <https://www.detektei-aplus.de/wirtschaftsdetektei/untersuchung-fingerabdruecke.htm>, zuletzt geprüft am 19.08.2021
- [3. URL] <https://de.wikipedia.org/wiki/Papillarleiste>, zuletzt geprüft am 19.08.2021
- [4. URL] <https://www.ccc.de/de/updates/2013/ccc-breaks-apple-touchid>, zuletzt geprüft am 19.08.2021
- [5. URL] <https://www.onin.com/fp/level123.html#Page%20Top>, zuletzt geprüft am 19.08.2021
- [6. URL] <https://www.180-grad.de/glossar/minutien/>, zuletzt geprüft am 19.08.2021
- [7. URL] https://www.ccc.de/de/campaigns/aktivitaeten_biometrie/fingerabdruck_kopieren, zuletzt geprüft am 13.08.2021
- [8. URL] <https://www.connect.de/ratgeber/fingerabdruck-fingerprint-sensor-scanner-smartphone-finger-technik-3198730.html>, zuletzt geprüft am: 19.08.2021
- [9. URL] http://ftp.syris.com/SYRIS_ACS_DVD-ROM/UserGuideManual/Reader/SYRDF5-S2MS%20%26%20SYRDF6-

- PMS/About%20FAR_FRR_EER.pdf, zuletzt geprüft am: 13.08.2021
- [10. URL] <https://www.gimp.org/>, zuletzt geprüft am: 13.08.2021
- [11. URL] <https://imagej.net/software/imagej/>, zuletzt geprüft am: 13.08.2021
- [12. URL] <https://chaosradio.ccc.de/ctv001.html>, zuletzt geprüft am 13.08.2021
- [13. URL] <https://www.vision-doctor.com/optische-grundlagen/blende-objektiv.html>, zuletzt geprüft am 19.08.2021
- [14. URL] https://praxistipps.chip.de/was-ist-iso-einfach-erklart_43873#:~:text=Allgemein%20steht%20die%20Bezeichnung%20%22ISO%22%20f%C3%BCr%20International%20Standard,muss%20die%20Lichtempfindlichkeit%20des%20Kamerasensors%20individuell%20eingestellt%20werden., zuletzt geprüft am 13.08.2021
- [15. URL] https://praxistipps.chip.de/was-bedeutet-brennweite-einfach-erklart_47971#:~:text=Fachspezifisch%20gesehen%20beschreibt%20der%20Begriff%20%22Brennweite%22%20den%20Abstand,Kamerasensor%20abgebildet%20sein%20und%20somit%20fotografiert%20werden%20soll., zuletzt geprüft am 13.08.2021
- [16. URL] <https://www.lange-ritter.de/beratung/acrystal/thema-technik/vermeidung-von-luftblasen/>, zuletzt geprüft am: 13.08.2021
- [17. URL] <https://www.justintools.com/unit-conversion/length.php?k1=pixels&k2=micrometers>, zuletzt geprüft am: 13.08.2021

- [18. URL] http://ftp.syris.com/SYRIS_ACS_DVD-ROM/UserGuideManual/Reader/SYRDF5-S2MS%20%26%20SYRDF6-PMS/About%20FAR_FRR_EER.pdf, zuletzt geprüft am: 13.08.2021
- [19.] Mieloch, Krzysztof et al. (10. 2008): HIERARCHICALLY LINKED EX-TENDED FEATURES IN FINGERPRINTS, veröffentlicht in/auf: Biometrics Symposium, 2008. BSYM '08
- [20.] Basler, Georg und Schutt, Andreas (12.12.2004): Vortrag: Fingerabdrucksysteme, veröffentlicht in/auf: Humboldt-Universität zu Berlin
- [21.] Jain, Anil et al. (im Zeitraum 20-24.08.2006 erschienen (Zeitraum der Konferenz)): Pores and Ridges: Fingerprint Matching Using Level 3 Features, veröffentlicht in/auf: 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)
- [22.] Soum, Veasna et al. (16.05.2019): Inkjet-Printed Carbon Nanotubes for Fabricating a Spoof Fingerprint on Paper, veröffentlicht in/auf: ACS Publications
- [23.] Ratha, N.K. et al. (2001): Enhancing security and privacy in biometrics-based authentication systems, veröffentlicht in/auf: IBM Systems Journal (Volume: 40, Issue: 3, 2001)
- [24.] Joshi, Mahesh et al. (17.07.2020): A comprehensive security analysis of match-in-database fingerprint biometric system, veröffentlicht in/auf: Pattern Recognition Letters 138 (2020) S.: 247-266
- [25.] Stopp, Florian (17.05.2021): Erstellung von Fakefingerabdrücken mit dem Tintenstrahldrucker und Untersuchung dieser auf Akzeptanz mit dem Fingerscanner

Anlagen

Teil 1A-I

Anlagen, Teil 1

Anlage 1 ist eine vollständige Sammlung der innerhalb dieser Arbeit aufgenommenen Bilder. Weiterhin werden in den jeweiligen Ordnern die zugehörigen Ergebnisse der Messungen und Markierungen, die mit den Programmen ImageJ und GIMP eingefügt wurden, gezeigt. Die Ordner sind in der NextCloud der TU-Chemnitz abgespeichert und können bei Bedarf als Link geteilt werden. In allen Dateinamen werden für die Finger die Abkürzungen genutzt, die im Abkürzungsverzeichnis angegeben wurden.

In den Ordnern „Abdrücke_T1_Originale“ und „Abdrücke_T2_Originale“ sind die Originalabdrücke der beiden Testpersonen gespeichert. Zu jedem Finger ist zusätzlich die für eine Fakeherstellung vorbereitete Version gespeichert. Das bedeutet, das Bild wurde linear umgekehrt und zugeschnitten.

In den Ordnern „Originale_Bilder Scanprogramm“ sind die Scanergebnisse aller Finger aus dem Scanprogramm mit eingezeichneten Minuzien gezeigt.

Im Ordner „Versuchsreihe 2“ finden sich die Scanergebnisse der Fakes, die mit unterschiedlichem Glycerinanteil hergestellt wurden. Der jeweilige Testdurchgang pro Finger wird durch die Kürzel „links1“ (oder nur „links“) bis „links3“ gekennzeichnet. Das zugehörige Ergebnis steht am Ende des Dateinamens. Die Materialzusammensetzung der Fakes wird entweder als „1T1g“ (1 T. Glycerin, 1 g Holzleim) oder „2T1g“ (2 T. Glycerin, 1 g Holzleim) angegeben. Mit der Abkürzung „l.u.“ wird die Bearbeitungsmethode Lineare Umkehrung angegeben.

Im Ordner „Bilder_Scanprogramm“ ist eine Aufnahme des erfolgreichen Fakes des linken Mittelfingers mit eingezeichneten Minuzien zu sehen.

In den Ordnern „Versuchsreihe 3_Abdrücke und Fakes T1“ und „Versuchsreihe 3_Abdrücke und Fakes T2“ sind die Ergebnisse der dritten Versuchsreihe festgehalten.

In den Ordnern „Originale_zugeschnitten und vermessen“ sind die zugeschnittenen Versionen der Originalabdrücke gespeichert.

Die Ordner „Messgrößen“ enthalten für alle Finger die Messergebnisse der Papillarlücken, eine Abbildung mit dem eingezeichneten Messbereich (Region of Interest) und gegebenenfalls eine Abbildung für die Verbindungslinie zwischen zwei Kernen (Cores). Zu allen Messungen liegt eine Tabelle aus dem Programm ImageJ vor. In diesen sind alle Längenangabe in der Einheit Pixel zu finden. Weiterhin existieren für beide Testpersonen Ordner mit dem Namen „Fakes“, in denen die Messergebnisse der Fakes aus Versuchsreihe 3 angegeben werden. In diesen befindet sich für jeden Finger eine Ergebnissammlung.

Zu Beginn werden die Bilder der Fakes in die Ordner „mit Überzug“ und „ohne Überzug“ unterteilt. Die zugehörigen Bilder wurden nach dem folgenden Muster benannt: Abkürzung des Fingers_Testergebnis der Durchgänge_Wert Quality Threshold_Wert FAR. Zu jedem

Fakeabdruck mit erfolgreichem Testergebnis gibt es je eine Abbildung mit den vermessenen Papillarlücken und Luftblasen, sowie dem eingezeichneten Messbereich. Für die meisten erfolgreichen Fakes existiert auch ein Bild mit eingezeichneten Minuzien aus dem Scanprogramm. Die Messergebnisse sind wieder in Tabellen des Programms ImageJ gespeichert. Dort sind alle Werte in der Einheit Pixel angegeben. Diese sind alle mit der Nummer des zugehörigen Testdurchgangs nummeriert.

Im Ordner zur Versuchsreihe 4 wurden die Abbildungen der Fotografien im Ordner „unbearbeitete und bearbeitete Aufnahmen“ gespeichert. Dort sind sie nach dem Datum ihrer Aufnahme und den jeweiligen Bearbeitungsmethoden sortiert. In jedem dieser Ordner befinden sich die Testfotografien der Finger, die während ihrer jeweiligen Bearbeitung aufgenommen wurden. Die Aufnahmen, deren Kameraeinstellungen in Tabelle 12 gezeigt werden, sind durch den Namenszusatz „für Tests genutzt“ gekennzeichnet. Weiterhin enthalten die Ordner die vorbereiteten Bilder, deren Bearbeitungsmethoden in Abschnitt 4.4.1.3 angegeben werden. Zu jeder dieser Abbildungen liegt eine vergrößerte Variante vor. Die Ergebnisse aus diesen Vorlagen hergestellten Fakes befinden sich im Ordner „Scantests mit Überzug“. Diese Aufnahmen werden dort in die Ergebnisse der Abdrücke mit und ohne Pulverbearbeitung unterteilt.

Im Ordner „ohne Pulver“ richtet sich die Struktur der Dateien nach Abbildung 47. Die Ergebnisse werden nach den Nummerierungen der Reihen auf der Klarsichtfolie sortiert. Die Namen der Ordner lauten daher „reihe 1“, „reihe 2“ und „reihe 3“. In letzterem werden die Bilder der Daumenfakes nach den Positionen der Abdrücke auf der Folie sortiert. Die Fakes haben eine Kennzeichnung mit „Links“, „Mitte“ und „Rechts“. Bei den mit Pulver durchgeführten Tests im Ordner „Pulver“ sind die Ergebnisse nach den Fingern r4 und r5 sortiert. Die Struktur innerhalb dieser richtet sich nach Abbildung 48. Somit gibt es für beide Finger wieder Ordner mit dem Reihennamen und die Aufnahmen der Fakes sind nach ihren Positionen auf der Klarsichtfolie sortiert. Im Ordner „reihe 4“ des Fingers r5 befinden sich die einzigen erfolgreichen Fakeaufnahmen. Ihre Namen orientieren sich an den Aufnahmen der dritten Versuchsreihe. Zu jedem erfolgreichen Scanergebnis existiert eine zusätzliche Aufnahme mit eingezeichneten Minuzien aus dem Scanprogramm (Name: „Bild Scanprogramm“).

Im Ordner „Messergebnisse“ sind wieder die Maße zu den verschiedenen Merkmalen der Fakes zu finden. Die Ergebnisse aus diesem Ordner richten sich bezüglich ihrer Art und Bezeichnung nach denen der Ergebnisse, die in Versuchsreihe 3 beschrieben wurden.

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.

Burgstädt, den 23.08.2021

Florian Stopp