

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Schlussbericht

Verbundprojekt Zwanzig20: Berührungslose Personenidentifikation mittels fälschungssicherem 3D-4-Finger-Scanner[3D4F]

Teilprojekt 5: Modellierung der 3D-FingerprintGEOmetrie für Abrollung und PAD-Aspekte [3D-GEOPAD]

Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen:	03ZZ0447E
Projektlaufzeit:	01.10.2018 bis 31.03.2021

Berichtspflichtiger: Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e. V. (ZBS)

Projektleitung: Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Franke

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurze Darstellung	3
1.	Aufgabenstellung	3
2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand mit besonderem Bezug zu Arbeiten im Teilprojekt	7
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
II.	Eingehende Darstellung	8
1.	Verwendung der Zuwendung	8
2.	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	28
3.	Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	29
4.	Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschrittenen Verwertungsplans	29
5.	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	30
6.	Veröffentlichungen der Ergebnisse aus dem Projekt	30
7.	Verwendete Literatur	31

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Gesamtziel des Vorhabens „Berührungslose Personenidentifikation mittels fälschungssicherem 3D-4-Finger-Scanner“ ist die Erforschung und Entwicklung von geeigneter Gerätetechnik sowie von Methoden und Verfahren, die die berührungslose 3D-Erfassung von Fingerabdruckstrukturen erlauben, sie analysieren und sie vergleichbar machen mit z.B. in Datenbanken gespeicherten, konventionellen Fingerabdrücken. Die Ergebnisse sollen in einem Demonstrator darstellbar sein. Der Scanner soll alle vier Finger einer Hand und beide Daumen gleichzeitig berührungslos und für den Anwender irritationsfrei mittels einer 3D-Sensorik erfassen. Die Aufnahme- und Ergebnisbildqualität der Scannerlösung soll den hohen Anforderungen des EBTS 2013 Appendix F der amerikanischen Bundesbehörde FBI entsprechen. Die völlig berührungslose 3D-Erfassung bietet Vorteile für die Anwendersicherheit (Vermeidung der Übertragung von Krankheiten) und soll neue Möglichkeiten zur robusten Personenidentifikation auf Grundlage von 3D-Merkmalen und zur Abwehr von Täuschungsversuchen eröffnen. Der Demonstrator soll so gestaltet sein, dass Nutzer mit dem Gerät einfach, intuitiv und effizient auch ohne Vorwissen und Hilfestellungen interagieren können.

Im Mittelpunkt des Teilvorhabens 3D-GEOPAD stand die Erforschung und Entwicklung von Datenverarbeitungslösungen, um die erfassten 3D-Rohdaten für nachgelagerte erkennungsdienstliche Analysen aufzubereiten und von Möglichkeiten zur Erkennung von Täuschungsversuchen auf der Grundlage von 3D-Merkmalen aus der Datenanalyse. In diesem Zusammenhang legt 3D-GEOPAD seinen Fokus auf Merkmale, die aus der erfassten 3D-Mikro-(Fein-)struktur („3D-Fingerabdruck“) ableitbar sind. Weiterhin wurde an der systemtechnischen Konzeption der 3D-Datenerfassung mitgearbeitet, da die bereitgestellten primären Datenqualitäten unmittelbar die erzielbaren Qualitäten der Verarbeitungsergebnisse beeinflussen. Zusammengefasst wurden

- Verfahren zur Simulation konventioneller (elektronischer) 2D-Fingerabdruckbilder aus 3D-Daten entwickelt und für den Einsatz im Demonstrator unter Berücksichtigung der Anforderungen des EBTS 2013 Appendix F umgesetzt. Hierbei wurden ergänzend Fragen der 3D-Datenverbesserung, -segmentierung und -fusion, 3D-2D-Projektion sowie der 2D-Datenverbesserung betrachtet und in unterschiedlichen Verarbeitungsketten abgebildet.
- Möglichkeiten der Presentation Attack Detection (im weiteren PAD) für 3D-Aufnahmesysteme erarbeitet und Anforderungen an die systemtechnische Umsetzung definiert, Methoden und Verfahren prototypisch umgesetzt und in Abstimmung zu den bereitgestellten Datenqualitäten bewertet.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung (ZBS) wurde 1994 als Spin-Out der TU Ilmenau (Forschungsgruppe „Bildverarbeitung/Mustererkennung“, Fachgebiete „Graphische Datenverarbeitung“) gegründet. Mit diesem Bezug kann das ZBS auf über 40-jährige Erfahrungen im Bereich Bildverarbeitung und -analyse mit vielfältigsten Anwendungsbezügen zurückgreifen.

Auf themenrelevanten Gebieten verfügt der ZBS e.V. über reiche Erfahrungen zur Erzeugung, Verarbeitung und Analyse von 3D-Punktwolken sowie von multimodalen bildhaften Daten (3D, optisch multispektral), die Ausgangspunkt der Bearbeitung des vorliegenden Teilverhabens sind. Im Besonderen zu nennen sind hierbei Projekte zu Themen mit unmittelbaren Bezug zur Verarbeitung von 3D-Daten, wie zum hochpräzisen 2D- und 3D-Messen in unterschiedlichen Messvolumina für technische und medizinische Anwendungen (Beispiele: Sternsensorik, Shoedigit, 3D-Industriemeßsysteme IOF-Kolibri, 3D-Mikroskopbildanalyse, Datenverarbeitung für Nanomess- und Positioniersysteme) oder zur Verarbeitung von 3D-Punktwolken (Segmentierung, Triangulation und Flächenrechnung, 3D-Objektbildung und -vermessung, Projekte z.B. EA-3D-IMSY, Förderkennzeichen 01M 3020 C9). Des Weiteren gehören die Nutzung von 3D-Aspekten in der klassischen Bildverarbeitung und in 2D-Datendomänen sowie Methoden zur Verarbeitung von fusionierten Daten aus Bildsensorverbünden, z.B. 3D und RGB, seit einigen Jahren zum Kompetenzportfolio des ZBS e.V..

Das Vorhaben wurde als Verbundvorhaben im Rahmen der Allianz „3Dsensation“ des BMBF durchgeführt. Die Projektpartner JENETRIC GmbH(JC) – Koordinator, Systemdesign, ART-KON-TOR GmbH(AKT) - Bedienkonzepte, Docter Optics SE(DO) - Optik, Linguwerk GmbH(LW) – makroskopische Szenenanalyse für PAD, Technische Universität Chemnitz – Professur für Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement(TUC) - Nutzerstudien, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) – 3D-Datenerfassung und Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V. (ZBS) bearbeiteten auf Basis eines Kooperationsvertrages und eines abgestimmten Arbeitsplans das Verbundprojekt und bringen dabei ihr spezifisches Know-how ein.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Bei der Antragsstellung wurden ursprünglich 26 Monate für das Projekt geplant und bewilligt. Das Teilverhaben war in 4 Arbeitspunkte gegliedert, deren Bearbeitung die Tabelle 1 widerspiegelt. Sie gibt auch Aufschluss über Abweichungen zwischen ursprünglichem Plan und den Änderungen, die sich aus Zwischenergebnissen und Erfordernissen der Kooperation zwischen den Verbundpartnern ergaben. Inhaltlich las-

sen sich die Veränderungen im Ablauf durch die Darstellung des Projektstandes und der Projektergebnisse zu den Meilensteinen zusammenfassend charakterisieren:

Meilenstein 1 (Monat 12):

- Systemkonzept und Anwendungsszenarien wurden planmäßig definiert.
- Ursprünglich in Meilenstein 2 vorgesehene Lösungsansätze zur parametrischen Transformation von 3D auf 2D wurden bereits zum Meilenstein 1 erarbeitet und dafür ein Verfahren entwickelt. Die Gründe dafür lagen in erhöhter Priorisierung (Ergebnis von Projekttreffen) und in noch fehlenden Rohdaten aus der 3D-Datenakquise.
- Aus eben diesen Gründen wurde die Erarbeitung von Verfahren zur Erzeugung von reduzierten 3D- Beschreibungen aus 3D-Rohdaten in den Meilenstein 2 verschoben.

Meilenstein 2 (Monat 20):

- Wie oben begründet (MS1) wurden im Austausch gegen die Modellierung der Abbildung 3D auf 2D hier nun Verfahren zur Erzeugung von reduzierten 3D- Beschreibungen aus 3D-Daten entwickelt und umgesetzt.
- Planmäßig wurden Ansätze zur Lebend-(/Fälschungs-)erkennung aus 3D- Daten erarbeitet und bewertet.

Meilenstein 3 (mit genehmigter Verlängerung auf Monat 30 verschoben):

- Die entwickelten Verfahren wurden für den Demonstrator bereitgestellt, dort getestet und bewertet.

Tabelle 1: Planung und tatsächlicher Ablauf des Teilprojekts 3D-GEOPAD inklusive Meilensteinen

AP Nr.	AP Titel	Jahr	2018				2019				2020				2021	
			Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
1.5	Systemgestaltung		■	■	■											
4.5	Datenanalyse & Auswertung			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
5.5	Presentation Attack Detection(PAD)															
6.5	Zertifizierung & Normierung			■	■											
7.5	Demonstrator			■	■	■										

während des Projekts formulierten hohen Anforderungen an die Bearbeitungszeit weitere personelle Aufwände.

Zur Kostendeckung der zusätzlichen Arbeiten wurden bewilligte Mittel für Material und sonstige unmittelbare Vorhabenkosten umgewidmet. Die Mittel für Material waren ursprünglich für den Aufbau eines eigenen Aufnahmesystems geplant, um frühzeitig Testdatensätze für den Verfahrensentwurf erzeugen zu können. Die zu Beginn des Projektes erarbeiteten physikalischen und technisch-optischen Randbedingungen ließen den Aufbau eines eigenen Demonstrators allerdings nicht zu. Aus den sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten standen noch genehmigte Mittel für die Beschäftigung von wissenschaftlichen Hilfskräften zur Verfügung. Zum Zeitpunkt der Antragsstellung am 03.04.2020 wurden sie nicht mehr in vollem Umfang bis zum Vorhabensende benötigt. Die Umwidmung wurde vom Projektträger am 19.06.2020 genehmigt.

Durch die Coronapandemie haben sich Verzögerungen, u.a. aufgrund von Liefer-schwierigkeiten und Kurzarbeit bei den Projektpartnern, ergeben, die sich auch auf die Arbeiten des ZBS auswirkten. Auf Initiative mehrerer Projektpartner wurde durch den Verbund am 01.08.2020 eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes um 4 Monate beantragt und am 17.08.2020 durch den Projektträger genehmigt. Der ursprüngliche Projekt- und Meilensteinplan wurde im Verbund entsprechend angepasst und mit dem Projektträger abgestimmt.

In Absprache mit dem Projektkoordinator wurden folgende teilprojektbezogene Ziele im Projektverlauf verändert oder gestrichen. Im Antrag wurde als ein Ziel der Datenverarbeitung die Beschreibung von Fingerabdruckmerkmalen (z.B. Minutien, Wirbeln) aus 3D-Daten und Verfahren zum Abgleich, also dem Matching dieser 3D-Fingerabdruckmerkmale, für die Personenidentifikation geplant. Es hatte sich früh im Projektverlauf herausgestellt, dass der Abgleich von Fingerabdrücken im Demonstrator vom Projektkoordinator Jenetric nicht vorgesehen war. Daher wurde diese Zielstellung zugunsten höher priorisierter Aufgaben im Zusammenhang mit der 3D-Datenakquise (Erreichen hoher Datenqualitäten) und PAD abgewandelt. Ursprüngliche Überlegungen, zeitliche Änderungen in den Mikrostrukturen der 3D-Daten für PAD-Zwecke zu nutzen, konnten im Rahmen des Projektes nicht validiert werden. Dies war dem Fehlen einer hinreichenden Anzahl von 3D-Daten aus Aufnahmesequenzen des Demonstrators geschuldet und hängt damit unmittelbar mit dem Stand der Aufnahmetechnik zusammen, der im Vorhaben erreicht werden konnte. Das in der Teilverhabenbeschreibung formulierte Ziel, eine Versuchsplattform für die frühzeitige Erprobung von algorithmischen Ansätzen aufzubauen, wurde nicht umgesetzt (siehe Begründung zum Umwidmungsantrag an den Projektträger vom 03.04.2020).

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand mit besonderem Bezug zu Arbeiten im Teilprojekt

Abbildung 3D - Daten in 2D – Abdruck

Das im Projekt zu entwickelnde System soll berührungslos die Geometrie der Fingerfeinstruktur hochgenau in 3D erfassen und hebt sich dadurch von Seiten der Datengrundlage stark von den bisher bekannten Systemen ab. Da aktuelle für Erkennungsdienste genutzte digitale Fingerabdruckdaten ausschließlich 2D-Erfassungsprinzipien nutzen, diese aber derzeit den Vergleichsstandard darstellen, sind diese primären Daten nicht ad hoc kompatibel. Um die Rückwärtskompatibilität und die Nutzbarkeit mit den vorhandenen Datenbeständen zu gewährleisten, sind Verfahren zur Abbildung von dreidimensional erfassten Fingerabdrücken zu 2D-Bildern von Interesse. Bei dieser Transformation muss die Verformung des Fingerabdrucks berücksichtigt werden, die bei konventionellen Abdrücken auftritt. U.a. in [1] wird ein Verfahren hierfür vorgestellt, dass die Fingergröbform dreidimensional erfasst und zur Verzerrung eines kontaktlos erfassten elektronischen 2D-(Textur-)Fingerbildes nutzt. Hier wird der für die Verformung angenommene Druck unabhängig von der Fingerform festgelegt, was eine unrealistische, wenig flexible Modellannahme ist. Weiterhin gibt es zahlreiche Veröffentlichungen zur parametrischen Modellierbarkeit von Deformationen der Fingergeometrie jedoch ohne konkrete Bezüge zum Projektgegenstand.

Kompakte Beschreibung von 3D Merkmalen der Finger-Feinstruktur

Merkmale der Finger-Feinstruktur können anhand ihres Verwendungszwecks unterschieden werden:

- In [2] wurden Feinstrukturmerkmale aus 2D-Texturbildern mit 3D-Informationen der Fingergröbform ergänzt, um die Aussagekraft zu steigern. Diese Möglichkeit ist mit den Ergebnissen des Vorhabens 3D4F mindestens auch erreichbar. Für erkennungsdienstliche Zwecke können zukünftig die aus 2D-Abdrücken bereits bekannten Merkmale, wie Minutien und Poren, als 3D-Objekte beschrieben und detektiert verwendet werden.
- Ein weiterer Zweck, für den Merkmale der Feinstruktur verwendet werden können, ist die Wiedererkennung bestimmter Positionen in Aufnahmesequenzen. Hierfür können allgemeingültige, nicht fingerabdruckspezifische 3D-Merkmale wie Intrinsic Shape Signatures [3] oder SIFT3D [4] verwendet werden. Im Vorhaben 3D-GEOPAD wurde die Eignung dieser 3D-Merkmale in Bezug auf die Verarbeitungsziele (PAD, Datenfusion) und unter Berücksichtigung der erreichten Datenqualitäten des Demonstrators untersucht.

Presentation Attack Detection (PAD)

Zur PAD existieren vielfältige Ansätze anhand von kontaktbasierten 2D-Aufnahmen [5] oder unter Berücksichtigung zusätzlicher Sensoriken [6]. Für PAD anhand der

dreidimensional erfassten Feinstruktur der Fingerabdrücke oder aus Sequenzen dieser Feinstruktur (Teilziel in 3D-GEOPAD) sind derzeit keine Verfahren bekannt. In [7] werden Mikrobewegungen der menschlichen Haut beschrieben, allerdings sind diese bisher nicht im Zusammenhang mit PAD verwendet worden.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das ZBS hat sich mit den Partnern der anderen Teilprojekte bei regelmäßigen Projekttreffen und monatlichen Telefonkonferenzen ausgetauscht. Besonders hervorzuheben ist der regelmäßige Austausch mit dem IOF und Jenetric, um das Ziel einer nach FBI Standard zertifizierbaren 3D-Daten- und Ergebnisbildqualität zu erreichen. Es haben sich keine Kooperationen mit Institutionen oder Unternehmen, die nicht Teil des Projekts sind, ergeben. Im Rahmen der Projektarbeiten sind folgende Module entstanden, die für die weitere Kooperation bzw. im Rahmen der Verwertungskonzeption verwendet werden können:

1. GEOPAD - Funktionsbibliothek und –API
2. Tools zur Visualisierung und Bewertung der 3D-Datenqualität
3. Funktionsbibliothek zur Fingersegmentierung auf Texturbildern

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung

AP 1 Systemgestaltung

AP 1.5.1 Stimmiges Gesamtkonzept und Erfordernisse

Ziel des Vorhabens 3D4F waren Hardware- und Softwareentwicklungen für einen berührungslosen 3D-Fingerabdruckscanner. Der Scanner soll hochauflöste 3D-Daten der Finger beider Hände und beider Daumen erfassen (4-4-2 Aufnahmeregime) und als simulierte 2D-Fingerabdruckdaten bereitstellen, die den Kriterien einer FBI-Zertifizierung (Auflösung, Vollständigkeit, usw.) nach EBTS¹ – Appendix F genügen. Die allgemeinen Vorteile der berührungslosen Erfassung hinsichtlich Ergonomie, intuitiver Nutzerführung und Hygiene wurden im Rahmen der Erarbeitung eines stimmigen Gesamtkonzeptes im Kontext mit der technisch-optischen Umsetzung der 3D-Datenerfassung und –verarbeitung diskutiert. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden in einem „Lastenheft 3D-Fingerabdruckscanner“ [8] festgehalten, das die wesentlichen Randbedingungen für die Entwicklungen der Teilprojekte festlegt und gegenseitig abstimmt. Die technisch-optische Entwicklung des Aufnahmesystems wurde während der gesamten Projektlaufzeit in mehreren Treffen der Projektpartner fort-

¹ Electronic Biometric Transmission Specification [16]

geführt (beispielsweise am 26.03.2019 bzgl. des Sensoraufbaus und der Abbildungsleistung, am 09.05.2019 zum Sensoraufbau und den Möglichkeiten der Schärfentiefeerweiterung, am 11.03.2020 zu den Problemen der 3D-Datenerzeugung). Das Teilprojekt 3D-GEOPAD begleitete und unterstützte diesen Prozess beratend und mit Untersuchungen zu Datenqualitäten (siehe dazu AP 4.5.2).

AP 1.5.2 Softwareschnittstellen und Forderungen an API's / GEOPAD-Bibliothek im Demonstrator

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Jenetric wurden Datenübergabe- und Prozessschnittstellen für das reibungslose Zusammenspiel der Datenverarbeitungsmodule der Teilprojekte in der Demonstratorlösung spezifiziert und entsprechend für die Funktionen im Teilprojekt 3D-GEOPAD umgesetzt. Als Eingabe der API² des ZBS e.V. wurde das Argus-Format des Projektpartners IOF für 3D-Daten und eine einfache Bildklasse für Texturbilder festgelegt. In einer Ausgabeparameter-Struktur der GEOPAD-Bibliothek werden Informationen zum internen Programmablauf für das Rahmenprogramm bereitgestellt, um Rückkopplungen zum Bearbeitungsprozess zu ermöglichen. Nach dem Prozessieren der Eingabedaten mit dem in Abbildung 1 dargestellten Programmablauf werden simulierte 2D-Fingerabdruckbilder der erfassten Finger einzeln und als Gesamtbild ausgegeben. Die Ausgabe eines PAD-Deskriptors mit Ergebnissen des internen PAD-Funktionsmoduls zur Fälschungserkennung ist in der GEOPAD-Bibliothek vorbereitet.

AP 1.5.3 Charakterisierung der Input- und Output-Daten

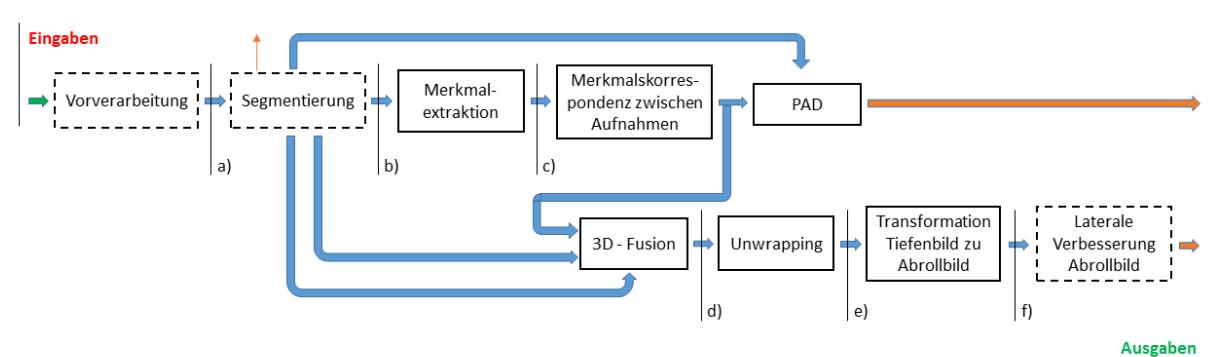


Abbildung 1 Programmablaufplan für GEOPAD-Datenverarbeitung im Teilprojekt 3D-GEOPAD

Im Teilprojekt 3D-GEOPAD wurden für diskutierte Varianten und Regimes der 3D-Datenerfassung, den daraus zu erwartenden Datenqualitäten und Datenverfügbarkeiten aus Sicht der Zielstellungen der Datenverarbeitung des Teilprojekts bewertet und mögliche Datenverarbeitungskonzepte erarbeitet. Die Überlegungen, die Entscheidungsgrundlage für die Demonstratorgestaltung und die zugehörigen Verfahrensentwicklungen im Teilprojekt waren, sind nachfolgend dargestellt.

² Application Programming Interface

Passives / Aktives 3D aus einer oder mehreren Kameraansichten

Je nachdem, ob 3D-Daten aus einem Stereo-Kamerapaar („Ansichts“-3D nach VDI2634-Blatt2 [9]) oder durch Fusion mehrerer Ansichten (gemäß VDI2634-Blatt3 [10]) erzeugt werden, ergeben sich unterschiedliche Datenqualitäten und Konsequenzen für die Gestaltung der Datenverarbeitungslösung. Aus Sicht der erforderlichen lateralen Datenverfügbarkeiten kommen nur aktive Ansätze der 3D-Erfassung in Betracht. Bei der Erfassung aus einer Ansicht können die 3D-Daten „nur“ als Tiefebilder (2,5D) betrachtet werden. Es wird nur die in der Ansichtsrichtung sichtbare Oberfläche erfasst. Nicht mehrfach gesehene Bereiche führen zu Abschattungen. Die Minderung der 3D-Strukturauflösung, wenn die Oberflächennormale von der Kamera-/Projektorsicht abweicht (meist am Fingerrand), ist aus Sicht der geforderten Datenqualität kritisch zu bewerten. Allerdings ermöglichen der bildhafte Charakter der Daten und der feste Rasterbezug der 3D-Daten eine effiziente Datenverarbeitung und die Nutzbarkeit von bekannten Methoden der 2D-Bildverarbeitung. Bei der Erfassung des Objekts aus mehreren Ansichten müssen die 2,5D-Teilansichten zueinander registriert und fusioniert werden, um 3D-Daten zu erzeugen. Durch die verschiedenen Ansichten und deren Fusion können 3D-Daten ohne richtungsabhängigen Auflösungsverlust der 3D-Struktur aber mit unterschiedlicher Dichte erzeugt werden. Die Datenerzeugung und auch die anschließende Datenverarbeitung der echten 3D-Daten sind aufwendiger und mit Blick auf die Zeitforderungen an die Datenverarbeitung ungünstiger. Abbildung 2 zeigt beispielhaft eine Verarbeitungskette für den Fall der 2.5D-Erfassung der Finger. Dieser Ansatz wurde nach Diskussion vom Projektkoordinator favorisiert.

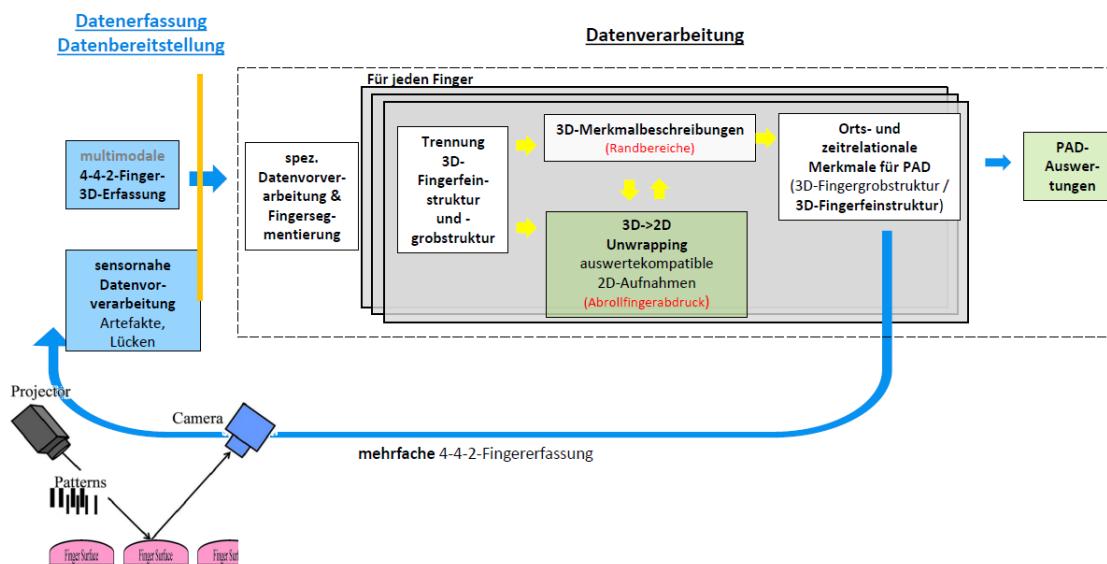


Abbildung 2 Datenverarbeitungskonzept im Fall der 2.5D-Erfassung der Finger [11]

Vollflächige Fingeraufnahme & Verarbeitung oder fingersequentielle Aufnahme & Verarbeitung

Das Aufnahmesystem des 3D-Fingerabdruckscanners soll örtlich und zeitlich hochauflösende 3D-Datensätze erzeugen. Der vollflächigen Aufnahme wurde eine sequentielle Aufnahme bestimmter Bildbereich gegenübergestellt, die eine Reduzierung der Datenmenge und damit eine erhöhte zeitliche Verfügbarkeit an 3D Datensätzen pro Finger ermöglichen soll, die PAD-spezifische Auswertungen ermöglicht.

- Vollflächige Finger Aufnahme & Verarbeitung:

Die gesamte Hand wird vollaufgelöst als 3D-Daten und eventuell Texturbilder (siehe nachfolgend) erfasst. Die Segmentierung der einzelnen Finger ist der erste Verarbeitungsschritt.

- Hoher Datendurchsatz in den ersten Verarbeitungsschritten (3D-Rekonstruktion, sensornaher Datenvorverarbeitung)
- Die zeitliche Datenverfügbarkeit, die insbesondere als Sequenzen für die PAD-Auswertung extrem wichtig ist, wird bei Vollauflösung durch die Übertragungsbandbreiten auf dem Datenkanal sowie durch die Verarbeitungszeiten der 3D-Rekonstruktion/Vorverarbeitung limitiert.
- Multimodal gesteuerte ROI-Fingeraufnahme & fingersequentielle Verarbeitung (siehe Abbildung 3)

Aus ergänzenden Texturbildern können Finger-ROI³'s bestimmt und anschließend die 3D-Erfassung in diesen ROI's durchgeführt werden. Zur Gewährleistung hoher zeitlicher Datenverfügbarkeit sind Kameras mit ROI bzw. MROI Betriebsmöglichkeit erforderlich.

- + Bessere zeitliche Verfügbarkeit von 3D-Daten / Datensequenzen im MROI-Modus
- + gute Datengrundlage für PAD Auswertungen
- + kleineres primäres Datenaufkommen / Aufwand sensornaher Verarbeitung
- Komplexes Aufnahmeregime
- 3D-Gesamterfassung der Hand steht nicht zur Verfügung

³ Region of Interest

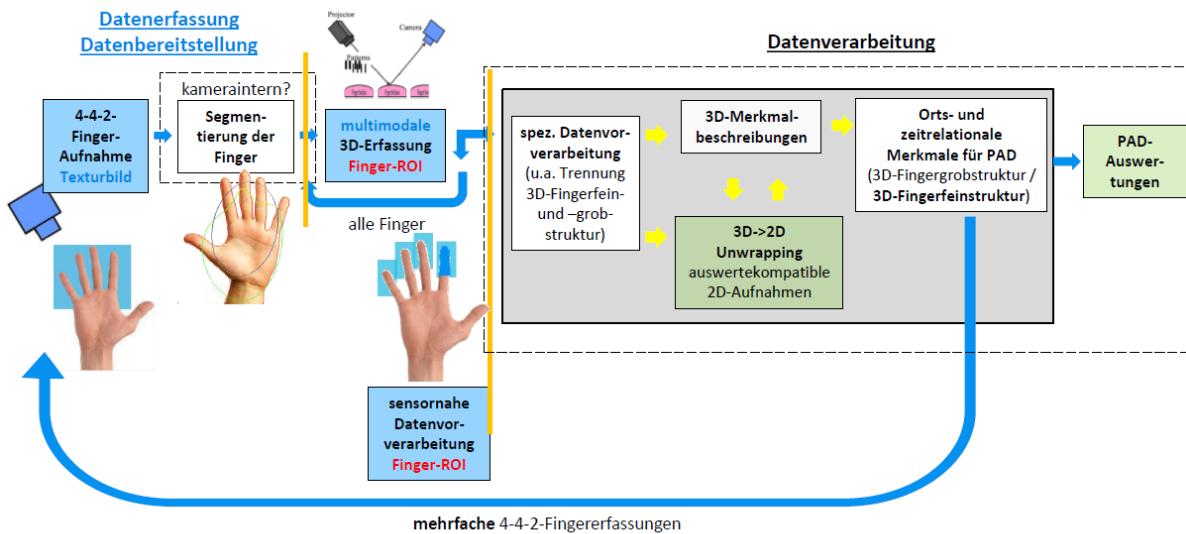


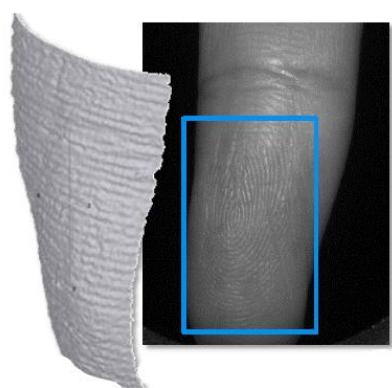
Abbildung 3 Datenverarbeitungskonzept für die sequentielle 3D-Aufnahme der Finger [11]

Ergänzende bildhafte Texturdaten zu Geometriedaten der Finger

Über simultan erfasste Texturbilder können die beabsichtigten Datenverarbeitungsprozesse (3D-2D-Projektion, Merkmalbeschreibung, PAD) wirkungsvoll unterstützt werden, da diese

- mit den vorhandenen Messanordnungen erfassbar und
- bereits mit den erfassten 3D-Daten registriert sind.

Dies gilt insbesondere für die Merkmalsbeschreibung der Feinstruktur durch Ergänzung von 3D-Merkmalen. Auch ist ein Einsatz bei einer Vitalzeichenauswertung (PAD) möglich. Im Vorhaben wurden Texturdaten zur Unterstützung der algorithmischen Datenverbesserung (Lückenschluss), zur Segmentierung, zur 3D-Fusion mehrerer Ansichten genutzt.



Die Varianten wurden mit den Projektpartnern bei einem Treffen am 29.11.2018 diskutiert. Im Ergebnis des Treffens wurde als primäres Ziel der Datenverarbeitung die Erzeugung virtueller Fingerabdruckbilder aus den erfassten 3D-Daten festgelegt. Dabei sollen die erzeugten Abdruckbilder äquivalent zu denen von kontaktbasierten, elektronischen 2D-Scanverfahren sein, um den Abgleich mit existierenden Datenbanken garantieren zu können. Hier sollen alle Finger (inklusive Daumen) in einem oder mehreren Schritten erfasst und verarbeitet werden.

Vom Projektkoordinator wurde festgelegt, dass die 3D-Datenerfassung aus einer Ansicht (VDI 2634 – Blatt 2) durch ein Projektor - Kamera - System realisiert wird. Gleichzeitig erfassbare, pixelregistrierte Texturdaten aus den Musteraufnahmen für die 3D-Rekonstruktion sowie ein Modulationsbild sind insbesondere aus Sicht der Low-Level-Datenverarbeitungsschritte sinnvoll. Die Bereitstellung dieser Daten zu jedem 3D-Datensatz wurde daher vereinbart. Im Demonstrator soll pro Aufnahme eine Sequenz aus zwei Datensätzen (3D-Daten + Texturbilder) für die weitere Datenverarbeitung zur Verfügung gestellt werden.

AP 4 Datenanalyse & Auswertung

Die Datenanalyse und Auswertung stellte den Schwerpunkt der projektbezogenen Arbeiten des ZBS dar. Hier wurden physikalische Modelle zur Beschreibung der Verformung der Fingerspitze beim Drücken auf eine Oberfläche betrachtet und Algorithmen entwickelt, die diese umsetzen, um die erfassten 3D-Daten zu simulierten 2D-Fingerabdruckbildern zu transformieren. Weiterhin war beabsichtigt, 3D-Merkmale, angebunden an die Finger-Feinstrukturen zu entwickeln, die in einer Sequenz präzise verfolgt und für PAD verwendet werden können. Während des Projektes ist die Entwicklung eines Verfahrens zur hochgenauen Fusion mehrerer 3D-Datensätze eines Aufnahmevergangs ergänzend hinzugekommen, um Daten aus Multiwellenlängenaufnahmen, die zur 3D-Messraumvergrößerung (Schärfentiefe) erzeugt werden, zusammenzuführen.

AP 4.5.1 Datenverarbeitung zur Bereitstellung 3D-Daten

Merkmalbasierte Fusion von 3D-Teilansichten (Sweep-, Multispektral-, Multi-view-Erfassung)

Im Zusammenhang mit den diskutierten technisch-optischen Varianten der 3D-Erfassung kommen aus optischen Gründen (Schärfentiefe-Ortsauflösungs-Anforderungen) auch Primärdaten in Betracht, die pro Erfassung nur Teile der Finger in geforderten örtlichen Auflösungen bereitstellen können. Zur Fusion dieser Daten aus zeitlichen Sequenzen (Sweep/Multilambda-Ansatz) vor den eigentlichen Auswerteschritten wurden Methoden untersucht und Verfahrensketten umgesetzt. Diese Arbeiten ordnen sich inhaltlich im AP 4 dem Schritt „Datenverarbeitung zur Bereitstellung 3D-Daten“, hier mit 4.5.1 bezeichnet, zu. Bezüge zu AP 4.5.2, Ableitung von 3D-Merkmalen der Feinstruktur bestehen. Die geänderte Vorgehensweise wurde im Projektkonsortium abgestimmt.

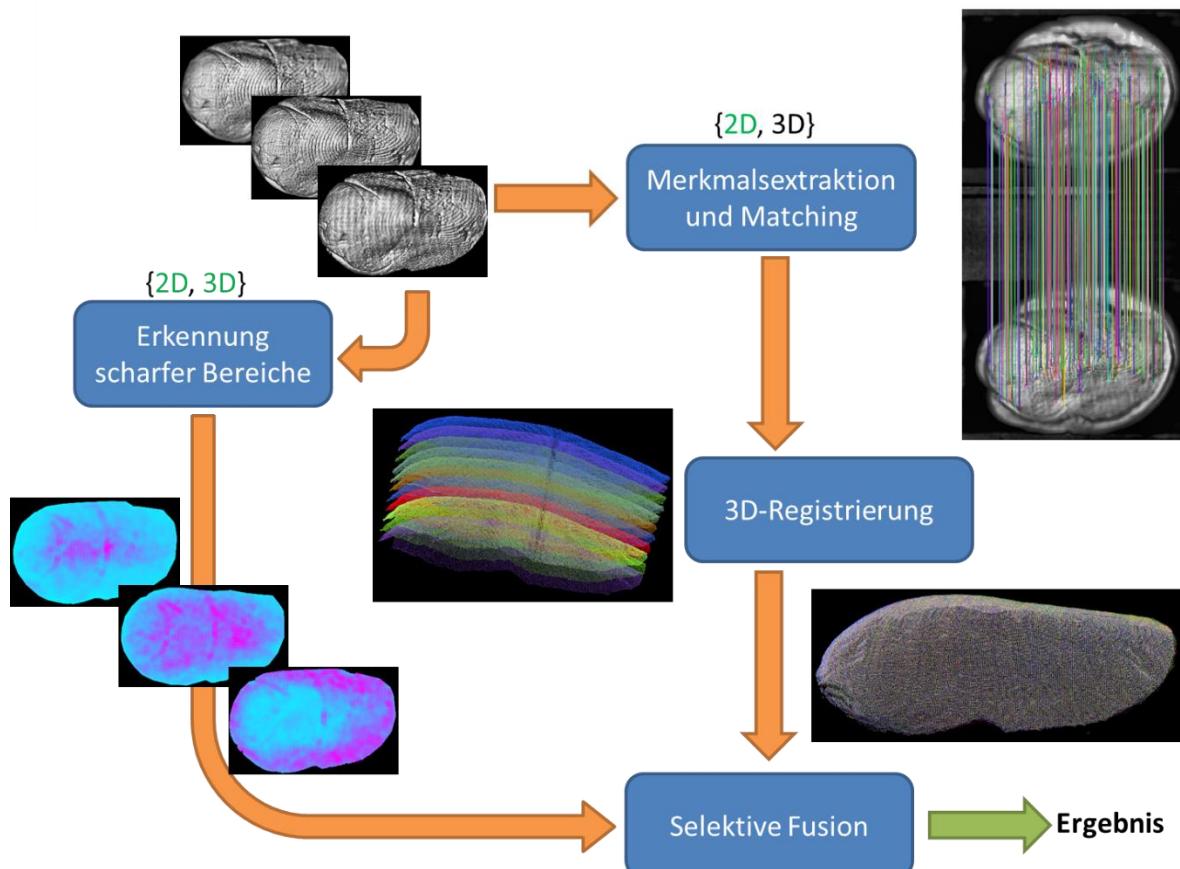


Abbildung 4 Verarbeitungspipeline für die Sweep-Fusion.

Die Verarbeitungspipeline, siehe Abbildung 4, analysiert eine Aufnahmesequenz mit unterschiedlichen Tiefenschärfen und erstellt daraus ein scharfes 3D-Fingeroberflächenmodell. Sie besteht aus den folgenden Kernmethoden: Erkennung scharfer Bereiche, Detektion von Merkmalen der Feinstruktur, Merkmal-Matching in unterschiedlichen Aufnahmen und selektive Fusion.

Die Evaluierung und Machbarkeitsnachweis erfolgte zunächst anhand der Aufnahmen eines Silikonfingers und anschließend anhand realer Fingeraufnahmen, die von IOF zur Verfügung gestellt wurden. Die Registrierung und Fusion der einzelnen 3D-Finger ist um eine Größenordnung genauer als die gestellten Anforderungen.

AP 4.5.2 Datenanalyse & Auswertung

Gegenstand dieses Arbeitspaketes ist die Umsetzung von Verfahren zur Überführung der 3D-Daten in äquivalente 2D-Fingerabdruckdaten. Weiterer Schwerpunkt dieses Arbeitspaketes sind Merkmalbeschreibungen der 3D-Fingerfeinstruktur, Verfahren zur allgemeinen 3D-Datenanalyse und 2D-/3D-Datenverbesserung.

Transformation der 3D-Daten zu simuliertem 2D-Abdruck

Das entwickelte Verfahren zur Transformation der 3D-Daten zu 2D-Abdruckbildern besteht aus den folgenden Schritten.

1. 3D-Datenvorverarbeitung basierend auf Punktewolken- und 2.5D-Daten (Ausreißerentfernung, Segmentierung)
2. Geometrische Transformation 3D→2D mit physikalisch modellierter Fingerverformung
3. Pixelwerttransformationen und Datenverbesserung des 2D-Abdruckbildes

Damit Abgleiche der kontaktlos aus 3D-Daten erzeugten Fingerabdruckbilder mit vorhandenen Abdruck-Datenbanken (kontaktbasierte Erfassung) möglichst zuverlässig funktionieren, müssen das „Abdrücken“ und dabei auftretende Deformationen der Fingeroberfläche gut nachgebildet werden.

Parametrische Verfahren zur 3D→2D Transformation von Fingern modellieren diese meist als bestimmte geometrische Form (Kugel, Zylinder, usw.). Die Modelle weichen zum Teil stark von der realen Fingerform ab, wodurch die Transformation fehlerbehaftet ist. Der in [12] vorgestellte Springs-Algorithmus ist ein iteratives, nicht parametrisches aber physikalisch motiviertes Verfahren. Hier werden 3D-Punkte durch Federkräfte elastisch verbunden und darüber die Wirkung von Abdruckkräften modelliert. Aufgrund der Notwendigkeit das Verfahren in ein festes Verarbeitungszeitregime einbinden zu müssen, wurde dieser Ansatz nicht weiterverfolgt.

Das in [1] vorgestellte Verfahren bietet zur Umsetzung von konsistenten Abdrücken, die den Zielstellungen besser entsprechen, eine geeignete Grundlage. Hier wird die Verformung beim Drücken des Fingers auf eine feste Oberfläche über ein flexibles, im Vorhaben weiter ausgebautes parametrisches physikalisches Modell beschrieben. Das Verfahren ist im Projekt für die Fingerverformung umgesetzt und durch

- eine spezielle Datenvorverarbeitung (Formapproximationen),
- ein physikalisch begründetes parametrisches Verformungsmodell und
- Methoden zur Simulation von druckbedingten Verformungen der 3D-Fingerfeinstruktur durch Morphologieänderungen des simulierten Fingerabdrucks

ergänzt, angepasst bzw. weiterentwickelt worden.

Die Pixelwerttransformation (homogen oder inhomogene Punktoperationen) wandelt die geometrisch transformierten Höhenwerte in die Grauwerte für das Ergebnisbild. Dabei kann der Informationsgehalt, der in den Grauwerten codiert ist, variiert und dem jeweils zu simulierenden Abdruckverfahren angepasst werden. Äquivalent zu klassischen Abdruckbildern wird die Papillarleiste dunkel und der Graben hell dargestellt (0= größter Höhenwert, 255 = kleinster Höhenwert bzw. Hintergrund). In Abbildung 5 wird ein Fingerabdruck gezeigt, der mit einem kontaktbasierten 2D-Scanner erfasst wurde. Für die Verfahren der Pixelwerttransformation wird er als Referenz herangezogen. Die NFIQ2 - Werte (siehe nachfolgend Ausführungen zur Verfahrensbewertung) der Referenzfingerabdrücke lagen im Bereich >70.



Abbildung 5 Durch kontaktbasierten 2D - Scanner erfasster Fingerabdruck. Quelle: JENETRIC GmbH

Abbildung 6 links zeigt ein Beispiel für die direkte Transformation der Höhenwerte in Grauwerte. Hierbei kann aus den Grauwerten auf das Verhältnis der Höhen der Fingerfeinstruktur rückgeschlossen werden. Im Vergleich zu klassischen, eher binären Fingerabdrücken verfügt das Abdruckbild dadurch über einen höheren Informationsgehalt, der an dieser Stelle zur erweiterten Merkmalbeschreibung, z.B. durch Ergänzung klassischer Fingerabdruckmerkmale, genutzt werden kann. Dies könnte zukünftig die Sicherheit der Personenidentifizierung anhand von Fingerabdrücken erhöhen.

Das mittlere Bild von Abbildung 6 zeigt das Ergebnis einer nichtlinearen Pixelwerttransformation, bei der die unteren Grabbereiche der Fingerfeinstruktur dem Hintergrund (255) und obere Leistenbereiche einem Vordergrund (0) zugeordnet wurden. Das Bild erreicht vergleichbar gute NFIQ2-Scores (87) und ist daher aus Sicht der Auswertbarkeit ein sehr gutes Ergebnis. Allerdings kann die Entstehung von Artefakten in der Fingerabdruckstruktur durch falsche Zuordnung von Leisten bzw. Grabenpunkten nicht ausgeschlossen werden. In Abbildung 6 rechts wurde ein histogrammbasiertes Clipping von Grauwerten (Höhenwerten) verwendet, um die Erscheinungsform an klassisch erfasste Fingerabdrücke anzupassen. Die Papillarleistenstruktur wird im Gegensatz zum Referenzabdruck ohne Unterbrechungen abgebildet. Der NFIQ2-Wert ist 70 und liegt somit in der Größenordnung der Referenzabdrücke. Im Gegensatz zu Abbildung 6 links sind nach Pixelwerttransformationen keine Rückschlüsse auf die Höhenverhältnisse der Fingerfeinstruktur mehr möglich.



Abbildung 6 Ergebnisse der Pixelwerttransformation: ohne Manipulation der Höheninformation (links), mittels lokal ermittelter Schwellen ausgeblendete Gräben (mitte), histogrammbasiertes adaptives Clipping der Höhenwerte (rechts)

Die Qualität der simulierten Abdruckdaten wird sehr stark von Einflüssen auf die 3D-Gestalt der Fingerfeinstruktur (Alter der Person, Abnutzung der Fingerfeinstruktur usw.) bestimmt. Viele der Einflüsse werden bei der kontaktbasierten Erfassung durch das Aufdrücken der Leistenstruktur auf einer Kontaktfläche verringert. Es wurden im Vorhaben daher verschiedene Verfahren getestet, um die Papillarleistenstruktur in den bildhaften 3D-Daten hervorzuheben, ohne erkennungsrelevante morphologische Zusammenhänge zu verändern.

Das untersuchte Prinzip des Guided Filters nach [13] entfernt mit Hilfe eines aus den Primärdaten abgeleiteten Steuerbildes strukturerhaltend Messunsicherheiten. Zur Steuerung kann ein pixelregistriertes Merkmalbild der Szene verwendet werden. Abbildung 7 zeigt im mittleren Bild ein Ergebnis, bei dem dieser Filter zur Datenverbesserung angewendet wurde. Das Bild besitzt im Vergleich zum Ausgangsbild weniger Rauschen. Die breiteren Papillarleisten im Beispiel zeigen, dass durch die Verwendung des Filters positiven Einfluss auf die Morphologie der Fingerfeinstruktur genommen werden kann. Die Auswertbarkeit der erzeugten Fingerabdruckbilder nach NFIQ2-Score hängt dennoch stark von der Qualität der 3D-Daten ab.

Ein weiteres leistungsfähiges Verfahren ist ein iteratives strukturgesteuertes Filter. Abbildung 7 rechts zeigt einen Ausschnitt des Ergebnisses, bei dem dieses Filterverfahren verwendet wurde. Der Vergleich mit den nicht gefilterten Daten (Abbildung 7 links) zeigt weniger verrauschte und besser ausgeprägte Papillarleistenbereiche. Es ist erkennbar, dass auch kleine Strukturen erhalten bleiben. Das zeigt, dass keinerlei Manipulation des ursprünglichen Informationsgehalts stattfindet. Die Auswertbarkeit der Ergebnisse lässt sich durch derart adaptive Filter erheblich verbessern.

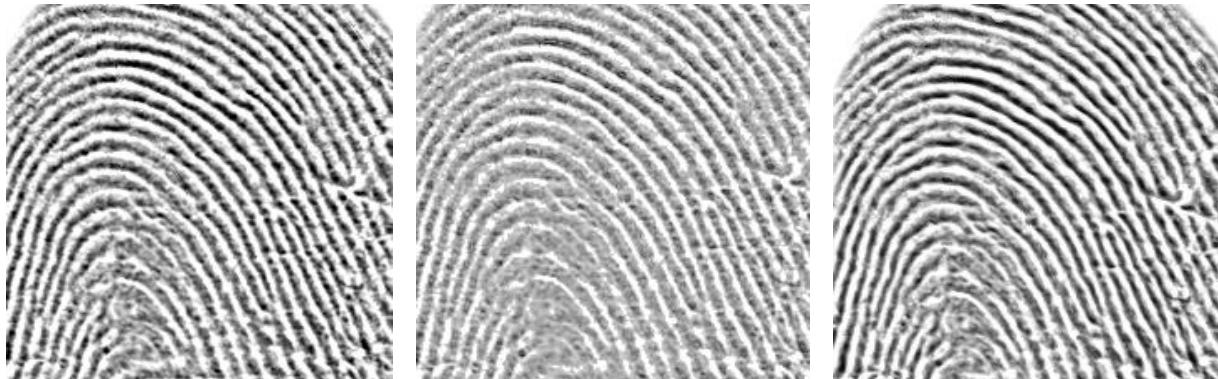


Abbildung 7 Einfluss der Datenverbesserung anhand des Ergebnisbildes: unbearbeitet (links), Guided Filter (Mitte), iterativer Strukturfilter (rechts)

Evaluierung der simulierten Abdruckdaten

Zur Validierung der erzeugten 2D-Abdruckbilder sind die algorithmische Auswertbarkeit durch den NFIQ2⁴-Score und ein Matching-Score verwendet worden. NFIQ2 wird vom National Institute for Standards and Technology als Open-Source-Software zur Verfügung gestellt und gilt international als Standard zur Bewertung der Auswertbarkeit von Fingerabdruckbildern. Die Software wurde während der Entwicklung als Funktionsbibliothek in das GEOPAD Programm eingebunden, um eine automatisierte Auswertung der erzeugten Abdruckbilder zu ermöglichen. Der NFIQ2 Wert wird bestimmt indem mehrere Qualitätsmerkmale (z.B. Sicherheit der Strukturorientierungen, Anzahl der gefundenen Minutien, eine Frequenzanalyse der Leistenstruktur) berechnet und die Auswertbarkeit des Merkmalsvektors durch einen trainierten Random Forest Klassifikator ermittelt wird. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Qualitätsmerkmale und des Random-Forest Trainings ist in der Dokumentation zu NFIQ2 [14] enthalten. Der Matching-Score wurde als Maß für die Genauigkeit der geometrische Verzerrung bei der 3D→2D Transformation verwendet. Dazu wird das erzeugte Abdruckbild mit einem von derselben Person klassisch erfassten Referenzabdruck abgeglichen. Für eine automatisierte Auswertung der Ergebnisse wurde Software SourceAFIS [15] verwendet.

Kompakte Beschreibung von 3D Merkmalen der Feinstruktur

Im Projektverbund wurde zu einem frühen Zeitpunkt festgelegt, dass abgeleitete 3D-Merkmale und merkmalbasierten Beschreibungen keine unmittelbaren erkennungsdienstlichen Aussagen besitzen müssen. Die kompakte Beschreibung der Fingerfeinstruktur mit 3D-Merkmalen bildet dennoch eine wichtige Grundlage für zukünftige Entwicklungen in anderen Projektaktivitäten des Teilprojektes 3D-GEOPAD, wie z.B. zur PAD in AP 5.5.3 oder zur Datenfusion.

Das Ziel der Verarbeitung in diesem Schritt sind charakteristische Orte (Keypoints) in

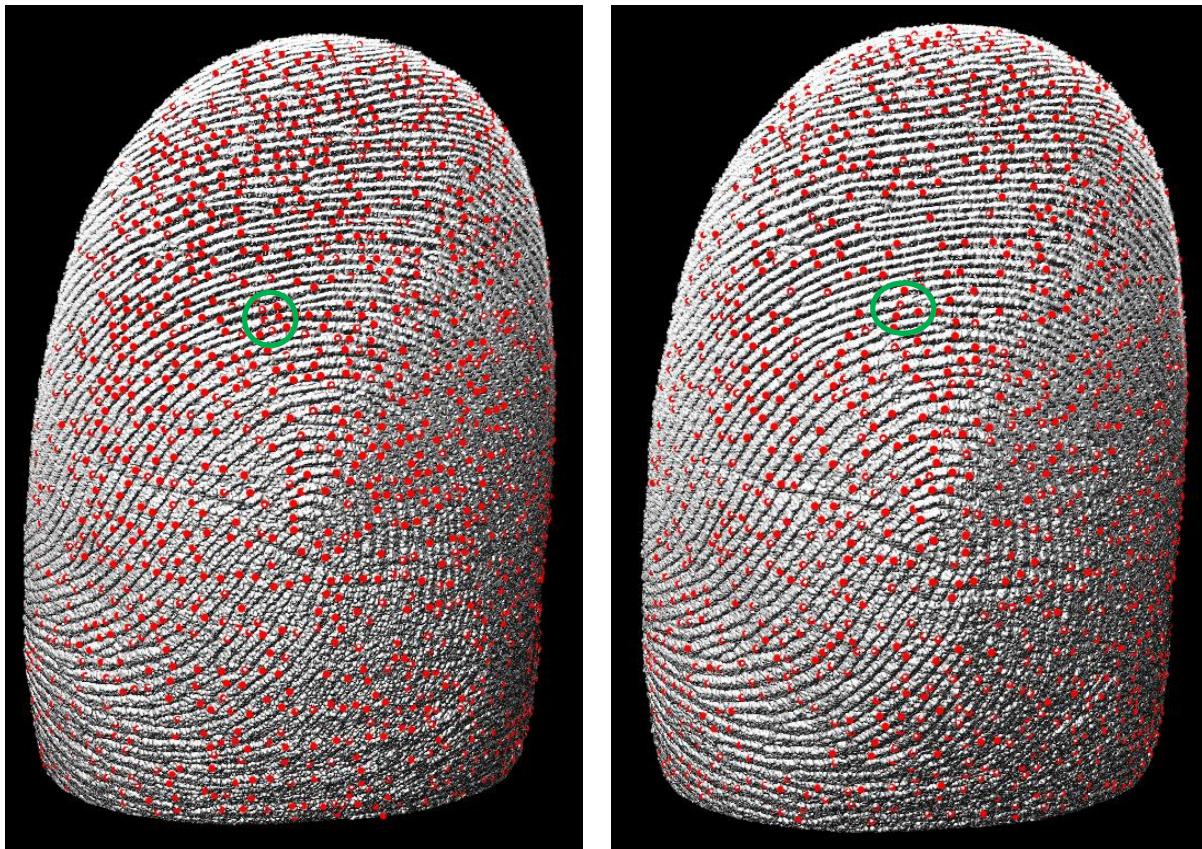
⁴ NFIQ2 = NIST Finger Image Quality

den 3D-Daten, die aus Sicht ihrer Merkmale markant, eindeutig wiedererkennbar und verfolgbar sind, zu finden, so dass sie z.B. in einer Sequenz von Aufnahmen desselben Objekts exakt zugeordnet werden können. Für die Eignung im Rahmen der PAD oder der Datenfusion müssen die den Keypoints zugrundeliegenden Merkmale effizient umsetzbar, robust und poseninvariant sein und Keypoints auf den Daten in hoher räumlicher Auflösung ermöglichen.

Während der Projektlaufzeit sind folgende Verfahren zum Auffinden von Merkmalspunkten in Zusammenhang mit den vorliegenden 3D-Daten getestet worden.

- ISS-Merkmale (Intrinsic Shape Signature) [3]
- SIFT3D-Merkmale (Scale Invariant Feature Transform) [4]

Die Ansätze für die Bestimmung von 3D-Keypoints sind unabhängig gegenüber Skalierung, Rotation und Rauschen. Dadurch sind sie von ihren Eigenschaften durchaus für die Applikation geeignet. Allerdings ist die Größenordnung der Messunsicherheit zu beachten, um charakteristische, aber zufällige Strukturen nicht als Keypoints zu berücksichtigen.



*Abbildung 8 Mit dem ISS-Verfahren ermittelte Keypoints eines Fingers in einer zeitlichen Sequenz
(Datensatz: Messkampagne 18.02.2021).*

Abbildung 8 zeigt die ermittelten Keypoints mit dem ISS – Verfahren für die Aufnahmen eines Fingers in einer Sequenz. Positiv zu bemerken ist, dass die Keypoints sich hauptsächlich auf den Papillarleisten befinden. Das weist auf ein gegenüber Störungen robustes Verhalten hin. Die unterschiedliche Anzahl der ermittelten Keypoints erfordert eine Zuordnung vor der weiteren Nutzung. Das Verfahren benötigt ohne Reduzierung der Punktdichte, um Informationsverlust zu vermeiden, durchschnittlich

ca. 40 Sekunden pro Punktwolke⁵, wodurch es für den Einsatz in zeitkritischen Anwendungen in dieser Form nicht sinnvoll ist.

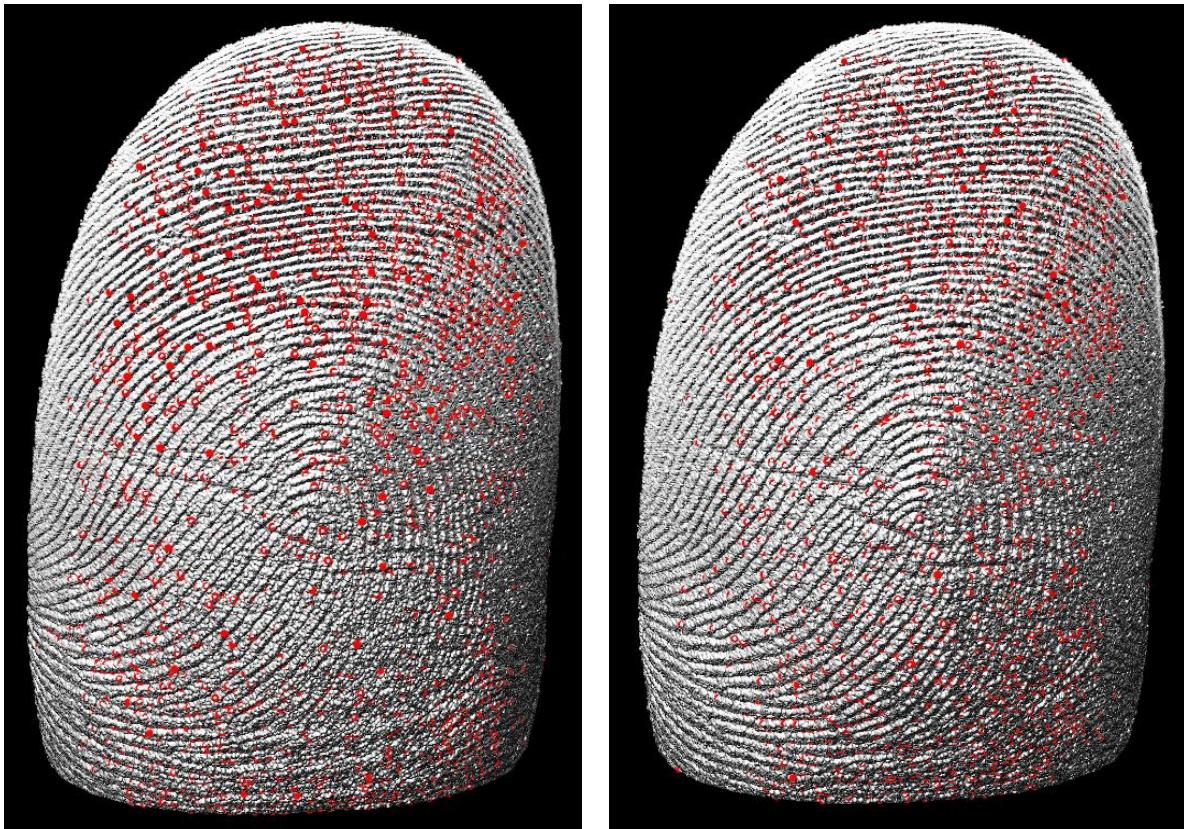
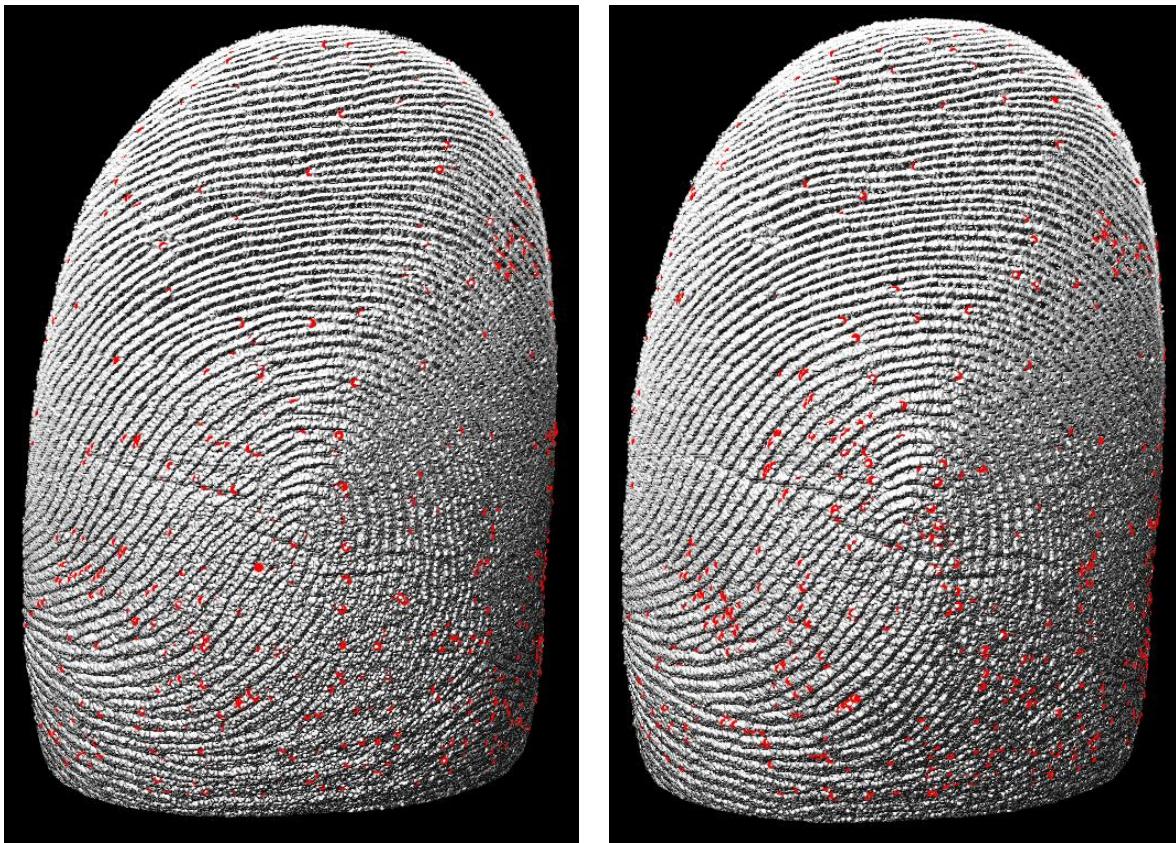


Abbildung 9 Mit dem SIFT3D-Verfahren ermittelte Keypoints eines Fingers in einer zeitlichen Sequenz
(Datensatz: Messkampagne 18.02.2021).

Abbildung 9 zeigt die ermittelten Keypoints mit dem SIFT3D – Verfahren für beide Aufnahmen eines Fingers in einer Sequenz. Das Ergebnis ist dem des ISS-Verfahrens ähnlich, mit einer Verarbeitungszeit von ca. 5 Sekunden pro Punktwolke jedoch deutlich schneller.

Auch klassische charakteristische Fingerabdruckmerkmale (Minutien, o.ä.) können, sofern sicher aus 3D-Bildern erkennbar, als Keypoints genutzt werden. Zur Extraktion dieser fingerstrukturspezifischen Keypoints wurde ein Verfahren umgesetzt, das an Methoden zur Minutienextraktion in klassischen, kontaktbasierten Fingerabdrücken angelehnt ist. Abbildung 10 zeigt die so ermittelten Keypoints für beide Aufnahmen eines Fingers in einer Sequenz.

⁵ Verwendetes Rechnersystem: i9-9900, 32GB RAM, Win10Pro



*Abbildung 10 Keypointermittlung aus klassischen Fingerabdruckmerkmalen
(Datensatz aus Messkampagne 18.02.2021).*

Die Verarbeitungszeit des Verfahrens beträgt im Durchschnitt ca. 1,3 Sekunden. In bisherigen Untersuchungen waren die Genauigkeit und Robustheit der so bestimmten Keypoints für die angedachten Zwecke noch nicht ausreichend. Die gezeigte prinzipielle Nutzbarkeit verfügbarer Verfahren der Fingerabdruckerkennung auch in den erzeugten 3D-Feinstrukturbildern ist jedoch interessant für die zukünftige, eher 3D-getriebene Beschreibung und Erkennung von Fingerabdrücken.

Alle Verfahren wurden mit vorläufigen Daten von variablen Testaufbauten getestet. Die endgültige Bewertung der Verfahren muss daher nach Verfügbarkeit realer Demonstratordaten erneut erfolgen.

Allgemeine Untersuchungen der 3D-Daten

Der ZBS e.V. hat die Erzeugung von 3D-Daten mit Konzepten, Vorschlägen und Auswertungen insbesondere aus Sicht der durch die Datenauswertung in 3D-GEOPAD erzielbaren Datenqualitäten während der gesamten Projektlaufzeit durch ständigen Austausch und auf mehreren Workshops zu bestimmten Problemstellungen (u.a. bzgl. der Messgeometrie oder der Vergrößerung des Messvolumens) unterstützt (siehe AP1). Die Ergebnisse trugen im Wesentlichen zur Spezifikation, Qualifizierung und Umsetzung der Demonstratorlösung bei.

Vergleich 3D-Erfassung: Ansatz gemäß VDI-2634-Blatt 2 gegen Ansatz gemäß VDI-2634-Blatt 3

Der 3D-Datensatz eines Silikonnegativs eines Fingerabdrucks, das aus mehreren Ansichten erfasst wurde, ist mit dem Datensatz aus dem MuSe3h Projekt (eine Ansicht) verglichen worden. Das System zur Erfassung des Silikonmodells verwendete insgesamt 12 Ansichten. Die Teilansichten wurden anschließend zu einem Gesamtmodell zusammengefasst. Die Auflösung der einzelnen Aufnahmen ist geringer als beim vorhandenen System beim Projektpartner Jenetric (MuSe3h). Der Unterschied zwischen Papillarleiste und Graben ist im Silikon schwächer ausgeprägt als bei einem echten Finger. Daher wird nicht die absolute Qualität in der Gegenüberstellung betrachtet, sondern Qualitätsunterschiede in unterschiedlichen Bereichen des Fingers. In Abbildung 11 werden die Randbereiche in den Ergebnissen der 3D→2D - Transformation der beiden Datensätze hervorgehoben gezeigt. Bei dem Bild des Single-View Ansatzes (links) ist gut zu sehen wie die Qualität zum Objektrand schlechter wird. Das liegt an der immer stärker von der Sichtachse der Kamera abweichenden Fingeroberfläche. Es kann nicht mehr in die Struktur „geblickt“ werden, wodurch der Unterschied zwischen Leisten und Gräben geringer wird. Bei der Multi-View Aufnahme (rechts) ist diese Verschlechterung der Bildqualität zu den Objektändern nicht vorhanden. Die Strukturen, die in einer Ansicht schlecht erfasst werden können, werden durch eine Aufnahme aus einer anderen Ansicht ausgebessert. Aus diesen Gründen ist aus Sicht des Teilprojektes 3D-GEOPAD die Verwendung eines Multiview Ansatzes zu empfehlen. Die Ergebnisse dieser Betrachtung wurden im Projektverbund diskutiert.

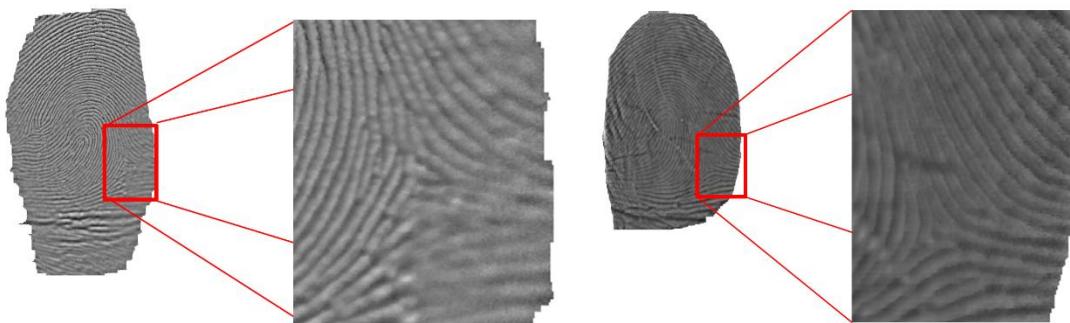


Abbildung 11 Qualitätsunterschiede eines nach VDI-2634-Blatt 2 (links) und eines nach VDI-2634-Blatt 3 erfassten 3D-Datensatzes (rechts)

Auf Flachabdrücke übertragbare 3D-Fingerbereiche

Für die Zertifizierung nach EBTS-Appendix F [16] müssen vom Demonstrator mindestens die Fingerbereiche in der geforderten Auflösung erfasst werden, die bei herkömmlichen Erfassungsmethoden auf Flachabdrücke übertragen werden. Anhand des Datensatzes aus dem MuSe3h - Projekt wurde betrachtet, welcher Bereich der 3D-Daten in dem 2D-Referenzabdruck wiedergegeben wird.

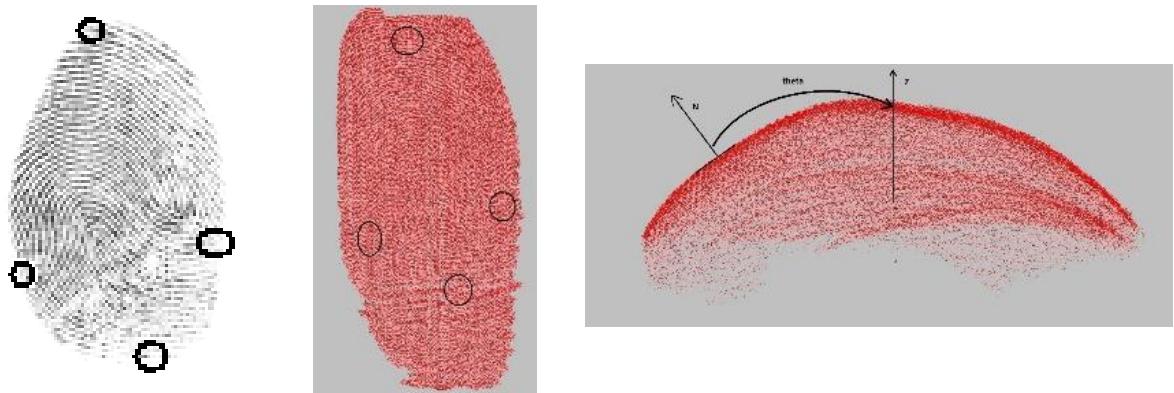


Abbildung 12 Untersuchung des in den Flachabdruck übertragenen Fingerbereichs: anonymisierter 2D-Referenzabdruck(links, Quelle JENETRIC GmbH), 3D-Daten mit markanten Stellen im Randbereich des Flachabdrucks(Mitte), Abschätzung der noch übertragenen Oberflächenneigung (rechts)

Aus den Untersuchungen lässt sich abschätzen, dass im Schnitt Bereiche, die um 35° zur in Abbildung 12 rechts dargestellten z-Achse gekippt sind, noch in die Flachabdrücke übertragen werden. Daraus ergaben sich ergänzende Anforderungen an die 3D-Punktdichte der Sensorik, die in das Lastenheft übernommen wurden.

Unterstützung der 3D-Datenerzeugung

Zur Unterstützung der 3D-Datenerzeugung wurden im Teilprojekt Tools zur 3D-Visualisierung/Bewertung umgesetzt und den Projektpartnern (Jenetric, IOF) zur Verfügung gestellt. Das Tool hebt Eigenschaften der Fingerform und –feinstruktur hervor und hilft, Fehler bei der 3D-Aufnahme (siehe Abbildung 13) zu lokalisieren.

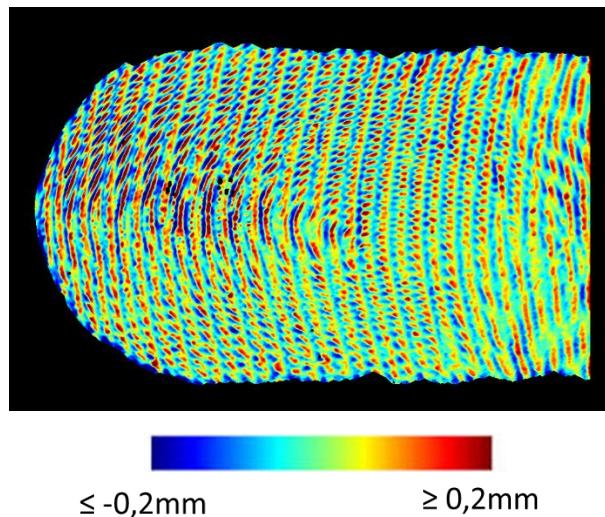


Abbildung 13: Darstellung des systematischen Fehlers bei der 3D-Datenerzeugung aufgrund von Objektbewegungen während der Erfassung

Segmentierung von Mehr-Finger Aufnahmen

Das im Vorhaben entwickelte Verfahren zur Transformation der 3D-Daten zu simulierten 2D-Fingerabdruckbildern kann nur einzelne Finger verarbeiten. Daher ist es wichtig, vorher einzelne Finger bzw. die Daumen zu segmentieren. Eng beieinanderliegende Finger sind hierbei eine Herausforderung, die durch die Einbeziehung von 3D-Daten robust gelöst werden kann. Im Teilprojekt wurde ein Verfahren entwickelt, um die Finger anhand ihrer 3D Information robust voneinander zu trennen. Abbildung 14 stellt die Verfahrensschritte und Resultate exemplarisch dar.



Abbildung 14 von links nach rechts: Maske der 3D-Daten, segmentierte und markierte Fingergrenzen und Finger (Datensatz aus Messkampagne 02.10.2020)

AP 5 Presentation Attack Detection (PAD)

AP 5.5.3 Methoden und Algorithmen

Der ZBS e.V. erforschte im Rahmen des Vorhabens Möglichkeiten und Ansätze zur PAD auf der Basis von 3D-Daten. Ausgangspunkt war zunächst eine Recherche zu klassischen 2D-PAD Ansätzen. Sie analysieren bestimmte Bildmerkmalsvektoren und werten diese mittels eines klassischen Klassifikationsverfahrens oder einer KI⁶ aus, die auf echte Fingerabdrücke und Fälschungen antrainiert wurde [5]. Theoretische Betrachtungen weisen darauf hin, dass die Übertragbarkeit auf geometrische 3D-Fingerdaten zu erwarten ist. Der praktische Nachweis hängt von der Verfügbarkeit einer Datenbank mit Einträgen von 3D-Fingerscans und -Fälschungen ab, die mit dem neuen System erstellt wurden.

Ein interessanter Ansatz zur PAD-Analyse ist die technische Erfassung von Mikrovibrationen, die in der Haut warmblütiger Lebewesen [7] auftreten. Wegen der noch fehlenden Verfügbarkeit realer 3D-Daten wurden im Teilprojekt 3D-GEOPAD Versuche durchgeführt, die Vorarbeiten zur Auswahl geeigneter PAD-Ansätze unterstützten. Dabei wurden zeitlich und räumlich hochauflöste Texturbildserien der Fingeroberfläche aufgenommen und indirekt über Bildmerkmale auf Mikrobewegungen untersucht.

Die Versuche erfolgten mit unterschiedlichen Kameras (Auflösung 1280 x 1024 x 8bpp; Bildrate: 60fps und 1920 x 1200 x 8bpp; Bildrate: 160fps). Das erfasste Bildfeld

⁶ Künstliche Intelligenz

betrug bei 1,5-facher Vergrößerung 7x5mm. Als Lichtquelle diente eine LED, die der Aufnahmesituation für Texturbilder im Demonstrator entspricht. Das Einspannen der Finger oder Fingernachbildungen unterband starke globale Bewegungen wie Zittern. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 15 dargestellt.

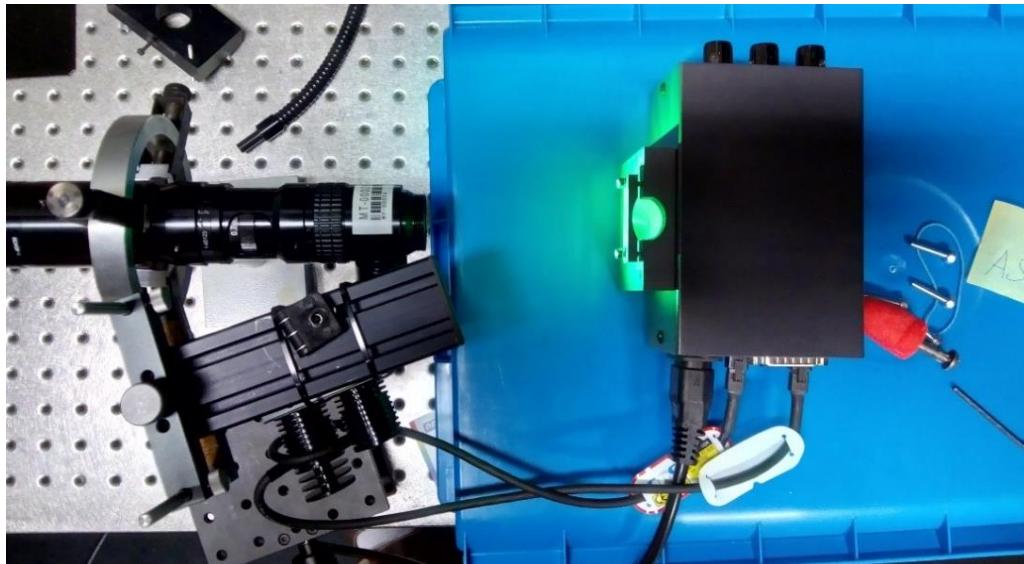


Abbildung 15 Versuchsaufbau: PAD-Merkmale der Fingeroberfläche

Mit der Anordnung wurden von Fingern und einer Fingernachbildung aus Silikon zeitlich fein aufgelöste Aufnahmesequenzen unterschiedlicher Länge erstellt. Für die Auswertung wurden, nach einer Vorverarbeitung der Bildserie, die bildmerkmalbasierten Abweichungen (z.B. lokale Varianz) der einzelnen Bilder zu einem aus der Bildserie errechneten Referenzbild betrachtet. Nach Korrektur der globalen Lageänderungen können diese als indirekte Wirkungen von Änderungen der 3D-Mikrogeometrie (lateral und in der Tiefe) betrachtet werden. Die Graphen in Abbildung 16 zeigen die aufsummierten Abweichungen eines gewählten Bildausschnitts über eine Bildsequenz für einen Finger (a) und die Silikonfälschung (b). Es ist vorstellbar, auf dieser Grundlage lebende Objekte von Fälschungen zu unterscheiden.

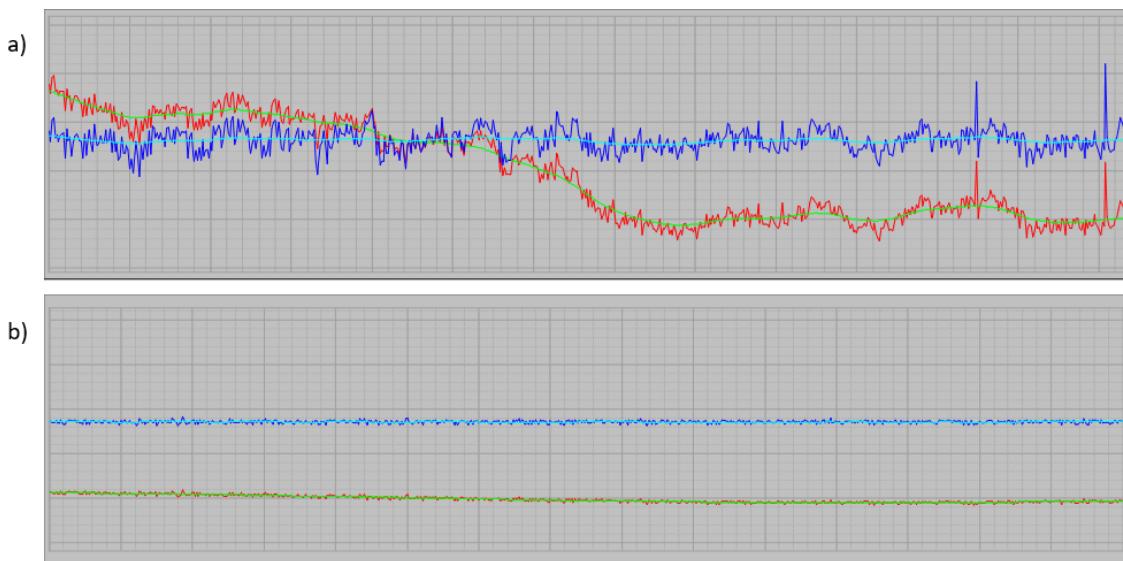


Abbildung 16 Auswertung des Versuchs zu den PAD-Merkmalen a) lebendiger Finger, b) Silikonfälschung

Unter Berücksichtigung der zu erreichenden Zielgrößen der Datenqualität (lateral mindestens 500ppi-Auflösung, Tiefenauflösung $\leq 10 \mu\text{m}$, $\geq 10\text{Hz}$ -3D-Bildrate) wurde geprüft, ob die festgestellten Auffälligkeiten und Unterschiede auch unter diesen Bedingungen erkennbar sind (siehe Abbildung 17).

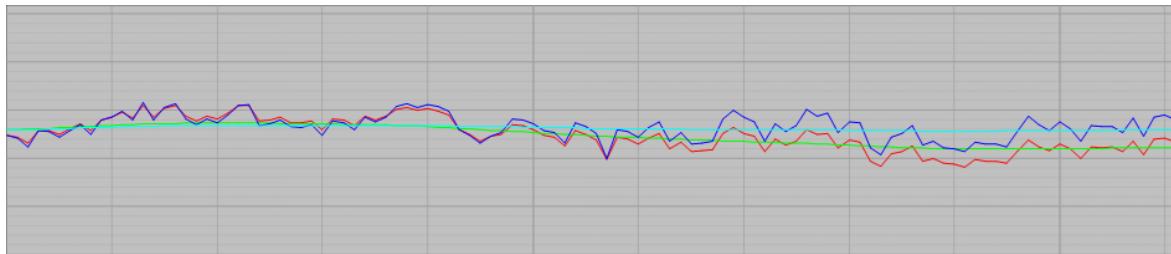


Abbildung 17 Auswertung des Versuchs zu den PAD-Merkmalen mit simulierter Projektdatenqualität

Auch hier ist ein deutlicher Unterschied zu der Silikonfälschung (Abbildung 16b) sichtbar. Die Schlussfolgerung aus diesen Versuchen ist, dass sich solche Veränderlichkeiten wahrscheinlich auch in den 3D-Daten des 3D4F-Demonstrators nachweisen lassen werden. Ausgehend davon wurde ein PAD-Verfahren

Ansatz des Verfahrens sind beobachtete lokale Änderungen an charakteristischen Positionen der Fingerfeinstruktur in zeitlichen Sequenzen. Zur Beschreibung von Strukturorten (Keypoints) werden geeignete Deskriptoren verwendet. Diese beschreiben die 3D-Umgebung jedes 3D-Punktes und stellen die Beschreibung in einer Signatur aus unterschiedlichen Merkmalen dar. Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die Signaturen eines Fingers und einer Fälschung, die zur Bewertung herangezogen werden. Anhand aller Korrespondenzpunktpaare wird die Veränderung der Fingeroberfläche zwischen beiden Aufnahmen bewertet. Die auf diese Weise ermittelten Änderungen sind für den lebenden Finger und die Fälschung ähnlich und befinden sich in derselben Größenordnung. Die in den Laborversuchen beobachtete zeitliche Veränderlichkeit der Mikrostruktur in zeitlichen Sequenzen lebender Finger gegenüber Spoofs konnte im Vorhaben noch nicht nachgewiesen werden. Eine endgültige Bewertung der Nutzbarkeit des Verfahrens wird erst mit Daten aus größeren Messkampagnen möglich sein.

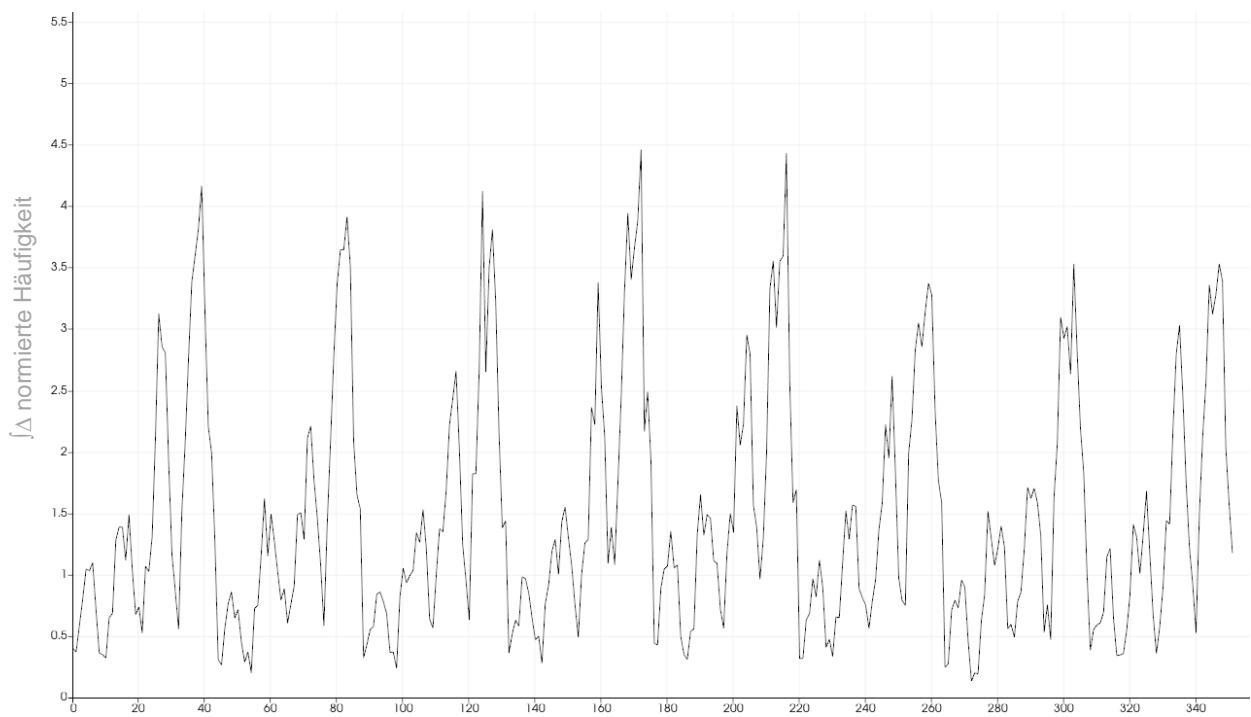


Abbildung 18 Signatur für die Veränderung der Oberfläche einer Spoofaufnahme (Datensatz: Messkampagne 02.10.2020)

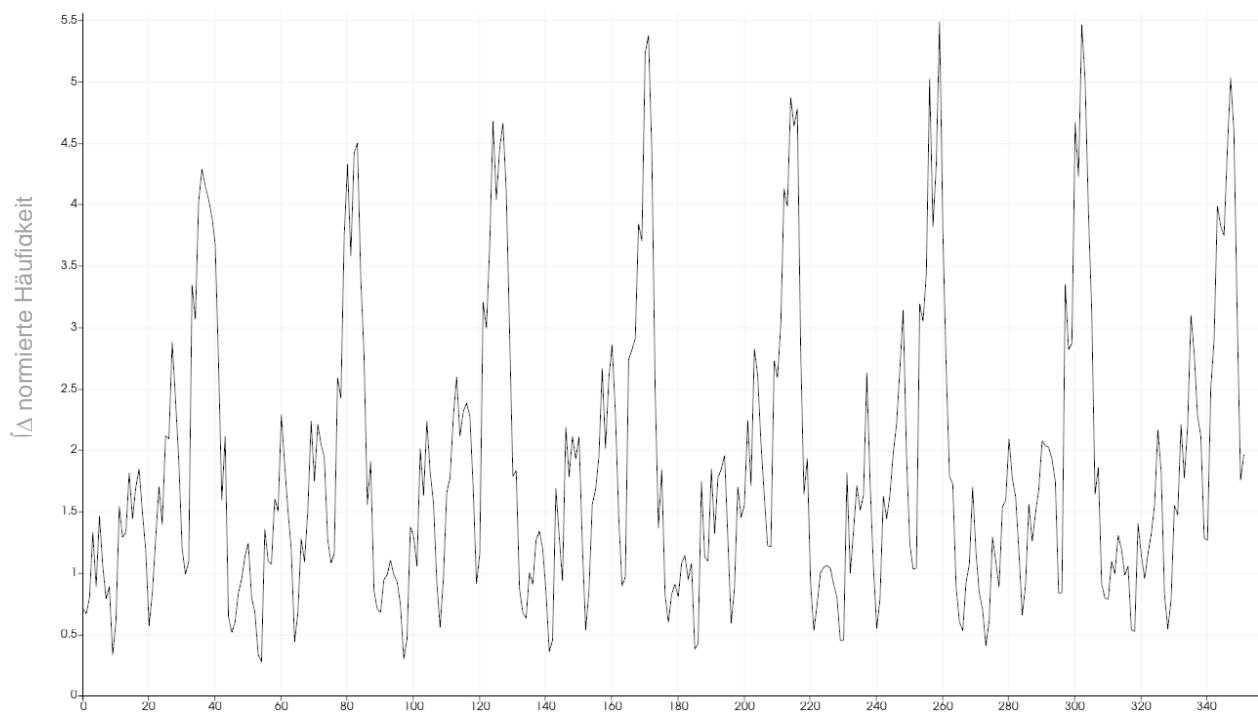


Abbildung 19 Signatur für die Veränderung der Oberfläche einer Fingeraufnahme (Datensatz: Messkampagne 02.10.2020)

AP 6 Zertifizierung & Normierung

AP 6.5.1 Einbeziehen der Ergebnisse aus dem Projekt MuSe3h

Da das 3D-Aufnahmesystem des Demonstrators in diesem Projekt entwickelt wurde, waren verwertbare Daten in angestrebter Qualität erst gegen Ende der Projektlaufzeit verfügbar. Erste Entwicklungen von Algorithmen sind daher anhand von Datensätzen aus einem vorhandenen Hardwareaufbau beim Projektpartner Jenetic (MuSe3h-Demonstrator) erfolgt.

AP 7 Demonstrator

AP 7.5.1 Versuchsplattform ZBS und Abstimmung der Einzelkomponenten für den Demonstrator

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden dem Projektpartner Jenetic als Funktionsbibliothek mit einer Programmierschnittstelle (API) für die Integration in den Demonstrator zur Verfügung gestellt. Im Zuge der Umsetzung für den Demonstrator sind einige der Funktionen hinsichtlich der Effizienz und Robustheit überarbeitet worden. Dabei konnte die Laufzeit zur Verarbeitung einer Aufnahmesequenz von 4 Fingern um mehr als 60% verbessert werden und liegt jetzt innerhalb der im Lastenheft festgelegten Grenzen.

Weitere Arbeiten, die als Zuarbeit für den Demonstrator gesehen werden können, wie beispielsweise die Anpassung an die Datengrundlage des Demonstrators, sind in AP 4.5.2 unter „Allgemeine Untersuchungen der 3D-Daten“ beschrieben worden.

Eigener Demonstrator

Abweichend von der ursprünglichen Projektplanung ist vom ZBS e.V. kein eigener Demonstrator aufgebaut worden. Dieser sollte bereits vor Fertigstellung von Mustergeräten oder Laboraufbauten bei Jenetic oder Fraunhofer IOF die Konzeption der Datenverarbeitung, den Algorithmenentwurf und die Evaluierung von Teillösungen ermöglichen. Die im Laufe des Projektes schrittweise erarbeiteten physikalischen und technisch-optischen Randbedingungen der 3D-Erfassung lassen jedoch nicht zu mittels Behelfsaufbauten Daten zu erzeugen, die für diesen konkreten Anwendungsfall eine für Entwicklungsentscheidungen belastbare Datenqualität sicherstellen. Daher wurde auf diese Variante der Erzeugung von eigenen Testdaten verzichtet.

2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Bei der Durchführung des Projekts sind Kosten in Form von Personalkosten, Reisekosten und sonstige unmittelbare Vorhabenkosten entstanden, über die im Verwendungsnachweis berichtet wurde.

3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit war in vollem Umfang notwendig und angemessen, um die im Projekt angestrebten Ziele zu erreichen. Hinter den oben dargestellten Ergebnissen verbergen sich Arbeiten mehrerer wissenschaftlicher Mitarbeiter innerhalb einer Projektlaufzeit von 30 Monaten.

Durch die hohen Ansprüche aus den Projektzielen und den Herausforderungen der 3D-Datenerfassung im technisch-optischen Grenzbereich werden die Anforderungen an die Datenverarbeitung unmittelbar mitbestimmt. Ohne die Projektzuwendungen hätten diese für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nicht umgesetzt werden können.

4. Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschrittenen Verwertungsplans

Die unmittelbar mit den erreichten Ergebnissen des Vorhabens verbundenen wirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Erfolgsaussichten, Anschlussfähigkeit sowie die Zeithorizonte sind schon wegen des sehr speziellen Projektgegenstandes (biometrische Sicherheitstechnik) mit der zukünftigen Verwertung beim Projektkoordinator Jenetric verbunden. Es ergeben sich also unmittelbare Bezüge zu den Verwertungsabsichten und -plänen der Jenetric. Der ZBS e.V. geht von einer längerfristigen Kooperation auch nach dem beantragten Projekt aus. Die Realisierung einsatzfähiger Softwaremodule bedarf weiterer Arbeiten (Produktweiterentwicklung), die im Kontext der durch Jenetric spezifizierten Anwendungsklassen erfolgen müssen. Es wird erwartet, dass innerhalb der Folgejahre nach Projektabschluss erste Rückflüsse z.B. über Nutzerlizenzen oder weitere Entwicklungsaufträge im Zuge der Produktentwicklung und -pflege erfolgen werden. Die entsprechenden konkreten Verwertungsbedingungen werden, abhängig von der Art der Ergebnisnutzung und Kooperation, im Einzelfall vertraglich fixiert. Diese Vorgehensweise folgt unmittelbar den Zielen der Vereinstätigkeit des ZBS e.V., der keine unmittelbaren Verwertungsinteressen im zukünftigen Markt seiner Kooperationspartner verfolgt.

Die im Teilprojekt 3D-GEOPAD erarbeiteten allgemeineren Erkenntnisse im Bereich der Verarbeitung von 3D-Daten werden darüber hinaus vom Antragsteller ZBS e.V. als Bestandteil daraus ableitbarer Produkt- und erweiterter Dienstleistungsangebote sowie im Rahmen zukünftiger F/E-Projekte genutzt. Die im Vorhaben ausgebauten Kompetenz und das Methoden-/Verfahrenswissen zur 3D-/2D-Datengewinnung, zu Szenenbeschreibungen mit 3D-/2D-Merkmalen sowie zur schnellen Datenverarbeitung auf eingebetteten Systemen ermöglichen dem ZBS e.V. in der Folge aktuellste Fragestellungen auch in neuen Anwendungsfeldern zu bearbeiten. Dadurch wird der ZBS e.V. zu einem interessanten Kooperationspartner bei der Realisierung von Lösungen, in denen diese Kompetenzen eine Schlüsselrolle spielen, oder in weiteren Forschungsprojekten zur Generierung neuen Wissens.

5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die berührungslose dreidimensionale Erfassung von 4 Fingern in der in diesem Projekt erreichten Qualität hat Alleinstellungscharakter. In [17] wird ein System vorgestellt, das an die erreichte Qualität der 3D-Daten im Vorhaben 3D4F heranreicht. Allerdings wird dort nur ein Finger erfasst. Hier findet sich auch eine Aufstellung weiterer berührungsloser Systeme des Standes der Technik, die zur Abrollung allerdings 2D-Bilder von Fingerabdrücken anhand einer erfassten 3D-Grobform verzerren. In [18] werden simulierte 2D-Fingerabdruckbilder aus einer dem Projekt ähnlichen Datengrundlage erzeugt. Allerdings wird zum Abrollen der 3D-Daten ein aufwendiges iteratives Verfahren verwendet. Dies ist unter Berücksichtigung der Laufzeitanforderungen der Demonstratorspezifikation nicht anwendbar.

Derzeit gibt es keine Verfahren, die die 3D-Fingerfeinstruktur zur PAD nutzen. Aktuelle PAD - Verfahren werten Bildmerkmale der 2D-Fingerabdruckbilder aus [19] oder erfassen Vitalparameter mit ergänzenden Sensoriken oder durch lange Beobachtung der Finger bzw. Hand in multispektralen 2D-Daten.

6. Veröffentlichungen der Ergebnisse aus dem Projekt

Neben diesem Schlussbericht wurden vom Teilprojekt bislang keine weiteren Veröffentlichungen gemacht. Im Zuge der weiteren Ergebnisverwertung sind Veröffentlichungen zu allgemeineren methodischen Fragen und zu projektspezifischen Ergebnissen, nachdem ein entsprechender Entwicklungsstand erreicht wurde, gemeinsam mit Projektpartnern vorgesehen.

7. Verwendete Literatur

- [1] Q. Zhao, A. Jain und G. Abramovich, „3D to 2D Fingerprints: Unrolling and Distortion Correction,“ in *2011 International Joint Conference on Biometrics (IJCB)*, Washington, DC, 2011.
- [2] A. Kumar und C. Kwong, *Towards Contactless, Low Cost and Accurate 3D Fingerprint Identification*, Hong Kong: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015.
- [3] Y. Zhong, „Intrinsic shape signatures: A shape descriptor for 3D Object recognition,“ Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009.
- [4] D. G. Lowe, *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*, Vancouver: University of British Columbia, 2004.
- [5] V. Mura, L. Ghiani, G. L. Marcialis, R. Fabio, D. A. Yambay und S. A. Schuckers, *LivDet 2015 Fingerprint Liveness Detection Competition 2015*, 2015.
- [6] C. Sousedik und C. Busch, *Presentation attack detection methods for fingerprint recognition systems: a survey*, Gjovik: IET Biometrics, 2013.
- [7] H. Rohracher, „Permanente rytmische Mikrobewegungen des Warmbüter-Organismus("Mikrovibration"),“ *Die Naturwissenschaften*, Nr. 7, p. ab 145, 1962.
- [8] Jenetric, *3D4F_Lastenheft_v1.8.pdf*, 2020.
- [9] VDI/VDE- Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, Optische 3-D- Messsysteme - Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung, 2008.
- [10] VDI/VDE- Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, Optische 3-D- Messsysteme - Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung in mehreren Einzelansichten, 2008.
- [11] ZBS - Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V., „Arbeitstreffen Datenverarbeitung - Ergebnisse,“ in *Berührungslose Personenidentifikation mittels fälschungssicherem 3D-4-Finger-Scanner (3D4F)*, Ilmenau, 2018.
- [12] A. Fatehpuria, D. L. Lau und L. G. Hassebrook, *Acquiring a 2D rolled equivalent fingerprint image from non-contact 3D finger scan*, Orlando: SPIE., 2006.
- [13] K. He, J. Sun und X. Tang, „Guided Image Filtering,“ *IEEE Transactions on pattern analysis and Machine Intelligence*, Nr. 35, 2013.
- [14] E. Tabassi, *NFIQ2.0 - NIST Fingerprint Image Quality*, NIST - National Institute

for Standards and Technology, 2016.

- [15] R. Vazan, „SourceAFIS,“ [Online]. Available: <https://sourceafis.machinezoo.com/>. [Zugriff am 2019].
 - [16] FBI, Criminal Justice Information Services, *Electronic Biometric Transmission Specification (EBTS)*, Clarksburg, USA: Federal Bureau of Investigation, 2018.
 - [17] J. Galbally, L. Beslay und G. Böstrom, *3D-Flare: A Touchless Full-3D Fingerprint Recognition System Based on Laser Sensing*, Ispra, Italy: IEEE Access, 2020.
 - [18] S. I. T. Shafaei und L. G. Hassebroek, *A New Approach to Unwrap a 3-D Fingerprint to a 2-D Rolled Equivalent Fingerprint*, Washington DC, USA: IEEE Xplore, 2009.
 - [19] T. Chugh, K. Cao und A. e. a. Jain, *Fingerprint Spoof Buster*, MSU: arXiv, 2017.
 - [20] F. Liu, J. Liang, L. Shen, M. Yang, D. Zhang und Z. Lai, „Case study of 3D fingerprints application,“ in *PLoS ONE* 12(4), 2017.
 - [21] F. Barbagli, A. Frisoli, K. Salisbury und M. Bergamasco, *Simulating human fingers: a Soft Finger Proxy Model and Algorithm*, 2004.
 - [22] J. M. Singh, A. Madhun, G. Li und R. Ramachandra, *A Survey on Unknown Presentation Attack Detection for Fingerprint*, 2020.
 - [23] K. H. Franke, "Bildanalyse von 3D-Oberflächen- und Volumendaten". Vorlesungsskript TU Ilmenau, ISSN:1432-3346, 2013.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Modellierung der 3D-FingerprintGEometrie für Abrollung und PAD-Aspekte [3D-GEOPAD]	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dipl.-Ing. Viktor Lange Dr.-Ing. Rico Nestler Dipl.-Inf. Darko Vehar PD Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Franke	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2021
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V. Werner-von-Siemens-Straße 10 98693 Ilmenau	9. Ber. Nr. Durchführende Institution 10. Förderkennzeichen 03ZZ0447E
	11. Seitenzahl 32
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 23
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 19
16. DOI (Digital Object Identifier)	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Gesamtziel des Projekts 3D4F sind Entwicklungen zur Realisierung eines berührungslosen 3D-4-Finger-Scanners und deren Überführung in einen Demonstrator. Dabei waren von Seiten der technisch-optischen und informatischen Umsetzung die für erkennungsdienstliche Auswertungen hohen Anforderungen des EBTS Appendix F des FBI an die Qualitäten von 3D-Eingabedaten und Zielgrößen der Datenverarbeitung zu berücksichtigen. Die Gestaltung und das Bedienkonzept des Demonstrators sollen Nutzern aus unterschiedlichen Kulturskreisen notwendige Interaktionen intuitiv, ohne Vorwissen und Hilfestellungen erlauben und die Gesamtfunktion sicherstellen.	
Im Mittelpunkt des Teilvorhabens 3D-GEOPAD stand die Erforschung und Entwicklung von Datenverarbeitungslösungen, um erfassste 3D- und weitere bildhafte Daten für nachgelagerte erkennungsdienstliche Analysen aufzubereiten und von Wegen zur Erkennung von Täuschungsversuchen auf der Grundlage von 2D-/3D-Merkmalen. Im Rahmen der Datenaufbereitung wurden Verfahren zur 3D-Datenbewertung, -segmentierung und –fusion, zur 2D-/3D-Merkmalgewinnung und zur physikalisch motivierten Simulation von 2D-Abdruckbildern aus 3D-Daten entwickelt und für eine Demonstratorlösung (SW-Bibliotheken) umgesetzt. Für PAD wurden unterschiedliche Möglichkeiten zur Fälschungserkennung aus räumlich-zeitlichen Merkmalen der Fingerfeinstruktur erarbeitet und hinsichtlich ihrer weiteren praktischen Nutzbarkeit bewertet.	
9. Schlagwörter 3D-Finger-Scanner, 3D-2D-Transformation, Unwrapping, Unrolling, Presentation Attack Detection	
20. Verlag ohne	21. Preis kostenlos

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -	2. type of document (report or publication) Final report
3. title Modeling of the 3D-fingerprint GEOMETRY for unwrapping and PAD-aspects[3D-GEOPAD]	
4. author(s) (family name, first name(s)) Dipl.-Ing. Viktor Lange Dr.-Ing. Rico Nestler Dipl.-Inf. Darko Vehar PD Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Franke	5. end of project 31.03.2021
	6. publication date
	7. form of publication Final report
8. performing organization(s) (name, address) Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V. Werner-von-Siemens-Straße 10 98693 Ilmenau	9. originators report no.
	10. reference no. 03ZZ0447E
	11. no. of pages 32
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 23
	14. no. of tables 1
	15. no. of figures 19
16. DOI (Digital Object Identifier)	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract The overall goal of the 3D4F project are development for the realization of a non-contact 3D-4-finger-scanner and convert it into a demonstrator. The technical-optical and IT implementation had to take into account the high requirements of the EBTS Appendix F of the FBI for identification services evaluations for the quality of 3D input data and data processing targets. The design and the operating concept of the demonstrator are intended to allow users from different cultures to interact intuitively without prior knowledge or assistance, and to ensure that the demonstrator functions as a whole. The focus of the sub-project 3D-GEOPAD was the research and development of data processing solutions in order to prepare captured 3D and other pictorial data for downstream identification analysis and ways presentation attack detection on the basis of 2D / 3D features. As part of the data preparation, methods for 3D data evaluation, segmentation and fusion, for 2D / 3D feature extraction and for the physically motivated simulation of 2D fingerprint images from 3D data were developed and implemented for a demonstrator solution (SW libraries). For PAD, different ways of counterfeit detection from spatial-temporal features of the fingerprint structure were developed and evaluated with regard to their further practical usability.	
9. keywords 3D finger scanner, 3D-2D-transformation, Unwrapping, Unrolling, Presentation Attack Detection	
20. publisher without	21. price free