



## **Zukunftscluster Neuromorphe Hardware für autonome Systeme**

### **NeuroSys**

Projekt D: Impulse durch Anwendung  
Teilprojekt D1: Kamerabasierte Diagnostik

FKZ: 03ZU1106DB

Planzeitraum: 01.01.2022 – 31.12.2024

Zuwendungsempfänger:  
STAR Healthcare Management GmbH & Co. KG

### **Abschlussbericht**

### **Teil II: Eingehende Darstellung**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	Aufgabenstellung und Gesamtziel des Vorhabens.....	4
<b>2</b>	Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde.....	4
<b>3</b>	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	5
<b>4</b>	Stand der Wissenschaft und Technik, an den angeknüpft wurde.....	5
<b>5</b>	Zusammenarbeit.....	7
5.1	Konsortium.....	7
5.2	Der Konsortialpartner STAR Healthcare Management.....	8
<b>6</b>	Ergebnisse.....	9
6.1	Aufgabenstellung aus der Gesamtvorhabenbeschreibung.....	9
6.2	Projekt D: Impulse durch Anwendungen.....	9
6.3	Teilprojekt D1.....	10
6.4	Die Arbeitspläne mit Einbindung von STAR Healthcare Management.....	11
6.5	Die Wundakte.....	14
6.5.1	Aufgabenstellung.....	14
6.5.2	Umsetzung und Funktionalitäten.....	14
6.5.3	Entwicklungsschritte.....	15
6.5.3.1	Inhaltliche Gestaltung.....	15
6.5.3.2	Technische Entwicklung (Zusammenfassung).....	17
<b>7</b>	Nutzen und Verwertbarkeit.....	21
<b>8</b>	Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen.....	21
<b>9</b>	Veröffentlichung der Ergebnisse.....	21

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Arbeitsplan .....	5
Abb. 2: Arbeitsziele des Teilprojekts D.1 Kamerabasierte Diagnostik .....	10
Abb. 3: Soft- und Hardwarekomponenten .....	15
Abb. 4: Soft- und Hardwarekomponenten: Konkretisierung Datenfluss .....	15
Abb. 5: Übersichtsseite Patientenakte .....	18
Abb. 6: Übersichtsseite Patientenakte: Auswahlmöglichkeiten .....	18
Abb. 7: Ablauf Aktionen der Patientenakte .....	19
Abb. 8: Basisdaten Patient: Automatisches Auslesen des Fotos aus Datenbank .....	19
Abb. 9: Automatisches Auslesen von Fotos und Daten aus Datenbank .....	19
Abb. 10: Bildergalerie pro Visite .....	20
Abb. 11: Wundvisite: Dokumentierter Verlauf .....	20
Abb. 12: Automatische Erstellung von Diagrammen aus den vorliegenden Daten .....	20
Abb. 13: Automatische Erstellung von Vergleichstabellen aus den vorliegenden Daten .....	21

## **1 Aufgabenstellung und Gesamtziel des Vorhabens**

Das Zukunftscluster NeuroSys hat zum Ziel, die Region Aachen als weltweit führenden Standort für Forschung, Entwicklung und Innovation in neuromorpher Hardware für künstliche Intelligenz (KI) zu etablieren. Dafür werden in der Region alle Kompetenzen gebündelt und zu einem Innovationsökosystem aufgebaut, das für die Entwicklung zukünftiger europäischer KI-Hardware benötigt wird. Die langfristige Vision ist die Entfaltung eines genuin europäischen Weges durch technologische Unabhängigkeit in diesem ethisch und wirtschaftlich sensiblen Bereich.

NeuroSYS besteht aus fünf interagierenden Projekten. NeuroSys-A: Memristor Crossbar Architekturen wird neuartige Memristor Crossbar Arrays entwickeln, die bestimmte KI-Anwendungen bezüglich ihrer Energieeffizienz revolutionieren können. NeuroSys-B: Photonische Neuromorphe Schaltkreise hat zum Ziel, photonische neuronale Schaltkreise zu entwickeln, um neuromorphe Hardware weit über die Performanz reiner Elektronik zu beschleunigen. NeuroSys-C: Algorithm- Hardware Co-Design führt Expertise aus den Neurowissenschaften, dem automatisierten Schaltungsentwurf und der hardwarenahen Schaltungsentwicklung zusammen, um innovative Schaltungsarchitekturen zusammen mit den zugehörigen Algorithmen zu explorieren, welche auf neuartigen Bauelementeigenschaften von elektrischer Verarbeitung bis zur Photonik basieren. NeuroSys-D: Impulse durch Anwendungen zielt auf die Erforschung der Vorteile neuromorpher Hardware („Technology Push“), sowie deren optimale Nutzung aus der Anwenderperspektive („Application Pull“). NeuroSys-E: Innovationsprozess und Geschäftsmodellentwicklung wird die Entwicklungen der technischen Architekturen, Schaltkreise und Anwendungen schließlich systematisch um ökonomische, gesellschaftliche und ethische Analysen erweitern.

Durch eine effiziente vertikale Kooperation zwischen den Projekten wird in den ersten Jahren das integriert interdisziplinäre Ökosystem aufgespannt, welches für die Realisierung der äußerst komplexen und ambitionierten Gesamtvision benötigt wird. Dazu sind von Beginn an lokale Unternehmen an den Projekten beteiligt, die bereits in der Konzeptionsphase konkrete Verwertungspotentiale in den jeweiligen Gliedern der Wertschöpfungskette identifiziert haben. Weiterhin wurden regionale Institutionen integriert, die zur vollen Entfaltung des Transformationspotenzials und zur lokalen Verankerung des Clusters beitragen werden. Dieser ganzheitliche Ansatz ist notwendig, weil ein Paradigmenwechsel in der KI nur über ein langfristiges Miteinander aus „Technology Push“ und „Application Pull“ möglich ist. Hierfür wird in der ersten Umsetzungsphase die gemeinsame Sprache entwickelt und die Basis gelegt.

## **2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde**

Das in diesem Schlussbericht beschriebene Projekt NeuroSys wurde ab 2024 im Rahmen der Förderbekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Zur

Durchführung des Projekts stand eine ausgewogene Forschungsgruppe aus Hochschule, Klinik und Industrie zur Verfügung.

Neben der STAR Healthcare Management GmbH waren der Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik der RWTH Aachen (MedIT), Gremse IT GmbH, Apptec GmbH und die Clinomic GmbH als Entwickler integrierter Sensorik und individualisierter Datenmanagementlösungen am Teilprojekt beteiligt.

STAR besaß bereits zu Beginn des Projektes umfangreiche Erfahrungen in der Entwicklung medizinischer Dokumentationssysteme auf strukturierter Datenbasis und damit verknüpfter medizinischer Expertensysteme zur qualitätsgesicherten Steuerung von Versorgungsprozessen.

Ebenso stand eine seit langem erworbene Expertise im Bereich der medizinisch strukturierten Dokumentation und einer daraus resultierenden Semantik in Bezug auf Risikodarstellungen und Diagnose- und Behandlungsbedingte Prozessabläufe zur Verfügung.

### 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben startete im Jahr 2017. Laut Antrag war vorgesehen, das Vorhaben in einem Zeitraum von drei Jahren durchzuführen. Der zugehörige Arbeitsplan ist in folgender Tabelle dargestellt:

Projekt D		2022				2023				2024			
AP	Task	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
D1	D1.1.1												
	D1.1.2												
	D1.1.3							M1					
	D1.1.4							M1					
	D1.2.1							M1					
	D1.2.2												
	D1.2.3												
	D1.2.4												
	D1.2.5												
	D1.2.6												
	D1.3.1												
	D1.3.2												
	D1.3.3												
	D1.3.4												
	D1.3.4												M3
	D1.3.4												M3

Abb. 1: Arbeitsplan

In diesem Abschlussbericht werden insbesondere die Ergebnisse des STAR-Teilprojektes D1 (AP 1.3, AP 2.1, AP 2.5, AP 3.3) vorgestellt.

### 4 Stand der Wissenschaft und Technik, an den angeknüpft wurde

#### D.1 „Kamerabasierte Diagnostik“

Chronische Erkrankungen, wie beispielsweise chronische Wunden, beschreiben komplexe, in ihrer Entwicklung durch aktuelle Diagnoseverfahren – der auf Erfahrungen basierten haptischen und visuellen Inspektion – häufig nicht vorhersehbare Krankheiten<sup>1</sup>. Eine Ergänzung aktueller

<sup>1</sup> Morton 2016, Jones 2018

Diagnose und Therapieformen um eine robuste, objektive und automatisierte Merkmalsextraktion, Analyse, und Vergleich chronischer Wunden stellt einen wichtigen Schritt dar, neue Technologien zur Bewältigung dieser Herausforderungen zu nutzen. Hierzu wurden in der Vergangenheit intelligente Bandagen entwickelt, die unter anderem pH und Temperatur der Wunde detektieren können<sup>2</sup>. Eine Zulassung dieser kontaktbasierten Techniken als Medizinprodukt ist jedoch noch nicht bekannt, was den sehr hohen Investitionskosten für die Entwicklung und Zulassung biokompatibler, kontaktbasierter Elektronik bedingt ist. Neben diesen kontaktbasierten Techniken existieren erste kontaktfreie Ansätze zur Analyse chronischer Wunden. Der Fokus liegt hierbei in der Ermittlung visueller Wundparameter wie Farbe und Form und der 3D Rekonstruktion des Wundbettes. Die Medizinprodukte *silhouette*<sup>®</sup> von Aranz Medical<sup>3</sup> sowie *eKare inSight*<sup>®4</sup> stellen dabei die fortschrittlichsten Entwicklungen dar. Durch diese Produkte wird die Berechnung bekannter Wundmerkmale erleichtert. Aktuelle Forschungsgruppen gehen einen Schritt weiter und nutzen für den Menschen unsichtbare Oberflächentemperaturen, um die Wunde zu beschreiben. So haben hochauflösende Infrarotkameras das Potential, das gesamte Wundgebiet in einem Bild zu analysieren und neue Wundparameter zu extrahieren<sup>5</sup>. Bislang ist jedoch kein Gerät bekannt, in dem eine Fusion dieser Messmodalitäten oder eine automatisierte Bestimmung von Therapieempfehlungen erreicht wurde. Insbesondere die Analyse der Daten zur Therapieempfehlung stellt dabei eine große Hürde dar, die durch den Einsatz neuromorpher Hardware und neuronaler Netze überwunden werden könnte.

*Literatur (andere):*

[Dini 2015] V. Dini, P. Salvo, A. Janowska, F. Di Francesco, A. Barbini, M. Romanelli, "*Correlation between wound bed temperature obtained with an infrared camera and clinical wound bed score in venous leg ulcers.*" *Wounds*, vol. 27, no. 10, pp. 274–287, 2015.

[Farooqi 2016] M.F. Farooqi, M. F., A. Shamim, "*Low cost inkjet printed smart bandage for wireless monitoring of chronic wounds.*" *Sci. Rep.* 6, 28949, 2016.

[Jones 2018] R.E. Jones, D.S. Foster, M.T. Longaker, "*Management of chronic wounds—2018.*" *Jama*, vol. 320, no. 14, pp. 1481–1482, 2018.

[Koerner 2019] S. Koerner, D. Adams, S.L. Harper, J.M. Black, D.K. Langemo, "*Use of thermal imaging to identify deep-tissue injury on admission reduces clinical and financial burdens of hospital-acquired pressure injuries.*" *Adv. Skin and Wound C.*, vol. 32, no. 7, pp. 312–320, 2019.

[Mostafalu 2018] P. Mostafalu, et al., "*Smart bandage for monitoring and treatment of chronic wounds.*" *Small*, vol. 14, no. 33, 2018.

---

<sup>2</sup> Farooqi 2016, Mostafalu 2018

<sup>3</sup> Verfügbar unter: <https://www.aranzmedical.com>

<sup>4</sup> Verfügbar unter: <https://ekare.ai/advanced-wound-imaging>

<sup>5</sup> Dini 2015, Koerner 2019, Dahlmanns 2021

[Morton 2016] L.M. Morton, T.J. Phillips, "Wound healing and treating wounds: Differential diagnosis and evaluation of chronic wounds." *Journal of the American Academy of Dermatology*, vol. 74, no. 4, pp. 589–605, 2016.

*Literatur (eigene):*

[Dahlmanns 2021] S. Dahlmanns, S. Reich-Schupke, F. Schollemann, M. Stücker, **S. Leonhardt**, D. Teichmann, "Classification of chronic venous diseases based on skin temperature patterns." *Physiol. Meas.*, 2021.

## 5 Zusammenarbeit

### 5.1 Konsortium

Im Projekt **NeuroSys-D** waren insbesondere die Firmen AppTek, Clinomic, STAR und GrIT involviert, die mittels der in diesem Projekt finanzierten industriellen Forschung ein Technologieangebot an innovativen Anwendungen für die im NeuroSys-Cluster entwickelte neuromorphe Hardware schaffen sollten, um damit die Entwicklung im Sinne eines Application Pull zu beeinflussen.

<b>Antragsteller</b>	<b>Art der Antragsteller</b>	<b>Standort</b>
RWTH Aachen University	Hochschule	Aachen, NRW
STAR Healthcare GmbH	KMU	Köln, NRW
Gremse-IT GmbH	Start-Up	Aachen, NRW
Applications Technology – Apptek GmbH	KMU	Aachen, NRW
Clinomic GmbH	Start-Up	Aachen, NRW

<b>Beteiligte WissenschaftlerInnen</b>	<b>Standort &amp; Institution</b>
Prof. Dr. Dr. Steffen Leonhardt	RWTH Aachen, Medizinische Informationstechnik (MedIT)
Prof. Dr.-Ing. Hermann Ney, PD Dr. Ralf Schlüter	RWTH Aachen, Lehrstuhl Informatik 6: Human Language Technology and Pattern Recognition (HLTPR)
Prof. Dr. Bastian Leibe	RWTH Aachen, Lehrstuhl Informatik 13: Computer Vision (CVG)
Prof. Dr.-Ing. Anke Schmeink	RWTH Aachen, LuFG Informationstheorie und Systematischer, Entwurf von Kommunikationssystemen (ISEK)

Michael Klennert	STAR Healthcare Management GmbH (STAR)
Dr. Felix Gremse	Gremse-IT GmbH (GrIT)
Dr. Volker Steinbiß	Applications Technology – Apptek GmbH, Aachen (AppTek)
Dr. med. Arne Peine	Clinomic GmbH (Clinomic)

Die folgende Auflistung zeigt die grobe Zusammenarbeit von STAR mit Projektpartnern im NeuroSys D1-Projekt:

24.01.2022: Kick-Off Projektstart und Kooperation von MedIT, Gremse-IT und STAR

07.02.2022: Kick-Off Projektstart Gesamtkonsortium

26.04.2022: Schärfung der Aufgabenpakete mit MedIT und Gremse-IT

16.05.2022: talk about IP and start-up support structures @RWTH Innovation

25.05.2022: Neuromorphic Computing Day

02.06.2022: Besprechung der Cluster- und Kooperationsvereinbarung

15.06.2022: Besprechung der Cluster- und Kooperationsvereinbarung

11.07.2022: Besprechung der Clustervereinbarung

23.08.2022: Konkretisierung der Arbeitspakete mit Gremse-IT

24.08.2022: Workshop Projekt D und E

17.01.2023: Konzeption Patientenakte mit MedIT

20.12.2023: Planungsmeeting AMO GmbH

15.01.2024: Besprechnug weitere Maßnahmen (MedIT, Gremse-IT und STAR)

22.01.2024: Statusseminar NeuroSys SuperC und Get together

01.02.2024: Abstimmung Aufgaben 2024 mit MedIT

09.02.2024: Besprechung Arbeitspakete mit MedIT und Gremse-IT

17.05.2024: Gemeinsame Begehung RWTH Aachen

## **5.2 Der Konsortialpartner STAR Healthcare Management GmbH**

Die STAR Healthcare Management GmbH betreibt nunmehr seit fast 20 Jahren Projekte, deren Schnittstelle im Bereich Medizin und IT liegen. Insbesondere Dokumentationssysteme auf strukturierter Datenbasis und damit verbundene medizinische Expertensysteme (Entscheidungshilfen, Evidenz-detaillierung) liegen und lagen im Fokus der Entwicklungsarbeit. Besonders die Entwicklung und IT-Verarbeitung von Algorithmen zu medizinischen Versorgungsprozessen waren und sind ein Schwerpunkt der Unternehmenstätigkeit.

In den vergangenen und präsenten Projekten im Bereich der Forschungs- und Entwicklungsarbeit war ein weiterer, aber wesentlicher Schwerpunkt immer die Entwicklung von Benutzerschnittstellen.

Die STAR Healthcare Management GmbH verfügt daher über eine gewachsene Expertise im Bereich der medizinisch strukturierten Dokumentation und einer daraus resultierenden Semantik in Bezug auf das Diagnose- und Therapiemanagement und daraus resultierender Prozessabläufe. Diese Expertise gilt es in NeuroSys entsprechend einzubringen und in Bezug auf KI- und Deep Learning- Prozesse weiterzuentwickeln.

STAR ist in diesem Projekt maßgeblich zuständig für die Datenfusion eingehender Kameraparameter sowie deren Speicherung, Verarbeitung und algorithmisierte Prozesssteuerung.

## **6 Ergebnisse**

Das folgende Kapitel beschreibt die wichtigsten vom STAR im Teilprojekt *D1* erarbeiteten Ergebnisse in NeuroSys.

### **6.1 Aufgabenstellung aus der Gesamtvorhabenbeschreibung**

Siehe hierzu die Beschreibung der Aufgabenstellung aus 4. → D1 „Kamerabasierte Diagnostik“.

### **6.2 Projekt D: Impulse durch Anwendungen**

#### ***Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen***

Ziel war der Aufbau eines wettbewerbsfähigen Ökosystems für neuromorphe Technologie. Mit NeuroSys soll ein Cluster von Weltrang für exploratorische und angewandte Forschung und Entwicklung im Bereich neuromorpher Technologien aufgebaut werden. Dies sollte durch Exzellenz in der gesamten Wertschöpfungskette, die technische, ethische, ökonomische und generell gesellschaftliche Aspekte umfasst, erreicht werden. Diese Wertschöpfungskette reicht von Materialwissenschaften, Bauelementen und Hardwaresystemen über Rechnerarchitekturen, Algorithmen und Anwendungen bis zu Handlungsempfehlungen zu einer verantwortlichen „Europäischen KI“. Die Sichtbarkeit des Clusters wird internationale SpitzenforscherInnen und Unternehmen in die Region ziehen.

Die konkrete Aufgabenstellung des NeuroSys-Teilprojekts Projekt D war die Erforschung der Eigenschaften, Vorteile und Einschränkungen neuronaler Hardware (Technology Push) sowie deren optimaler Nutzung aus der Anwenderperspektive (Application Pull). Hierzu sollten die spezifischen Anforderungen unterschiedlicher Anwendungen anhand von vier repräsentativen Beispielen mit unterschiedlichen Anforderungsprofilen herausgearbeitet werden. Allen vier Anwendungsbeispielen war gemein, dass sie sich für den Einsatz in mobilen und handgeführten Geräten eignen, die besonders auf energieeffiziente Hardware angewiesen sind. Hierdurch sollten die Vorteile der in den anderen Teilprojekten entwickelten neuromorphen Hardwarekomponenten besonders zum Tragen kommen, die leistungsstarke Rechenressourcen bei geringem Energieverbrauch ermöglichen werden. Dadurch können Algorithmen für maschinelles Lernen z.B. erst in medizinische Geräte eingebettet werden, die das Potential haben, die Qualität der Patientenversorgung erheblich zu verbessern.

Hierzu sollen die spezifischen Anforderungen unterschiedlicher Anwendungen anhand von vier repräsentativen Beispielen mit unterschiedlichen Anforderungsprofilen herausgearbeitet werden: D.1 Kamerabasierte Diagnostiksysteme für medizinische Anwendungen; D.2 Automatische Spracherkennungs- und Übersetzungssysteme; D.3 Semantische Videoanalyzesysteme; D.4 Individualisierte Medizinische Controller. Hierbei liegt in allen vier Fällen ein starker Fokus auf mobilen Anwendungen mit entsprechenden Anforderungen bzgl. HW-Einschränkungen und Energieverbrauch.

### 6.3 Teilprojekt D1

Ziel des Teilprojekts D.1 „Kamerabasierte Diagnostik“ war die Entwicklung eines mobilen, kamerabasierten Messgerätes zum Einsatz in der Medizin. Dieses Gerät zeichnet visuelle und thermische Bilder auf und verarbeitet diese lokal mittels Neuronaler Netze. Im Rahmen des Projektes sollten als Vorzeiganwendungen Neuronale Netze zur Diagnose chronischer Wunden und zur kontaktfreien Überwachung von Neonaten entwickelt werden. Der mobile, handgeführte Aufbau des Gesamtsystems soll den Einsatz in Krankenhäusern sowie in stationären und ambulanten Pflegeeinrichtungen ermöglichen.

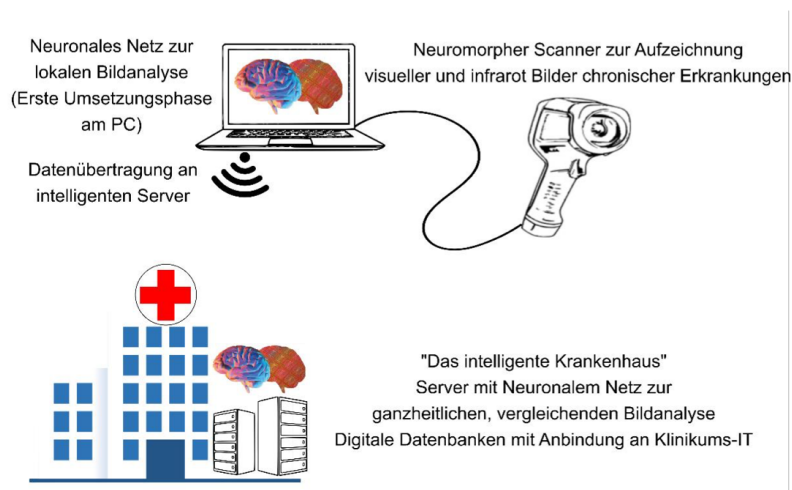


Abb. 2: Arbeitsziele des Teilprojekts D.1 Kamerabasierte Diagnostik

Der Aufbau eines mobilen und handgeführten Gerätes wird durch die Entwicklung der energieeffizienten Hardware möglich. Die aufgezeigten Vorteile dieses Produktes sollen nicht nur einen direkten persönlichen Nutzen für die Patientinnen und Patienten bringen, sondern auch für das Gesundheitssystem: durch die automatisierte Bewertung des Messgerätes können Folgekrankheiten vermieden und so die Lebensqualität der Betroffenen und ihrer Angehörigen gesteigert werden. Gleichzeitig würden bei verbreitetem Einsatz der Geräte Fachzentren entlastet werden und ein weiterer Schritt in Richtung personalisierter Gesundheitsversorgung ermöglicht werden.

### 6.4 D1: Die Arbeitspläne mit STAR-Einbindung

#### AP D1.2.1 Fusion thermischer und visueller Kamerabilder in mobilem Gerät

In diesem TAP werden Bildverarbeitungsalgorithmen zur Merkmalsextraktion auf Basis neuronaler Strukturen implementiert. Die Basis der Bildverarbeitung bilden die multimodalen Kameradaten (Orientierungskorrigierte RGB und IRT Daten und Tiefeninformationen). Ziel der Algorithmen ist die Detektion chronischer Wunden, insbesondere der von Wundgewebe betroffenen Hautoberfläche. Dabei werden IRT und Bilddaten zunächst unabhängig betrachtet, da sich das Ausmaß und die geometrische Form abhängig von der Art der Wunde stark unterscheiden können. Auf Basis der detektierten Wundflächen können in Anschluss klinisch relevante Parameter aus den multimodalen Bilddaten erhoben werden.

**Ergebnis:** Medizinische Bildverarbeitungsalgorithmen zur Detektion chronischer Wundflächen und Extraktion klinisch relevanter Merkmale.

Die Aufgabe für STAR bestand darin, hierfür eine Serverkomponente zur Speicherung der Bilddaten (Gesamtmatrix, Speicherung und Darstellung, AP D1.1.3 zur Verfügung zu stellen. Die Architektur für eine Vorgangs- und prozessbezogene, digitale elektronische Patientenakte zur Befundablage und zur damit verbundenen Wunddokumentation.

Zunächst war dafür eine umfangreiche Anforderungsanalyse zu erstellen, sowohl in Abstimmung mit den Projektpartnern wie mit medizinischem Fachpersonal.

Nachdem der Entwicklung des technischen Konzepts zur Datenübertragung multimodaler Kameradaten wurde im Jahr 2023 definiert, welche klinisch relevanten Merkmale in der digitalen Patientenakte dargestellt werden. Dementsprechend wurde das Feinkonzept der Patientenakte überarbeitet.

Planungsgrundlage war die Bereitstellung eines Web-Clients zur Dateneingabe mit entspr. Speicherung der Daten auf einem Server. Die Möglichkeit einer automatisierten Übertragung der Daten zwischen Wundscanner und Patientenakte wurde in die Planung miteinbezogen. Der Server sollte eine gängige Krankenhausinfrastruktur nachstellen.

Im ersten Schritt wurde die Anforderungsanalyse gemeinsam mit den Projektpartnern erfasst. Diese Analyse beinhaltet sowohl die technischen als auch die medizinischen Anforderungen des Projekts. In diesem Zuge wurden die Anforderungen zusammengebracht und im Sinne der Machbarkeit der Umsetzung definiert.

Im zweiten Schritt erfolgte die Erarbeitung zweier Konzepte. Das technische Konzept deckt die Datenübertragung multimodaler Kameradaten an die Patientenakte sowie die Übertragung der Daten zwischen Patientenakte und neuronalem Netz ab. Im nächsten Schritt wird hierbei das Schnittstellenmanagement diskutiert. Zudem wurde ein medizinisch-inhaltliches Konzept für die Patientenakte erarbeitet und grafisch umgesetzt. Das Konzept umfasst folgende Aspekte:

- Liste aktuell behandelte Personen als zentrale Startseite
- Anlegen einer Person und Eintragung medizinisch relevanter Basisdaten zur Person und zur Wunde

- Protokollierung der Visiten, inklusive Nutzung multimodaler Kameradaten
- Übersicht aller bisher erfolgter Visiten pro Person und Wunde
- Übersicht der Wundverläufe, aufgeteilt in Verlaufsgalerie, grafische Darstellung der gemessenen Parameter und Übersicht der gemessenen Parameter mit numerischer Darstellung.

Im nächsten Schritt werden die klinisch relevanten Parameter zusammen mit den Projektpartnern und medizinischem Fachpersonal weiter definiert und konkretisiert.

Auf Basis beider Konzepte wurde zudem die programmatische Entwicklung der digitalen Patientenakte begonnen.

Das technische Konzept zur Datenübertragung multimodaler Kameradaten dient als Grundlage für die Interpretation dieser Daten. Weiterführend müssen die klinisch relevanten Merkmale noch final zusammen mit medizinischem Fachpersonal definiert werden, insbesondere in Bezug auf die Extraktion klinisch relevanter Merkmale aus den medizinischen Bildverarbeitungsalgorithmen.

Mögliche Optionen des Datenspeichers im Hinblick auf datenschutzrelevante Aspekte wurden geprüft und in das technische Konzept eingearbeitet.

Die Projektarbeit wurde seitens STAR einen Monat nach Erhalt des Zuwendungsbescheids begonnen, da zuvor verschiedene Aspekte vertraglich zwischen allen Projektpartnern festgehalten wurden. Durch diesen Start und die Anlaufphase der Arbeitsabstimmung im Konsortium kam es zunächst zu einem Verzug in der Bearbeitung einiger Beiträge. Dieser zeitliche Verzug konnte jedoch im weiteren Verlauf des Projektes in weiten Teilen aufgeholt werden.

Es traten keine wesentlichen Veränderungen bezüglich der Proportionen der Arbeits- und Zeitplanung auf.

Im Projektjahr 2024 wurde das System in Bezug auf Performance und Nutzerfreundlichkeit optimiert. Insbesondere wurde damit begonnen, im Sinne einer späteren Kompatibilität zu Krankenhaus-Informationssystemen (kurz: KIS), das System auf den hierfür gängigen FHIR-Standard weiterzuentwickeln.

### **AP D1.1.3 und D1.3.3 Medizinische Bildverarbeitung (MBV) mit neuromorphen Optionen (Q1-Q4 2023)**

**Arbeitsinhalte:** In diesem TAP werden Algorithmen zur Erstellung der Gesamtmatrix aus einer Fusion von IRT und RGB Bildern sowie Tiefeninformation implementiert. Dazu werden geeignete Transformationsalgorithmen auf Basis der geometrischen Struktur und der Zielanwendung entwickelt und validiert. Durch geeignete Algorithmik werden außerdem Tiefeninformationen aus der Fusion der RGB Bilder generiert. Zudem werden Ansätze zur Speicherung und vereinfachten Darstellung der multidimensionalen Informationsmatrizen implementiert.

**Ergebnis:** Algorithmen zur Extraktion von Gesamtinformationen aus RGB und IRT Bildern, sowie zur Speicherung und Darstellung der multidimensionalen Informationsmatrizen

STAR sollte dafür die digitale Patientenakte entwickeln und zur Verfügung stellen, in der die Aufnahmen des beschriebenen Kamerasystems abgespeichert und bearbeitet werden können. Von hier aus werden sie adaptierten neuronalen Netzen zugeführt, wo eine zentralisierte Verarbeitung der archivierten Bilddaten möglich ist. Die entsprechenden Ergebnisse werden der von STAR entwickelten digitalen Patientenakte wieder zurückgespielt. Dies geschieht unter Berücksichtigung der vorgegebenen Datenschutzrichtlinien.

Testbilder im gff-Format wurden bereitgestellt und erfolgreich in die Akte integriert. Die aus den multimodalen Kameradaten gewonnen Informationen wurden ebenfalls testweise in die Akte implementiert.

Um die implementierten Daten nur ausgewählten Nutzern zur Verfügung zu stellen, wurde ein grundlegendes User-Management in die Patientenakte implementiert. Dieses wurde hinsichtlich der datenschutzrechtlichen Bestimmungen weiter ausgearbeitet und angepasst.

Weitere Bilddaten sind nötig für den weiteren Ausbau der Datenbank. In diesem Zusammenhang war es zudem nötig, ein Konzept für die einheitliche Benennung der Daten zu erarbeiten, das garantiert, dass generierte Daten automatisiert spezifischen Patienten, Wunden und Daten zugeordnet werden können.

In 2024 wurde das User Management hinsichtlich der Datenschutzvorgaben weiterentwickelt und angepasst.

Eine Schnittstelle zur automatisierten Übertragung von Daten zwischen Wundscanner und Patientenakte wurde implementiert.

#### **AP D1.2.5 Training neuronaler Netze zur Echtzeitbildverarbeitung (Q1-4 2024)**

Anhand der von STAR entworfenen Algorithmen zur Interpretation der Wundbilder sollten die hieraus resultierenden Prozessinformationen aus dem CNN überprüft und im Bedarfsfalle korrigiert werden. Dies führt zu einer Stabilisierung und langfristigen Validierung der Informationen, die aus dem CNN für den Wundversorgungsprozess benötigt werden.

Die Programmierung der digitalen Patientenakte wurde größtenteils finalisiert. Lediglich einige Einzelheiten wurden während der Projektlaufzeit stetig überarbeitet und optimiert, um die Akte optimal an die klinischen Ansprüche anzupassen. Auf Basis der integrierten Informationen über Wundverläufe in die Patientenakte kann medizinisches Personal erste Eindrücke über die individuelle Wundheilung erhalten.

Die Extrahierung von gff-Daten zum KI-gestützten Training des Systems wurde vorgenommen. Dafür erfolgte die Entwicklung einer Funktionalität zur Abspeicherung in der Datenbank und die Zuordnung zu den jeweiligen Patienten mit den betreffenden Berichten/Check-Ups/Wundvisiten.

Eine API-Schnittstelle zur Abfrage der Berichte für Trainingszwecke wurde integriert.

Damit wurden die Konsortialpartner in die Lage versetzt, entspr. KI-basierte Trainings planen und in ersten Testapplikationen vornehmen zu können.

Eine Einbindung von Funktionen für die Bereitstellung von Handlungsempfehlungen wurde geplant.

## **6.5 Die Wundakte**

### **6.5.1 Aufgabenstellung**

Die im neuromorphen Scanner extrahierten Merkmale werden verschlüsselt und an eine digitale Patientenakte versendet. Zu diesen Merkmalen zählen komprimierte Matrizen, in denen die Bildinformationen aller Kameras fusioniert sind. Die Speicherung in digitalen Patientenakten ermöglicht zusätzlich zur lokalen Datenverarbeitung eine ganzheitliche Analyse durch neuronale Netze sowie eine Visualisierung der Merkmale für telemedizinische Dienste. Mittels des neuronalen Netzes wird eine vergleichende Analyse des in den Akten gespeicherten Wundverlaufes ermöglicht. So können differenzierte Empfehlungen zu langfristigen Therapiemaßnahmen generiert werden, wie beispielsweise Hinweise zur individualisierten Kompressionstherapie oder eine Entscheidung zum chirurgischen Débridement.

Die Speicherung erfolgt unter Berücksichtigung klinischer Standards, sodass die Daten in digitale Patientenakten und später in Krankenhaus-Serverstrukturen integriert werden können.

### **6.5.2 Umsetzung und Funktionalitäten**

Die Entwicklung einer digitalen Patientenakte wurde sowohl konzeptionell als auch programmieretechnisch komplett umgesetzt.

Im Folgenden werden wesentliche Entwicklungsfeatures der Patientenakte vorgestellt:

Es wurden die klinisch relevanten Parameter, die auch durch die multimodalen Kameradaten abgedeckt werden, spezifiziert und in die Akte aufgenommen.

Nachdem in 2022 mit der Programmierung der Patientenakte begonnen wurde, wurde diese in 2023 größtenteils in der ersten (Beta-)Fassung finalisiert. Dabei wurde das im Jahr 2022 entwickelte inhaltliche Konzept beibehalten und durch verschiedene Details ergänzt.

Zudem wurde ein User Management mit zwei verschiedenen Berechtigungsebenen grundlegend implementiert, um die Anwendung im klinischen Alltag durch unterschiedliche Nutzer abzubilden.

Darüber hinaus wurden insbesondere in Quartal 4 des Jahres 2023 die ersten multimodalen Kameradaten testweise in die Patientenakte eingespielt und die Akte hinsichtlich deren Darstellung optimiert. Dafür war es unter anderem nötig, die Akte so anzupassen, dass das genutzte Dateiformat gff der multimodalen Kameradaten durch die Patientenakte ausgelesen werden kann.

In 2024 wurde unter anderem in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ein Konzept zur Dateibenennung erarbeitet, das es ermöglicht, die multimodalen Kameradaten in der Patientenakte automatisiert spezifischen Wunden und Daten zuzuordnen, um eine automatische und übersichtliche Zuordnung der Wunddaten zu gewährleisten.

Außerdem wurde die Übertragung der multimodalen Kameradaten an die Patientenakte automatisiert.

Zudem wurden datenschutzrelevante Details bei der Speicherung, Übertragung und Darstellung in der digitalen Patientenakte umgesetzt.

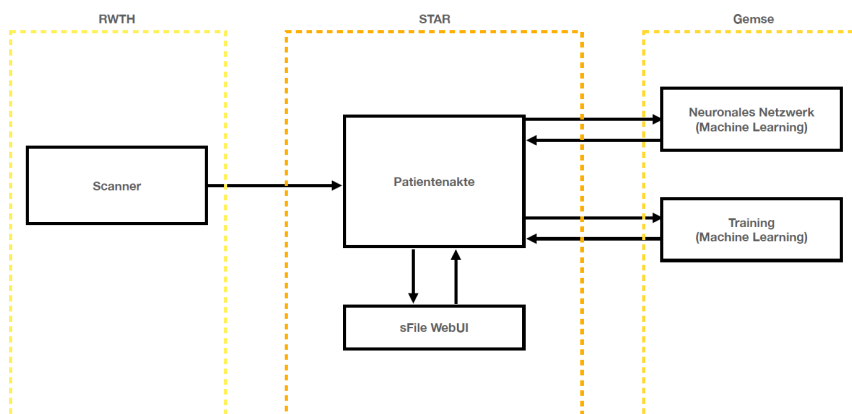


Abb. 3: Soft- und Hardwarekomponenten

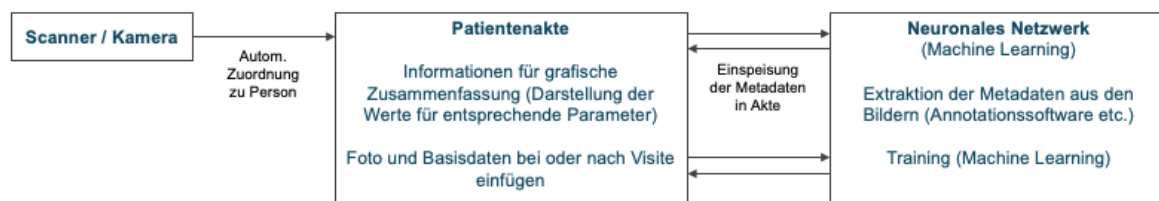


Abb. 4: Soft- und Hardwarekomponenten: Konkretisierung Datenfluss

## 6.5.3 Entwicklungsschritte

### 6.5.3.1 Inhaltliche Gestaltung

Grundlage der Akte war die Definition der zu integrierenden Parameter, um Patienten- und Vorgangsdaten sowie die Bildbefunde aus der Infrarot-Thermografie dokumentieren, ordnen, den Vorgängen zuordnen und damit den Wundversorgungsprozess steuern zu können.

Die Parameter wurden nach Konsultation der teilnehmenden Mediziner sowie nach Einsicht in bestehende Wunddokumentationen festgelegt.

#### Parameter

Liste der dokumentierten Patienten- und Vorgangsparameter:

**Basisdaten Patient:**

Geschlecht	Ernährungssituation
Geburtsdatum	Psychosoziale Situation
Körpergröße	Medikation
Körpergewicht	Selbstpflegekompetenz
BMI	Patienten- / Angehörigenwissen
Einschränkung der Mobilität	Priorität
Primäre Behandlungsursache	Lokalisation der Wunde(n) (visualisiert)
Behandlungsbeginn	Art der Wunde
Allgemeinzustand	Fotos aktuelle Visite
Erkrankungen (Auswahloptionen: Amputationen / Arterielle Verschluss- krankheit / Coronare/ Venöse Insuffizienz / Diabetes mellitus / Polyneuropathie)	Planung nächste Wundvisite

**Visite: (Sequenzielle Visiten pro Einzelwunde)**

Datum	Nächste Wundvisite
Uhrzeit	Behandlung / Therapieform (Antibiose / Bandage angebracht / Verband)
Ort der Wundvisite (Häusliches Umfeld, ambulant, stationär)	Fotos aktuelle Visite
Versorgungsintervall	Subjektiver Schmerz

**Wundtyp:**

Dekubitus	Schürfwunde
Diabetisches Fußsyndrom	Sonstige Problemwunde
Gangrän	Stoma
Nekrose	Tumorexulzeration
CP-Wunde	Ulcus cruris arteriosum
Periphere arterielle Verschlusskrankheit	Ulcus cruris mixtum
Platzwunde	Ulcus cruris venosum
Postoperative Wundheilungsstörung	Verbrennung

**Aktuelle Wunddetails:**

Lokalisation (Obere Extremität, Rücken, Gesäß, Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß, Andere)	Größe (Fläche: Länge, Breite, Tiefe; Volumen)
	Dekubitusstufe

Gewebearten in Prozent von Wundfläche  
(Granulationsgewebe, Nekrotisches  
Gewebe, Fibrinbeläge, Epithelgewebe)

Hautgewebearten im Wundbett (Fettgewebe,  
Sehnen, Knochen, Muskeln )

Bewertung der Mazeration (Optionen: Skala  
0 bis 2)

Durchschnittliche Oxygenierung Wundbett

### **6.5.2.2 Technische Entwicklung (Zusammenfassung)**

#### **Architektur, Frameworks und Aufbau:**

Die Web-Akte basiert auf einem Node Webserver-Projekt mit einem Browser-Client html5-User Interface (UI), das die Vue Bibliothek benutzt. Der Server und Browser-Client sind direkt in Javascript ohne Zwischenkompilierungsschritt kodiert.

Ein Python-Script in einem Pipenv Container wird zum Konvertieren von gff-Dateien verwendet, da für das GFF Format nur Python-Bindings verfügbar sind.

Eine REST-API zum Einreichen von GFF-Dateien steht bereit. Diese kann auch über ein Bash-Script von der Kommandozeile genutzt werden.

#### **Weitere Abhängigkeiten:**

Im UI wird zur Generierung von PDFs html2pdf verwendet. Zur Generierung von Graphen wird chart.js verwendet. Moment.js wird zum Einlesen und Darstellen von Datums-strings genutzt. Die Serverkomponente verwendet das node express-Framework, bcrypt, sharp (als Image & Thumbnail Framework), und csv-Parser (für GFF Metadaten).

#### **Datenbank:**

Die Datenbank ist in einfachen JSON-Dokumenten organisiert. Uploads werden als einfache Dateien abgelegt, für Bilder werden Thumbnails in verschiedenen Größen generiert und GFF-Archive werden für schnelleren Zugriff nach Upload extrahiert. Die Originaldateien werden immer beibehalten.

Jede Datenbank Operation schreibt einen Log, wann welche Änderung von welchem User durchgeführt wurde. Diese können im Web-UI eingesehen, bei Datensatzänderungen können der neue und alte Wert verglichen werden.

#### **Tests:**

Zum Testen wurde das Standard node-Testframework verwendet. Ein Testserver wurde automatisch via GitLab-ci worker nach jedem Commit deployed. Zu jeder Änderung wurde von GitLab zusätzlich ein dist Archiv Snapshot Build generiert. Jedes Datenobjekt konnte mit Zufallsdaten (inklusive PNG-bildern mit weißem Rauschen) erzeugt werden, um beim manuellen und automatischen Testen zu helfen.

#### **Deployment:**

Für das initiale Deployment existierte ein bash Script, das auf einem aktuellen Ubuntu Linux-Server (Version 24.04+) die benötigten Abhängigkeiten installiert und eine nginx Web-Server Konfiguration aufgesetzt hat, um die den node web-service als proxy\_pass weiterzuleiten. Die Möglichkeit eines Stand Alone-Deployments als Desktop app in einem Electron-Container ohne Netzwerkanbindung wurde generell nicht ausgeschlossen, wurde aber bis jetzt nicht implementiert.

### Testumgebung:

Automatisch ausgeführte Tests die von einem GitLab-System in isolierten Docker Containern nach jedem Code Update ausgeführt werden. Die automatischen Tests führen POSTs und PUT Updates auf eine vordefinierte List von Datenbank Objekten durch und prüfen, dass die Änderungen wie erwartet übernommen wurden.

Wenn Tests nach einer Code Änderung nicht durchlaufen, wird das auf der GitLab-Seite angezeigt. Es wird eine E-Mail generiert. Zusätzlich wird das Update noch auf einen internen Testserver zum User-testing deployed.

### Testergebnisse:

Die Tests zeigten keine Probleme mit Codes und Updates.

Folgende Beispielbilder aus der Patientenakte zeigen die wichtigsten Funktionen und Daten:

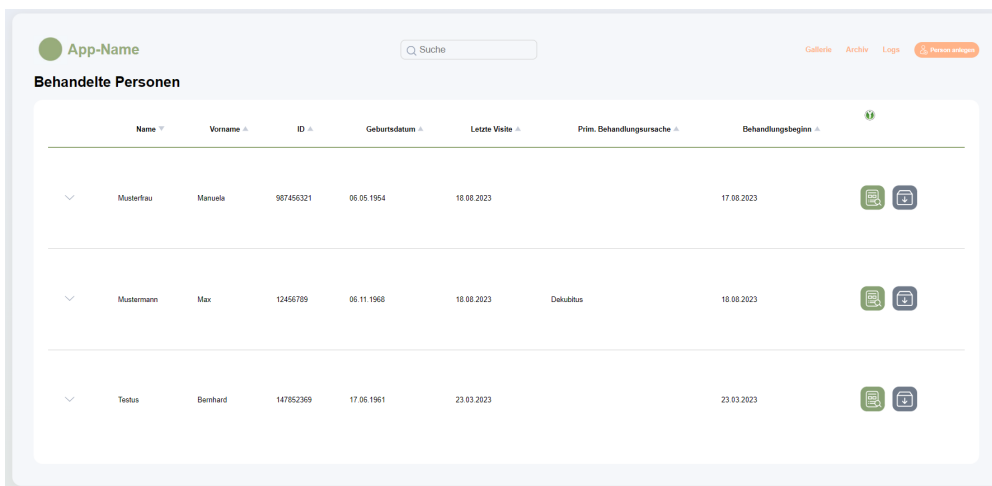


Abb. 5: Übersichtsseite Patientenakte

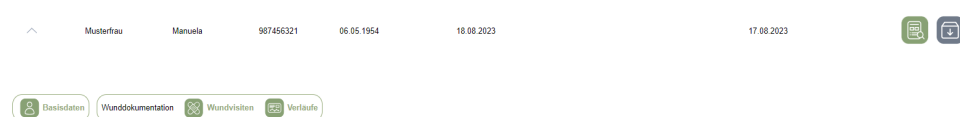


Abb. 6: Übersichtsseite Patientenakte: Auswahlmöglichkeiten

- 1 Eintragungen bei Aufnahme des Patienten

2 Dokumentation der Visiten

3 Anschauliche Darstellung der Verläufe
- 4 Zusammenfassung der Daten in Berichtsform

5 Archivierung des Patienten bei Entlassung

Abb. 7: Ablauf Aktionen der Patientenakte

The screenshot shows the 'Basisdaten' (Basic Data) section for patient 'Musterfrau, Manuela' (ID 987456321). The interface includes a 'Neue Visite' button and a 'Bearbeiten' button. The patient's data is organized into several categories:

- Geschlecht:** (Blank)
- Geburtsdatum:** 06.05.1954
- Größe:** 153.00 cm
- Gewicht:** 60.00 kg
- BMI:** 25.6
- Einschränkung der Mobilität:** Stark
- Primäre Behandlungssursache:** (Blank)
- Behandlungsbeginn:** 17.08.2023
- Allgemeinzustand:** (Blank)
- Begleiterkrankungen:** (Blank)
- Ernährungssituation:** (Blank)
- Psychosoziale Situation:** (Blank)
- Medikation:** (Blank)
- Selbstpflegekompetenz:** (Blank)
- Patienten-/ Angehörigenwissen:** (Blank)
- Kommentar:** (Blank)
- Priorität:** Medium

On the right side, there is a section for '(Aktuelle) Lokalisation der Wunde' (Current Wound Localization) showing a body diagram with 'Wunde 1' highlighted. Below it, the 'Art der Wunde' (Wound Type) is listed as 'Dekubitus'. A 'Foto aktueller Visite' (Current Visit Photo) is displayed, showing a wound on a patient's back. The 'Nächste Wundvisite' (Next Wound Visit) is scheduled for 21.11.2023.

Abb. 8: Basisdaten Patient: Automatisches Auslesen des Fotos aus Datenbank

The screenshot shows the 'Wundvisiten' (Wound Visits) section for patient 'Musterfrau, Manuela' (ID 987456321). It displays 'Wunddokumentation vom 18.08.2023 - 26.08.2023' (Wound Documentation from 18.08.2023 - 26.08.2023). The interface includes a 'Neue Visite' button and a 'Bearbeiten' button. The wound documentation is organized into several sections:

- Alle Wunden:** Wunde 1, Wunde 2, Wunde 3
- Wunddokumentation vom 17.11.2023 16:59 Uhr:** (Blank)
- Wundfoto:** A photo of the wound on the patient's back, with a 'Bearbeiten' button.
- Lokalisation:** A body diagram with 'Wunde 1' highlighted.
- Art:** Dekubitus
- Stufe:** 0
- Schmerz:** 2
- Behandlung:** ["Weichlagerung und Verband"]
- Kommentar:** thermale Auffälligkeit i.S.v. Wechsel, potentielle Entzündung, da Hacke 0.8°C wärmer

On the right side, there is a table with wound characteristics:

Fläche	58 mm²	↓	Durchschnittliche Oxygenierung Wundbett	98
Tiefe	3 mm	↑	Oxygenierung Wundbett vs. Gesundes Gewebe	1
Volumen	77 mm³	↓		
Gewebearten in Prozent von Wundfläche:		Hautgewebearten im Wundbett, prozentual:		
Granulationsgewebe	100 %		Fettgewebe	0 %
Nekrotisches Gewebe	0 %		Sehnen	0 %
Fibrinbelag	0 %		Knochen	0 %
Epithelgewebe	0 %		Muskeln	0 %
Bewertung der Mazeration	1			

Abb. 9: Automatisches Auslesen von Fotos und Daten aus Datenbank

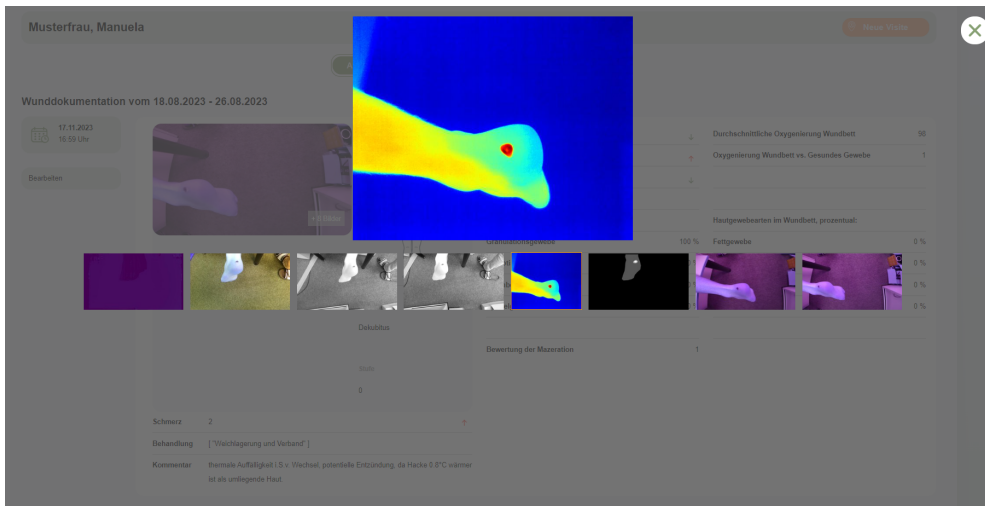


Abb. 10: Bildergalerie pro Visite

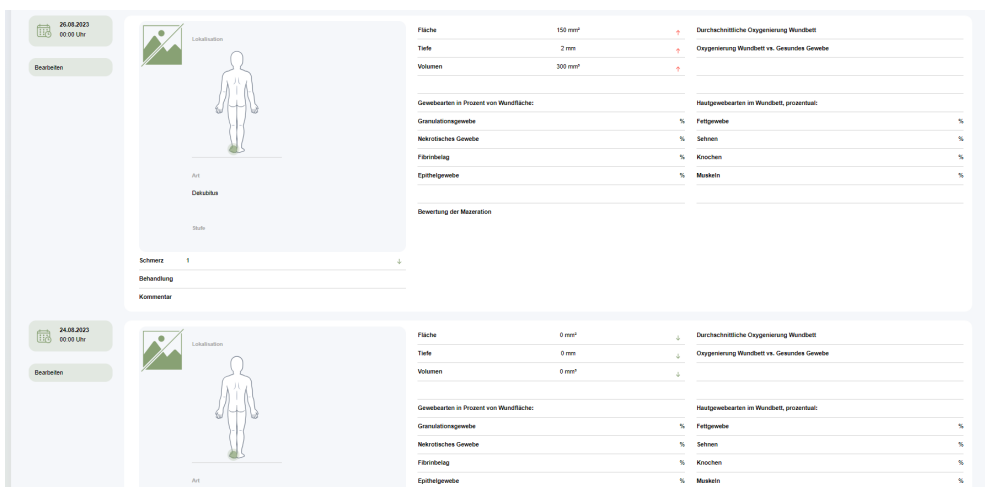


Abb. 11: Wundvisite: Dokumentierter Verlauf

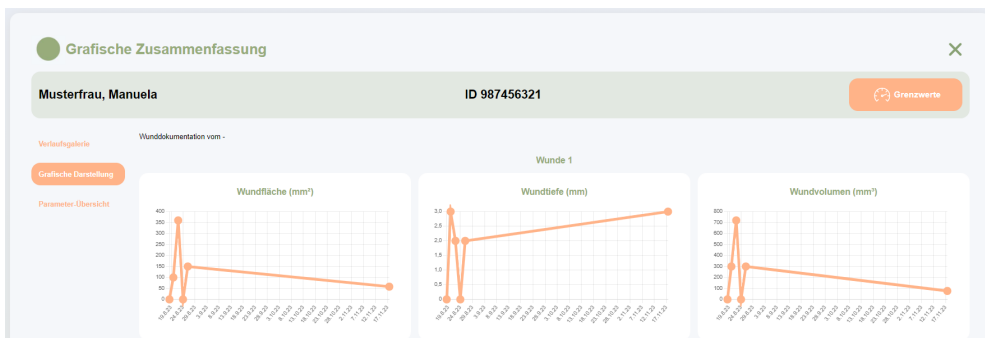


Abb. 12: Automatische Erstellung von Diagrammen aus den vorliegenden Daten

Wunde: 1 Parameter	18.08.2023	20.08.2023	22.08.2023	24.08.2023	26.08.2023	17.11.2023
Wundtiefe (mm)	0	3	2	0	2	3
Wundvolumen (mm <sup>3</sup> )	0	300	720	0	300	77
Granulationsgewebe (%)						100
Nekrotisches Gewebe (%)						0
Fibrinbelag (%)						0
Epithelgewebe (%)						0
Bewertung der Mazeration						1
Durchschnittliche Oxygenierung Wundbett						98
Oxygenierung Wundbett vs. Gesundes Gewebe						1
Fettgewebe (%)						0
Sehnen (%)						0
Knochen (%)						0
Muskeln (%)						0

Abb. 13: Automatische Erstellung von Vergleichstabellen aus den vorliegenden Daten

## 7 Nutzen und Verwertbarkeit

Die erzielten Ergebnisse können nun dazu genutzt werden, um durch die Kombination verschiedener Messtechniken die Diagnose chronischer Wunden weiter zu verbessern. Eine Fusion der Daten aus der kontinuierlichen Messung mittels lokaler Sensorik mit den Daten der optischen Analyse könnte in Zukunft sowohl eine kontinuierliche Überwachung des Zustands einer bestehenden Wunde ermöglichen, als auch die Früherkennung der Entstehung neuer Wunden.

Die Ergebnisse und Erfahrungen, die in den Teilbereichen Datenfusion und Patientenakte gewonnen wurden, sind auch in weiteren Projekten anwendbar und fließen in eine seit Jahren kontinuierliche Produktentwicklung zur medizinischen Prozess-Steuerung ein.

Erste Versuche einer wirtschaftlichen Verwertbarkeit wurden bereits durch Gespräche mit Verbandmittelherstellern in Angriff genommen.

## 8 Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Fortschritte speziell im Bereich des Wundmonitorings und damit verbundener Software-Anwendungen an anderer Stelle konnten während der Projektlaufzeit nicht beobachtet werden.

## 9 Veröffentlichung der Ergebnisse

Veröffentlichungen der Ergebnisse entstehen in Absprache mit den Projektpartnern. Hier besteht derzeit noch eine Abstimmungsphase.