

## BESTANDSAUFNAHME DER SENSORIK

### FORSCHUNGSINTERESSE:

Über welche Sensorik verfügen die Partner des Zukunftslabors?

### VORGEHEN:

- Um sich einen Überblick zu verschaffen, welche Sensorik im Zukunftslabor vorhanden ist, nahmen die Wissenschaftler\*innen zunächst den Bestand auf. Dabei fokussierten sie sich auf mobile Low-Cost Sensorik mit WLAN oder Mobilfunkanbindung. Das ist erschwingliche Hardware, die sich leicht transportieren und in die Umgebung der Patient\*innen integrieren lässt. Über WLAN oder Mobilfunk übermitteln die Sensoren die erfassten Daten an einen Datenspeicher/eine Datenplattform.
- Im Anschluss an die Bestandsaufnahme kategorisierten die Wissenschaftler\*innen die Sensorik nach Art, Beschreibung, Zielsetzung, Datenformat und Standort.
- Neben der Hardware ermittelten die Wissenschaftler\*innen auch, welche Softwarelösungen für Machine Learning bei den Partnern des Zukunftslabors vorliegen. Machine Learning kann für die intelligente Auswertung der Sensordaten eingesetzt werden.

### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Zu der vorhandenen Sensorik zählen z. B. Raumkameras, Sensoranzüge und vernetzte Raumelemente wie Licht, Türen, Herd, Kühlschrank oder Heizung.
- Durch die Kategorisierung der Sensorik entstand ein Hardware-Katalog, der die gesamte verfügbare Sensorik der niedersächsischen Forschungspartner übersichtlich zusammenfasst.

## ANFORDERUNGEN AN DIE SOFTWARE VON SENSORIK

### FORSCHUNGSINTERESSE:

Welche Kriterien muss die Software von Sensorik erfüllen, die im privaten Umfeld von Personen integriert wird?

### VORGEHEN:

- Für die Datenübertragung ist eine passende Software notwendig. Daher erstellten die Wissenschaftler\*innen einen Katalog mit Kriterien, die die Software erfüllen muss.
- Unter Berücksichtigung des Kriterienkatalogs und der Integrierbarkeit wählten die Wissenschaftler\*innen Sensorik mit passender Software aus und fügten sie in ein Forschungs-Smart-Home ein sowie in sechs reale, smarte Wohnungen eines Kooperationspartners. Darüber hinaus integrierten die Wissenschaftler\*innen Sensoren im Auto, die den physischen und kognitiven Zustand erfassen. Beispielsweise überprüften die Wissenschaftler\*innen die Funktionsfähigkeit von Lenkradsensoren mit einer Studie, an der 54 Proband\*innen teilnahmen.

### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Die Wissenschaftler\*innen erstellten einen Kriterienkatalog für Sensoren, die im Umfeld der Patient\*innen, wie zu Hause oder im Auto, eingesetzt werden sollen. Zu den Kriterien gehört, dass die Software Open Source sein muss, also öffentlich zugänglich und weiterentwickelbar. Die Sensoren müssen außerdem eine hohe Messgenauigkeit aufweisen, in den privaten Lebensraum integrierbar sein und Schnittstellen zur Datenübertragung bieten. Sie sollen so unauffällig platziert werden, dass die Personen ihr Verhalten nicht ändern müssen und die Messungen unbemerkt stattfinden.
- Durch die Integration der Sensorik in das Forschungs-Smart-Home, reale Wohnungen und Autos sammelten die Wissenschaftler\*innen Daten aus dem direkten Umfeld der Patient\*innen. Diese Daten ermöglichen ein kontinuierliches Monitoring über kurze und längere Zeiträume, um Veränderungen im Gesundheitszustand frühzeitig zu erkennen und medizinischen Notfällen oder Krankheiten vorzubeugen.

## DATENAUSWERTUNG MITHILFE VON MACHINE LEARNING

### FORSCHUNGSINTERESSE:

- Wie kann die Vielzahl der Daten, die über Sensorik erfasst wird, ausgewertet werden?
- Wie können Messfehler bzw. Messungenauigkeiten von Anomalien (Abweichungen vom Normalzustand) im Gesundheitszustand unterschieden werden?

### VORGEHEN:

- Die Wissenschaftler\*innen setzten Machine Learning ein, um die Sensordaten auszuwerten.
- Für die Differenzierung von Messfehlern/-ungenauigkeiten und Anomalien setzten die Wissenschaftler\*innen verschiedene Sensoren für die Messung eines physikalischen Wertes ein. Denn es ist unwahrscheinlich, dass verschiedene Messprinzipien zur selben Zeit Messfehler aufweisen.

### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Der Einsatz verschiedener Sensoren zur Messung desselben Wertes ergibt eine weitere Herausforderung: Wenn mehr und mehr neue Sensoren integriert werden, dann können die alten Messungen nicht mehr für das Machine Learning verwendet werden, weil die Daten nicht übereinstimmen. Demnach muss der Algorithmus mit partiellen Daten trainiert werden.

- Darüber hinaus wird es problematisch, wenn Sensoren ausfallen. Es muss ein System geben, dass Sensorausfälle erkennt und signalisiert. Deshalb arbeiteten die Wissenschaftler\*innen an einem Unified Framework, das Formen und Eigenfrequenzen der beschädigten Sensorstruktur bestimmt. Dieses testeten sie im Rahmen der Smart Homes.

### STRUKTUR ZUR VERARBEITUNG DER SENSORDATEN

#### FORSCHUNGSINTERESSE:

- Wie werden die Sensordaten für die Datenauswertung aufbereitet?

#### VORGEHEN:

- Die Wissenschaftler\*innen entwickelten eine Struktur zur Verarbeitung der Sensordaten. Diese besteht aus drei Phasen: Processing, Signal Input, Rulebase.

#### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- In der ersten Phase (Processing) werden die Daten gefiltert. Abhängig vom Sensor erfolgt z. B. eine Rauschunterdrückung oder eine Interpolation (Bestimmung von Zwischenwerten) bei Sensorausfällen.
- In der zweiten Phase (Signal Input) werden Merkmale extrahiert (z. B. Gelenkwinkel) und Mustererkennungen durchführt, um Körperhaltung und Bewegung zu erkennen. Bei der Körperhaltung werden z. B. die Gelenkwinkel analysiert, bei der Bewegung sind es die Richtung und Geschwindigkeit der bewegten Körperteile.
- Auf Basis des RULA-Regelwerkes (Katalog mit Gelenkhaltungen aus der Ergonomie) können in der dritten Phase (Rulebase) Interpretationsregeln zur Bewertung angewendet werden. Wenn z. B. der Schulterwinkel über 90 Grad beträgt, ist das gesundheitsschädigend und wird mit Score 3 - dem schlechtesten Score - bewertet. Da Bewegungen aus vielen Gelenkpositionen bestehen und daher viele Regeln angewendet werden müssen, werden für die Berechnungen Methoden aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz angewendet. Im Anschluss an diese drei Signalverarbeitungsphasen werden die Ergebnisse für die Patient\*innen/Pflegefachkräfte aufbereitet, um konkrete Handlungsempfehlungen auszusprechen.

### SENSORIK IM TEST

#### FORSCHUNGSINTERESSE:

- Wie gut erfassen Sensoren physikalische Werte?

#### VORGEHEN:

- Testweise erfassten die Wissenschaftler\*innen mithilfe von Kamerasensoren Gesicht und Mimik von 30 Proband\*innen mit dem Ziel, Rückschlüsse auf den psychischen Zustand zu ziehen.
- Darüber hinaus testeten sie einen Wirbelsäulensensor (ein Band mit Sensoren, das in ein T-Shirt eingenäht werden kann), um die Körperhaltung in verschiedenen Positionen zu erfassen (sitzen, liegen, nach vorne und zur Seite beugen).
- Des Weiteren erhoben sie Daten zur Körperhaltung mittels EKG-T-Shirt. Bei diesem T-Shirt sind die Sensoren an unterschiedlichen Stellen verteilt.

#### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Die Tests des EKG-T-Shirt zeigen, dass je nach Bewegung die Sensoren nicht am Körper anliegen und keine Daten erfassen. Diese Abweichung wurde von den Algorithmen, die die Daten analysieren, erkannt. Bisher wurden diese Daten manuell von den Wissenschaftler\*innen aus der Datengrundlage entfernt. Perspektivisch soll dies automatisch geschehen.
- Der Test des EKG-T-Shirts ergab außerdem, dass bei 77 % der Proband\*innen schlafen, sitzen, gehen und rennen richtig erkannt wurde.
- Zukünftig sollen die Daten der unterschiedlichen Sensoren (Kameras, Wirbelsäulensensoren, EKG-T-Shirt) zusammengeführt werden, um den Gesundheitszustand noch besser analysieren zu können.

### SENSORIK ZUR PRÄVENTION IN DER PFLEGE

#### FORSCHUNGSINTERESSE:

- Wie kann die körperliche Belastung des Pflegepersonals ermittelt und minimiert werden?

#### VORGEHEN:

- Mithilfe von Sensoren erfassten die Wissenschaftler\*innen des Zukunftslabors die Körperhaltung des Pflegepersonals. Bei potenziell schädlichen Körperhaltungen und Belastungen soll das Pflegepersonal durch ein Alarmsystem gewarnt werden, um Muskel-Skelett-Erkrankungen zu verhindern. Konkret ging es um die Unterstützung des Pflegepersonals bei der Umlagerung der Patient\*innen. Hier spielt die Körperhaltung eine entscheidende Rolle, denn ergonomisches Arbeiten kann die Belastungen deutlich reduzieren.

#### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Die Wissenschaftler\*innen erfassten die Daten zur Körperhaltung mithilfe von Kameras und Inertialsensoren (Kombination mehrerer Sensortypen zur Aufzeichnung dreidimensionaler Bewegungen). Über eine Kraftmessplatte analysierten sie die Kräfte, die auf das Pflegepersonal einwirken, und mit sogenannten Elektromyographen erfassten sie die Muskelaktivität, um die Beanspruchung einzelner Muskeln während der Pflegetätigkeiten zu messen.
- Bei den Kameras handelte es sich um Tiefenkameras. Sie erfassen keine Gesichter, sondern nur den Abstand zur Kamera und somit die Umrisse der Personen. Dadurch wird die Privatsphäre des Pflegepersonals und der Patient\*innen gewahrt. Für die Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen ist es wichtig zu erkennen, welche Körperhaltung das Pflegepersonal beim Umlagern der Patient\*innen einnimmt. Diese Informationen liefern die Tiefenkameras.

### SENSORIK ZUR BEWEGUNGSANALYSE DES RÜCKENS

#### FORSCHUNGSINTERESSE:

- Wie lässt sich die Bewegung des Rückens präzise im Raum über die Zeit verfolgen?
- Wie lässt sich dabei die Vorbereitungszeit von Proband\*innen/Patient\*innen minimieren, so dass größer angelegte Studien durchführbar bzw. Anwendungen im medizinischen Alltag möglich sind?

#### VORGEHEN:

- Im Bereich der präzisen Wirbelsäulenverfolgung sind markerbasierte Ansätze weiterhin der Stand der Technik, da die Wirbelsäule viele Freiheitsgrade besitzt und der menschliche Rücken von Natur aus wenig deskriptiv und damit schwer verfolgbar ist.
- Die Wissenschaftler\*innen des Zukunftslabors entwickelten das Tracken mittels gelochtem Kinesiotape, welches am Rücken des Patient\*innen angebracht und mit 6 Kameras verfolgt wird.
- Das entwickelte System verfolgt so ca. 50 Punkte entlang der Wirbelsäule mit einer Aufnahmegeschwindigkeit von 100 Bildern in der Sekunde.

#### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Im direkten Vergleich zu ähnlich präzisen markerbasierten Verfahren zeichnet sich das durch die Wissenschaftler\*innen des Zukunftslabors entwickelte Verfahren durch kurze Vorbereitungszeiten von Proband\*innen aus, welche aus wenigen Sekunden besteht. Bei anderen Verfahren kann diese Zeit 30 Minuten und mehr betragen. Damit ist das entwickelte System für Arztpraxen und Rehabilitationszentren geeignet.

- Mit einer Positionsgenauigkeit der Marker von 4,12 mm entwickelten die Wissenschaftler\*innen des Zukunftslabors zudem eine sehr präzise Sensorik, wodurch in Verbindung mit einem muskuloskelettalen Modell die Krafteinwirkung auf die Wirbelsäule während der Bewegung berechenbar ist.

#### SENSORIK ZUR BEWEGUNGSANALYSE IN UNTERSCHIEDLICHEN USE-CASES

##### FORSCHUNGSINTERESSE:

- Welche Sensorik zur Bewegungsanalyse eignet sich in den Use-Cases Prävention von Pflegefachpersonen, Unterstützung von Rehabilitationsanwendungen und Einsatz im häuslichen Umfeld am besten?

##### VORGEHEN:

- Die Wissenschaftler\*innen entwickelten einen Prozess, um die Eignung der bekannten und zuvor gesammelten Sensortechnologien zur Bewegungsanalyse für die unterschiedlichen Use-Cases zu bewerten. Dafür wurden zunächst Bewertungskriterien, wie z. B. die Genauigkeit oder die Handhabung vor und nach einer Messung, für die Sensortechnologien in einem gemeinsamen Workshop identifiziert. Anhand dieser Kriterien wurde jede Sensortechnologie separat von den Wissenschaftler\*innen bewertet. Zudem wurden die Use-Cases in einem weiteren Workshop detailliert beschrieben und eine Methode zum Ranking der Bedeutsamkeit der Bewertungskriterien für jeden Use-Case entwickelt. Dieses Ranking wurde ebenfalls separat von den Wissenschaftler\*innen durchgeführt. Auf Basis der Ergebnisse für die Bewertungskategorien der Sensortechnologien und des Rankings der Bewertungskategorien für jeden Use-Case wurde die Eignung der Sensortechnologien für die unterschiedlichen Use-Cases mit Hilfe eines Scores berechnet.

##### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Die Wissenschaftler\*innen konnten durch das Vorgehen eine transparente Bewertung der Eignung von verschiedenen Sensortechnologien für verschiedene Use-Cases identifizieren. Die Ergebnisse sollen Interessierte dabei unterstützen, die geeigneten Sensortechnologien für ihr Projekt zu finden. Dehnungsmessstreifen in Kombination mit einem Inertialsensor eignen sich für Anwendungen, die insbesondere die Bewegungen des Rückens analysieren wollen. Für Anwendungen, die den ganzen Körper umfassen sollen, stellten sich Inertialsensoren oder Wärmebildkameras als geeignete Sensortechnologien heraus.

#### SENSORIK ZUR ERFASSUNG VON UMWELTFAKTOREN

##### FORSCHUNGSINTERESSE:

- Wie können gesundheitsschädigende Umweltfaktoren erfasst werden?
- Wie kann das Gesundheitsrisiko für Patient\*innen und medizinisches Personal sichtbar gemacht werden?

##### VORGEHEN:

- Neben den Vitalparametern und Bewegungsmustern wirken sich auch Umweltfaktoren auf die Gesundheit des Menschen aus, vor allem Luftverschmutzung durch Feinstaub, Schwefeldioxid, Ozon, Kohlenstoffmonoxid und Stickstoff sowie die Umgebungstemperatur. Deswegen erhoben die Wissenschaftler\*innen auch Daten von Umweltsensoren. Diese Daten wurden für die openEHR-Plattform des Zukunftslabors modelliert und in die Plattform integriert.
- Um das Gesundheitsrisiko für Patient\*innen und medizinisches Personal sichtbar zu machen, entwickeln die Wissenschaftler\*innen eine digitale Anwendung, die auf gesundheitsschädigende Umweltfaktoren hinweist. Die Anwendung soll zeigen, welche Auswirkungen diese Faktoren auf die Gesundheit haben und welche Maßnahmen das Risiko verringern können.
- Gemeinsam mit Studierenden der Angewandten Pflegewissenschaft bestimmten die Wissenschaftler\*innen funktionale und nicht-funktionale Anforderungen an die Anwendung. Funktionale Anforderungen sind erforderlich, um die Umweltdaten zu messen und auszuwerten (z. B. Messung im Raum, Signal bei Störungen, Schutz vor Manipulation). Nicht-funktionale Anforderungen sind nicht zwingend erforderlich, aber nützlich (z. B. Verfügbarkeit auf verschiedenen Endgeräten, Einstellung der Schriftgröße, Touch-Screen).

##### ERGEBNISSE/ERKENNTNISSE:

- Durch die Überführung der Umweltdaten in die Plattform ist es möglich, die Daten zu Luftverschmutzungspartikeln sowie einen 24-Stunden-Durchschnittswert der Konzentration zu speichern.
- Außerdem kann ein Schätzwert des Gesundheitsrisikos, das durch die Luftverschmutzungspartikel entsteht, angegeben werden. Die Schätzung orientiert sich an wissenschaftlichen Studien. Dessen zufolge steigt das Risiko für die Gesundheit, wenn die Umweltbelastung zunimmt. In Anbetracht der Unsicherheit der Schätzung können ein unterer Risikowert, der Mittelwert und ein oberer Risikowert angegeben werden. Dies ist wichtig, da für besonders vulnerable Personen schon bei niedrigen Belastungskonzentrationen ein höheres Gesundheitsrisiko besteht. Bei Menschen ohne besondere Vulnerabilität bzw. mit hoher Resilienz liegt das Risiko für die Gesundheit im Mittelwert oder im unteren Bereich.
- Die Studierenden erstellen erste Prototypen für die digitale Anzeige des Gesundheitsrisikos. Sie entwarfen und diskutierten verschiedene Designs (z. B. Verlaufswerte im Zeitdiagramm, farbliche Anzeigen entsprechend eines Ampelsystems). Als Anwendungsszenario betrachteten sie das kardiovaskuläre Risiko, das durch zu hohe Feinstaubwerte entsteht. Kardiovaskuläre Krankheiten betreffen das Herz und die Blutgefäße.
- Anhand der Prototypen der Studierenden wurde ein Demonstrator implementiert und in einer Pilotstudie mit Studierenden der Angewandten Pflegewissenschaft evaluiert. Durch die Evaluation wurden Verbesserungspotenziale des Demonstrators identifiziert aber auch Bedarfe zur Förderung des Wissens über die gesundheitliche Wirkung von Umweltfaktoren bei den studierenden Pflegefachpersonen bestätigt.