

Schlussbericht zum Teilprojekt: *Smart Nutrition & tragbare Sensoren und Digitalisierung II im Verbundprojekt Agrarsysteme der Zukunft: „Food4Future – Nahrung der Zukunft“, Teilprojekt G*



food4future



Technische  
Hochschule  
Wildau  
Technical University  
of Applied Sciences

**Förderkennzeichen**

031B0730 G

**Berichtszeitraum**

01.03.2019 – 31.08.2024

**Zuwendungsempfänger**

Technische Hochschule Wildau

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**„Agrarsysteme der Zukunft:  
F4F – Nahrung der Zukunft,  
Teilprojekt G“**

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B0730 G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.**

## Informationen zum Fördervorhaben

---

Datum	Wildau, den 05.12.2024
Zuwendungsempfänger:	Technische Hochschule Wildau Hochschulring 1 15745 Wildau
Förderkennzeichen:	031B0730 G
Vorhabensbezeichnung:	Food4Future - Smart Nutrition & tragbare Sensoren und Digitalisierung II im Verbundprojekt Agrarsysteme der Zukunft: „Food4Future – Nahrung der Zukunft“, Teilprojekt G
Laufzeit des Vorhabens:	01.03.2019 – 31.08.2024
Berichtszeitraum:	01.03.2019 – 31.08.2024
Projektpartner:	Technische Hochschule Wildau, Dr. Egbert Gedat <i>Zuwendungsempfänger, Projektleitung</i>  Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) Prof. Dr. Monika Schreiner <i>Verbundkoordinatorin</i>  Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke (DIfE) Dr. Daniela Weber <i>direkter Kooperationspartner im Teilprojekt Smart Nutrition &amp; Tragbare Sensoren und Digitalisierung</i>  Weitere Projektpartner im Verbundprojekt siehe <a href="https://www.food4future.de/de/teilprojekte/ueberblick">https://www.food4future.de/de/teilprojekte/ueberblick</a>

# Teil I: Kurzbericht

## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung und wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn .....	1
1.1	Aufgabenstellung .....	1
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	1
2	Ablauf des Vorhabens .....	1
3	Wesentliche Ergebnisse.....	1
4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	2

# 1 Aufgabenstellung und wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Erfassung, Speicherung, Zurverfügungstellung und Verarbeitung von personenbezogenen Ernährungs- und Vitaldaten zur Erforschung ernährungsbezogener Probandenstudien.

## 1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Kooperationspartner Deutsches Institut für Ernährungsforschung (DifE) führt seit mehreren Jahrzehnten, jetzt auch in einem neu erbauten Humanstudienzentrum, Probandenstudien zur Erforschung ernährungsbezogener Parameter durch. Hier werden Anamnesegespräche, Ernährungsprotokolle in Papierform und Blutanalysen der Probanden eingesetzt.

## 2 Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde wegen der Personalsituation etwas verspätet im Januar 2020, statt wie vorgesehen im März 2019, gestartet. Die Mittel konnten durch Änderungsbescheid in das neue Jahr verschoben werden. Die in AP1 geplante Vorstudie konnte wegen der Corona-Pandemie nicht wie geplant am Humanstudienzentrum des Deutschen Instituts für Ernährungsforschung (DifE) durchgeführt werden. Stattdessen wurde das System an Freiwilligen getestet und in AP2 die Validierungsstudie am DifE durchgeführt. Die Probandenstudie *Serina* mit Fokus auf Carotinoid-basierter Ernährung wurde durchgeführt. Hierfür wurde ein Ethikantrag geschrieben. Aufgrund des Bedürfnisses die App in generalisierter Form für weitere Studien einsetzen zu können und wegen der eher geringen Aussagekraft der verfügbaren Sensordaten für die Ernährungssituation wurde ein Änderungsantrag des Arbeitsplans für das Arbeitspaket 3 eingereicht und durch Änderungsbescheid vom 17.08.2023 genehmigt. Es wurde ein virtueller App-Workshop mit 20 TeilnehmerInnen durchgeführt. Eine weitere zunächst nicht geplante Probandenstudie konnte in dem neu konzipierten AP3 mit dem externen Partner Universität Konstanz durchgeführt werden. Mit Ende des Projekts im August 2024 steht die StudyCompanion App inkl. Backend auf GitHub zum Download bereit. Insgesamt konnten die Projektziele erreicht und sogar übertroffen werden. Jährliche Statusseminare sowohl im Verbundprojekt als auch in der Förderrichtlinie sorgten für einen intensiven Austausch. Durch die vom Projektmanagement organisierten Berichte zum Risikomanagement, zum Fortschritt der Teilprojekte sowie zum Datenmanagement fand ein durchgehender Informationsaustausch statt.

## 3 Wesentliche Ergebnisse

Es wurden verfügbare und adäquate Körpersensoren für den Einsatz in Probandenstudien ausgewählt, getestet und eingesetzt. Es wurde eine Android-App StudyCompanion zur Erfassung von Ernährungs- und Vitaldaten durch die Sensoren zum Einsatz in ernährungsbezogenen Humanstudien entwickelt und implementiert sowie in zwei Humanstudien eingesetzt. Die App hat auf Basis täglicher Eingaben der Probanden die Nahrungsaufnahme protokolliert, studienrelevante Probandenbefragungen durchgeführt und Sensordaten aufgezeichnet. Die App war voll funktionsfähig, hat alle Daten erfasst und über ein angebundenes, eigens entwickeltes Backend-Serversystem, welches an der TH Wildau

betrieben wurde, zuverlässig und zugriffsgeschützt in einer Datenbank gespeichert. Die geschützte Bereitstellung der Daten über eine REST API für die weitere Analyse hat gut funktioniert. Eine Befragung der User ergab eine gute Einschätzung der Funktion und Bedienbarkeit der App.

Ein Dashboard zur Datenabfrage und –analyse wurde entwickelt und in MATLAB implementiert. Die tägliche Aufnahme an Carotinoiden der Probanden wurde berechnet und den Forschenden des DIfE übermittelt. Die mit der App erfassten Daten aus Serina wurden mit den herkömmlichen Methoden verglichen. Es stellten sich gute Übereinstimmungen heraus, sodass die App in neuen Studiendesigns als modernere und komfortablere Datenerfassungsmethode infrage kommt.

Neben der Erfassung des Lebensmittelkonsums via Smartphone wurden zusätzliche Messungen des Carotinoidgehalts mittels einer vom Ferdinand-Braun-Institut gGmbH Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik neu entwickelten Raman-spektroskopischen Methode unter Einsatz des optischen Messgeräts "Veggiemeter" durchgeführt. Es konnte belegt werden, dass diese Methode ebenfalls als valide Alternative zu konventionellen Messmethoden wie Blutproben einsetzbar ist [TH1].

Die Ergebnisse aus der Serina-Studie wurden veröffentlicht [TH1] und auf Konferenzen vorgestellt [TH2, TH3].

Zum Einsatz in weiteren Studien wurde die Studiensoftware erweitert und um eine Web-App Anwendung ergänzt, die es Studienpersonal erlaubt, die Studieninhalte, Fragestellungen und Auswahl der Nahrungsmittel nun frei zu gestalten und die erfassten Daten neben der REST API auch über ein Web-Interface als individuell konfigurierbaren CSV-Datensatz zum Download abzurufen.

Die neue Version der App wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Konstanz und dem DIfE in einer Humanstudie zur Analyse von Protein-basierter Ernährung eingesetzt (Optimist) und hat sich bewährt. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse ist geplant [MM1].

Die entwickelte Software wurde containerisiert bereitgestellt, so dass sie plattformübergreifend als On-Premises-Software datenschutzkonform und ohne die Einbindung externer Cloud-Anbieter auf eigenen Servern installiert werden kann [FT1]. In einem dokumentierten, einfachen Prozess und mit geringem Konfigurationsaufwand kann die gesamte Anwendung bestehend aus Backend, Frontend und Web-App auf hauseigenen Servern z.B. von Forschungseinrichtungen aber auch auf virtuellen Maschinen von IT-Infrastrukturanbietern installiert werden und ist sofort einsatzbereit.

## 4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In dem Verbundprojekt hat eine gute und intensive Kooperation mit den Projektpartnern stattgefunden.

Mit dem **Deutschen Institut für Ernährungsforschung (DIfE)** wurde ein Probandenstudie zur Carotinoid-basierten Ernährung durchgeführt. Ein wechselseitiger Austausch über Anforderungen und Möglichkeiten der Probandendatenerfassung hat wesentlich zum Gelingen der Entwicklung und Erprobung der Lösung beigetragen.

Mit den Wissenschaftlern des Forschungsfeldes I – Organismen wurde die Einsetzbarkeit der dort zu erforschenden neuen Ernährungsmöglichkeiten in der App diskutiert. Insbesondere der Bereich Makroalgen und Halophyten am **Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) – QUALITY** sind aussichtsreich, da hier nicht das Problem der Zulassung als Nahrungsmittel bestand.

Weiter standen wir in dauerndem Austausch mit dem f4f Management am **Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)** zur Planung, Begutachtung und Beurteilung der aktuellen Forschungsergebnisse.

Die Carotinoid-Messungen in den Probandenstudien mit dem optischen Messgerät ‚Veggiemeter‘ wurden vom DIfE in enger Zusammenarbeit mit dem **Ferdinand-Braun-Institut gGmbH Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik** durchgeführt.

Mit dem externen Partner **Universität Konstanz – Sportwissenschaft** wurde eine zweite Probandenstudie durchgeführt. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung ist eingereicht [JT1].

## Veröffentlichungen

- [TH1] Henning T, Wagner P, Gedat E, Kochlik B, Kusch P, Sowoidnich K, Vastag M, Gleim J, Braune M, Maiwald M, et al., *Evaluation of Modern Approaches for the Assessment of Dietary Carotenoids as Markers for Fruit and Vegetable Consumption*. *Nutrients* 2023, 15(7), 1665. <https://doi.org/10.3390/nu15071665>.
- [TH2] Henning T, Wagner P, Gedat E, Kochlik B, Weber D, *Assessment of carotenoids by app- and sensor-based novel methods in a human study*, SFRR 202, REDOX Vienna, 2023.
- [TH3] Henning T, Wagner P, Gedat E, Weber D, *Evaluation of different carotenoid assessment methods in a human study*, SfrBM, Orlando, Florida, 2022.
- [MM1] María Moreno-Villanueva et al. *Optimist-Study - Implementation of a mobile app for protein intake assessment*. Geplant 2024
- [FT1] fgtelematik: Research Group Telematics: Wagner P, Fiebelkorn R, Gedat E, Kleinsorge A, *food4future Study Management Services*, github 2024. <https://github.com/fgtelematik/food4future>
- [JT1] Thimm J, Weber D, Wagner P, Gedat E, Kochlik B, Glocker T, Grune T, Gruber M, Moreno-Villanueva M, *Effect of Physical Stress on the Expression of DNA Repair Genes Depending on Antioxidant-rich Diet in Blood Cells from Healthy Individuals*, NASA Human Research Program Investigators' Workshop (HRP IWS), Galveston, TX, USA, 2025. Abstract eingereicht.

## Teil II: Eingehende Darstellung

### Inhaltsverzeichnis

1	Ergebnisse des Projektes .....	1
1.1	Erzielte Ergebnisse im Einzelnen .....	1
1.2	Zusammenfassung und Gegenüberstellung zu den geplanten Zielen .....	17
2	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	18
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	18
4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses .....	19
5	Fortschritt bei anderen Stellen.....	19
6	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses .....	19

# 1 Ergebnisse des Projektes

Das Projekt Smart Nutrition & tragbare Sensoren und Digitalisierung II im Verbundprojekt Agrarsysteme der Zukunft: „Food4Future – Nahrung der Zukunft“ konnte erfolgreich durchgeführt werden. Es haben sich zum ursprünglichen Arbeitsplan mit drei übergeordneten Arbeitspaketen zwei größere Änderungen ergeben: (i) statt eines rein serverbasierten Datenhandlings hat es sich als erforderlich und sehr hilfreich herausgestellt eine App für Smartphones zu entwickeln, die über Usereingaben und Datenschnittstellen die Server in das System einbinden, (ii) in Arbeitspaket 3 wurde nach einem entsprechenden Änderungsantrag statt einer datenbasierten Ernährungsempfehlung ein frei verfügbares, Open-Source-lizenziertes Anwendungssoftwarepaket zur Durchführung ernährungsbasierter Studien zur Verfügung gestellt.

Die einzelnen Bausteine des Systems wurden wie geplant entwickelt, zusammengeführt, getestet und in Studien erfolgreich eingesetzt. Von der Entwicklung und Programmierung einer Client-Server-Anwendung bestehend aus einer Android Smartphone-App, einer Backend-Serveranwendung und eines Web-Interfaces, der Auswahl geeigneter tragbarer Körpersensoren, deren kommunikationstechnische Anbindung, User-Interaktion durch die App, Datenerfassung, -speicherung und -management, Planung und Durchführung von Probandenstudien, Auswertung der Daten in einer dedizierten dafür entwickelten Softwareumgebung, sowie Generalisierung der Software zum Einsatz in beliebigen weiteren Studien durch interaktive Anpassbarkeit der Inhalte, bis zu einer veröffentlichten, installierbaren Version aller Module sind die Komponenten und Entwicklungsschritte im Folgenden beschrieben.

## 1.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Die Ergebnisse, die in dem Teilprojekt *Smart Nutrition & tragbare Sensoren und Digitalisierung II* in food4future gewonnen wurden, werden aufgeteilt in die drei Arbeitspakete der Projektplanung mit den jeweiligen Tasks dargestellt. Eine weitere Einteilung nach thematischen, inhaltlichen und organisatorischen Aspekten erfolgt entsprechend der im Arbeitsplan vorgesehenen Tasks. Arbeiten, die in dem ursprünglichen Arbeitsplan nicht vorgesehen waren, sich aber als essenziell für die Umsetzung der Projektziele erwiesen haben, u.a. die Entwicklung und Programmierung der Smartphone-App, sind in die Tasks zum jeweiligen Zeitabschnitt des Projektverlaufs integriert und als *AddOn* bezeichnet.

### ***1.1.AP1 Smart Nutrition & tragbare Sensoren u. Digitalisierung - proof of principle (Basics, Labormuster)***

In diesem initialen Arbeitspaket AP1 wurde die technische Infrastruktur für eine App- und Sensorbasierte Probandenstudie zur Ernährungserfassung konzipiert, entwickelt, implementiert und getestet. Zusammen mit dem Kooperationspartner Deutsches Institut für Ernährungsforschung DIFE wurden die Erfordernisse definiert und die Möglichkeiten erforscht.

#### ***1.1.AP1.Task1 Konzeptgestaltung für Sensorparameter und deren Analyse***

Für die Datenerhebung mit Körpersensoren wurden die Anforderungen definiert. Zusätzlich zu den gewünschten Informationen, die die Sensoren liefern, mussten verschiedene Aspekte aus Wirtschaftlichkeit, Datenschutz und Praktikabilität berücksichtigt werden. Diese sind

- Verwendung nicht invasiver Körpersensoren
- Datenspeicherung ohne fremde Cloud möglich (Datenschutz)
- Einzelpreis bis 200 €

Eine umfangreiche Recherche am Markt erhältlicher Sensoren wurde durchgeführt. Zehn Geräte wurden einer genaueren Prüfung unterzogen. Das waren Cosinuss One, Joysys ams Viva Vita, fitbit Versa, Consensys GSR Development Kit, ARION, BerryKing, Garmin Forerunner 30, GO DIRECT, QUS und Hexoskin. Die Tabelle 1 gibt einen Ausschnitt der Ergebnisse wieder.

**Tab. 1.** Eigenschaften der Körpersensoren, Beispiele

Körpersensoren			02/02/2021				
Meßwert	Meßmethode	Geräte					
		Cosinuss One	Joysys ams Viva Vita	fitbit Versa	Consensys GSR Development Kit	ARION	
K r e i s l i s t i s c h e	Herzfrequenz	Elektrokardiogramm Photoplethysmographie	Hersteller: COSINUSS, München cosinuss.com	Hersteller: ams, Willdau ams.com	Hersteller: fitbit, San Francisco fitbit.com	Hersteller: shimmer, Dublin shimmersensing.com	Hersteller: ATO-GEAR B.V., Eindhoven arion.run
	Herzfrequenzvariabilität (Herzrhythmusflexibilität)	Elektrokardiogramm: SDNN Photoplethysmographie					
	Blutdruck systolisch diastolisch		Preis: € 129	Preis: k.A. Demoprodukt auf Anfrage (Richard)	Preis: € 149	Preis: ~ € 500	Preis: € 249
	arterielle Pulswellen- geschwindigkeit Perfusionsindex						
C h e m i e	Blutzuckerspiegel	Photoplethysmographie Pulsoximeter (aus PPG)	Typ: in-ear	Typ: handheld	Typ: Smartwatch	Typ: base station + wrist strap + finger clip + ear clip	Typ: Einlegesohle mit Schuhclip Base-Station
	Sauerstoffsättigung im Blut						
	Blutwerte						
	Fettgehalt "Schweißsalz" / -rate Schweiß Zusammensetzung Energieumsatz (berechnet) Antioxidantien Wasseraufnahme	Fluoreszenz Protokoll					
H a u t	Hauttemperatur > auch Menstruationszyklus	Kontaktthermometer optischer Infrarotthermom.	Software: GooglePlay AppStore	Software: GooglePlay AppStore	Software: GooglePlay AppStore Microsoft store (Windows 10)	Software: umfangreich mitgeliefert	Software: GooglePlay AppStore
	Hautleitfähigkeit	Elektrodermale Aktivität					
	Wärmefluss						
	Atemfrequenz						
B e w e g u n g	Körperbewegungen	Inertialsensoren					
	Schrittzahl	Inertialsensoren					
	Wegstrecke	Satellitennavigation	API: unklar	API: unklar, aber da von Richard wahrscheinlich ja	API: unklar	API: „full access to all raw sensed data“	API: unklar
	Aktive Minuten Schlafdauer Häufigkeit des nächtlichen Aufwachens	Inertialsensoren					
M y o	Muskelaktivität	Elektromyogramm	Kommentare: "k.A." "k.A.", neu sehr gut wissenschaftlich belegte Studien	Kommentare: im Finger	Kommentare:	Kommentare: eigentlich etwas teuer für die wenigen Meßwerte, aber Idevelopment kit!	Kommentare:
	Kraft (Dehnung) Druck	Dehnungsmeßstreifen Drucksensoren					
N e u r o	Hirnströme Vagusnerv Tonus	Elektroenzephalogramm					
			Anzahl vorhanden: 0	Anzahl vorhanden: 1	Anzahl vorhanden: 1	Anzahl vorhanden: 0	Anzahl vorhanden: 0

\* es gibt viele Publikationen dazu, aber keine käuflichen Sensoren. Vielleicht dann in der Fogestudie.

Es wurde ermittelt welche Daten in welcher Form von den Sensoren erfasst und ausgegeben werden. Es wurden Messwerte in Betracht gezogen, die nicht-invasiv zugänglich sind. Dies sind physiologische Messwerte (Chemie), physische (Kreislauf, Atem, Haut), elektrophysiologische (Myo, Neuro) sowie makrophysikalische Messwerte (Physik, Bewegung). Bei den betrachteten Messwerten liefern die betrachteten Sensoren vergleichbare Messwerte, sodass eine detaillierte Prüfung der Empfindlichkeiten und Messtoleranzen nicht erforderlich war.

### 1.1.AP1.Task2 Beschaffung und Implementierung von Sensoren und AddOn Konzeptionierung und initiale Entwicklung der Smartphone-App

Die Auswahl einsetzbarer Körpersensoren ergab als beste Lösung

- Garmin vivosmart 4
- cosinuss° One In-Ear

Dabei waren die oftmals entscheidenden Kriterien ein datenschutzrechtlich einwandfreies Datenhandling (siehe auch 2.1.1.AP1.Task3 Datenerhebung von 10 freiwilligen Testpersonen) und eine für unsere Zwecke geeignete Softwareschnittstelle, die einen direkten Zugriff auf die Sensordaten ermöglicht.

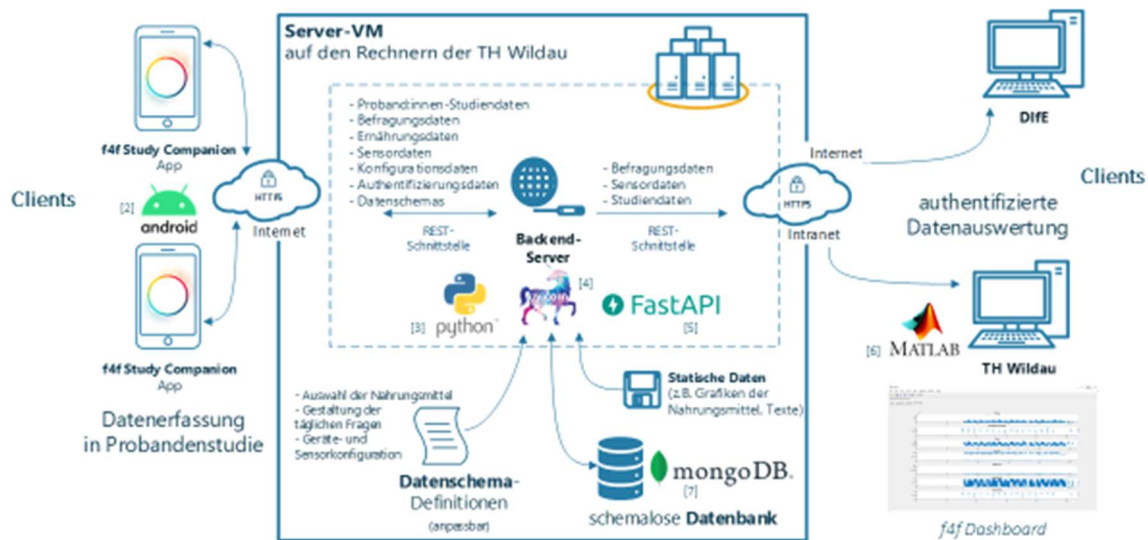
Es sind dann die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität, (als Photoplethysmographie), Sauerstoffsättigung im Blut (als Pulsoximeter), die Hauttemperatur (Kontaktthermometer, optischer Infrarotthermometer), die Schrittzahl sowie ein berechneter Energieumsatz verfügbar.

Es wurden folgende Sensoren angeschafft: 15 Garmin Vivosmart 4 Fitness Tracker schwarz (10 Größe L, 5 Größe S/M), 18 cosinuss° one Vitalparametersensor (7 Größe S, 7 Größe M, 4 Größe L) und 15 Android Smartphones ( 11 Nokia 2.4 32GB grey, 3 Nokia G10 Dual-SIM 3/32GB dusk, 1 Nokia G11 Dual-SIM 3/32GB charcoal).

Mit der Firma Garmin wurde eine Lizenzvereinbarung getroffen, die es uns erlaubte zur Projektlaufzeit das Garmin SDK zu nutzen, mit der die Konnektivität und die Kommunikation mit den Garmin Sensoren hergestellt wurde. Beide Sensoren wurden über Bluetooth an das Smartphone gekoppelt.

Die Analyse der Anforderungen an die Datenerhebung hat gezeigt, dass die Aufgaben, die in einer ernährungsspezifischen Probandenstudie anstehen am besten durch eine Smartphone-App abgedeckt werden können. Die Entwicklung der App war in diesem erweiterten Umfang nicht im Arbeitsplan vorgesehen und wurde kontinuierlich zur gesamten Projektlaufzeit umgesetzt. Die wesentlichen Anforderungen und die initiale Entwicklung sind hier beschrieben, die folgenden Ausbaustufen jeweils in den entsprechenden Zusammenhängen. Die App und das dazugehörige Backend-System wurde als zentrale Datenschnittstelle für Probandenstudien konzipiert und sollte folgende Aufgaben erfüllen

- Registrierung der Probanden
- Aufnahme der Sensordaten
- Befragung der Probanden zu Ernährung und Wohlbefinden
- Synchronisierung der Daten und zentrale Speicherung in einer Datenbank.



**Abb. 1.** Architektur der Smartphone-App (f4f StudyCompanion) mit Backend (Server Virtual Machine) und Zugriff durch Auswerteprogramme.

Die StudyCompanion App wurde in diesem Arbeitspaket zur Implementierung der Sensoren und der weiteren Aufgaben konzeptioniert, entwickelt und implementiert. Die Architektur des Gesamtsystems und den Weiterverarbeitungsmöglichkeiten ist in Abb. 1 gezeigt.

Diese besteht maßgeblich aus der Android-App und einer Python-basierten Serveranwendung, welche auf einem öffentlich erreichbaren virtuellen Server der TH-Wildau bereitgestellt wurde. Die Serveranwendung bietet HTTPS-verschlüsselten Zugriff auf sämtliche studienrelevante Daten über RESTful APIs, welche unter Verwendung des Frameworks FastAPI implementiert wurden. Sowohl die App als auch die Auswertungssoftware, welche in MATLAB implementiert wurde, greift über diese Schnittstellen auf die Studiendaten zu.

Die Serveranwendung übernimmt folgende Aufgaben:

- Speicherung aller Daten
- Schnittstellen zur Authentifizierung und Autorisierung (RBAC)
  - Rollen: StudienteilnehmerInnen | Studienpersonal | WissenschaftlerIn | Administrator
- Verwaltung der User-Profile und Profildaten
- Verwaltung und Bereitstellung des Datenschemas
- Bereitstellung der Smartphone-App (als .apk Download) für den User
- Bereitstellung automatischer Updates

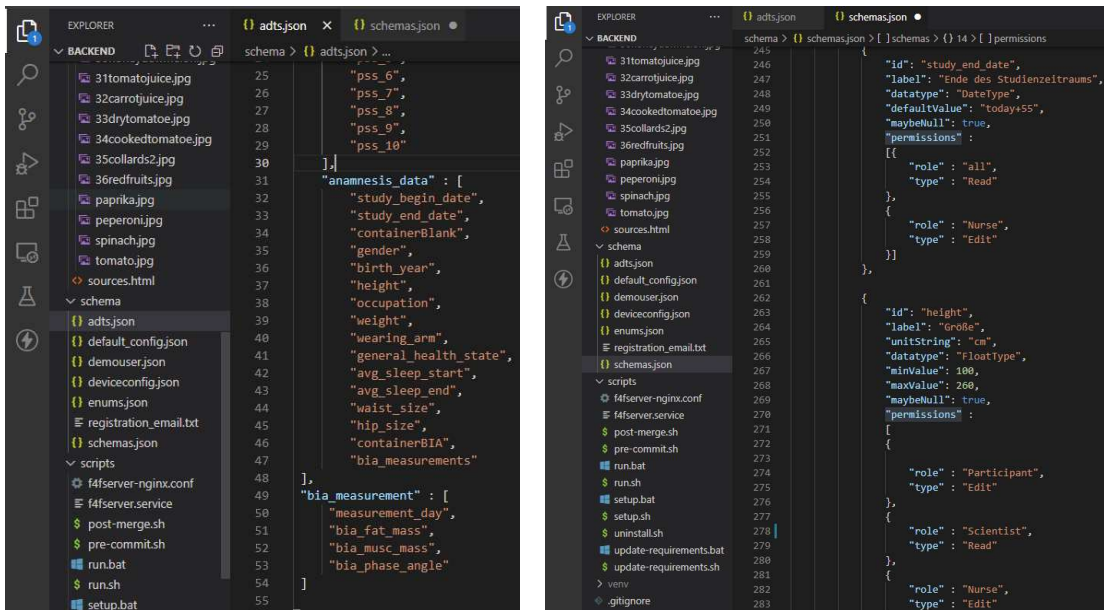
Das Datenschema kann studienspezifisch und dynamisch erstellt und modifiziert werden und beinhaltet die folgenden Informationen:

- Felder im Fragebogen zum Teilnehmendenprofil (Anamnesefragen, konstant pro TN über Studienlaufzeit)
- Felder im Fragebogen der täglichen Befragungen (pro Tag pro TN)
- Verschachtelt kategorisierbare Auswahl der Nahrungsmittel inkl. Grafik, Darreichungsform und Mengenangaben

Zu jedem Feld gehören auch entsprechende Hinweistexte und/oder Einschränkungen des Wertebereichs. Folgende Feldtypen werden unterstützt: Freitext, numerische Angaben, Häkchen (Bool), Aufzählungswert (Enum), Zeit, Datum, Listen

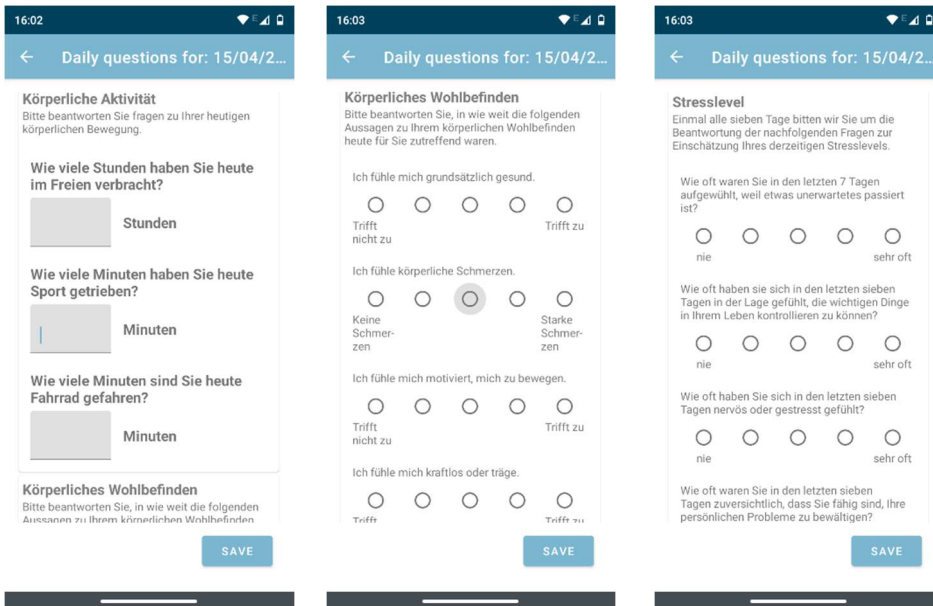
Darüber hinaus gibt es auch den Typ „Formular“ der wiederum selbst aus einem untergeordneten Fragebogen mit eigenen Felddefinitionen bestehen kann, sodass theoretisch beliebig tiefe Verschachtelungen von Fragebögen möglich sind.

Aufgrund der Flexibilität des Schemas wird für die Datenspeicherung das schemalose Datenbankmanagementsystem MongoDB eingesetzt. Die Android-App baut ihr User Interface dynamisch entsprechend dem serverseitig konfigurierbaren Schema auf, welches bei Bedarf auch während der Studienlaufzeit angepasst werden kann. Ein Ausschnitt der in JSON formatierten Beschreibung des Schemas für die Profildaten ist beispielhaft in Abb. 2 gezeigt.



**Abb. 2.** Architektur der Smartphone-App (f4f StudyCompanion) mit Backend (Server-VM) und Zugriff durch Auswerteprogramme.

Zusätzlich zum ursprünglichen Plan wurde in der App die interaktive Befragung der Probanden ermöglicht. Dabei wurde einerseits die tägliche Ernährung abgefragt und andererseits das Wohlbefinden in den Kategorien ‚Körperliche Aktivität‘, ‚Körperliches Wohlbefinden‘ und ‚Stresslevel‘. Screenshots sind in Abb. 3 gezeigt.



**Abb. 3.** Screenshots der StudyCompanion App zur Abfrage des körperlichen Wohlbefindens. Die körperliche Aktivität (links) wurde in kontinuierlichen Werten abgefragt, Wohlbefinden (Mitte) und Stresslevel (rechts) auf einer 5-stufigen Likert-Skala.

Für die Installation auf handelsüblichen Smartphones war eine Zertifizierung der App notwendig. Diese wurde vom HRZ der TH Wildau nach Prüfung durchgeführt.

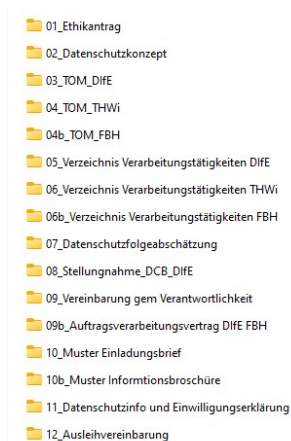
### 1.1.AP1.AddOn Ethikantrag

Da wir in dem Projekt in einer Probandenstudie personenbezogene Daten erhoben haben, war es notwendig einen Ethikantrag zu stellen. Zusammen mit dem DIFE und dessen Kooperationspartner, dem Ferdinand-Braun-Institut für Höchsthfrequenztechnik, wurde er erstellt und bei der Ethikkommission der Universität Potsdam als zuständige Einrichtung für den Antragsteller DIFE mit Adresse in Potsdam-Rehbrücke eingereicht. Die Arbeiten waren umfangreicher als erwartet, weil viele Dokumente bereitgestellt werden mussten. Eine Übersicht gibt Abb. 4.

In dem Endbescheid vom 08.12.2021 zu dem Antrag Nr. 67/2021 erhebt die Ethikkommission der Universität Potsdam keine Einwände gegen das Forschungsprojekt „SeEriNa“ und erteilt mit Votum der Ethikkommission 3/105, Sitzung vom 06.12.2021 einen positiven Endbescheid.

### 1.1.AP1.Task3 Datenerhebung von 10 freiwilligen Testpersonen

Vor dem Einsatz in einer Probandenstudie wurde das System an 10 Freiwilligen erfolgreich getestet. Den Freiwilligen wurde je ein Smartphone und eine Garmin vivosmart 4 und ein cosinuss° One In-Ear ausgehändigt. Die Nutzungsdauer variierte von 3 Wochen bis zu 3 Monaten. Die Registrierung der Nutzer, die Datenabfrage und –eingabe, die Erfassung der Sensordaten und alle weiteren Funktionen wurden geprüft. Prinzipiell konnte die App gut genutzt werden. Bei der Installation und Inbetriebnahme der App durch die Tester und bei der darauffolgenden Nutzung des Systems



**Abb. 4.** Für den Ethikantrag zu erstellende Dokumente. TOM: Technische und organisatorische Maßnahmen gem. Artikel 25 und 32 DSGVO, FBH: Ferdinand-Braun-Institut gGmbH Leibniz-Institut für Höchsthfrequenztechnik.

auftretende kleinere Fehler konnten identifiziert und behoben werden. Schließlich funktionierte alles reibungslos und die Daten wurden wie vorgesehen erfasst und in die Datenbank geschrieben. Da die App unabhängig vom außereuropäischen Markt bleiben und höchste Datenschutzkonformität gewährleisten sollte, wurde sie nicht über den Google Play-Store vertrieben, sondern direkt als .APK-Datei zum Download auf die Endgeräte der StudienteilnehmerInnen angeboten. Daher musste für das automatische, spätere Einspielen von neueren Versionen der App im laufenden Betrieb ein eigener Mechanismus entwickelt werden. Dieser erwies sich in der Praxis als sehr robust und es konnten während der Studienlaufzeit mehrere aktualisierte Versionen der App mit kleinen Fehlerkorrekturen erfolgreich ausgerollt werden.

### 1.1.AP1.Task4 Entwicklung Datenverarbeitungssoftware

Der Zugriff auf die Daten wurde über eine RESTful API realisiert. Diese erlaubt den rollenspezifischen passwortgeschützten und datenschutzkonformen Zugriff auf die Daten. Zwei Wege wurden gegangen: eine MATLAB Umgebung zur InHouse-Datenvisualisierung und –auswertung (hier) und eine WebApp



**Abb. 5.** Screenshot des MATLAB Dashboards. Die Probanden (NUTPSO-007, ...) sind in Tabs abrufbar. Für jeden Probanden sind die fünf Datenkategorien, hier beispielhaft die fooddata für NUTPSV-008, in weiteren Unter-Tabs abrufbar. MATLAB erlaubt durch den ‚Data-Cursor‘ auch das Auslesen der in der Grafik dargestellten Zahlen.

zum externen Abruf der Daten (AP3.Task5). Ein Tool zum Datenabruf und –visualisierung in MATLAB wurde entwickelt und genutzt. Ein Dashboard zur Darstellung der vier, später fünf Datenkategorien ‚static‘, ‚questdata‘, ‚fooddata‘, ‚sportsdata‘ (später in der externen Studie hinzugekommen) und ‚sensordata‘ in vier bzw. fünf Tabs ermöglichte die übersichtliche Darstellung und Überwachung der Datenlage zu jedem Zeitpunkt während und nach der Datenerhebung. Ein Screenshot des Dashboards ist in Abb. 5 gezeigt.

Es werden die täglichen Eingaben der Probanden zu konsumierten Lebensmitteln in Gramm, die Antworten auf die Fragebögen und die Sensordaten, später auch die Angaben über sportliche Betätigung übersichtlich angezeigt. Bei einigen Probanden konnte so frühzeitig festgestellt werden, dass die Dateneingabe unterbrochen oder fehlerhaft war und die Ursachen konnten beseitigt werden.

Es war teilweise notwendig die optionale Eingabe der Konsummengen in der App in Gramm umzurechnen. Da die Eingabe der Menge der konsumierten Lebensmittel wahlweise in ‚Gramm‘, oder wo anwendbar in ‚Stück‘, ‚Esslöffel‘, ‚Teelöffel‘ möglich war, wurde eine entsprechende Umrechnungstabelle aus zuverlässigen Daten [16, 17], und wenn dort nicht aufgeführt aus zusätzlichen in der Tabelle angegebenen Quellen, erstellt.

### **1.1.AP1.Task5 Entwicklung Phänotyp-Klassifikation und personalisierte Lebensmittelvorschläge**

Dieser Task war Aufgabe des Kooperationspartners DiFe.

### 1.1.AP1.Task6 Entwicklung Datenauswertsoftware

Aufbauend auf dem MATLAB Dashboard zur Datenvisualisierung wurden Methoden zur Datenanalyse geschrieben:

- Berechnung Carotinoidkonsum pro Tag
- Sensorwerte auf täglicher Basis

Die Daten eines jeden Probanden wurden in einer Datenstruktur organisiert, die die lokale Verarbeitung der Daten für beliebige Fragenstellungen erlaubt. Zur Berechnung des täglichen Carotinoidkonsums wurde die in der Datenstruktur vorhandene Liste aller konsumierter Lebensmittel

Lebensmittel	Gesamtcarotinoide µg/100 g	α-Carotin µg/100 g	β-Carotin µg/100 g	β-Cryptoxanthin µg/100 g	Lutein+Zeaxanthin µg/100 g	Lycopin µg/100 g	Vitamin K1 µg/100 g	Quelle:
								<a href="#">USDA Food Composition Database Standard Reference 04.2018. Liste</a>
								<a href="#">USDA Datenbankeintrag</a>
<b>Gemüse</b>								
Tomate, roh	3246	101	449	0	123	2573	7.9	Tomatoes, red, ripe, raw, year round average
Tomate, gekocht	3428	0	293	0	94	3041	2.8	Tomatoes, red, ripe, cooked
Tomate, konserviert	4317	0	103	0	126	4088	2.4	Tomatoes, red, ripe, canned, stewed
Tomate, getrocknet	47845	0	524	0	1419	45902	43	Tomatoes, sun-dried
Paprika, rot, roh	2185	20	1624	490	51	0	4.9	Peppers, sweet, red, raw
Paprika, rot, gekocht	2050	18	1525	460	47	0	5.1	Peppers, sweet, red, cooked, boiled, drained, without salt
Paprika, gelb, roh	577	21	208	7	341	0	5.1	Peppers, sweet, yellow, raw
Paprika, grün, roh	577	21	208	7	341	0	11	Peppers, sweet, green, raw
Paprika, gelb, gekocht	729	26	264	8	431	0	5.1	Peppers, sweet, yellow, cooked, boiled, drained, without salt
Paprika, grün, gekocht	729	26	264	8	431	0	9.8	Peppers, sweet, green, cooked, boiled, drained, without salt
Chilisכותen, roh	1319	36	534	40	709	0	14	Peppers, hot chili, red, raw
Chilisכותen, konserviert	8049	446	6664	495	444	0	8.7	Peppers, hot chili, red, canned, pods, excluding seeds, solids and liq
Karotten, roh	12018	3477	8285	0	256	0	13.2	Carrots, raw
Karotten, gekocht	12795	3776	8332	0	687	0	13.7	Carrots, cooked, boiled, drained, without salt
Karotten, konserviert	8074	2743	5331	0	0	0	9.8	Carrots, canned, no salt added, drained solids

**Abb. 6.** In der Auswertung genutzte Tabelle des Carotinoid-Gehalts verschiedener Lebensmittel (erste Einträge).

mit einer vom Kooperationspartner DfE erstellten Tabelle des Carotinoidgehalts der Lebensmittel verrechnet. Durch Summation wurde der tägliche Konsum von Carotinoiden ermittelt. Die entsprechenden Werte für alle relevanten Lebensmittel wurden vom DfE zusammengestellt und per Excel-Datei eingelesen. Es wurden sowohl die Gesamtcarotinoide, als auch α-Carotin, β-Carotin, β-Cryptoxanthin, Lutein+Zeaxanthin, Lycopin und Vitamin K1 gelistet und ausgewertet. Der Anfang der Tabelle ist in Abb. 6 gezeigt. Es wurde dabei auch wo anwendbar der Zustand der Lebensmittel, roh, gekocht, konserviert, getrocknet, berücksichtigt.

Die von der App ausgegebenen und in der Datenbank gespeicherten Sensorwerte wurden durch Referenz zu der Garmin-SDK in SI-Einheiten mit Zeitpunkt und Größe bestimmt. Es wurden sinnvolle Angaben für eine Vergleichbarkeit auf täglicher Basis eingeführt. Bspw. bei dem Pulsschlag ein mittlerer Puls, ein mittlerer Ruhepuls und ein Belastungspuls als 95. Quantil über den ganzen Tag. Für Ergebnisse siehe 2.1.1.AP2.Task3.

### 1.1.AP1.Task7 Prüfung der Resultate und Feinschliff

Die Testphase der Datenerhebung an 10 Freiwilligen hat eine volle Funktionsfähigkeit des Systems ergeben. Es konnten anhand des Probelaufs einige Fehler behoben und Optimierungen durchgeführt werden, sodass am Ende alle Daten in gewünschter Form zuverlässig erhoben und in der Datenbank gespeichert werden konnten. Die Handhabung der App durch die Testpersonen wurde als durchgehend zufriedenstellend empfunden. Der Zugriff durch die Auswertesoftware auf die Daten hat während der Testphase einen guten Einblick in den Ablauf der Datenakkumulation gegeben. Auch konnten die Daten komfortabel visualisiert und zur weiteren Bearbeitung vorbereitet werden.

### ***1.1.AP2 Smart Nutrition & Designed + Natural Food - proof of concept (advanced)***

In AP2 wurde die App real genutzt. Das in AP1 entwickelte System wurde in einer Probandenstudie am DIfE erfolgreich eingesetzt. Es folgen die einzelnen Tasks.

#### ***1.1.AP2.Task1 Vorstudie - Auswertung der Daten von Testpersonen aus AP1***

Die in der Vorstudie an 10 Testpersonen erhobenen Daten wurden bezüglich Verwertbarkeit in einer Probandenstudie ausgewertet. In Kooperation mit dem DIfE wurde die Umsetzung der Datenerhebung durch die App geprüft. Die Beantwortung der Fragen zu Wohlbefinden, Stress-Level und körperlicher Aktivität auf Likert-Skalen erwies sich als geeignet, sie in einer Probandenstudie so beizubehalten. Ebenso war die Eingabe des Nahrungsmittelmittelkonsums der Testpersonen durch die App sowohl für die Testpersonen intuitiv und komfortabel gelöst, als auch für eine zahlenmäßige Auswertung robust und informativ. Weiter war die Erfassung der Sensordaten in der Testphase zuverlässig, zeitlich hoch aufgelöst (was zu recht hohen Datenvolumina geführt hat) und gut auf tägliche Werte reduzierbar. Insgesamt konnte die App ohne weitere Änderungen für die Probandenstudie eingesetzt werden.

#### ***1.1.AP2.Task2 Beschaffung und Implementierung von Sensoren***

Aufgrund der durch die Corona-Pandemie erforderlichen Änderung des Arbeitsplans mit einer Vorstudie an Freiwilligen statt einer ersten Probandenstudie und einer dann später nach den Restriktionen durchzuführenden Validierungsstudie (Probandenstudie) war keine erneute Beschaffung von Sensoren mehr erforderlich und dieser Task entfällt.

#### ***1.1.AP2.Task3 Validierungsstudie: Datenerhebung von Testpersonen***

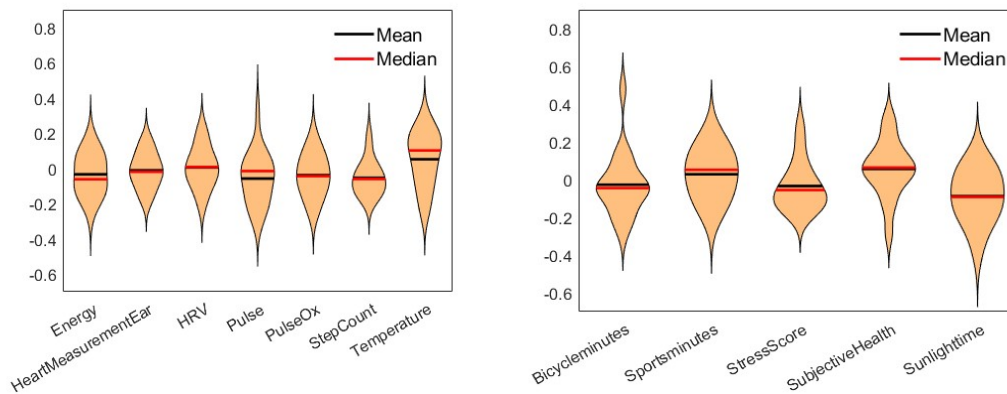
##### ***AddOn: und Datenauswertung***

Die Probandenstudie *Serina* (Sensorbasierte Ernährungsempfehlung für innovative Nahrungsformen) wurde am DIfE an 21 Probanden in 2 Gruppen (11 und 10 Probanden) durchgeführt. Es wurden die folgenden Daten erhoben

- Sensordaten (bei eingeschaltetem Smartphone und gekoppeltem Sensor)
- Ernährungseingaben der User (auf täglicher Basis)
- Statusfragen der User (täglich)
- StressScore (wöchentlich)

In Zusammenarbeit mit dem DIfE wurde der Fokus in der Analyse der Ernährung auf Carotinoide gelegt. Es wurde der tägliche Carotinoidkonsum für 6 verschiedene Carotinoide und der tägliche Gesamtcarotinoidkonsum als dessen Summe ermittelt. Diese wurden am DIfE in guter Übereinstimmung mit Daten aus klassischen Erhebungen mit Papierfragebögen und Blutanalysen, sowie mit dem Veggiemeter, einem eigens für dieses Projekt am DIfE angeschafften optischen Messapparats für Hautcarotinoide, verglichen [TH3]. Weiter wurden Hautcarotinoid auch mit dem Raman-Spektrometer des FBH verglichen [TH3].

Die weiteren Daten der Probanden wurden auf tägliche Werte heruntergerechnet, teilweise durch Mittelung oder Quantile oder Maximalwerte, je nach Fragestellung und eine Korrelation zu dem Carotinoidkonsum wurde gesucht. Ergebnisse sind in Abb. 7 dargestellt.



**Abb. 7.** Korrelationen von täglichem Carotinoidkonsum und Sensordaten (links) und Fragen (rechts).

Leider haben sich zu dieser Fragestellung keine verwertbaren Korrelationen ergeben. Dies war dann einer der Gründe im Antrag vom 27.04.2023, genehmigt am 17.08.2023, den Arbeitsplan für das folgende Arbeitspaket 3 zu ändern.

### ***1.1.AP2.Task4 Lebensmittelvorschläge aus theoretischen designten Produkten für verschiedene diätet. Szenarien generieren***

Dieser Task war Aufgabe des Kooperationspartner DIFe.

### ***1.1.AP2.Task5 Anwendungsentwicklung für die Vorschlagsauswahl bei Designed Food***

Es hat sich als nicht sinnvoll erwiesen die Vorschlagsauswahl für Designed Food und Natural Food getrennt zu behandeln, sodass beides nun in 2.1.1AP2.Task6 durchgeführt wurde.

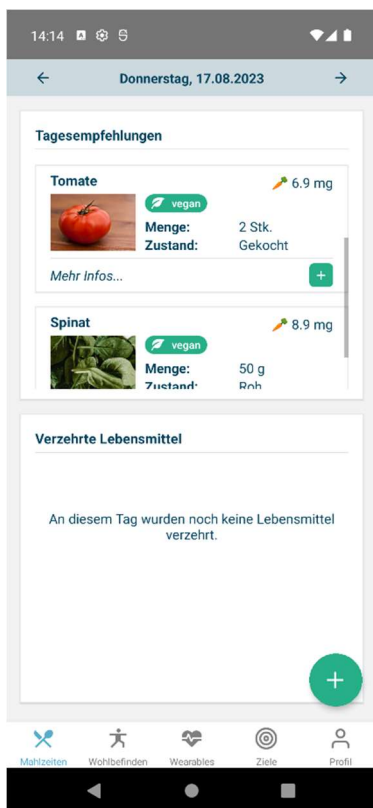
### ***1.1.AP2.Task6 Anwendungsentwicklung für die Vorschlagsauswahl bei Natural Food***

Es wurde eine weitere Smartphone-App zum Vorschlagen von Ernährungsempfehlungen entwickelt und prototypisch umgesetzt. (Abb. 8). Der Nutzer erhält eine Liste von Vorschlägen, die zu jedem Lebensmittel ein Bild, die empfohlene Menge, den empfohlenen Zustand, die Gesamtcarotinoidmenge und spezielle Eigenschaften wie ‚vegan‘ enthalten. Die Ernährungsvorschläge wurden in der technischen Realisierung zufällig ausgewählt. Eine spezifizierte Auswahl der Vorschläge auf Grundlage der Ernährungssituation konnte wegen der mangelnden Korrelation zu den Carotinoid-Werten nicht gegeben werden, sodass diese Funktion nicht weiter genutzt werden konnte.

Da diese neue App nicht mehr mit externer Hardware wie Körpersensoren kommunizieren muss und daher keine Low-Level-Zugriffe auf die Programmierschnittstelle des Betriebssystems benötigt, wurde bei der Entwicklung diesmal auf das auf einer höheren Softwareschicht und plattformübergreifend aufsetzende Framework *React Native* aufgebaut. Somit ist die App sowohl auf Android-Smartphones als auch auf Apple iPhones einsetzbar. Damit einhergehend wurde eine Python-basierte Serveranwendung entwickelt und umgesetzt, welche der Smartphone-App als Backend zum Bereitstellen der Datenbasis, Verwaltung der User-Profile und Generierung und Bereitstellung der Nahrungsmittelpfehlungen dient. Die Backend-Anwendung besitzt eine Schnittstelle zur Integration von Modulen zur abgekapselten Umsetzung Algorithmen zur Datenauswertung und dynamischen Generierung von Empfehlungen.

An der Weiterentwicklung der App zu Nahrungsmittelpfehlungen wurde jedoch im Zuge des Änderungsantrags vom 27.04.2023 und aus den darin beschriebenen Gründen nicht mehr

festgehalten. Stattdessen wurde die weitere Projektarbeit auf den Ausbau der bereits etablierten StudyCompanion App fokussiert.



**Abb. 8.** Ernährungsempfehlung durch die StudyCompanion App, hier zufällig generiert.

### **1.1.AP3 Generalisierung der Studien-App und Evaluierung externer Anwendung**

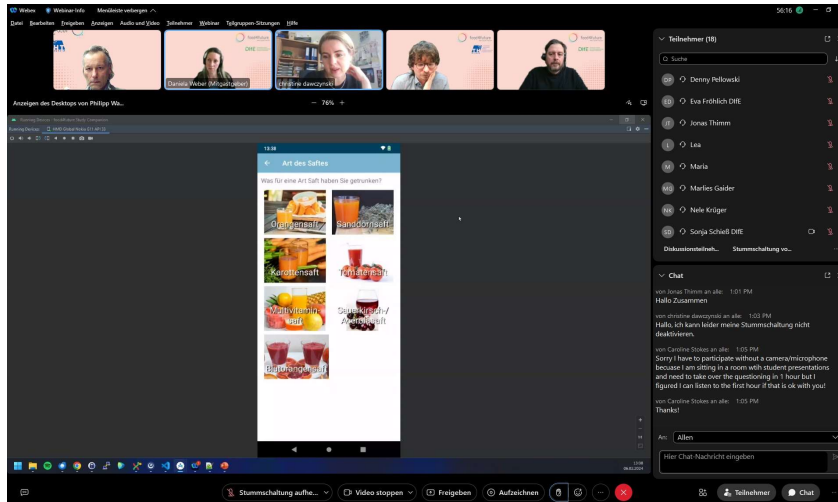
Es wurde für eine weitere Probandenstudie mit dem externen Partner Universität Konstanz - Sportwissenschaft der Anwendungsumfang der Studien-App auf durch Anwender frei programmierbare Inhalte erweitert. In dem *Study Management Portal*, einer neu entwickelten auf das *React*-Framework basierenden Web-Anwendung, können nun beliebige, in diesem Zusammenhang proteinhaltige, Lebensmittel zu der Liste der von den Usern anwählbaren Lebensmittel ergänzt werden. Auch bietet die Anwendung nun eine grafische Benutzeroberfläche zum Gestalten der Fragebögen. Weiter können über das Study Management Portal rollenabhängig die Studiendaten über den Web-Browser bearbeitet und/oder abgerufen werden. Neu ist auch die Fähigkeit, über das Study Management Portal mehr als nur eine Studie pro Installation parallel zu verwalten und durchführen zu können. Erstellte Fragebögen oder auswählbare Nahrungsmittel können dabei in verschiedenen Studien wiederverwendet werden.

Das Gesamtsystem bestehend aus Android App, Backend-Serveranwendung und Web-Anwendung wurde als Open-Source-Anwendung veröffentlicht [FT1].

### **1.1.AP3.Task1 App-Workshop Vorbereitung und Durchführung**

Zur Evaluation der möglichen Anforderungen an eine generalisierte Studien-App wurde ein virtueller App-Workshop durchgeführt. Es gab gute Resonanz mit 20 Teilnehmern aus Berlin, Großbeeren, Jena, Konstanz, Nuthetal, Potsdam, Wien und Wildau. Der ‚food4future Workshop App für Ernährungs- und Humanstudien‘ fand am 06.02.2024 online in WebEx statt. Ein Screenshot ist in Abb. 9 gezeigt. Nach einer Einführung durch die Kollegen vom DiFE gab es eine Präsentation der Technik und eine Live-Demo

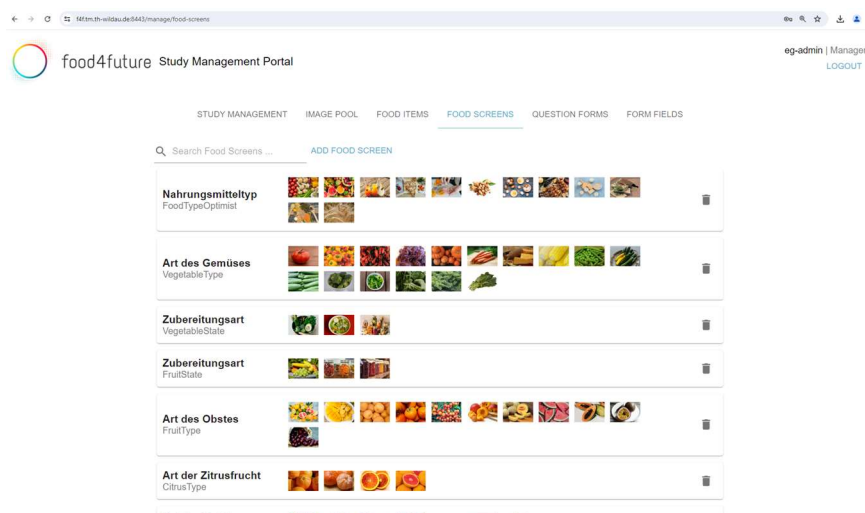
der App durch die TH Wildau und anschließend eine Diskussion. Es zeigte sich, dass die Teilnehmer den Nutzen der App erkannt haben und das Design verstanden haben. Die Anpassbarkeit auf konkrete zukünftige Studien wurde als Vorteil hervorgehoben. Es wurde der Wunsch geäußert Lebensmitteldatenbanken in die Generierung der Inhalte einbeziehen zu können, weil dann der Aufwand bei der Eingabe reduziert und wertvolle Parameter verfügbar wären.



**Abb. 9.** Screenshot des WebEx App-Workshops. Gezeigt ist hier ein Teil der Live-Demo, in dem die Auswahl der konsumierten Lebensmittel durch die Probanden thematisiert wird.

### 1.1.AP3.Task2 Umsetzung der vollständigen studienspezifischen Anpassbarkeit

Die Einrichtung der App in Bezug auf verfügbare Lebensmittel, Fragenkataloge und Datenkategorien wurde in eine Web-App ausgelagert, sodass die Studienleitungen selbst die Inhalte generieren können. Hierfür wurden Softwarekomponenten geschrieben, der die in der interaktiven Nutzeroberfläche gemachten Angaben in eine von der App-Software lesbare Form übersetzt, sodass diese sofort nach



**Abb. 10.** Screenshot des Study Management Portal. Hier können die Einträge in die Lebensmittelliste erzeugt, geändert und entfernt werden.

Eingabe der neuen und/oder geänderten Inhalte diese vom Backend lesen und dem Nutzer darstellen kann. Ein Beispiel der Generierung von Einträgen für Nahrungsmittel in der Web-App ist in Abb. 10 gezeigt.

### 1.1.AP3.Task3 Vorbereitung externe Studie

Die Arbeitsgruppe von María Moreno-Villanueva der Sportwissenschaft der Universität Konstanz hat eine Probandenstudie zum Einfluss von vegetarischer Ernährung auf sportphysiologische Parameter durchgeführt und hat dabei unsere StudyCompanion-App genutzt. Vorher wurde gemeinsam festgestellt welche Rahmenbedingungen sich ergeben. Es würde etwa zwei Gruppen von je zehn Probanden vegetarisch bzw. omnivor geben, die über einen Zeitraum von etwa drei Monaten jeweils für vier Wochen an der Datenerhebung teilnehmen. Es war dann notwendig, die hier neu auftretenden Anforderungen einzubauen

- proteinhaltige Lebensmittel sind erforderlich
- die sportliche Aktivität wird abgefragt

Für beide Bereiche konnte die interaktive Web-App aus AP3.Task2 erfolgreich genutzt werden. Die so aktualisierte App wurde für den Einsatz in der dann folgenden externen Studie getestet. In einem Video-Meeting wurden die Studienadministratoren in die Übergabe der Technik an die Probanden und die Installation und Nutzung der StudyCompanion-App eingeführt.

### 1.1.AP3.Task4 Durchführung der externen Studie

Mit dem externen Partner Universität Konstanz, Institut für Sportwissenschaften wurde eine Probandenstudie zur Ernährung in Zusammenhang mit körperlicher Aktivität und Ernährungsgewohnheiten (Omnivore, Vegetarier) durchgeführt. Die technische Ausrüstung mit

The screenshot shows the 'Study Data' overview page of the 'food4future Study Management Portal'. It includes a summary table and a detailed data table.

	Total	Selection
Number of Participants:	25	0
Number of Participants without data:	0	0
Number of Data Sets:	35049644	0
Oldest Data Set:	21.6.2023, 22:00:00	n/a
Newest Data Set:	5.2.2024, 23:00:00	n/a

[Participant]	Profile Data	Daily User Input	Stress Score	StepCount	PulseOx	Pulse	HRV	Energy
64943f2e73d240a3a0ddac28	1	3	23696	3972	143	172	5119	7915
649d3ae2099a513b6e3a07ac	1	14	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
649d5178099a513b6e3a07d0	1	43	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
NUTPS-Test0	1	13	200564	33490	5872	15440	588520	65893
NUTPS-Test1	1	6	50287	8391	n/a	6083	192529	16668
NUTPS-Test2	1	3	168	34	n/a	17	128	54
NUTPS-Test3	1	3	61991	10352	n/a	10866	334641	20589
NUTPSO-012	1	29	261032	43602	n/a	44214	1592231	78222
NUTPSV-005	1	26	222598	37175	n/a	37403	1508976	73907
NUTPSO-007	1	30	269551	45061	n/a	28965	1025774	83295
NUTPSV-008	1	30	88871	14872	n/a	811079	933147	851418

Abb. 11. Screenshot der WebApp ‚food4future Study Management Portal‘ zum externen Datenabruf aus der f4f mongoDB. Die rechte Seite ist die durch Runterscrollen verlängerte vertikale Fortsetzung der linken Seite. Für jeden in der Datenbank vorhandenen Probanden (z.B. NUTPS-Test0) können die Profildaten, die User-Eingaben, sowie die Sensordaten durch Klick ausgewählt und dann heruntergeladen werden.

Sensoren (Garmin Vivosmart und cosinuss°) und Android Mobiltelefonen wurde den Anwendungspartner zur Verfügung gestellt. Das MATLAB Dashboard wurde auf die neue Datenstruktur angepasst, sodass wieder eine vollständige Überwachung der Datenlage während des gesamten Studienzeitraums möglich war. Insgesamt haben die Beteiligung der Probanden und die Datenerfassung gut funktioniert, sodass am Ende der Studie ausreichend qualitativ hochwertige Daten für eine wissenschaftliche Auswertung vorlagen.

### **1.1.AP3.Task5 Backend-Anwendung für Studien- und Zugangsmanagement**

Für den Zugang zu den in den Studien erhobenen Daten für externe Studienleitungen wurde ein Management-Portal geschaffen, das auf einer Backend-Anwendung basierend die Daten in einem Browser zur Verfügung stellt. Für den externen Zugriff wurde eine Web-App mit passwortgeschützter RESTful API erstellt. Diese erlaubt die interaktive Auswahl der gewünschten Daten und deren Download im CSV-Dateiformat. Die Web-App ist in Abb. 11 gezeigt.

### **1.1.AP3.Task6 Bioverfügbarkeitsstudie f4f-Lebensmittel**

Dieser Task war Aufgabe des Kooperationspartner DIFe.

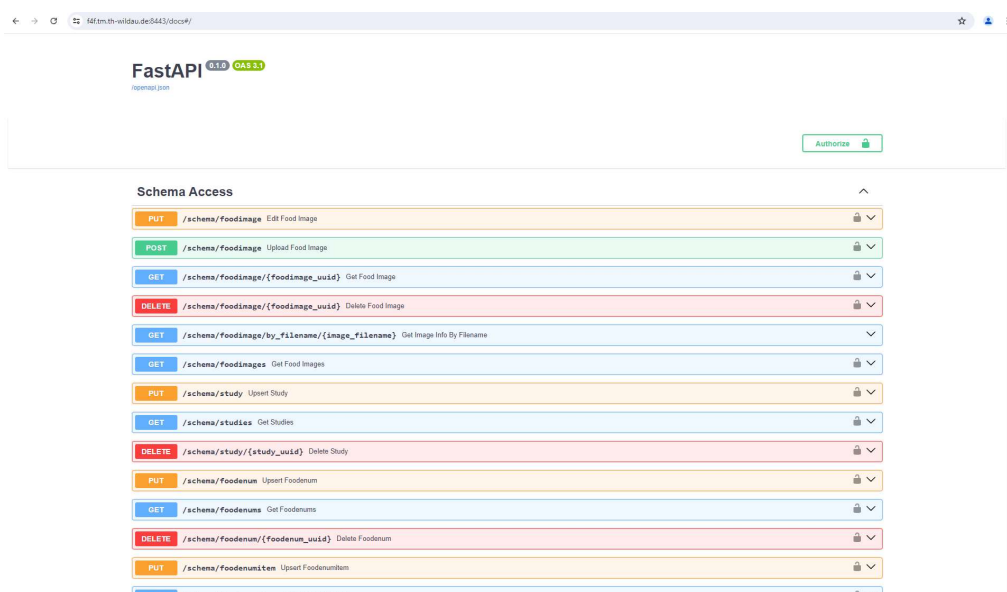
### **1.1.AP3.Task7 Evaluierung der externen Anwendung**

Dieser Task war Aufgabe des Kooperationspartner DIFe.

### **1.1.AP3.Task8 Schnittstellen- und Anwendungsdokumentation**

Eine vollständige interaktive Dokumentation der Schnittstellen und der Funktionalitäten der Anwendung stehen als OpenAPI 3.1-Format und Swagger UI unter <https://<domain>/docs#/> bereit. <domain> ist dann die Adresse des verwendeten Servers. Ein Screenshot ist in Abb. 12 gezeigt. Für jeden Endpunkt sind die möglichen RESTful Befehle anwählbar. Über ein Dropdown wird die jeweilige Datenstruktur für eine Anfrage an den Server angezeigt, sowie mögliche Antwortstrukturen. Hier gibt es die Bereiche

- Schema Access – Verwaltung der Studieninhalte
- Internal – Schema Access – (intern, wird nur von der Android App verwendet),

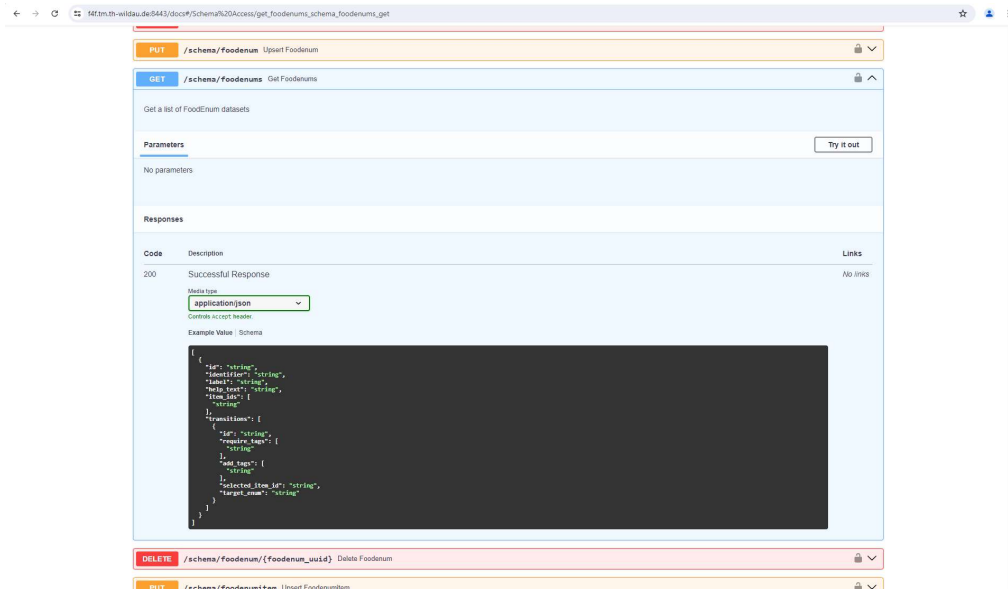


**Abb. 12.** Screenshot der Dokumentation der FastAPI (Ausschnitt).

- User Management – Verwaltung der User und Teilnehmendenprofile
- Session Management – Verwaltung aktiv angemeldeter User
- Data Request – Schnittstellen zum Abruf der erhobenen Studiendaten Internal - Data Synchronization (intern, wird nur von der Android App verwendet)

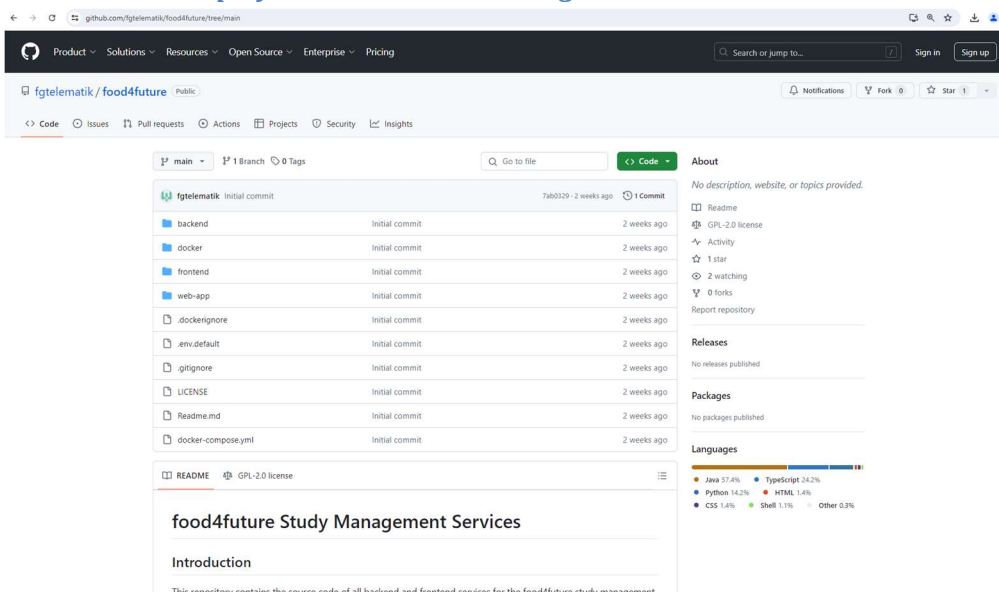
sowie weiter eine Liste der Schemata mit allen Parametern.

Die Dokumentation ist über einen Browser abrufbar und interaktiv, d.h. sie kann über den Browser „ausprobiert“ werden. Ein Eintrag ist in höherem Detail in Abb. 13 gezeigt.



**Abb. 13.** Beispiel eines Eintrags in der Dokumentation der FastAPI. Gezeigt ist die Logik des RESTful Kommandos GET für das Schema ‚foodenums‘.

### 1.1.AP3.Task9 Deployment und Lizenzierung



**Abb. 14.** Screenshot der food4future Study Management Services in GitHub.

Die Backend-Software kann als Docker-Container [26] plattformübergreifend und mit geringem Installationsaufwand ausgeführt werden und stellt in über ein Frontend den Download der Smartphone-App bereit. Der Quellcode wurde auf GitHub im Bereich fgtelematik/food4future hochgeladen (Abb. 14) veröffentlicht und ist weltweit verfügbar [FT1]. Um eine möglichst breite Nutzung, aber auch die Bewahrung der Offenheit des Codes zu gewährleisten, wurde als Lizenzmodell eine GNU General Public License v2.0 gewählt. Diese erlaubt wirtschaftliche Nutzung der Software, Änderungen am Code und beliebige Verbreitung der Software und schließt Gewährleistung und Verlässlichkeitsansprüche aus. Genutzter Code muss durch eine ‚License and Copyright Notice‘ kenntlich gemacht werden und veränderter Code muss unter derselben Lizenz offengelegt werden.

## 1.1.Literaturverzeichnis

### Sensoren

- [1] Cosinuss One, COSINUSS, München, Deutschland, <https://www.cosinuss.com/en/>, besucht 10.06.2024.
- [2] Joysys ams Via Vita, ams, Wildau, Deutschland, <https://ams.com/ams-start>, besucht 12.02.2020.
- [3] fitbit Versa, fitbit, San Francisco, USA, <https://www.fitbit.com/global/de/home>, besucht 10.06.2024.
- [4] Consensys GSR Development Kit, shimmer, Dublin, Irland, <https://shimmersensing.com/>, besucht 10.06.2024.
- [5] ARION, ATO-GEAR B.V., Eindhoven, Niederlande, <https://www.arion.run/>, besucht 10.06.2024.
- [6] Berryking, BerryKing Lifestyle Products, Dortmund, Deutschland, besucht 12.02.2020.
- [7] Garmin Vivosmart 4, Garmin Deutschland GmbH, Garching, Deutschland, <https://www.garmin.com/de-DE/c/sports-fitness/activity-fitness-trackers/>, besucht 10.06.2024.
- [8] GO DIRECT, Techni Science, Oisterwijk, Niederlande, <https://www.techniscience.com/nl/>, besucht 10.06.2024.
- [9] QUS, sanSirro GmbH, Lebring, Österreich, <https://qus.tech/>, besucht 10.06.2024.
- [10] Hexoskin, HEXOSKIN, Montréal, Canada, <https://hexoskin.com/>, besucht 10.06.2024.

### Food-Carotenoids

- [11] Borgi, L., et al., *Fruit and Vegetable Consumption and the Incidence of Hypertension in Three Prospective Cohort Studies*. Hypertension, 2016. 67(2): p. 288-93.
- [12] Bradbury, K.E., Appleby, P.N. and Key T.J., *Fruit, vegetable, and fiber intake in relation to cancer risk: findings from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)*. Am J Clin Nutr, 2014. 100 Suppl 1: p. 394S-8S.
- [13] Zerres, S. and Stahl, W., *Carotenoids in human skin*. Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids, 2020. 1865(11): p. 158588.
- [14] Al-Delaimy, W.K., et al., *Plasma carotenoids as biomarkers of intake of fruits and vegetables: individual-level correlations in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)*. Eur J Clin Nutr, 2005. 59(12): p. 1387-96.
- [15] Eggersdorfer, M. and Wyss, A., *Carotenoids in human nutrition and health*. Arch Biochem Biophys, 2018. 652: p. 18-26.

### Food-Weights

- [16] Prüße, U., L., Hüther, L., Hohgardt, K., *Mittlere Gewichte einzelner Obst- und Gemüseerzeugnisse* [https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04\\_Pflanzenschutzmittel/rueckst\\_gew\\_obst\\_gem%C3%BCde\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/rueckst_gew_obst_gem%C3%BCde_pdf.pdf?__blob=publicationFile), Bundesamt für Verbraucherschutz.
- [17] Wikifit, <https://www.wikifit.de/kalorientabelle/>, zuletzt besucht 12.08.24.

### Food-Study design

- [18] Fraser, G.E., et al., *Biomarkers of Dietary Intake Are Correlated with Corresponding Measures from Repeated Dietary Recalls and Food-Frequency Questionnaires in the Adventist Health Study-2*. J Nutr, 2016. 146(3): p. 586-94.
- [19] George, S.M., et al., *Strength of the relationships between three self-reported dietary intake instruments and serum carotenoids: the Observing Energy and Protein Nutrition (OPEN) Study*. Public Health Nutr, 2012. 15(6): p. 1000-7.
- [20] Matsumoto, M., et al., *Skin Carotenoid Level as an Alternative Marker of Serum Total Carotenoid Concentration and Vegetable Intake Correlates with Biomarkers of Circulatory Diseases and Metabolic Syndrome*. Nutrients, 2020. 12(6)
- [21] Radtke, M.D., et al., *Validation of Diet ID in Predicting Nutrient Intake Compared to Dietary Recalls, Skin Carotenoid Scores, and Plasma Carotenoids in University Students*. Nutrients, 2023. 15(2).

### Food-Database

- [22] US Department of Agriculture, A.R.S., . USDA National Nutrient Database for Standard Reference [https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/.](https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/) Assessed 17 July, 2022.

### Spectroscopy

- [23] Di Noia, J. and W. Gellermann, *Use of the Spectroscopy-Based Veggie Meter((R)) to Objectively Assess Fruit and Vegetable Intake in Low-Income Adults*. Nutrients, 2021. 13(7).
- [24] Radtke, M.D., et al., *Recommendations for the Use of the Veggie Meter® for Spectroscopy-Based Skin Carotenoid Measurements in the Research Setting*. Curr Dev Nutr, 2021. 5(8): p. n2ab104.
- [25] Jilcott Pitts, S., et al., *Reflection spectroscopy-assessed skin carotenoids are sensitive to change in carotenoid intake in a six-week randomized controlled feeding trial in a racially/ethnically diverse sample*. The Journal of Nutrition, 2023.

### Software

- [26] Docker, <https://www.docker.com/>, zuletzt besucht 14.11.2024.
- [27] movisensXS, movisens GmbH, <https://www.movisens.com/de/>, zuletzt besucht 26.08.2024.
- [28] Pulsatio, mHealth Pioneers GmbH, <https://pulsatio.app/>, zuletzt besucht 19.08.2024.

## 1.2 Zusammenfassung und Gegenüberstellung zu den geplanten Zielen

Im food4future Teilprojekt Smart Nutrition & tragbare Sensoren und Digitalisierung II wurden die gesetzten Ziele weitestgehend erreicht. Wir entwickelten eine technische Infrastruktur für App- und sensorbasierte Probandenstudien, einschließlich der StudyCompanion Smartphone-App für Android, einer Backend-Serveranwendung und eines Web-Interfaces zur Datenverwaltung. Tragbare Körpersensoren (Garmin vivosmart 4 und cosinuss° One In-Ear) wurden integriert, um physiologische Daten zu erfassen, wobei wir eine datenschutzkonforme Datenübertragung und -speicherung ohne externe Clouds sicherstellten.

Eine Vorstudie mit 10 freiwilligen Testpersonen validierte das System und half, Optimierungspotenziale zu identifizieren. Wir entwickelten ein Softwaretool für die Datenverarbeitung, -visualisierung und -auswertung, auf Basis von MATLAB. In Zusammenarbeit mit unserem Kooperationspartner DiFE führten wir die Probandenstudie "Serina" mit 21 Teilnehmern durch, bei der Sensordaten, Ernährungseingaben und tägliche Statusfragen erfasst wurden. Basierend auf den erhobenen Ernährungsdaten analysierten wir den täglichen Carotinoidkonsum. Die StudyCompanion-App wurde erfolgreich eingesetzt, um interaktive Befragungen zu Nahrungskonsum,

Wohlbefinden, Stresslevel und körperlicher Aktivität durchzuführen und die Vitaldaten zu erfassen. Zudem entwickelten wir prototypisch eine App für Ernährungsempfehlungen, die Nutzern Lebensmittelvorschläge unterbreiten kann.

Ein durchgeführter App-Workshop zur Evaluierung der Anforderungen an eine generalisierte Studien-App erhielt positive Resonanz von 20 Teilnehmern aus verschiedenen Institutionen. Daraufhin setzten wir die vollständige studienspezifische Anpassbarkeit um, indem wir das Study Management Portal entwickelten – eine Web-Anwendung, die Studienleitern ermöglicht, Fragebögen und Lebensmittellisten zu erstellen und anzupassen. Dies erlaubt auch die Verwaltung mehrerer Studien und die Wiederverwendung von Inhalten.

Für eine externe Probandenstudie mit der Universität Konstanz passten wir das Datenschema an spezifische Anforderungen an, wie die Erfassung proteinhaltiger Lebensmittel und sportlicher Aktivitäten, stellten die technische Ausrüstung bereit und schulten die Studienadministratoren. Das Gesamtsystem, bestehend aus der Android-App, der Backend-Serveranwendung und der Web-Anwendung, wurde unter der GNU General Public License v2.0 als Open-Source veröffentlicht. Eine umfassende Dokumentation der Schnittstellen und Funktionalitäten steht zur Verfügung.

Trotz einiger Herausforderungen – insbesondere bei der Entwicklung von Ernährungsempfehlungen auf Basis der erhobenen Daten und dem Fehlen signifikant ausreichender Korrelationen zwischen den Sensordaten und der Ernährung der Probanden – haben wir den Arbeitsplan angepasst, um die Software zu optimieren und zu generalisieren. Dadurch konnten wir den Großteil der geplanten Ziele erfolgreich erreichen. Die entwickelte Software dient nun als flexibles und anpassbares Werkzeug für verschiedene Probandenstudien und steht der wissenschaftlichen Gemeinschaft für zukünftige Entwicklungen zur Verfügung.

## **2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Der zahlenmäßige Nachweis enthält im Wesentlichen etwa 445 T€ Personalmittel. Diese wurden für insgesamt vier food4future-Wissenschaftler eingesetzt, ein Softwareentwickler, ein Wissenschaftler für die Datenauswertung, ein KI-Experte und ein Systemadministrator. Weiter wurden für etwa 8 T€ Körpersensoren und Mobiltelefone beschafft. Die Dienstreisemittel konnten, auch wegen der Corona-Pandemie kaum genutzt werden. Die geplante Anschaffung eines Backend-Servers für die in dem Projekt anfallenden Aufgaben war nicht nötig, weil das Hochschulrechenzentrum der TH Wildau eine virtuelle Maschine im Rahmen der Infrastrukturdienstleistung bereitgestellt hat, die für die anfallenden Aufgaben ausreichend war.

## **3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die in dem Projekt entwickelte Studien-App hat sich in vollem Umfang als nützlich, zuverlässig und als Fortschritt gegenüber herkömmlichen Datenerfassungsmethoden erwiesen. Weiter war die Nutzerzufriedenheit gut. Es ist also gelungen den wichtigen Bereich von Humanstudien auf ein neues Niveau zu heben. Der Umfang der Funktionalitäten über Datenerfassung mit Einbindung von Sensoren und User-Interaktion, datenschutzkonformer Speicherung und Erreichbarkeit, eine Web-App zum individuellen Studiendesign, Auswertelgorithmen, eine interaktive Dokumentation und ein docker-Deployment belegen die angemessene Verwendung der Projektmittel.

## 4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Von der im Projekt geschaffenen Studien-App konnten im Projektverlauf bereits zwei wissenschaftliche Arbeitsgruppen profitieren. Durch den generalisierten Aufbau der Software können in Zukunft noch weitere aus anderen wissenschaftlichen Bereichen hinzukommen. Durch die Open-Source-Lizenz und die Veröffentlichung der Software im GitHub [FT1] stehen die Ergebnisse weltweit für Interessierte zur Verfügung.

Die in food4future entwickelten Softwarekonzepte und -lösungen können in weiteren Projekten in angepasster Form weiter genutzt werden. Insbesondere die Kapselung einer datenschutzkonformen Speicherung mit Zugriff über eine RESTful API ist von generellem Interesse. Auch die Datenerhebung mit Sensoren von Drittanbietern über die Bluetooth-Schnittstelle mit einer Android-App kann im Bereich der Telematik in diversen Szenarien genutzt werden. Die einfache Bereitstellung des Softwaregesamtsystems als zentraler Docker-Container erlaubt einen niederschweligen Zugang für Forschungsinstituten und anderen potentiellen zum Einsatz der Software in eigenen Studien.

## 5 Fortschritt bei anderen Stellen

Die movisens GmbH bietet eine Softwareumgebung mit ähnlichen Funktionen [27] und zusätzlich eigene dazuschaltbare Sensoren an. Die Software ist aber nicht wie die food4future Study Management Services open-source und frei verfügbar.

Es gibt die App Pulsatio der mHealth Pioneers GmbH [28], die Fragebögen und externe Daten für Studien zur Verfügung stellt. Auch diese App ist nicht open-source, sondern wird über Google Play und den App Store angeboten.

## 6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Die in dem Projekt gewonnenen Ergebnisse konnten in einigen wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht werden [TH1-TH3, MM1] und werden zur Veröffentlichung eingereicht werden [JT1]. Die Software ist im GitHub veröffentlicht [FT1]

- [TH1] Henning T, Wagner P, Gedat E, Kochlik B, Kusch P, Sowoidnich K, Vastag M, Gleim J, Braune M, Maiwald M, et al., *Evaluation of Modern Approaches for the Assessment of Dietary Carotenoids as Markers for Fruit and Vegetable Consumption*. *Nutrients* 2023, 15(7), 1665. <https://doi.org/10.3390/nu15071665>.
- [TH2] Henning T, Wagner P, Gedat E, Kochlik B, Weber D, *Assessment of carotenoids by app- and sensor-based novel methods in a human study*, SFRR 202, REDOX Vienna, 2023.
- [TH3] Henning T, Wagner P, Gedat E, Weber D, *Evaluation of different carotenoid assessment methods in a human study*, SfrBM, Orlando, Florida, 2022.
- [MM1] María Moreno-Villanueva et al. *Optimist-Study - Implementation of a mobile app for protein intake assessment*. Geplant 2024
- [JT1] Thimm J, Weber D, Wagner P, Gedat E, Kochlik B, Glocker T, Grune T, Gruber M, Moreno-Villanueva M, *Effect of Physical Stress on the Expression of DNA Repair Genes Depending on Antioxidant-rich Diet in Blood Cells from Healthy Individuals*, NASA Human Research Program Investigators' Workshop (HRP IWS), Galveston, TX, USA, 2025. Abstract eingereicht.
- [FT1] fgtelematik: Research Group Telematics: Wagner P, Fiebelkorn R, Gedat E, Kleinsorge A, *food4future Study Management Services*, github 2024. <https://github.com/fgtelematik/food4future>