



**Technische
Universität
Braunschweig**



**PETER L.
REICHERTZ INSTITUT
FÜR MEDIZINISCHE
INFORMATIK**

**Zur weitergehenden, reproduzierbaren Beschreibung
und Bewertung alltäglicher Mobilität mittels
assistierender Gesundheitstechnologien**

Nina Löchte

Von der
Carl-Friedrich-Gauß-Fakultät
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu
Braunschweig

zur Erlangung des Grades einer
Doktorin der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigte Dissertation

von
Dipl.-Inform. Nina Löchte (geb. Reichwaldt)
geboren am 19.04.1981
in Berlin

Eingereicht am: 14. August 2015
Disputation am: 19. November 2015

1. Referent: Prof. Dr. Reinhold Haux
2. Referentin: Prof. Dr. Petra Knaup-Gregori

Danksagung

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorandin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Peter L. Reichertz Institut für Medizinische Informatik der Technischen Universität Braunschweig und der Medizinischen Hochschule Hannover (PLRI). Während dieser Zeit war ich zudem am Braunschweiger Informatik- und Technologie-Zentrum (BITZ) GmbH tätig. Zum Gelingen dieser Arbeit haben eine Vielzahl von Personen beigetragen, bei denen ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken möchte.

Mein Doktorvater Professor Dr. Reinhold Haux hat mir die Möglichkeit gegeben, mich mit einem hochspannenden Themenfeld zu beschäftigen. Er stand mir als Wegweiser zur Seite und fand die Zeit, mich in wissenschaftlichen Fragestellungen zu unterstützen. Hierfür möchte ich mich bedanken. Zudem möchte ich mich für den unkomplizierten Übergang vom BITZ zum PLRI bedanken. Ein herzlicher Dank geht zudem an Dr. Maik Plischke, der mich schon während meiner Studienzeit als studentische Hilfskraft und dann durch die Betreuung meiner Diplomarbeit an das Themenfeld der assistierenden Gesundheitstechnologien herangeführt hat. Während der Fertigstellung meiner Dissertation stand er mir mit Ratschlägen und konstruktiver Kritik zur Seite. Außerdem möchte ich mich bei Professorin Dr. Petra Knaup-Gregori für die Übernahme des Korreferats und Professor Dr.-Ing. Lars Wolf als Vorsitzender der Prüfungskommission bedanken.

Ebenso gilt mein Dank meinen Kolleginnen und Kollegen vom BITZ und vom PLRI für das offene und freundschaftliche Arbeitsverhältnis. Insbesondere möchte ich Annika Geue

und Carsten Dräger für die zahlreichen fachlichen Gespräche, die tatkräftige Unterstützung bei der Sensing-Studie und die gute Zusammenarbeit im SIMBA-Projekt bedanken. Dr. Maïke Rochon, Anna Maria Jankowski und Corinna Mielke hatten immer ein offenes Ohr für fachliche und persönliche Anliegen und haben mich stets in meinem Tun bestärkt. Ute Zeisberg stand mir bei jeglichen Fragen und Anliegen helfend zur Seite. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Zudem möchte ich Dr. Florian Henk für seine fachlichen Ratschläge und Hilfestellungen danken.

Ich danke allen Experten, die mir in interessanten Gesprächen ihr Wissen zur Verfügung gestellt haben. Außerdem gilt allen Probanden der Sensing-Studie mein Dank. Diese nahmen mit Eifer und Wissbegierde an der Studie teil.

Die Braunschweigische Stiftung hat meine Arbeit in den ersten drei Jahren finanziell unterstützt und war auch in den folgenden Jahren an meiner Tätigkeit interessiert. Dafür möchte ich mich herzlich bedanken.

Meinen Freunden und meiner Familie sei an dieser Stelle ein Dank für die vielen aufmunternden und verständnisvollen Worte sowie die interessierten Nachfragen ausgesprochen. Stellvertretend für alle möchte ich mich speziell bei Ricarda, Daniel und Kirstin bedanken, die große Teile meiner Arbeit Korrektur gelesen haben. Ein besonderer Dank gilt meinem Mann Christian, der mich in allen Phasen dieser Arbeit unterstützt hat. Seine Zuversicht und unermüdliche Energie haben mir die Kraft gegeben, den Glauben an die eigenen Fähigkeiten nicht zu verlieren und somit wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Braunschweig, August 2015

Nina Löchte

Kurzfassung

In dieser Arbeit wurde die Beschreibung und Bewertung alltäglicher Mobilität älterer Menschen mittels assistierender Gesundheitstechnologien untersucht. Vor dem Hintergrund einer älter werdenden Bevölkerung und eines gleichzeitigen technologischen Fortschritts, stellt sich die Frage, inwiefern das mittels Sensortechnologie erfasste Mobilitätsverhalten älterer Menschen einen Beitrag zur Gesundheitsversorgung leisten kann. Da eine selbständige Mobilität als Voraussetzung für den Erhalt der Lebensqualität gesehen wird, wurde in dieser Arbeit die gesundheitsbezogene Lebensqualität als generelles Maß für Gesundheit gewählt. Die Zusammenhänge zwischen Mobilitätsverhalten und gesundheitsbezogener Lebensqualität wurden untersucht, um die Basis für eine gesundheitsrelevante Einschätzung und somit Bewertung des Mobilitätsverhaltens zu schaffen.

In einem zweistufigen Verfahren aus Experteninterviews und der anschließenden Rückkopplung der Ergebnisse an die Experten wurde ein Framework spezifiziert, welches einen Rahmen für die Implementierung sensorerweiterter Informationssysteme zur weitergehenden, reproduzierbaren Beschreibung und Bewertung alltäglicher Mobilität älterer Menschen bietet. Das **MobiMate -Framework** umfasst 54 Anforderungen in acht Kategorien, welche je einer Relevanzkategorie zugeordnet wurden. Anhand einer Literaturstudie wurden zudem Mobilitätsparameter ermittelt, die im Gesundheitskontext eingesetzt werden. Eine mögliche sensorerweiterte Informationssystem-Architektur wurde konzipiert, umgesetzt und in der **SIMBA-Sensing Studie** erprobt. Die Umsetzung wurde aus Sicht der teilnehmenden Probanden bewertet. In die SIMBA-

Sensing Studie wurden in zwei Messphasen von je zwei Monaten insgesamt 17 Probanden einbezogen, deren Mobilitätsverhalten mithilfe eines Smartphones kontinuierlich erfasst wurde. Zusätzlich wurden die Probanden zu ihrer gesundheitsbezogenen Lebensqualität befragt. Die vorab identifizierten Mobilitätsparameter wurden, wenn möglich, aus den kontinuierlich erfassten Daten abgeleitet und das Mobilitätsverhalten der Probanden beschrieben. Zusätzlich konnte der Zusammenhang zwischen dem Mobilitätsverhalten und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und deren Veränderungen untersucht werden. Es konnten Korrelationen zwischen einzelnen Parametern und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sowie zwischen den Differenzwerten gezeigt werden. Dabei fielen die Korrelationen zwischen den Differenzwerten höher aus. Zudem wurden mögliche hierarchische Beziehungen untersucht. Für den psychischen Score der gesundheitsbezogenen Lebensqualität konnte ein entsprechendes Modell erstellt werden, wohingegen die Untersuchung für den körperlichen Score kein valides Ergebnis lieferte.

Abstract

This thesis is about the use of health-enabling technologies to describe and assess daily mobility patterns of the elderly. In an ageing society with growing technological advances, the question arises to what extent assessing mobility using sensor technologies has the potential to benefit healthcare. In order to answer this question, and because independent mobility is considered an important part of maintaining quality of life, health related quality of life (HRQOL) was used as an indicator of overall health. Correlations between mobility patterns and HRQOL were investigated, to be used as a starting point for new measures of health.

Using a two-phase method involving expert interviews and an online survey, a framework was developed for the design and implementation of sensor-enhanced information systems to provide continuous and reproducible description and assessment of mobility patterns of the elderly. This **MobiMate -Framework** includes 54 requirements in eight categories, which were ordered according to relevance. Mobility parameters were chosen based on a literature review of parameters previously used in health applications. A potential sensor-enhanced information system was then designed, implemented and tested in the **SIMBA-Sensing survey**. This information system was evaluated by the survey subject group. SIMBA-Sensing lasted for four months (two phases of two months) and involved 17 elderly subjects. Mobility was measured continuously by a smartphone and HRQOL was assessed using questionnaires at the beginning of the study and again every four weeks. The previously identified mobility parameters were, where possible, derived from the continuous data and used to

describe the mobility patterns of the subjects. Correlations between mobility parameters and HRQOL, as well as changes to mobility parameters and changes to HRQOL, were investigated. Some mobility parameters correlated with HRQOL; however, correlations between changes to mobility parameters and changes to HRQOL were stronger. Possible hierarchical relationships were also examined; a model could be developed for a mental score of HRQOL but not for a physical score.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1 Einleitung

- 1.1 Gegenstand und Motivation
- 1.2 Problemstellung
- 1.3 Zielsetzung und Fragestellung
- 1.4 Gliederung der Arbeit

2 Grundlagen

- 2.1 Mobilität
 - 2.1.1 Definition Mobilität
 - 2.1.2 Mobilitätsmessung
 - 2.1.3 Mobilitätsmodelle
- 2.2 Gesundheitsbezogene Lebensqualität
 - 2.2.1 Definition gesundheitsbezogene Lebensqualität
 - 2.2.2 Der 36-Item Short Form Fragebogen (SF-36)
- 2.3 Ortung
 - 2.3.1 Definition Ortung
 - 2.3.2 Satellitenortungssysteme
 - 2.3.3 Funknetze
- 2.4 Assistierende Gesundheitstechnologien
 - 2.4.1 Definition assistierende Gesundheitstechnologien
 - 2.4.2 Methoden zur Datenanalyse
- 2.5 Das SIMBA-Projekt

3 Das MobiMate -Framework: Spezifizierung einer Methode zur weitergehenden, reproduzierbaren

Beschreibung und Bewertung alltäglicher Mobilität älterer Menschen

3.1 Anforderungserhebung durch Experteninterviews

3.1.1 Planung Experteninterviews

3.1.2 Durchführung Experteninterviews

3.1.3 Ergebnis Experteninterviews

3.2 Rückkopplung in Anlehnung an die Delphi-Methode

3.2.1 Planung Rückkopplung

3.2.2 Durchführung Rückkopplung

3.2.3 Ergebnis Rückkopplung

3.3 Diskussion Spezifizierung des MobiMate -Frameworks

4 Eine Literaturstudie zur Identifikation von Parametern zur Beschreibung alltäglicher Mobilität

4.1 Planung Literaturstudie

4.1.1 Zielsetzung und Fragestellung

4.1.2 Studienart

4.1.3 Suchstrategie

4.2 Durchführung Literaturstudie

4.3 Ergebnis Literaturstudie

4.3.1 Mobilitätsparameter

4.3.2 Eingesetzte Methoden zur Erfassung von Mobilitätsparametern

4.3.3 Untersuchungskollektive und gesundheitliche Einschränkungen

4.3.4 Zusammenhang Mobilitätsparameter und Gesundheit

4.4 Diskussion Literaturstudie

5 Konzeption und Umsetzung einer sensorerweiterten Informationssystem-Architektur zur weitergehenden, reproduzierbaren Beschreibung und Bewertung alltäglicher Mobilität älterer Menschen

5.1 Informationssystem-Architektur

5.2 Konfiguration, Datenerfassung und -übertragung

5.3 Datenauswertung

5.3.1 Vorverarbeitung

5.3.2 Validierung und Annotation

5.3.3 Berechnung der Parameter

5.4 Datenspeicherung und Pseudonymisierung

5.5 Diskussion

6 Die SIMBA-Sensing Studie: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Mobilitätsverhalten und Lebensqualität

6.1 Planung SIMBA-Sensing Studie

6.1.1 Zielsetzung und Fragestellung

6.1.2 Studienart

6.1.3 Charakterisierung der Probanden

6.1.4 Studiendauer

6.1.5 Beabsichtigte Maßnahmen

6.1.6 Messungen, Befunde und Beobachtungen

6.1.7 Studienablauf

6.1.8 Zielgrößen

6.1.9 Störgrößen

6.1.10 Datenmanagement

6.1.11 Unerwünschte Ereignisse

6.1.12 Auswertung

6.2 Durchführung SIMBA-Sensing Studie

6.2.1 Erste Messphase

6.2.2 Zweite Messphase

6.2.3 Gesamt

6.3 Ergebnis SIMBA-Sensing Studie

6.3.1 Technikbereitschaft

6.3.2 Mobilitätsverhalten

6.3.3 Umsetzbarkeit

6.3.4 Mobilitätsverhalten und gesundheitsbezogene Lebensqualität

6.3.5 Hypothesen zum Zusammenhang von Mobilitätsverhalten und gesundheitsbezogener Lebensqualität

6.4 Diskussion SIMBA-Sensing Studie

7 Diskussion und Ausblick

7.1 Diskussion

7.1.1 Konzeption Methode

7.1.2 Umsetzung Informationssystem-Architektur

7.1.3 Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Mobilitätsverhalten und Lebensqualität

7.2 Ausblick

Literaturverzeichnis

Anhang

A Spezifikation

A.1 Interviewleitfaden Experteninterviews

A.2 Transkribierte Experteninterviews

A.2.1 Interview AE-1

A.2.2 Interview DG-1

A.2.3 Interview DE-1

A.2.4 Interview MI-1

A.2.5 Interview MO-1

A.2.6 Interview DG-2

A.2.7 Interview MI-2

A.2.8 Interview MO-2

A.2.9 Interview DE-2

A.2.10 Interview AE-2

A.3 Fragebogen Rückkopplung

A.4 Ergebnis Spezifikation

B Informationssystem-Architektur

B.1 Interebenen-Beziehung des 3LGM²-Modells

B.2 Wegezweck

C SIMBA-Sensing Studie

C.1 Fragebogen zur Technikbereitschaft

[C.2 Fragebogen SF-36](#)

[C.3 Eingangsfragebogen](#)

[C.4 Interviewleitfaden Abschlussbefragung](#)

[C.5 Einverständniserklärung zum Abschlussinterview](#)

[C.6 Probandeninformation](#)

[C.7 Anschreiben Studienteilnehmer](#)

[C.8 Stellungnahme Ethik und Datenschutz](#)

[C.9 Ergebnisse der SIMBA-Sensing Studie](#)

[C.9.1 Mobilitätsverhalten](#)

[C.9.2 Gesundheitsbezogene Lebensqualität](#)

[C.9.3 Wahrheitsmatrizen](#)

Abbildungsverzeichnis

- [3.1 Ablaufmodell der zusammenfassenden Inhaltsanalyse](#)
- [3.2 Skala zur Bewertung der Items des Fragebogens zur Rückkopplung der Anforderungen an die Experten](#)
- [3.3 Fragebogen zur Rückkopplung der Anforderungen an die Experten, Frageblock](#)
- [3.4 Fragebogen zur Rückkopplung der Anforderungen an die Experten, Einzelfrage](#)
- [3.5 Mediane der Bewertung der Relevanz der Anforderungen](#)
- [3.6 Bewertete Anforderungen je Relevanzkategorie](#)
- [3.7 Bewertete Anforderungen nach Relevanzkategorie je Anforderungskategorie](#)
- [3.8 Wichtige Anforderungen](#)

- [4.1 Durchführung Literaturstudie](#)

- [5.1 Fachliche Ebene des 3LGM²-Modells](#)
- [5.2 Logische Werkzeugebene des 3LGM²-Modells](#)
- [5.3 Physische Werkzeugebene des 3LGM²-Modells](#)
- [5.4 Schritte der Datenauswertung](#)
- [5.5 Beispielstrecke vor und nach der Vorverarbeitung und auf einer Karte dargestellt](#)
- [5.6 Validierung und Annotation mit VIKING](#)
- [5.7 Life-Space Level als konzentrische Kreise um das eigene Schlafzimmer](#)

- [6.1 Geplanter Ablauf der SIMBA-Sensing Studie](#)
- [6.2 Bewegungsradius, Histogramm mit Pareto-Verteilung](#)
- [6.3 Wegstrecke, Histogramm mit Pareto-Verteilung](#)
- [6.4 Wegstrecke Ausschnitt, Histogramm mit Pareto-Verteilung](#)

6.5 Geschwindigkeit, Histogramm mit logarithmischer Normalverteilung

6.6 Durchgeführte Wege je Tageszeit mit maximaler Entfernung vom eigenen Zuhause

6.7 Orte - Funktion, Darstellung der Häufigkeiten je Klasse pro Monat

6.8 Entscheidungsbäume, Veränderungen in der Lebensqualität

A.1 Interviewleitfaden zur Durchführung von Experteninterviews, Seite 1

A.2 Interviewleitfaden zur Durchführung von Experteninterviews, Seite 2

A.3 Interviewleitfaden zur Durchführung von Experteninterviews, Seite 3

A.4 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 1

A.5 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 2

A.6 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 3

A.7 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 4

A.8 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 5

A.9 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 6

A.10 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 7, Teil a

A.11 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 7, Teil b

A.12 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 8

[A.13 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 9](#)

[A.14 Rückkopplung der Anforderungen an die Experten zur Bewertung und Kommentierung, Fragebogen Seite 10 und letzte Seite](#)

[B.1 Interebenen-Beziehung des 3LGM²-Modells](#)

[B.2 Wegezweck](#)

[C.1 Fragebogen zur Erfassung von Technikbereitschaft, eingesetzt in der SIMBA-Sensing Studie](#)

[C.2 Selbstbeurteilungsbogen SF-36, eingesetzt in der SIMBA-Sensing Studie, Seite 1 \(Deckblatt\), Kopie des Fragebogens](#)

[C.3 Selbstbeurteilungsbogen SF-36, eingesetzt in der SIMBA-Sensing Studie, Seite 2, Kopie des Fragebogens](#)

[C.4 Selbstbeurteilungsbogen SF-36, eingesetzt in der SIMBA-Sensing Studie, Seite 3](#)

[C.5 Selbstbeurteilungsbogen SF-36, eingesetzt in der SIMBA-Sensing Studie, Seite 4](#)

[C.6 Eingangsfragebogen der SIMBA-Sensing Studie, Seite 1](#)

[C.7 Eingangsfragebogen der SIMBA-Sensing Studie, Seite 2](#)

[C.8 Interviewleitfaden der Abschlussbefragung der SIMBA-Sensing Studie, Seite 1](#)

[C.9 Interviewleitfaden der Abschlussbefragung der SIMBA-Sensing Studie, Seite 2](#)

[C.10 Interviewleitfaden der Abschlussbefragung der SIMBA-Sensing Studie, Seite 3](#)

[C.11 Einverständniserklärung zum Abschlussinterview](#)

[C.12 Probandeninformation zur SIMBA-Sensing Studie, Seite 1](#)

[C.13 Probandeninformation zur SIMBA-Sensing Studie, Seite 2](#)

[C.14 Probandeninformation zur SIMBA-Sensing Studie, Seite 3](#)

[C.15 Probandeninformation zur SIMBA-Sensing Studie, Seite 4](#)

[C.16 Probandeninformation zur SIMBA-Sensing Studie, Seite 5](#)

[C.17 Anschreiben zur Gewinnung von Studienteilnehmern für die SIMBA-Sensing Studie, Seite 1](#)

[C.18 Anschreiben zur Gewinnung von Studienteilnehmern für die SIMBA-Sensing Studie, Seite 2](#)

[C.19 Stellungnahme der Ethikkommission zur SIMBA-Sensing Studie](#)

[C.20 Stellungnahme des Datenschutzbeauftragten zur SIMBA-Sensing Studie](#)

Tabellenverzeichnis

[2.1 Mobilitätskennwerte im MOP](#)

[2.2 Zentrale Mobilitätskenngrößen MiD](#)

[3.1 Übersicht Anforderungen, gruppiert nach Anforderungskategorie](#)

[3.2 Kodierung der Antwortkategorien](#)

[4.1 Terme Suchstring PubMed](#)

[4.2 Terme Suchstring IEEE Xplore](#)

[4.3 Mobilitätsparameter](#)

[4.4 Eingesetzte Methoden](#)

[5.1 Zustandsübergangstabelle](#)

[6.1 Messplan Befragungen der SIMBA-Sensing Studie](#)

[6.2 Subskalen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit Normwerten von 1998](#)

[6.3 Zusammenhang zwischen Mobilitätsparametern und den Summenscores des SF-36, Korrelationskoeffizienten](#)

[6.4 Ergebnis der Validierung des Entscheidungsbaums zum Summenscore PCS](#)

[6.5 Ergebnis der Validierung des Entscheidungsbaums zum Summenscore MCS](#)

[A.1 Übersicht Ergebnis Fragebogen](#)

[C.1 Life-Space, Bewegungsradius und Wegstrecke mit Anzahl \(n\), Mittelwert \(M\), Standardabweichung \(SD\), 1. Quartil, Median, 3. Quartil und Range](#)

- C.2 Dauer außer Haus und Anzahl zurückgelegter Wege mit Anzahl (n), Mittelwert (M), Standardabweichung (SD), 1. Quartil, Median, 3. Quartil und Range
- C.3 Frequenz der außer-Haus-Ereignisse, Anteil Probanden
- C.4 Tageszeit, Anteil der zurückgelegten Wege in Prozent
- C.5 Wegezweck, Anteil der zurückgelegten Wege in Prozent
- C.6 Mobilitätsparameter pro Proband mit den Werten, die für die Korrelation und Klassifikation genutzt wurden - Teil 1
- C.7 Mobilitätsparameter pro Proband mit den Werten, die für die Korrelation und Klassifikation genutzt wurden - Teil 2
- C.8 Mobilitätsparameter pro Proband mit den Werten, die für die Korrelation und Klassifikation genutzt wurden - Teil 3
- C.9 Subskalen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zu den drei Messzeitpunkten t_0 , t_1 und t_2
- C.10 Summenscores der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zu den drei Messzeitpunkten t_0 , t_1 und t_2
- C.11 Subskalen und Summenscores der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zu den drei Messzeitpunkten t_0 , t_1 und t_2 pro Proband
- C.12 Wahrheitsmatrizen der Entscheidungsbäume zu PCS und MCS

Abkürzungsverzeichnis

3LGM ²	Drei-Ebenen-Meta-Modell
ADL	Aktivitäten des täglichen Lebens
A-GNSS	Assisted GNSS
A-GPS	Assisted GPS
AGT	Assistierende Gesundheitstechnologien
AUC	Area Under the Curve
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMFSFJ	Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend
BMI	Body-Mass-Index
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVDI	Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur
BP	Bodily Pain (Schmerzen)
BTS	Base Transceiver Station
CF	Cystic Fibrosis
DOP	Dilusion of Precision
EAMQ	Environmental Aspects of Mobility

	Questionnaire
EITO	European Information Technology Observatory
EQ-5D	European Quality of Life Questionnaire
FB	Fragebogen
FN	False-Negative
FP	False-Positive
FWBP	Functioning and Well-Being Profile
GH	General Health (Allgemeine Gesundheitswahrnehmung)
GIS	Geografisches Informationssystem
GLONASS	Global'naya Navigatsioannaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSM	Global System for Mobile Communication
GPS	Global Positioning System
GPX	GPS Exchange Format
HRQOL	Health Related Quality of Life
IADL	instrumentelle Aktivitäten des täglichen Lebens
ICF	Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit
ICT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IQOLA	International Quality of Life Assessment

IV	Interview
JSON	JavaScript Object Notation
KIT	Karlsruher Institute of Technology
KONTIV	kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten
LOO	Leave-One-Out
LSA	Life Space Assessment
LSQ	Life Space Questionnaire
LTE	Long Term Evolution
MANET	Mobile Ad hoc Network
MAT	Miller Analogies Test
MCS	Mental Component Score (Psychischer Summenscore)
MeSH	Medical Subject Headings
MH	Mental Health (Psychisches Wohlbefinden)
MiD	Mobilität in Deutschland
MMSE	Mini Mental State Examination
MOP	Deutsches Mobilitätspanel
MOSES	Mobilität, Selbstversorgung und Häusliches Leben
NHP	Nottingham Health Profile
NLM	U.S. National Library of Medicine
NPV	Negative-Prediction-Value
OSM	OpenStreetMap
PCS	Physical Component Score (Körperlicher Summenscore)
PDOP	Position Dilution of Precision
PDQ-39	Parkinson's Disease Quality of Life Questionnaire

PF	Physical Functioning (Körperliche Funktionsfähigkeit)
PH	Physical Health
PPV	Positive-Prediction-Value
RE	Role Emotional (Emotionale Rollenfunktion)
RF	Role Physical (Körperliche Rollenfunktion)
ROC	Receiver Operating Characteristic
POI	Point of Interest
SF	Social Functioning (Soziale Funktionsfähigkeit)
SF-12	12-Item Short Form
SF-36	36-Item Short Form
SIMBA	Sicher und mobil durch begleitende Assistenzsysteme
SPPB	Short Physical Performance Battery
TN	True-Negative
TP	True-Positive
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V	Vitality (Vitalität)
WHO	World Health Organisation
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

Kapitel 1

Einleitung

In a Garden of Eden in which life was so entertaining that we did not even feel the need for regular rest, with a continually pleasant climate, ubiquitous self-replacing fruits to consume, and no social responsibilities, the path could be a true time-space random walk.

Hagerstrand, 1970 ([1], S. 10-11)

1.1 Gegenstand und Motivation

Mobilität als Möglichkeit der Überbrückung von Entfernungen, um an einen außerhalb der eigenen Wohnung gelegenen räumlich entfernten Ort zu gelangen, ist ein wesentlicher Faktor der gesellschaftlichen Teilhabe [2] und trägt somit zu einem selbstbestimmten Leben bei. Allerdings können verschiedene Faktoren, z.B. gesundheitliche Beeinträchtigungen, zu einer Veränderung der Mobilität führen [2]. Besonders im Alter spielen diese Beeinträchtigungen eine Rolle. Vor allem das gleichzeitige Auftreten mehrerer Krankheiten ist für den Gesundheitszustand älterer Menschen charakteristisch [3-5]. Eine Verminderung des Sehvermögens, eine Erkrankung des Stütz- und Bewegungsapparates, die Abnahme der psychomotorischen Fähigkeiten oder Inkontinenz sind Beispiele für altersbedingte Einschränkungen, die sich auf die Selbständigkeit auswirken können. Der parallele Anstieg des Altenquotienten und eine Veränderung in der

Siedlungsstruktur [3] reduzieren die Möglichkeit einer persönlichen Betreuung im gewohnten Wohnumfeld, über die die Funktionseinschränkungen teilweise kompensiert werden könnten. Gleichzeitig ist es ein Bedürfnis älterer Menschen die eigene Selbständigkeit so lange wie möglich zu erhalten und in ihrer gewohnten Umgebung wohnen bleiben zu können ohne auf fremde Hilfe angewiesen sein zu müssen. Dieses Bedürfnis bezieht sich zum einen auf die eigene Wohnung und das unmittelbare Wohnumfeld, muss zum anderen ebenso auf die Mobilität außerhalb der Wohnung erweitert werden. Denn auch wenn die Zeit, die ein Mensch zu Hause verbringt, sich mit dem Alter erhöht [6], behält die selbständige Mobilität außerhalb der eigenen Wohnung einen hohen Stellenwert und trägt wesentlich zur Erhöhung der Teilhabe am sozialen Leben bei. So zeigt das Ergebnis einer Studie des Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ), dass „[...] die Möglichkeit und Fähigkeit zu Mobilität und damit zu gesellschaftlicher Teilhabe auch ein großes Bedürfnis älterer Menschen und infolgedessen eine wichtige Voraussetzung für Lebensqualität im Alter ist [...]“ [7, S. 198].

Gleichzeitig hat sich das Mobilfunknetz von der Bereitstellung des ersten deutschen nationalen Mobilfunknetzes in den 50er Jahren über den Zugang für die breite Bevölkerung durch die Einführung der zweiten Generation des Mobilfunks (2G, GSM) in den 90er Jahren bis zur Einführung der dritten Generation (3G, UMTS) zu Beginn des 21. Jahrhunderts und der bis heute aktuell vierten Generation des Mobilfunks (4G, LTE) und dessen Ausbau enorm entwickelt [8]. Ebenso nahm die Anzahl der Mobilfunkteilnehmer rasant zu. Lag diese im Jahr 2001 in Deutschland schon bei rund 56 Mio., stieg die Anzahl bis zum dritten Quartal des Jahres 2011 auf rund 112 Mio. [9, 10]. Auch wenn die Teilnehmerzahl in den Jahren 2008 bis 2011 deutlich weniger gestiegen ist als in den Vorjahren [9] und sich von 2011 bis zum zweiten Quartal 2013 ein

Sättigungstrend erkennen lässt [11], der auch aktuell noch zu verzeichnen ist [12], bieten datenbasierte Dienste und neue technische Entwicklungen wie Smartphones weitere Wachstumschancen. So zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg des übertragenden Datenvolumens. Waren es im Jahr 2008 noch 11,47 Mio. GB, stiegen diese im Jahre 2012 auf 155,64 Mio. GB mit weiterer Wachstumsprognose an [11].

Bei Smartphones stieg der Verkauf im Jahr 2011 um 31% im Vergleich zu 2010 auf 11,8 Mio. [13]. Ein vergleichbarer Trend zeigten die Prognosen für das Jahr 2012. Wie der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) auf Basis von Daten des European Information Technology Observatory (EITO) ankündigte, ist für 2012 mit einem Anstieg des Absatzes von Smartphones um 35% auf 15,9 Mio. Stück zu rechnen, womit Smartphones 55% aller in Deutschland verkauften Handys ausmachen [14]. Die Prognose lässt sich für das Jahr 2014 bestätigen, für das die BITKOM angab, dass 55% aller Bundesbürger zumindest gelegentlich ein Smartphone nutzen. Der Anstieg der Smartphone-Nutzer ist unabhängig von Altersklassen. Bei der Altersklasse der Senioren ab 65 Jahren ist ein Anstieg innerhalb eines Jahres von 7 auf 14% zu verzeichnen [15]. Unterstützend gibt die Bundesnetzagentur an, dass im Jahr 2013 über 36 Mio. Teilnehmer mit Smartphone oder Tablet die mobile Datenübertragung nutzten [11]. Mit der Einführung von Smartphones wurden Geräte in den Markt gebracht, die über eine erweiterte Rechenleistung und Speicherkapazität verfügen. Neben der Telefonnetzanbindung bieten sie außerdem weitere Schnittstellen wie WLAN (Wireless Local Area Network) und Bluetooth, haben die Möglichkeit GPS (Global Positioning System) zu nutzen und entsprechende Daten zu empfangen und weiterzuverarbeiten und stellen Sensorik wie z. B. Beschleunigungssensoren, Helligkeitssensoren oder Gyroskop zur Verfügung. Dank

dieser Eigenschaften kann ein erweiterter Umfang an Funktionalität zur Verfügung gestellt werden. Dieser kann über sogenannte Apps nahezu beliebig erweitert und an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden [16].

Diese Entwicklung bietet die Grundlage für neue Ansätze auf dem Gebiet der assistierenden Gesundheitstechnologien, die das Ziel haben ein aktives, selbstbestimmtes und selbständiges Leben zu ermöglichen. Dabei bieten Smartphones neben den eingangs beschriebenen technischen Möglichkeiten die wesentlichen Vorteile der bei den Nutzern vorhandenen Integration in den Alltag und die Möglichkeit der mobilen, annähernd ständigen Begleitung einer Person. Es können ortsabhängige Dienstleistungen (Location Based Services) [17] umgesetzt werden, die die Mobilität einer Person unterstützen bzw. erhalten können. Die Thematik der Umsetzung von Assistenzsystemen zur Unterstützung der Mobilität älterer Menschen ist vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) aufgegriffen worden. Dieses förderte von 2011-2015 auf dem Gebiet „Mobil bis ins hohe Alter - nahtlose Mobilitätsketten zur Beseitigung, Umgehung und Überwindung von Barrieren“ in Umsetzung der Hightech-Strategie der Bundesregierung 14 Projekte, die sich mit der Unterstützung der Mobilität älterer Menschen in der bestehenden Infrastruktur beschäftigten [18].

1.2 Problemstellung

Zur Erhebung des Verkehrs-/Mobilitätsverhaltens werden traditionell Interviews oder Fragebögen eingesetzt. In Deutschland wurden nach dieser Methode die Erhebungen „Mobilität in Deutschland“ (MiD) [19] oder das „Deutsche Mobilitätspanel“ (MOP) [20] durchgeführt. Technische Errungenschaften, die mit der eingangs beschriebenen Entwicklung des Mobilfunks und mobiler Endgeräte

einhergehen, erlauben immer mehr auch den Einsatz von Sensorsystemen zur Erforschung des Mobilitätsverhaltens. So werden z.B. GPS-Systeme oder Mobilfunkdaten zur Beschreibung des Mobilitätsverhaltens verwendet [21-23]. Die Forscher sind zum einen bestrebt, das Verhalten zu beschreiben, zum anderen Mobilitätsmuster zu identifizieren, die zu Klassifikations- und Simulationsmodellen führen. Ausschlaggebend ist hier die Erkenntnis, dass menschliche Mobilität nicht zufälligen, sondern reproduzierbaren Mustern folgt [22, 24]. González et al. sehen die Möglichkeit, dass diese Erkenntnis auf alle mobilitätsbedingten Phänomene Auswirkung haben könnte.

„[...] humans follow simple reproducible patterns. This inherent similarity in travel patterns could impact all phenomena driven by human mobility, from epidemic prevention to emergency response, urban planning and agent-based modelling“ [22].

Nachdem von Altenburg et al. [2] und Mollenkopf et al. [7] die Möglichkeit und Fähigkeit zur Mobilität als wesentliche Voraussetzung für den Erhalt der Lebensqualität gesehen wird, stellt sich, unter der Annahme reproduzierbarer Mobilitätsmuster, im Gegenzug die Frage, ob es eine Möglichkeit gibt, über ein sensorerweitertes Informationssystem Mobilitätsdaten zu erheben und so zu systematisieren, dass diese einen Rückschluss auf den Gesundheitszustand oder die gesundheitsbezogene Lebensqualität eines Individuums erlauben. Abgeleitet aus der Definition von Gesundheit der WHO „Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity“ [25, S. 1], bezieht sich gesundheitsbezogene Lebensqualität auf das körperliche, geistige und soziale Wohlergehen [26]. Dabei kann gesundheitsbezogene Lebensqualität mit generischen und krankheitsspezifischen Instrumenten erfasst werden

(siehe hierzu weitere Ausführungen in [Kapitel 2](#)). Wenn nicht anders vermerkt, wird im Weiteren der Begriff Lebensqualität synonym zu gesundheitsbezogene Lebensqualität verwendet. Im Englischen findet sich hierfür der Begriff „Health Related Quality of Life“ (HRQOL) [27]. Gerade bei Menschen, bei denen sich gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht anhand einer einzelnen konkreten Einschränkung beschreiben lassen, könnten Veränderungen im Mobilitätsverhalten einen wertvollen Hinweis auf gesundheitliche Veränderungen liefern und deren Mobilitätsverhalten somit bewertbar machen. Ein Ansatz hierfür könnte mittelfristig dazu dienen mobilitätsbeeinflussende Maßnahmen zu vergleichen, langfristig bietet dieser möglicherweise auch Unterstützung für Diagnostik und Therapie. Allerdings ist derzeit keine Methode zur Erfassung und Bewertung des Mobilitätsverhaltens bekannt, welche im beschriebenen Kontext zum Einsatz kommt. Es stellen sich somit folgende Probleme dar.

Problem P1 Es ist derzeit nicht bekannt, wie eine Methode gestaltet werden kann, über die das alltägliche Mobilitätsverhalten älterer Menschen durch den Einsatz von Sensorsystemen erfasst und bewertet werden kann.

Problem P2 Es ist derzeit nicht bekannt, ob es möglich ist, durch den Einsatz von Sensorsystemen weitergehende, reproduzierbare Parameter zu erfassen, anhand derer die Mobilität älterer Menschen bewertet werden kann.

1.3 Zielsetzung und Fragestellung

Aus der formulierten Problemstellung ergeben sich folgende Ziele mit jeweils entsprechenden Fragen. Diese werden im Folgenden dargestellt.

Zielsetzung zu P1

Ziel Z1 Konzeption einer Methode, über die die alltägliche Mobilität älterer Menschen über weitergehende, reproduzierbare Parameter erfasst und bewertet werden kann.

Frage F1 zu Z1 Welche Eigenschaften spezifizieren diese Methode?

Frage F2 zu Z1 Welche mobilitätsbezogenen Parameter eignen sich zur Beschreibung und Bewertung alltäglicher Mobilität?

Ziel Z2 Umsetzung einer sensorerweiterten Informationssystem-Architektur, über die die alltägliche Mobilität älterer Menschen über weitergehende, reproduzierbare Parameter erfasst und bewertet werden kann.

Frage F3 zu Z2 Wie lässt sich eine entsprechende Informationssystem-Architektur umsetzen?

Frage F4 zu Z2 Wie können die mobilitätsbezogenen Parameter durch den Einsatz von Sensorsystemen ermittelt werden?

Zielsetzung zu P2

Ziel Z3 Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Mobilitätsverhalten und Lebensqualität.

Frage F5 zu Z3 Welche Zusammenhänge lassen sich zwischen den erhobenen Parametern und der Lebensqualität darstellen?

1.4 Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in einen Grundlagenteil ([Kapitel 2](#)), welcher auf den Begriff Mobilität eingeht und