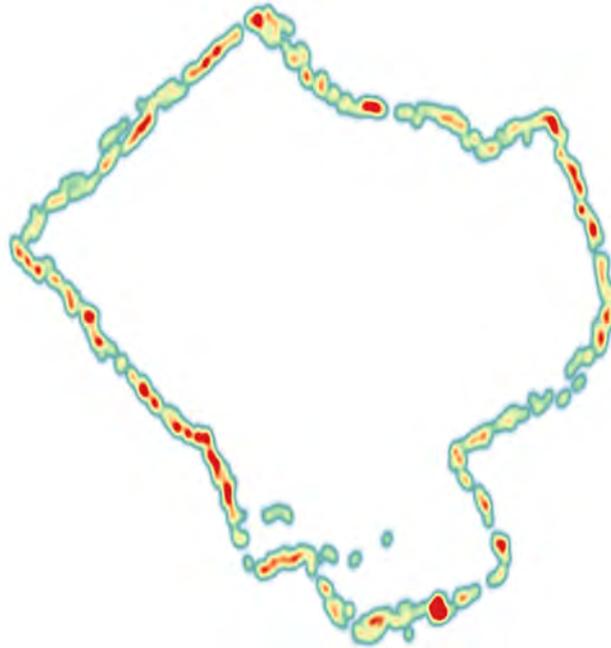


EmoMapping von Barrieren

Entwicklung eines Verfahrens zur automatisierten Auswertung von mit Sensorarmbändern ermittelten Stressmomenten im Kontext des barrierefreien Straßenraums



BACHELORARBEIT

HOCHSCHULE BOCHUM
BOCHUM UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sven Beyel

Matrikelnummer:
Fachbereich Geodäsie

012201282
Studiengang Geoinformatik

1. Prüferin:
2. Prüfer:

Prof. Dr. rer. nat. Ulrike Klein
Dr.-Ing. Peter Zeile

Bochum, 02. Juni 2016



Aufgabe der Bachelorarbeit

Thema: Emomapping von Barrieren – Entwicklung eines Verfahrens zur automatisierten Auswertung von mit Sensorarmbändern ermittelten Stresssituationen im Kontext des barrierefreien Straßenraums

Im Zuge des demographischen Wandels ist ein deutlicher Anstieg des Bevölkerungsanteils an Seniorinnen und Senioren (Personen ab 65 Jahren) in Deutschland abzusehen. Dadurch wächst auch die Anzahl der mobilitätseingeschränkten und behinderten Menschen. Insbesondere für die Gruppe der über 80-Jährigen spielen barrierearme Wege eine große Rolle, sie stellen dementsprechend eine zunehmend wichtiger werdende Herausforderung für die räumliche Planung dar.

In einer Pilotstudie wurde hierfür im Bochumer Stadtteil Querenburg versucht, Barrieren (nach DIN 18040-3 etc.) in einem „barrierefreien Stadtplan“ zu erfassen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob es tatsächlich diese Barrieren sind, die den mobilitätseingeschränkten Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern Stress verursachen. Um diese Problematik zu klären, wurde die Technik des „EmoMapping“ (dt. Emotionskartierung) verwendet. Dieses Verfahren dient dazu, Emotionen von einzelnen Personen mit einer Georeferenz zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden Testpersonen mit einem Alterssimulationsanzug, einem GPS-Logger zur Erfassung der geographischen Position sowie einem Sensorband, welches die Hautleitfähigkeit und die Hauttemperatur misst, ausgestattet. In Testläufen wurden durch Erkennung von Mustern besondere Situationen, in denen die Probanden Stress verspürten, positionsgenau erfasst.

Anschließend wurden die Messdaten des GPS-Loggers und des Sensorbands ausgewertet und kombiniert. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden als Dichtekarten (Heatmaps) in einem Geoinformationssystem dargestellt. Aus diesen wurde ersichtlich, an welchen Stellen im Straßennetz die Probanden Stress empfunden haben. Im Anschluss daran wurden die Daten des barrierefreien Stadtplans mit den Ergebnissen des EmoMappings validiert und die einzelnen Barrierearten hinsichtlich ihrer Relevanz für eine barriere- und stressfreie Navigation eingeschätzt.

Da die Auswertung der Daten aus dem EmoMapping bislang nicht automatisiert und über verschiedene Software durchgeführt wurde, konnten

die Daten nicht sehr zeitnah ausgewertet werden. Auch der Arbeitsaufwand war als relativ hoch einzustufen.

Im Rahmen der Bachelorarbeit von Sven Beyel soll ein Werkzeug entwickelt werden, mit welchem sich die einzelnen Arbeitsschritte der Auswertung automatisiert durchführen lassen. Das Tool soll in der frei verfügbaren Programmiersprache „R“ entwickelt werden. Die Visualisierung der Ergebnisse soll mit der freien GIS-Software QGIS erfolgen.

Die Umsetzung soll einmal für das Sensormessband „Smartband“ und einmal als Universaltool für unterschiedliche Sensormessbänder durchgeführt werden. Für das „Smartband“ sollen die Daten zusätzlich automatisiert aufbereitet werden.

Die Ergebnisse sollen auf Basis einer standardisierten Symbologie in Form einer Heatmap visualisiert werden. Dafür notwendige Skalierungen der Daten sind in das Werkzeug zu integrieren.

Ziel der Arbeit ist, dass der gesamten Prozess vom Auslesen der Daten bis zur Analyse und Visualisierung mit R/QGIS automatisiert und so dokumentiert ist, dass er von weiteren Akteuren modifiziert werden kann.

Abgabetermin: 02.06.2016



Referent:
Prof. Dr. Ulrike Klein



Korreferent:
Dr. Peter Zeile

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe und die Regelungen der geltenden Prüfungsordnung zu Versäumnis, Rücktritt, Täuschung und Ordnungsverstoß zur Kenntnis genommen habe.

Bochum, den

Sven Beyel

Abstract

Im Zuge des demographischen Wandels ist ein deutlicher Anstieg des Bevölkerungsanteils an Seniorinnen und Senioren (Personen ab 65 Jahren) in Deutschland abzusehen. Dadurch wächst auch die Anzahl der mobilitätseingeschränkten und behinderten Menschen. Insbesondere für die Gruppe der über 80-Jährigen spielen barrierearme Wege eine große Rolle. Sie stellen dementsprechend eine zunehmend wichtiger werdende Herausforderung für die räumliche Planung dar.

In einer Pilotstudie wurde hierfür im Bochumer Stadtteil Querenburg versucht, Barrieren (nach DIN 18040-3 etc.) in einem „barrierefreien Stadtplan“ zu erfassen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob es tatsächlich diese Barrieren sind, die bei den mobilitätseingeschränkten Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern Stress verursachen. Um diesen Sachverhalt zu klären, wurde die Technik des „EmoMapping“ (dt. Emotionskartierung) verwendet. Dieses Verfahren dient dazu, Emotionen von einzelnen Personen zu erfassen und zu verorten. Zu diesem Zweck wurden Testpersonen mit einem Alterssimulationsanzug, einem GPS-Logger zur Erfassung der geographischen Position sowie einem Sensorarmband, welches die Hautleitfähigkeit und die Hauttemperatur misst, ausgestattet. In Testläufen wurden durch Erkennung von Mustern besondere Situationen, in denen die Probanden Stress empfanden, positionsgenau erfasst.

Anschließend wurden die Messdaten des GPS-Loggers und des Sensorarmbandes ausgewertet und kombiniert. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden als Dichtekarten (Heatmaps) in einem Geoinformationssystem dargestellt. Diese ermöglichen eine Interpretation der Daten.

Da die Auswertung der Daten aus dem EmoMapping bislang nicht automatisiert und über verschiedene Software durchgeführt wurde, konnten die Daten nicht sehr zeitnah ausgewertet werden. Auch der Arbeitsaufwand war als relativ hoch einzustufen. Deshalb wurde im Rahmen dieser Bachelorarbeit ein Werkzeug entwickelt, mit welchem sich die einzelnen Arbeitsschritte der Auswertung automatisiert durchführen lassen. Das Tool wurde in der frei verfügbaren Programmiersprache „R“ entwickelt und erleichtert den bisherigen Arbeitsablauf der Auswertung deutlich. Dadurch wird in Zukunft eine intensivere Nutzung der EmoMapping-Methode ermöglicht.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Barrierefreier Stadtplan im Zuge des demographischen Wandels.....	4
2.1 Demographischer Wandel.....	4
2.2 Barrierefreier Stadtplan in Bochum.....	8
2.2.1 Prinzipien der barrierefreien Planung.....	9
2.2.2 Durchführung.....	11
3 EmoMapping.....	13
3.1 Sensorik.....	13
3.2 Methoden des EmoMappings.....	14
3.2.1 EmoTagging.....	15
3.2.2 EmoMining.....	15
3.2.3 Psychophysiologisches Mapping (Monitoring).....	16
3.3 Erfassung von Emotionen.....	17
3.3.1 Sensorarmband.....	18
3.3.2 GPS-Messung.....	19
3.3.2.1 Satellitengestützte Messverfahren.....	20
3.3.2.2 GPS-Logger.....	21
3.3.3 Alterssimulationsanzug.....	22
4 Stand der Forschung.....	24
4.1 Rohdaten der Messung.....	24
4.1.1 Daten des Sensorarmbandes.....	24

4.1.2	Daten des GPS-Loggers	25
4.2	Stand der Datenverarbeitung.....	26
5	Konzeption des Tools	30
5.1	Die Programmiersprache R.....	30
5.2	Das Geoinformationssystem QGIS	31
5.3	Konzept des Tools.....	31
6	Realisierung des Tools.....	35
6.1	Realisierung des Smartband-Tools	36
6.1.1	getTrackList	36
6.1.2	readSensorFiles	37
6.1.3	checkSensorFiles	37
6.1.4	readSensorData.....	37
6.1.5	removeOutliers.....	38
6.1.6	toSeconds	40
6.1.7	makeSlopeSmooth	41
6.1.8	makeScoring	42
6.1.9	getStressMoments	43
6.1.10	getStressShape	43
6.1.11	getShape.....	43
6.1.12	getHeatmap.....	46
6.2	Realisierung des Universal-Tools.....	47
6.3	QGIS-Toolbox.....	49
7	EmoMapping im Testgebiet Querenburg	53
7.1	Durchführung der Messung.....	53
7.2	Darstellung der Ergebnisse	54
7.3	Analyse der Ergebnisse	56

8	Fazit und Ausblick	58
	Literaturverzeichnis.....	61
	Anhang	67
A.1	Heatmaps zu den Messungen im Testgebiet Querenburg.....	67
A.2	Ergebnisse des Berichtes der Messungen im Testgebiet Querenburg	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland	5
Abbildung 2: Leitstreifen mit Rippenverlauf in Gehrichtung	10
Abbildung 3: Barrierefreier Stadtplan im Testgebiet Querenburg	12
Abbildung 4: Smartband.....	18
Abbildung 5: Elektroden (Vorder- und Rückseite)	19
Abbildung 6: GPS-Satelliten-Konstellation	20
Abbildung 7: GPS-Logger "i Blue 747"	22
Abbildung 8: Alterssimulationsanzug GERT	23
Abbildung 9: Ausschnitt der Daten einer Messung des GPS-Loggers.....	26
Abbildung 10: Aktivitätsdiagramm zum Stand der Datenverarbeitung.....	27
Abbildung 11: Ausschnitt aus der Stresserkennungstabelle.....	29
Abbildung 12: Aktivitätsdiagramm des Tools.....	32
Abbildung 13: Beispieldatensatz – Hautleitfähigkeit mit Artefakten	38
Abbildung 14: Beispieldatensatz – Hautleitfähigkeit nach Bereinigung der Artefakte	39
Abbildung 15: Beispieldatensatz – Hautleitfähigkeit in Sekunden	40
Abbildung 16: Beispieldatensatz – Steigungen der Hautleitfähigkeit.....	41
Abbildung 17: Beispieldatensatz – Steigungen der Hautleitfähigkeit nach der Glättung	42
Abbildung 18: Beispieldatensatz – Steigungen der Hautleitfähigkeit nach der Spreizung.....	42
Abbildung 19: R scripts in den Verarbeitungsoptionen von QGIS	49
Abbildung 20: Smartband-Tool in QGIS	51
Abbildung 21: Universal-Tool in QGIS.....	52
Abbildung 22: Dauer des Stresses (Stresssekunden) im Testgebiet Querenburg	55
Abbildung 23: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) im Testgebiet Querenburg.....	55
Abbildung 24: Dauer des Stresses (Stresssekunden) und Barrieren.....	56
Abbildung 25: Im Qt Designer erzeugtes Mockup zum Smartband-Tool	59

Abbildung 26: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 04 Max	67
Abbildung 27: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 04 Max	67
Abbildung 28: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 10 Viktoria	68
Abbildung 29: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 10 Viktoria.....	68
Abbildung 30: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 12 Christian.....	69
Abbildung 31: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 12 Christian.....	69
Abbildung 32: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 16 Tarik	70
Abbildung 33: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 16 Tarik	70
Abbildung 34: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 18 Marvin.....	71
Abbildung 35: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 18 Marvin.....	71
Abbildung 36: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 21 Imke	72
Abbildung 37: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 21 Imke	72
Abbildung 38: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 22 Marc.....	73
Abbildung 39: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 22 Marc.....	73
Abbildung 40: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 25 Dennis	74
Abbildung 41: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 25 Dennis	74
Abbildung 42: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (1/16).....	75
Abbildung 43: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (2/16).....	76
Abbildung 44: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (3/16).....	77
Abbildung 45: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (4/16).....	78
Abbildung 46: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (5/16).....	79
Abbildung 47: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (6/16).....	80
Abbildung 48: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (7/16).....	81
Abbildung 49: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (8/16).....	82
Abbildung 50: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (9/16).....	83
Abbildung 51: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (10/16).....	84

Abbildung 52: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (11/16).....	85
Abbildung 53: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (12/16).....	86
Abbildung 54: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (13/16).....	87
Abbildung 55: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (14/16).....	88
Abbildung 56: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (15/16).....	89
Abbildung 57: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (16/16).....	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arten der erfassten Barrieren mit zugehöriger Geometrie.....	11
Tabelle 2: Ausschnitt der Daten einer Messung des Sensorarmbandes	25
Tabelle 3: Argumente der Funktion <i>getShape</i> des Smartband-Tools	44
Tabelle 4: Argumente der Funktion <i>getShape</i> des Universal-Tools.....	48

Abkürzungsverzeichnis

App	Application
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BGG	Behindertengleichstellungsgesetz
CSV	Comma-separated values
EDA	Elektrodermale Aktivität
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
GERT	Gerontologischer Testanzug
GG	Grundgesetz
GIS	Geoinformationssystem
GLONASS	Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GNU	GNU's Not Unix
GPL	General Public License
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
MHz	Megahertz
NA	Not Available
NAVSTAR GPS	Navigation System using Time and Ranging Global Positioning System
PC	Personal Computer

PDF	Portable Document Format
scl	skin conductance level
TIFF	Tagged Image File Format
VGI	Volunteered Geographic Information
WGS84	World Geodetic System 1984
WiFi	Wireless Fidelity
WMS	Web Map Service

1 Einleitung

Der demographische Wandel in Deutschland wird mittlerweile von vielen Bereichen wie z. B. dem Arbeitsmarkt, Gesundheits- und Bauwesen sowie der Raumplanung thematisiert. Im Mittelpunkt stehen der Aspekt der alternden Bevölkerung und die daraus resultierenden Folgen. Eine dieser Folgen ist die zukünftig erhöhte Anzahl mobilitätseingeschränkter und behinderter Menschen sowie deren damit einhergehenden Probleme im Alltag. In den verschiedenen angesprochenen Bereichen werden seit einigen Jahren Strategien, zum Umgang solcher problematischen Phänomene, kritisch diskutiert (*vgl. Lehr 2007*).

Betroffen sind viele Arten von Planungsprozessen, insbesondere im Bereich der Raumplanung, die sich häufig durch die Disziplin der Geoinformatik unterstützen lassen. Diese Disziplin hat sich rund um Geoinformationssysteme (GIS), die zunehmend in vielen Bereichen (wie z. B. der Planung) zum Einsatz kommen, entwickelt. Sie beschäftigt sich mit Fragestellungen zu Objekten auf der Erdoberfläche (Geodaten) und deren Lösungsstrategien, die mit einer geeigneten GIS-Software durchgeführt werden können (*vgl. Zimmermann 2012*).

In einer Pilotstudie der Hochschule Bochum wurde bereits, bezugnehmend auf den demographischen Wandel, ein barrierefreier Stadtplan entwickelt. Dieser soll Raumplanungsprozesse unterstützen, wozu Barrieren im Verkehrsraum erfasst wurden. Da diese Barrieren subjektiv durch einen Datenerfasser aufgenommen wurden, kann die Vollständigkeit der Daten nicht garantiert werden. Allerdings wird versucht, durch Beteiligung anderer Forschungsfelder, die Daten auf Vollständigkeit zu überprüfen. Im Bereich der Humansensorik bietet das Verfahren des EmoMappings die Möglichkeit, eine solche Überprüfung durchzuführen (*vgl. Zeile et al. 2009, Teixeira et al. 2010*).

EmoMapping ist ein Experiment, welches mittlerweile in zahlreichen Fallstudien eingesetzt wird. Mittels eines Sensorarmbandes werden bei diesem Verfahren Werte der Hautleitfähigkeit sowie der -temperatur gemessen. Aus diesen werden durch Mustererkennung „Stresssituationen“ interpretiert, die sich an den Stellen heraus bilden, an denen Probanden negative Erregungen (z. B. Angst oder Ärger) während der Messung verspürt haben. „Zusammenfassend kann man sagen, daß eine Emotion eine plötzliche Reaktion unseres gesamten Organismus ist, die physiologische (unseren Körper betreffend), kognitive (unseren Geist betreffend) und Verhaltenskomponenten (unser Handeln betreffend) enthält“ (*Lelord & André 2014*). Durch die Kombination mit einem GPS-Logger (Global Positioning System, dt. Globales

Positionierungssystem) erhalten diese Situationen eine räumliche Zuordnung zu dem Ort der Aufnahme. Die Entwicklungen in diesem Bereich werden besonders von der Technischen Universität Kaiserslautern, insbesondere durch aktuelle Projekte zu den Themen „Emo-Cycling“ (Groß et al. 2015) und „EmoVision“ (Wilhelm 2014), vorangetrieben. Als Urvater dieser Messmethodik gilt Christian Nold, der in diversen Experimenten zum Thema „Bio-Mapping“ und „Emotional Cartography“ Messungen von Emotionen und deren Verortung auf der Erdoberfläche durchgeführt hat (vgl. Nold 2009).

Zur Aufnahme von Emotionsdaten in Bochum wurden freiwillige Testpersonen mit entsprechender Technik ausgestattet. Es sollen Probleme des hohen Alters, wie z. B. Bewegungseinschränkungen und schlechtes Sehen, simuliert werden. Die Testläufe und anschließende Auswertung ermöglichen die Identifizierung von Stressmomenten. Diese Auswertung ist bisher durch Zuhilfenahme verschiedener Software durchgeführt worden. Dadurch ist der Auswertungsprozess sehr zeitaufwändig und arbeitsintensiv.

Deshalb wird im Rahmen dieser Bachelorarbeit ein Tool (dt. Werkzeug) entwickelt, welches die Prozesse der Auswertung automatisieren soll. Das Konzept beruht auf bisher verwendete Algorithmen. Außerdem sollen Arbeitsschritte, die bislang manuell durchgeführt wurden, mit in die Automatisierung einfließen, sodass keine Zwischenschritte durch den Anwender mehr notwendig sein werden. Die Realisierung des Tools wird in der freien Programmiersprache R durchgeführt. Außerdem soll es in die Toolbox des freien Geoinformationssystem QGIS eingebunden werden, wodurch die Nutzung einer graphischen Benutzeroberfläche möglich wird. Als Ergebnis soll eine Shape-Datei mit Punktgeometrien und eine Heatmap (dt. Dichtekarte), aus den zuvor festgelegten Stresssituationen, erzeugt werden. Durch die Automatisierung wird sich der bisherige Zeitaufwand der Auswertung erheblich reduzieren, was eine erhöhte und einfachere Nutzung dieser Methodik ermöglichen wird.

Zur Überprüfung des Tools, werden die Ergebnisse der Testläufe in Bochum verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wird allerdings nur geringfügig auf den Inhalt dieser Ergebnisse eingegangen, da der Fokus auf die technische Entwicklung des Tools gesetzt wurde.

Im Folgenden (Kapitel 2) wird zunächst der barrierefreie Stadtplan sowie der demographische Wandel und die zu beachtenden Prinzipien der Planung des barrierefreien Straßenraums näher erläutert.

Kapitel 3 beschreibt die verschiedenen Methoden des EmoMappings und der zugehörigen zur Erfassung verwendeten Gerätschaften. Außerdem werden raumsensorische Themen, wie die Humansensorik und das satellitengestützte Messverfahren behandelt. Im Anschluss daran wird der bisherige Stand der Forschung bzw. Auswertemethoden dargestellt (siehe Kapitel 4). Dabei werden die Rohdatensätze des verwendeten Sensorarmbandes (Smartband) und des GPS-Loggers betrachtet.

In Kapitel 5 wird das Konzept des zu entwickelnden Tools (*Smartband-Tool*), zur automatisierten Auswertung, vorgestellt. Außerdem findet eine kurze Einführung in die frei verfügbare Programmiersprache R statt. Des Weiteren wird das frei verfügbare Geoinformationssystem QGIS kurz beschrieben. Im Anschluss daran wird in Kapitel 6 die Realisierung des Tools erläutert. Diese findet durch die nähere Beschreibung der einzelnen Funktionen statt. Außerdem wird auf eine zweite Version des Tools (*Universal-Tool*), das eine universelle automatisierte Auswertung von diversen Sensorsystemen ermöglicht, eingegangen. Am Ende dieses Kapitels wird die verwendete Toolbox des Geoinformationssystem QGIS vorgestellt.

Als nächstes wird in Kapitel 7 der Versuchsaufbau des EmoMappings im Testgebiet Querenburg erläutert. Außerdem findet eine kurze Präsentation und Analyse der Messergebnisse, die durch das *Smartband-Tool* ausgewertet wurden, statt. Abschließend wird in Kapitel 8 ein Fazit gezogen und ein Ausblick diskutiert.

2 Barrierefreier Stadtplan im Zuge des demographischen Wandels

Durch den Erlass des Behindertengleichstellungsgesetzes (BGG) im Jahr 2002 sind Benachteiligungen von eingeschränkten und behinderten Menschen zu beseitigen. Diese Zielsetzung muss unter anderem bei Planungsprozessen der Raumplanung berücksichtigt werden. Deshalb gilt es insbesondere im Bereich der innerstädtischen Planung Überlegungen anzustellen, in welcher Form Barrierefreiheit realisiert werden kann. Zu diesem Zweck hat der Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) einen Leitfadens „Barrierefreiheit im Straßenraum“ herausgegeben (vgl. *Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) 2012*). Auf barrierefreie Planung im Sinne dieses Leitfadens wird in Kapitel 2.2.1 genauer eingegangen.

In einem Pilotprojekt in Bochum wird derzeit ein barrierefreier Stadtplan (siehe Kapitel 2.2) erstellt. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Testgebiete definiert, die hinreichend auf Barrierefreiheit überprüft wurden. Die Motivation zur Durchführung (siehe Kapitel 2.2.2) dieses Projektes ist der demographische Wandel und die damit einhergehende Alterung der Bevölkerung in Deutschland. Diese hat einen Anstieg der Anzahl von Personen mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen zur Folge. Der demographische Wandel wird im folgenden Kapitel beschrieben.

2.1 Demographischer Wandel

Nach den geburtenstarken Jahrgängen, den sogenannten „Babyboomern“, ist in Deutschland seit Mitte der 1960er Jahre ein Rückgang des Geburtenüberschusses zu verzeichnen. Seit 1971 hat sich der Geburtenüberschuss zu einem Sterbefallüberschuss gewandelt, da seitdem die Anzahl der Geburten unter denen der Sterbefälle liegt (vgl. *Grünheid & Fielder 2013*). Dies wiederum hätte normalerweise ein Absinken der Bevölkerung bewirkt, was allerdings in den letzten Jahren (seit 2011) durch eine ungewöhnlich hohe Zuwanderung kompensiert wurde. Auf lange Sicht wird die Nettozuwanderung jedoch nicht ausreichen, um die Einwohnerzahl Deutschlands von derzeit etwa 80 Millionen zu erhalten (vgl. *Statistisches Bundesamt 2015*).

Das Statistische Bundesamt stellt zwei aktuelle Prognosen, zur Vorausberechnung der Altersstruktur der Bevölkerung zum Jahr 2060, zur Verfügung. Diesen und allen weiteren Prognosen liegen als Ausgangsjahr, das Jahr 2013 zugrunde. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, wird

in Variante 1 ein Abfall der Bevölkerung auf 67,6 Millionen und in Variante 2 ein Abstieg auf 73,1 Millionen erwartet. Die Zahlen beruhen auf einer kontinuierlichen Entwicklung in Abhängigkeit der Zuwanderung. Dabei wurde in Variante 2 eine kontinuierliche Entwicklung mit einer hohen Zuwanderung angenommen. Im Gegensatz dazu berücksichtigt Variante 1 eine niedrige Zuwanderungsrate. In Abbildung 1 sind beide Varianten im Vergleich mit anderen Jahrgängen als Alterspyramide dargestellt. Es ist erkennbar, dass die aktuelle Form schon seit mehreren Jahren stark von der klassischen Pyramide abweicht (vgl. *Statistisches Bundesamt 2015*).

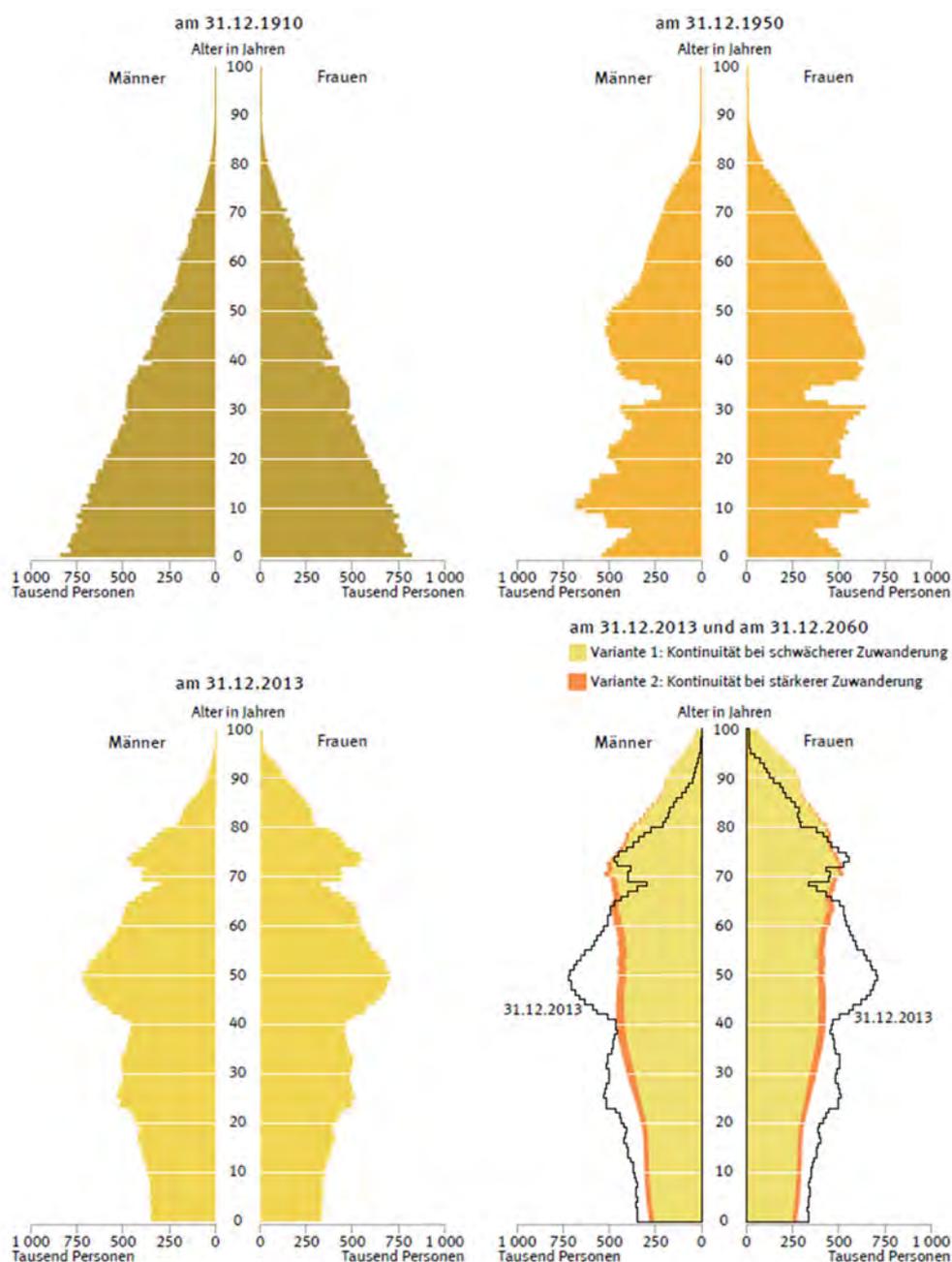


Abbildung 1: Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland
 Quelle: Statistisches Bundesamt

Im Zuge des Schrumpfungsprozesses treten einige Probleme auf, welche vor allem Veränderungen in der Zusammensetzung der Bevölkerungsstruktur bedeuten. Diese lassen sich durch den Begriff des demographischen Wandels beschreiben. Im Wesentlichen wird dieser aus der Summe der drei folgenden Faktoren zusammengesetzt:

- Geburtenrate
- Lebenserwartung
- Wanderungssaldo (vgl. Hoßmann & Münz 2009).

Die Geburtenhäufigkeit ist in Deutschland mit 1,4 Kindern je Frau seit Jahren auf einem niedrigen Niveau und wird laut Prognosen in den nächsten Jahren auf höchstens 1,6 Kinder je Frau ansteigen. Allerdings läge dies immer noch weit unter dem Bestandserhaltungsniveau, welches bei 2,1 Kindern je Frau liegt (vgl. Statistisches Bundesamt 2015).

Im Gegensatz zur Geburtenrate steigt die durchschnittliche Lebenserwartung an. Bis 2060 soll diese laut Vorausberechnungen für Männer zwischen 84,8 und 86,7 Jahren und für Frauen zwischen 88,8 und 90,4 Jahren liegen. Dies bedeutet einen Anstieg von sechs bis neun Jahren (vgl. Statistisches Bundesamt 2015).

Das Wanderungssaldo beschreibt die Differenz zwischen Zu- und Fortzügen eines Landes. Laut Prognosen wird es von aktuell ca. +500.000 Personen jährlich bis 2021 auf einen Wert zwischen +100.000 und +200.000 absinken. Da das Wanderungssaldo voraussichtlich starken Schwankungen unterliegen wird, gibt es zwei weitere Prognosen, welche zum einen ein ausgeglichenes Wanderungssaldo vorsieht und zum anderen ein dauerhaftes Saldo von +300.000 Personen im Jahr (vgl. Statistisches Bundesamt 2015).

Die bereits angesprochenen Probleme des demographischen Wandels bestehen im Wesentlichen aus den Veränderungen der Bevölkerungsanteile in den Altersgruppen und die dabei auftretende Überalterung der Bevölkerung. Dabei wird die Bevölkerung in drei Gruppen eingeteilt:

- Unter 20-Jährige -> Kinder und junge Menschen
- 20- bis unter 65-Jährige -> Menschen im erwerbsfähigen Alter
- Über 65-Jährige -> Senioren

Derzeitig überwiegt der Anteil der Personen im erwerbsfähigen Alter. Dies wird sich allerdings ab 2020 mit dem Renteneintritt der Babyboomer drastisch ändern (vgl. *Grünheid & Fielder 2013*). Dadurch wird sich der derzeitige Anteil Erwerbsfähiger bis 2060 von 61 % auf 51 % verringern. Ähnlich verhält es sich mit dem Anteil junger Menschen, deren Wert sich von 18 % auf 16 % nach unten verschiebt. Im Gegenzug steigt der Seniorenanteil von 21 % auf 33 % an. An den Zahlen der über 80-Jährigen lässt sich das Ausmaß der Überalterung besonders deutlich erkennen. Zurzeit leben ca. 4,4 Millionen Menschen (ca. 5 % der Bevölkerung) dieser Altersgruppe in Deutschland. Für das Jahr 2060 wird eine Zahl von 9 Millionen prognostiziert, was etwa 12-13 % der Bevölkerung entsprechen wird (vgl. *Statistisches Bundesamt 2015*). Dies hat zur Folge, dass die Anzahl altersbedingter Krankheiten und damit auch das Risiko für gesundheitsbedingte Beeinträchtigungen steigen (vgl. *Grünheid & Fielder 2013*). Trotz der aktuell hohen Zuwanderungen kann der Alterungsprozess in Deutschland nicht umgekehrt werden. Es wird lediglich ein kurzfristiger Anstieg der Bevölkerung verzeichnet (*Statistisches Bundesamt 2016*).

Ein weiteres zu bewältigendes Problem stellen die Folgen des demographischen Wandels im Bereich der sozialen Sicherungssysteme dar. „In Deutschland werden bereits die Folgen einer alternden Gesellschaft im Hinblick auf die sozialen Sicherungssysteme (Alterssicherung, Krankenversicherung, Pflegeversicherung), die ökonomische Entwicklung, die Arbeitswelt, die Stadt- und Verkehrsentwicklung und das Bildungssystem kritisch diskutiert“ (*Lehr 2007*). Diese Probleme wurden bereits vor einigen Jahren erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen geplant.

2.2 Barrierefreier Stadtplan in Bochum

Unter Berücksichtigung des demographischen Wandels und der damit zusammenhängenden Alterung der Bevölkerung Deutschlands, wird derzeit von der Hochschule Bochum ein barrierefreier Stadtplan für die Stadt Bochum erstellt. Zu diesem Zweck sind Barrieren wie z. B. Bordsteinabsenkungen oder akustische Signale an Ampeln, in Anlehnung an die DIN 18040-3 (enthält Informationen zu Planungsanforderungen an die barrierefreie Gestaltung des Verkehrsraumes), in einigen Testgebieten erfasst worden. Diese sind auf ihre Überwindbarkeit, durch eingeschränkte Personen, überprüft worden. Das Ziel dieses Projektes ist es einen barrierefreien Service zu entwickeln, der als Application (App, dt. Anwendung) auf mobilen Geräten wie z. B. Smartphones verwendet werden kann. Diese App soll einen sicheren Weg, unter Angabe der Art der Behinderung, für den Nutzer ermitteln. Mit der Aufnahme der Barrieren in einigen Testgebieten wurde der Grundstein dieses Projektes gelegt. Die Erfassung der Barrieren soll zukünftig auf das gesamte Stadtgebiet ausgedehnt werden (*vgl. Kurtz 2015*). In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Testgebiet im Stadtteil Querenburg, da in diesem, neben den Barrieren, auch Stresssituationen mit der Methodik des EmoMappings gemessen wurden (siehe Kapitel 7).

Im Nachfolgenden Kapitel wird auf die barrierefreie Planung eingegangen. Daran Anschließend wird die Durchführung des Projektes „barrierefreier Stadtplan“ in Bochum erläutert (siehe Kapitel 2.2.2).

2.2.1 Prinzipien der barrierefreien Planung

Die Grundlage für eine barrierefreie Verkehrsplanung bildet das Behindertengleichstellungsgesetz (BGG). Im § 1 wird das Ziel dieses Gesetzes wie folgt definiert:

„Ziel dieses Gesetzes ist es, die Benachteiligung von behinderten Menschen zu beseitigen und zu verhindern sowie die gleichberechtigte Teilhabe von behinderten Menschen am Leben in der Gesellschaft zu gewährleisten und ihnen eine selbstbestimmte Lebensführung zu ermöglichen. Dabei wird besonderen Bedürfnissen Rechnung getragen“ (*§ 1 BGG*).

Dies beinhaltet unter anderem die Nutzung des Verkehrsraums gleichermaßen für Menschen mit und ohne körperlicher Einschränkung. Das bedeutet, dass die verschiedenen Belange bei allen Arten von Planungen mit einzubeziehen sind. Der Grundgedanke hierfür ist schon im Grundgesetz (GG) in Artikel 3 festgelegt:

„Alle Menschen sind vor dem Gesetz gleich“ (*Art. 3 GG*).

Bei der barrierefreien Planung wird im Wesentlichen zwischen dem „Fuß-Rad-Prinzip“ und dem „Zwei-Sinne-Prinzip“ unterschieden. Volle Barrierefreiheit wird nur erreicht, wenn beide Prinzipien in vollem Umfang beachtet werden. Bei dem Fuß-Rad-Prinzip sollen alle Bereiche, die zu Fuß erreichbar sind, ebenfalls rollend zu erreichen sein. „Gibt es nur Treppen und Stufen, die zu einem Eingang eines Gebäudes führen, werden Rollstuhlnutzerinnen / Rollstuhlnutzer ausgeschlossen“ (*Behindertenbeauftragter des Landes Niedersachsen 2003*). Das Zwei-Sinne-Prinzip beschreibt die Möglichkeit einer Person, bei der ein Sinn ausfällt, sich durch einen zweiten Sinn zu orientieren. Dabei wird zumeist versucht, den fehlenden Sinn durch einen anderen zu kompensieren. Bei den Gehörlosen wird auf die Erfassbarkeit der optischen Wahrnehmung (Sehsinn) und bei den Sehbehinderten auf akustische Signale (Hörsinn) oder haptische Reize (Tastsinn) gesetzt. Für sehbehinderte Menschen gibt es drei zur Orientierung notwendige Grundfunktionen:

- Gehe
- Achtung
- Stopp

Zur Erfüllung der ersten Grundfunktion „Gehe“ werden Leitsysteme verwendet. Diese können bereits vorhandene Orientierungshilfen (z. B. Mauern oder Kanten) oder speziell eingerichtete Zusatzsysteme wie z. B. Leitstreifen (siehe Abbildung 2) sein. Letztere werden hauptsächlich auf größeren Plätzen oder an Knotenpunkten eingebaut. Die Laufrichtung wird hierbei durch einen richtungsgenauen Einbau von Rippenplatten (siehe Abbildung 2) angegeben. Die zweite Grundfunktion „Achtung“ bedeutet, dass Hinweise, Warnungen oder Verzweigungen angezeigt werden. Die Realisierung solcher Hinweise lassen sich z. B. durch Einstiegsfelder oder Begrenzungsstreifen, welche mit Noppenplatten befestigt werden, durchführen. Die letzte Grundfunktion „Stopp“ beschreibt Punkte an denen Personen der Zielgruppe anhalten sollen. Angezeigt werden diese Punkte etwa durch eine Bordsteinkante oder eine Stufe (vgl. *Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) 2012*).

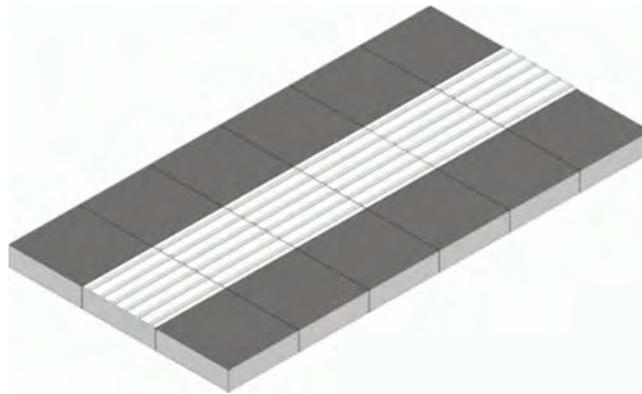


Abbildung 2: Leitstreifen mit Rippenverlauf in Gehrichtung
Quelle: Pebüso-Betonwerke 2016

Bei der Einhaltung der Prinzipien kommt es häufig zu Konflikten. So lassen sich taktil (mithilfe des Tastsinns) erfassbare Kanten, die für Sehbehinderte sehr wichtig sind, schlecht mit den Anforderungen der Rollstuhlfahrer, an möglichst geringen Höhenunterschieden der einzelnen Verkehrsflächen (abgesenkter Bordstein), in Einklang bringen (vgl. *Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) 2012*).

2.2.2 Durchführung

Zu Beginn des Projektes wurde ein Datenmodell entwickelt, in dem die aufzunehmenden Barrieren festgelegt worden sind. Das entstandene Modell beinhaltet acht Kategorien, die in ihren Attributen weiter spezifiziert und mit verschiedenen Geometrien dargestellt werden (siehe Tabelle 1).

Objektart	Geometrie
Hindernisse (Schlagloch, Laterne, Baum, u.a.)	Punkt
ÖPNV-Haltestellen	Punkt
Treppen und Rampen	Punkt
Übergänge (Zebrastreifen, Ampeln)	Punkt
Öffentliche WC-Anlagen	Punkt
Straßen und Wege	Linie
Steigungen	Linie
Parkplätze	Fläche

Tabelle 1: Arten der erfassten Barrieren mit zugehöriger Geometrie
Quelle: Eigene Darstellung

Nach der Festlegung des Datenmodells, sind die Barrieren in den Testgebieten erfasst worden. Dies erfolgte, während einer Ortsbegehung, mittels der Smartphone App „Collector for ArcGIS“ (der Firma ESRI). Es wurden die Positionen einzelner Barrieren über GPS bestimmt und beschreibende Informationen (Sachdaten) hinzugefügt. Die Lagegenauigkeit der Daten liegt bei weniger als zehn Meter und entspricht somit der üblichen GPS-Genauigkeit (vgl. Witte & Sparla 2015). Zusätzlich konnte mithilfe von Hintergrundkarten von OpenStreetMap und hochauflösenden Orthophotos der Stadt Bochum die Position manuell angepasst und verbessert werden. Die aufgenommenen Objekte sind anschließend in ein Geoin-

formationssystem übertragen worden. Auf dieser Grundlage entstand dann der „barrierefreie Stadtplan“, der auch als Grundlage für weitere Projekte zur Verfügung steht (siehe Abbildung 3).

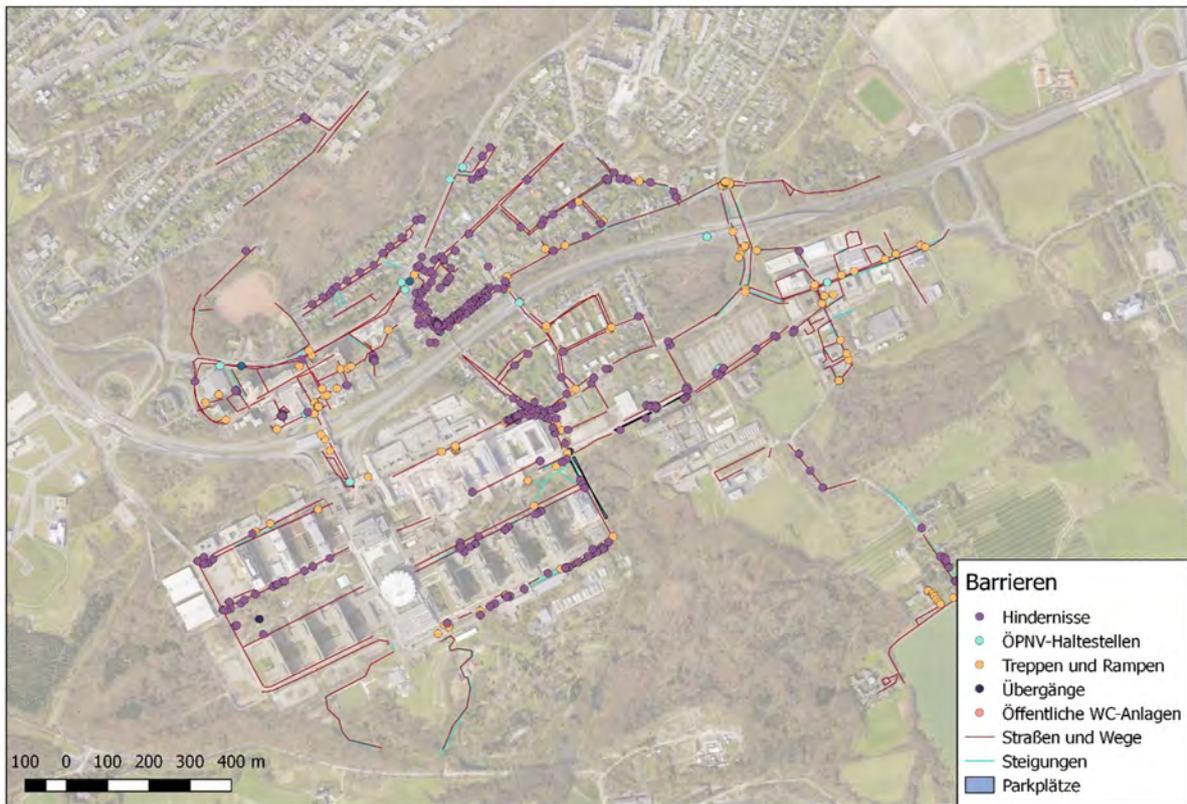


Abbildung 3: Barrierefreier Stadtplan im Testgebiet Querenburg
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

3 EmoMapping

Das Projekt EmoMapping (dt. Emotionskartierung) ist als Experiment gedacht und soll die Prozesse der Raumplanung unterstützen. Es ermöglicht Hinweise darauf zu geben, wie sich Bürgerinnen und Bürger in einer Stadt fühlen bzw. welche Emotionen sie erleben und welche Auslöser dafür verantwortlich sind. Dabei werden aus gemessenen Vitalparametern Situationen abgeleitet, in denen Personen Stress verspüren (*vgl. Zeile 2010*). Diese Daten können unter anderem im Projekt „barrierefreier Stadtplan“ zum Validieren der Barrieren verwendet werden.

Das Verfahren des EmoMappings, welches Menschen als Sensoren „nutzt“, ist ein Teilgebiet der Humansensorik. Dieses wiederum ist dem Fachgebiet der Raumsensorik unterzuordnen (*vgl. Wilhelm et al. 2015*). Diese Thematik wird in Kapitel 3.1 genauer erläutert. Außerdem teilt sich die Methode des EmoMappings in drei weitere Bereiche: dem EmoTagging, EmoMining und psychophysiologischen Mapping (Monitoring) auf, welche in Kapitel 3.2 beschrieben werden. Es wird besonders auf das psychophysiologische Monitoring und die dabei verwendeten Hardwarekomponenten näher eingegangen, da dieses Verfahren die Grundlage für die vorliegende Arbeit bildet. Darüber hinaus werden die Bedeutung von Emotionen und ihr Einfluss auf den menschlichen Körper erläutert. Zunächst wird jedoch im nachfolgenden Kapitel das Fachgebiet der Sensorik genauer betrachtet.

3.1 Sensorik

„Ein Sensor, dient zur quantitativen und qualitativen Messung von physikalischen, chemischen, klimatischen, biologischen und medizinischen Größen“ (*Hering & Schönfelder 2012: 1*). Als Synonym kann der Sensor prinzipiell als Messfühler bezeichnet werden.

Ein besonders relevantes Forschungsfeld für Raumplanungsprozesse ist die Raumsensorik. Diese beschreibt die Aufnahme und Verortung von Daten. Letztere wird häufig durch Zuhilfenahme eines globalen Navigationssatellitensystem realisiert. Hierbei wird insbesondere das NAVSTAR GPS (Navigation System using Time and Ranging Global Positioning System), kurz GPS genannt, verwendet (siehe Kapitel 3.3.2.1). Darüber hinaus gibt es noch weitere Möglichkeiten zur Verortung, wie WIFI- (Wireless Fidelity, dt. kabelloses Netzwerk) oder Magnetnetze. Diese sind allerdings eher innerhalb von Gebäuden gebräuchlich (*vgl. Exner 2013*).

Im Gegensatz zu Geodaten haben raumsensorische Daten, neben dem Raumbezug, die Besonderheit, dass sie mithilfe von Sensoren erfasst werden. Dementsprechend sind raumsensorische Daten auch immer Geodaten (*vgl. Exner 2013*).

Die gebräuchlichsten im Alltag verwendeten Sensoren sind wahrscheinlich diejenigen Sensoren, die in Handys bzw. Smartphones integriert sind. Diese ermöglichen es z. B. ein Kino oder Café in der Nähe zu finden oder mit dem Smartphone aufgenommene Bilder zu lokalisieren (*vgl. Höffken 2010*). Bei letzterem spricht man vom sogenannten „Geotagging“. Dieses beschreibt das Speichern von Koordinaten in eine zum Bild zugehörige EXIF-Datei (Metadaten) (*vgl. Daum 2009*).

Die Mitführung von alltäglichen Geräten, in denen Sensoren verbaut sind, bietet den Planungsprozessen der Raumplanung einen großen Fortschritt, da diese das Sammeln positionsgenauer subjektiver Sinneseindrücke z. B. von Einwohnern ermöglichen. Diese gewonnenen Daten sollen dabei helfen, den Lebensraum des Menschen zu untersuchen (*vgl. Wilhelm et al. 2015*).

Da der Mensch im Fokus der Planung stehen soll, ist es angebracht objektive Daten zu erhalten. Eine Möglichkeit objektiver Messungen bietet die Humansensorik, bei welcher der Mensch als aktiver Sensor dient. Dies ermöglicht die Messung von Reaktionen des menschlichen Körpers (wie die Leitfähigkeit und Temperatur der Haut). Durch Veränderungen dieser Parameter können Emotionen interpretiert werden (*vgl. Exner et al. 2012*). Dieses Verfahren ist Teil des EmoMappings.

3.2 Methoden des EmoMappings

Der Alltag eines jeden Menschen wird durch Emotionen erheblich beeinflusst. Deshalb nehmen sie bei Planungsprozessen einen zunehmenden Platz ein. In dem Verfahren des EmoMappings werden Parameter gemessen, die auf verschiedene Emotionen schließen lassen. Im Anschluss wird versucht diese zu interpretieren. Hierbei spielen insbesondere negative Emotionen, in speziellen Situationen in denen Personen Stress verspüren, eine zentrale Rolle (*vgl. Exner et al. 2012*).

In der Bachelorarbeit „EmoVision – Potenziale von EmoMapping in der räumlichen Planung“ von Johann Wilhelm (2014) wird der Bereich des EmoMappings in die drei bereits erwähnten Methoden: EmoTagging, EmoMining und psychophysiologisches Mapping untergliedert (*vgl.*

Wilhelm 2014). Grundsätzlich können die einzelnen Methoden miteinander kombiniert werden. Dies ist z. B. in dem Projekt „Urban Emotions“ (dt. städtische Emotionen) von Zeile et al. (2014) durchgeführt worden. In diesem Projekt wurde eine „Ground-truthing-App“ (dt. Erhebung von Daten vor Ort) entwickelt, welche die physiologischen Messungen einer der sieben Basisemotionen: Überraschung, Freude, Wut, Angst, Ekel, Trauer und Verachtung zuzuordnen soll (vgl. Ekman 1984, zitiert nach Stadtmüller & Gordon 2016). Die eingetragenen Daten in dieser App sind als objektive Daten zu betrachten, die durch subjektive Daten einer „People as Sensor-App“ (dt. Mensch als Sensor) validiert werden. Anschließend werden die Ergebnisse mit Daten aus sozialen Medien korreliert (vgl. Zeile et al. 2014).

Im Rahmen dieser Arbeit werden nur Daten des Teilgebietes „Psychophysiologisches Mapping“ (siehe Kapitel 3.2.3) verwendet, da das zu entwickelnde Tool auf diesen Ansatz aufbaut. Die beiden weiteren Teilgebiete „EmoTagging“ und „EmoMining“ werden dennoch in den folgenden Unterkapiteln kurz erläutert.

3.2.1 EmoTagging

Das Teilgebiet des „EmoTaggings“ beschreibt die Aufnahme von subjektiven Gefühlen einer Person. Hierbei schätzt die Person selbst ihren emotionalen Zustand ein und veröffentlicht diesen. Dabei ist zu beachten, dass retrospektive Einschätzungen der subjektiven Gefühle in der Regel verzerrt sind (vgl. Papastefanou 2008). Durch die mittlerweile verbreitete Nutzung von Smartphones ist es jedoch möglich verspürte Emotionen via Internet direkt auf eine Webplattform hochzuladen, wodurch die Verzerrung eliminiert wird. Ein weiterer Vorteil des direkten Teilens ist, dass die Position und Uhrzeit direkt vom Smartphone bestimmt und mit den Emotionen an die Webplattform übermittelt werden (vgl. Wilhelm 2014).

3.2.2 EmoMining

Eine weitere Methode ist das „EmoMining“. Dieses Verfahren benutzt bereits vorhandene Daten. Es werden verschiedene VGI-Datenbestände (Volunteered Geographic Information, dt. freiwillig erhobene geographische Informationen) auf Emotionen durchsucht. „Die häufigsten Quellen solcher Daten sind soziale Medien, wie z.B. Twitter oder Facebook“ (Wilhelm 2014: 39). Nach der Analyse werden nur Daten die für die Planung verwendbar sind, also Emotionen mit Raumbezug, extrahiert (vgl. Zeile et al. 2014).

3.2.3 Psychophysiologisches Mapping (Monitoring)

„Innerhalb der Emotionsforschung bietet das psychophysiologische Monitoring die optimale Methode zur Messung stadträumlicher Barrieren durch Feststellen von georeferenzierten Stressreaktionen“ (Bergner et al. 2011: 433).

Beim psychophysiologischen Mapping bzw. Monitoring werden die Vitaldaten einer Person aufgenommen. „Unter Monitoring wird die systematische Beobachtung eines Phänomens über eine Zeitachse verstanden“ (Zeile et al. 2013: 131). Zur Anwendung dieser Methode werden Probanden mit einem Sensorarmband (Smartband) und einem GPS-Logger (oder GPS-fähigen Smartphone) ausgestattet. Dabei misst das Sensorarmband physiologische Daten, wozu insbesondere die Leitfähigkeit (elektrodermale Aktivität) und Temperatur der Haut gehören. Durch die Gleichzeitige GPS-Messung erhalten diese physiologischen Daten einen Raumbezug (vgl. Zeile et al. 2013).

Das Ziel dieser Methodik ist es, aus den gemessenen Daten, Muster zu interpretieren um Stressmomente zu erkennen. „In Übereinstimmung mit Emotionsforschern liegt eine negative Erfahrung dann vor, wenn die elektrodermale Aktivität zunimmt und kurz danach die Hauttemperatur abnimmt“ (Bergner et al. 2011: 435). Somit bilden sich an den Stellen Muster heraus, an denen Probanden negative Emotionen (z. B. Angst oder Ärger) während der Messung verspürt haben. Es entsteht der sogenannte „kalte Angstschweiß“, wodurch die Hautleitfähigkeit ansteigt und kurz darauf die Hauttemperatur abfällt. Bei diesem auftretenden Phänomen wird von Stressmomenten gesprochen (vgl. Groß et al. 2015). Erstmals wurde dieses Verfahren (2004) als „BioMapping“ von Christian Nold beschrieben, wobei dieser sich lediglich auf die Hautleitfähigkeit konzentrierte und die Hauttemperatur außer Acht ließ (vgl. Zeile 2010).

In der Studie „Emotionales Barriere-GIS als neues Instrument zur Identifikation und Optimierung stadträumlicher Barrieren“ von Bergner et al. (2011) wurde sogar als zusätzlicher Parameter die Bewegungsgeschwindigkeit aufgenommen. Eine Verlangsamung des Probanden sollte ein erstes Anzeichen auf eine Barriere sein. Es stellte sich jedoch heraus, dass in einigen Situationen die Bewegungsgeschwindigkeit nicht abnahm, aber dennoch durch die beiden anderen Parameter, Stress verzeichnet wurde. Als Beispiel diente eine Ampelanlage, bei welcher die Testpersonen eher die Geschwindigkeit erhöhten, um die Grünphase auszunut-

zen. Aus diesem Grund wird in aktuelleren Testläufen die Bewegungsgeschwindigkeit kaum noch beachtet (vgl. Bergner et al. 2011).

3.3 Erfassung von Emotionen

Üblicherweise werden Probanden, die an der Aufnahme einer Emotionskartierung teilnehmen, wie bereits erwähnt, mit einem Sensorarmband und einem GPS-Logger ausgestattet. Diese Ausrüstung ermöglicht die Aufnahme von georeferenzierten physiologischen Parametern, die als objektive Daten bezeichnet werden (vgl. Zeile et al. 2013). Außerdem besteht die Möglichkeit diese Ausrüstung durch weitere Komponenten zu ergänzen. Eine Möglichkeit besteht darin das Equipment z. B. um eine Kamera zu erweitern. So können aufgezeichnete Videos im Nachgang Aufschluss über mögliche Ursachen, der bereits identifizierten Stresspunkte aus den Daten der Standardausrüstung, geben. Eine solche Kombination der Ausstattung wurde bereits unter anderem (2015) im Projekt „EmoCycling“ von Groß et al. erprobt. Dabei wurde eine Kamera der Firma GoPro an einem Fahrradhelm befestigt (vgl. Groß et al. 2015).

In dem Projekt „barrierefreier Stadtplan“ wurde die Standardausrüstung um einen Alterssimulationsanzug ergänzt, der den Testpersonen das Gefühl eines erhöhten Alters vermittelt. Genau diese aus drei Komponenten bestehende Ausstattung (Sensorarmband, GPS-Logger und Alterssimulationsanzug) wird im Folgenden genauer beschrieben.

3.3.1 Sensorarmband

Durch den stetigen technischen Fortschritt steigt die Anzahl der Möglichkeiten die zahlreichen Funktionen des menschlichen Körpers zu messen. So können neben Puls, Atmung und Blutdruck auch elektrische Prozesse wie Herzaktivität (Elektrokardiogramm, EKG), Hirnaktivität (Elektroenzephalogramm, EEG) oder auch die beim EmoMapping verwendete Hautleitfähigkeit (Elektrodermale Aktivität, EDA), gemessen werden (vgl. *Fahrenberg 2016*).



Abbildung 4: Smartband
Quelle: Eigene Darstellung

Das Smartband (siehe Abbildung 4) ist ein von Georgios Papastefanou bei GESIS (Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften) entwickeltes Sensorarmband und wird auf der Internetseite www.bodymonitor.de veröffentlicht. „Beim Smartband, das Aufzeichnungsgerät und Sensoren integriert, werden trockene Metall-Elektroden verwendet, die durch das elastische Textilband an der Unterseite des Handgelenks fixiert werden“ (*Papastefanou 2008: 15*). Dieses Sensorarmband misst die Vitaldaten des Trägers. Dazu zählen insbesondere die bereits erwähnte EDA sowie die Hauttemperatur. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch verschiedene Einflüsse, wie z. B. die Bewegung des Armes, Artefakte (Störsignale) in den Ergebnissen hervorgerufen werden können (vgl. *Papastefanou 2008*). Die Aufzeichnung erfolgt üblicherweise im 10 Hertz (Alternativ 50 Hertz) Bereich. Dies bedeutet zehn Messungen pro Sekunde

und muss beim Verbinden mit dem GPS-Protokoll, welches sekundlich gemessene Werte beinhaltet, berücksichtigt werden. Die Ergebnisse einer Messung mit dem Sensorarmband liegen im ASCII-Format (American Standard Code for Information Interchange, dt. Amerikanischer Standard-Code für Informationsaustausch) vor (vgl. Zeile 2010).



Abbildung 5: Elektroden (Vorder- und Rückseite)
Quelle: Eigene Darstellung

Indem die Elektroden (siehe Abbildung 5) am Arm unter minimale Spannung (ca. 0,5 Volt) gesetzt werden, wird Strom durch den Körper geleitet. Dieser Strom fließt von einer Elektrode zur Anderen durch das Handgelenk und stößt vorwiegend an der Hautoberfläche auf Widerstand, der besonders durch eine veränderte Menge an Schweiß beeinflusst wird. Steigt die Schweißproduktion an (z. B. durch Stress), nimmt der Hautwiderstand ab und reziprok dazu erfolgt ein Anstieg der Hautleitfähigkeit (vgl. TU Dresden 2016). Diese sich verändernden Werte werden vom Smartband aufgezeichnet. Aufgrund der Bauweise des Smartbands werden steigende Ausgabewerte der Temperatur als fallende Hauttemperatur angezeigt. Dies bedeutet im Umkehrschluss bei sinkenden Ausgabewerten einen Anstieg der Hauttemperatur (Bergner 2010, zitiert nach Papastefanou 2010: Expertengespräch). Diese Besonderheit ist bei der technischen Realisierung des Tools (siehe Kapitel 6) zwingend zu berücksichtigen.

3.3.2 GPS-Messung

Ein GPS-Logger dient zur Erfassung von Positionen unter der Verwendung von satellitengestützten Messverfahren. Diese Koordinaten werden in einem Koordinatensystem, wie z. B. dem WGS84 (World Geodetic System 1984), gespeichert. Durch den Einsatz eines solchen

Gerätes kann eine Route durch Messungen mehrerer Positionen (z. B. sekundliche Messung) aufgenommen werden.

Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst das satellitengestützte Messverfahren und daran anknüpfend der, in dieser Arbeit verwendete, GPS-Logger erklärt.

3.3.2.1 Satellitengestützte Messverfahren

Das amerikanische GPS-Messverfahren ist das gängigste der globalen Navigationssatellitensysteme (GNSS), die zur satellitengestützten Vermessung eingesetzt werden. Als Alternative steht das russische GLONASS (Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema, dt. Globales Satellitensystem) zur Verfügung. Beide können mittlerweile mit vielen Smartphones genutzt werden. Zukünftig sollen auch andere Systeme, wie das europäische Galileo oder das chinesische Beidou, zur Anwendung kommen. Diese befinden sich derzeit noch im Aufbau. Da sie allerdings ähnlich konzipiert sind wie das amerikanische GPS, soll hier nur dieses näher erklärt werden (vgl. Witte & Sparla 2015).

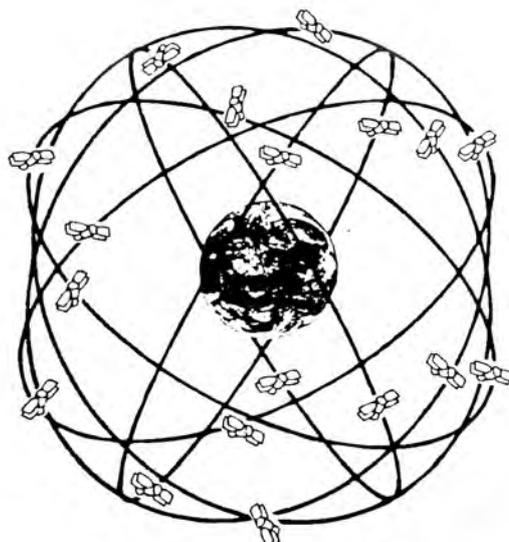


Abbildung 6: GPS-Satelliten-Konstellation
Quelle: Witte & Sparla 2015

Das GPS besteht aus drei Segmenten: dem Weltraum-, Kontroll- und Nutzersegment. Diese übernehmen unterschiedliche Aufgaben, jedoch ist die Nutzung aller drei Segmente für eine Positionierung unabdingbar. Das Weltraumsegment besteht aus 30 Satelliten, die die Erde in rund 20.200 km Höhe in ca. 12 Stunden mit einer Inklination (Bahnneigung) von 55 Grad zur Äquatorebene umrunden (siehe Abbildung 6). Es ist so konzipiert, dass zu jedem Zeitpunkt an jedem Ort auf der Erde mindestens vier Satelliten beobachtet werden können. Die Satel-

liten sind mit hochpräzisen Atomuhren ausgestattet und senden zwei Trägerfrequenzen, $L1 = 1575,42$ MHz (Megahertz) und $L2 = 1227,60$ MHz, aus. Dabei ist die zweite Frequenz notwendig, um Fehlereinflüsse zu korrigieren. Das Kontrollsegment hat verschiedene Aufgaben, die von einer Master-Kontrollstation und zwölf Monitorstationen bewältigt werden. Die Aufgaben liegen im Beobachten der Satelliten und der Vorausberechnung der Ephemeriden (Bahndaten), die sich auf das geozentrische Koordinatensystem WGS84 beziehen, sowie der Überwachung der Satellitenuhren. Des Weiteren schickt es aufgrund der Beobachtungen vorausberechnete Korrekturdaten an die Satelliten. Das letzte Segment wird als Benutzersegment bezeichnet, welches die Gesamtheit der GPS-Empfänger umfasst (vgl. Witte & Sparla 2015).

Die Messungen mit einem GPS-Logger erfolgen durch eine Pseudodistanz-Messung. Dieses Messverfahren wird ebenfalls in den alltäglich genutzten Navigationsgeräten, wie z. B. bei der Navigation in Fahrzeugen, verwendet. Durch Laufzeitmessungen werden Distanzen zu mindestens vier Satelliten gemessen. Drei davon sind notwendig, um einen räumlichen Bogenschlag (Schnittpunkt dreier Kugeln) durchzuführen. Die Notwendigkeit des Vierten besteht darin, die Uhrendifferenz auszugleichen. Diese tritt auf, da die Satelliten- und Empfängeruhren nie zu 100 % synchron sind. Bei einer solchen Messung lässt sich eine Genauigkeit von weniger als zehn Metern erreichen. Zur Durchführung geodätischer Zwecke wird eine Trägerphasenmessung, die wesentlich aufwendiger, teurer, aber dafür auch viel genauer (Zentimeter bis Millimeter) ist, verwendet (vgl. Witte & Sparla 2015). Da diese Art der Satellitenvermessung in diesem Projekt jedoch keine Anwendung findet, wird es nicht näher erläutert.

3.3.2.2 GPS-Logger

Zur Aufnahme der Positionen wurde bisher in den meisten EmoMapping-Projekten der „i Blue 747“ der Firma Transsystems verwendet. Durch seine geringe Größe ist dieses Gerät ideal geeignet (siehe Abbildung 7). Genauere Informationen zu GPS wurden bereits im vorherigen Kapitel beschrieben. Der GPS-Logger wird so eingestellt, dass jede Sekunde eine Position gemessen wird. „Durch einen Zeitstempel, der manuell im Moment des Einschaltens (sowie Ausschaltens) des Smartbands gesetzt wird, ist eine spätere Synchronisation beider Geräte ermöglicht“ (Groß et al. 2015: 251).



Abbildung 7: GPS-Logger "i Blue 747"
Quelle: Eigene Darstellung

Prinzipiell kann die GPS-Messung mit jedem GPS-Fähigen Gerät durchgeführt werden. Eine besonders große Rolle spielen Smartphones, da solche zunehmend in den Alltag integriert werden. Durch zahlreiche ergänzende Apps lassen sich die gemessenen Daten außerdem in diverse Dateiformate exportieren.

3.3.3 Alterssimulationsanzug

Der Alterssimulationsanzug GERT (Gerontologischer Testanzug) ist ein Testanzug aus dem Fachgebiet der Gerontologie (Altersforschung). Er lässt seinen Träger die körperlichen Probleme des hohen Alters verspüren. Dies bietet vor allem jüngeren Personen einen großen Vorteil (auch bei der Erfassung der Barrieren), da die Schwierigkeiten des hohen Alters so nachvollziehbarer werden. Der Anzug besteht aus einzelnen Komponenten, welche die verschiedenen altersbedingten Einschränkungen simulieren (siehe Abbildung 8) (vgl. *Produkt + Projekt 2016*).

„Die altersbedingten Einschränkungen sind:

- Eintrübung der Augenlinse
- Einengung des Gesichtsfeldes,
- Hochtonschwerhörigkeit,
- Einschränkung der Kopfbeweglichkeit
- Gelenkversteifung
- Kraftverlust
- Einschränkung des Greifvermögens
- Einschränkung des Koordinationsvermögens“ (Produkt + Projekt 2016).



Abbildung 8: Alterssimulationsanzug GERT
Quelle: Eigene Darstellung

Die Einschränkungen werden durch Gewichtsgürtel, Handschuhe, Protektoren, Ohrenstöpsel, einer Halskrause und verschiedene Brillen, die unterschiedliche Augenkrankheiten (Grauer Star etc.) simulieren, erzeugt (siehe Abbildung 8). Durch die Kombination aller einzelnen Komponenten kann ein vollständig gealterter Körper nachgeahmt werden, wodurch nicht nur die Bewegungen schwerfälliger werden, sondern auch die mentale Belastung ansteigt (vgl. Produkt + Projekt 2016).

4 Stand der Forschung

Die Auswertung der Rohdaten (siehe Kapitel 4.1) wurde bisher in mehreren Arbeitsschritten mit diverser Software durchgeführt. Es wurden vorwiegend kommerzielle Programme eingesetzt. Dabei sind unter anderem die Statistik und Analyse Software „STATA“ (der Dittrich & Partner Consulting GmbH) und „Microsoft Excel“ (aus dem Microsoft-Office Paket) eingesetzt worden. Allerdings stand als Ergebnis der Auswertung nur eine CSV-Datei (Comma-separated values, dt. Komma-getrennte Werte) zur Verfügung. Diese musste im Anschluss an die Auswertung in einem Geoinformationssystem georeferenziert werden, sodass die Daten als Punktgeometrien im Shape-Format vorlagen. Bei diesem Schritt fand das Open-Source Produkt „QGIS“ (Entwickler: QGIS Development Team) Verwendung. Aus den erzeugten Punkten wurde dann, ebenfalls mit QGIS, eine Heatmap erstellt, welche die Stressmomente widerspiegelt. „Eine Heatmap gibt die geographische Dichte von Punkt-Features auf einer Karte an, indem farbige Bereiche zum Darstellen dieser Punkte verwendet werden“ (ESRI 2016).

Im folgenden Kapitel werden die Rohdatensätze des Sensorarmbandes und des GPS-Loggers vorgestellt. Daran anknüpfend wird in Kapitel 4.2 der bisherige Arbeitsablauf der Datenauswertung genauer erläutert.

4.1 Rohdaten der Messung

Im Rahmen eines EmoMapping Projekts werden in der Regel mehrere Testläufe (Messungen) von verschiedenen Testpersonen durchgeführt. Dadurch stehen Messungen einer Route, zu unterschiedlichen Zeitpunkten von diversen Probanden, zur Verfügung. Die Daten der Messungen werden vom Sensor auf einen Personal Computer (PC) in eine Textdatei im ASCII-Format exportiert und stehen zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Auf die so erzeugten Rohdaten wird im Folgenden genauer eingegangen.

4.1.1 Daten des Sensorarmbandes

Mit jedem Testlauf werden neue Vitaldaten im Sensorarmband gespeichert. Diese werden wie bereits erwähnt in eine Textdatei exportiert, sodass zu jeder Messung eine eigene Datei existiert. Die Ergebnisse enthalten diverse Parameter (siehe Tabelle 2), wobei die Überschriften zu den Zeilen nachträglich zum besseren Verständnis eingefügt wurden. Die für das

EmoMapping wichtigen Parameter bilden die ersten beiden Spalten, mit den entsprechenden Werten:

- scl Hautleitfähigkeit (skin conductance level)
- temp Hauttemperatur

Die übrigen Werte finden in diesem Projekt keine Verwendung, daher werden diese nur kurz beschrieben. Sie enthalten etwa Daten zum Pulsvolumen, zur Außentemperatur, zur tri-axialen Beschleunigung (Beschleunigung in drei Achsenrichtungen – x, y, z) und einen Zeitstempel. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf der Ausdruck Vitaldaten bzw. Vitalparameter der Einfachheit halber als Synonym für die Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur verwendet.

scl	temp	force1	force2	x	y	z	na	außentemp	Zeitstempel
706	595	149	1022	590	603	366	416	691	1526499598
705	595	148	1021	590	608	364	409	691	1526499598
705	595	148	1022	592	607	366	407	692	1526499598
705	595	148	1022	581	612	372	404	692	1526499598

**Tabelle 2: Ausschnitt der Daten einer Messung des Sensorarmbandes
Quelle: Eigene Darstellung**

Bei einigen Messungen sind die Ergebnisse mit Artefakten behaftet. Diese Daten müssen einem Bereinigungsverfahren unterzogen werden. Bisher wurde dies durch optische Interpretation der Messkurve und infolge dessen durch manuelle Anpassung der Werte durchgeführt (siehe Kapitel 4.2), was allerdings sehr mühselig und zeitintensiv ist. Ein Grund für das Auftreten von Messfehlern ist ein ungleichmäßiger Andruck der Sensoren des Armbandes auf der Haut (vgl. Bergner 2010).

4.1.2 Daten des GPS-Loggers

Im Gegensatz zum Smartband speichert der GPS-Logger so lange die Koordinaten der Testläufe, bis die vorhandenen Daten vor einem Testlauf exportiert bzw. gelöscht werden. Durch den Export entsteht eine Datei im CSV-Format (siehe Abbildung 9), die alle Positionen seit dem letzten Export enthält. Zur Identifizierung einzelner Messungen in diesem Datensatz

werden zu Beginn jedes Testlaufes zwei Marker und zum Ende ein Marker gesetzt. Die gemessenen Parameter sollen hier kurz erläutert werden:

- INDEX Durchlaufender Index 1...n
- RCR Start- und Endmarker (als „B“ ausgewiesen)
- DATE Tagesdatum der Messung
- TIME Zeitpunkt jeder sekundlich gemessenen Position
- VALID Verwendeter Dienst zur Positionierungsgenauigkeit
- LATITUDE Geographische Breite in Grad
- N/S Position, nördlich (N) oder südlich (S) des Äquators
- LONGITUDE Geographische Länge in Grad
- E/W Position, östlich (E) oder westlich (W) des Nullmeridians (Greenwich)
- HEIGHT Ellipsoidische Höhe
- SPEED Bewegungsgeschwindigkeit in km/h
- HDOP Genauigkeit der Satelliten in horizontaler Richtung
- DISTANCE Zurückgelegte Strecke in Meter

```
INDEX,RCR,DATE,TIME,VALID,LATITUDE,N/S, LONGITUDE,E/W,HEIGHT,SPEED,HDOP,DISTANCE,  
1,T,2016/01/12,08:06:35,SPS,51.447868,N,7.270749,E,175.089 M,0.660 km/h,4.36,216390.58 M,  
2,T,2016/01/12,08:06:36,SPS,51.447905,N,7.270727,E,179.374 M,0.432 km/h,4.35,6.19 M,  
3,T,2016/01/12,08:06:37,SPS,51.447909,N,7.270733,E,179.742 M,0.248 km/h,4.35,0.69 M,  
4,T,2016/01/12,08:06:38,SPS,51.447908,N,7.270725,E,176.501 M,0.120 km/h,4.51,3.30 M,  
5,T,2016/01/12,08:06:39,SPS,51.447939,N,7.270703,E,178.880 M,0.125 km/h,4.35,4.49 M,
```

Abbildung 9: Ausschnitt der Daten einer Messung des GPS-Loggers
Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Stand der Datenverarbeitung

Die bisherige Auswertung der Rohdatensätze wurde nach dem in Abbildung 10 dargestellten Schema abgearbeitet. Zur Unterstützung liegt eine Anleitung, in der alle notwendigen Arbeitsschritte dokumentiert sind, vor (Skript_Datenauswertung_2.0.pdf). Nach diesem Stand waren einige manuelle Zwischenschritte notwendig. In der Abbildung 10 beschreiben die gelb unterlegten Arbeitsschritte eine Datenausgabe, die vom Anwender manuell an den nächsten blau unterlegten Arbeitsschritt weitergegeben werden musste. Die rot unterlegten Arbeitsschritte wurden hingegen innerhalb einer Software ausgeführt, wobei der Anwender stets manuell tätig werden musste. Die grau unterlegten Schritte enthalten ergänzende Beschreibungen zu anderen Arbeitsschritten.

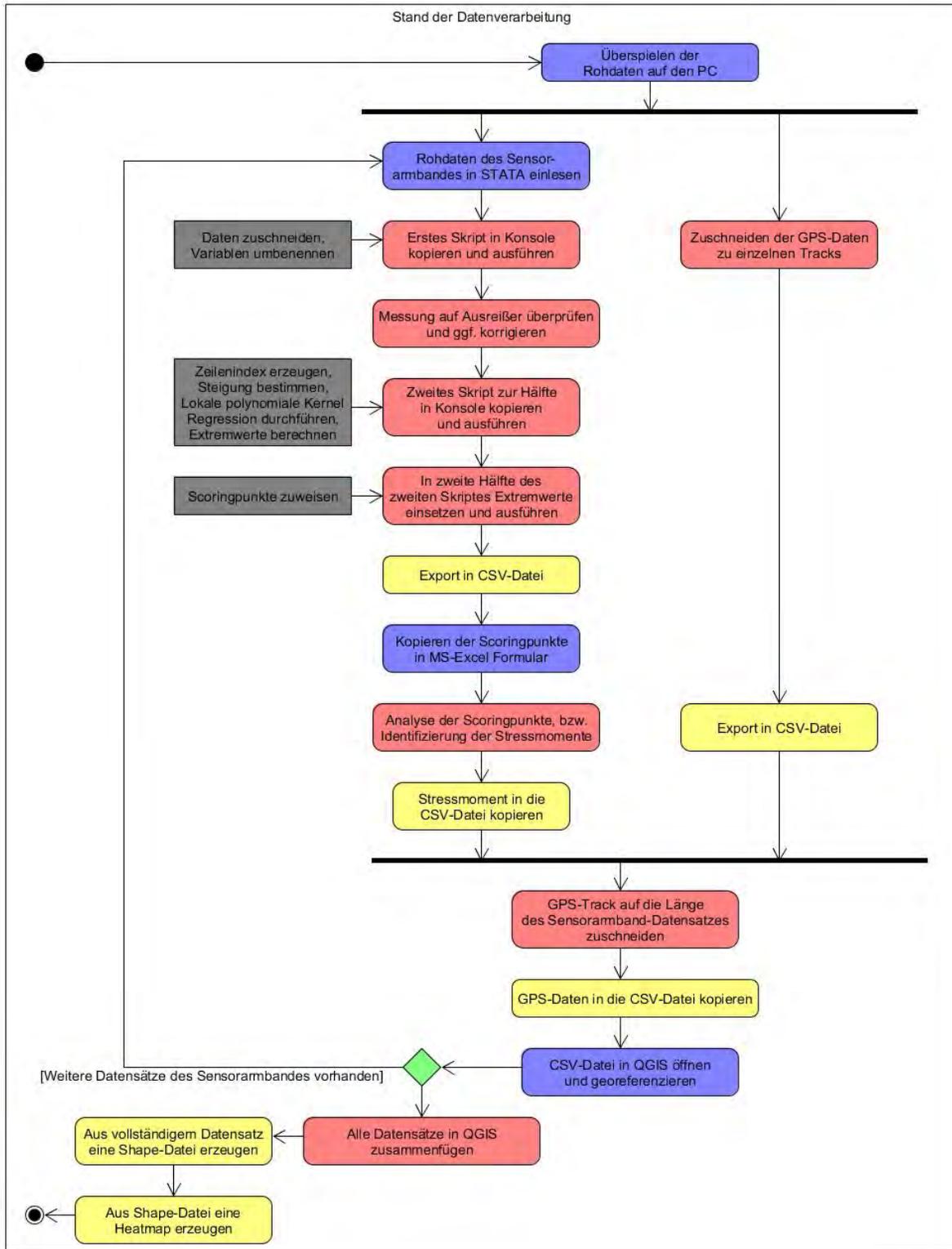


Abbildung 10: Aktivitätsdiagramm zum Stand der Datenverarbeitung
 Quelle: Eigene Darstellung

Ein weiteres Hindernis zur Erleichterung der Arbeit, ist der Einsatz verschiedener Softwareprodukte. So wurden neben den bereits erwähnten Softwareprodukten: Excel, STATA und QGIS weitere kleine Softwarelösungen eingesetzt wie eine LOGSoftware (Hersteller unbe-

kannt) zur Verbindung des GPS-Loggers und das Open Source Programm CSVed (von Sam J. Francke) zum Anpassen der GPS-Daten.

Da das zu entwickelnde Tool den bisherigen Arbeitsablauf automatisieren sollte, besteht die Notwendigkeit diesen genauer zu untersuchen. Im Folgenden werden, beziehend auf das in Abbildung 10 dargestellte Aktivitätsdiagramm, die einzelnen Arbeitsschritte erklärt.

Zunächst wurde nach dem Abschluss einer Messung der GPS-Logger ausgelesen. Dabei sind die Daten mittels der LOGSoftware an den Computer übermittelt und als CSV-Datei gespeichert worden. Im Anschluss daran wurden überflüssige Datenzeilen (vor dem ersten und nach dem letzten Marker) mithilfe des Programms CSVed entfernt. Anschließend wurde das Sensorarmband, wie bereits in Kapitel 4.1.1 beschrieben, ausgelesen. Die darauf folgende Auswertung begann mit dem Import der Daten des Sensorarmbandes in STATA. Zur Bearbeitung standen zwei vorgefertigte Skripte (Vars.do und Type.do) in separaten Dateien zur Verfügung.

Der Inhalt des Skriptes Vars.do musste in die Konsole von STATA kopiert und ausgeführt werden, wodurch die letzte Spalte des Datensatzes entfernt wurde. Des Weiteren fand bei einer Messung mit einer Frequenz von 10 Hertz eine Mittelung auf elf Werte statt (+1 Wert wegen der Messungengenauigkeit). Bei abweichender Frequenz mussten Werte geändert werden, außerdem ist ein Zeilenindex angelegt worden. Anschließend folgte eine Anpassung von Werten die größer als 1023 waren, da dies der höchste zulässige Wert ist. Im nächsten Arbeitsschritt fand eine Umbenennung der Variablen, zur besseren Beschreibung statt. Danach wurden die Graphen zur Hautleitfähigkeit und -temperatur geplottet und ggf. vorhandene Artefakte manuell bereinigt.

Nach erfolgreicher Bereinigung des Datensatzes wurde die erste Hälfte des Skriptes Type.do ausgeführt. Dabei ist die Steigung zwischen den einzelnen Punkten der Vitaldaten gebildet und anschließend eine lokale polynomiale Kernel Regression, zur Glättung der Werte, durchgeführt worden. Außerdem wurden noch die Extremwerte berechnet, die anschließend in den zweiten Teil des Skriptes Type.do eingesetzt und dieses ausgeführt wurde.

Hierbei fand durch das Bilden eines Scorings (Punktbewertungsmodell) eine Feststellung der Anstiege und Abfälle der Vitaldaten statt. Das Ergebnis wurde in eine CSV-Datei exportiert.

„Bilden eines Scorings:

- elektrische Hautleitfähigkeit nimmt zu = Wert +1;
- elektrische Hautleitfähigkeit nimmt ab = Wert -1;
- elektrische Hautleitfähigkeit bleibt gleich = Wert 0;
- Hauttemperatur nimmt zu = Wert -1;
- Hauttemperatur nimmt ab = Wert +1;
- Hauttemperatur bleibt gleich = Wert 0“ (Bergner 2010: 184).

Nach dem erfolgreichen Bilden des Scorings, wurden Stressmomente deklariert. Dies geschah in einer vorgefertigten Stresserkennungstabelle (siehe Abbildung 11). Dazu musste die beim Scoring entstandene CSV-Datei der Vitaldaten eingelesen werden. Das Ergebnis umfasste die Anzahl der Stressekunden sowie Anfang, Ende und Länge der Stressmomente.

Smartband Auswertung
(Rohdaten müssen vorher mit Hilfe von STATA vorbereitet werden, bevor sie hier ausgewertet werden können)

scr_type	str_type	sos_1	sos_2	sos_both	sos_smooth	sos_raw	dos_trash	sos	mos	dos
0	0						0			
1	0						0			
-1	-1						0			
1	-1	1		1	1	1	10	1	1	10
1	-1	1		1	1	1	9	1		
1	0	1		1	1	1	8	1		
1	1	1	1	1	1	1	7	1		
1	1	1	1	1	1	1	6	1		
1	1	1	1	1	1	1	5	1		
1	1	1	1	1	1	1	4	1		
1	1	1	1	1	1	1	3	1		
1	1	1	1	1	1	1	2	1		
1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1	0						0			
1	0						0			
1	0						0			
1	0						0			

Abbildung 11: Ausschnitt aus der Stresserkennungstabelle
Quelle: Technische Universität Kaiserslautern

Die GPS-Daten, Vitaldaten und Stressmomente wurden in einer weiteren CSV-Datei zusammengefügt und anschließend in QGIS georeferenziert. Dazu wurden die geographischen Koordinaten (LONGITUDE, LATITUDE) zur Verfügung gestellt, sodass jede Datenzeile einem Punktobjekt zugeordnet werden konnte. Danach wurde das Ergebnis als Shape-Datei exportiert. Aus dieser ist zuletzt, durch ein Raster-Analyse-Tool, eine Heatmap erzeugt worden, die das fertige Ergebnis dargestellt hat.

Die bisherige Arbeitsweise war zwar zielführend, aber der Arbeitsaufwand des Anwenders sehr hoch. In diesem Bereich bestand deutliches Verbesserungspotential, das mit dem zu entwickelnden Tool (siehe 5.3) ausgeschöpft werden soll.

5 Konzeption des Tools

Der bereits beschriebene Arbeitsablauf soll automatisiert werden. Dazu entstand ein Konzept für ein Tool, das alle Arbeitsschritte, von der Eingabe der Rohdaten bis zur Visualisierung der Ergebnisse, beinhaltet. Das aufgestellte Konzept wird in Kapitel 5.3 genauer erläutert. Außerdem werden die verwendeten Hilfsmittel, zur Umsetzung des Konzeptes, vorgestellt. Die Programmierung soll in der Programmiersprache R stattfinden und die Visualisierung der Ergebnisse in dem Geoinformationssystem QGIS. Diese beiden Open Source Produkte werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

5.1 Die Programmiersprache R

„Den Kern von R bildet eine mächtige, für den Umgang mit Daten konzipierte Programmiersprache, deren Basisfunktionalität einfach zu erlernen ist“ (*Hatzinger et al. 2014: 22*).

Die Programmiersprache R ist ein Open Source Produkt, welches in einem Projekt im Jahr 1992 von Ross Ihaka und Robert Gentleman entwickelt wurde. Es ist eine interpretierte und objektorientierte Sprache, die auf den Ideen der Programmiersprache S basiert (*vgl. Ligges 2008*). R ist unter der General Public License (GPL) des freiverfügbarem Betriebssystems GNU (GNU's Not Unix) lizenziert. Diese soll garantieren, dass lizenzierte Produkte frei genutzt, weiterverbreitet, umgearbeitet oder in eigenen Quellcode eingearbeitet werden dürfen (*vgl. Gerwinski 2007*). Am Dienstag, dem 3. Mai 2016 ist die neuste „R Version 3.3.0“ erschienen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde jedoch die „R Version 3.2.2“ verwendet.

R wird hauptsächlich zur Datenanalyse und zur Durchführung statistischer Zwecke verwendet, da vektorbasiertes Programmieren möglich ist. Zur weiteren Unterstützung sind eine aktive Community und zahlreiche Packages verfügbar. So wird auch R Anfängern ein schneller und leichter Einstieg in diese Programmiersprache ermöglicht. Außerdem können eigene entwickelte Funktionen in einem Package, anderen Programmiererinnen und Programmierern, zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus bietet R die Möglichkeit Daten direkt zu visualisieren. Dafür werden diverse Grafiken, wie z. B. Boxplots, Histogramme oder Streudiagramme, angeboten (*vgl. Ligges 2008*).

Auf dem TIOBE Index befindet sich R derzeit auf Platz 16 mit steigender Tendenz (Stand März 2016). Dieser Index gibt ein weltweites Ranking für die Beliebtheit von Programmiersprachen wieder (*vgl. TIOBE Software BV 2016*).

5.2 Das Geoinformationssystem QGIS

QGIS ist ein freies Geoinformationssystem und wird ebenso, wie die Programmiersprache R, durch GPL lizenziert. Die Entwicklung der ersten Version begann im Jahr 2002, durch das QGIS Development Team und wurde mithilfe des Qt toolkits und der Programmiersprache C++ durchgeführt. Am Freitag, dem 29. April 2016 ist die aktuelle Version „QGIS 2.14.2 Essen“ veröffentlicht worden, welche für die Betriebssysteme Windows, Mac OS X, Linux, BSD und Android Verfügbar ist (vgl. *QGIS Development Team 2016*). Es wurde allerdings im Rahmen dieser Arbeit die Version „QGIS 2.14.0 Essen“ verwendet.

Mit QGIS sollte ursprünglich ein Geo-Datenviewer, für jeden der Zugang zu einem PC hat, zur Verfügung gestellt werden. Mittlerweile ist es jedoch als vollwertiges Geoinformationssystem zu betrachten, das die Möglichkeit bietet typische GIS-Funktionen, wie z. B. geometrische Operationen und Analyse Funktionen, in den Ablauf täglicher Arbeit zu integrieren. Außerdem ist es, durch die Plugin-Architektur, möglich weitere Funktionalitäten zu ergänzen. So ist die Software durch selbstentwickelte Skripte erweiterbar. Unter anderem können dafür die Programmiersprachen Python oder R verwendet werden (vgl. *QGIS Development Team 2016*).

5.3 Konzept des Tools

Bei der Entwicklung des Tools wird darauf geachtet, dass es möglichst viele Arbeitsschritte beinhaltet und so den Anwendern eine große Erleichterung bietet. Nachdem der bisherige Stand der Datenverarbeitung interpretiert und erfasst wurde (siehe Kapitel 4.2), kann das „neue Tool“ konzipiert werden. Dazu muss überlegt werden, welche Arbeitsschritte sinnvoll zusammen zu fassen sind. Der Grundgedanke ist in Abbildung 12, in Form eines Aktivitätsdiagramms, dargestellt. Dieses zeigt den zu realisierenden Ablauf einzelner Arbeitsschritte, wobei zu beachten ist, dass das bisherige Verfahren der Auswertung (siehe Kapitel 4.2) sich nicht grundlegend ändert, sondern automatisiert wird. Das Ziel ist es, eine „Funktion“ zu definieren, welche Rohdaten importiert und bei Übergabe entsprechender Parameter eine Shape-Datei, mit den ausgewerteten Geodaten als Punktgeometrien, erzeugt. Außerdem soll eine weitere Funktion, aus dieser Shape-Datei, eine entsprechende Heatmap erzeugen. Nach den abschließenden Programmierarbeiten werden die erstellten R-Skripte in die Toolbox von Q-GIS importiert, sodass der Prozess aus dieser heraus angestoßen werden kann.

Es besteht die Möglichkeit durch die Eingabe der Argumente (Übergabeparameter) die Ergebnisse zu beeinflussen. Sollten weitere Daten vorhanden sein (z. B. subjektive Daten durch Videoaufnahme), wäre es möglich das Ergebnis entsprechend zu modifizieren.

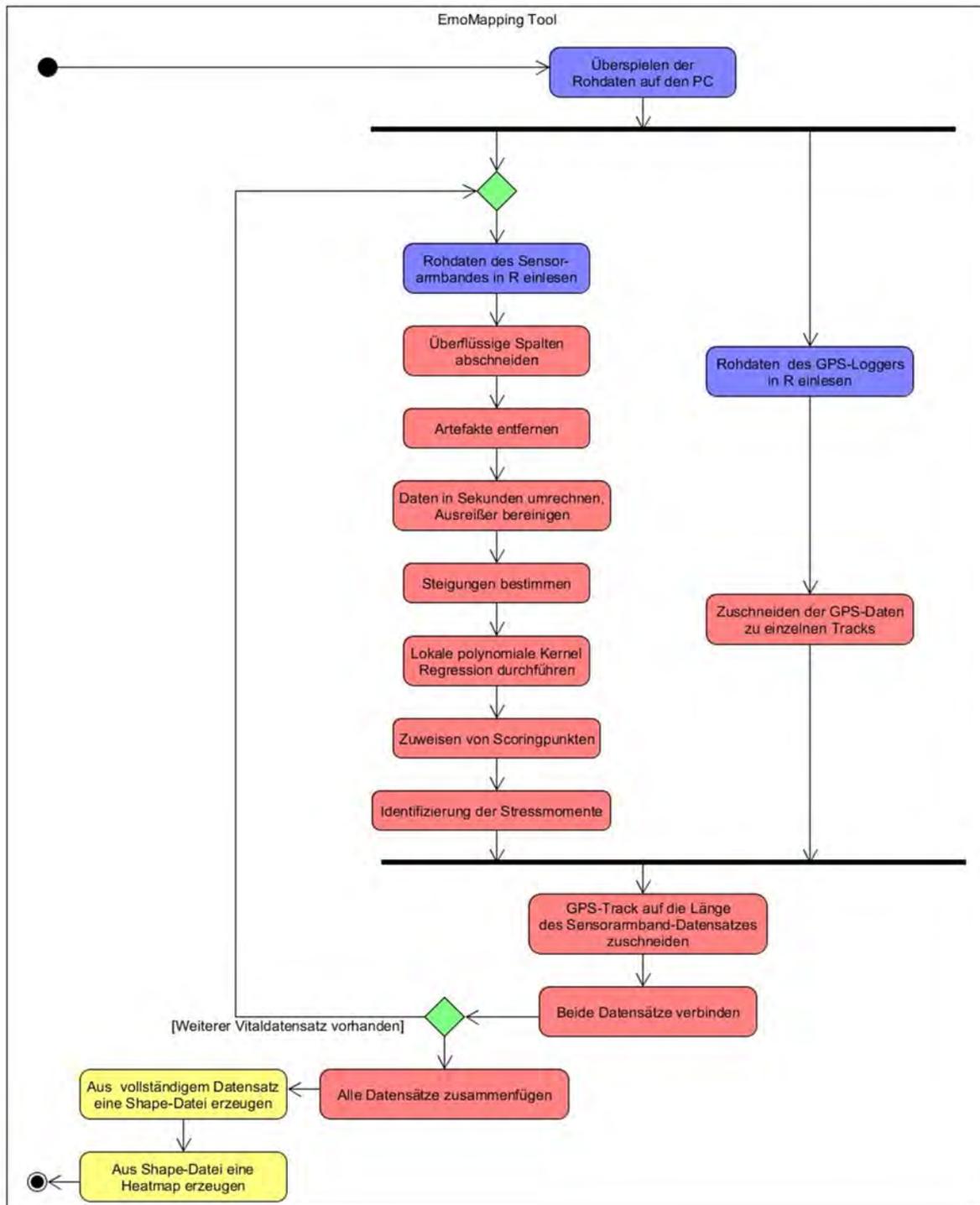


Abbildung 12: Aktivitätsdiagramm des Tools
Quelle: Eigene Darstellung

Im Anschluss an eine Messung werden die Rohdaten des Sensorarmbandes und des GPS-Loggers auf einen PC übertragen. Anschließend müssen die GPS- und Vitaldaten getrennt voneinander bearbeitet werden. Prinzipiell kann dies parallel durchgeführt werden, da die Daten erst nach erfolgreicher Bearbeitung beider Datensätze zusammengefügt werden. Im weiteren Verlauf wird jedoch die Auswertung des GPS-Datensatzes zuerst beschrieben.

Zu Beginn werden die Rohdaten mittels R importiert. Da in einer Datei häufig Datensätze zu mehreren Testläufen abgelegt sind, soll das Tool automatisch erkennen ob ein oder mehrere Tracks vorhanden sind. Gegebenenfalls müssen einzelne herausgefiltert werden. Jeder dieser Tracks steht dann bereit, um mit dem passenden Datensatz des Sensorarmbandes verbunden zu werden. Die Eingangsdaten des GPS-Loggers müssen Informationen zur Position und Zeit der Aufnahme beinhalten (siehe Kapitel 4.1.2). Diese sind mit sekundlich gemessenen Positionen im geographischen Koordinatensystem WGS84 angegeben.

Die Eingangsdaten des Sensorarmbandes müssen je eine Spalte mit Messwerten zur Hautleitfähigkeit und -temperatur enthalten (siehe Kapitel 4.1.1). Diese werden ebenfalls zuerst mittels R eingelesen. Nach einem erfolgreichen Import der Daten wird durch einen Schwellenwert, der die minimale Differenz zwischen dem kleinsten und größten Messwert darstellt, geprüft, ob die Datensätze zur Auswertung geeignet sind oder ggf. entfernt werden müssen. Im Anschluss werden nicht benötigte Spalten abgeschnitten und Artefakte aus den Messungen der Hautleitfähigkeit und -temperatur entfernt. Dies wird umgesetzt, indem jeder Messwert mit dem arithmetischen Mittel der nächstgelegenen 250 Messwerte (je 125 Zeitschritte vor und nach dem zu prüfenden Wert) verglichen wird. Falls die Differenz größer als der definierte Schwellenwert (Hautleitfähigkeit = 25, Hauttemperatur = 15) ist, wird der geprüfte Wert durch den Mittelwert ersetzt. Danach wird die Taktung von 10 Hertz (alternativ 50 Hertz), durch Bildung des arithmetischen Mittels in Sekunden, umgerechnet. Anschließend wird die Steigung zwischen den einzelnen Punkten bestimmt und daraufhin mit den resultierenden Werten eine lokale polynomiale Kernel Regression durchgeführt. Diese führt, unter Angabe des Grads und Bandweite, eine Glättung mittels Kerndichteschätzer (Gaußkern) der Messwerte durch, sodass Anstiege und Abfälle der Daten besser erkennbar sind. Auf dieser Grundlage werden Scoringpunkte vergeben. Diese beschreiben eine Zunahme, Abnahme oder ein Gleichbleiben eines Wertes gegenüber dem vorherigen Wert (siehe Kapitel 4.2). Durch das Scoring werden Stressmomente identifiziert und deklariert.

Nachdem die Auswertung beider Datensätze (Vitalparameter und GPS-Positionen) abgeschlossen ist, werden beide, indem der längere Datensatz gekürzt wird, auf dieselbe Länge (Zeilenanzahl) gebracht. Die Unterschiede in der Länge entstehen durch vernachlässigbare Messungenauigkeiten. Anschließend werden die nun gleichlangen Datensätze verbunden. Diese Schritte werden für alle zur GPS-Datei zugehörigen Daten des Sensorarmbandes wiederholt. Danach werden alle Ergebnisse zu einem georeferenzierten Datensatz mit Punktgeometrien im Shape-Format zusammengefügt. Die Georeferenzierung erfolgt hierbei über die Angaben der geographischen Koordinaten (Länge und Breite). Aus diesen Punkten wird wiederum durch Kernel Density Estimation (dt. Kerndichteschätzung) eine Heatmap im GeoTIFF-Format (Tagged Image File Format, dt. markiertes Bilddateiformat) erzeugt. Als Ergebnis stehen die Shape-Datei und die zugehörige Heatmap bereit und können in einem Geoinformationssystem dargestellt oder zu Analyse Zwecken verwendet werden.

Zum Schluss soll hier nochmal deutlich gemacht werden, inwiefern das Tool die Nachbearbeitung vereinfacht. In der Vergangenheit mussten Zwischenergebnisse immer wieder manuell an den nächsten Arbeitsschritt übergeben werden. Dies erforderte einen hohen Zeit- und Arbeitsaufwand. Im Gegensatz dazu werden bei der Verwendung des Tools lediglich die Rohdaten ausgewählt. Es sind also keine weiteren Arbeitsschritte nötig, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Dies bedeutet, dass das Tool eine große Zeitersparnis und eine geringere Fehleranfälligkeit bietet.

6 Realisierung des Tools

Das Tool wurde mithilfe der Programmiersprache R entwickelt (siehe Kapitel 5.1) und nach dem vorgestellten Konzept (siehe Kapitel 5.3) realisiert. Dabei entstand die Idee eine weitere Variante des Tools zu entwickeln, da das aufgestellte Konzept grundsätzlich nur zur Auswertung der Kombination GPS-Logger und Smartband geeignet ist.

Da das EmoMapping ein Experiment ist, wird die Datenaufnahme mit weiteren Geräten, wie z. B. Smartphones oder dem Toolkit von Bitalino (zur Aufnahme von Körpersignalen), untersucht. Die Datensätze werden jedoch von jedem Gerät in unterschiedlichen Formaten gespeichert. Aus diesem Grund wurde ein weiteres Tool entwickelt, das prinzipiell die gleichen Algorithmen, in angepasster Form, beinhaltet. Mit diesem kann je ein GPS-Datensatz und ein dazugehöriger Datensatz mit Vitalparametern verschiedener Formate ausgewertet werden, sodass es universell einsetzbar ist. Dabei sind jedoch die Angaben darüber notwendig, in welcher Datenspalte sich die entsprechenden Argumente befinden und in welchem Format diese vorliegen.

Schlussendlich stehen zwei verschiedene Versionen des Tools zur Verfügung. Zum einen das *Smartband-Tool*, welches nach dem vorgestellten Konzept (siehe Kapitel 5.3) entwickelt wurde und zum anderen das *Universal-Tool*.

Im nachfolgenden Kapitel werden die Funktionen des *Smartband-Tools* genau erläutert. Daran anschließend werden in Kapitel 6.2 die Unterschiede des *Universal-Tools* aufgezeigt. Außerdem wurden beide Tools in die Toolbox des freien Geoinformationssystems QGIS (siehe Kapitel 5.2) integriert, sodass die Auswertung und Darstellung der Daten in einem Programm abläuft. Auf die Integration in QGIS wird in Kapitel 6.3 näher eingegangen.

6.1 Realisierung des Smartband-Tools

Das *Smartband-Tool* besteht aus zwei selbstdefinierten Hauptfunktionen, die sich wiederum auf zehn weitere Unterfunktionen (eigenentwickelt) beziehen. Diese sind systematisch auf acht Skripte verteilt. Außerdem wurde ein „Main-Skript“, welches nur dem Testen der Daten dient, angelegt. Auf dieses wird im Folgenden nicht näher eingegangen.

Als Grundvoraussetzung muss vor der Auswertung zu jedem GPS-Datensatz im selben Pfad ein gleichnamiger Ordner angelegt werden, in dem sich die zugehörigen Sensordatensätze befinden. Dies ist zwingend notwendig, da diese automatisiert durch die Angabe des GPS-Datensatzes in alphabetischer Reihenfolge eingelesen und verarbeitet werden.

Die erste Hauptfunktion *makeShape* erzeugt eine Shape-Datei, die einen Layer mit Punkten enthält. Die zweite Funktion *makeHeatmap* generiert aus dieser Datei eine Heatmap im Geo-TIFF-Format. In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Funktionen näher erklärt.

6.1.1 getTrackList

Zu Beginn werden die GPS-Daten aufbereitet. Dazu wurde die Funktion *getTrackList* implementiert. Dieser werden eine CSV-Datei und ein dazugehöriges Trennzeichen (Komma oder Semikolon) als Parameter übergeben. Die CSV-Datei wird als Data Frame (dt. Datensatz oder auch Datentabelle, Datentyp in R) geladen. Da sich in den meisten Dateien am Ende eine leere Spalte befindet, wird diese entfernt. Dasselbe passiert mit der Spalte *HEADING*, da diese nicht in jedem Datensatz vorhanden ist und sonst Probleme beim späteren zusammenfügen mehrerer Datensätze auftreten würden. Anschließend werden Marker in fehlerhaften Einträgen, die in der Variablen *VALID* mit *No fix* gekennzeichnet sind, durch *NA* (Not Available, dt. fehlende Werte) ersetzt. Die Marker sind durch ein *B* in der Spalte *RCR* kenntlich gemacht und können so automatisiert erkannt werden. Ein Track besteht aus je zwei Startmarkern und einem Endmarker und kann dadurch zugeschnitten werden. Als letztes werden die zugeschnittenen Tracks in einer Liste abgelegt und von der Funktion zurückgegeben.

6.1.2 readSensorFiles

Dieser Funktion wird lediglich ein Ordnerpfad übergeben, in dem Sensordaten vorliegen und setzt das aktuelle Arbeitsverzeichnis an diese Stelle. Alle Dateinamen der Datensätze, die sich in diesem Ordner befinden, werden in einer Liste gespeichert und von der Funktion zurückgegeben.

6.1.3 checkSensorFiles

Bei der Datenerfassung mit dem Sensorarmband kann es vorkommen, dass die Messungen fehlerbehaftet sind. Dies kann verschiedene Gründe haben (siehe Kapitel 4.1.1). Die Fehler wirken sich zumeist so aus, dass einer der Vitalparameter nahezu konstante Werte aufweist. Daten mit diesen Fehlern verfälschen das Endergebnis sehr stark und dürfen deshalb nicht mit in die Auswertung einfließen. Aus diesem Grund wurde eine Funktion *checkSensorFiles* definiert, die die beschriebenen Datensätze von der Auswertung ausschließt. Die auszuschließenden Datensätze werden der Funktion als Argument übergeben. Diese prüft daraufhin, ob der aktuelle Datensatz als auszuschließender Datensatz im Argument enthalten ist. Als Rückgabewert steht ein entsprechender boolescher Wert bereit.

6.1.4 readSensorData

In dieser Funktion werden die Sensordaten, deren Dateinamen als Argument übergeben werden, in ein Data Frame eingelesen. Anschließend wird ein neues Data Frame angelegt, dem die ersten beiden Spalten (Werte der Hautleitfähigkeit und -temperatur) übergeben werden. Zurückgegeben wird dann das zugeschnittene Data Frame.

6.1.5 removeOutliers

Wenn ein Datensatz des Sensorarmbandes wenige Artefakte aufweist (siehe Abbildung 13), wird dieser dennoch zur Auswertung verwendet, jedoch müssen diese Artefakte vorher entfernt bzw. angepasst werden. Zu diesem Zweck wurde eine Funktion *removeOutliers* definiert, die eine automatisierte Anpassung der Fehler durchführt. Die Grundlage dieser Funktion wurde von Christian Müller (Hochschule Bochum) zur Verfügung gestellt, um dem Anwender die Möglichkeit zu bieten die Anpassung der Artefakte selbst zu beeinflussen. Dabei wurden neben dem Sensordatensatz und der Nummer der zu bereinigenden Spalte, auch ein Schwellenwert und die Anzahl der Zeitschritte als Übergabeparameter definiert. Bevor die Eliminierung der Artefakte startet, wird geprüft ob diese Spalte nur numerische Werte beinhaltet. Sollte dies nicht der Fall sein, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

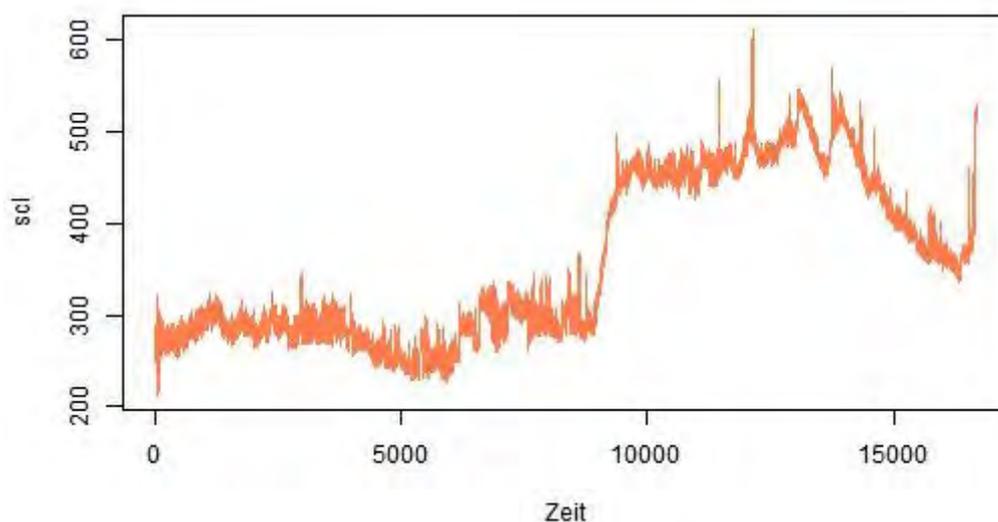


Abbildung 13: Beispieldatensatz – Hautleitfähigkeit mit Artefakten
Quelle: Eigene Darstellung

Die Spaltennummer gibt an, ob die Hautleitfähigkeit (scl) oder -temperatur (temp) angepasst werden soll. Durch die Angabe der Zeitschritte wird ein Streifen definiert, der entlang der zu prüfenden Werte bewegt wird. Der Schwellenwert gibt an, ab welcher Abweichung ein Wert als Artefakt deklariert wird. Der zuvor definierte Streifen wird mittig über einen zu prüfenden Wert gelegt, sodass gleichviele Werte vor und hinter diesem Wert in die Berechnung mit einbezogen werden. Dies trifft allerdings nicht für die ersten und letzten Werte (Anzahl richtet sich nach Angabe der Zeitschritte) zu, da bei diesen nicht ausreichend Positionen davor bzw. dahinter liegen. Aus diesem Grund wird die Position des Streifens zu Beginn und am Ende angepasst.

Aus den Werten, die sich im Streifen befinden, wird das arithmetische Mittel errechnet und mit dem aktuellen Wert verglichen. Ist die Abweichung höher als der Schwellenwert, wird der aktuelle Wert durch den Mittelwert ersetzt. Da bei der Bildung des arithmetischen Mittels eventuell auch fehlerbehaftete Werte mit einfließen, wird solange über alle Werte iteriert, bis keine Veränderungen mehr zu verzeichnen sind. Der verbesserte Datensatz (siehe Abbildung 14) hat einen wesentlich glatteren Verlauf und enthält keine Ausreißer mehr. Zur weiteren Bearbeitung wird dieser von der Funktion als Data Frame zurückgegeben.

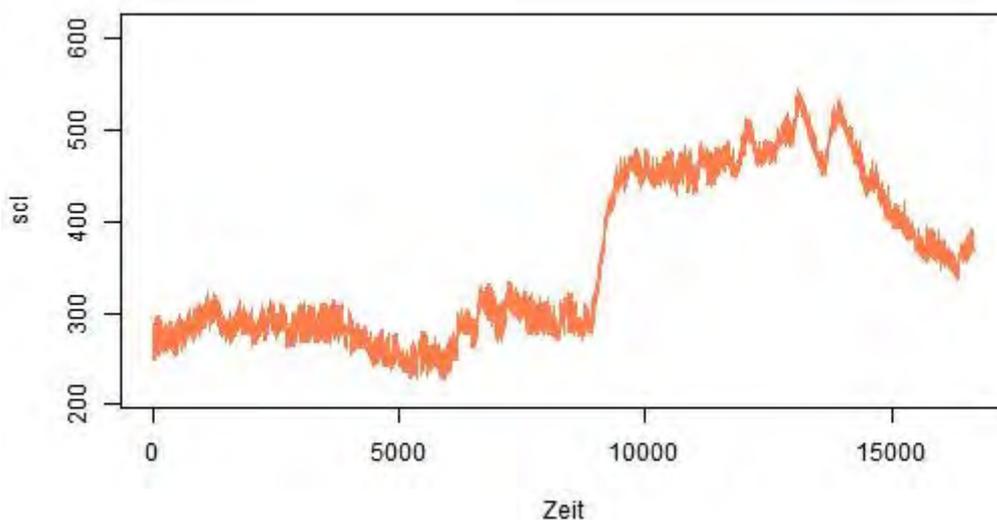


Abbildung 14: Beispieldatensatz – Hautleitfähigkeit nach Bereinigung der Artefakte
Quelle: Eigene Darstellung

6.1.6 toSeconds

Bei der GPS-Messung wird eine Position pro Sekunde aufgenommen. Da bei dieser Messung die Koordinaten aufgezeichnet werden, bildet sie die Bezugsgröße. Die Messungen des Sensorarmbandes werden, wie bereits in Kapitel 5.3 beschrieben, i.d.R. mit einer Frequenz von 10 Hertz aufgenommen. Um beide Datensätze kombinieren zu können, müssen die Vitaldaten in Sekunden umgerechnet werden. Dazu wird zunächst der Datensatz auf eine durch zehn teilbare Anzahl an Datenzeilen verkürzt. Daran anschließend werden durch Bildung des arithmetischen Mittels je zehn Werte spaltenweise in eine Sekunde umgerechnet (siehe Abbildung 15). Außerdem werden ein Zeilenindex sowie die Spaltennamen eingefügt und das Ergebnis als Data Frame zurückgegeben.

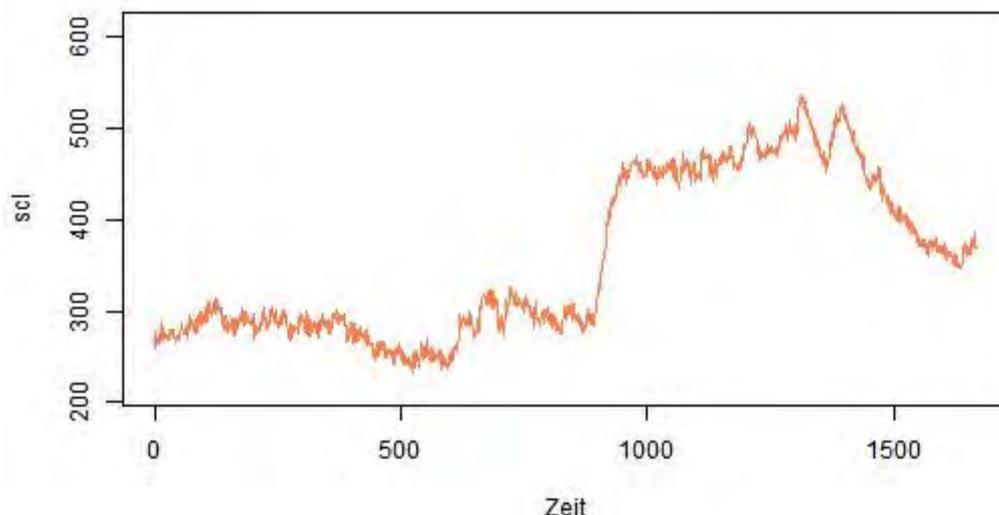


Abbildung 15: Beispieldatensatz – Hautleitfähigkeit in Sekunden
Quelle: Eigene Darstellung

6.1.7 makeSlopeSmooth

Die Stressmomente werden mithilfe des Scoring-Verfahrens identifiziert. Dazu werden zuvor die Steigungen (Anstieg bzw. Abfall der Werte pro Sekunde) zwischen den einzelnen Punkten bestimmt (siehe Abbildung 16). Zur Berechnung wird eine einfache Geradengleichung verwendet. Da eine Gerade durch zwei Punkte (P_1 und P_2) bestimmt wird gilt für $P_1 (x_1, y_1)$ und $P_2 (x_2, y_2)$:

Normalform der Geradengleichung: $y = mx + b$

Anstieg: $m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$ (vgl. Schäfer et.al 2006).

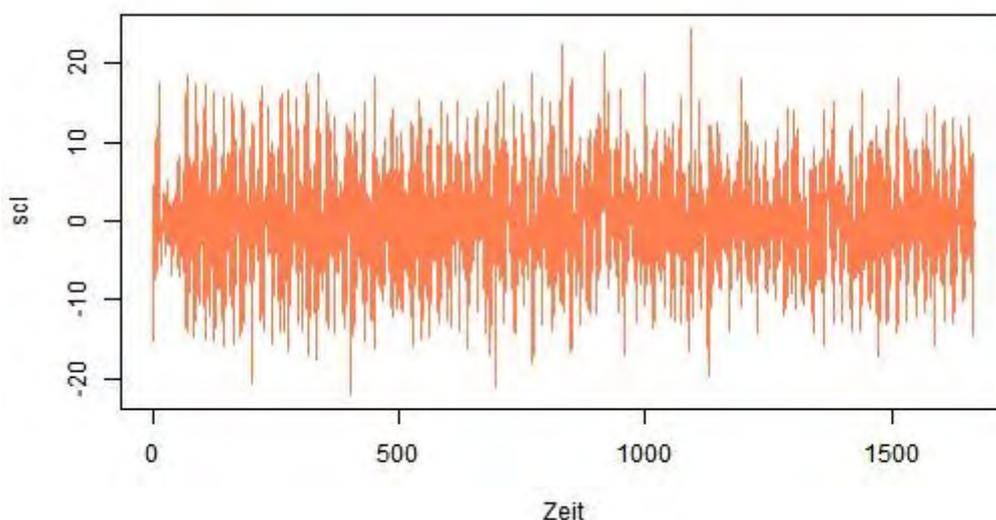


Abbildung 16: Beispieldatensatz – Steigungen der Hautleitfähigkeit
Quelle: Eigene Darstellung

Anschließend wird zur Glättung der Kurve eine lokale polynomiale Kernel Regression angewendet. Zur Durchführung wird der Funktion die Bandweite und der Grad der Glättung übergeben. Diese Art der Glättung stammt aus dem Bereich der Zeitreihenanalyse, dabei wird durch eine geeignete Funktion ein Trend der Messreihe berechnet. Dieser beschreibt die Entwicklung der Messreihe, welche dann durch einen glatteren Kurvenverlauf dargestellt wird (vgl. Fahrmeir et al. 2011). Im Ergebnis ist die Streuung der einzelnen Werte wesentlich geringer als vorher (siehe Abbildung 17). Dadurch ist die Grundlage der Scoring-Bildung geschaffen. Dieses Ergebnis wird als Data Frame zurückgegeben.

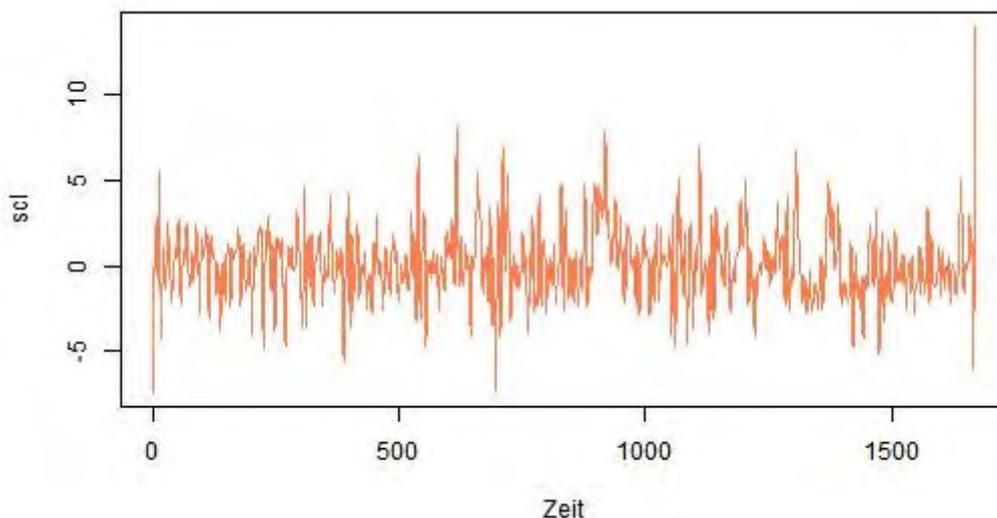


Abbildung 17: Beispieldatensatz – Steigungen der Hautleitfähigkeit nach der Glättung
Quelle: Eigene Darstellung

6.1.8 makeScoring

Diese Funktion führt das bereits erwähnte Scoring durch. Dazu werden die zuvor geglätteten Steigungen, des übergebenen Datensatzes, mit 100 multipliziert und durch die Spannweite (Differenz aus Minimum und Maximum) dividiert. Dadurch wird, wie in Abbildung 18 zu sehen ist, die Kurve gespreizt. Anschließend wird das Punktesystem, das in Kapitel 4.2 beschrieben wurde, festgelegt und die entsprechenden An- und Abstiege deklariert. Die Ergebnisse werden in separaten Spalten des Datensatzes verankert und von der Funktion zurückgegeben.

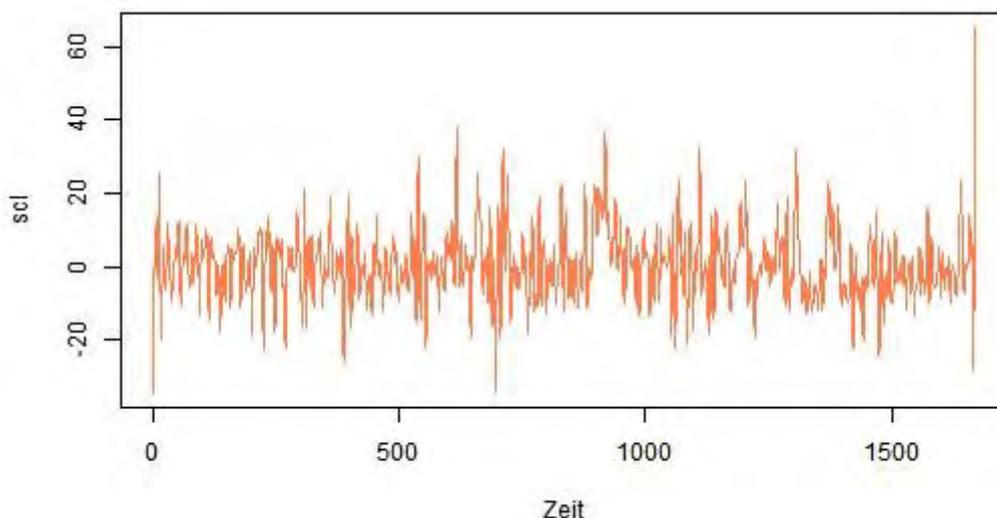


Abbildung 18: Beispieldatensatz – Steigungen der Hautleitfähigkeit nach der Spreizung
Quelle: Eigene Darstellung

6.1.9 `getStressMoments`

Die Funktion `getStressMoments` identifiziert Stressekunden und -momente, aus den bereits berechneten Scoringpunkten. Um diese zu erkennen, sind weitere Berechnungen notwendig. Da per Definition Stress nur dann vorliegt, wenn mindestens drei Sekunden lang die Hautleitfähigkeit ansteigt und direkt im Anschluss die Hauttemperatur abfällt, wird zunächst geprüft an welchen Positionen dieser Fall eintritt und entsprechend vermerkt. Im nächsten Schritt werden die so verzeichneten Anstiege und Abfälle zusammengeführt, um die Länge eines Stressmomentes zu erhalten. Danach werden alle Stressmomente, die weniger als fünf Sekunden auseinander liegen, zu einem Moment verschmolzen. Als Ergebnis werden drei Spalten an den Datensatz angehängt. Diese beinhalten jede einzelne Sekunde in der Stress verzeichnet wurde, den Startpunkt der Stressmomente sowie die Länge eines Stressmomentes. Die Funktion liefert die Ergebnisse als Data Frame.

6.1.10 `getStressShape`

Nach einem erfolgreichen Scoring besteht die Möglichkeit die Datensätze so zuzuschneiden, dass im Ergebnis nur die Stressekunden oder Stressmomente enthalten sind. Dies ist notwendig, um im weiteren Verlauf der Datenverarbeitung eine aussagekräftige Heatmap automatisiert zu erzeugen. Dieser Funktion wird das zuvor generierte `SpatialPointsDataFrame` sowie die Angabe der für den Zuschnitt verwendeten Kriterien als Argument übergeben. Daraufhin werden die erforderlichen Werte gesucht und deren Positionen extrahiert. Die entsprechenden Datenzeilen werden in ein neues `SpatialPointsDataFrame` kopiert. Dieses beinhaltet nur noch die entsprechenden Daten und wird von der Funktion zurückgegeben.

6.1.11 `getShape`

Die Funktion `getShape` ist eine der beiden Hauptfunktionen. Sie ruft alle bisher beschriebenen Funktionen auf und liefert ein `SpatialPointsDataFrame`, das als Shape abgespeichert wird. Um dem Anwender entsprechende Anpassungen der Ergebnisse zu ermöglichen müssen zwölf Parameter übergeben werden, von denen elf mit Default-Werten konfiguriert sind. Diese sind in Tabelle 3 dargestellt und werden im weiteren Verlauf erläutert. Außerdem wird ein Bericht im PDF-Format (Portable Document Format, dt. transportables Dokumentenformat) erzeugt, welcher unter anderem die in Abbildung 13 bis Abbildung 18 gezeigten Grafiken enthält. Dazu wird zu Beginn der Funktion ein Datenstrom geöffnet. Anschließend werden, zwischen den einzelnen Auswertungsschritten, Plots der Zwischenergebnisse erzeugt.

Danach wird der Datenstrom wieder geschlossen. Der Bericht wird im selben Verzeichnis wie die GPS-Dateien abgelegt.

Argument	Default
gpsFiles	
sep	","
removeSensorFiles	""
threshold_Sensor	10
artefacts	1
steps	250
threshold_hlf	25
threshold_htemp	15
hertz	10
bandwidth	2
degree	3
stress	"mos"

Tabelle 3: Argumente der Funktion *getShape* des Smartband-Tools
 Quelle: Eigene Darstellung

Dem Argument *gpsFiles* ist kein Default zugeordnet, da hier die Dateipfade zu den auszuwertenden GPS-Dateien einzutragen sind. Diese werden aufgesplittet und in einer Liste abgelegt. Zum automatisierten Aufsuchen der zugehörigen Sensordatensätze werden die Pfade der bereits angelegten Liste um ihre Extensions (dt. Dateiendungen) gekürzt und in einer separaten Liste vorgehalten. Außerdem wird ein Counter (dt. Zähler) angelegt, welcher die Anzahl der ausgewerteten Datensätze enthält.

Im nächsten Schritt werden die einzelnen GPS-Files nacheinander abgearbeitet. Dabei wird zu Beginn die Funktion *getTrackList* ausgeführt, welcher der aktuelle GPS-File und das Argument *sep* übergeben werden. Dieses beinhaltet das Trennzeichen der GPS-Datensätze, die

grundsätzlich im CSV-Format vorliegen. Es wird hierbei zwischen Semikolon oder Komma (Default) Trennung unterschieden. Nach dieser Durchführung stehen die einzelnen Tracks zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Im Anschluss wird die Funktion *readSensorFiles* ausgeführt, welcher der Pfad des auszulesenden Ordners übergeben wird. Diese liefert daraufhin eine Liste mit den zugehörigen Dateinamen.

Unter Berücksichtigung des aktuellen GPS-Files wird die Liste der zugehörigen SensorFiles nacheinander durchlaufen. Dabei wird zunächst geprüft, ob das Argument *removeSensorFiles* angegebene Daten enthält. Wenn dies der Fall ist, wird ggf. die Auswertung des aktuellen SensorFiles, durch den Aufruf der Funktion *checkSensorFiles*, übersprungen. Ansonsten wird der aktuelle Datensatz mit dem Aufruf der Funktion *readSensorData* eingelesen und zugeschnitten. Des Weiteren wird geprüft, ob die Spannweite (Differenz zwischen Minimum und Maximum) kleiner als der angegebene *threshold_Sensor* (Schwellenwert) ist. Falls dies zutrifft wird die Auswertung des aktuellen Sensordatensatzes abgebrochen und mit dem nächsten Datensatz fortgefahren.

Nachdem der Datensatz geprüft und zur weiteren Verarbeitung freigegeben ist, kann eine Anpassung der Artefakte durchgeführt werden. Dies wird durch das Argument *artefacts* geregelt, das einen booleschen Wert (0 oder 1) enthält. Bei einem Wert von 1 (wahrer Wert) wird die Funktion *removeOutliers* zweimal aufgerufen. Dieser werden zwei Argumente übergeben: *steps*, das die Anzahl der zu verwendeten Werte enthält, sowie je einer der beiden angegebenen Schwellenwerte *threshold_hlf* oder *threshold_htemp*. Dabei repräsentiert der erste Wert die Grenze der Hautleitfähigkeit und der Zweite die Grenze der Hauttemperatur. Im Anschluss daran wird die Frequenz der Aufnahme, Angabe im Argument *hertz*, mithilfe der Funktion *toSeconds* in Sekunden umgerechnet. Darauf folgt die Ausführung der Funktion *makeSlopeSmooth*, der die Argumente *bandwidth* und *degree* mitgegeben werden. Diese Argumente wurden bereits eingehend erläutert (siehe 6.1.7). Als nächstes werden die Funktionen *makeScoring* und *getStressMoments* ausgeführt, denen außer dem aktuellen Datensatz keine weiteren Argumente übergeben werden. Nach deren Ausführung ist das Scoring abgeschlossen und die Stressekunden und -momente deklariert. Danach wird der längere Datensatz (Sensor oder GPS), bzw. der Datensatz mit den meisten Datenzeilen, auf die Länge des kürzeren zugeschnitten. Dies wird realisiert, indem die letzten Zeilen entfernt werden. Die Ursachen der unterschiedlichen Längen wurde bereits im Kapitel 5.3 erläutert. Anschlie-

ßend werden beide Datensätze verbunden. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis alle Datensätze ausgewertet und zu einem einzigen Data Frame verbunden sind.

Anschließend wird aus den ausgewerteten Daten eine Shape-Datei, die einen Layer mit Punkten (*SpatialPointsDataFrame*) erzeugt, indem die Datenspalten *LONGITUDE* und *LATITUDE* als Koordinaten identifiziert werden. Außerdem wird als entsprechendes Koordinatensystem *WGS84* zugeordnet. Zum Schluss wird die Funktion *getStressShape* aufgerufen und durch Angabe des Arguments *stress* der Layer entsprechend zugeschnitten, sodass als Ergebnis eine Shape-Datei bereit steht, die Stressmomente bzw. -sekunden beinhaltet.

6.1.12 getHeatmap

Zur Darstellung der Ergebnisse wird eine Heatmap verwendet. Diese wird durch eine Kerndichteschätzung mittels der zweiten Hauptfunktion *getHeatmap* erzeugt. Die notwendigen Eingabeparameter sind die zuvor erstellte Shape-Datei und ein Radius in Meter. Da die Koordinaten im *WGS84* vorliegen, muss die Angabe des Radius in die Einheit „Grad“ umgerechnet werden. Daran anschließend wird die Anzahl der Zeilen auf 5.000 Pixel festgelegt und die entsprechende Spaltenanzahl, durch die räumliche Verteilung der Punkte, berechnet. Das R-Package „*MASS*“ stellt eine Funktion zur Kerndichteschätzung bereit. Dieser wird die Pixelanzahl, Koordinaten, Radius (in Grad) und eine Boundingbox, die den Kartenausschnitt festlegt, übergeben. Anschließend werden die Ergebnisse mit dem Radius multipliziert und alle Werte $< 0,05$ durch *NA* (Not Available) ersetzt, sodass nur noch die Rasterzellen auf dem Weg des Testlaufes vorhanden sind. Anschließend werden die Daten in ein Raster, unter Berücksichtigung des Koordinatensystems, umgewandelt und auf Werte zwischen null und eins normalisiert. Dabei bleiben die Werte der oberen und unteren 2 % unberücksichtigt, da diese die farbliche Darstellung der Ergebnisse verfälschen. Dies entspricht dem kumulativen Anzahlschnitt, der in *QGIS* per Default durchgeführt wird. Die Normalisierung ist notwendig, da eine *Stl*-Datei bei der Erstellung der Heatmap aufgerufen wird und die entsprechende Skala somit immer gleich ist. Das erzeugte Raster ist der Rückgabewert der Funktion.

6.2 Realisierung des Universal-Tools

Im Unterschied zum *Smartband-Tool* können mit dem *Universal-Tool* prinzipiell Datensätze verschiedener Formate ausgewertet werden. Dazu sind je nach Format einige Vorarbeiten notwendig. Zunächst muss der Rohdatensatz der GPS-Messung einen Head (dt. Kopfzeile) beinhalten. Beim Anlegen dieser Zeile ist es notwendig, dass zwei Datenspalten mit den Namen „LONGITUDE“ und „LATITUDE“ benannt werden. In diesen sollen die geographischen Koordinaten eingetragen sein. Wie auch beim *Smartband-Tool* werden diese dann beim Auswerten automatisch erkannt. Im Gegensatz dazu ist der Datensatz mit den Vitaldaten zwingend ohne Head anzulegen, da dem Tool die Nummern der Spalten (beginnend bei eins) der Hautleitfähigkeit (*scl*) und Hauttemperatur (*temp*) als Argument übergeben werden.

Das *Universal-Tool* besteht ebenfalls aus zwei Hauptfunktionen, jedoch beziehen diese sich nur auf acht weitere Funktionen (zehn beim *Smartband-Tool*). Die Funktionen: *getTrackList*, *readSensorFiles* und *checkSensorFiles* sind in diesem Tool nicht vorhanden. Diese drei Funktionen werden nicht benötigt, da dem Tool ein GPS-Datensatz, der die Länge eines Tracks beinhaltet, übergeben wird. Somit ist ein Zuschneiden der GPS-Daten nicht notwendig. Außerdem ist das Wechseln des Arbeitsverzeichnisses in einen Arbeitsordner sowie das Herausnehmen einzelner Sensorfiles aus der Auswertung ebenfalls unnötig, da dem Tool nur genau ein auszuwertendes Sensorfile übergeben wird. Allerdings wurde zusätzlich eine neue Funktion *readGPSData* implementiert, durch diese wird ein GPS-File in ein Data Frame eingelesen. Die Datei wird als Argument übergeben und zusätzlich muss ein Trennzeichen gesetzt sein.

Die Funktion *readSensorData* ist dahingehend geändert, dass dieser die Spaltennummern sowie das verwendete Trennzeichen des Datensatzes als Argumente übergeben werden. Das Einlesen der Daten wird auf dieser Basis durchgeführt.

In der Funktion *getShape* hat sich die Anzahl der Übergabeparameter wesentlich geändert. Diese belaufen sich auf 15 Argumente, die in Tabelle 4 dargestellt sind. Dabei beinhalten die ersten vier Zeilen die beiden Rohdatensätze (GPS- und Sensordatensatz) sowie die dazugehörigen Trennzeichen. Die beiden Argumente *scl* und *temp* geben je die zur Hautleitfähigkeit und -temperatur gehörigen Spaltennummern im Sensordatensatz an. Mit *temp_invertiert* kann angegeben werden, ob bei der Erstellung des Scorings, die Werte der Hauttemperatur invertiert werden sollen. Dies ist notwendig, da die Werte der Hauttemperatur

des Smartbandes mit Zunahme der Temperatur kleiner werden, wie in Kapitel 3.3.1 bereits beschrieben. Bei anderen Systemen ist dies jedoch nicht zwingend der Fall. Alle übrigen Argumente erfüllen denselben Zweck, wie in dem bereits beschriebenen *Smartband-Tool*.

Argument	Default
gpsFile	
sep_gps	","
sensorFile	
sep_sensor	","
scl	1
temp	2
artefacts	1
steps	250
threshold_hlf	25
threshold_htemp	15
hertz	10
bandwidth	2
degree	3
temp_invert	1
stress	"mos"

Tabelle 4: Argumente der Funktion *getShape* des Universal-Tools
Quelle: Eigene Darstellung

Dieses Tool liefert ebenfalls ein `SpatialPointsDataFrame`, eine Heatmap und einen dazugehörigen Bericht. Des Weiteren bestehen keine Unterschiede der nicht explizit erwähnten Funktionen zu denen des *Smartband-Tools*.

6.3 QGIS-Toolbox

Zur Integration selbsterstellter R-Skripte in QGIS (siehe Kapitel 5.2), steht eine Schnittstelle zur Toolbox (dt. Werkzeugkiste) bereit. Die beiden Tools wurden zur nutzerfreundlichen Anwendung in die Toolbox eingebunden. Von der Schnittstelle werden einfache GUI-Komponenten (Graphical User Interface, dt. Grafische Benutzeroberfläche) bereitgestellt. So findet die Auswertung der Rohdaten und Visualisierung der Ergebnisse in einem Programm statt. Zur Anwendung von R-Skripten muss eine R-Version installiert sein. Außerdem ist es notwendig in den Verarbeitungsoptionen von QGIS den Datenanbieter „R scripts“ zu aktivieren. Dazu muss, wie in Abbildung 19 zu sehen, die Checkbox von „Activate“ ausgewählt und der Dateipfad zur Programmiersprache R in „R-Verzeichnis“ eingetragen werden (rote Markierungen). Die weiteren Angaben beziehen sich auf Verzeichnisse in denen sich die abgelegten Skripte und Packages (dt. Bibliotheken) befinden sowie die Möglichkeit der Angabe, ob eine „64bit-Version“ oder eine andere verwendet wird.

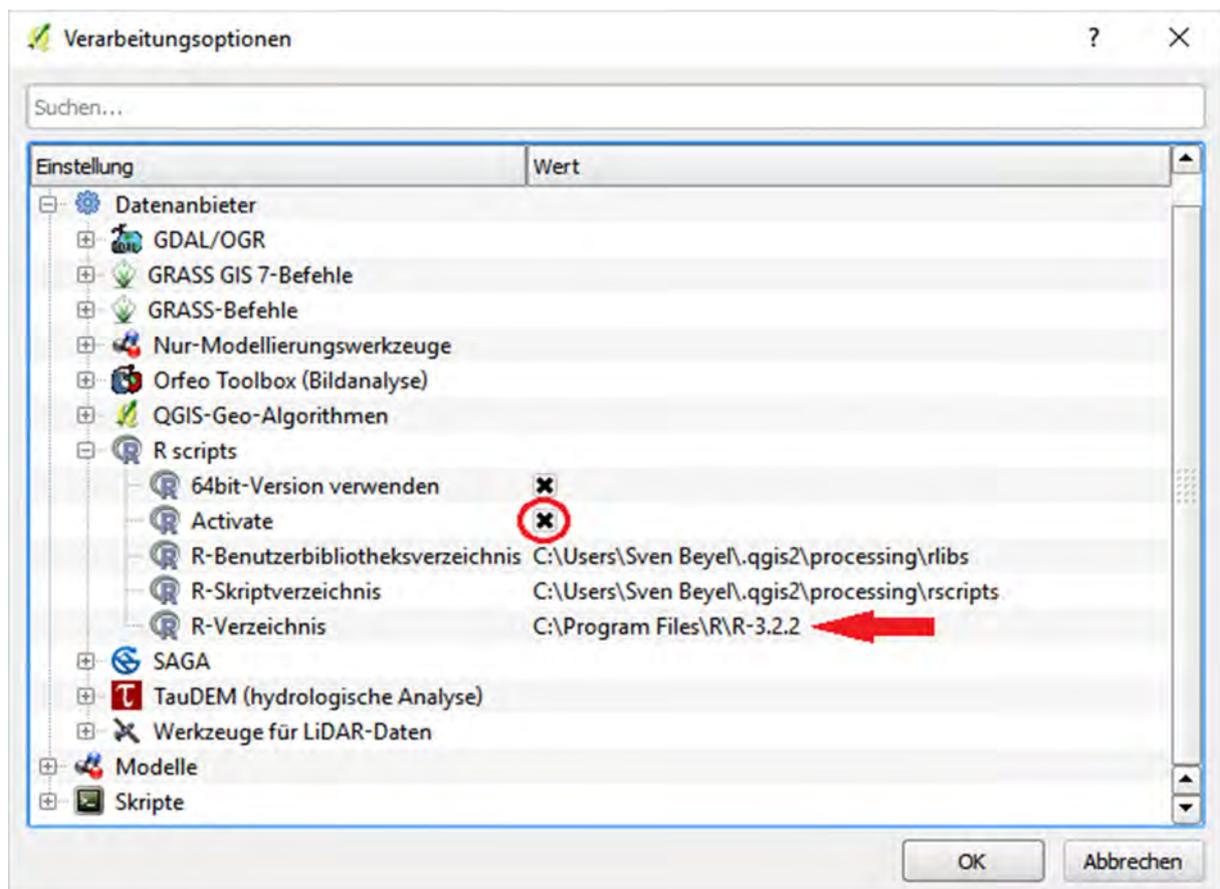


Abbildung 19: R scripts in den Verarbeitungsoptionen von QGIS
Quelle: Eigene Darstellung

Zur weiteren Vorbereitung müssen die Dateiordner, welche die entsprechenden R-Skripte des jeweiligen Tools beinhalten, in den Dateiordner „bin“ der verwendeten QGIS-Version, z. B. „C:\Program Files\QGIS Essen\bin“, abgelegt werden, da dieser per Default als Arbeitsverzeichnis eingestellt ist. Außerdem müssen die R-Skript Dateien mit der Extension „rsx“ in das R-Skriptverzeichnis abgelegt werden. In diesen R-Skripten befinden sich unter anderem die Beschreibungen der visuellen Gestaltung der Tools sowie der Aufruf der in Kapitel 6.1 beschriebenen Hauptfunktionen. Sie können dementsprechend als Schnittstelle der Nutzereingabe und der Programmlogik betrachtet werden. Jedem Tool muss außerdem noch eine XML-basierte Stildatei (mit der Extension „qml“) zugeordnet werden, die sich in dem jeweiligen Ordner der R-Skripte befindet. Durch diese Zuordnung wird die erzeugte Heatmap direkt nach einer vordefinierten Farbpalette (Spektralfarben) dargestellt. Nachdem alle Vorbereitungen getroffen sind, stehen die Tools zur Anwendung in der Toolbox bereit.

Die Nutzeroberfläche des in Abbildung 20 zu sehenden *Smartband-Tools*, beinhaltet die in Kapitel 6.1 beschriebenen Argumente mit den entsprechenden Default-Werten. Grundsätzlich muss zur Ausführung mindestens ein GPS-Datensatz angegeben werden. Zu diesem kann das entsprechende Dateiformat ausgewählt werden, wobei nur zwischen dem Kommagetrennten und Semikolongetrennten CSV-Format unterschieden wird. In der folgenden Zeile können Sensordatensätze angegeben werden, die nicht mit in die Auswertung einfließen sollen, für die aber Marker in der GPS-Datei gesetzt sind. Anschließend kann noch ausgewählt werden, welchen Umfang die Outputdaten haben sollen. Diese Funktion sowie die Unterscheidung der verschiedenen CSV-Formate wird in der rsx-Datei verarbeitet und an die Funktion *getShape* weitergegeben. In den beiden letzten Zeilen können je ein Pfad und Name der Ausgabedateien angegeben werden. Beim Auslassen dieser Angaben werden temporäre Dateien erzeugt. Außerdem kann angegeben werden, ob die Outputdaten nach erfolgreicher Beendigung des Tools direkt angezeigt werden sollen. Alle weiteren Einstellungen sind als Experteneinstellungen zu betrachten und sind bereits eingehend in Kapitel 6.1 beschrieben worden. Außerdem wurde zur Fehlerbehandlung eine Messagebox integriert. Diese erscheint bei der Ausführung des Tools, falls die Angabe des GPS-Datensatzes/ der GPS-Datensätze fehlt.

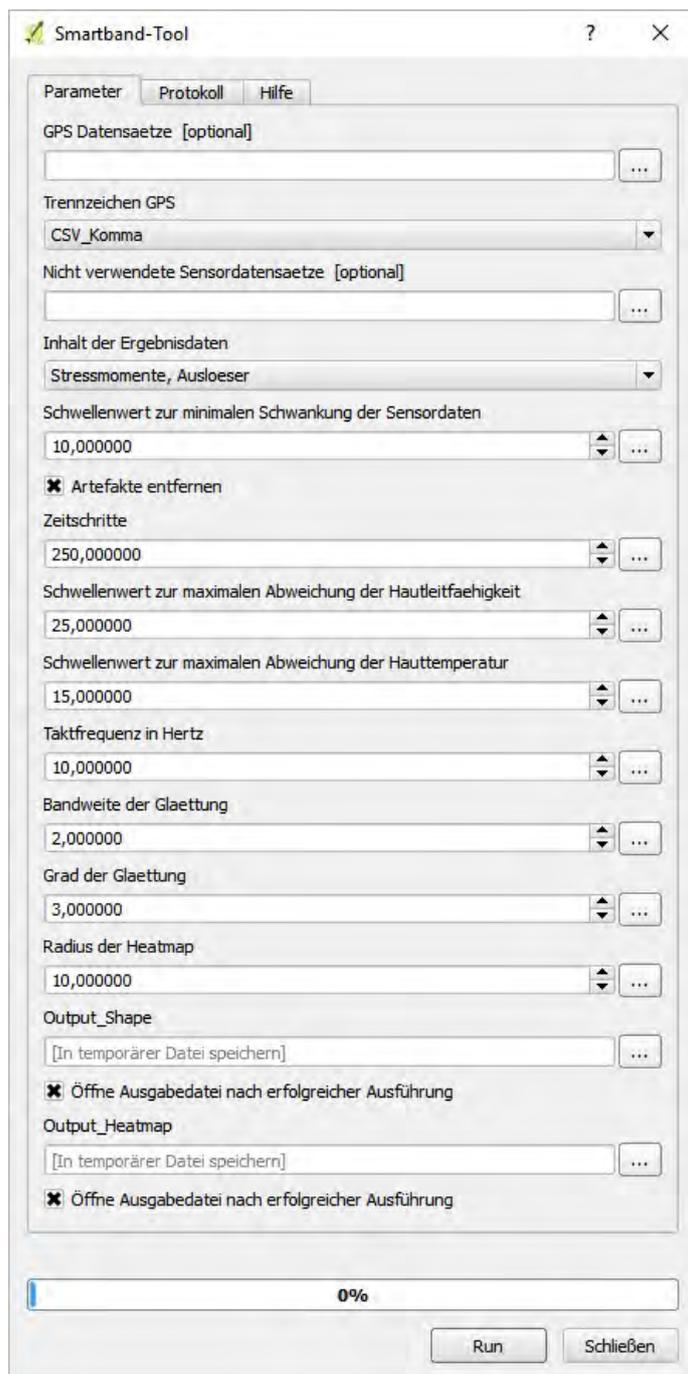


Abbildung 20: Smartband-Tool in QGIS
Quelle: Eigene Darstellung

Im Gegensatz zu dem *Smartband-Tool* können bei dem *Universal-Tool* (siehe Abbildung 21) mehrere Angaben vorgenommen werden. Hier besteht der Mindestumfang aus einem GPS- und einem Sensordatensatz. Zu diesen muss das jeweilige Dateiformat bzw. das verwendete Trennzeichen: Komma, Semikolon, Tabulator, Leerzeichen oder Punkt ausgewählt werden. Darauffolgend ist die Angabe der Nummern der Spalten, in denen die Werte der Hautleitfähigkeit und -temperatur liegen, notwendig sowie die Angabe ob die Hauttemperatur invertierte Werte enthält. Des Weiteren kann hier die Auswahl bzgl. des Umfangs der Ergebnisse

Realisierung des Tools

sowie die Namen und Pfade der Ausgabedateien ausgewählt werden. Alle weiteren Werte sind auch hier als Experteneinstellungen zu behandeln und wurden bereits eingehend in Kapitel 6.2 erläutert.

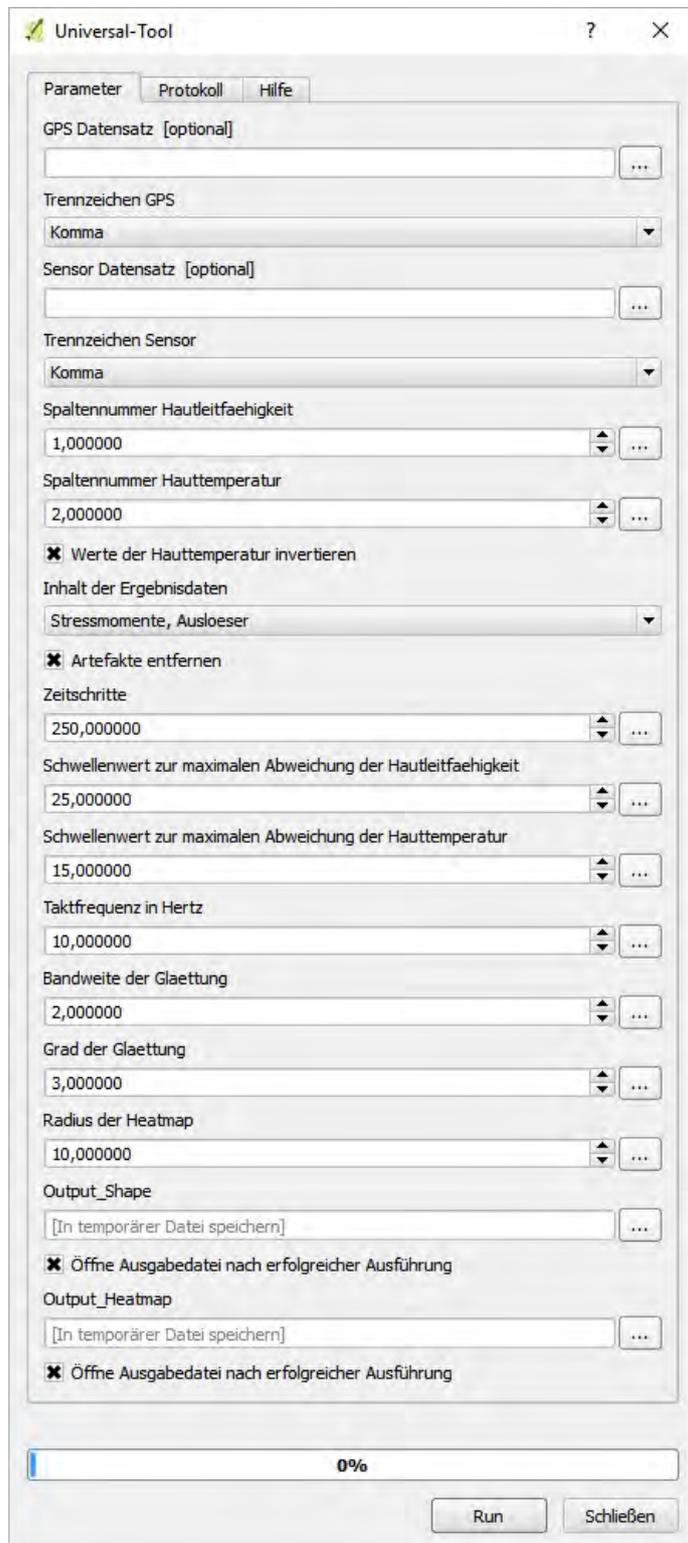


Abbildung 21: Universal-Tool in QGIS
Quelle: Eigene Darstellung

7 EmoMapping im Testgebiet Querenburg

Das Ergebnis dieser Arbeit sind zwei lauffähige Tools, die zur Auswertung von EmoMapping-Daten verwendet werden können. Zur Überprüfung des barrierefreien Stadtplans in Bochum wurden EmoMapping Testläufe durchgeführt. Die daraus resultierenden Rohdatensätze standen zum Testen der Tools zur Verfügung. Da diese bereits nach dem alten Verfahren ausgewertet (siehe Kapitel 4.2) wurden, konnten dadurch einige der Argumente mit Default-Werten belegt werden.

In Kapitel 7.1 wird der Versuchsaufbau der Testläufe beschrieben. Die durch das *Smartband-Tool* erzeugten Ergebnisse werden in Kapitel 7.2 erläutert. Allerdings steht im Rahmen dieser Arbeit die Entwicklung der beiden Tools im Vordergrund, sodass nur eine kurze Analyse der Ergebnisse stattfindet.

7.1 Durchführung der Messung

Zur Validierung des barrierefreien Stadtplans wurde im Testgebiet Querenburg ein psychophysiologisches Mapping mit 13 Probanden durchgeführt. Die Testpersonen waren mit der Standardausrüstung (Sensorarmband und GPS-Logger) sowie einem Alterssimulationsanzug ausgestattet.

Die Probanden liefen eine zuvor definierte Testroute zweimal ab. Dabei diente der erste Durchgang den Testpersonen dazu, sich an die neue Situation bzw. Ausrüstung zu gewöhnen. Aus diesem Grund wurden nur die Ergebnisse der zweiten Messung ausgewertet. Die Testläufe fanden zeitversetzt statt, da so Stresssituationen zu verschiedenen Tageszeiten erfasst wurden. Zusätzlich wurden Videos und Fotos aufgenommen, um eine retrospektive Verifizierung der Stressmomente durchführen zu können.

7.2 Darstellung der Ergebnisse

Mit dem, in der Toolbox integrierten, Smartband-Tool wurden zwei verschiedene Versionen einer Heatmap erzeugt. Zum einen wurden die Stressmomente, welche die Punkte an denen der Stress ausgelöst wurde beinhalten, dargestellt und zum anderen die Stressekunden, die die Dauer des Stresses repräsentieren. Diese wurden mit verschiedenen Ausgangsdaten und einem Radius von 20 Meter erzeugt. Die höchste Ansammlung von Stresspunkten ist in Rot und die niedrigste in Blau dargestellt.

Von den insgesamt 13 durchgeführten Messungen im Testgebiet Querenburg, waren acht zur Auswertung geeignet. Vier Datensätze des Smartbandes wurden bei der Auswertung durch eine zu geringe Spannweite der Vitaldaten direkt vom Tool aussortiert. Ein weiterer Datensatz ist bei der Durchsicht des erstellten Berichtes für unbrauchbar erklärt worden, sodass die Auswertung ohne diesen erneut durchgeführt wurde. Die fehlerhaften Messungen lassen sich in diesem Fall auf defekte Geräte zurückführen.

In Abbildung 22 sind alle Stressekunden der acht Probanden überlagert zu sehen. Abbildung 23 zeigt ausschließlich die stressauslösenden Punkte, also die Momente in denen der Stress eingetreten ist (Stressmomente). Punkte an denen länger andauernde Stressmomente ausgelöst wurden, sind durch die farblichen Unterschiede betont.

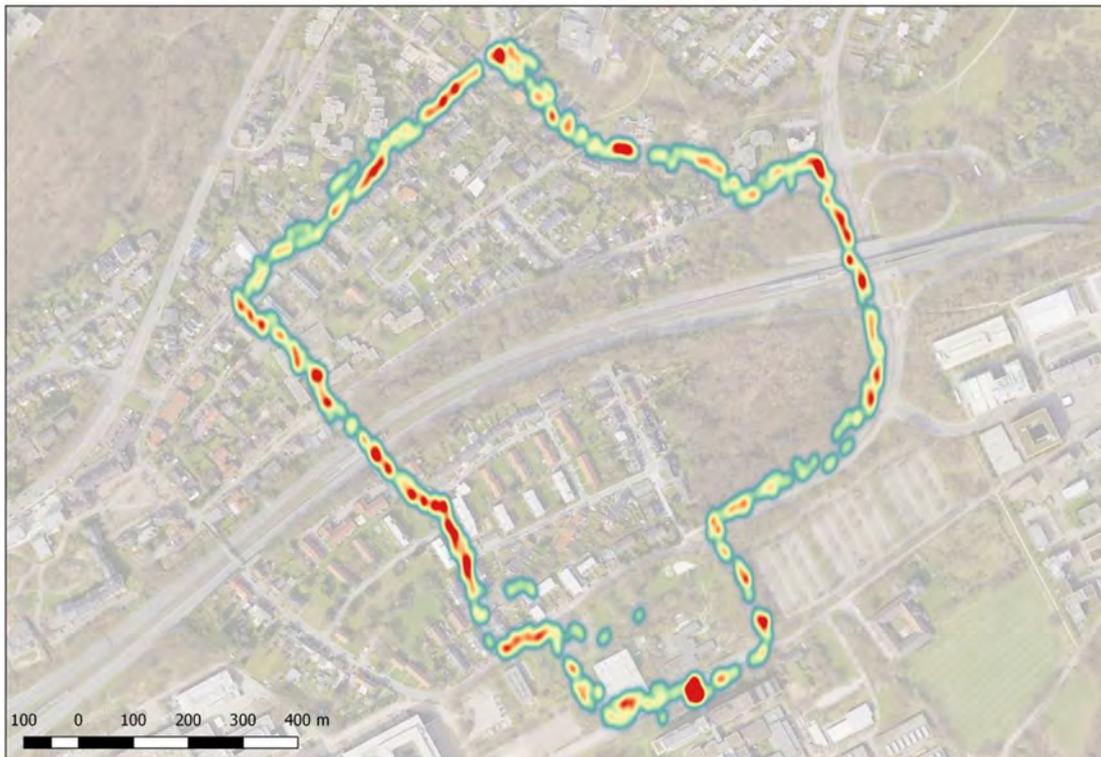


Abbildung 22: Dauer des Stresses (Stresssekunden) im Testgebiet Querenburg
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

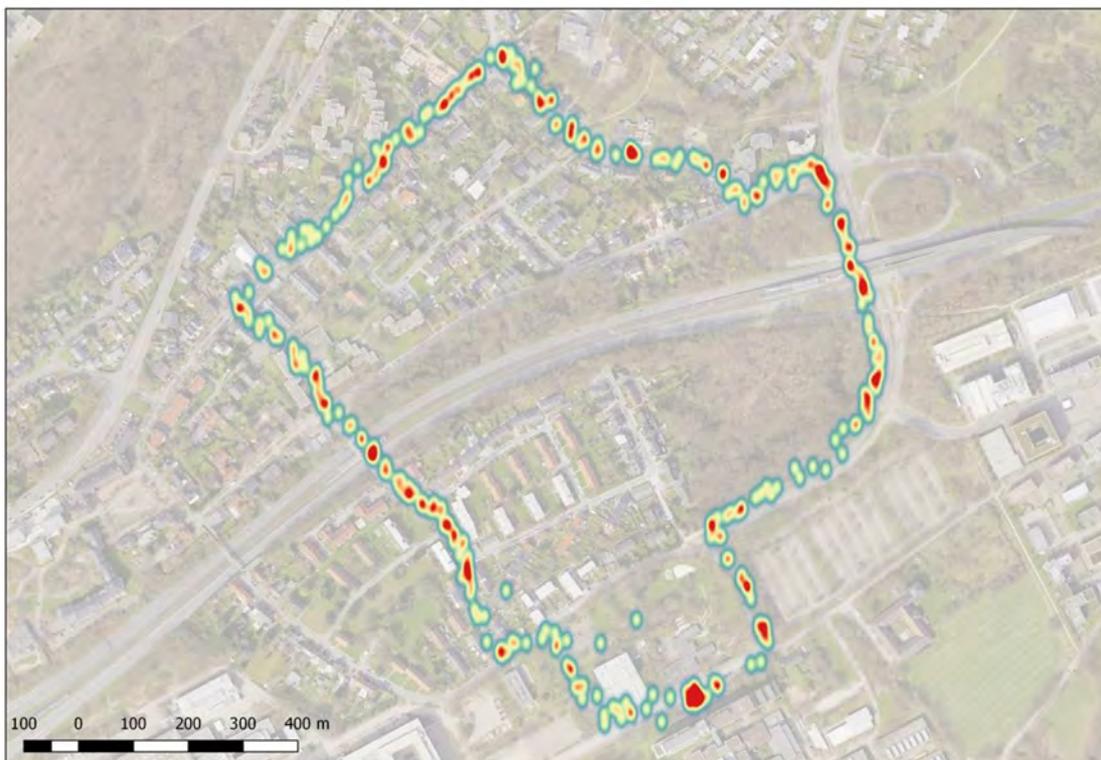


Abbildung 23: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) im Testgebiet Querenburg
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

7.3 Analyse der Ergebnisse

In diesem Projekt ist zur Überprüfung der Barrieren die in Abbildung 22 zu sehende Variante der Heatmap am besten geeignet. Dazu ist es notwendig alle Momente in denen Stress auftrat, zusammen mit den Barrieren des barrierefreien Stadtplans, näher zu betrachten. Diese Kombination ist in Abbildung 24 dargestellt.

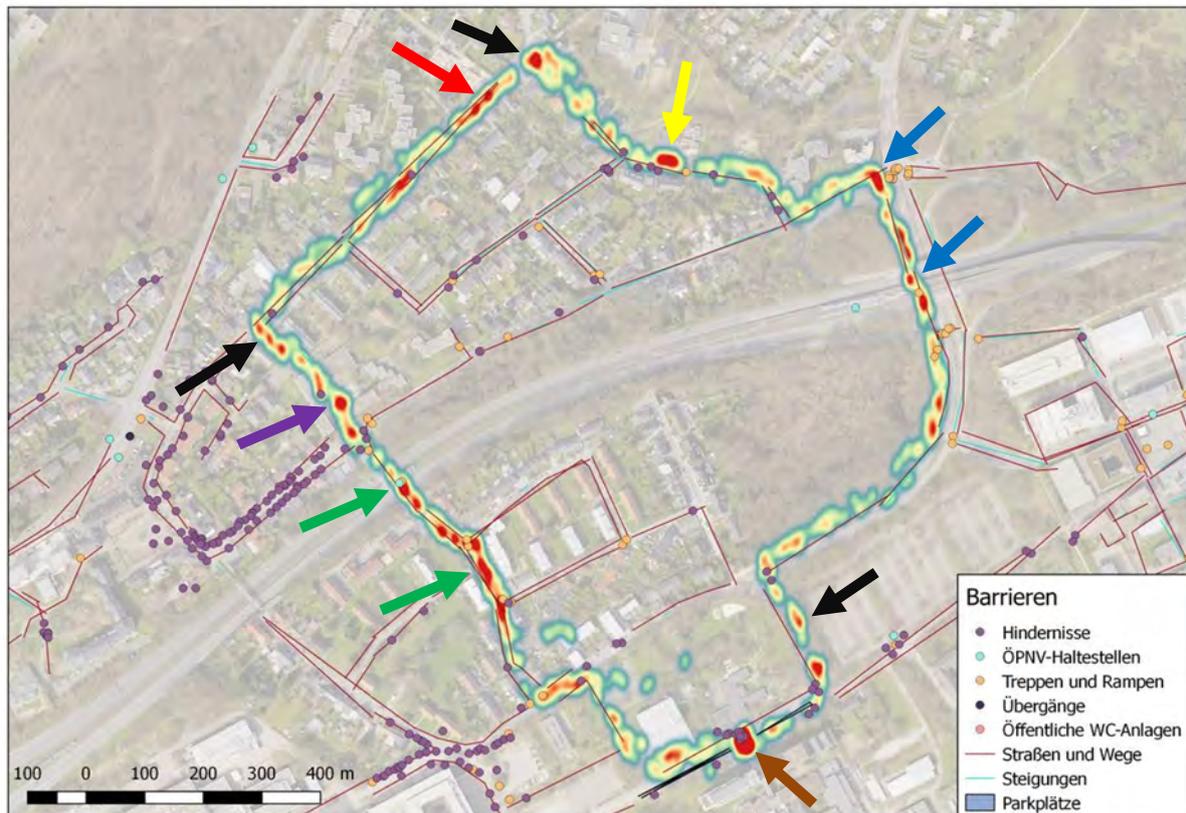


Abbildung 24: Dauer des Stresses (Stresssekunden) und Barrieren
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 24 zeigt, dass an einigen Stellen die Stresssituationen mit den erfassten Barrieren übereinstimmen. Der Startpunkt der Testläufe liegt im Süden und die Laufrichtung ist gegen den Uhrzeigersinn. An einigen Stellen lassen sich die Stresssituationen sehr gut interpretieren. So wird im Osten der Stress durch die Unterführung der Straße und Überquerung gefährlicher Fußgängerüberwege ausgelöst (blaue Pfeile). Anschließend folgt eine Strecke, mit starkem Anstieg bis zum nördlichsten Punkt, auf welcher sich außerdem einige Hindernisse befinden (gelber Pfeil). Im weiteren Verlauf wurde eine Baustelle (roter Pfeil) und im Westen eine Treppe bzw. eine Rampe (lila Pfeil) passiert. An der U-Bahn Station und der darüberliegenden Brücke stieg der Lärmpegel deutlich an und hinter der Brücke gab es nur sehr schma-

le Bürgersteige (grüne Pfeile). Besonders hoch sind die Werte am Start- bzw. Endpunkt des Testlaufes (brauner Pfeil). Dies ist üblich, da die Testpersonen am Startpunkt länger verweilen und sich an die Situation gewöhnen müssen. Differenzieren lassen sich Start- und Endpunkt in der Karte nicht.

Es lässt sich auch erkennen, dass an einigen Positionen bereits aufgenommener Barrieren (wie die bereits erwähnten U-Bahn-Haltestellen oder Hindernisse) wie erwartet Stress verzeichnet wurde. Darüber hinaus trat Stress an Stellen auf, bei denen bisher keine Barrieren erfasst wurden (schwarze Pfeile). An diesen Stellen bedarf es einer genaueren Untersuchung, um noch nicht erfasste Barrieren zu identifizieren.

8 Fazit und Ausblick

Durch die Programmiersprache R war die Entwicklung des Tools, zur automatisierten Auswertung, gut umsetzbar. Außerdem ist, mithilfe der Anbindung an das Geoinformationssystem QGIS, eine anwenderfreundliche Nutzung möglich. Durch die Verwendung dieser beiden Komponenten kann die komplette Auswertung mit Open Source Produkten erfolgen. Dies bietet den Vorteil, nicht von kommerziellen Produkten anhängig zu sein. Durch die erfolgreiche Automatisierung der Auswertung von EmoMapping-Daten, ist der zeitliche Aufwand der Auswertung deutlich reduziert worden. Dies führt zu einer effizienteren Nutzung.

Die Ergebnisse der verschiedenen Auswertungsansätze (automatisiert und manuell) sind ähnlich. Lediglich die Eliminierung der, während der Messung auftretenden, Artefakte weist geringe Unterschiede auf. Diese werden mit einem selbst definierten Algorithmus entfernt. Vor der Entwicklung der Tools sind Artefakte manuell angepasst worden. Durch die subjektive Einschätzung des Auswerters war diese Methode genauer als der vom Tool verwendete Algorithmus, da dieser immer dasselbe Verfahren anwendet, wodurch häufig zu viele bzw. zu wenige Werte der Daten angepasst werden. Allerdings ist die automatisierte Methode deutlich schneller und die dadurch auftretenden Unterschiede wirken sich nur geringfügig auf das Ergebnis aus, sodass diese Methode trotzdem verwendbar ist. Es besteht außerdem die Möglichkeit, die Ergebnisse durch die veränderbaren Übergabeparameter zu beeinflussen. Außerdem wäre es prinzipiell möglich einen anderen Ansatz zur Anpassung der Artefakte zu definieren, wodurch sich das Ergebnis ebenfalls ändern würde. Diese Möglichkeiten könnten zukünftig durch weitere Untersuchungen evaluiert und umgesetzt werden.

Die Toolbox von QGIS bietet eine leicht zu verwendende Schnittstelle, um selbst definierte R-Skripte einzubinden. Allerdings bestehen dort kaum Möglichkeiten zur optischen Gestaltung. So gibt es z. B. für Zahlen nur den Datentyp *number*, der mit fünf Nachkommastellen dargestellt wird. Eine Änderung dieser ist nicht möglich. Des Weiteren werden die Namen der Inputdatensätze immer um *[optional]* erweitert, obwohl diese in den meisten Fällen Pflichtfelder sind. Es besteht auch keine Möglichkeit dies in den rsx-Skripten zu ändern. Außerdem wäre es vorteilhaft, wenn die Expertenfunktionen nur nach Bedarf eingeblendet würden, aber auch hierfür steht keine Funktion bereit.

Die Bedienung könnte durch die Erstellung einer GUI deutlich vereinfacht und so anwenderfreundlicher gestaltet werden. Dazu steht der Qt Designer der Qt Company bereit. In Abbildung 25 ist eine entsprechende Benutzeroberfläche dargestellt. Allerdings wird diese mit der Programmiersprache Python entwickelt, sodass eine Schnittstelle zu den R-Skripten definiert werden müsste. Da die optische Gestaltung der Tools eine niedrige Priorität hatte, und somit bei der Anfertigung dieser Arbeit nicht im Vordergrund stand, konnte keine Umsetzung mehr durchgeführt werden. Außerdem hätte dies den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit überschritten.

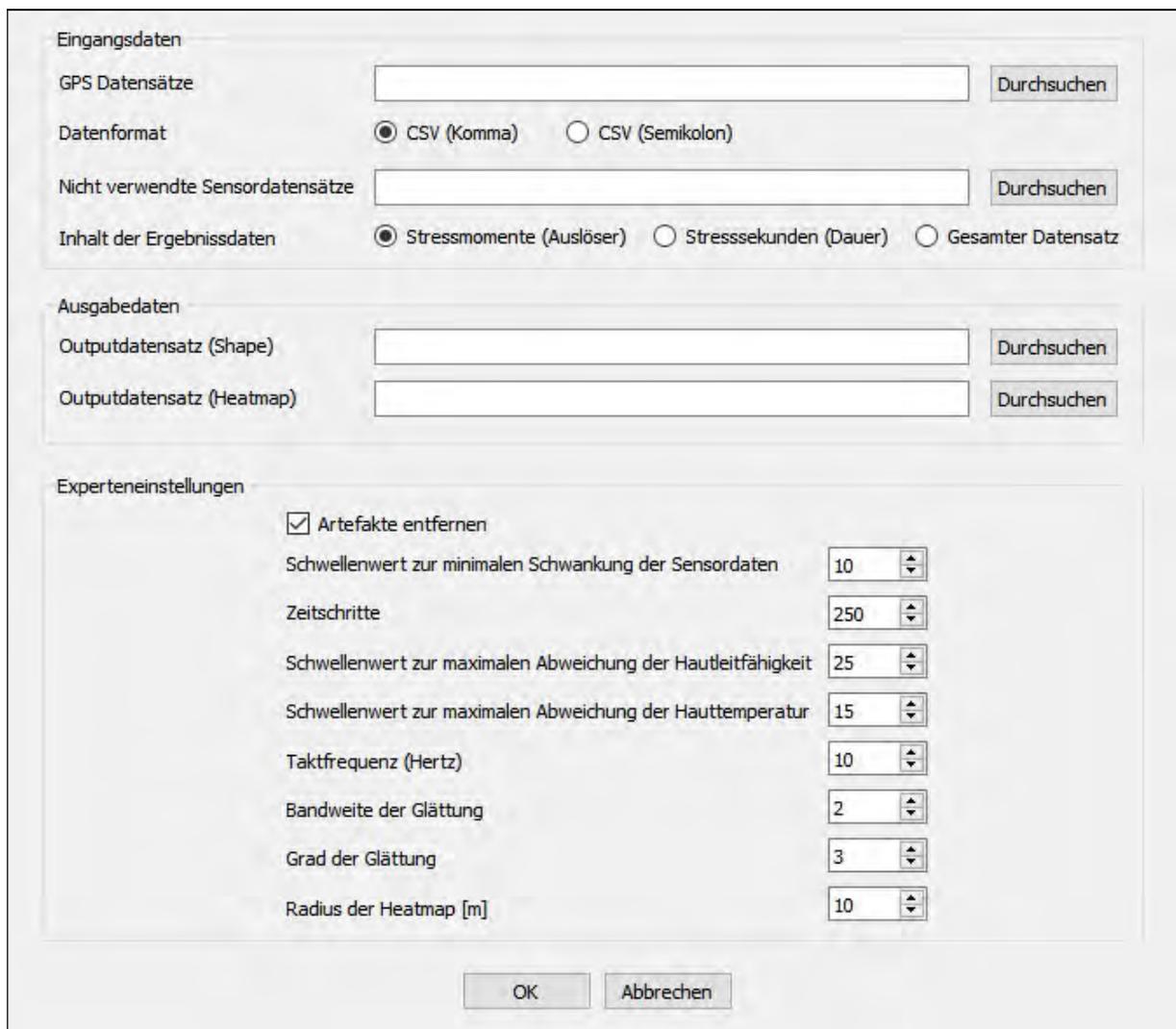


Abbildung 25: Im Qt Designer erzeugtes Mockup zum Smartband-Tool
Quelle: Eigene Darstellung

Durch die Entwicklung des *Universal-Tools* kann grundsätzlich jedes Datenformat, nach entsprechender Vorbereitung durch den Anwender, zur Auswertung verwendet werden. Dies bringt eine große Zeitersparnis für weitere Projekte mit sich. Darüber hinaus besteht die

Möglichkeit das Einlesen für weitere ausgewählte Geräte (z. B. dem Bitalino Toolkit) zur Datenaufnahme zu automatisieren. So könnte eine direkte Auswertung der Daten mit dem *Universal-Tool* stattfinden.

Die Beschriebenen Vorschläge sind Anregungen, wie die Tools erweitert werden könnten. Grundsätzlich besteht immer die Möglichkeit eine Software zu erweitern, in diesem Fall bliebe die Qualität des Tools jedoch auch ohne weitere Entwicklungsarbeiten bestehen. Abschließend lässt sich sagen, dass die Umsetzung des Tools ohne weitere Schwierigkeiten verlaufen und die Aufgabe vollständig erfüllt wurde. Die größte Hürde bestand darin zu verstehen wie die, an der Technischen Universität Kaiserslautern, verwendete Auswertung funktionierte. Dies gestaltete sich aufgrund der räumlichen Distanz teilweise als umständlich. Dennoch sind zwei vollwertig verwendbare Tools entstanden, die in Zukunft eingesetzt werden und somit den Nutzern die Arbeit deutlich erleichtern sowie eine zeitnahe Auswertung ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- Behindertenbeauftragter des Landes Niedersachsen. (2003): *Barrierefreiheit im Alltag – Für Planer Betroffene und Interessierte*. Abgerufen am 12. Februar 2016 von http://archiv.behindertenbeauftragter-niedersachsen.de/broschueren_bblni/pics/Broschuere-33_2.pdf.
- Bergner, B. (2010): *Emotionales Barriere-GIS als neues Instrument zur Identifikation und Optimierung stadträumlicher Barrieren für mobilitätseingeschränkte und behinderte Menschen*. Kaiserslautern: Im Eigenverlag.
- Bergner, B., Zeile, P., Papastefanou, G., & Rech, W. (2011): Emotionales Barriere-GIS als neues Instrument zur Identifikation und Optimierung stadträumlicher Barrieren. In J. Strobl, T. Blaschke, & G. Griesebner, *Angewandte Geoinformatik* (S. 430-439). Berlin/Offenbach: Herbert Wichman Verlag, VDE Verlag GmbH.
- BGG (Behindertengleichstellungsgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. April 2002 (BGBl. I S. 1467, 1468), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 19. Dezember 2007 (BGBl. I S. 3024).
- Daum, B. (2009): *Stadt, Land, Fluss. Natur- und Stadtlandschaften digital fotografieren*. München: Addioson-Wesley Verlag.
- Ekman, P. (1984): Expression and nature of emotion. In K. R. Scherer, & P. Ekman, *Approaches to Emotion*. Hillsdale, New Jersey: Psychology Press.
- ESRI. (2016): *ESRI Maps for SharePoint*. Abgerufen am 10. Mai 2016 von ArcGIS: <http://doc.arcgis.com/de/maps-for-sharepoint/foundation-server/esri-maps-web-part/add-a-heat-map.htm>.
- Exner, J.-P. (2013): *Smarte Planung – Ansätze zur Qualifizierung eines neuen Instrumenten- und Methodenrepertoires im Rahmen von Geoweb, Raumsensorik und Monitoring für die räumliche Planung*. Kaiserslautern: sierke Verlag.
- Exner, J.-P., Bergner, B., Zeile, P., & Broschart, D. (2012): Humansensorik in der räumlichen Planung. In J. Strobl, T. Blaschke, & G. Griesebner, *Angewandte Geoinformatik* (S. 690-699). Berlin/Offenbach: Herbert Wichmann Verlag, VDE Verlag GmbH.

- Fahrenberg, J. (2016): *Psychophysiologie - Lexikon der Psychologie*. Abgerufen am 20. April 2016 von <http://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/psychophysiologie/12151>.
- Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I., & Tutz, G. (2011): *Statistik - Der Weg zur Datenanalyse 7. Auflage*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Gerwinski, P. (2007): *GNU General Public License*. Abgerufen am 14. März 2016 von <http://www.gnu.de//documents/gpl.de.html>
- GG (Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Mai 1949 (BGBl. S. 1), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2438).
- Groß, D. J., Holderle, C., & Wilhelm, J. (2015): EmoCycling – Analyse von Radwegen mittels Humansensorik für Kommunen. In M. Schrenk, V. V. Popovich, P. Zeile, & P. B. Elisei, *Plan Together – Right Now – Overall. From Vision to Reality for Vibrant Cities and Regions. Tagungsband der REAL CORP 2015, 20. internationale Konferenz zu Stadtplanung, Regionalentwicklung und Informationsgesellschaft* (S. 249-259). Wien: Im Eigenverlag.
- Grünheid, E., & Fielder, C. (2013): *Bevölkerungsentwicklung – Daten, Fakten, Trends zum demografischen Wandel*. (B. f. Bevölkerungsforschung, Hrsg.) Abgerufen am 3. Mai 2016 von BIB_Broschuere_2013: http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Broschueren/bevoelkerung_2013.pdf;jsessionid=B12845E5C9FEC07009EF2826A0EA5AFF.2_cid292?__blob=publicationFile&v=12Hatzinger,%20Reinhold;%20Hornik,%20Kurt;%20Nagel,%20Herbert;
- Hatzinger, R., Hornik, K., Nagel, H., & Maier, M. J. (2014): *Einführung durch angewandte Statistik. 2. aktualisierte Auflage*. Hallbermos: Pearson Deutschland GmbH.
- Hering, E., & Schönfelder, G. (2012): *Sensoren in Wissenschaft und Technik – Funktionsweise und Einsatzgebiet*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Höffken, S. (210): Biosensorik und emotionale Stadtkartierung. Die Erfassung physiologischer Daten im Stadtraum. In S. Ligner, B. Lutterbeck, & F. Pallas, *GRAUE REIHE NR.50 – Die Zukunft der Räume. Gesellschaftliche Fragen auf dem Weg zur „Ambient Intelligence“*, (S. 9-22). Bad Neuenahr-Ahrweiler: Im Eigenverlag.

Hoßmann, I., & Münz, R. (2009): *Online-Handbuch Demografie: Glossar*, Berlin: Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung. Abgerufen am 3. Mai 2016 von pdf_Glossar_MK : http://www.berlin-institut.org/fileadmin/user_upload/Glossar/pdf_Glossar_MK.pdf.

Kurtz, R. (2015): *App für ein barrierefreies Bochum*. Abgerufen am 17. Mai 2016 von Hochschule Bochum: <http://www.hochschule-bochum.de/presse/pressemitteilungen/detailansicht/artikel/app-fuer-ein-barrierefreies-bochum.html>.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW). (2012): *Leitfaden 2012. Barrierefreiheit im Straßenraum*. Abgerufen am 9. Februar 2016 von Barrierefreiheit im Straßenraum. Leitfaden 2012: https://www.strassen.nrw.de/_down/pub_leitfaden-barrierefreiheit-im-strassenraum-2012.pdf.

Lehr, U. (2007): *Online-Handbuch Demografie: Alterung der Bevölkerung, zuletzt aktualisiert im Februar 2013*. Abgerufen am 27. April 2016 von Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung: <http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/bevoelkerungsdynamik/auswirkungen/alterung.html>.

Lelord, F., & André, C. (2014): *Die Macht der Emotionen – und wie sie unseren Alltag bestimmen*. o.O.: Piper Verlag.

Ligges, U. (2008): *Programmieren mit R. 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage*. Leipzig: Springer Verlag.

Nold, C. (2009): *Emotional Cartography – Technologies of the self*. Abgerufen am 27. April 2016 von EmotionalCartography.pdf: <http://emotionalcartography.net/EmotionalCartography.pdf>.

Papastefanou, G. (2008): Ambulatorisches Assessment und Empirische Sozialforschung. In G.-I. Sozialwissenschaften, *soFid – Sozialwissenschaftler Fachinformationsdienst – Methoden und Instrumente der Sozialwissenschaften* (Bd. 2008/2, S. 11-20). Bonn: Im Eigenverlag.

Pebüso-Betonwerke. (2016): *Pebüso*. Abgerufen am 9. Mai 2016 von <http://www.pebueso.de/produkte/barrierefreiesbauen/Rippensteine.htm>.

- Produkt + Projekt. (2016): *Alterssimulationsanzug GERT - Erweiterungen*. Abgerufen am 21. Februar 2016 von <http://www.produktundprojekt.de/alterssimulationsanzug/erweiterungen.html>.
- QGIS Development Team. (2016): *QGIS - Benutzerhandbuch*. Abgerufen am 2. Mai 2016 von <http://docs.qgis.org/2.8/pdf/de/QGIS-2.8-UserGuide-de.pdf>.
- Schäfer, W., Georgi, K., & Trippler, G. (2006): *Mathematik-Vorkurs – Übungs und Arbeitsbuch für Studienanfänger 6. Auflage*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag.
- Stadt Bochum. (2015): *WMS Luftbild Bochum*. Abgerufen am 3. Mai 2016 von http://wms.bochum.de/Luftbild2015_TOM/MapServer/WMSserver?
- Stadtmüller, G., & Gordon, J. A. (2016): *Biologische Korrelate von Emotionen*. Abgerufen am 6. Mai 2016 von http://bonding-psychotherapie.de/files/biologische_korrelate.pdf.
- Statistisches Bundesamt. (2015): *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 13. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. (S. Bundesamt, Hrsg.) Abgerufen am 3. Mai 2016 von https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?__blob=publicationFile.
- Statistisches Bundesamt. (2016): Pressemitteilung vom 20. Januar 2016 – 021/16, Alterung der Bevölkerung durch aktuell hohe Zuwanderung nicht umkehrbar. (S. Bundesamt, Hrsg.) Abgerufen am 3. Mai 2016 von https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/01/PD16_021_12421pdf.pdf?__blob=publicationFile.
- Teixeira, T., Dublon, G., & Savvides, A. (2010): *A Survey of Human-Sensing: Methods for Detecting Presence, Count, Location, Track, and Identity*. Abgerufen am 30. Mai 2016 von Thiagot, Enabled Technical Report: http://thiagot.com/papers/teixeira_techrep10_survey_of_human_sensing.pdf.
- TIOBE Software BV. (2016): *TIOBE Index*. Abgerufen am 14. März 2016 von http://www.tiobe.com/tiobe_index.

TU Dresden. (2016): *Hautleitfähigkeit (EDA) – eLearning - Methoden der Psychologie*.

Abgerufen am 3. Mai 2016 von http://versuch.file2.wcms.tu-dresden.de/w/index.php/Hautleitf%C3%A4higkeit_%28EDA%29.

Wilhelm, J. (2014): *EmoVision – Potentiale von EmoMapping in der räumlichen Planung*.

Kaiserslautern: Im Eigenverlag.

Wilhelm, J., Broschart, D., & Zeile, P. (2015): *EmoVision – Potenziale von EmoMapping in der räumlichen Planung*. In M. Schrenk, V. V. Popovich, P. Zeile, & P. B. Elisei, *Plan Together – Right Now – Overall. From Vision to Reality for Vibrant Cities and Regions. Tagungsband der REAL CORP 2015, 20. internationale Konferenz zu Stadtplanung, Regionalentwicklung und Informationsgesellschaft* (S. 261-270). Wien: Im Eigenverlag.

Witte, B., & Sparla, P. (2015): *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. 8., neu bearbeitete und erweiterte Auflage*. Berlin und Offenbach: Wichmann Verlag.

Zeile, P. (2010): *Echtzeitplanung – Die Fortentwicklung der Simulations- und Visualisierungsmethoden für die städtebauliche Gestaltungsplanung*. Kaiserslautern: Im Eigenverlag.

Zeile, P., Exner, J.-P., Bergner, B. S., & Streich, B. (2013): *Humansensorik und Kartierung von Emotionen in der räumlichen Planung*. In *Peer Review Proceedings of Digital Landscape Architecture 2013 at Anhalt University of Applied Sciences* (S. 129-141). Berlin/Offenbach: Herbert Wichman Verlag, VDE Verlag GmbH.

Zeile, P., Höffken, S., & Papastefanou, G. (2009): *Mapping people? – The measurement of physiological data in city areas and the potential benefit for urban planning*. In M. Schrenk, V. Popovich, D. Engelke, & P. Elisei, *Cities 3.0 – smart sustainable integrative. Strategies, Cocepts and Technologies For Planning the Urban Future. Tagungsband der REAL CORP 2009, 14. internationale Konferenz zu Stadtplanung, Regionalentwicklung und Informationsgesellschaft* (S. 341-352). Sitges: Im Eigenverlag.

Zeile, P., Kebbedies, G., & Streich, B. (2012): *Städtebauliche Methodenentwicklung mit GeoWeb und Mobile Computing*. In M. Schrenk, V. V. Popovich, P. Zeile, & P. Elisei,

Re-Mixing the City – Towards Sustainability and Resilience? Tagungsband der REAL CORP 2012, 17. internationale Konferenz zu Stadtplanung, Regionalentwicklung und Informationsgesellschaft (S. 785-794). Schwechat: Im Eigenverlag.

Zeile, P., Resch, B., Exner, J.-P., Sagl, G., & Summa, A. (2014): Urban Emotions – kontextuelle Emotionsinformationen für die räumliche Planung auf Basis von Echtzeit-Humansensorik und Crowdsourcing-Ansätzen. In J. Strobl, T. Blaschke, G. Griesebner, & B. Zagel, *Angewandte Geoinformatik 2014* (S. 664-669). Berlin/Offenbach: Herbert Wichmann Verlag, VDE Verlag GmbH.

Zimmermann, A. (2012): *Basismodelle der Geoinformatik*. München: Carl Hanser Verlag.

Anhang

A.1 Heatmaps zu den Messungen im Testgebiet Querenburg



Abbildung 26: Dauer des Stresses (Stresssekunden) - Testlauf 04 Max
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 27: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 04 Max
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 28: Dauer des Stresses (Stresssekunden) - Testlauf 10 Viktoria
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 29: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 10 Viktoria
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 30: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 12 Christian
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

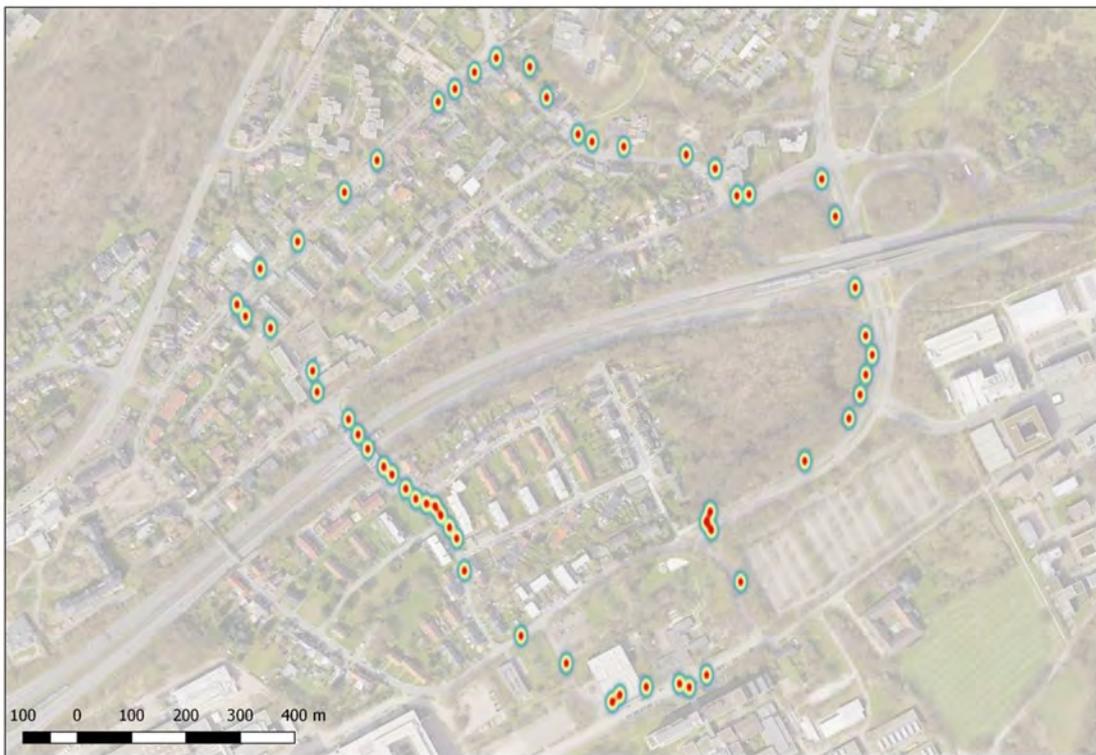


Abbildung 31: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 12 Christian
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

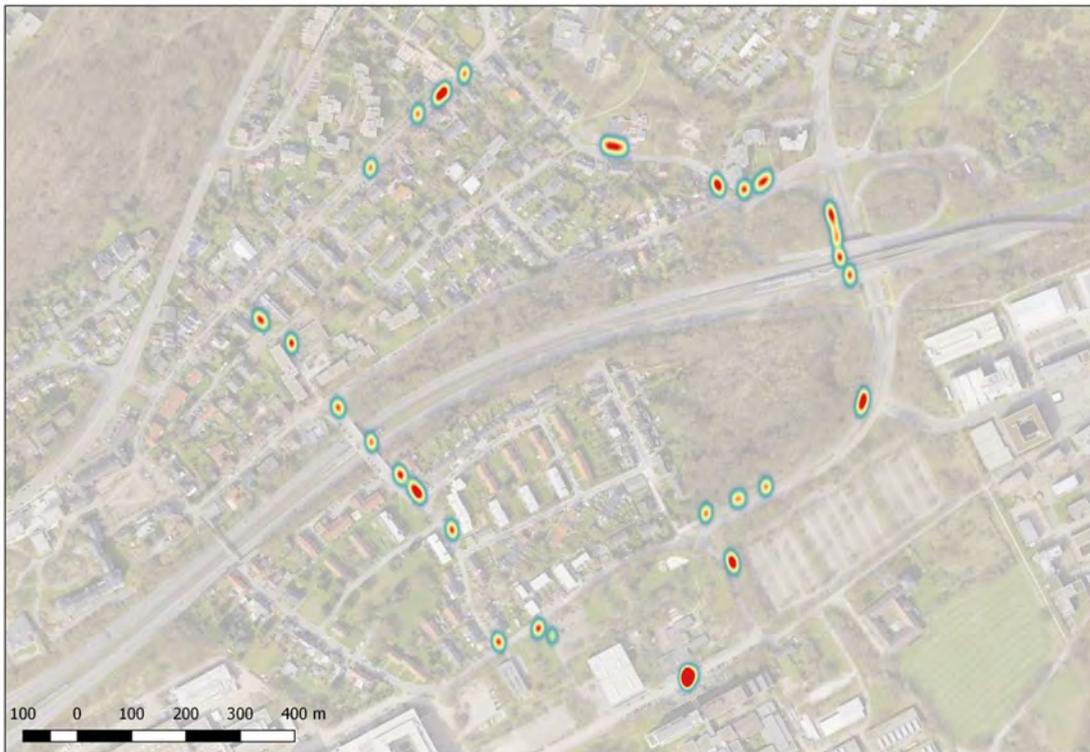


Abbildung 32: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 16 Tarik
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 33: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 16 Tarik
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

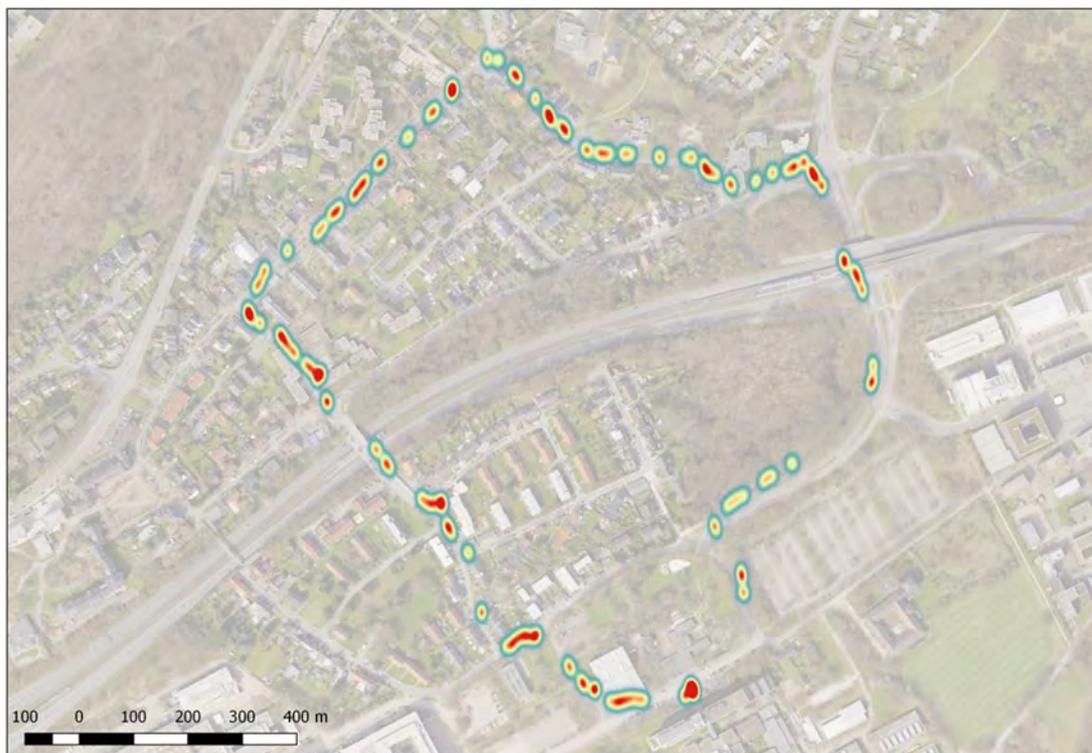


Abbildung 34: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 18 Marvin
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

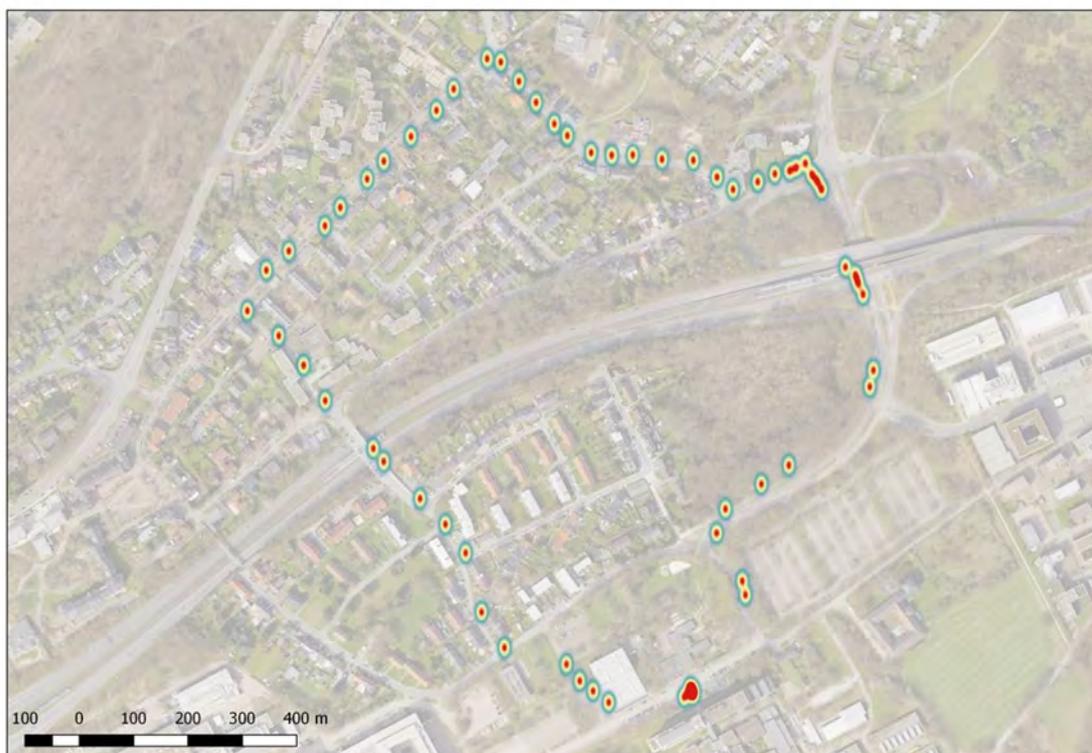


Abbildung 35: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 18 Marvin
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

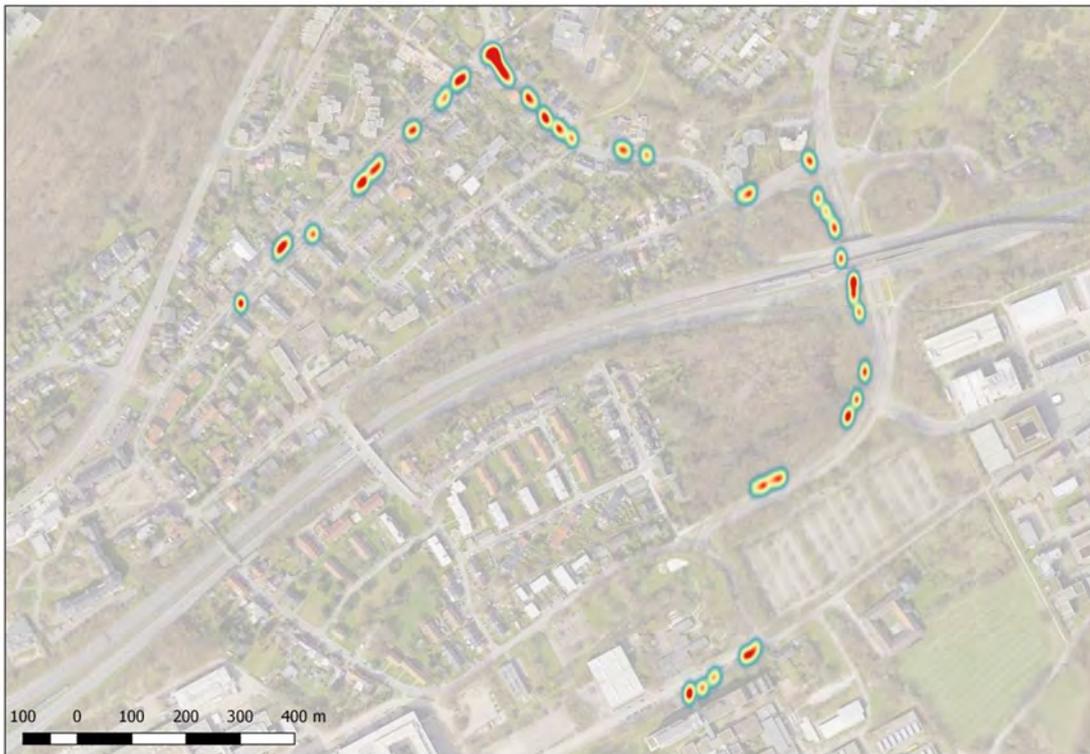


Abbildung 36: Dauer des Stresses (Stresssekunden) - Testlauf 21 Imke
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

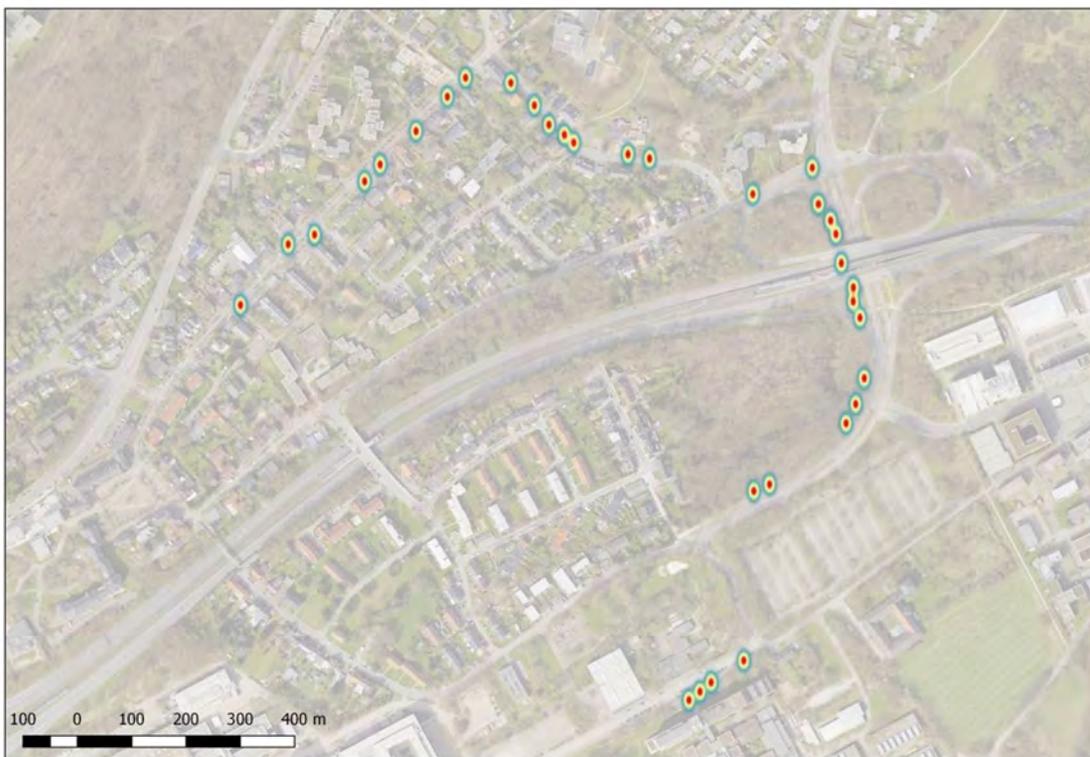


Abbildung 37: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 21 Imke
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

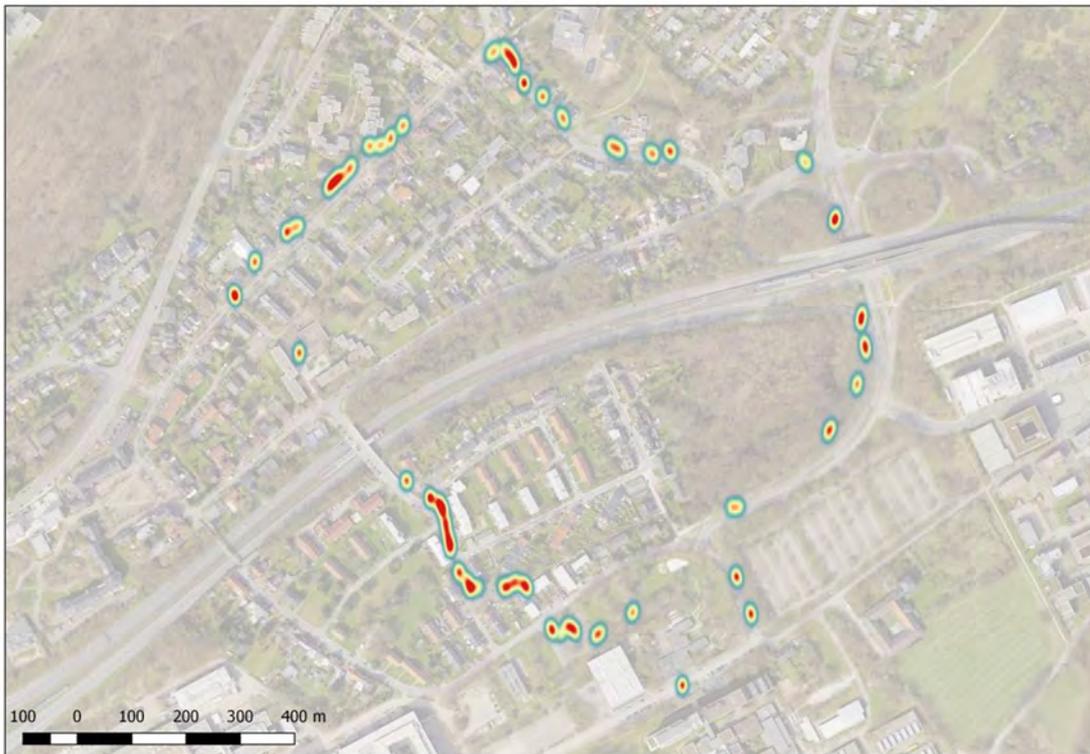


Abbildung 38: Dauer des Stresses (Stresssekunden) - Testlauf 22 Marc
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

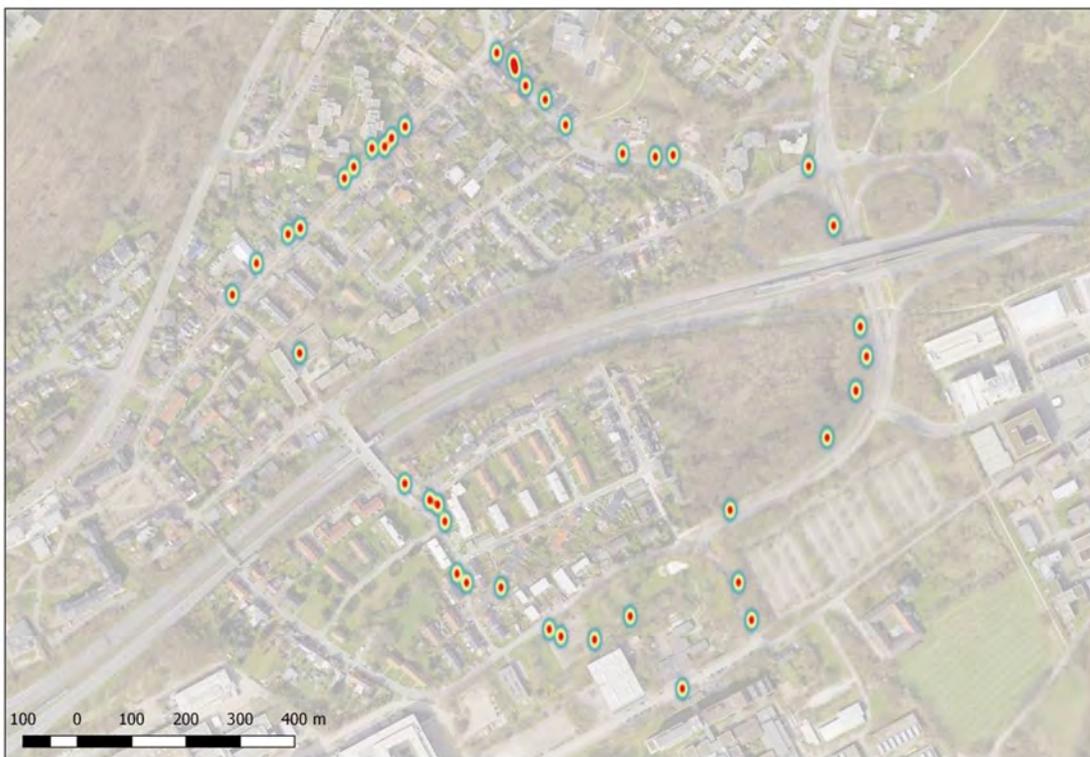


Abbildung 39: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 22 Marc
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

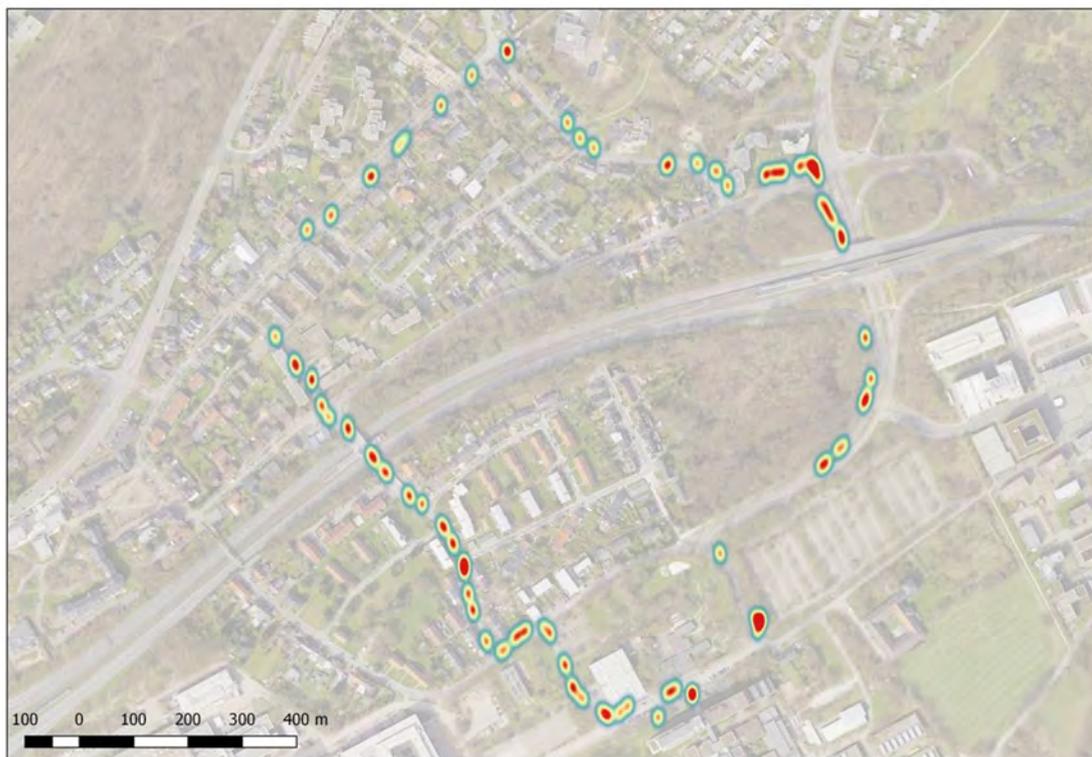


Abbildung 40: Dauer des Stresses (Stressekunden) - Testlauf 25 Dennis
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

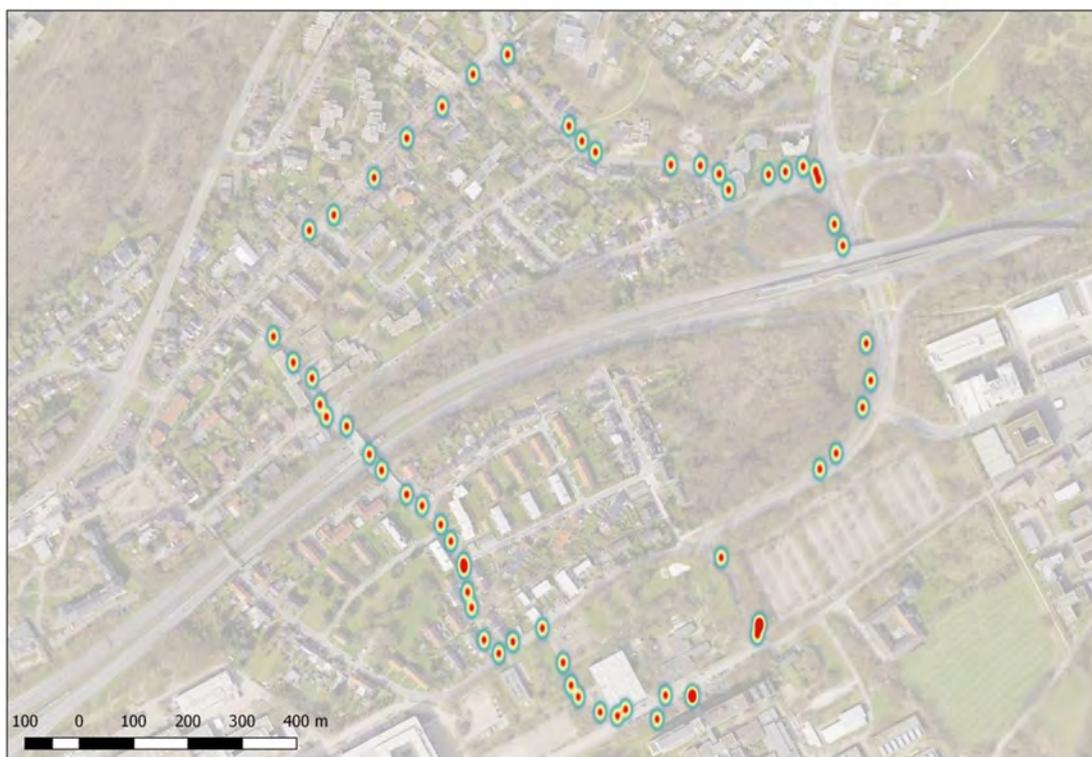
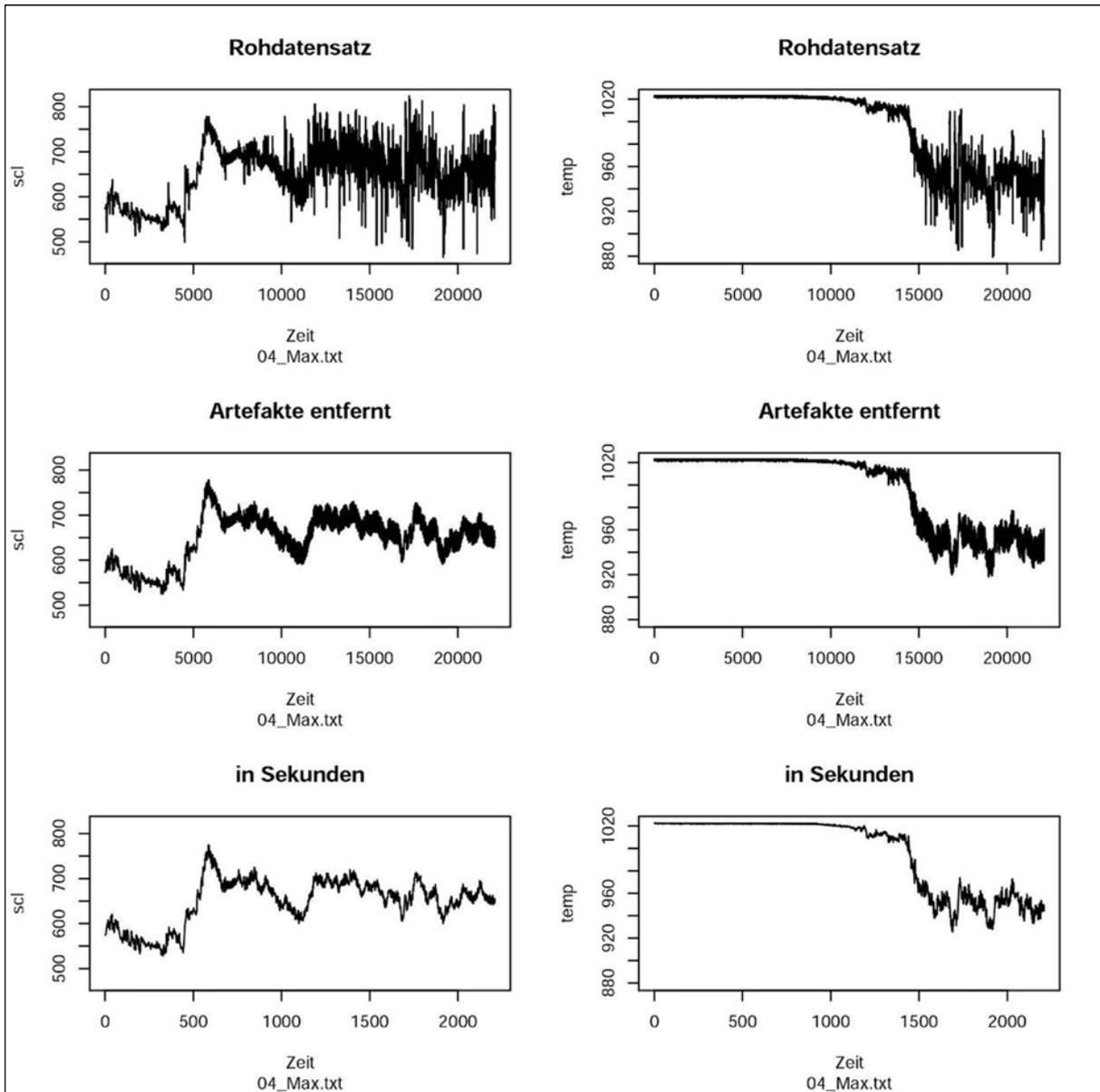
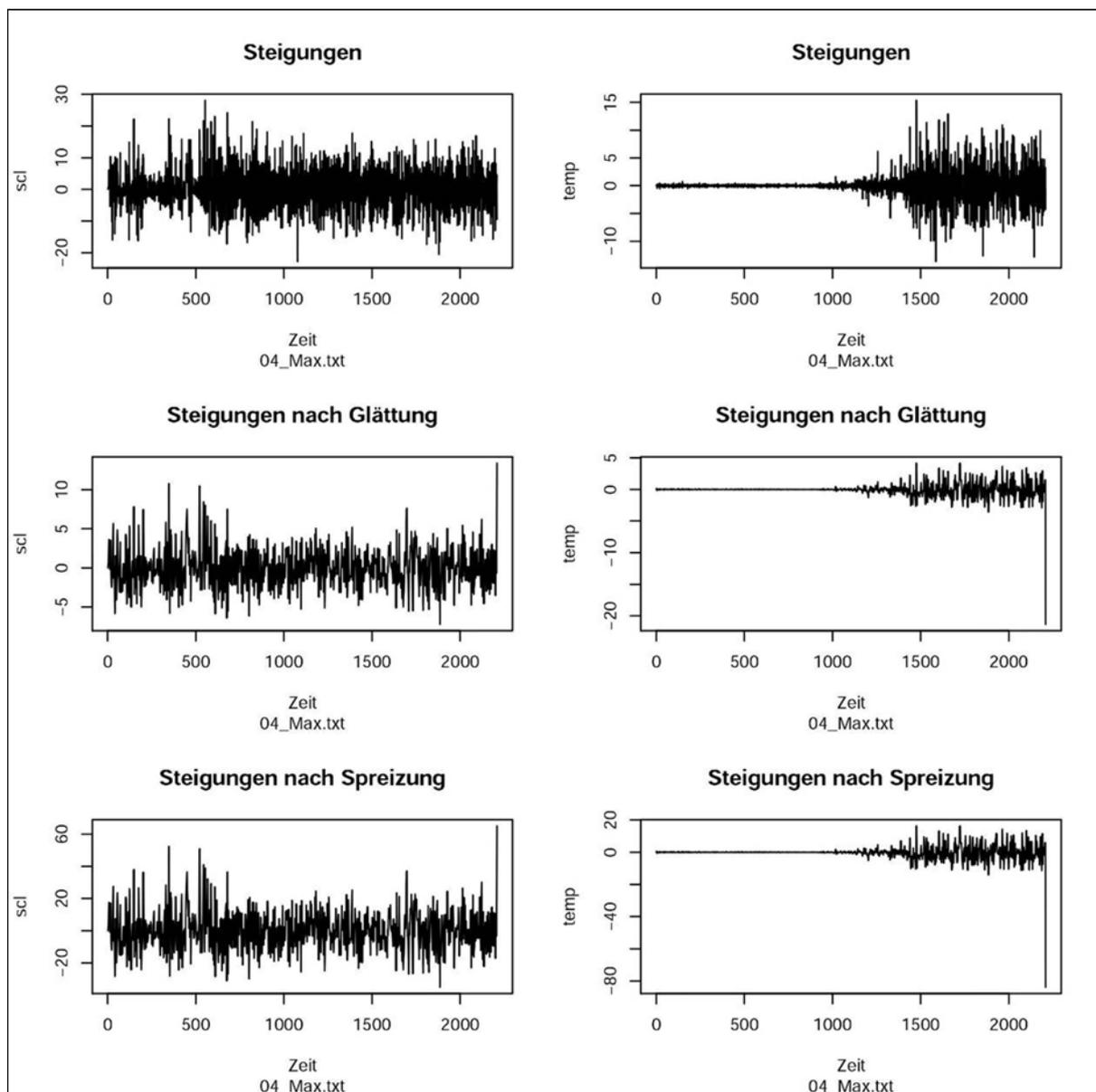


Abbildung 41: Startsekunden des Stresses (Stressmomente) - Testlauf 25 Dennis
Hintergrundkarte: Stadt Bochum 2015
Quelle: Eigene Darstellung

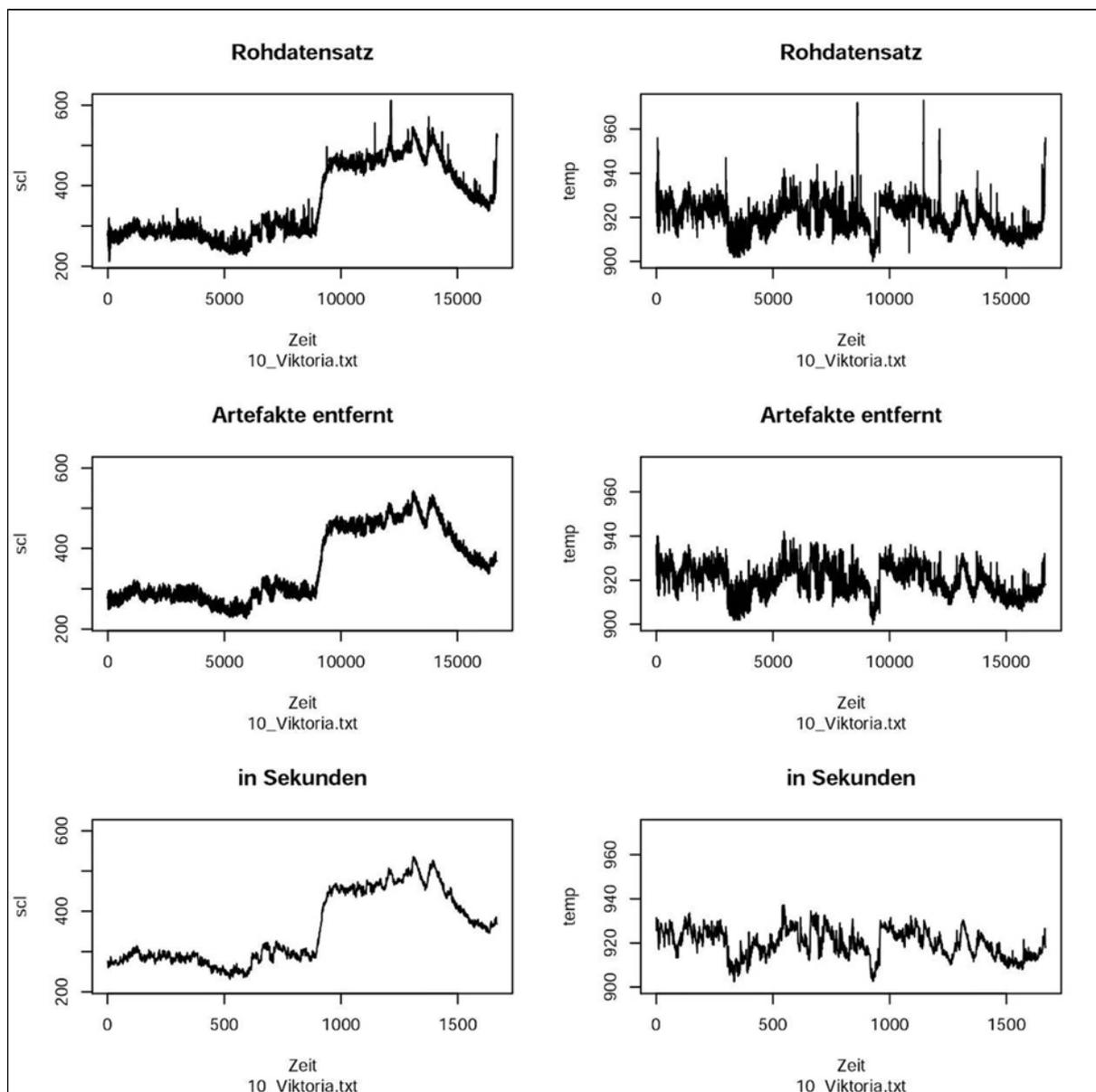
A.2 Ergebnisse des Berichtes der Messungen im Testgebiet Querenburg



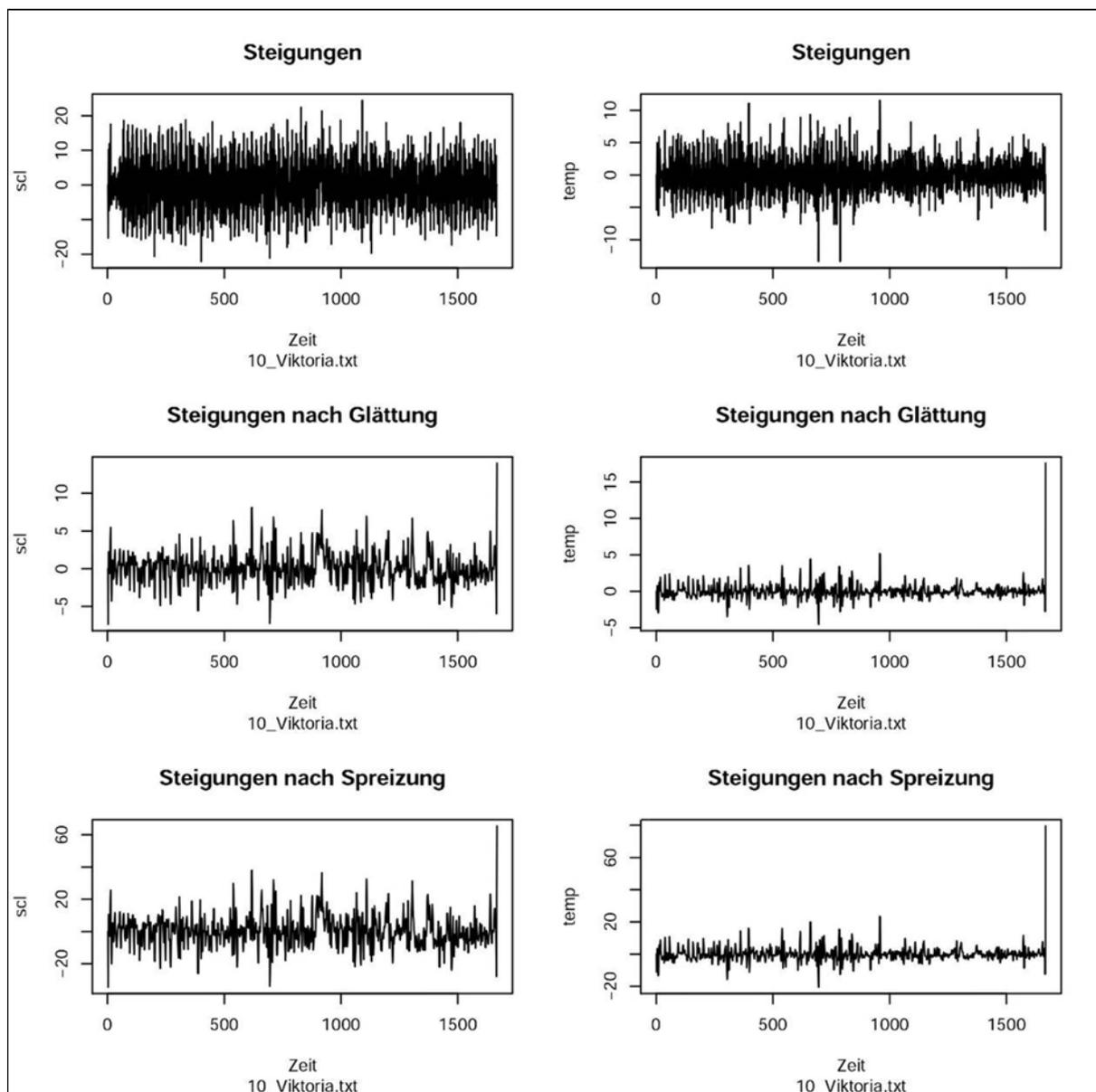
**Abbildung 42: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (1/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



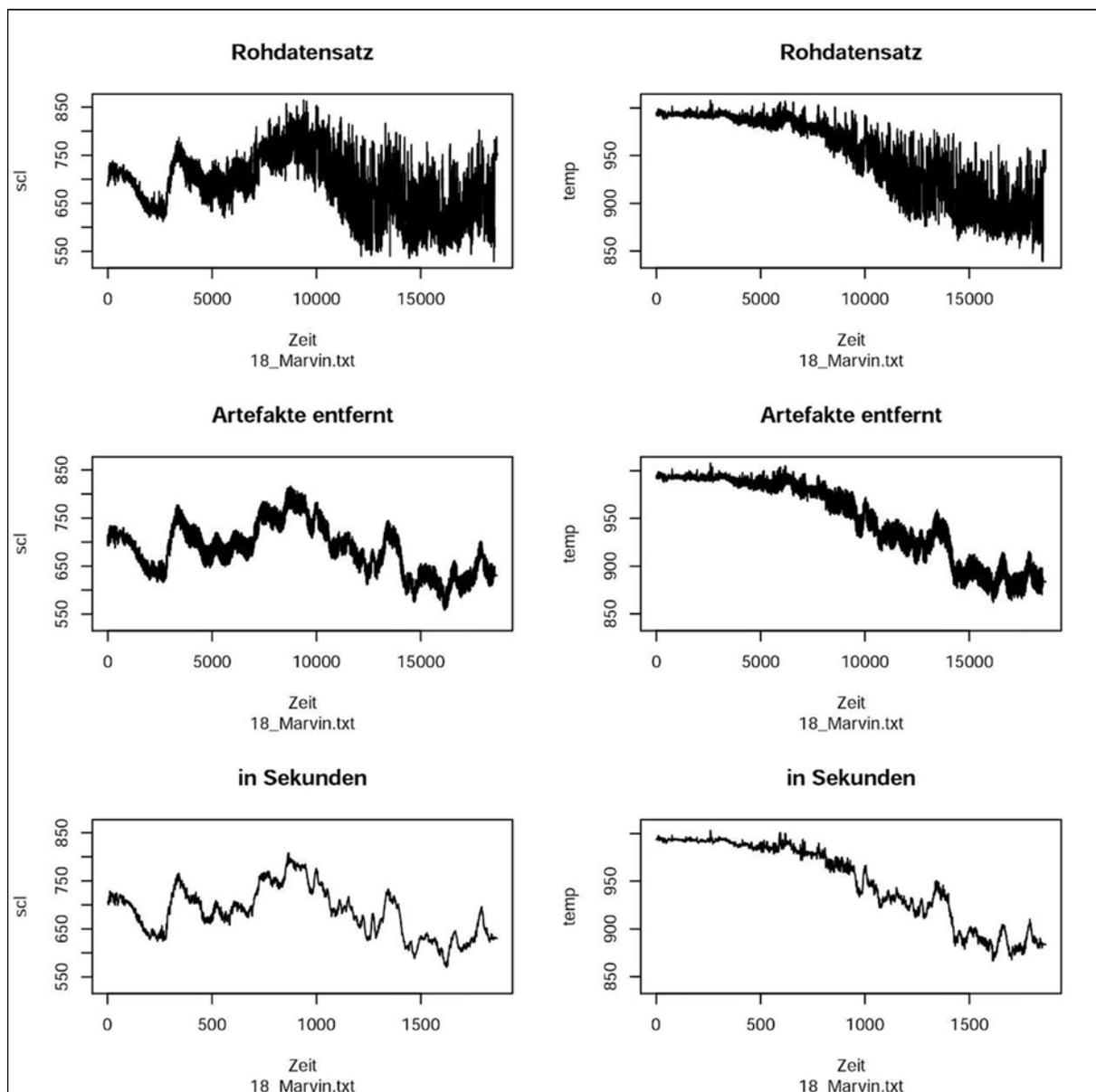
**Abbildung 43: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (2/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



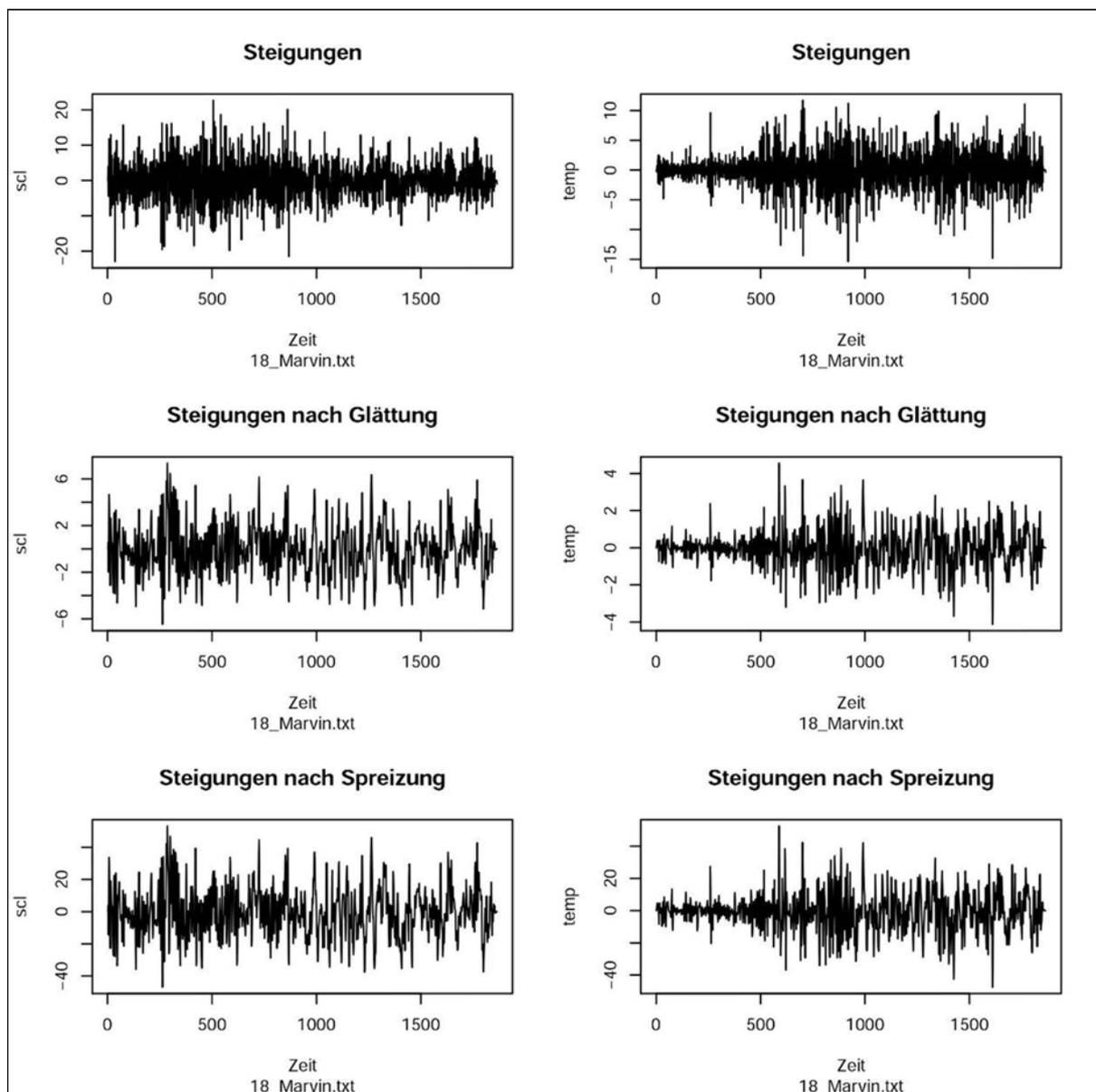
**Abbildung 44: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (3/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



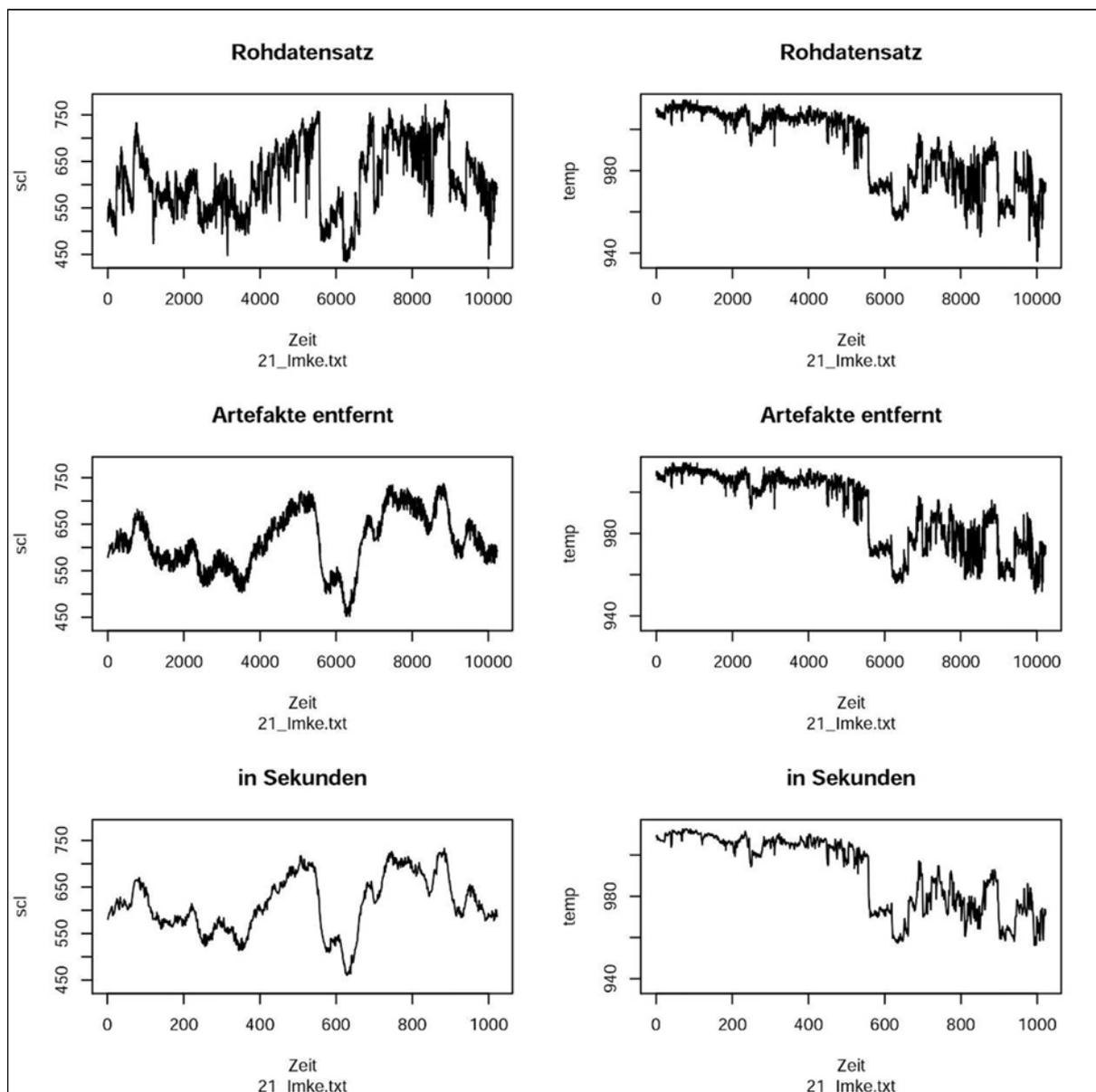
**Abbildung 45: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (4/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



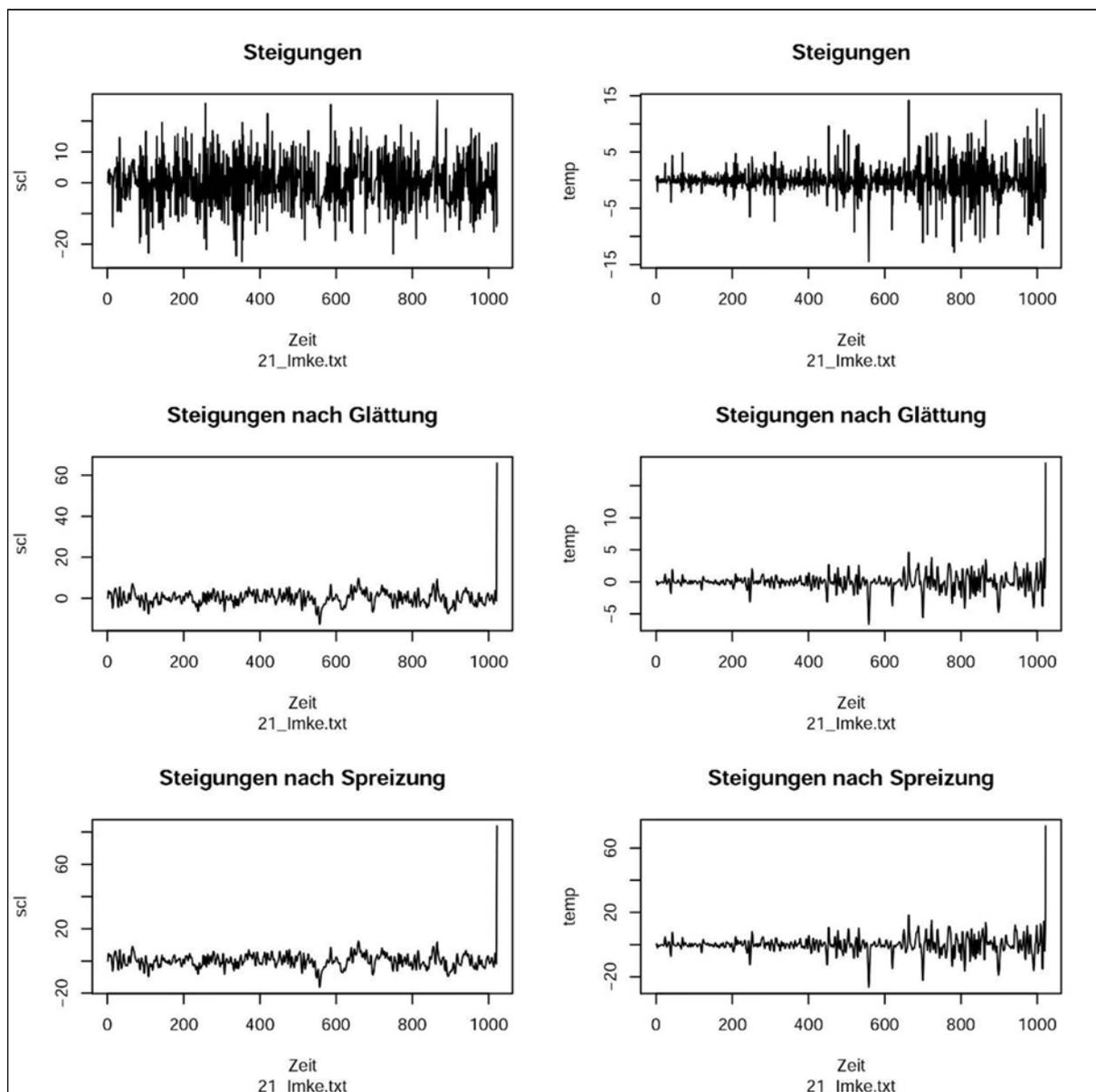
**Abbildung 46: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (5/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



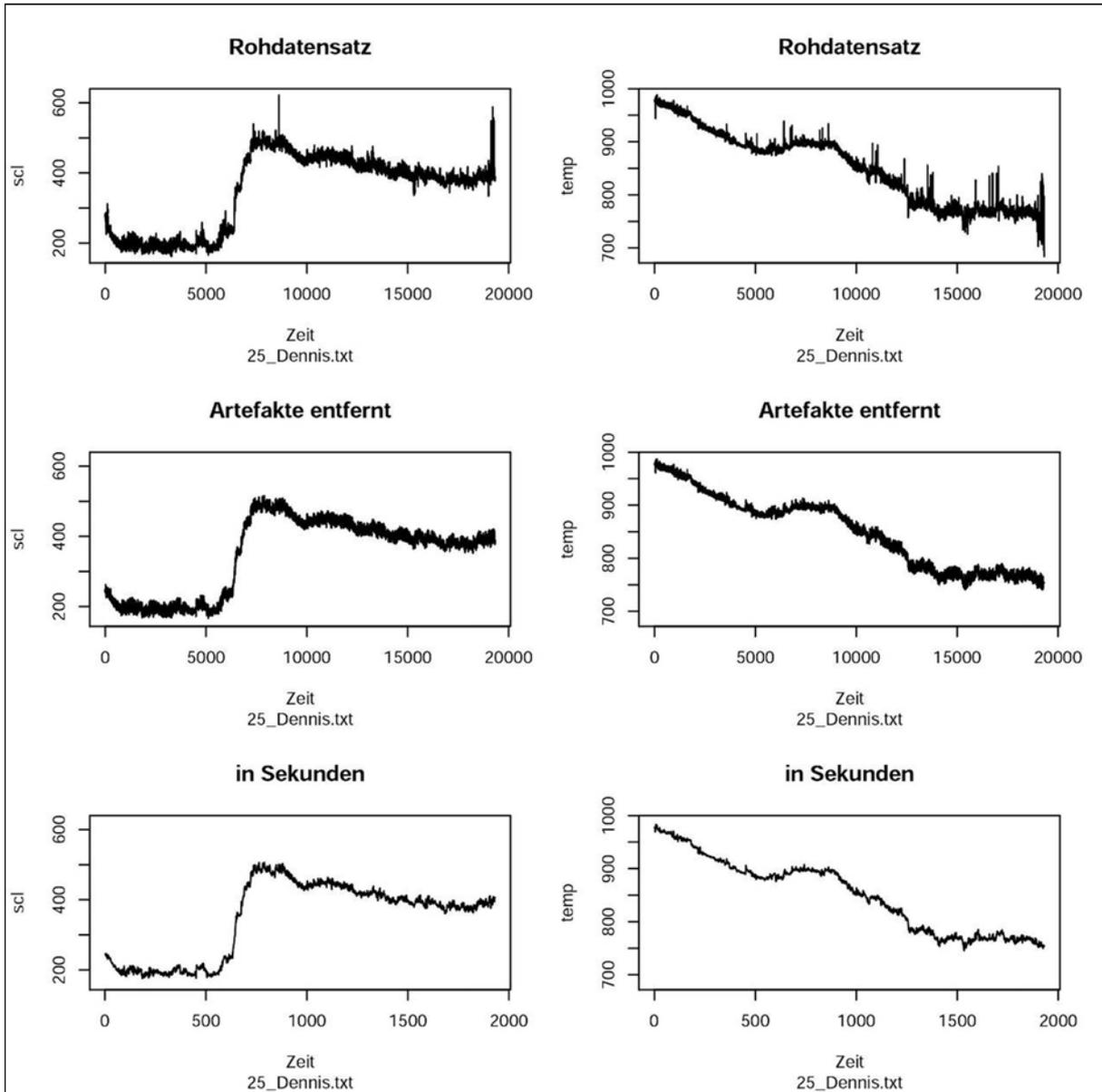
**Abbildung 47: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (6/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



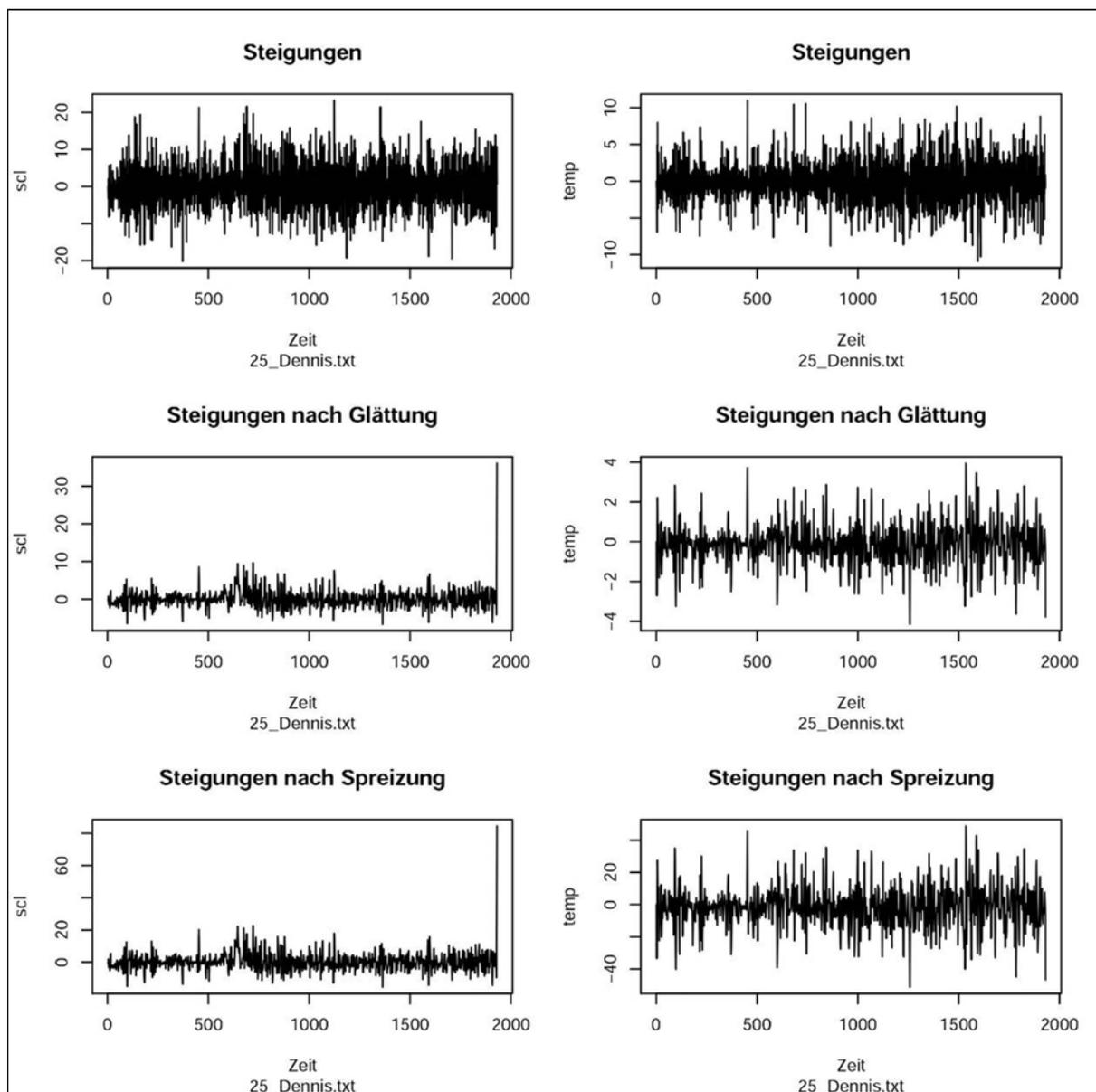
**Abbildung 48: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (7/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



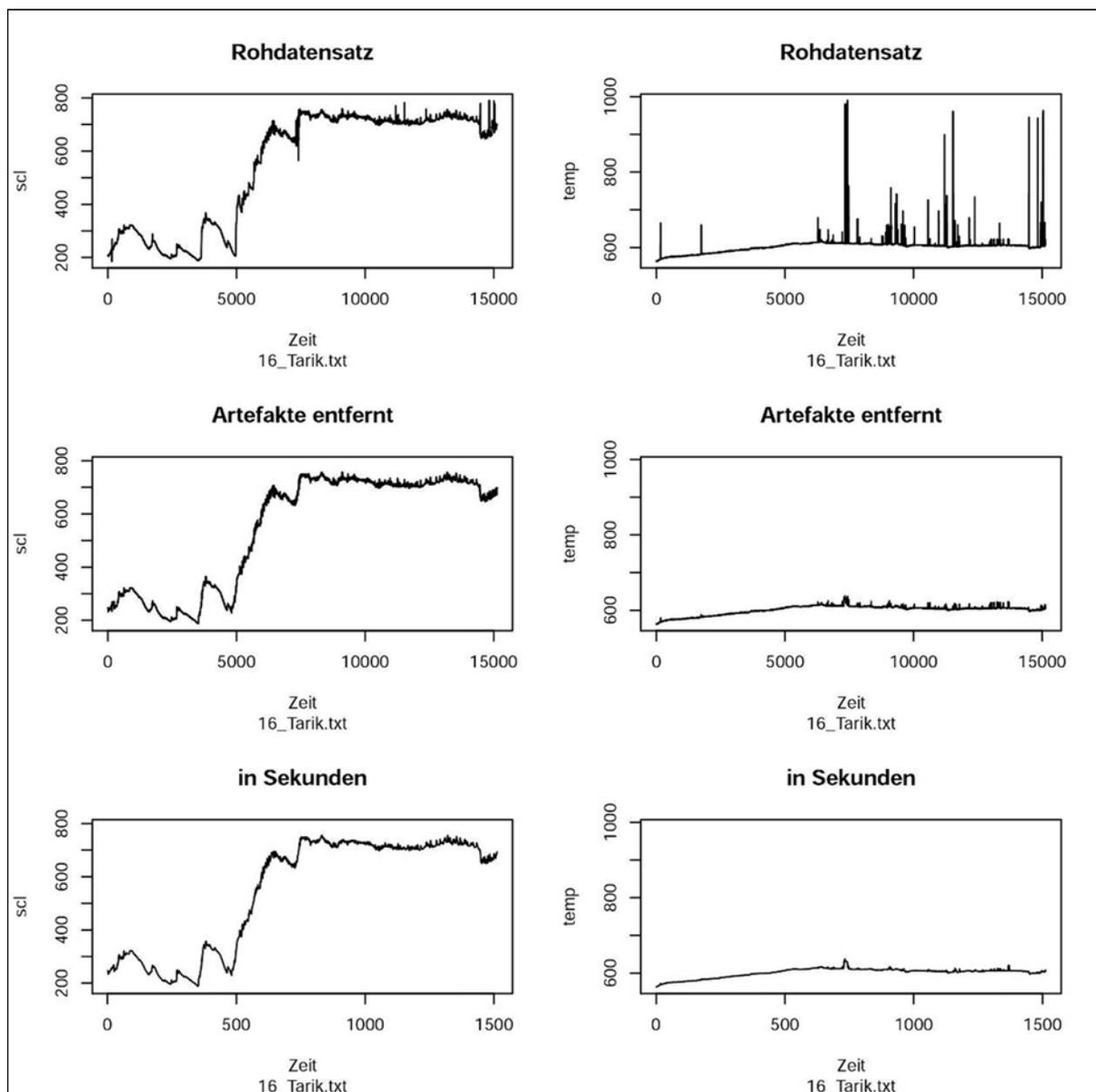
**Abbildung 49: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (8/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



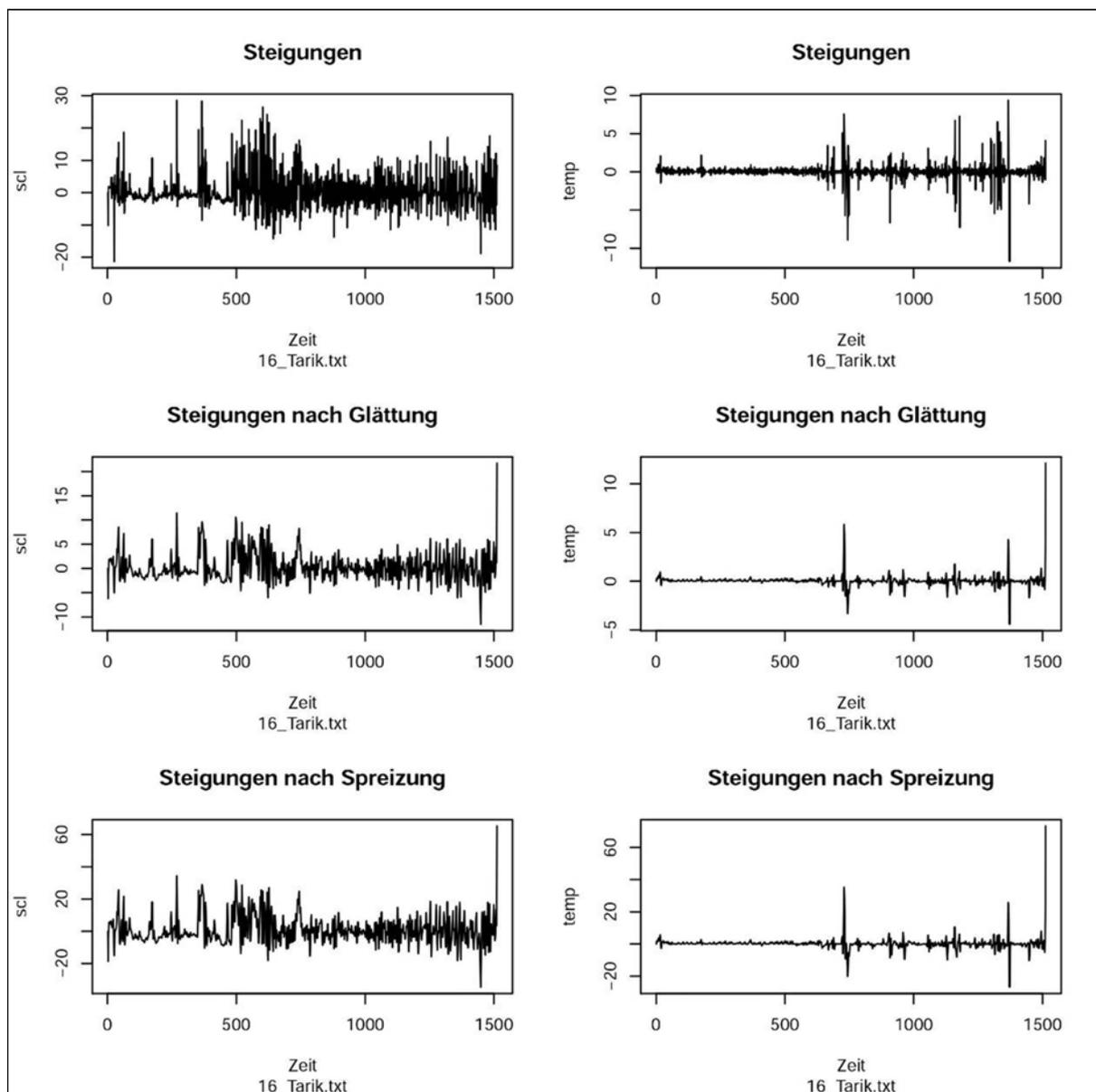
**Abbildung 50: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (9/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



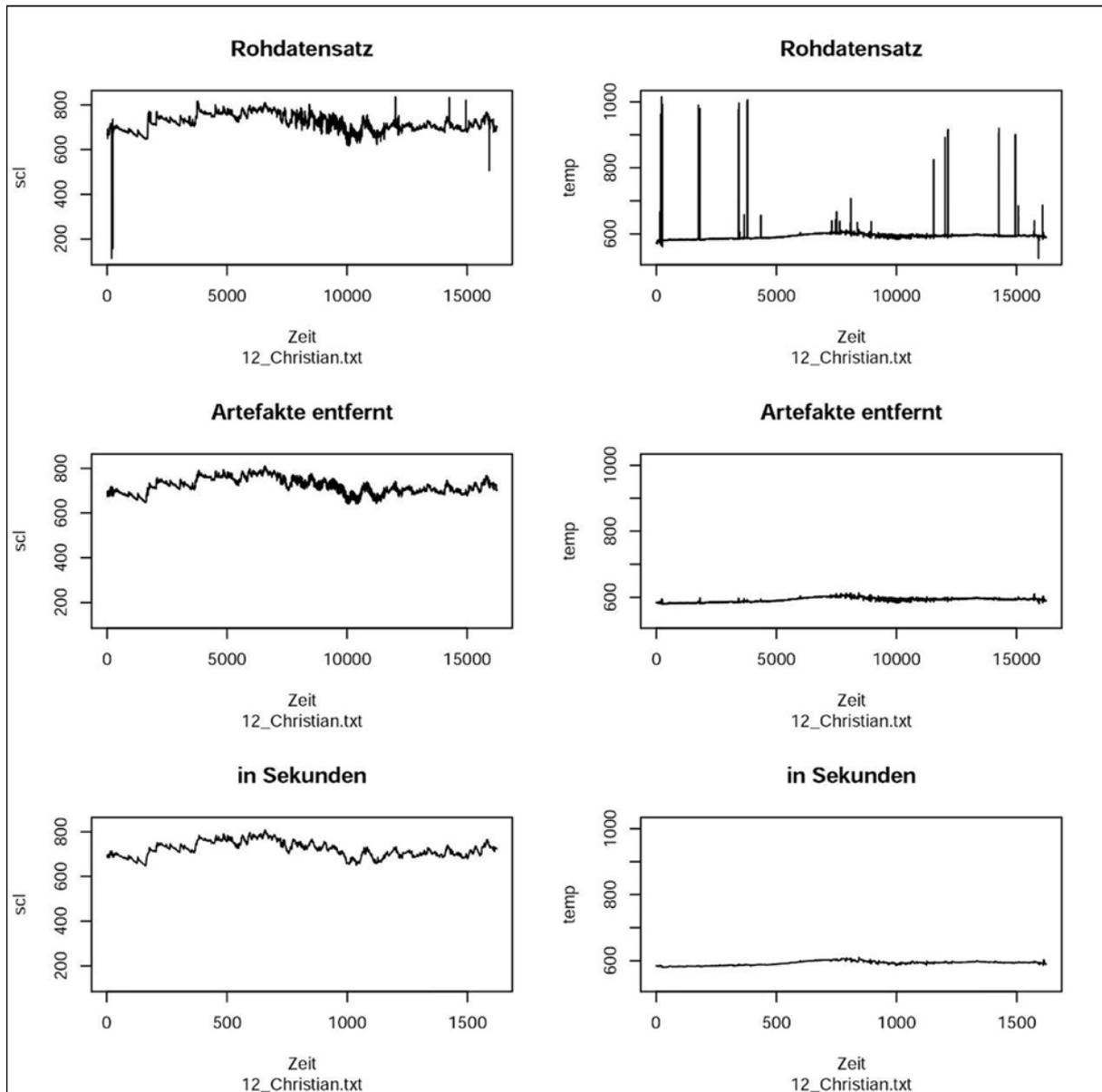
**Abbildung 51: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (10/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



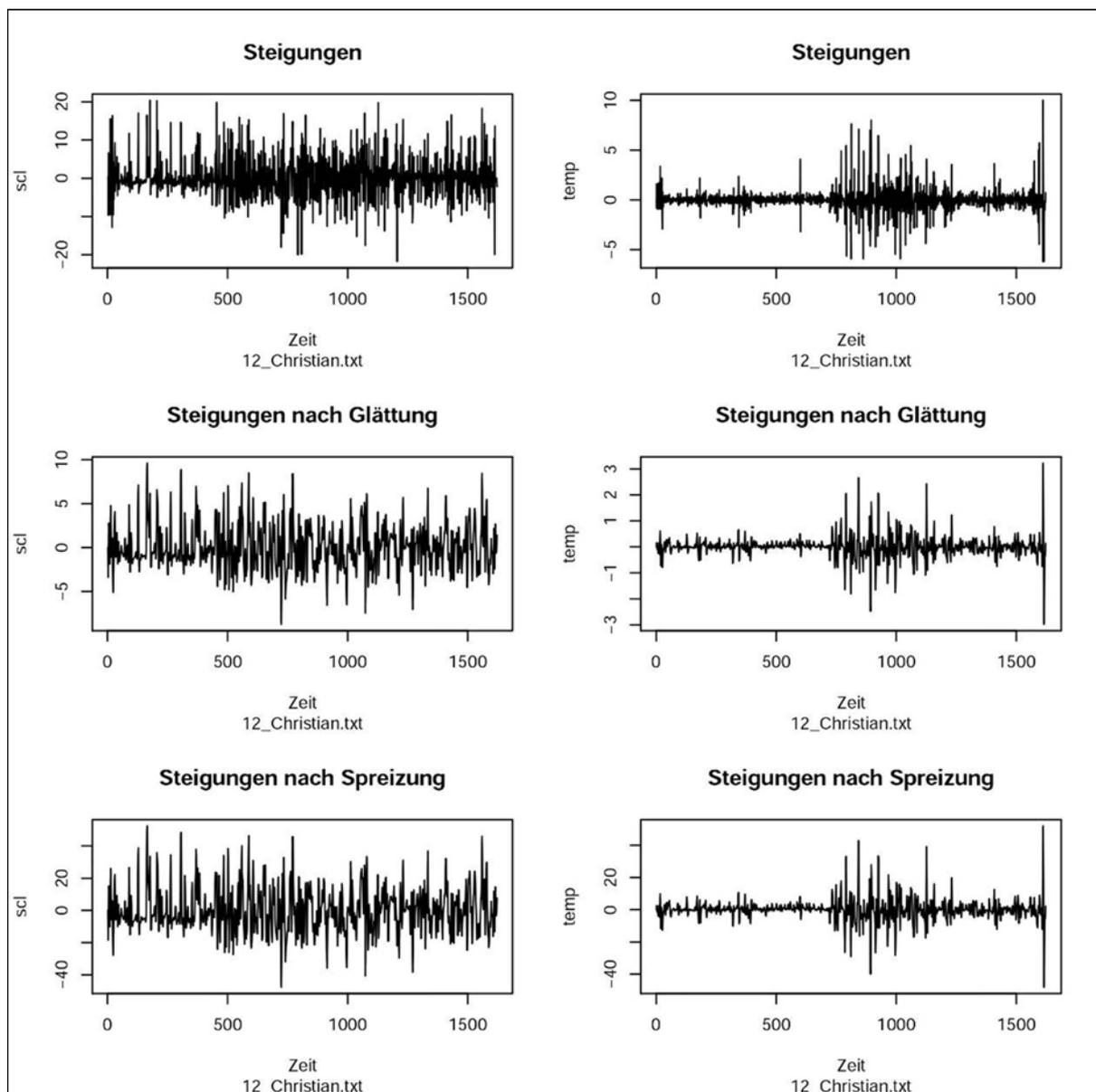
**Abbildung 52: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (11/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



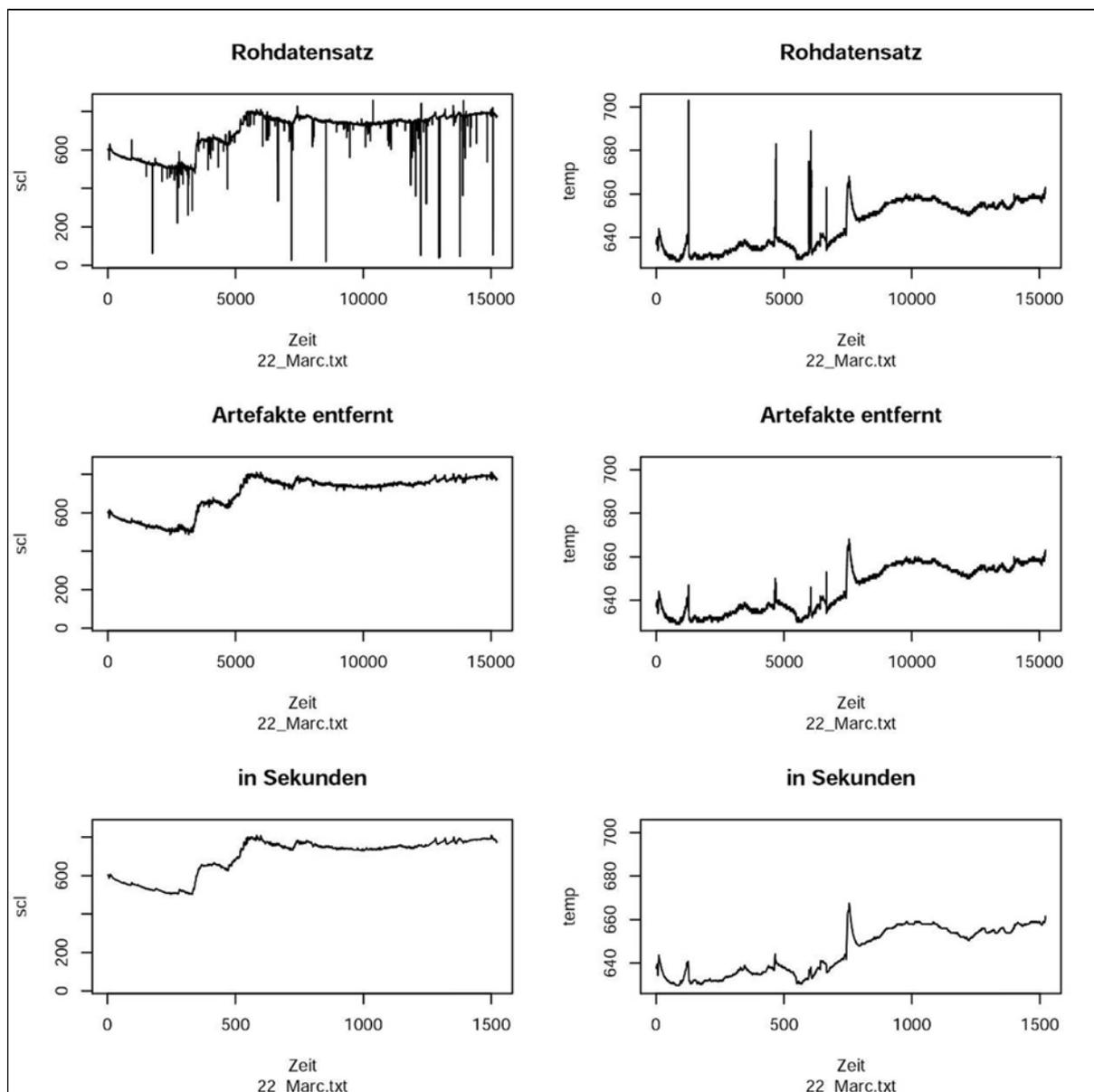
**Abbildung 53: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (12/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



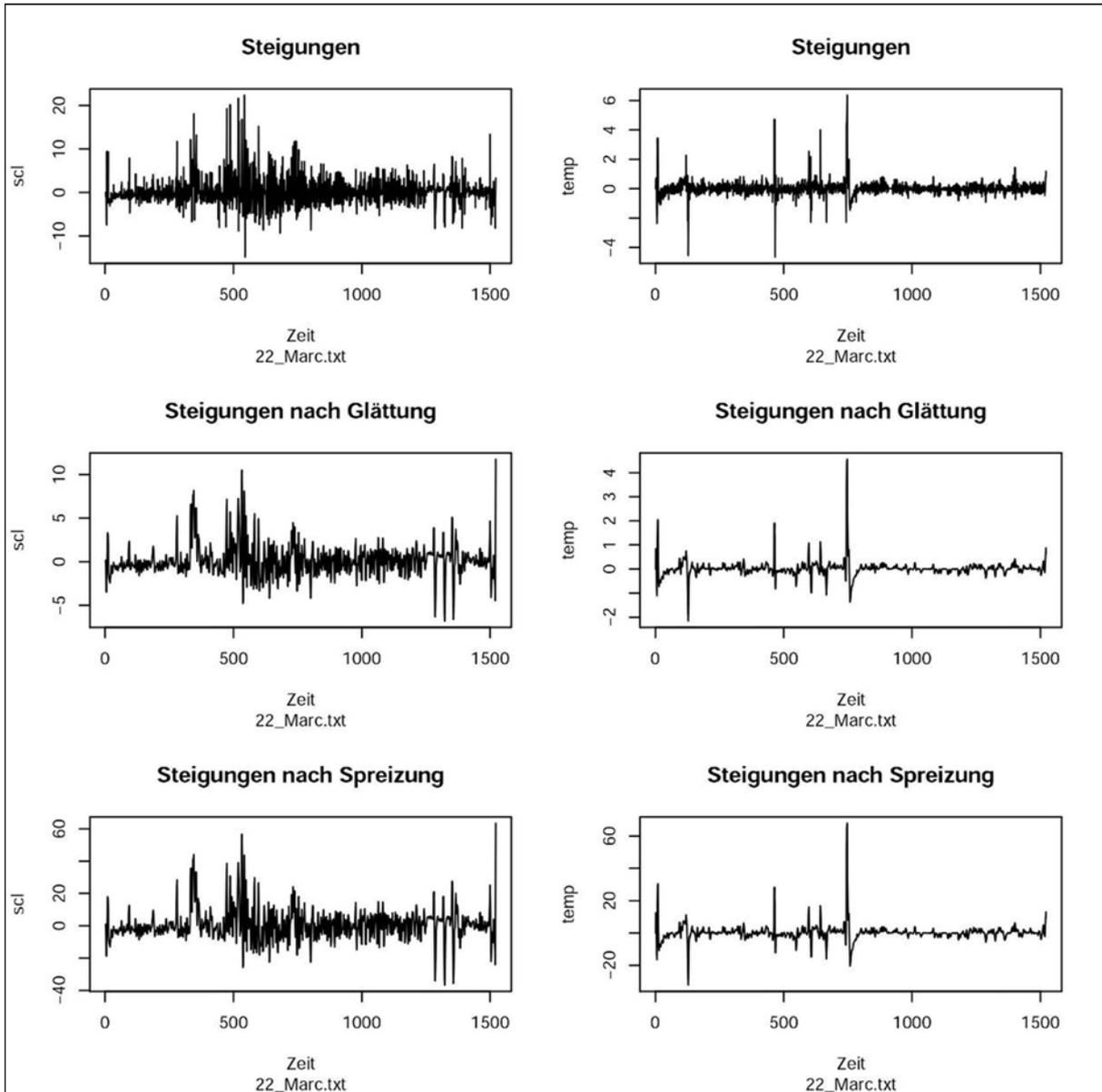
**Abbildung 54: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (13/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



**Abbildung 55: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (14/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**



**Abbildung 56: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (15/16)
 (Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
 Quelle: Eigene Darstellung**



**Abbildung 57: Ausschnitt aus dem Bericht der Messungen in Querenburg (16/16)
(Messung in verschiedenen Bearbeitungsschritten)
Quelle: Eigene Darstellung**