

Helmuth Eder BSc.

Untersuchungen zur Indoorpositionierung mittels Magnetfeld der Erde

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium Geospatial Technologies

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Wieser, Manfred, Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.

Institut für Geodäsie

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Betreuern Univ. Prof. Manfred Wieser und Dipl.-Ing. Thomas Moder für ihre ausgesprochen hilfreiche Unterstützung bedanken. Ebenso ist es mir wichtig, meinen Dank an Herrn Dipl.-Ing. Markus Dorn auszusprechen, der mir die richtungsweisenden Methoden der Sensorkalibrierung näher gebracht hat.

Zu großem Dank bin ich meiner Lebensgefährtin Frau Dr. Margaux-Denise Lassacher, die mir für alle notwendigen Datenerhebungen ihre Ordination als Messlokalität zur Verfügung gestellt hat, verpflichtet. Durch sie hatte ich die Möglichkeit, Messungen unter Laborbedingungen durchzuführen. Als helfende Hand stand sie bei Bedarf immer an meiner Seite, wodurch sich die Qualität der vorliegenden Arbeit mitunter erklären lässt.

Da während der Kalibrierungsphase auf Grund eines Materialbruchs Teile des verwendeten Messgerätes funktionslos waren und es keine Möglichkeit für eine neuerliche Anschaffung der defekten Komponenten gab, war die Leihgabe einer identen Hardware durch Fabian Streißl für die lückenlos angestellten Messreihen verantwortlich. Auch an ihn möchte ich ein großes Dankeschön für seine Unterstützung aussprechen.

Nicht zu Letzt gilt großer Dank meinen Eltern, die mir während des gesamten Studiums nicht nur finanziell unter die Arme gegriffen haben, sondern mir auch mit Rat und Tat stets zur Seite standen.

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der smartphonegestützten Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden. Da aktuelle Systeme zur Bestimmung der Position hauptsächlich von externer Software bzw. Hardware abhängig sind, wurde der Versuch gestartet, ein autarkes System zu entwickeln, welches in der Lage ist, innerhalb von Gebäuden den Standort eines Anwenders durch die Messung des punktuell variierenden Magnetfeldes zu bestimmen.

Somit teilt sich die vorliegende Arbeit in verschiedene Bereiche auf. Zur Einführung in die Thematik wird der Leser über eine Definition der Zielsetzung und des generellen Vorhabens informiert.

Der theoretische Teil befasst sich unter anderem mit physikalischem Grundwissen über die vorliegende Thematik, um ein besseres Verständnis für die Vorgänge im Nachstehenden zu haben.

Im Weiteren wird auf die Hardware- und Softwarekomponenten der aktuellen Smartphones eingegangen. Besonderes Augenmerk wird auf relevante Technologien gerichtet, welche im Folgenden für die Diplomarbeit nutzbar sein können.

Nach dem Ausloten aller Hardware- und Softwaremöglichkeiten wird in Folge versucht, relevante und der Diplomarbeit dienliche Elemente der aktuell einsetzbaren Technologien zu finden.

Die erste Selektion findet unter **Punkt 4** statt. Ab diesem Zeitpunkt wird zwischen relevanten und der praktischen Arbeit nicht dienlichen Techniken unterschieden.

Anschließend findet im Hauptteil dieser Arbeit ein systematisches Kennenlernen der verwendeten Hardware, sowie das Entwickeln notwendiger Softwareapplikationen zur Positionsbestimmung statt. Um einen Aufschluss betreffend der Leistung unterschiedlicher Smartphones zu erlangen, werden verschiedene Kapazitätsprüfungen herangezogen, um einen Überblick betreffend der Gesamtsituation zu erlangen. Ergänzend dazu findet eine Untersuchung zur Reduzierung des Sensorrauschens statt. Durch die Entwicklung einer universellen Kalibrierungsmethode werden zusätzlich Verzerrungen und Verschiebungen der Sensordaten beseitigt.

Abschließend wird eine Smartphoneapplikation entwickelt, welche mit reduziertem Sensorrauschen und durch Anwendung diverser Filtermethoden in kalibriertem Zustand in der Lage ist, die Position eines Anwenders durch die Messung der vorherrschenden Magnetfeldstärke im Abgleich mit vorab eingemessenen Referenzpunkten innerhalb eines Gebäudes zu bestimmen.

Abstract

The present work is concerned to smartphone-based positioning inside buildings. Since current systems for determining the position are mainly dependent on external software or hardware, this master thesis has been started to develop a self-sufficient system which is able to find the position of a user with the help of the Earth's magnetic field inside a building.

Thus, the following work is divided into several sections. As an introduction to the subject, the reader will be informed about all definitions of the objective and the general project.

At the theoretical part, the reader will get mediated a basic knowledge about the present subject matter to have a better understanding of the following processes.

Furthermore, there will be a discussion about the hard- and software components of the currently used smartphones in our society. Specifically this discussion is about relevant technologies that could be used for the master thesis.

The first selection takes place under **step 4**. From this point, a distinction is made between relevant and non-relevant techniques. In consequence, the main part of the master thesis begins.

To get the knowledge about the characteristics of the used Smartphones they were first tested about their capacity. Also the reader will be finally introduced to the relevant hard- and software components and will also get an advice in how to use the self-created software-applications.

Furthermore, there will be a scientific introduction how to reduce the sensor noise. After solving this problem, it was also necessary to find a universal calibration-method to eliminate the distortions and shifts of the sensor data.

Finally, two smartphone-applications (***FinalDestination*** / ***FindMyPosition***) were created to solve the given problems and to find the correct position of the user within a building.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Notwendigkeit der Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden	1
1.2. Ziele der vorliegenden Arbeit.....	2
1.3. Funktionelle Anforderung	2
1.4. Nichtfunktionelle Anforderungen.....	3
1.4.1. Hard- und Software des Gerätes	3
1.4.2. Externe Software.....	3
1.4.3. Externe Ressourcen.....	3
1.4.4. Verzicht auf serverbasiertes System.....	3
2. Theorie	4
2.1. Smartphones als ständiger Begleiter im Alltag.....	4
2.2. Einsatzorte des Smartphones	5
2.3. Das Smartphone verdrängt klassische Navigationsgeräte	7
2.4. Location-based Services	7
2.5. Technische Ausstattung zur Standortbestimmung	8
2.6. Smartphonegestützte Standortbestimmung innerhalb von Gebäuden	9
2.7. Klassifizierung indoorgestützter Positionierungsverfahren	10
2.8. Relevante Verfahren zur indoorgestützten Positionierung.....	12
2.8.1. Methode des „Location-based Wifi-Fingerprinting“	12
2.8.2. Anwendung des QR-Codes in Kombination mit Dead Reckoning.....	18
2.8.3. Szenenerkennung – Augmented Reality.....	25
2.8.4. Near Field Communication (NFC).....	32
2.9. Das Magnetfeld der Erde	35
2.9.1. Geodynamo	37
2.9.2. Ausrichtung des Magnetfeldes.....	38
2.10. Messverfahren und deren Eigenschaften.....	40
2.10.1. Relevante Messgeräte	41
2.10.2. Beeinflussung des Magnetfeldes durch die umgebende Infrastruktur.....	42
3. Relevanz neuer Technologien.....	44
3.1. Nutzbare Technik.....	44
3.1.1. Bewegungssensorik des Smartphones.....	45
3.1.2. Magnetfeldsensor.....	46

3.1.3.	<i>Die Smartphonekamera als Sensor für die Szenenerkennung</i>	47
3.1.4.	<i>NFC – Near Field Communication</i>	47
4.	<i>Argumentative Entscheidungsfindung für die weitere Forschungsarbeit</i>	49
4.1.	<i>Anforderungen an die zu erstellende Smartphoneapplikation</i>	49
4.2.	<i>Sensorkapazität – Sensorrauschen - Filtern und Kalibrieren</i>	50
4.3.	<i>Conclusio</i>	51
5.	<i>Praktischer Teil</i>	52
5.1.	<i>Probleme und Methoden</i>	52
5.2.	<i>Smartphone–Applikation „SensorLogger“</i>	52
5.2.1.	<i>UI (UserInterface)</i>	52
5.2.2.	<i>Kapazitätsprüfung</i>	53
5.2.3.	<i>Erhebung eines Rohdatensatzes – Ungefilterte Methode</i>	53
5.2.4.	<i>Datenerhebung - Arithmetische Mittelung</i>	54
5.2.5.	<i>Datenerhebung mit Filterung</i>	54
5.2.6.	<i>Kalibrierte Datenerhebung</i>	54
5.3.	<i>Smartphone-Applikation „LoggingPoints“</i>	55
5.3.1.	<i>UI (Userinterface)</i>	55
5.3.2.	<i>Methoden - LoggingPoints</i>	56
5.3.2.1.	<i>Unkalibrierte Messung der Magnetfeldstärke</i>	56
5.3.2.2.	<i>Kalibrierte Messung durch die Diagonale der Skalierungsmatrix</i>	56
5.3.2.3.	<i>Kalibrierte Messung durch die Offsetparameter</i>	57
5.3.2.4.	<i>Kalibrierte Messung durch die Offsetparameter und Diagonale der Skalierungsmatrix</i>	57
5.3.2.5.	<i>Kalibrierte Messung durch die Offsetparameter und die gesamte Skalierungsmatrix</i>	57
5.4.	<i>Kennlernen der Rahmenbedingungen, Charakteristik und Einflussfaktoren innerhalb einer Messung.</i>	57
5.4.1.	<i>Beschreibung der Messlokalität in der Ordination Dr. Margaux-Denise Lassacher</i>	57
5.4.2.	<i>Kapazität des Smartphones</i>	58
5.4.3.	<i>Anlaufzeit des Magnetfeldsensors</i>	59
5.4.4.	<i>Rauschen des Magnetfeldsensors</i>	59
5.4.5.	<i>Sensorrauschen</i>	60
5.4.6.	<i>Filtern des Sensorrauschens</i>	62
5.4.6.1.	<i>Anwenden des arithmetischen Mittels</i>	62
5.4.6.2.	<i>Filterung über Toleranzen</i>	64

5.4.7.	Temperaturabhängigkeit des Magnetfeldsensors.....	65
5.4.7.1.	Temperaturabhängigkeit:.....	65
5.4.8.	Ergebnis der Temperaturmessungen.....	66
5.5.	Entwickelte Methoden und Kalibrierung.....	69
5.5.1.	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.....	69
5.5.2.	Nachweis der Richtungsabhängigkeit - Rotationsmessungen	74
5.5.3.	Messungen mit unterschiedlichen Richtungen:	74
5.6.	Kalibrierung des 3-Achsen-Magnetometers.....	78
5.7.	Achsausrichtung des Magnetometers - Kriterien.....	79
5.7.1.	Laufradmessungen	79
5.7.2.	Paketschnurmessung – Rotation um die eigene Achse.....	80
5.7.3.	Messung mit Drehtisch.....	82
5.7.4.	Parameterschätzung für die Kalibrierung des Smartphone–Magnetometers.....	85
5.8.	Analyse der Messmethoden anhand des Ergebnisses der Parameterschätzung.....	87
5.8.1.	Analyse Laufradmessung.....	87
5.8.2.	Analyse Fadenmessung.....	88
5.8.3.	Analyse Messtisch	89
5.8.4.	Conclusio Methoden.....	89
5.9.	Ergebnis / Schätzungsparameter	90
5.9.1.	Gegenüberstellung der Kalibrierungsmöglichkeiten durch den Einsatz der berechneten Parameter	91
5.9.2.	Variante 1	92
5.9.3.	Variante 2	92
5.9.4.	Variante 3	92
5.9.5.	Variante 4	92
5.9.6.	Variante 5	92
6.	Entwickelte Applikationen.....	94
6.1.	Smartphoneapplikation „FinalDestination“	94
6.1.1.	UI (Userinterface).....	94
6.1.2.	Methoden der Applikation (FinalDestination).....	95
6.2.	Einmessen der Referenzpunkte am Institut für Geodäsie.....	97
6.2.1.	Ergebnis.....	97
6.2.1.1.	Pretest	98

6.2.1.2.	<i>Finalisierende Referenzpunktmessung</i>	99
6.3.	<i>Entwicklung der Applikation FindMyPosition</i>	103
6.3.1.	<i>UI (Userinterface)</i>	103
6.3.2.	<i>Orthogonale Transformation (Rotationsmatrix)</i>	109
6.3.3.	<i>Conclusio</i>	110
6.4.	<i>Evaluierung von FindMyPosition</i>	111
6.4.1.	<i>Kalibrierung</i>	112
6.4.2.	<i>Verifizierung Software-Applikationen</i>	114
6.4.3.	<i>Verifizierung der Referenzpunkte</i>	114
6.5.	<i>Conclusio</i>	116
7.	<i>Resümee</i>	117
8.	<i>Literatur</i>	118
9.	<i>Internetliteratur PDF</i>	119
10.	<i>Internetlinks</i>	121

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Benutzung von mobilen Endgeräten mit Internetzugang außerhalb des Hauses	4
Tab. 2	Magnetische Flussdichte verschiedener Baustoffe	43
Tab. 3	Eckdaten der verwendete Smartphones	44
Tab. 4	Liste der in den verwendeten Smartphones verbauten Beschleunigungssensoren	46
Tab. 5	Liste der in den verwendeten Smartphones verbauten Magnetfeldsensoren	47
Tab. 6	Kapazitätsprüfung der verwendeten Smartphones.....	59
Tab. 7	Sensorrauschen- LG Nexus5 u. Samsung Galaxy S4 in x-Richtung.....	60
Tab. 8	Sensorrauschen- LG Nexus5 u. Samsung Galaxy S4 in y-Richtung.....	60
Tab. 9	Sensorrauschen- LG Nexus5 u. Samsung Galaxy S4 in z-Richtung.....	61
Tab. 10	Erhebung der Zeit des Rechenprozesses für die arithmetische Mittelung mit verschiedenen Intervallen	63
Tab. 11	Sensorrauschen vor und nach der Berechnung des arithmetischen Mittels	63
Tab. 12	Gegenüberstellung der Rohdaten mit der Filter- bzw. Mittelungsmethode und der finalisierenden Kombinationsvariante.....	65
Tab. 13	Tabellarische Darstellung des aufgeklebten Messfeldes mit vorgegebener Bewegungsrichtung über eine Nummerierung.....	70
Tab. 14	Aufschlüsselung von drei gleich orientierten Messdurchläufen (nach Norden gerichtet) im Messfeld	71
Tab. 15	Aufschlüsselung aller Messdurchläufe (separiert durch ihre räumliche Ausrichtung) im Messfeld.	72
Tab. 16	Ausschnitt der Daten nach den verschiedenen Messmethoden – Darstellung des Unterschiedes zwischen Erst- und Endmessung nach Steigerung der Präzision	91
Tab. 17	Rotationsmessung am Tisch - Darstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Varianten einer Messserie	93
Tab. 18	Ergebnisauswertung der Referenzpunktmessungen im 3. OG des Institutes für Geodäsie in der Steyrergasse 30 der TU Graz.....	98
Tab. 19	Tabellarische Darstellung der PVC-Rohrmessreihen um 09:00 Uhr	101
Tab. 20	Tabellarische Darstellung der PVC-Rohrmessreihen um 13:00 Uhr	101
Tab. 21	Tabellarische Darstellung der PVC-Rohrmessreihen um 21:00 Uhr	102
Tab. 22	Tabellarische Darstellung einer Abweichungsberechnung zwischen den Messungen je Tageszeit	102
Tab. 23	Tabellarische Darstellung einer Abweichungsberechnung zwischen den Messungen je Tageszeit	103
Tab. 24	Technische Daten Honor 7.....	112
Tab. 25	Berechnete Schätzungsparameter zur Kalibrierung des Honor 7	113
Tab. 26	Tabellarische Auswertung der Referenzpunktmessungen (Ergebnis – Länge des Magnetfeldvektors in μT).....	114
Tab. 27	Tabellarische Darstellung der Referenzpunkterkennung von FindMyPosition mit Hilfe des PVC-Rohres	115
Tab. 28	Tabellarische Darstellung der von Hand eingemessenen Referenzpunktüberprüfung.....	115
Tab. 29	Tabellarische Darstellung des Drifts der z-Achse zwischen der ersten und sechsten Messperiode	116

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Befragung des Hightec-Verbandes BITKOM zum Thema Handy als ständiger Begleiter (für Deutschland).....	5
Abb. 2	Einsatzorte der Smartphonennutzung in Deutschland.....	6
Abb. 3	Onlineverhalten von Smartphonennutzern in Deutschland.....	6
Abb. 4	Darstellung eines WLAN Accesspoints mittels RadioMap.....	12
Abb. 5	Darstellung der Marktanteile nach Smartphone-Betriebssystem.....	16
Abb. 6	Berücksichtigung der Richtung des Benutzers zur Verbesserung der Positionsberechnung.....	17
Abb. 7	Darstellung eines QR-Codes (Quick Response Code) inklusive der Binärcodebeschreibung in Textform.....	19
Abb. 8	Gangbild eines Menschen und die draus resultierenden Kräfte in die x-/y- und z-Richtung. (a) Messung der Horizontalkräfte beim Gehen – positive Beschleunigungswerte beschreiben die Bewegung des Beines nach vorne, negative Werte die Bewegung des Beines nach hinten (b)	21
Abb. 9	Vertikale Geschwindigkeits- (rot) und Beschleunigungskomponente (grün) beim Gehen.....	21
Abb. 10	Darstellung des schematischen Aufbaues eines Beschleunigungssensors von Bosch.....	22
Abb. 11	Augmented Reality – Szenenerkennung mit Informationseinblendung.....	26
Abb. 12	Schematische Darstellung der möglichen Prozesse einer Software zur Szenenerkennung in Verbindung mit Augmented Reality.....	27
Abb. 13	Darstellung eines Bildes (A), eines Analyseelementes (B) und der entsprechenden Grauwerttabelle (C).....	28
Abb. 14	Häufigkeitsanalyse der Farbwerte einer Szene des Pre-Processings.....	28
Abb. 15	Peakverteilung des Bildausschnittes in Abb. 13 (angegeben in Pixel-Farbwerten / markiert in rot).....	29
Abb. 16	Near Field Communication RFID-Tags.....	32
Abb. 17	NFC als Bezahlungsform via Bankomatkasse.....	33
Abb. 18	Peer to Peer Kommunikation zwischen zwei Smartphones.....	33
Abb. 19	Darstellung des Erdmagnetfeldes (Dipolfeld).....	35
Abb. 20	Darstellung des Einflusses von Sonnenwinden auf das Erdmagnetfeld.....	36
Abb. 21	Darstellung des Erdmagnetfeldes und dessen Inklinationwinkel.....	37
Abb. 22	Darstellung des Erdmagnetfeldes mit vereinfachter Dipoldarstellung im Außenbereich.....	38
Abb. 23	Darstellung des Hall-Effektes mittels Hall-Sensor.....	42
Abb. 24	Darstellung der kardanischen Blockade (grün = x-Achse, blau = y-Achse, violett = z-Achse)...	46
Abb. 25	Startscreen, Measurementscreen und Measurementscreen in Aktion; (Smartphoneapplikation SensorLogger).....	53
Abb. 26	User-Interface Smartphoneapplikation LoggingPoints – Startscreen u. Measurementscreen....	56
Abb. 27	Darstellung des Messaufbaues für die Erhebung der Speicherkapazität sowie aller Schätzungsparameter für die Kalibrierung.....	58
Abb. 28	Andeutung der baulichen Struktur (Gewölbe) und der Klimatisierungsautomatik.....	58
Abb. 29	Langzeitmessung der Magnetfeldstärke je Achse mit LG Nexus 5.....	61
Abb. 30	Langzeitmessung der Magnetfeldstärke je Achse mit Samsung Galaxy S4.....	61
Abb. 31	Visuelle Darstellung des unbeeinflussten und durch das arithmetische Mittel beeinflussten Ergebnisses.....	63
Abb. 32	Darstellung der Unterschiede zwischen den Rohdaten und einer Kombination aus Filterung durch den Einsatz von Toleranzen und einer Mittelung.....	64

Abb. 33	Teilergebnis der Temperatur-Langzeitmessungen mit dem Samsung Galaxy S4	67
Abb. 34	Darstellung des Drifts der x- / y- u. z-Achse bei einem Temperaturanstieg	67
Abb. 35	Darstellung des Drifts der x- / y- u. z-Achse bei einem Temperaturabfall innerhalb einer Messung (Hälfte 1 30 min).....	68
Abb. 36	Darstellung des Drifts der x- / y- u. z-Achse bei einem Temperaturanstieg innerhalb einer Messung (Hälfte 2 – 30 min).....	68
Abb. 37	Aufgeklebtes Messfeld im Korridor der TU-Graz (Steyrergasse 30).....	69
Abb. 38	Darstellung des Messaufbaues mit eingefärbten Messquadraten um die jeweilige Länge des Magnetfeldvektors darzustellen	73
Abb. 39	Darstellung des benutzten Tisches zur Überprüfung der Richtungsabhängigkeit und Maße des abgeklebten Rotationsbereiches.....	74
Abb. 40	Messergebnis der Ausgangssituation – Rotationsdaten am Messtisch – Vergleich Messung mit und ohne menschlichem Einfluss	75
Abb. 41	Messung der Richtungsabhängigkeit ohne menschlichem Einfluss und Berechnung der Abweichung vom Mittelwert.....	76
Abb. 42	Messung der Richtungsabhängigkeit mit menschlichem Einfluss und Berechnung der Abweichung vom Mittelwert.....	77
Abb. 43	Darstellung einer optimalen Magnetfeldmessung (blau) mit dem Vergleich zu einer verzerrten (BIAS) und verschobenen (Offset) Aufnahme bei unverändertem Ursprung.....	78
Abb. 44	Darstellung der Laufradmessung.....	80
Abb. 45	Schematisch dargestellter Messaufbau mit entsprechenden Abmessungen.....	81
Abb. 46	Darstellung der Befestigungsmethoden des Messaufbaues der Paketschnurmessungen.....	81
Abb. 47	Darstellung einer unkalibrierten Messung (Rotation mit Faden)	82
Abb. 48	Ergebnis einer Magnetfeldmessung mit dem Laufrad.....	84
Abb. 49	Ergebnis einer Magnetfeldmessung durch die Rotation an einem Faden	84
Abb. 50	Ergebnis einer Magnetfeldmessung am Messtisch	84
Abb. 51	Darstellung einer unkalibrierten Magnetfeldmessung durch die Rotation an einem Faden sowie einer kalibrierten Messung nach Durchführung einer Parameterschätzung	87
Abb. 52	Darstellung der Sensorpositionen mit Vermessung des Hardware-Offsets.....	88
Abb. 53	Darstellung einer Messreihe am Messtisch je Achsrichtung	90
Abb. 54	Darstellung des Userinterface der Software-Applikation „FinalDestination“.....	95
Abb. 55	Darstellung des Messaufbaues für das Einmessen der finalisierenden Messpunkte.....	96
Abb. 56	Darstellung der Hauptproblematiken der Handmessung	96
Abb. 57	Gebäudeplan – Steyrergasse 30 / 3.OG mit den eingezeichneten Referenzpunkten eines Messdurchlaufes.....	97
Abb. 58	Visuelle Darstellung der Referenzpunktproblematik – Entscheidungsbegründung bezogen auf die Anwendung eines Differenzierungsalgorithmus.....	100
Abb. 59	Darstellung des Screenshots und der Kalibrierungsactivity.....	104
Abb. 60	Darstellung des Test Menüs eines Android OS (Android Operating Systems).....	105
Abb. 61	Darstellung des Startscreens und des Navigation Drawers von FindMyPosition.....	106
Abb. 62	Darstellung – Korridor vom Institut für Geodäsie mit markierten Türschildern.....	107
Abb. 63	Darstellung eines Türschildes der Büros im dritten Stock des Institutes für Navigation im Originalzustand, sowie einer Darstellung des Schildes mit seinen eingezeichneten Renderfeatures	107

Abb. 64 Darstellung der in die interne Datenbank aufgenommenen Türschilder..... 108
Abb. 65 Darstellung der manuellen Eingabemöglichkeit zur Definition des aktuellen Userstandortes .. 108
*Abb. 66 Darstellung aller möglichen Standorte des Users in einem Stockwerk über die Gesamtansicht,
sowie der Einzelpunktdarstellung über die selektierte Ansicht..... 109*

1. Einleitung

1.1. Notwendigkeit der Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden

Die mobile Positionsbestimmung und Navigation ist ein durch die vorhandene Sensorik ermöglichtes Feature, welches mittlerweile von so gut wie jedem handelsüblichen Smartphone unterstützt beziehungsweise angeboten wird. Die damit verbundene Informationsflut ist dermaßen groß, dass dem User die Vorbereitung im Vorfeld weitestgehend abgenommen wird. Dadurch entsteht gegenüber Navigationssystemen eine hohe Erwartungshaltung, welche für satellitengestützte Endgeräte meist vor den Toren von Gebäuden endet. Auch wenn verschiedene Methoden wie die WiFi unterstützte Navigation (*Wifi-Fingerprinting*) oder die Zellortung als Indoornavigation verwendet werden können, so haben beide Systeme einen großen Nachteil:

„Sie sind nicht autonom“

Je größer ein Gebäude ist, desto unübersichtlicher wird es auch. Vor allem für Ortsfremde kann die Suche nach einer bestimmten Lokalität innerhalb eines Gebäudes zum Spießrutenlauf werden. Somit drängt sich oftmals der Wunsch nach einer Navigationshilfe innerhalb eines Gebäudes auf. Ebenso wie die Lagegenauigkeit, spielt in weiterer Folge auch die Aktualität der Informationen eine wesentliche Rolle. Während Beschilderungen oftmals veraltet oder aufgrund diverser Umstände schlecht bis schwer lesbar angebracht sein können, bleibt das Smartphone hauptsächlich im Fokus des Benutzers und dessen Informationsgehalt stets am neuesten Stand. Befindet man sich in einem Gebäude, so ist man generell auf die vorhandene Informationsinfrastruktur angewiesen. Bei den ständigen Änderungen im laufenden Betrieb können fix angebrachte Orientierungshilfen dahingehend falsche Informationen liefern, wodurch eine Positionierung über ein dynamisch änderbares System von Vorteil wäre.

Ebenfalls finden sich Szenarien, in denen analoge Informationen das Wirken einer bestimmten Situation gänzlich stören. Man denke an Museen oder Kunstgalerien, in denen geschmacklose Hinweisschilder den Gesamteindruck eines Raumes erheblich beeinträchtigen können.

Außerdem gibt es Szenarien, in denen es erst gar nicht möglich ist, ein Hinweisschild zu finden beziehungsweise zu lesen. Bei Rauchentwicklung kann man mit viel Glück gerade noch die Hand vor den Augen erkennen, jedoch nicht in die Ferne sehen. Daher drängt sich die Notwendigkeit eines unabhängigen Systems mehr und mehr in den Vordergrund. Bisherige Anwendungen wie dem *Wifi-Fingerprinting* oder der *Cellularen Ortung* nutzen in der Regel eine zweckmäßig eingeführte und speziell abgestimmte Infrastruktur. Teilweise wird auf die bereits vorhandene Infrastruktur zurückgegriffen, welche im Ernstfall zu einem Totalausfall des Indoornavigationssystems führen kann, denn gerade im Brandfall ist eine der vielen Feuerwehrmaßnahmen die Abschaltung der elektrischen Energiezufuhr.

1.2. Ziele der vorliegenden Arbeit

Im Zuge dieser Arbeit wird der Versuch gestartet, ein smartphonebasiertes Indoornavigationssystem zu entwickeln, welches durch die Messung des Magnetfeldes innerhalb eines Gebäudes, sowie der Anwendung von Umgebungsanalysemethoden (***bildgesteuerte Lokalisierung***) die Position des Benutzers ermittelt.

Unter Annahme der Hypothese:

„Die Messbarkeit der Schwankungen des Magnetfeldes der Erde, bezogen auf die Abweichung durch verschiedenste Baustoffe eines Gebäudes, ermöglicht die Positionsbestimmung über den Magnetfeldsensor eines Smartphones.“

wird versucht, einen Prototyp unter Verwendung der angesprochenen Methode und Sensorik (***Magnetfeldsensor***) beziehungsweise Bildanalysemethode (***bildgesteuerte Lokalisierung***) zu erstellen. Mit dem Fokus auf die Umsetzbarkeit der vorliegenden Idee, wird die Entwicklung der notwendigen Software auf eine ausgewählte Lokalität (***Technische Universität / Institut für Geodäsie, Steyrergasse 30/II***) beschränkt.

Als Endprodukt wird eine Smartphoneapplikation angestrebt, welche

- *den Startpunkt eines Benutzers lokalisiert*
- *dessen Position in Abhängigkeit der Tageszeit (sofern Schwankungen bezogen auf die Tageszeit vorhanden) über den Magnetfeldsensor bestimmt*
- *die ermittelte Position auf einem Gebäudeplan ausweist*

1.3. Funktionelle Anforderung

Nach dem Start der entwickelten Smartphoneapplikation müssen mehrere Prozesse in Gang gesetzt werden. Da davon auszugehen ist, dass äußere Störeinflüsse wie ein unterschiedlich auftretender Stromverbrauch oder die differierende Anzahl an Menschen innerhalb eines Gebäudes, bezogen auf die vorab eingemessenen Referenzpunkte tageszeitabhängigen Schwankungen unterliegen, muss beim jedem Start der entwickelten Software die Uhrzeit des Smartphones vorab ausgelesen werden. Dadurch kann eine Differenzierung zwischen den Tageszeiten in Bezug auf die eingemessenen Standorte stattfinden.

Danach ist eine Standortlokalisierung notwendig. Da die Möglichkeit besteht, dass die Positionierungspunkte zu geringe Unterschiede aufweisen und sich der Benutzer durch diese Äquivalenz in mehreren Punkten im Gebäude befinden könnte, kommt in Folge die Technik der ***bildgesteuerten Lokalisierung*** zum Einsatz. Aus diesem Grund wird über den Startprozess die Kamera des Smartphones aktiviert, um damit die umliegende Umgebung zu erfassen, welche eindeutigen Aufschluss über den Standort des Benutzers gibt.

1.4. Nichtfunktionelle Anforderungen

1.4.1. Hard- und Software des Gerätes

Um das beschriebene System in die Realität umsetzen zu können, müssen bestimmte Hardware- und Softwareressourcen gegeben sein. So sind für die Umsetzung der angestrebten Smartphoneapplikation das Vorhandensein eines Magnetfeldsensors sowie die Autofokusfunktion der Smartphonekamera erforderlich. Zusätzlich wurde für dieses Projekt beschlossen, auf dem *Operating System (OS) Android 4.0* und höher zu arbeiten, da im Handel keine älteren Versionen mehr verkauft werden und es sich aus programmier- sowie designtechnischen Vorteilen besonders anbietet.

1.4.2. Externe Software

Beim Rendering für die *Szenenerfassung* wird auf eine vorgefertigte Applikation von *Vuforia* zurückgegriffen. Mit dieser kann eine Datenbank für die Renderpunkte erstellt werden. **[VUFORIA]**

Als Entwicklungsumgebung bietet sich *Android Studio (Beta v0.8.6)* sowie das offizielle *Eclipse ADT-Bundle (adt-bundle-mac-x86_64-20140702)* an. **[ANDROID]**

Bei der Notwendigkeit einer dreidimensionalen Darstellung wird auf *Unity-3D (v.4.5.3)* zurückgegriffen. **[UNITY-3D]**

1.4.3. Externe Ressourcen

Die Kartendarstellung am Display wird in Anlehnung an den originalen Gebäudeplan mit Hilfe einer Bildbearbeitungssoftware (*PixelMator v.3.1*) angefertigt.

1.4.4. Verzicht auf serverbasiertes System

Die Entscheidung, für die im Folgenden getätigte Untersuchung kein serverbasiertes System zu entwickeln, ergibt sich aufgrund des Strebens, die Machbarkeit der bereits genannten These (*Siehe Punkt 1.2*) zu überprüfen. Da die im Folgenden erhobenen Messwerte der Referenzpunkte, egal ob in einer externen oder internen Datenbank, nach der Erstaufnahme immer von Hand in das gewählte Speichermedium übertragen werden müssen, ergibt sich in diesem Fall für ein serverbasiertes System kein Vorteil.

Für eine kommerziell anwendbare Applikation, ist jedoch die Umsetzung einer serverbasierten Lösung unumgänglich.

2. Theorie

2.1. Smartphones als ständiger Begleiter im Alltag

Nach jüngsten Statistiken (*siehe Tabelle 1*) tragen rund **62,9%** der europäischen Gesamtbevölkerung täglich ein mobiles Endgerät bei sich. Diese Zahl wurde im Zuge der Erhebung des *IKT-Einsatzes (Informations- und Kommunikationstechnik)* in Europa, ermittelt. Dies bedeutet, dass rund **63%** aller Handy- und Smartphonebesitzer ihr Zuhause stets mit einem mobilen Endgerät verlassen. In der Altersgruppe **14 bis 24 Jahren** sind dies sogar **88,4%**, in der mittleren Altersschicht (**25 bis 54 Jahre**) immer noch **64% (gemittelt)** und selbst bei den Senioren (**+65 Jahre**) erstaunliche **14%**. Im Normalfall haben die Benutzer ihren Geldbeutel, Schlüssel und Smartphone immer bei sich. Dies ergab auch eine Untersuchung des Hightech-Verbandes *BITKOM* in Deutschland. (*Siehe Abb.1*) [*BITKOM1*]

Dies lässt vermuten, dass die Bedeutung mobiler Endgeräte mit universellem Einsatzbereich auch weiterhin zunehmen wird. Somit ist es nachvollziehbar, dass sich viele Anwender das Smartphone als Ersatz für ihr Portemonnaie und sogar den Schlüsselbund vorstellen können. [*BITKOM1*]

Tab. 1 *Benutzung von mobilen Endgeräten mit Internetzugang außerhalb des Hauses*
Arbeitsgrundlage: [*BITKOM1*]

Merkmale	Personen mit Nutzung tragbarer Geräte ¹⁾ für den mobilen Internetzugang außerhalb des Haushalts oder außerhalb der Arbeit		
	zusammen	darunter über	
		Mobiltelefon od. Smartphone	Tragbare Computer
	in % der Personen mit Internetnutzung in den letzten drei Monaten		
Insgesamt	62,9	56,3	32,8
16 bis 24 Jahre	88,4	84,6	41,3
25 bis 34 Jahre	80,6	75,0	38,7
35 bis 44 Jahre	60,4	56,8	30,2
45 bis 54 Jahre	50,2	40,1	31,4
55 bis 64 Jahre	43,5	32,1	27,1
65 bis 74 Jahre	21,5	14,4	12,1

Arbeitsgrundlage: Statistik AUSTRIA, Europäische Erhebung über den IKT Einsatz in Haushalten 2013 [*STATISTIK-T1*]

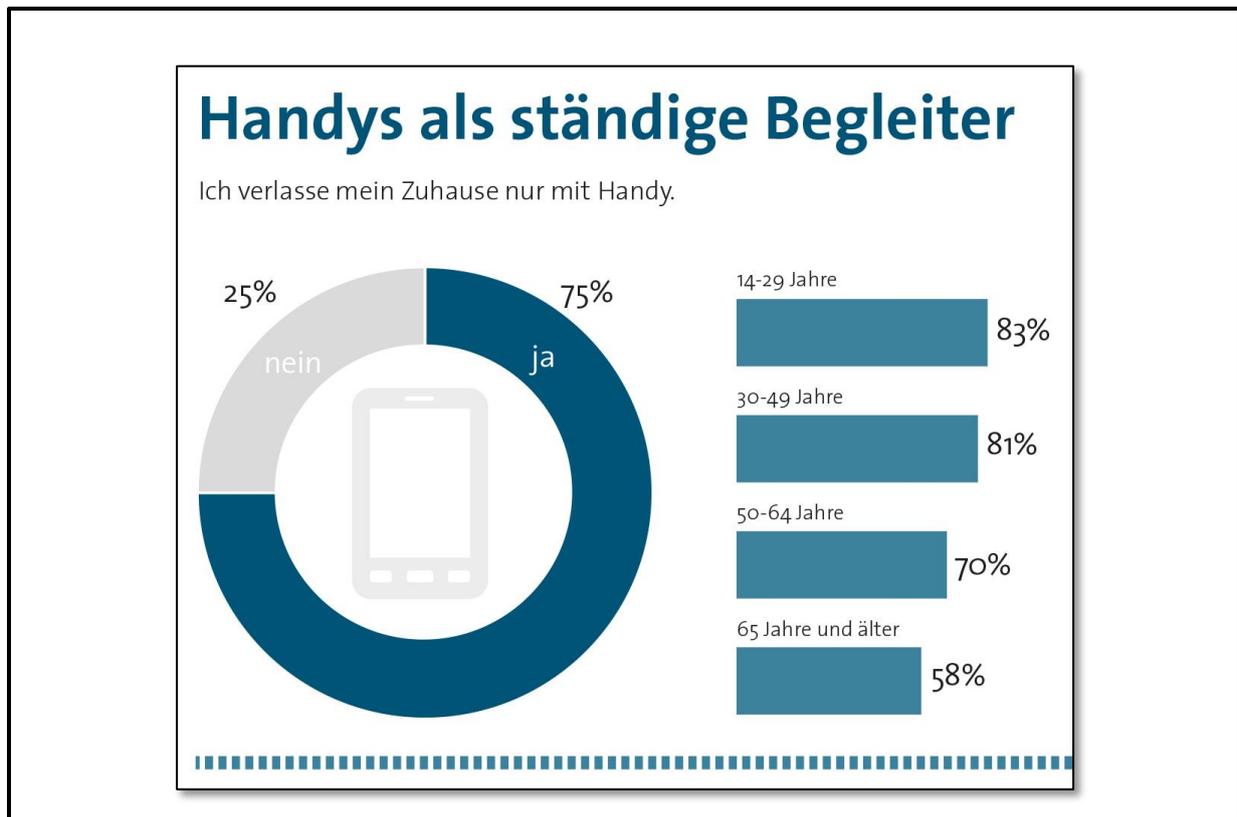


Abb. 1 Befragung des Hightec-Verbandes BITKOM zum Thema Handy als ständiger Begleiter (für Deutschland)
Arbeitsgrundlage: [BITKOM1]

2.2. Einsatzorte des Smartphones

Der Bundesverband für digitale Wirtschaft (**BVDW**) hat zum Thema **Smartphone-Nutzung und deren Einsatzorte** eine Studie durchgeführt. Mit dem Ziel,

„[...] aktuelle und qualitativ hochwertige Insights für bevölkerungsrepräsentative Aussagen zur Entwicklung der mobilen Internetnutzung in Deutschland sowie zu branchenspezifischen Spezialthemen zu bieten.“ [LOPEZ, C. 2013 S2]

wurde in Zusammenarbeit mit dem **TNS Mobil Club** im März 2013 begonnen, die Einsatzorte der Smartphone-Nutzung in Deutschland zu erheben. Um eine repräsentative Untersuchung durchführen zu können, wurden standardisierte Daten von Nutzern mobiler Endgeräte ab dem vierzehnten Lebensjahr durch mündliche Befragungen (**insgesamt 2.000 Befragte pro Monat**) erhoben. [LOPEZ, C. 2013]

Dabei stellten sich als überdurchschnittlich intensiv genutzte Plätze das eigene zu Hause, der Platz des Beifahrers im Auto, sowie öffentliche Gebäude und Verkehrsmittel heraus. In Anbetracht der nachstehenden Arbeit weist dies auf die Allgegenwart des Smartphones im Alltag hin. (Siehe Abb.2)

Zur Untermauerung der genannten Annahme wurde aus der Studie des **Bundesverbands für Digitale Wirtschaft** (LOPEZ, C. 2013) eine weitere Statistik abgeleitet, welche darauf schließen lässt, dass mittlerweile jeder zweite Smartphonebesitzer **immer** und **überall** online sein kann. (Siehe Abb.3)

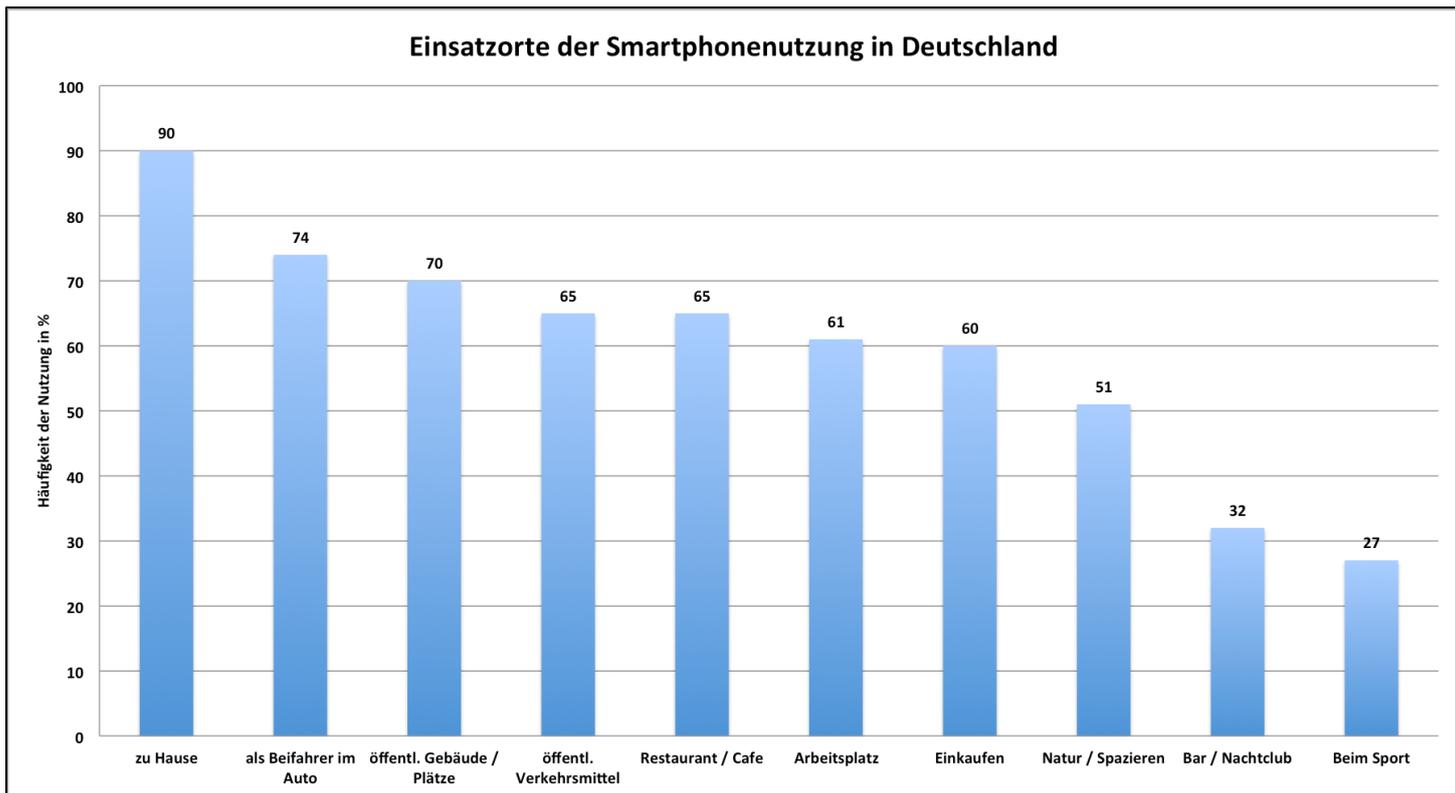


Abb. 2 Einsatzorte der Smartphonennutzung in Deutschland

Arbeitsgrundlage [LOPEZ, C. 2013]

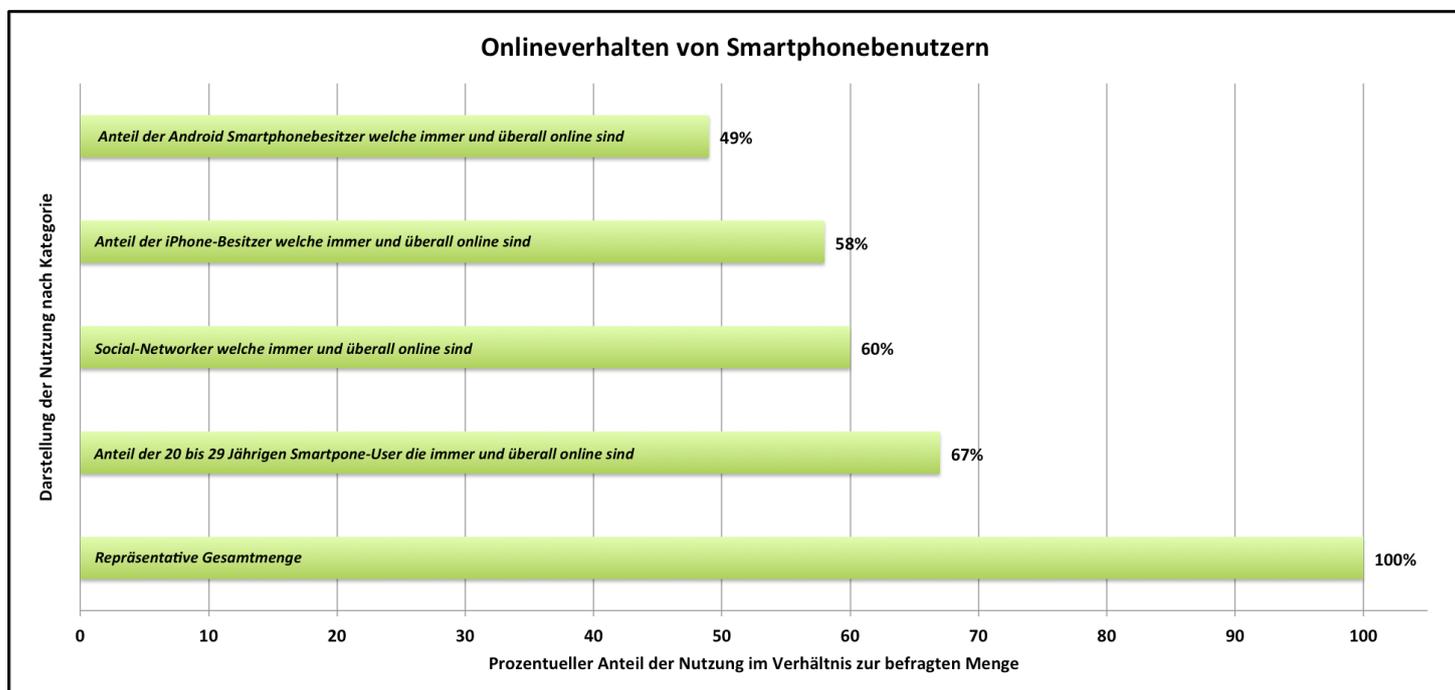


Abb. 3 Onlineverhalten von Smartphonebenutzern in Deutschland

Arbeitsgrundlage [LOPEZ, C. 2013]

2.3. Das Smartphone verdrängt klassische Navigationsgeräte

Mit dem Einzug des GPS-Sensors in die Smartphonewelt haben Nutzer von mobilen Endgeräten nicht nur die Möglichkeit ihre Position zu bestimmen, sie sind durch sehr ausgereifte Softwareapplikationen auch in der Lage, den schnellsten Weg von **A** nach **B** zu finden. Die Weiterentwicklung in diesem Sektor geht von der Stauumfahrung bis hin zur individuell auf den Benutzer abgestimmten Informationseinblendung. **40%** aller Smartphonebenutzer deren Device einen GPS-Sensor besitzt, nutzen das Gerät auch zur Navigation. Dies resultiert aus den ständigen Verbesserungen der Bedienbarkeit, dem Steigen der Displayqualität und der immer größer werdenden Displays im Allgemeinen. Den Zuwachs der Smartphonavigation spüren auch die großen Hersteller von Standalone-Navigationsgeräten. Daher ist es kaum verwunderlich, dass große Konzerne wie TomTom® oder Garmin© auch in diesem Sektor fußfassen wollen. **[COMPETE]**

Obwohl bezogen auf die Weltwirtschaft ein allgemeiner Rückgang der Kaufkraft beobachtet wird, stiegen die Absatzzahlen im Verkauf der mobilen Endgeräte von **2012** auf **2013** um rund **25%**. Mehr als **80%** der verkauften Produkte wurden dabei mit integriertem GPS-Sensor ausgeliefert. Dieser aus Deutschland erhobene Trend, kann auch für Österreich durchaus angenommen werden. **[STATISTA]**

Einfache Smartphones mit GPS-Empfänger kosten im Moment nur unwesentlich mehr als ein handelsübliches Standalone-Navigationsgerät, vereinen aber neben ihrer komfortablen Tragbarkeit und Handhabung mehrere im Alltag nützliche Funktionalitäten wie eine Kamera oder einen Internetzugang. Auf Grund der Schnellebigkeit können neue sparsamere und innovativere Techniken schneller umgesetzt werden. Aus diesem Grund bemühen sich mittlerweile renommierte Konzerne (**TomTom® / Garmin©**) um diesen Sektor, wenn gleich Smartphones im Moment noch einige Nachteile aufweisen. Der hohe Stromverbrauch und diverse Kosten, welche durch die meisten **Pro-Versionen** verschiedener Navigationslösungen entstehen, stellten bislang eine nicht zu leugnende Problematik dar. Auch die Mobilfunknetzabhängigkeit von „**Free-Versions**“ kann durch eine mangelnde Netzabdeckung zum Problem werden. **[COMPETE]**

In Summe scheint sich der Trend im mobilen Navigationsbereich in Richtung Smartphonetechnologie zu entwickeln. Dies ist mitunter einer der Aspekte, weshalb die Wahl des zu verwendenden Indoornavigationsmediums für diese Arbeit auf ein Smartphone fiel.

2.4. Location-based Services

Die Verwendung von „**Location-based Services**“ steigt unter den Smartphone- und Tabletbenutzern kontinuierlich an. Für **95%** der Anwender sind Routing- und Navigationsdienste nicht nur ein Begriff, sie haben diesbezüglich auch klare Vorstellungen im Bezug auf die Funktionalität solcher Dienste. **73%** der Nutzer verwenden derartige Anwendungen gelegentlich oder gar regelmäßig um den eigenen Standort zu lokalisieren beziehungsweise Orte von Einrichtungen wie Warenhäusern, Restaurants oder Werkstätten zu bestimmen. **90%** der Nutzer geben an, derartige Dienste zu kennen und sogar **59%** der Befragten haben ein **Location-based Service** bereits verwendet. Dies wurde vom **Bundesverband**

Digitale Wirtschaft (BVDW) in einer Studie im Untersuchungszeitraum **03. – 08.01.2013** erhoben und zeigt das wachsende Interesse und die fortschreitende Integration ortsbezogener Dienste in den Alltag. **[BVDW2]**

Standortbezogene Navigationsdienste sind aktuell die am häufigsten verbreiteten Dienste und besitzen das größte Nutzungspotential auf Smartphones und Tablets. Dies resultiert aus den Gegebenheiten, dass die meisten im Handel erhältlichen Endgeräte einen GPS Sensor integriert haben und beim Kauf mobiler Devices, Apps mit Navigationsfunktion standardmäßig vorinstalliert sind. Daraus ergibt sich ein hoher Bekanntheitsgrad (**75% der Nutzer von Smartphones oder Tablets kennen Navigations-Apps**) mit einer permanenten Nutzung von **37%**. **[BVDW2]**

Sogar **32%** der Nicht-Besitzer eines mobilen Endgerätes interessieren sich für die angesprochenen Funktionalitäten und können sich eine zukünftige Nutzung vorstellen.

Die Suche nach Bekannten oder Freunden sowie das Mitteilen des eigenen Standortes gehört mittlerweile zum Grundbedürfnis jüngerer Altersgruppen und ist Bestandteil des heutigen Alltages. Daraus resultiert das Entstehen einer diversen Abhängigkeit von Positionierungs- und Navigationsdiensten. **[BVDW2]**

2.5. Technische Ausstattung zur Standortbestimmung

Im Folgenden werden alle gängigen, für die Navigation genutzten Hardwarekomponenten eines handelsüblichen Smartphones aufgelistet. Die Auflistung orientiert sich am aktuellen Angebot der mobilen Endgeräte mit dem Stand **02.09.2014** in Österreich. Die Daten beruhen auf der absoluten Sichtung aller aktuellen am österreichischen Markt angebotenen Smartphones. Dabei wurden die Minimalanforderungen für das im Weiteren verwendete **Operating System (Android)** erhoben, um die Problematik der verschiedenen Navigationsansätze aufzuzeigen.

– *Komponenten welche die Funkfrequenz zur Standortbestimmung nutzen (Radio-Frequency-Based):*

- *GPS-Empfänger*
- *3G- / 4G-Empfänger*
- *WLAN- / WIFI-Empfänger*
- *Bluetooth-Empfänger*

[OSCHATZ, H 2011]

– *Komponenten die als Sensor in gängigen Smartphones verbaut sind und zur Standortbestimmung eingesetzt werden können:*

- *3-Achsen-Gyrosensor,*
- *Beschleunigungssensor,*
- *Umgebungslichtsensor,*
- *Kamera*
- *Magnetfeldsensor*

[OSCHATZ, H 2011]

Smartphones besitzen eine Vielzahl an verschiedenen Komponenten, welche in Kombination mit Karten zu Navigationsanwendungen verbunden werden können. Beschränken sich die ermittelten Sensoren und Empfänger auf das Standardequipment eines Smartphones, so muss zumindest erwähnt werden, dass es auch weitere Möglichkeiten wie zum Beispiel eine barometrische Höhenmessung, welche prädestiniert für die Differenzierung zwischen zwei Stockwerken wäre oder die Anwendung von **NFC-Tags (Near Field Communication)**, welche zur absoluten Positionsbestimmung verwendet werden können, gibt. Unter Berücksichtigung der momentan genutzten Hardware muss davon ausgegangen werden, dass zum Teil besonders fortschrittliche Techniken nicht jedem Benutzer zur Verfügung stehen.

2.6. Smartphonegestützte Standortbestimmung innerhalb von Gebäuden

Das Smartphone ist mittlerweile nicht nur einen ständiger Begleiter im Alltag, durch seine Vielfalt an **IMU-Sensoren (Internal-Measurement-Unit - beschrieben unter Punkt 2.5)**, ist es zu einer der Hauptbezugsquellen für die eigene Standortbestimmung sowie der Lokalisierung gewünschter Orte geworden.

Unter Standortbestimmung versteht man,

„[...] die Ermittlung eines Ortes relativ zu einem Bezugspunkt“ **[OSCHATZ, H 2011 S6]**

Grundlegend bedarf es dem Zusammenspiel verschiedener Komponenten um einen Standort zu lokalisieren. Dazu gehören:

- *Das Schaffen bzw. Nutzen einer entsprechenden oder bereits vorhandenen Infrastruktur*
- *Das Einführen eines Bezugssystems mit Fixpunkten als Referenz*
- *Die Definition verschiedener Messparameter auf welche bei der Positionsbestimmung Bezug genommen werden kann*
- *Das Überlegen von Algorithmen, welche die Messergebnisse in entsprechender Form filtern um aus den erhobenen Werten die eigene Position zu ermitteln* **[OSCHATZ, H 2011]**

Die gegebene Infrastruktur bestimmt in Folge das Referenzsystem bzw. die Referenzpunkte. Alle Messparameter werden durch die verwendete Hardware definiert. Die entwickelten Algorithmen welche eine Filter- und Koordinationsfunktion einnehmen, basieren wiederum auf den geschaffenen Referenzpunkten und deren Bezugssystem. Somit schließt sich der Kreislauf, welcher die Standortbestimmung im Allgemeinen beschreibt. **[OSCHATZ, H 2011]**

Für die Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden können satellitengestützte Systeme wie **GPS**, **GLONASS** oder **GALILEO** auf Grund der Signalabschottungsproblematik (*siehe Pkt. 2.10.2*) nur schwer bzw. nicht eingesetzt werden. Im Normalfall wird auf eine bereits vorhandene Infrastruktur zurückgegriffen. Dabei bietet sich zum Beispiel **WLAN (für Smartphones)** auf Grund der möglichen Genauigkeit besonders an, wobei es diesbezüglich keine Garantie der notwendigen Mindestversorgung gibt. Dahingehend erlangen unabhängige Systeme, welche die Bewegungssensorik oder die Messung der Magnetfeldstärke verwenden immer mehr an Bedeutung. Richtig durchgesetzt hat sich dabei noch keiner der erwähnten Ansätze, da der finanzielle Aspekt sowohl im Bereich der Anschaffung als auch im Bezug auf den Arbeitsaufwand nicht in Relation zu einer analogen Beschilderung steht. Außerdem ist zu

beachten, dass **40%** der Bevölkerung kein Smartphone besitzen und dahingehend analoge Medien weiterhin eingesetzt werden müssen. *[BITKOM1]*

2.7. Klassifizierung indoorgestützter Positionierungsverfahren

Positionierungsverfahren sind maßgeblich von der Infrastruktur abhängig. Ob und in welchem Ausmaß eine Umgebung die Voraussetzung für eine Standortbestimmung erfüllt, wird im Nachstehenden erläutert.

Um den Standort eines Objektes genau bestimmen zu können, muss ein Referenzpunkt vorab eingemessen werden. Die zur Positionierung notwendigen Verfahren benötigen eine dementsprechend unterschiedliche Infrastruktur bzw. Bezugssysteme. Des Weiteren ist es möglich, Methoden anzuwenden, welche ohne Infrastruktur auskommen, jedoch aufgrund ihrer fehlenden Genauigkeit einen Kombinationsbedarf mit anderen Systemen haben. Somit kann im Weiteren folgende Unterteilung gemacht werden: *[WIENKE, C. 2010]*

- *Bereits vorhandene Infrastruktur*

Ein übliches Beispiel für die Nutzung einer vorhandenen Infrastruktur wäre ein Bürokomplex, welcher durch ein **WLAN-Netz** über **Access Points** versorgt wird. Die daraus mögliche Bestimmung einer Position ist bei üblichem Abstand der Signalgeber (*in etwa 20m - 50m Distanz*) auf *ca. 2 bis 3m* Genauigkeit bestimmbar. Des Weiteren ist ein System, welches auf die vorhandene Infrastruktur zurückgreift universell einsetzbar. Somit kann es bei Bedarf auch in einem Nebengebäude oder an anderer Stelle ohne großen Aufwand eingesetzt werden. Die Problematik einer bereits bestehenden Infrastruktur liegt in der Zweckentfremdung. Der ursprüngliche Gedanke hinter der Positionierung von **Access Points** ist die optimale Versorgung der einzelnen Büroräume mit einem Funksignal, nicht aber die Unempfindlichkeit des Signales gegenüber der Bausubstanz. Werden also ständig Türen geschossen oder geöffnet, kann dies zu Signalschwankungen führen. *[WIENKE, C. 2010]*

Diese Eigenschaft wird in Verfahren wie der Magnetfeldmessung genutzt und baut auf der Variabilität verschiedener Baustoffe innerhalb von Gebäuden auf. Dabei handelt es sich um einen fixen Bestandteil der Gebäudesubstanz welcher sich im Verhältnis zu einem **WIFI-Netz** äußerst konstant verhält und keinen kurzfristigen Schwankungen unterliegt. Des Weiteren ist die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur auch von der kontinuierlichen Versorgung abhängig, sodass es in Mittagspausen oder nach Dienstschluss durchaus zu Problemen und daraus entstehenden Ungenauigkeiten kommen kann.

- *Schaffen neuer Infrastruktur*

Das Schaffen einer neuen Infrastruktur birgt vorteilhafte Möglichkeiten. Durch das Installieren neuer Hardware ist man nicht nur auf dem neuesten Stand der Technik, dadurch kann die Sensorik in Folge auch gezielter auf das Vorhaben abgestimmt werden, wodurch die Effizienz des Systems steigt. Unter bestimmten Bedingungen muss jedoch mit der Tatsache, dass eine

neue Infrastruktur nicht errichtet werden kann oder darf, gerechnet werden. Gleichzeitig stellt sich die Kostenfrage gegenüber dem Nutzen vor allem wenn es sich um große Gebäudekomplexe handelt. Die dadurch entstehenden Wartungskosten sowie ein hoher Kostenanteil betreffend der Neuanschaffung sind daher nicht zu unterschätzen. Das System ist zusätzlich räumlich beschränkt und kann nicht ohne Erweiterung der Hardwarekomponenten individuell eingesetzt werden.

Das Einsetzen neuer Infrastruktur ist also stark von der Art des Aufwandes abhängig. Somit stehen **QR-Codes** im Gegensatz zu einer lesbaren Beschilderung und neu errichtete Funknetzwerke (**Genauigkeit vs. eingeschränkter Versorgungsbereich**) im Gegensatz zu Effizienz bzw. Kostenintensität.

- *Wenn keine Infrastruktur vorhanden ist*

Wenn keine nutzbare Infrastruktur vorhanden ist, kann immer noch auf die Sensorik des Smartphones zurückgegriffen werden. Somit wird das System autonom und ist gegen Veränderungen des Untersuchungsgebietes weitestgehend geschützt. Der größte Vorteil darin besteht in der universellen Anwendungsmöglichkeit der Software. Da eine individuelle Anpassung an ein bestehendes System nicht notwendig ist, kann eine leicht adaptierbare Applikation entwickelt werden, die sowohl erweiterbar als auch auf andere Orte übertragbar ist. Da man hauptsächlich mit der Gebäudestruktur selbst, welche äußerst selten verändert wird, arbeiten kann, treten notwendige Adaptionen innerhalb eines Gebäudekomplexes kaum auf.

Generell sollte man beim Erstellen der benötigten Softwareapplikation darauf achten, dass aufgrund der verschiedenen Smartphonemodelle die Anforderungen an das Gerät minimal gehalten werden. Die Beschleunigungssensoren sowie der Magnetfeldsensor gehören seit **Android-CUPCAKE (API-LEVEL 1.5)** als Standard zur Ausstattung eines jeden Android Smartphones. Mit der Zeit wurde die Smartphonesensorik der Neuerscheinungen stetig erweitert. (**z.B. Licht- / Luftdruck- / Gyrosensoren**) Hierbei muss sich der Softwareentwickler im Klaren sein, welche Sensoren für ihn unverzichtbar sind und was dies in Folge für die Mindestanforderungen bedeutet. Grundlegend wird in den Android Guidelines zwischen altem und neuem Design unterschieden. Hier gab es einen Stilbruch ab **Android 4.0** mit dem **App-Compat** welches zwar später auch für ältere Geräte angeboten wurde, jedoch meist mit umständlichen Programmierarbeiten und hohen Anforderungen an den Prozessor verbunden war. Somit empfiehlt es sich, auch unter dem Aspekt, dass sich die Autofokus-Funktion der Kamera erst ab **Android-ICE_CREAM_SANDWITCH** flächendeckend durchgesetzt hat, die Minimumanforderungen an das **API-LEVEL 4.0 (lt. Android Guidelines)** anzupassen. [**Android1**]

2.8. Relevante Verfahren zur indoorgestützten Positionierung

2.8.1. Methode des „Location-based Wifi-Fingerprinting“

Beim *Location-based Wifi-Fingerprinting* findet eine Messung der Empfangsstärken aller messbaren Funksignale der unmittelbaren Umgebung (*WLAN-Accesspoints*) zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort statt. Die dabei erhaltenen Messergebnisse werden als Referenzwerte in Bezug auf die jeweils aktuelle Position in einer Datenbank gespeichert. Die Position des Anwenders lässt sich daher durch den Abgleich der gemessenen *RSSI-Werte*, der *SSID (Service Set Identifier)* und der *Mac-Adresse* des Routers ermitteln. [GART, 2013]

RSSI (Received Signal Strength Indication) basierte Lokalisierungstechniken bedienen sich der Signalstärke eines oder mehrerer *WLAN-Access Points*. Mit der Entfernung des Messgerätes zu den vorhandenen Routern verändert sich auch die messbare Signalstärke. [GART, 2013]

Basierend auf der sich durch die Distanz zum Accesspoint ändernden Signalstärke, wird die entsprechende Position des Benutzers auf einer *RadioMap* dargestellt. (Siehe Abb.4)

Je stärker das empfangene Signal, desto geringer die Entfernung vom Sender. Die Signalstärke selbst wird in *Dezibel Milliwatt (dBm)* gemessen und entspricht bei einem Wert von *0 dBm* einer 1:1 Übertragung. Je schwächer die Signalstärke (z.B. *-70 dBm*), desto geringer der erhobene Messwert. [RM, 2014]

In Abb. 4 wird die Signalverbreitung eines *WLAN Accesspoints* dargestellt. Da teilweise nicht unterschieden werden kann ob sich der Anwender in einem Raum oder auf dem Korridor befindet, empfiehlt es sich, für die Positionsbestimmung wenn möglich mehrere *Accesspoints* mit ein zu beziehen.

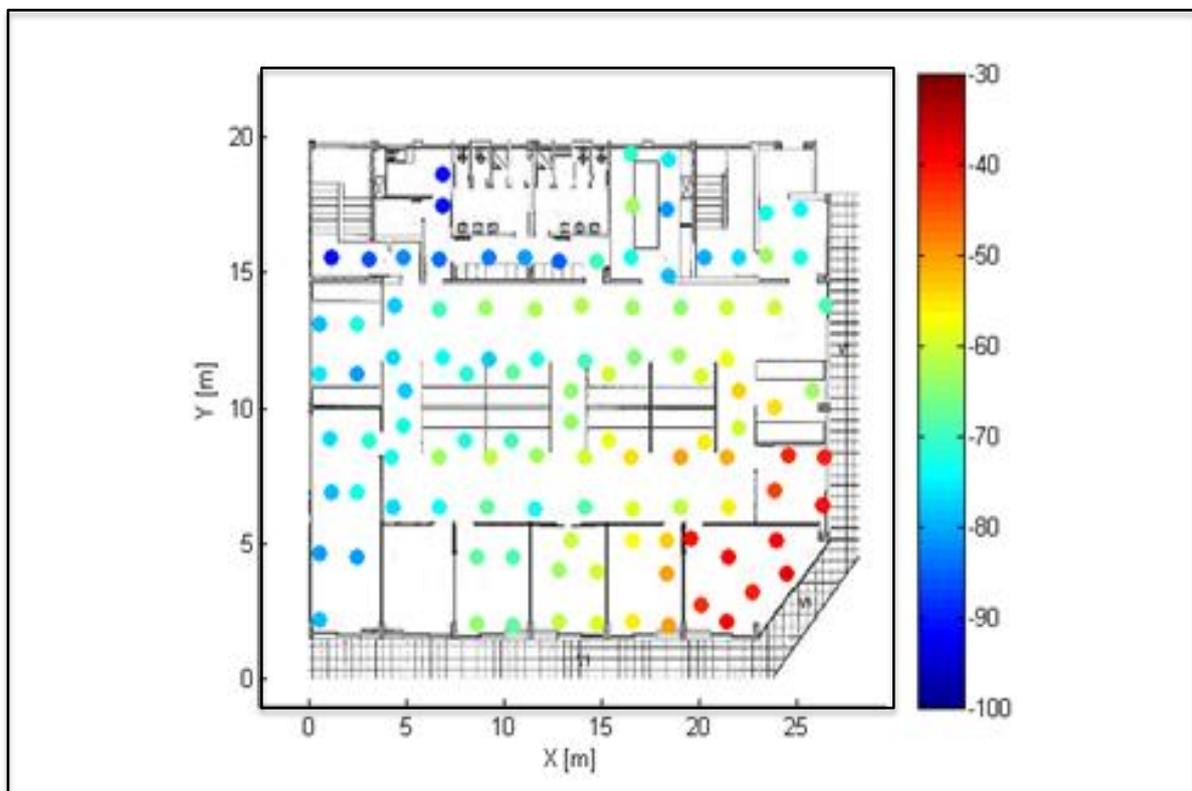


Abb. 4 Darstellung eines WLAN Accesspoints mittels RadioMap

Arbeitsgrundlage: [UCY]

Um die gezeigte *RadioMap* zu erstellen, misst man die *Radio Signal Strength* der vorhandenen *Access Points* an ausgewählten Orten. Diese Messung erfolgt über eine bestimmte Zeitspanne (z.B. ein Tag) und gibt Aufschluss über eventuelle Schwankungen je Messpunkt. Hierbei sollte auf die Individualität des Untersuchungsgebietes gesondert eingegangen werden. Durch eine Analyse des *Passantenstrom-Aufkommens* oder der eventuellen Internetnutzung von Zweiten bzw. Dritten, kann auf tageszeitliche Unterschiede des Signals besser reagiert werden.

Das Ergebnis der Messungen kann in Folge referenzierten Bezugspunkten der *RadioMap* zugeordnet werden. Dadurch wird ein *Fingerprint* für jeden Messpunkt erstellt.

Die Kartendarstellung selbst kann durch das Einbinden von weiteren Sensoren wie zum Beispiel dem Magnetfeldsensor (*Einnorden des Gebäudeplans*) adaptiert werden.

- *Erkenntnisse bestehender Untersuchungen*

Um ein brauchbares Ergebnis zu generieren, können verschiedene Algorithmen als Filter verwendet werden. Durch die Genauigkeitsanalysen von *Honkavirta et al [HONK, 2009]* konnte herausgefunden werden, dass der *Position Kalman Filter* die beste Eignung zur WLAN-gestützten Indoorpositionierung aufweist. Mit einer Abweichung von **3,8m** zeigte der Filter-Algorithmus seine höchste Genauigkeit. Basierend auf dieser Erkenntnis schafften es *Martin et al* durch ihre eigenen Untersuchungen mit einer Android basierten Smartphoneapplikation auf eine noch höhere Genauigkeit von ca. **1.5m** zu kommen. [*MARTIN, E. 2010*]

Unter anderem wurde die Kalibrierungszeit je Position untersucht, welche nach einer Messzeitspanne von **10** Sekunden keine signifikante Verbesserung der Genauigkeit erbrachte. Lediglich eine Rotation der Antenne (*der mobilen Einheit*) während der Messphase erzielte in kürzerer Zeit die maximal beschriebene Genauigkeit. Ähnlich verhielt sich die Analyse der Hotspotanzahl. So ergab sich kein signifikanter Genauigkeitsgewinn durch das Verwenden von mehr als fünf *WLAN Access Points*. [*HONK, 2009*]

- *Kalman Filter*

Professor Kalman entwickelte in den **1950er** Jahren im Forschungsinstitut für Advanced Studies den Kalman Filter. Dieser, **1960** in Baltimore (*Maryland*) veröffentlichte Filter-Algorithmus, wird als schätzendes Element in ein dynamisches System integriert. Vorangegangene Messungen werden dabei zur Stabilisierung von Sensorschwankungen verwendet, um zukünftige Schwankungen des zu messenden Systems zu simulieren. Informationen, welche durch vorgelagerte (*aufgezeichnete*) Zeitintervalle geliefert werden, werden eingesetzt um für zukünftige Messperioden eine Vorhersage zu treffen. Durch ständiges Abgleichen werden diese simulierten Messdaten permanent korrigiert. [*CAZAN, I. 2011*]

Mit dem Kalman Filter wird für das aktuelle System ein Modell generiert, welches die Schätzung des Zustandsparameters ermöglicht. Dadurch wird die Genauigkeit der geschätzten, zu erwartenden Systemwerte im ruhenden Zustand gesteigert. Das Systemmodell berechnet in Folge den zukünftig zu erwartenden Systemzustand welcher sich durch das Rauschen der Messsensorik (*Schwankungen des Sensors*) permanent ändert. Das

aktuelle Messergebnis wird mit dem zu erwartenden Ergebnis kombiniert und je nach Stärke des Mess- bzw. Systemrauschens schwächer oder stärker gewichtet. Diese Methode erlaubt im Vergleich zur einfachen Sensormessung eine viel präzisere Bestimmung des Systemzustandes und liefert wesentlich stabilere Messergebnisse. [CAZAN, I. 2011]

- *SWOT-Analyse*

Nachstehend werden die Stärken, Schwächen, Chancen und Gefahren des *Wifi-Fingerprintings* analysiert, wodurch auf die Vor- und Nachteile der Anwendung des beschriebenen Systems hingewiesen wird. Dadurch ergibt sich für den späteren Anwender eine bessere Vorstellung für die Auswahl des idealen Einsatzgebietes.

Stärken:

Mit dem 1997 eingeführten *WLAN-Standard 802.11* haben sich die Infrastrukturen der kabellosen Netzwerke in Gebäuden überwiegend einheitlich weiterentwickelt. Durch diesen Standard ist es in Kombination mit den aktuellen Smartphones möglich, bestehende Infrastrukturen für die Methode des *Wifi-Fingerprintings* zur Bestimmung des eigenen Standortes zu nutzen. [KÜPPER, A. 2005]

Sollte kein bestehendes *WLAN-Netzwerk* vorhanden sein, bereitet das Schaffen einer neuen Infrastruktur nur minimale Kosten und ist mit geringem Zeitaufwand sowohl in mobiler als auch in permanenter Form erstellbar. [KÜPPER, A. 2005]

Die Kosten siedeln sich je nach Größe des erforderlichen Systems im *Low-Cost Sektor* an und ziehen zusätzlich keine bzw. äußerst geringe Folgekosten (*Stromversorgung*) nach sich. [KÜPPER, A. 2005]

Die notwendige RadioMap kann, muss aber nicht, ausgelagert werden. Je nach Bedarf und Interesse wird die digitale Karte entweder von einem Server extern oder am Endgerät selbst intern gespeichert. Dies ist vom gewünschten Grad der Aktualität abhängig bei welchem durchaus mit statischen Daten gearbeitet werden kann. Der serverbasierte Ansatz bietet die Möglichkeit den Datensatz anhand einer Fernwartung zu adaptieren. Der statische Ansatz hat den Vorteil eines autonomen Betriebes. Je nach Notwendigkeit kann zwischen den beiden Möglichkeiten gewählt werden. [KÜPPER, A. 2005]

Durch die Methode des *Wifi-Fingerprintings* kann eine sehr hohe Genauigkeit (*1,5m bis 2m*) bei relativ geringem Aufwand erreicht werden. [KÜPPER, A. 2005]

Schwächen

Die Methode des *Wifi-Fingerprintings* benötigt eine *WLAN-Infrastruktur*. Diese muss gewisse Kriterien erfüllen um für die Positionierung mittels Smartphone geeignet zu sein. Darunter fallen:

- *Permanente Versorgung durch mindestens einen oder mehrere Access Points*
- *Der WLAN-Standard muss mit dem Smartphone kompatibel sein*
- *Aktive Internetverbindung (optional)*
- *Stabiles Signal*

[KING et al, 2006]

Genau dahingehend treten auch die meisten Probleme auf. Für jeden Punkt innerhalb eines Gebäudes die Versorgung durch mindestens einen bzw. wenn möglich mehrere **Wifi-Hotspots** zu gewährleisten, ist vor allem dann schwer, wenn die Gebäudestruktur aus ungünstigen Baustoffen besteht (*Siehe Punkt 2.10.2*). Da im Smartphonebereich bis zu **60** verschiedenen Android-Endgeräte angeboten werden und die Kompatibilität zu einer bestehenden Infrastruktur nicht in jedem Fall gegeben ist, kann es vermehrt zu Ausfällen eines zur Positionsbestimmung entwickelten Systems kommen. *[KING et al, 2006]*

Die Stabilität des Versorgungssignales hängt von der Art der Infrastruktur ab. Verwendet man ein bestehendes Netzwerk so muss einem klar sein, dass die vorhandene Infrastruktur für einen bestimmten Zweck erstellt wurde. In den meisten Fällen gehört dazu die Versorgung des Gebäudes mit dem Internet. Somit unterliegt die Signalstärke Fluktuationen, welche durch die variierende Nutzung (*z.B. durch das Personal*) der gegebenen Ressourcen entsteht. Dieser Problematik kann nur mit einer neu erstellten Infrastruktur entgegengewirkt werden. *[KING et al, 2006]*

Um eine extern verwaltete **RadioMap** empfangen zu können, ist entweder die Funkverbindung eines Mobilfunknetzbetreibers oder die Nutzbarkeit des verwendeten **Wifi-Netzes** erforderlich. Dies kann bei schlecht signaldurchlässigen Baustoffen oder einer kurzfristigen Abschaltung der Hauptstromversorgung zu einem partiellen bzw. Gesamtausfall des entwickelten Systems führen und fatale Folgen haben. *[KING et al, 2006]*

In gewissem Ausmaß stören auch Menschenmengen die Signalausbreitung eines **WLAN Access Points**. Da es in diesem Bezug, abhängig von der Tageszeit, ein unterschiedliches Menschaufkommen je nach Untersuchungsgebiet geben kann, muss diese Problematik zusätzlich berücksichtigt werden. Grund dafür ist die Frequenz des aktuellen WLAN Standards (**802.11**) welcher sich mit einer Wellenlänge von **2.4 GHz** ausbreitet. Bei dieser Frequenz beginnen Wassermoleküle zu schwingen wodurch ein Anteil vom Signal in Bewegungsenergie umgewandelt wird. Der menschliche Körper besteht zu mehr als **70%** aus Wasser. Durchdringt das Signal eines **WLAN-Hotspots** den menschlichen Körper, so absorbieren die Wassermoleküle des Körpers das Signal und geben es in abgeschwächter Form wieder frei. Die nun verminderte Stärke des Signals wirkt sich auf die Qualität der Standortbestimmung aus. *[KING et al, 2006]*

Die permanente Aktualisierung und Suche nach neuen **Access Points** erzeugt einen erhöhten Energieverbrauch. Dadurch verkürzt sich die Akkulaufzeit je nach Endgerät deutlich. *[KING et al, 2006]*

Chancen

Die kabellose Variante der Internetversorgung hält mehr und mehr Einzug in unseren Alltag. **WLAN** ist nicht nur innerhalb von Gebäuden, sondern auch an öffentlichen Plätzen unter freiem Himmel anzutreffen. Aufgrund dieser Entwicklung wird auch die dazu passende Sensorik weitestgehend in Alltagsgegenstände integriert. Durch die voranschreitende Ausbreitung dieses Netzwerkes und der sich ständig verbessernden Positionierungsalgorithmen steigt auch die Genauigkeit der Standortbestimmung. *[KING et al, 2006]*

Die derzeit am Markt erhältlichen Smartphones lassen sich auf vier dominierende Hauptbetriebssysteme aufteilen. Diese sind (*Siehe Abb.5*):

- *Android*
- *iOS*
- *Windows Mobile*
- *Blackberry*

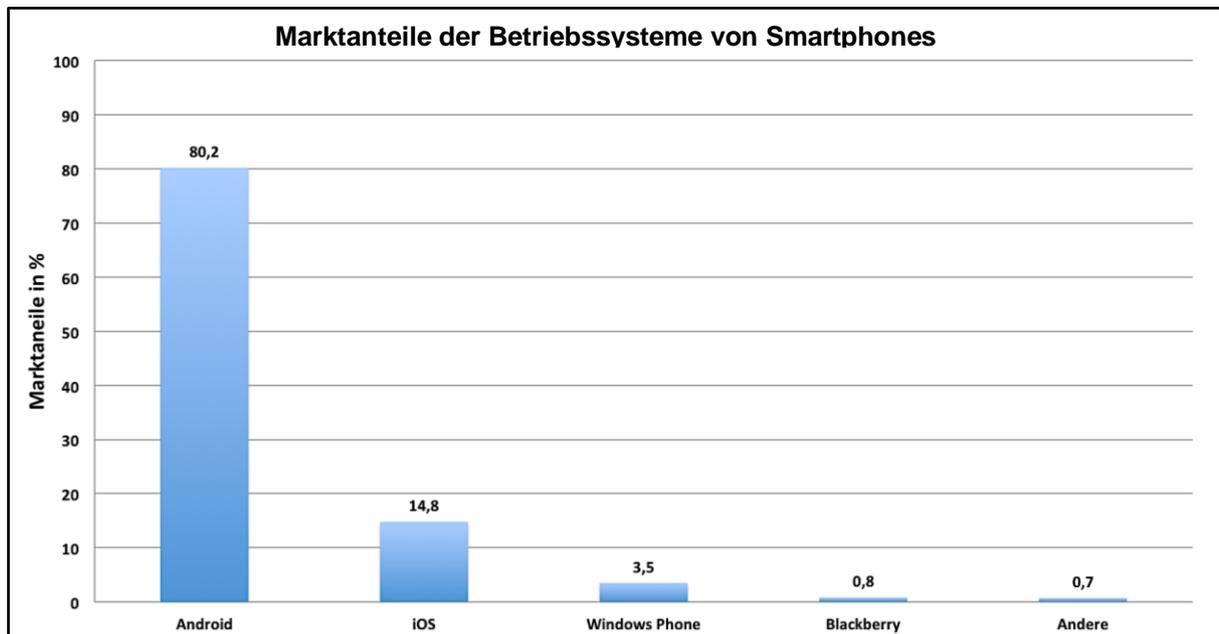


Abb. 5 Darstellung der Marktanteile nach Smartphone-Betriebssystem

Arbeitsgrundlage: [STATISTA1]

Drei der Betriebssysteme beanspruchen für sich eine eigene Programmiersprache. So wird für Android *Java* (im Falle der Notwendigkeit einer hohen Performance auch *C# / C++*), iOS *Objectiv-C* (in Zukunft *SWIFT*), Windows Mobile *C# - Visual Basic* und Blackberry *C# / C++* verwendet. Müssen, wie im Falle dieser Arbeit verschiedene Sensoren angesteuert und miteinander kombinieren werden, so kann es im Bereich der universellen Sensorauswertung zu großen Problemen kommen. Aufgrund der verschiedenen Arten von Rückgabewerten ist eine einheitliche Programmierung für drei oder mehrere Betriebssysteme nicht ohne Komplikationen umsetzbar. Lösungen wie sie zum Beispiel von *PhoneGap* angeboten werden (*Java-Containerformat für alle Systeme*), stoßen unter diesen erschwerten Bedingungen an ihre Grenzen. Dadurch kann momentan keine universelle Version für alle Betriebssysteme erstellt werden. Diese Problematik ist jedoch nur als temporär zu betrachten, da bereits verschiedene Betreiber mit Hochdruck an neuen Lösungen arbeiten.

Gefahren

Als Gefahren sind definitiv alle autonomen Ansätze im Navigationsbereich zu sehen. Da, ob bestehend oder neu erstellt, die notwendige Infrastruktur des *Wifi-Fingerprinting* das entwickelte System in eine externe Abhängigkeit drängt, ist es lediglich eine Frage der Zeit, wann die *Smartphone-Sensorik* so weit ausgereift ist, dass eine externe Infrastruktur generell überflüssig wird. [KING et al, 2006]

Um bei möglichst hoher Energieeffizienz eine optimale Versorgung umzusetzen, besitzen **WLAN-Router** neuerer Generationen die Fähigkeit das **Power-Level** der Signalausendung an die Entfernung eines sich in der Nähe befindlichen Empfängers anzupassen. Dadurch schwankt das ausgestrahlte **RSSI-Signal** und variiert je nach Hardware in seiner Signalstärke. Basierend auf diesem Trend wird eine Positionsbestimmung über die vorhandene **WLAN-Infrastruktur** erschwert. [KING et al, 2006]

Verbesserungsansatz des Wifi-Fingerprinting

Zusätzlich zur Messung der Signalstärke besteht die Möglichkeit der Einbindung des Magnetfeldsensors als Hilfe für eine exaktere Standortbestimmung. So kann bereits beim Einmessen der Fixpunkte auf die Ausrichtung des Smartphones und der dadurch unterschiedlich gemessenen **RSSI** besser eingegangen werden. Werden beim Einmessen der Fixpunkte auch die Werte je Richtung vermerkt, so können schon im Vorfeld nicht entsprechende Daten ausgefiltert werden. Dies verhindert das Anwenden von zu großen Toleranzen und verbessert die Qualität der Positionsberechnung, da nur jene Werte berücksichtigt werden, die mit der aktuellen Ausrichtung des Benutzers übereinstimmen. (Siehe **Abb. 6**) [KING et al, 2006]

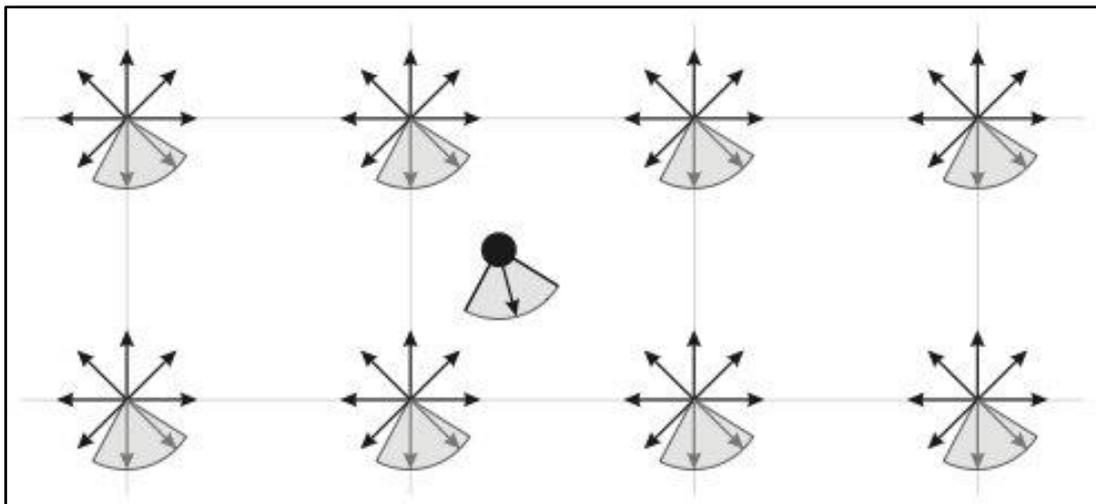


Abb. 6 Berücksichtigung der Richtung des Benutzers zur Verbesserung der Positionsberechnung
Arbeitsgrundlage: [KING et al, 2006]

In **Abbildung 6** werden acht eingemessene Punkte dargestellt, welche in jeweils acht zusätzlichen Ausrichtungen ausgemessen wurden. Die Ausrichtung des Benutzers (**schwarzer Punkt**) wird in Folge genutzt, um eine Differenzierung zu den bestehenden aber nicht in Frage kommenden Werten anzustellen. Dadurch sinkt der Rechenaufwand und die Positionsgenauigkeit steigt von **2,5m** auf **1.65m** aufgrund der besseren Abschätzung der tatsächlichen Position an. [KING et al, 2006]

Ein weiterer Ansatz wäre das **EZ-System** von **CHINTALAPUDI et al** welches auf die sogenannte **Offline-Phase**, sprich dem Erheben von Fixpunkten durch ein Preprocessing verzichtet.

Auch dieses System orientiert sich an der bestehenden **Wifi-Infrastruktur** und bedarf mindestens dreier **Access Points** zur Berechnung der Position. In diesem Fall muss jedoch der Startpunkt absolut, also in seiner Gesamtheit bekannt sein. Ausgehend von mehreren Usern werden bei der Anwendung der Smartphoneapplikation fixe Lokalisierungspunkte über die **RSSI** kontinuierlich in einer Datenbank gespeichert. Dies ergibt folglich einen Lückenschluss in Bezug auf die zu befüllende **Radiomap**.

Mit diesem Verfahren konnte **CHINTALAPUDI et al** die Standortbestimmung innerhalb eines Gebäudes auf **2m** Genauigkeit optimieren und zusätzlich die Feldphase in Folge komplett eliminieren. Hierbei handelt es sich um ein selbständig lernendes System, welches ohne aktiver Anwenderbeteiligung funktioniert. **[CHIN, 2010]**

Praktische Anwendung

Nach Abwägen der Vor- und Nachteile bieten sich bestimmte Lokalitäten besonders gut für den Einsatz der **WLAN-basierten** Positionierung an. Als Grundvoraussetzung muss allem voran eine ausreichend ausgebaute **Wifi-Infrastruktur** vorliegen, welche den Benutzer an jedem Punkt mit mindestens einem **Access Points** versorgt. Solche Verhältnisse können in erster Linie in Bürogebäuden, Schulen bzw. Hochschulen, auf Messegeländen, Kongresszentren oder öffentlichen Gebäuden angetroffen und verwendet werden.

Auch der Gedanke der ortsbezogenen Werbung drängt sich in den Vordergrund. Dabei wird die Position des Anwenders als Mittel zum Zweck für die Einblendung von Werbebotschaften angesehen.

2.8.2. Anwendung des QR-Codes in Kombination mit Dead Reckoning

Auch bei der Anwendung von **QR-Codes (Quick Response Codes)** in Kombination mit der **Dead Reckoning** ist es notwendig eine neue Infrastruktur aufzubauen. Diese besteht je nach Ausbaustufe aus mehreren Einzelcodes (**siehe Abb.7**) und einem online Speichermedium, welches das hinterlegte Datenmaterial bereitstellt.

Im Weiteren bedarf es einer bestimmten Grundausstattung des verwendeten Smartphones bei welcher es sich um die Smartphone-Kamera (**Autofokus**), den Beschleunigungssensoren sowie einem Magnetfeldsensor handelt.

- *Umsetzung*

Diese Methode basiert auf dem Einsatz von **QR-Codes** an neuralgischen und zentralen Stellen innerhalb eines Gebäudes. Auch der stockwerksübergreifende Einsatz ist ohne Probleme umsetzbar. Die Codes wurden **1994** von **Masahiro Hara** und seinen Teammitgliedern der Firma **Denso Wave (Tochtergesellschaft - Toyota)** entwickelt. Diese **2-dimensionale** Form eines pixelbasierten Codes enthält quadratische Blöcke an den Ecken zur Orientierung bzw. Ausrichtung der Information selbst und eine in schwarzen bzw. weißen Punkten dargestellte Binärinformation. **[QR-CODE] (Siehe Abb.7)**

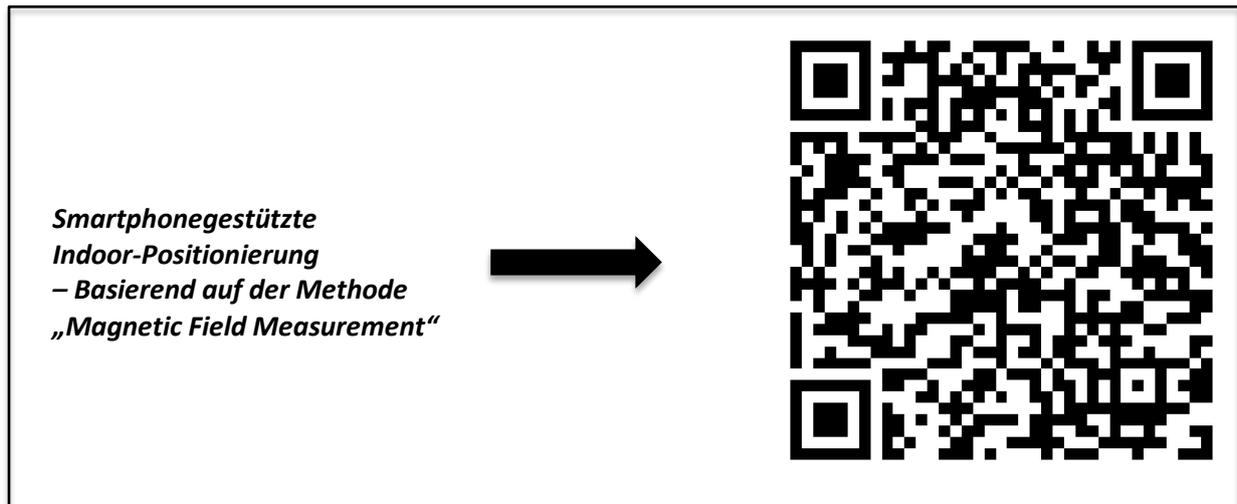


Abb. 7 Darstellung eines QR-Codes (Quick Response Code) inklusive der Binärcodebeschreibung in Textform
Arbeitsgrundlage: <http://goqr.me/de/>

In **Quick Response Codes** können verschiedenste Informationen eingebettet werden. Abgesehen von den üblichen Inhalten wie Internetadressen, Werbeslogans, Visitenkarten oder Telefonnummern, können diese auch zur Übermittlung von zwei- beziehungsweise dreidimensionalen Koordinaten verwendet werden. Durch diese Positionsangaben kann ein Gebäudeplan, der mit einem Gitter aus *x*- und *y*-**Koordinaten** überschrieben wurde, beim Scannen des Codes die absolute Position des Anwenders darstellen. Somit ist es zwingend notwendig eine QR-Lesefunktion in die zu entwickelnde Smartphone-Applikation einzubetten, welche die im Folgenden beschriebenen Anforderungen an das Endgerät des Users stellt. [SERRA et al 2010]

Um ausdrücklich auf die benötigten Ressourcen hinzuweisen werden diese im Folgenden angeführt:

Hardware des Smartphones

- Kamera mit Autofokus
- Beschleunigungssensoren
- Gyroskop
- Magnetfeldsensor

Externe Ressourcen

- Funknetz für Internetverbindung
- Externes Speichermedium (Datenserver)

An dieser Stelle kann das Projekt von **Alberto SERRA** [SERRA et al 2010] beschrieben werden, welches sich mit dem Einsatz von **QR-Codes** und der Kombination verschiedener Smartphonesensoren (**für das Dead Reckoning**) beschäftigt. Dabei bediente sich **SERRA** der **QR Codes**, um die absolute Position des Anwenders zu bestimmen und einen gleichzeitig verschlüsselten Downloadlink für seine Applikation bereit zu stellen. [SERRA et al 2010]

Durch das Einscannen des vorliegenden **QR-Codes** ermittelt bzw. gibt der Anwender seinen aktuellen Standort bekannt. In Folge kann mit dem **Dead Reckoning – Verfahren** begonnen werden. Hierbei wird über die Sensoren des Smartphones durch die Messung der Beschleunigung und deren Richtung auf die absolvierte Wegstrecke zurückgeschlossen. Dieser Prozess der „[...] annähernden Bestimmung der aktuellen Position des Anwenders“ [SERRA et al 2010] basiert auf der zu Beginn ermittelten Position des Users. [SERRA et al 2010]

- *Beschleunigungssensoren*

Die Schwerkraft der Erde übt eine **Gravitations-Beschleunigung** auf das Smartphone aus. Diese als konstant anzusehende Kraft, kann als Ausgangswert für die Bestimmung der Beschleunigung verwendet werden. Um eine Bewegungsgeschwindigkeit zu messen reicht im Prinzip ein Sensor, welcher die Beschleunigung in **X-Richtung** und **Y-Richtung** registriert. Da bei einem Fußgänger die Beschleunigungskräfte jedoch nicht konstant sind und sie sich von Schritt zu Schritt in ihrer Ausrichtung ändern, werden die vertikalen Kräfte in **Z-Richtung** zusätzlich aufgenommen. Je größer die Beschleunigung in eine Richtung, desto mehr Masse wird aufgrund der Trägheit eines Sensors gemessen. Somit kann anhand der Differenzen zur Schwerkraft, welche durch eine Bewegung entstehen, die Beschleunigung abgeleitet werden. Kommen zusätzlich noch vertikale Erschütterungen hinzu, so kann durch das Setzen eines Schwellenwertes für alle Kräfte in **Z-Richtung** die Anzahl der Schritte, sowie die Schrittgeschwindigkeit berechnet werden. (Siehe Abb.8 / 9 / 10) [SERRA et al 2010]

In **Abbildung 8a** werden die auftretenden Kräfte eines gehenden Menschen dargestellt. Die Messung der Beschleunigung in **X-Richtung (Sensor am Bauch (in Smartphonehöhe) und Bein)** verdeutlicht in **Abbildung 8b**, dass es bei einer Vorwärtsbewegung zwar zu Ausschlägen der Messwerte kommt, diese jedoch in ihrer Amplitude auf Grund der Komplexität des Gehens, nicht ohne größeren Aufwand eindeutig zuordenbar sind. Dahingegen zeigt die Aufzeichnung (Siehe Abb.9) der vertikalen Beschleunigung wesentlich signifikantere Merkmale, an Hand derer man eine eindeutige Schrittfolge abzählen kann. Wie zu sehen ist, tritt das Pendeln des **Z-Wertes** in wiederkehrenden Abständen auf, woraus auf ein relativ gleichmäßiges Tempo geschlossen werden kann. (grüne Linie Abb.9)

Trotz der erschwerten Auswertung betreffend der **X-Richtung** kann auf diese Messgröße nicht verzichtet werden, da die registrierten Vertikalbewegungen keinen Aufschluss über die Beschleunigung in **X-Richtung** geben. (Erschütterungen im Allgemeinen könnten der entwickelten Software falsche Werte liefern). [WEIDT, M. 2011]

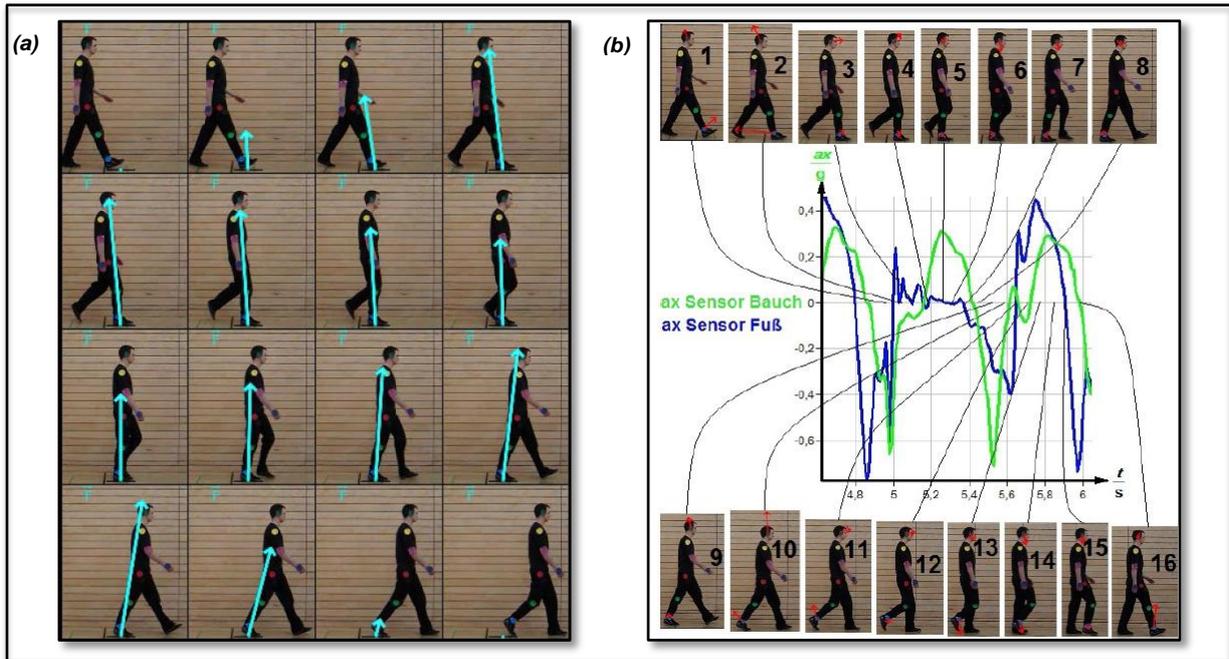


Abb. 8 Gangbild eines Menschen und die draus resultierenden Kräfte in die x-/y- und z-Richtung. (a) Messung der Horizontalkräfte beim Gehen – positive Beschleunigungswerte beschreiben die Bewegung des Beines nach vorne, negative Werte die Bewegung des Beines nach hinten (b) Arbeitsgrundlage: [WEIDT, M. 2011]

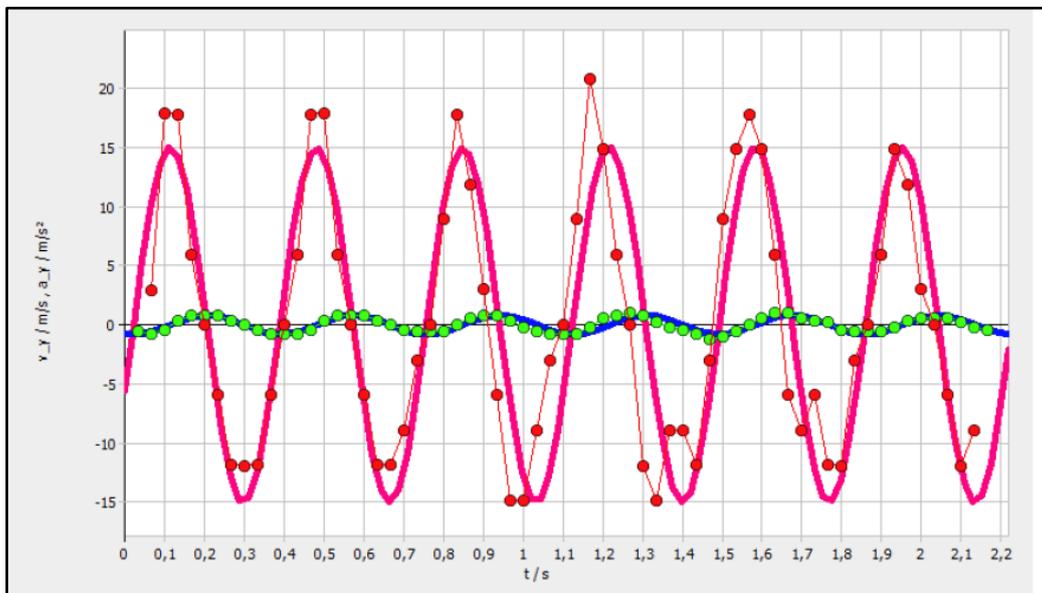


Abb. 9 Vertikale Geschwindigkeits- (rot) und Beschleunigungskomponente (grün) beim Gehen Arbeitsgrundlage: [WEIDT, M. 2011]

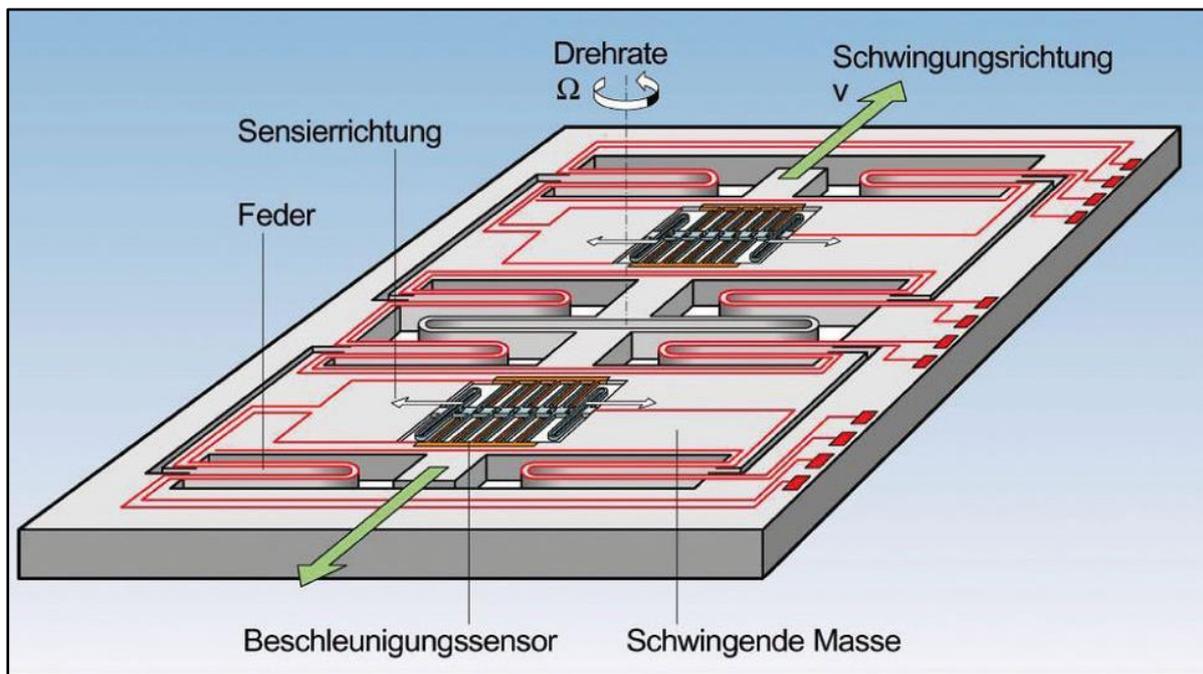


Abb. 10 Darstellung des schematischen Aufbaues eines Beschleunigungssensors von Bosch
Arbeitsgrundlage: [BS]

Durch die Kombination der beschriebenen Messwerte (**Beschleunigung in X-Y-Z-Richtung**), dem Einsatz von **QR-Codes** zur absoluten Positionsbestimmung und der Richtungsbestimmung über den Magnetfeldsensor des Smartphones, lässt sich die zurückgelegte Wegstrecke in etwa berechnen. Eine der dabei größten Problematiken wird durch die Beschleunigungssensoren verursacht. Ab wann von einem Schritt ausgegangen werden kann, bedarf einer genauen Schwellenwertdefinition der einzelnen Sensoren. Der Unterschied zwischen Mann und Frau bzw. Erwachsenen und Kind variiert im Bereich der Frequenz und Intensität der Messwerte. Somit kann zwar ein Schritt registriert, jedoch nicht exakt auf seine Länge zurückgeschlossen werden. Diese Fehlerquelle potenziert sich mit voranschreitender Entfernung zum Ausgangspunkt. [GUBI, K. 2010]

Um diesen Abweichungen entgegen zu wirken, wird im Bereich der Navigation üblicherweise auf die Methode des **Map Matchings** zurückgegriffen. Dabei wird das Messergebnis auf seine Gültigkeit (**befindet sich das errechnete Ergebnis innerhalb eines möglichen Ortes z.B. auf einem Weg**) überprüft und bei Abweichungen entsprechend der möglichen Position korrigiert. Dieses Verfahren wird vor allem im Bereich der **GPS-basierten PKW-Navigation** eingesetzt, da es dort durch Signalschwankungen zur Fehlanzeige der aktuellen Position kommen kann. Damit Fahrzeuge nicht neben einer Straße angezeigt werden bedient man sich daher der Methode des **Map Matchings**. Dasselbe Prinzip kann demnach in Gebäuden Anwendung finden, in denen die Wände als begrenzendes Element einer Wegstrecke dienen und diese das betroffene Gebiet generell von der Außenwelt abgrenzen. [GUBI, K. 2010]

- *Erkenntnisse bestehender Untersuchungen*

Serra et al empfehlen nach umfangreichen Tests Rahmenbedingungen, durch deren Einhaltung die notwendige Präzision (*maximale Abweichung von ca. 4%*) für das *Dead Reckoning* beziehungsweise *Map Matching* gewährleistet werden kann.

Aufgrund ortsabhängig unterschiedlicher elektromagnetischer Interferenzen ist es notwendig, eine Kalibrierung der Kompassfunktion nach bestimmten Abständen vorzunehmen. Dabei kommt es weniger auf die Anwendungsdauer als auf die lokalen Umgebungsverhältnisse an. So kann bei unzureichender Kalibrierung eine Ungenauigkeit von bis zu 5 Grad entstehen.

Gleiches gilt für die Beschleunigungssensorik, welche je nach Anwender (*Mann, Frau, Kind*) unterschiedlichen physikalischen (*Schrittlänge, Gewicht – Erschütterung je Schritt*) Bedingungen unterliegt. [**SERRA et al 2010**]

Nach zwanzig Testläufen zu je vierzig Schritten konnte ein durchschnittlicher Positionierungsfehler von 3,8% ermittelt werden. Dies bedeutet eine Abweichung von 1,52 Schritten nach einer Wegstrecke von unter 50m. Dies bedeutet, dass es sich empfiehlt, *QR-Codes* in einer Distanz von weniger als 100m für die Rekalibrierung zu positionieren. [**SERRA et al 2010**]

- *SWOT-Analyse*

Stärken

Die Anwendung von *QR-Codes* in Verbindung mit der Methode *Dead Reckoning* empfiehlt sich besonders im *Low Cost Sektor*. Aufgrund des sehr geringen Materialaufwandes der durch minimale Ausgaben für den Druck bzw. das Papier entsteht, liegt der Aufwand hauptsächlich beim Anwender und seiner selbst mitgebrachten Hardware (*Smartphone*). Die Entwicklung des Positionierungssystems beläuft sich ebenfalls im überschaubaren Rahmen und unterscheidet sich in Aufwand und Kosten kaum von der bereits erwähnten Methode des *Location-based Fingerprintings*.

Mit dem Vorteil, einen *QR-Code* wie ein Foto aufnehmen zu können, ergibt sich eine schnelle und komplikationslose Aktualisierung des Standortes. Die Positionsbestimmung des Benutzerstandortes ist zum Zeitpunkt des Scans (*QR-Code*) absolut. Auch die benötigten Sensoren sind zu diesem Zeitpunkt ohne Fehlerbehaftung kalibriert.

Die extern gelagerten Daten (*Kartenmaterial – Gebäudeplan*) ermöglichen eine einfache Wartung, wodurch häufige Updates vermieden werden können.

Schwächen

Gleich wie bei der Methode des *Location-based Fingerprintings* muss auch das auf *QR-Codes* und dem *Dead Reckoning* basierte System im Vorfeld dementsprechend vorbereitet werden. Dabei handelt es sich hauptsächlich um die Bereitstellung des Datenmaterials auf einem Server sowie dem Erstellen und Positionieren der *QR Codes*.

Die in diesem System wahrscheinlich größte Schwachstelle befindet sich momentan noch im Bereich der Hardware. Leider ist es noch nicht möglich, eine vollständige und absolute

Kalibrierung der Beschleunigungssensoren anzustellen, um die Dynamik der menschlichen Bewegung festzuhalten. Die Schritterkennung ist diesbezüglich noch nicht ausgereift, wodurch sich die Messfehler aufsummieren. Bereits erwähnte Untersuchungen ergaben, dass Wegstrecken, die länger als **100m** sind, aufgrund der mangelnden Genauigkeit der Sensorik nicht ohne grobe Fehler zurückgelegt werden können.

Die Anwendermerkmale der zu verwendenden Software unterscheiden sich in ihrer Gesamtheit enorm. Die erstellte Smartphoneapplikation sollte für Jedermann nutzbar sein. Eine externe Komponente wie der **QR-Code** kann dabei ein Problem darstellen. Je nach Zielgruppe unterscheidet sich der Bekanntheitsgrad dieses Mediums. Grundlegend kann davon ausgegangen werden, dass bei fehlender Kenntnis in Bezug auf die Nutzung des Codes, diese Variante der bildgesteuerten Lokalisierung nicht angewendet werden kann.

Je nach Ausbaustufe der Smartphonekomponenten können äußere Umstände wie schlechtes **Licht / Sicht** oder zu große Entfernung vom analogen Medium, zur Nichterkennung der Codes führen. Diese Problematik sollte sich jedoch durch die ständig weiterentwickelte Technik zum Teil von selbst lösen.

Letztlich ist die fehlende Autonomie zu erwähnen, die auch von diesem (**serverbasierten**) System nicht geboten werden kann. Der Anwender ist dahingehend von seinem Mobilfunknetz oder zumindest von der Gewährleistung einer **WLAN-Infrastruktur** abhängig.

Chancen

Die größte Chance besteht in der Weiterentwicklung der momentan verwendeten Algorithmen im Bereich der Schrittdetektion. Diese stellt momentan die größte Fehlerquelle dar und könnte durch die sich ständig verbessernde Hardware sowie durch eine Adaption der bestehenden Codes mit Methoden wie dem **Map Matching** minimiert werden.

Gefahren

Die größte Gefahr stellt in diesem System die momentan noch vorhandene Ungenauigkeit der Standortbestimmung dar. Die Akzeptanz, alle **50m** bis **100m** eine Kalibrierung vornehmen zu müssen, bedarf gleichzeitig der Bereitschaft, für die Standortbestimmung einen zusätzlichen Zeitaufwand in Kauf zu nehmen. Des Weiteren muss der Benutzer zum Datenabgleich eine Internetverbindung aufbauen. In Zeiten der mobilen Daten-Flatrate sollte dies jedoch kein Problem mehr darstellen, wenn gleich es in einem Gebäude durchaus zu Lücken im Datenübertragungsnetz kommen kann (**z.B. Keller**).

- *Verbesserungsansatz*

Für die Anwendung von **QR-Codes** in Verbindung mit dem **Dead Reckoning** gibt es verschiedene Verbesserungsansätze. Der vermeintlich beste Ansatz betrifft die Einbindung der Gebäudeausrichtung mittels **Google Maps**. Eine Gruppe von Wissenschaftlern um **ABDULRAHIM et al.** hat versucht, durch die Anpassung der Gebäudeausrichtung eine Verbesserung der Positionsgenauigkeit zu erreichen, indem diese über **Google Maps** als einmaliger Datensatz geladen und in Folge weiter verwendet wurde. Durch den Miteinbezug der Gebäudeausrichtung konnte in einem finalisierenden **40** minütigen Test, welcher das Auf- und

Abgehen einer vordefinierten Strecke beinhaltet, nachgewiesen werden, dass durch die Anwendung des Verfahrens eine Positionsgenauigkeit von $0,1\%$ (*entspricht einer Abweichung von 2,3m*) erreicht werden kann. Diese Adaption verbesserte die bestehenden Algorithmen in einem drastischen Ausmaß. [AHMH 2011]

Dahingegen wurden auch eigene Überlegungen im Bezug auf die *Autonomie* des Systems angestellt. Die im System von **ABDULRAHIM et al** auftretende Schwachstelle könnte erneut die Versorgung durch ein externes Funknetzwerk sein. Dieser Problematik kann jedoch mit der Verwendung des originalen Gebäudeplans entgegen gewirkt werden. Sofern auf pixelorientierter Basis eine Georeferenzierung stattfindet, besteht die Möglichkeit in Kombination mit dem Magnetfeldsensor ein autarkes System zu schaffen, welches aufgrund der korrekten Gebäudeausrichtung in seiner Genauigkeit über den Beschleunigungssensor noch weiter optimiert wird. Dabei wurde der Gedanke frei, lediglich über die Erschütterungen bei vertikaler Bewegung (*Schritt*) und der Registrierung einer Beschleunigung nach vorne in Kombination mit dem genordneten Gebäudeplan zu navigieren. Dadurch ergibt sich eine Reduktion bezogen auf die Rechenleistung (*Performance*). Gleichzeitig müssen auf Grund der permanent richtigen Nordung keine Seitwärtsbewegungen mehr registriert werden, wodurch Schritte, welche nicht exakt parallel zur Wegstrecke verlaufen, automatisch kürzer angezeigt werden und sich das System dadurch selbst kalibriert.

- *Praktische Anwendung*

Dieses System bietet sich vorwiegend für Gebäude an, die keine oder eine unzureichende *WLAN-Infrastruktur* besitzen (*Einkaufszentren, öffentliche Gebäude, Krankenhäuser*). Des Weiteren ist die Anwendung von *QR-Codes* vorteilhaft, wenn das System zur Standortbestimmung erst im Nachhinein installiert werden soll. Durch seine geringe Komplexität kann es mühelos in eine fremde Umgebung integriert und aus finanzieller Sicht mit minimalem Aufwand erstellt werden.

2.8.3.Szenenerkennung – Augmented Reality

In der heutigen Welt stößt der Mensch und sein Vermögen, sich detailreiche Informationen zu merken, an seine natürliche Leistungsgrenze. Im Zeitalter des Internet entsteht seit einiger Zeit eine zusätzliche digitale Demenz, welche durch das allgegenwärtige Internet (*Ubiquitous-Internet*) gefördert wird und sich über die mangelnde Fähigkeit des Merkens von Informationen äußert. [SPITZER]

Da ein Mensch im Berufs- und auch Privatleben oftmals auf ortsgebundene Informationen angewiesen ist und deren Notwendigkeit sich meist durch einen Spontanbedarf äußert, bedient man sich an Echtzeitinformationen über die im täglichen bzw. beruflichen Leben mitgeführten digitalen Informationsmedien.

Somit entsteht im Kontext zur Situation eine Interaktion zwischen Mensch und Technik, die den gewünschten Informationsfluss fördert und ortsgebunden passende Informationen liefert.

Eine Methode die diese Kriterien erfüllt nennt sich *Augmented Reality*. Sie ermöglicht, *Real-Szenen* mit zusätzlichen Informationen zu ergänzen, indem über ein Medium (*z.B. das Smartphone*) virtuelle Beschreibungen oder Hinweise über die *Real-Szene* gelegt werden. (Siehe Abb. 11)



Abb. 11 Augmented Reality – Szenenerkennung mit Informationseinblendung

Arbeitsgrundlage: [AR1]

Diese virtuellen Informationen haben den Vorteil, dass sie in einer Datenbank abgespeichert, ortsgebunden abrufbar und jederzeit sowohl vom Anwender als auch vom Betreiber adaptiert werden können. Dadurch findet eine Vernetzung zwischen der Realwelt und der virtuellen Welt statt. [OEHME, O. 2004]

Realwelt + virtuelle Information = AR (Augmented Reality)

- *Umsetzung*

Der **Augmented Reality-Ansatz** kann in zwei Durchführungsstufen eingeteilt werden. In der **Preprocessing-Phase** findet die bildhafte Aufnahme aller relevanten Szenen statt. Des Weiteren werden die aufgenommenen Bilder gerendert. Das Rendering ist eine Analyse der Einzelbildstruktur, durch welche signifikante Stellen als Referenzpunkt gespeichert und deren Referenzwerte in einer Datenbank eingetragen werden. [KAWAJI et al]

In der **Postprocessing-Phase** können Szenen, welche der Anwender durch die Smartphonekamera fokussiert, mit Hilfe der zuvor erstellten Datenbank bestimmten Informationen zugeordnet werden, welche dann als **Overlay** am Smartphone zu sehen sind. (Siehe Abb. 12) [KAWAJI et al]

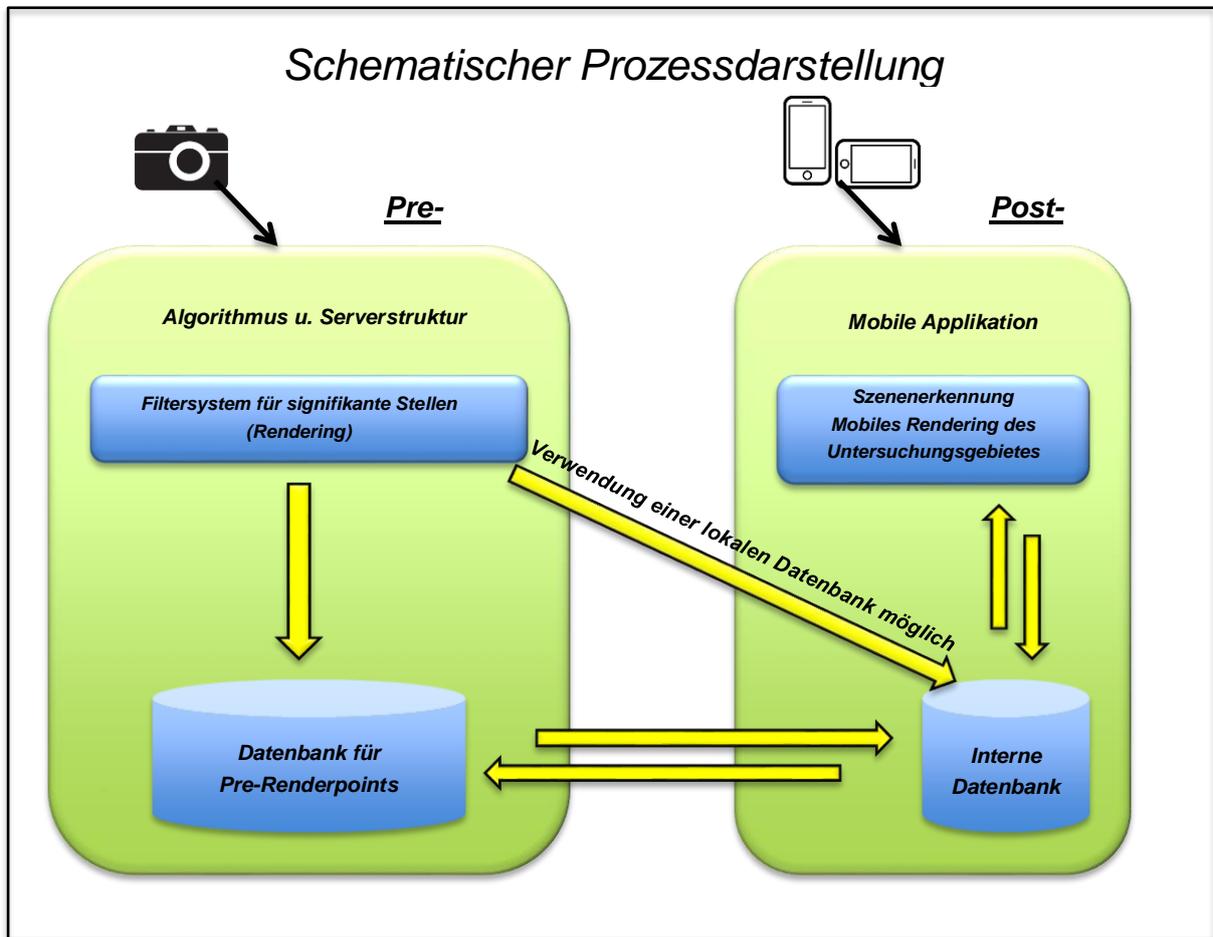


Abb. 12 Schematische Darstellung der möglichen Prozesse einer Software zur Szenenerkennung in Verbindung mit Augmented Reality

Im engeren Sinne muss für dieses System ein Filteralgorithmus entwickelt werden, der über die Kamera auf markante Punkte der Realweltszene abzielt. Durch den Filter können über eine Echtzeitaufnahme verschiedene Analysen wie z.B. die Häufigkeitsanalyse der Farbwerte getätigt werden. Dabei wird eine Standardszene auf ihre Besonderheiten untersucht, indem häufige oder sehr seltene Farbwerte herausgefiltert werden. Bezogen auf das erhaltene Ergebnis werden in Folge die Abstände zwischen den markanten Werten gespeichert und mit der im Vorfeld erstellten Datenbank verglichen. (Siehe Abb.13/14/15) [KAWAJI et al]

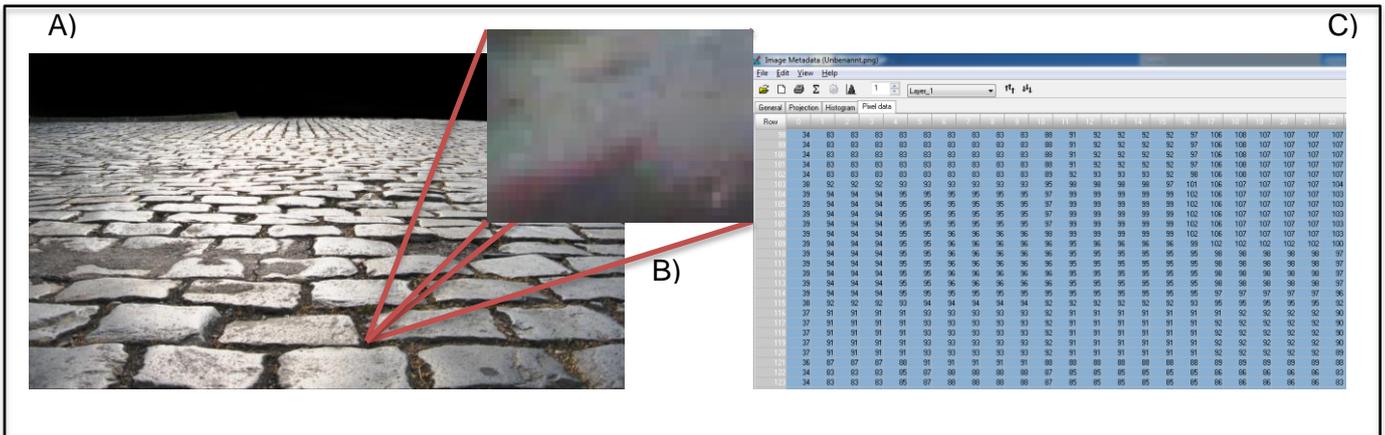


Abb. 13 Darstellung eines Bildes (A), eines Analyseelementes (B) und der entsprechenden Grauwerttabelle (C)
Arbeitsgrundlage: [GOOGLE1]

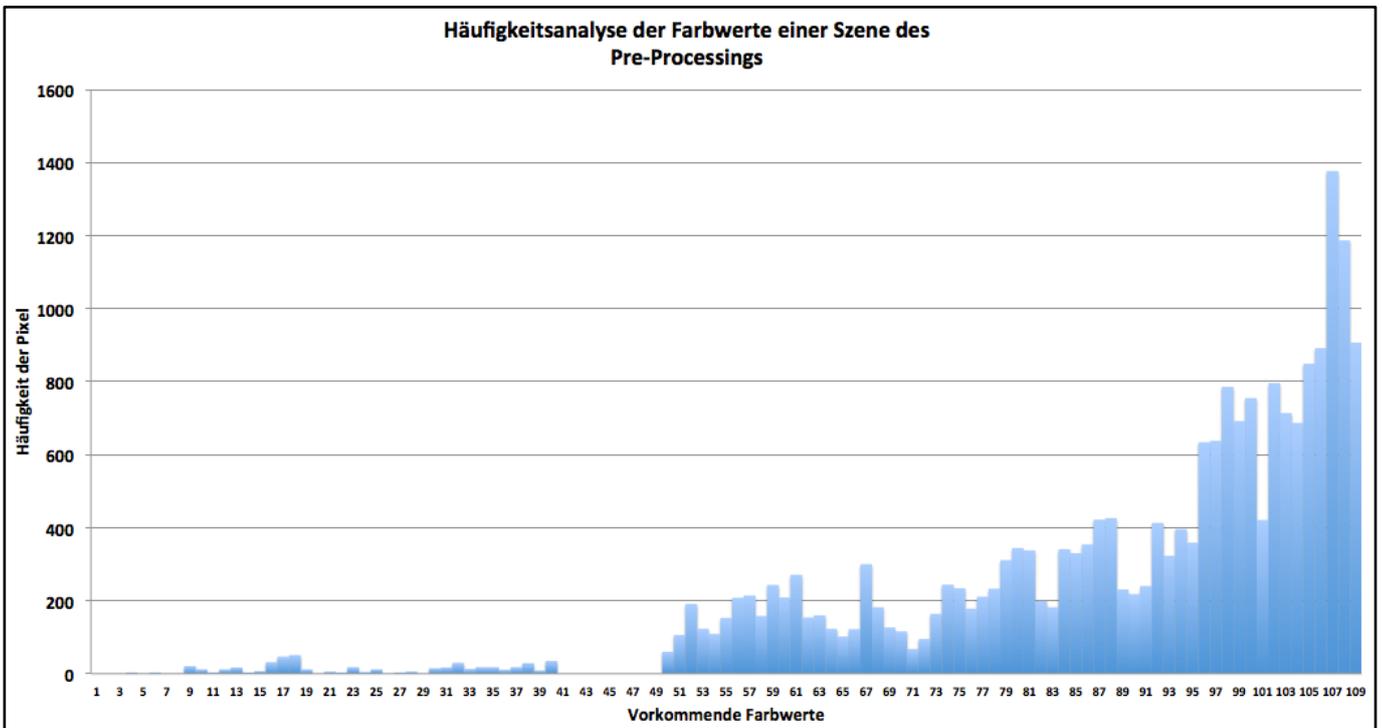


Abb. 14 Häufigkeitsanalyse der Farbwerte einer Szene des Pre-Processings

Der zuvor erläuterte Ansatz ist jedoch sehr rechenintensiv und bedarf einer Auslagerung des Hauptprozesses auf den Datenserver. Dahingehend kann bereits eine zu geringe Bandbreite der Datenverbindung zum Ausfall des Systems führen. [KAWAJI et al]

Dieser Problematik kann mit dem Ansatz der **Nearest-Neighborhood-Methode** entgegen gewirkt werden. Hierbei wird eine Ähnlichkeitsanalyse angestellt, welche Anhäufungen von Pixel gleicher Farbwerte in unmittelbarer Nähe registriert und das Zentrum der erhobenen (**lokalen**) Gesamtmenge als **markanten Punkt** speichert. Somit kann eine Aufnahme des **Pre-Processings** anhand der **Peak-Verteilung gerendert** werden, wodurch sich ein eindeutiges Muster welches zum Abgleich zwischen der aktuellen und der vorab aufgenommenen Szene verwendet werden kann, ergibt. (Siehe Abb. 15) [KAWAJI et al]

The screenshot shows a software window titled 'Image Metadata (ausschnitt.jpg)'. It features a menu bar (File, Edit, View, Help) and a toolbar with icons for file operations and zooming. Below the toolbar is a tabbed interface with 'General', 'Projection', 'Histogram', and 'Pixel data' tabs. The 'Pixel data' tab is active, displaying a grid of numerical values representing pixel colors. The grid has 31 rows and 27 columns. Three red circles are drawn around specific clusters of values: one around the first three columns of the first three rows, another around a cluster in the middle of the grid (rows 4-8, columns 3-7), and a third around a cluster in the bottom right corner (rows 14-20, columns 23-27).

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
0	74	74	74	73	71	71	71	71	76	74	74	74	74	75	75	76	76	75	81	80	80	80	80	80	81	80	79	84		
1	74	74	74	73	71	71	71	71	74	74	74	74	74	74	74	75	74	75	81	82	82	82	82	82	82	80	80	79	86	
2	74	74	74	73	73	71	71	71	74	74	74	74	74	74	74	74	74	81	82	82	82	82	82	82	80	80	79	86		
3	74	74	74	71	71	71	71	71	75	75	75	75	75	74	76	75	75	82	83	83	83	83	81	82	81	81	81	87		
4	75	74	74	73	73	73	73	73	76	75	76	76	76	80	80	81	84	83	91	91	91	91	92	97	98	98	96	99		
5	75	75	75	74	74	74	74	74	76	76	76	76	76	83	86	86	86	85	93	93	93	93	94	94	100	100	100	102	102	
6	76	75	75	74	74	74	74	74	76	76	76	76	76	83	86	86	87	85	93	93	93	93	94	100	101	101	101	102	102	
7	75	75	75	74	74	74	74	74	75	76	76	76	76	83	86	86	86	85	93	93	93	93	94	100	102	101	101	102	102	
8	75	75	74	74	74	74	74	74	78	76	76	76	76	81	86	86	86	87	94	93	93	93	94	99	102	101	101	103	103	
9	76	76	76	78	78	78	78	79	81	81	81	82	81	87	87	87	87	89	99	99	99	99	99	104	106	106	106	105	105	
10	75	75	75	77	77	77	77	77	80	80	80	80	80	84	88	88	88	90	99	98	98	98	99	107	107	106	107	106	106	
11	75	75	75	77	77	77	77	77	80	80	80	80	80	86	88	88	88	90	99	100	100	100	101	108	107	107	107	107	106	
12	75	75	75	77	77	77	77	77	81	80	80	80	80	86	87	88	88	90	99	100	100	100	101	107	107	107	107	107	106	
13	78	78	78	79	80	80	80	80	81	80	81	81	81	86	89	89	89	89	99	100	102	102	101	108	107	107	107	106	106	
14	82	82	82	82	83	83	83	83	86	86	86	86	86	91	93	93	93	95	106	106	106	106	107	113	114	114	114	111	111	
15	83	83	83	84	84	84	84	85	85	85	86	86	86	86	86	86	86	86	92	94	94	94	94	96	105	107	107	107	108	108
16	83	83	83	84	84	84	84	85	85	85	86	86	86	86	86	86	86	86	93	94	94	94	95	96	105	107	107	107	108	108
17	83	83	82	84	84	84	84	86	85	85	86	86	86	86	86	86	86	86	93	94	94	94	96	105	107	107	107	108	108	
18	84	84	84	85	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	93	94	94	94	96	105	107	107	107	108	108	
19	88	88	88	92	93	94	93	93	96	96	96	96	96	96	103	104	104	104	105	112	111	111	111	111	113	115	115	115	118	118
20	87	87	87	90	94	94	94	94	97	97	97	97	97	97	104	105	105	106	106	111	112	112	112	113	115	116	116	116	118	118
21	87	87	87	93	94	94	95	95	97	97	97	97	97	97	104	105	105	105	107	112	112	111	112	113	115	116	116	116	118	118
22	87	87	87	92	93	94	94	94	97	97	97	97	97	97	104	105	105	105	107	112	112	112	112	113	115	116	116	116	118	118
23	90	90	90	94	95	95	95	94	98	99	99	99	99	99	106	108	107	106	107	113	113	113	113	113	116	116	116	116	120	120
24	93	92	92	95	97	97	98	98	106	105	105	105	106	110	113	112	113	113	115	115	115	115	115	116	118	117	117	116	121	121
25	92	92	92	95	97	97	97	97	104	104	105	105	105	110	112	112	112	113	115	116	116	116	116	117	117	117	117	116	121	121
26	92	92	92	94	97	97	97	97	104	105	105	105	105	110	112	112	112	114	115	116	116	116	116	116	117	117	117	116	122	122
27	92	92	92	95	97	97	97	97	104	105	105	105	105	110	112	111	112	113	115	116	116	116	116	116	117	117	117	116	121	121
28	93	93	93	95	99	99	99	99	105	106	106	106	106	112	112	112	112	113	116	116	117	117	117	117	118	118	118	118	120	120
29	96	96	96	99	98	98	98	98	105	107	107	107	107	115	115	115	115	115	120	119	120	120	120	120	123	122	121	122	121	121
30	96	96	96	98	100	98	98	98	105	107	107	107	107	115	115	116	116	117	120	120	120	120	120	122	122	122	122	122	121	121

Abb. 15 Peakverteilung des Bildausschnittes in Abb. 13 (angegeben in Pixel-Farbwerten / markiert in rot)

Dieses Echtzeitverfahren ist eine sehr gängige Methode im Bereich der Augmented Reality. Dabei findet ein permanenter Abgleich statt, für welchen innerhalb eines Gebäudes, abhängig von der Größe des Untersuchungsgebietes, durchschnittlich 2 bis 3 Sekunden benötigt werden. Dies ist von verschiedenen Faktoren wie der Kameraauflösung-, der Prozessorgeschwindigkeit des Smartphones oder dem Schwenkverhalten des Anwenders abhängig. Nach dem Erkennen einer Szene ist somit die aktuelle Position des Benutzers bekannt. Dieser Information können in Folge verschiedene Aktionen nachgeschaltet werden wie zum Beispiel das Ausweisen der aktuellen Position auf einer Karte oder die Berechnung einer Route zu einem bestimmten Zielpunkt. [KAWAJI et al]

- Erkenntnisse bestehender Untersuchungen

Auch wenn KAWAJI et al mit einer omnidirektionalen Kamera gearbeitet haben und sich deren durchgeführtes Experiment leicht vom zuvor angeführten Ansatz unterscheidet, kann anhand der erworbenen Kenntnisse darauf zurückgeschlossen werden, dass selbst eine hohe Auflösung (bis zu 3500px * 950px) welche große Ressourcen beansprucht, die maximale Verarbeitungszeit (lt. Android Guidelines [AG]) von drei Sekunden pro Prozess nicht überschreitet. Auch die Erkennungsquote von über 90% spricht für das System, welches durch

leichtes Bewegen des Aufnahmemediums bei Nichterkennung einer Szene sogar auf **98%** gesteigert werden kann. **[KAWAJI et al]**

- *SWOT-Analyse*

Stärken

Die für eine Szenenerkennung zu entwickelnde Applikation hat den großen Vorteil, dass sie sowohl serverbasiert als auch softwarebasiert für eine interne und externe Datenbank entwickelt werden kann. Somit ergibt sich bei der Verwendung externer Ressourcen die Möglichkeit einer Fernwartung, durch welche besser auf kurzfristige Veränderungen reagiert werden kann. Zusätzlich können dadurch aufwendige Rechenprozesse ausgelagert werden, wodurch die Performance erheblich steigt.

Der softwarebasierte Ansatz kann dahingegen autark betrieben werden. Dies bringt in **Worst-Case-Szenarien** die nötige Unabhängigkeit des Systems. Im Notfall können bei größeren Veränderungen auch Updates in Bezug auf die gesamte Smartphoneapplikation gemacht werden. Mit den Aktualisierungen muss allerdings vorsichtig umgegangen werden. Der typische Benutzer hat laut den **Android Guidelines** nur eine geringe Toleranzgrenze bezogen auf Updates durch den Google Play Store, bevor er eine App wieder löscht. **[ANDROID2]**

Die serverbasierte Variante kann eine bestehende **WLAN-Infrastruktur** oder das mobile Funknetz zur Datenübertragung nutzen. Die Notwendigkeit des Erstellens einer individuellen Datenverbindung entfällt somit komplett.

Augmented Reality eignet sich hervorragend für Gebäude in denen das Installieren einer neuen Infrastruktur nicht möglich ist. Man denke an Museen oder Ausstellungen, in denen zusätzliche Marker wie zum Beispiel **QR-Codes** hinzugefügt werden müssten. Diese würden den Gesamteindruck eines Raumes komplett verändern oder einfach nur als störend wahrgenommen werden. Gleiches gilt für die Installation eines unabhängigen Funknetzes. Dieses würde in Anbetracht bereits vorhandener Sicherheitsinstallationen einen großen Aufwand bedeuten.

Die Bedienbarkeit des Systems der Szenenerkennung ist sehr einfach und vom Benutzer intuitiv erlernbar. Dahingehend sollte die Nutzerakzeptanz auch dementsprechend hoch sein.

Schwächen

Eine der potentiellen Problemstellen dieses Systems betrifft die Szenenauswahl im Vorfeld. Es ist grundlegend nicht möglich, ein und dieselbe Szene aus zwei verschiedenen Distanzen aufzunehmen und zu verwenden. Dabei würde sich die Verteilung der **Pixel-Peaks** nur verhältnismäßig ändern jedoch nicht deren Bezug zueinander. Somit kann nicht direkt unterschieden werden, in welcher Entfernung sich der Anwender vom Objekt befindet.

Auch die Abhängigkeit der serverbasierten Methode von einer Internetverbindung ist problematisch. Selbst vorhandene Infrastrukturen (**WLAN od. mobile Daten**) die genutzt werden dürfen, sind trotz alledem fremdbestimmte Ressourcen, die nicht für diesen Zweck entwickelt bzw. ausgelegt wurden. Das Gleiche gilt natürlich auch für ein nutzbares mobiles Funknetz.

Während die Vielfalt von Gegenständen in einem Museum der Szenenerkennung ausgesprochen entgegen kommt, kann es gerade in Bürokomplexen mit monotonen Gängen zu Problemen in Bezug auf die eindeutige Identifizierbarkeit von Szenenmerkmalen kommen.

Chancen

Die Szenenerkennung in Verbindung mit **Augmented Reality** birgt große Chancen auf Grund der möglichen Unabhängigkeit von externen Infrastrukturen. Dabei steigt die Qualität des Systems auch durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Smartphonehardware.

In Kombination mit weiteren zur Verfügung stehenden Sensoren, wie dem Magnetfeldsensor oder den Beschleunigungssensoren können sogar Methoden wie das **Dead Reckoning** eingebunden werden.

Durch die Integration von **Augmented Reality** besteht zusätzlich die Möglichkeit, externe Informationen in das System mit einzubinden. Somit kann ein Anwender selbst Erfahrungen oder Hinweise hinzufügen (**User Generated Content**) durch die andere Benutzer profitieren.

Gefahren

Die wohl größte Problematik dieses Ansatzes stellt die Abhängigkeit des Systems von der Smartphonekamera dar. Abgesehen von der Notwendigkeit ausreichender Lichtverhältnisse, kommt es in öffentlichen Gebäuden wie Museen oder Bürokomplexen sehr oft zu einem Kameraverbot. Bei diesem wird nicht zwischen einem Anwender, der ein Video aufnimmt und jemandem der eine Applikation zur Szenenerkennung nutzt, unterschieden. Gleiches gilt für die Aufnahme fremder Menschen. Nicht immer sind die gesetzlichen Voraussetzungen gegeben um sich innerhalb der geltenden Richtlinien zu bewegen. Auch wenn bei der Anwendung der entwickelten Smartphone App keine Aufnahmen getätigt werden, kann es zu Akzeptanzproblemen kommen.

In die externe (**serverbasierte**) Variante kann eine bereits vorhandene **WLAN-Infrastruktur** ohne Probleme integriert werden. Diesbezüglich könnte der Konkurrenzansatz des **Wifi-Fingerprinting** attraktiver erscheinen und der Szenenerkennung eventuell vorgezogen werden.

- *Praktische Anwendung*

Wie schon erwähnt bietet sich die Nutzung der Szenenerkennung besonders in Museen oder Ausstellungen an, da keine infrastrukturellen Neuinstallationen vorgenommen werden müssen. Zudem ergibt sich durch die Kunstwerke beziehungsweise Ausstellungsstücke eine kontrastreiche Szene, durch welche die notwendige Differenzierung der Pixelmuster relativ unproblematisch wird.

2.8.4. Near Field Communication (NFC)

NFC ist eine Technologie, die den berührungslosen Austausch von Informationen über kurze Distanzen ermöglicht. Basierend auf der **Radio-Frequency Identification (RFID)** ist **NFC** ein Standard, mit welchem eine Kommunikation zwischen Sender und Empfänger über Funk stattfinden kann. Bei einer Datenübertragungsrate von ca. **400 kBit** pro Sekunde ist jedoch das Senden von Informationen nur beschränkt umsetzbar. Da die Kommunikation zwischen Sender und Empfänger nur stattfinden kann, wenn ein Maximalabstand von ca. **10 cm** eingehalten wird, eignet sich diese Technik nur für bestimmte Aufgaben im Alltag. **[NFC7 2013]**

Mittlerweile ist die **NFC** in verschiedensten Produkten wie Smartphones, Bankomat- und Kreditkarten, Fahrkarten jeglicher Art oder einfach nur in einem Lager einer Lieferfirma zu finden. Im Smartphonebereich wird grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Nutzungsarten der **Near Field Communication** unterschieden. **[NFC7 2013]**

- *Informationsgewinnung*

Eine dieser drei Methoden der **Near Field Communication** beschränkt sich auf das Erhalten von Informationen. Dazu werden **RFID-Tags** verwendet, welche entweder Referenznummern aufweisen, zu denen auf einem Server oder virtuellen Speicher Informationen hinterlegt sind oder direkte Informationen in Form eines Internetlinks, einer Telefonnummer etc. gespeichert werden. In Folge ist das Abrufen der Information maximal vom Netzeempfang des Smartphones und der Funktionsfähigkeit des **RFID-Tags** abhängig. **(Siehe Abb.16)**



Abb. 16 Near Field Communication RFID-Tags

Arbeitsgrundlage: **[NFC4]**

- *Informationsversendung*

Die zweite nennenswerte Methode wäre das Versenden einer Information. Dabei werden die notwendigen Daten, eventuell auch Berechtigungen, vorab im Handheld abgespeichert und in Folge bei Bedarf an das Empfangsgerät (**Bankomat, Fahrkartenservice etc.**) weitergeleitet. **(Siehe Abb.17)**



Abb. 17 NFC als Bezahlungsform via Bankomatkasse Arbeitsgrundlage: [NFC5]

- Kommunikation zwischen zwei Smartphones (Peer to Peer)

Eine weitere Methode ist die Kommunikation zweier Smartphones über **NFC**. Dabei können Fotos, Dokumente oder andere Informationen zwischen zwei Smartphones ausgetauscht werden. Durch den Aufbau eines so genannten **Peer-to-Peer-Netzwerkes**, welches nur innerhalb einer geringen Distanz nutzbar ist, kann eine Kommunikation stattfinden. Mit dem Vorteil, dass eine zu große Distanz keinen Datenzugriff von unerwünschten Dritten zulässt ist es eine sehr sichere und unkomplizierte Kommunikationsmethode zwischen zwei oder mehreren Smartphones. (Siehe Abb.18)

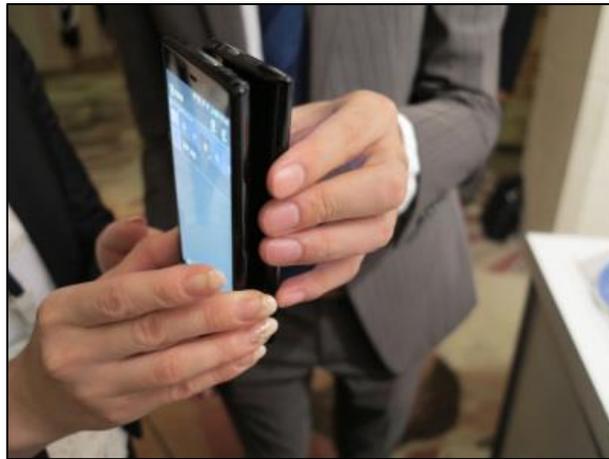


Abb. 18 Peer to Peer Kommunikation zwischen zwei Smartphones Arbeitsgrundlage: [NFC6]

- SWOT Analyse

Stärken

Die **Near Field Communication** bietet viele Vorteile, da sie sehr universell einsetzbar ist. Einer der größten Pluspunkte ist die Möglichkeit, diese Technik in mobilen Endgeräten zu verbauen. Betrachtet man das momentane Angebot am Smartphone Markt, so besitzt fast jedes im Handel erhältliche Smartphone eine **NFC** Kommunikationseinheit. [MEDIAMARKT]

Durch **NFC** ist sowohl das Erhalten, als auch das Empfangen von Informationen möglich. Dies kann für die verschiedensten Anwendungen wie zum Beispiel dem bargeldlosen Bezahlen,

dem Einsetzen als Identifizierungsmöglichkeit oder einfach nur dem sicheren Datenaustausch genutzt werden.

Das Thema Sicherheit hat für diese Art der Kommunikation zwischen zwei Endgeräten eine große Bedeutung. Durch die geringe Distanz, innerhalb welcher eine Verbindung stattfinden kann (*max 10 cm*), ist das Eingreifen eines Dritten so gut wie unmöglich.

Doch nicht nur die geringe Distanz einer Transaktion von Daten macht das Anwenden von **NFC** sicher, auch bestimmte Zusatzmethoden können zur eindeutigen Identifizierung des Anwenders beitragen. Die Frontkamera eines Smartphones eignet sich ohne weiteres zur Gesichtserkennung. Auch die bereits vereinzelt vorkommenden Fingerabdruckscanner können zur Identifikation eingesetzt werden.

Doch nicht nur der Anwender dieser Technik kann sich daraus einen Vorteil verschaffen. Da Smartphones bereits größtenteils mit **NFC-Einheiten** ausgestattet werden und in Zukunft so gut wie jedem User diese Technik zur Verfügung steht, lässt sich darauf schließen, dass die Nutzung dieser Technik kontinuierlich wachsen wird.

Dadurch öffnet sich für den Handel eine neue Art des Kundenmonitorings. Durch die Nutzung von **NFC** wird in Folge eine Kundenkarte überflüssig, da die Verbraucherinformation bei jeder Anwendung automatisch übertragen wird.

Schwächen

Die Einführung der **Near Field Communication** bringt jedoch auch Probleme mit sich. Die smartphonebasierte Anwendung dieser Technik benötigt Energie. Somit reduziert sich auch der Ladezustand des Smartphoneakkus. Ist der Akku eines Handhelds generell leer, kann **NFC** gar nicht genutzt werden und fällt somit aus.

Die Einführung einer neuen Infrastruktur betrifft jedoch nicht nur den Smartphone Markt. Je nach Anwendungsbereich bedeutet die Nutzung der **Near Field Communication** das Adaptieren der vorhandenen Infrastruktur im Handel. Ob **RFID-Tags** oder neue Bankomatkassen mit entsprechender Funktion, die Anschaffung oder Erweiterung bestehender Systeme ist immer mit Kosten verbunden.

Betreffend der Sicherheit ist zu erwähnen, dass selbst Smartphones durch Viren angegriffen werden können. Somit besteht bei nicht erkannten Sicherheitslücken die Möglichkeit, dass prekäre Informationen ungewollt preisgegeben werden.

Chancen

Die Startposition dieser Technologie könnte mit dem Einsatz in Smartphones nicht besser sein. Durch die leichte Zugänglichkeit und dem Erreichen großer Benutzergruppen wurde aus strategischer Sicht eine Meisterleistung vollbracht. Auch das Interesse der Smartphone Käufer, bezogen auf die Anwendung, ist gegeben. Das Verkürzen der Abläufe bei Bezahlung, Identifizierung oder einem Datenaustausch überwiegt mit seinen Vorteilen. Vor allem das Interesse der Wirtschaft (**Handel-, Dienstleistungssektor**) ist groß, da der Kunde gewollt oder ungewollt noch mehr zu einem gläsernen Menschen wird. Durch den Einsatz von **NFC** in

Smartphones besteht eine allgegenwärtige Möglichkeit diese Technik anzuwenden. Dies ist mitunter die größte Chance eine Technik wie die *Near Field Communication* auf Dauer am Markt zu halten. [CHANDRA, S. 2010]

Gefahren

Die Gefahren der *NFC Technik* können bei ihrer verhältnismäßig einfachen Anwendungsmöglichkeit leicht unterschätzt werden. Basierend auf diesem neuen Weg der Kommunikation, wird verstärkt versucht, analoge Scheckkartenformate in Form von Identitätsnachweisen oder Zahlungsmitteln in das Smartphone zu packen. Wird dieser Kanal mit all seinen Informationen für das entsprechende Equipment geöffnet (*NFC-Tags*), so besteht immer die Möglichkeit einer Datenlücke.

Zusätzlich bietet nicht jede Lokalität eine eindeutige Positionierungsmöglichkeit der notwendigen Hardware (*NFC Tags*). Es kann durchaus vorkommen, dass auf Grund von unzureichenden Befestigungsmöglichkeiten die sichtbare und für den Nutzer auffindbare Positionierung eines *Tags* nicht möglich ist. [CHANDRA, S. 2010]

Praktische Anwendung

Bezogen auf die vorliegende Thematik wäre das Einsetzen der *Near Field Communication* über die Verwendung von *RFID-Tags* denkenswert. Damit ist im Notfall eine Identifizierung eines Stockwerkes oder der absoluten Position definitiv realisierbar. Durch die spezifische Verteilung von *RFID-Tags* könnten in Folge Brücken für stör anfällige Referenzpunkte geschaffen werden. Es sei jedoch nicht vergessen, dass diese Technik lediglich als Hilfsmittel und nicht zur reinen Positionsbestimmung eingesetzt werden soll.

2.9. Das Magnetfeld der Erde

Das Erdmagnetfeld ist ein durch den *Geodynamo* erzeugtes, die Erde umgebendes Magnetfeld. Dieses wird auch als Magnetosphäre bezeichnet. Die hauptsächliche Energie geht vom Erdkern aus (ca. 95%) und nimmt die Charakteristik eines magnetischen Dipols an. Unter einem Dipol versteht man die physikalische Anordnung von zwei gegensätzlich geladenen magnetischen Polen (*Erdnord- und Erdsüdpol*), um welche ein Dipolfeld entsteht, dessen Ladungsstärke gegen Null konvergiert und gleichzeitig umgekehrt proportional gegen unendlich divergiert (+/-). Somit tritt der magnetische Nordpol

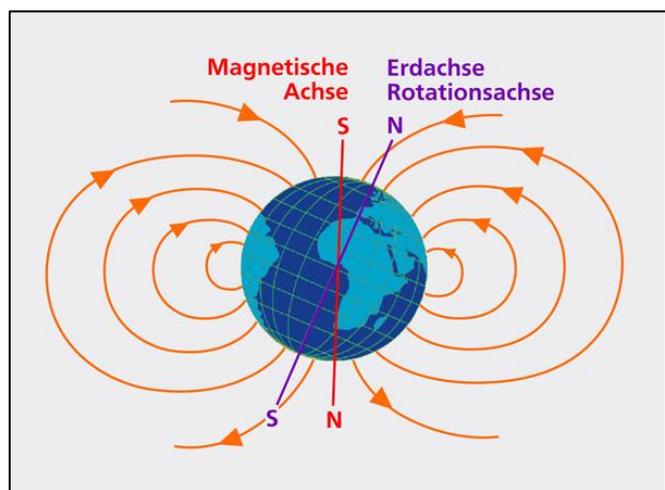


Abb. 19 Darstellung des Erdmagnetfeldes (Dipolfeld)
Arbeitsgrundlage: [DIPOL]

bzw. seine magnetische Feldstärke an der Südhalbkugel der Erde aus und an der Nordhalbkugel der Erde wieder ein. Äußere Einwirkungen wie etwa Sonnenwinde beeinträchtigen die magnetischen Feldlinien und lenken diese von außerhalb der Erde entsprechend ab. (Siehe Abb. 19 / 20) [HAAK, V. 2003]

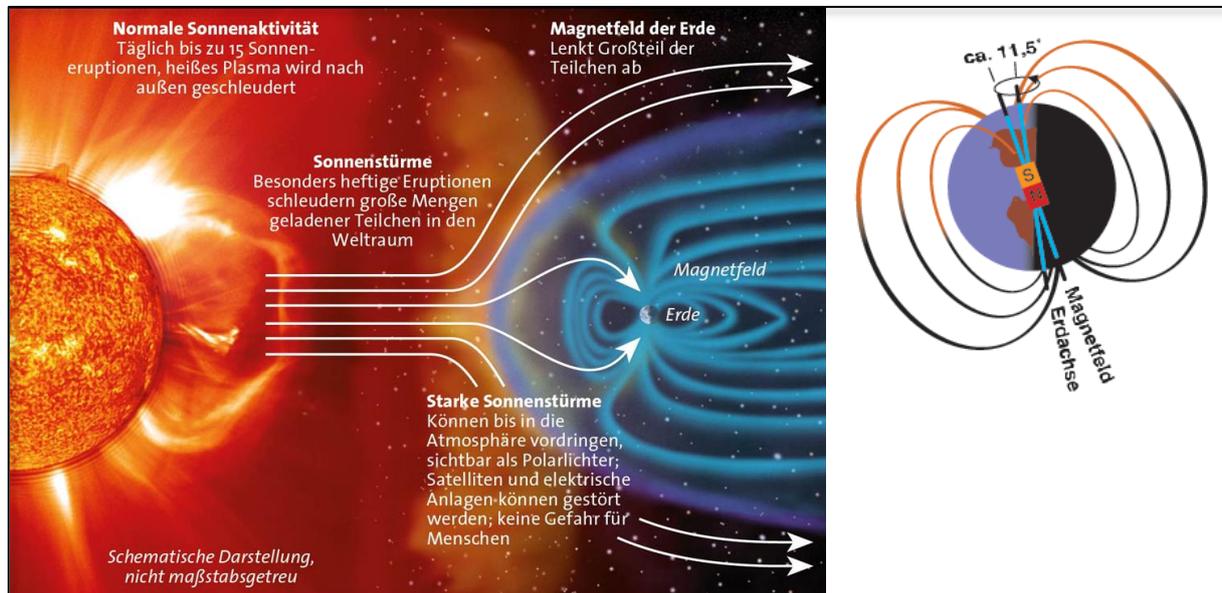


Abb. 20 Darstellung des Einflusses von Sonnenwinden auf das Erdmagnetfeld

Arbeitsgrundlage: [STS]

Betrachtet man **Abb. 20**, so fällt auf, dass die dargestellten Eruptionen der Sonne das Magnetfeld der Erde sonnenseitig zusammendrücken und es auf der sonnenabgewandten Seite in die Länge gezogen wird. Je größer eine Sonneneruption ist, desto stärker fällt die Deformation des Erdmagnetfeldes aus. Durch einen auftretenden starken Sonnenwind wird ein Magnetfeld (interstellar) mitgeführt, welches auftreffend auf das Erdmagnetfeld eine Neutralisation dessen bewirkt. Somit ist eine stärkere Ionisierung der Atmosphäre gegeben, wodurch das sonst eher stabile terrestrische Magnetfeld größeren Schwankungen ausgesetzt ist. Diese Störungen halten allerdings nachweislich (*nachgewiesen im Jahr 1859 in Schweden*) kaum länger als ein paar Stunden in ihrem Peak an, wodurch sich das Magnetfeld entsprechend schnell wieder stabilisiert. Durchschnittlich erreicht die Sonnenaktivität alle 11 Jahre ihr Maximum, wovon das Letzte in 2013 stattfand. Da die Störungen jedoch hauptsächlich im elektromagnetischen Bereich auftreten, sind die erwähnten Schwankungen für dieses Projekt kaum relevant. [BMDE]

Inklinationswinkel

Wie in **Abb.21** ersichtlich, befinden sich der magnetische Nord- und Südpol nahe der Erdrotationsachse. Dort haben diese Pole auch ihre stärkste und am magnetischen Äquator die schwächste Ausprägung. Als Inklinationswinkel wird jener Winkel bezeichnet, in dem die Magnetfeldlinien die Oberfläche der Erde durchschneiden. [IKL]

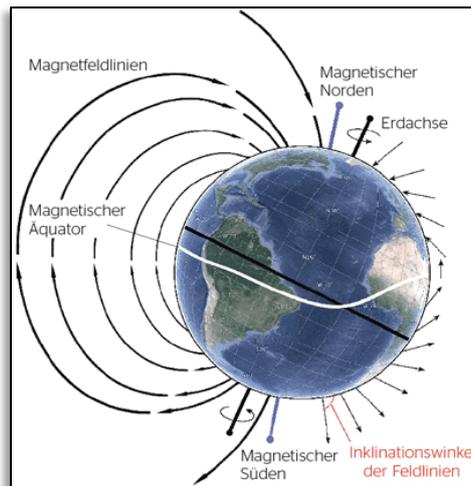


Abb. 21 Darstellung des Erdmagnetfeldes und dessen Inklinationswinkel
 Arbeitsgrundlage: [IKL]

2.9.1. Geodynamo

Wie das Hauptmagnetfeld der Erde entsteht, ist zum heutigen Zeitpunkt noch nicht eindeutig geklärt. Die dahingehend plausibelste Annahme der Entstehung beschreibt die Dynamotheorie. Der sich hinter dieser These versteckende Mechanismus wird als Geodynamo beschrieben und gleicht am ehesten dem elektromagnetischen Dynamo eines Fahrrades. [GUBBINS, D. 2007]

Dieser Vergleich entstand aus dem dynamoelektrischen Prinzip. Gleichstromgeneratoren (**Dynamos**) erzeugen bei der Stromproduktion ein Magnetfeld, welches sich durch die notwendige Schaltungsanordnung ergibt. Das dadurch entstehende Magnetfeld wird als positive Rückkopplung bezeichnet. Diese Tatsache ist jedoch die einzige Verbindung zwischen dem Erdmagnetfeld und einem Gleichstromgenerator. Im engeren Sinne haben diese zwei Systeme jedoch keine übereinstimmenden Komponenten, wodurch die beschriebenen Prinzipien nicht miteinander verglichen werden können. [GUBBINS, D. 2007]

Die Theorie des Geodynamo stützt sich auf dem Wissen um den Aufbau des Erdinneren. Nur unter der Voraussetzung einer im hohen Ausmaß vorhandenen elektrisch leitenden Flüssigkeit findet diese Annahme ihre Berechtigung. Es wird davon ausgegangen, dass der stark eisenhaltige Erdkern von einem flüssigen äußeren Kern umhüllt wird. Durch die enorme Hitze (**bis zu 5000° C**) wird für alle sich im Erdreich befindlichen Materialien die **Curie Temperatur** erreicht. Dies hat eine Eliminierung des Magnetfeldes aller sich dort befindlichen Materialien zur Folge, wengleich die elektrische Leitfähigkeit nicht darunter leidet. [GUBBINS, D. 2007]

Durch die Massenträgheit zieht es das heiße Material des flüssigen Erdkerns in dessen äußere Regionen, in welchen eine relative Abkühlung stattfindet und dieses zurück zum Inneren des Erdkerns absinkt. Dadurch entstehen Konvektionsströmungen, welche sich im Erdinneren durch die Bewegung der flüssigen Materie ergeben. Diese Strömungen werden in Verbindung mit der Corioliskraft und der eigenen Massenträgheit durch die Rotation der Erde in eine Schraubenbahn abgeleitet. Dies kann mit dem Entstehen eines Wirbelsturms in der Erdatmosphäre verglichen werden. (Siehe Abb.22) [GUBBINS, D. 2007]

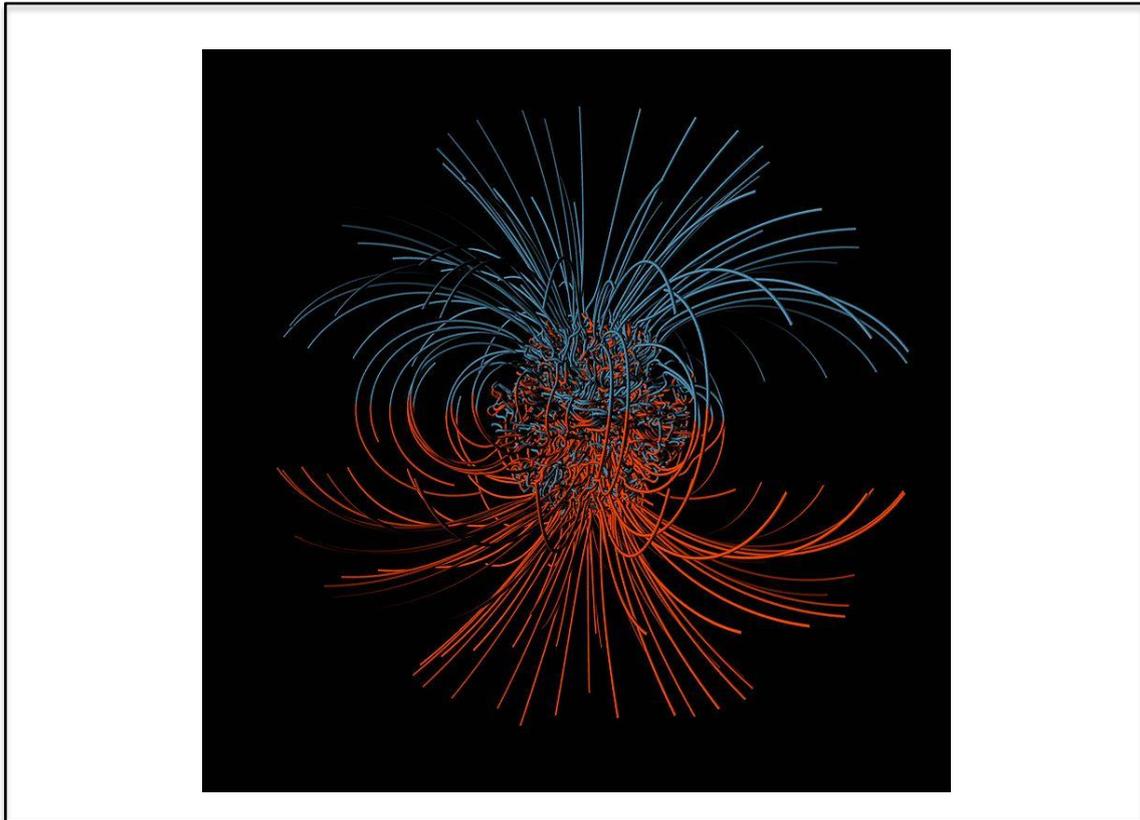


Abb. 22 Darstellung des Erdmagnetfeldes mit vereinfachter Dipoldarstellung im Außenbereich
Arbeitsgrundlage: [GLATZMEIER]

Diese schraubenförmige Bewegung elektrisch leitfähiger Materialien erzeugte zu Beginn der Erdentstehung ein schwaches Magnetfeld. Durch die dabei entstehende positive Rückkopplung wurde das Magnetfeld in seiner Kraft gestärkt, was wiederum zu einer Erhöhung des Induktionsstromes führte, wodurch das Magnetfeld erneut gestärkt wurde. Dieses Phänomen schaukelte sich bis zum Erreichen des Begrenzungseffekts, also der maximalen Energieauslastung auf, wodurch sich ein stabiler Zustand ergab. Somit erzeugt sich der für das Erdmagnetfeld notwendige Strom von selbst. [GUBBINS, D. 2007]

Bisher konnte noch kein vereinfachtes Modell der Dynamotheorie erstellt werden, welches das Erdmagnetfeld nachvollziehbar darstellt und eine Verbindung zwischen der sich im Erdkern befindlichen Supraleiter-Flüssigkeit und den Feldlinien des Magnetfeldes herstellt. [GUBBINS, D. 2007]

2.9.2. Ausrichtung des Magnetfeldes

Das Magnetfeld der Erde ist grob beschrieben ähnlich der geographischen Nord- bzw. Südrichtung zur Erde positioniert. Es ist nicht stabil und verändert sich (*Säkularvariation*) wenn auch nur mäßig im Zeitraum von mehreren tausend Jahren. Der Inklinationwinkel beträgt für Graz in etwa 59° entgegen einer Horizontalebene, hat an den Polen jeweils 90° und erreicht am Äquator die klassische 0° Neigung. Bei genauerer Betrachtung (*Siehe Abb.21*) kann erkannt werden, dass sich der magnetische Südpol mit einer Abweichung von *ca. 11,5%* (*Stand 2007*) zur

Rotationsachse der Erde in Richtung des geographischen Nordpoles ausrichtet. Dies gilt in umgekehrter Form auch für den Südpol. Daraus ergibt sich in etwa eine Abweichung von **450 km** vom Erdmittelpunkt in Richtung Osten (**140° Länge**). Dieses, einem Stabmagneten entsprechende Dipolfeld, hat ein Moment von: **[BMDE]**

$$M = 7,746 \cdot 1024 \text{ nT} \cdot \text{m}^3 \text{ (Stand 2010)}$$

(Formel 2.1)

Die näherungsweise Berechnung des Dipolfeldes (**B**) ergibt sich aus der magnetischen Breite (λ), dem Dipolfeldmoment (**M**) und dem Abstand zum Magnetmittelpunkt im rechten Winkel (**R**) **[DIPOL1]**

Dipolformel:

$$B(R, \lambda) = \frac{M}{R^3} \sqrt{1 + 3 \cdot \sin^2(\lambda)}$$

(Formel 2.2)

[...]

„Das Tesla (**T**) ist eine abgeleitete SI-Einheit (*Système international d'unités*) für die magnetische Flussdichte. Es wird wie folgt definiert“: **[CHEMIE 2017 S1]**

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{V}^{\text{s}}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{As}^2}$$

(Formel 2.3)

V = Volt s = Sekunde m = Meter N = Newton „A = Ampere Wb = Weber kg = Kilogramm

[CHEMIE 2017 S1]

Das Magnetfeld der Erde hat am Äquator eine gemessene Stärke von **30 μT** . Folglich ergibt sich daraus an den Polen eine doppelt so große Feldstärke (**60 μT**). Bezogen auf Graz bedeutet dies einen Wert um die **40 μT** , wobei der Standort und dessen Umgebung stark für eventuelle Abweichungen durch verschiedene Bausubstanzen verantwortlich sind. Mehr als **95%** der erdmagnetischen Feldstärke resultieren aus dem Magnetismus des Erdkerns. Die Ionosphäre (**Anteil der sich über 100 km Höhe befindet**) sowie die sich oberhalb von **100 km** Höhe befindlichen Magnetosphäre steuern weitere **2%** der magnetischen Energie bei. Zusätzlich befinden sich in Nähe der Erdoberfläche (**ca. 20 km unterhalb der Erdoberfläche – variiert jedoch nach Magnetwerkstoff**) weitere Magnetfelder, welche meist in Häufungen von magnetisierten Mineralien auftreten. Deren Vorkommen beschränkt sich aufgrund der Curietemperatur bis zu einer Tiefe von **20 km** und nimmt in etwa dasselbe Ausmaß wie das überirdische Magnetfeld ein. **[BADER, K. 1964]**

2.10. Messverfahren und deren Eigenschaften

Die Stärke des Erdmagnetfeldes wird üblicher Weise mit einem Magnetometer gemessen. Dabei wird die magnetische Flussdichte in der Einheit Tesla und die magnetische Feldstärke in Ampere pro Meter aufgezeichnet. Während die Flussdichte des Magnetfeldes Auskunft über das an einer Position vorhandene magnetische Strahlungsaufkommen gibt, verrät die Feldstärke die Leitfähigkeit von Materialien. Ohne Störeinflüsse verhalten sich Materialien in Bezug auf die Feldstärke und Flussdichte zueinander proportional. Dies setzt allerdings ein Vakuum voraus, durch welches die meisten Störquellen eliminiert werden. **[GODYNAMO]**

Mechanische Messgeräte (Feldwaage, Torsions-Magnetometer) wurden im Laufe der Zeit hauptsächlich von elektronischen bzw. atomaren Messgeräten abgelöst. Dazu zählen **Saturationskern-, Protonen- oder Cäsium-Magnetometer**. Die erdoberflächennahen Störeinflüsse kommen hauptsächlich in kleinräumigen Anhäufungen der obersten Gesteinsschichten vor und beeinflussen das Magnetfeld der Erde partiell. Zu Beginn der Messungen, die es seit dem zwölften Jahrhundert gibt, war die Schifffahrt einer der größten Leistungsträger für Aufzeichnungen. Erst seit Beginn des 19. Jahrhunderts wurde mit dem Bau von weltweit **200** Observatorien zur **Erdmagnetfeld Beobachtung** begonnen, welche **1882, 1932** und **1957-1958** verstärkte internationale Messkampagnen durchführten. **[RIPKA, P. 2001]**

Im Laufe der Zeit wurden entsprechend der fortschreitenden Technik spezielle Satelliten entwickelt, mit denen vom Orbit aus Messungen vorgenommen werden können. Der große Vorreiter für die technischen Innovationen in diesem Bereich war die US-Behörde **NASA (National Aeronautics and Space Administration)**, welche bereits in den **1980er** Jahren den ersten Satelliten (**Magsat**) zur Observation in den Weltraum befördert hat. Unter vielen weiteren Satelliten war es wohl **CHAMP (Challenging Minisatellite Payload)**, gebaut vom Geo-Forschungszentrum in Deutschland (**GFZ**), der in seiner **10-jährigen** Einsatzdauer bisher die genauesten Informationen erhoben hat. Mit einer Auflösung von **2 ppm (0,0002%)** konnten nicht nur hochauflösende Aufzeichnungen gewonnen werden, dadurch war es auch erstmals möglich, Echtzeitbeobachtungen anzustellen. Die Ablöse von CHAMP erfolgte durch **SWARM**, einem Satelliten der **ESA (European Space Agency)**, welcher innerhalb der Earth Explorer Mission entwickelt und am **22.11.2013** in Betrieb genommen wurde. **[SWARM 2005]**

Messungen finden jedoch nicht nur im Weltraum sondern auch im Luftraum (**100m bis zu mehreren km**) statt. Dabei geht es hauptsächlich um geologische Untersuchungen, mit welchen die Lagerstätten von Rohstoffen nachgewiesen werden können. **[RIPKA, P. 2001]**

Sinn dieser vorangegangenen Erwähnungen ist das Zusammenspiel der verschiedenen Magnetfeldbeobachtungen. Ortsgebundene Zeitreihen (**Erhebung durch Observatorien**) können nicht durch Satellitenmessungen ersetzt werden, denn das Auffinden von kleinräumigen Anomalien ist im globalen Maßstab nicht möglich. Im umgekehrten Sinne, kann jedoch ein Observatorium keine Aussage über die Entwicklung globaler Veränderungen des Erdmagnetfeldes treffen. **[RIPKA, P. 2001]**

Vor Antritt einer Messarbeit, die sich auf das Magnetfeld der Erde bezieht, sollte man sich unter anderem auch mit den regionalen Schwankungen des Magnetfeldes auseinandersetzen. Dies ist besonders von Vorteil, wenn es um Messtoleranzen geht. Sollte von Seiten

des betreffenden Observatoriums (*Conrad Observatorium - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Hohe Warte, Wien*) eine Regelmäßigkeit der Schwankungen nachgewiesen sein, so ist bereits bei der Erhebung der Basisdaten die Stabilisierung der Messungen möglich. [ZAMG]

2.10.1. Relevante Messgeräte

Leider ergab sich für die angestrebten Messungen des Erdmagnetfeldes keine Möglichkeit, ein Hochpräzisionsmagnetometer zu beschaffen. Dahingehend mussten die notwendigen Messungen mit vergleichsmäßig minderwertigen Sensoren (*Hallsensor-Smartphone*) durchgeführt werden. Unter Verwendung der folgenden Geräte:

- *LG Nexus 5*
- *Samsung Galaxy S4*
- *Samsung Galaxy S3 mini*

wurde in der ersten Phase der angestellten Messreihen der Versuch gestartet, das Sensorrauschen des Hallsensors festzustellen. Dahingehend ergab sich im Weiteren die Möglichkeit, verschiedene Filterfunktionen zu testen, durch welche eine Unterdrückung des Sensorrauschens angestrebt wurde. (*Siehe Punkt 5.4*)

- *Hallsensor*

Seit über einhundert Jahren ist in der Wissenschaft der Hall-Effekt bekannt. Doch erst seit ca. zwei Jahrzehnten wird dieser zu kommerziellen Zwecken genutzt. Heutzutage (*2014/2015*) werden Hall-Sensoren in verschiedensten Produkten wie Computern, Smartphones, Flugzeugen oder Kraftfahrzeugen integriert. [HALLBOOK]

Beeinflusst von einem Magnetfeld verändert sich die Ausgangsspannung eines Hall-Sensors entsprechend der magnetischen Flussdichte des gemessenen Magnetfeldes. Der Hall-Sensor eines Smartphones nutzt also den *Hall-Effekt*, um eine lokale Änderungen der Erdmagnetfeldstärke wahrzunehmen. [HALLBOOK]

Verwendet man einen stromdurchflossenen elektrischen Leiter (*Hall-Sonde*) der sich in einem Magnetfeld befindet und zu diesem senkrecht steht, so ergibt sich eine Spannung (*Hall-Spannung*), die proportional zum Produkt aus magnetischer Feldstärke und Strom ist. Diese Methode kann auch dann angewendet werden, wenn das den Leiter umgebende Magnetfeld stabil ist. Diese Eigenschaft ermöglicht im Weiteren den Einsatz dieser Messmethode in einem Smartphone. [HALLBOOK]

Über die Hall-Sonde misst man die durch den Stromfluss entstehende Spannung (*Hall-Spannung*), welche durch die magnetische Flussdichte beeinflusst wird. Die Sensibilität des verwendeten Materials für die *Hall-Sonde* wird über den Wert der *Hall-Konstante* ausgedrückt. Je größer die Hall-Konstante, desto empfindlicher und entsprechend genauer auch die Messmöglichkeit. [HALLBOOK]

Hauptsächlich werden Hall-Sensoren aufgrund ihrer geringen Kosten und je nach Material relativ hohen Genauigkeit eingesetzt. Die Größe der zum Einsatz kommenden Sensoren kann zusätzlich bis auf den Millimeterbereich reduziert werden. Die Genauigkeit entsteht bei besonders kleinen Sensoren durch eine relativ hohe Taktfrequenz von bis zu **100 kHz (im Smartphonebereich)**, welche durch die Ansammlung vieler Messwerte in kurzen Zeitspannen unter der Verwendung von Filteralgorithmen zu sehr genauen Ergebnissen führen. In **Abb. 23** wird das Prinzip des Hall-Sensors bildhaft dargestellt. **[HALLBOOK]**

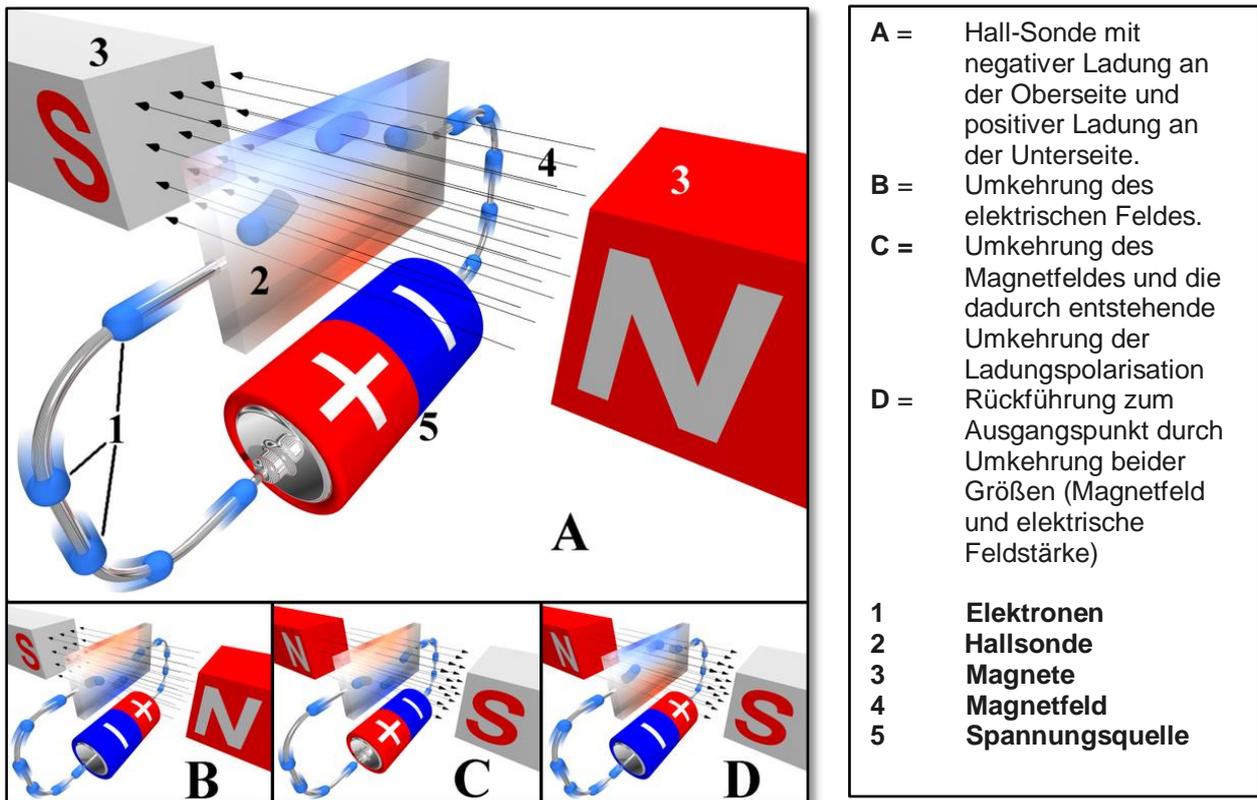


Abb. 23 Darstellung des Hall-Effektes mittels Hall-Sensor (Zitat Wikipedia)
 Arbeitsgrundlage: http://de.wikipedia.org/wiki/Hall-Effekt#mediaviewer/File:Hall_effect.png

2.10.2. Beeinflussung des Magnetfeldes durch die umgebende Infrastruktur

Das Erdmagnetfeld beeinflusst von Grund auf alle Elemente der Erde. Im Umkehrschluss kann daraus gefolgert werden, dass alle vorkommenden Substanzen der Erde das Magnetfeld beeinflussen. Dia- und paramagnetische Stoffe wie Gold, Glas, Aluminium oder Luft verursachen im Gegensatz zu ferromagnetischen Materialien (**Nickel, Kobalt od. Eisen**) kaum eine Veränderung im Erdmagnetfeld. Ferromagnetische Materialien leiten Magnetfelder nicht nur ab, sie besitzen unter anderem die Fähigkeit, den magnetischen Fluss zu bündeln und dadurch zu verstärken. Diese Eigenschaft ermöglicht sogar eine Magnetisierung ferromagnetischer Stoffe. **[MAGNETISMUS]**

Um zu prüfen welchen Einfluss verschiedene Materialien auf das Magnetfeld der Erde haben, kann zum Beispiel eine elektrische Spule verwendet werden. Das mit der Spule erzeugte Magnetfeld ist stabil. Werden dem künstlich erzeugten Magnetfeld unterschiedliche Materialien hinzugefügt, so können Abweichungen der magnetischen Flussdichte festgestellt

werden. Je nach Material kann dabei eine Erhöhung oder Reduktion der Magnetfeldstärke beobachtet werden. Die Intensität des Einflusses wird über die Permeabilitätszahl angegeben. Sie gibt an, wie stark der Einfluss eines Stoffes auf ein Magnetfeld ist. Dieser physikalische Quotient setzt sich wie folgt zusammen: **[MAGNETISMUS]**

$$\mu_r = \frac{B}{B_0} \rightarrow B_0 = \mu_0 * H$$

(Formel 2.4)

Wobei,

- μ_r = die relative Permeabilitätszahl (>1 = Paramagnetika, <1 = Diamagnetika),
- B_0 = die magnetische Flussdichte in einem Vakuum,
- B = die magnetische Flussdichte beeinflusst durch das verwendete Material,
- μ_0 = die magnetische Feldkonstante,
- H = die magnetische Feldstärke

ist. Überschreitet bei dieser Untersuchung die ermittelte Permeabilitätszahl den Wert 1 um das hundert- oder tausendfache, so handelt es sich beim hinzugefügten Material um einen ferromagnetischen Stoff. Bleibt der Quotient dahingegen nur knapp über 1, so ist von einem paramagnetischen Stoff auszugehen. Findet im Gegensatz dazu eine Absorption der magnetischen Flussdichte statt, so drückt sich der Quotient in einer Permeabilitätszahl von unter 1 aus, wodurch auf ein Material mit diamagnetischer Eigenschaft hingewiesen wird. (Siehe Tab. 2) **[MAGNETISMUS]**

Tab. 2 Magnetische Flussdichte verschiedener Baustoffe

Arbeitsgrundlage: **[MAGNETISMUS]**

ferromagnetische Stoffe		paramagnetische Stoffe		diamagnetische Stoffe	
Stoff	μT	Stoff	μT	Stoff	μT
Kobalt	80 ... 200	Aluminium	1,000.02	Antimon	0,999.884
Dynamoblech	200 ... 3.000	Chromium	1,000.28	Gold	0,999.971
Eisen	250 ... 680	Eisen(III)-chlorid	1,003.756	Quecksilber	0,999.966
Nickel	280 ... 2500	Luft	1,000.000.37	Wasser	0,999.991
Sonderlegierungen	bis 900.000	Platin	1,000.2	Zink	0,999.986

Die Relevanz der angeführten Thematik spiegelt sich im praktischen Teil dieser Arbeit (**Punkt 5**) wieder. Die für das Untersuchungsumfeld (**Steyrergasse 30 / 3.Stock**) verwendeten Baustoffe, sowie jene Stoffe, die sich im Inventar und den Strom- oder Wasserleitungen verstecken, bilden eine eindeutige und differenzierbare Signatur im Raum. Durch diese Eigenschaft des Erdmagnetfeldes ist es in Folge möglich, eindeutige Punkte innerhalb eines Gebäudes auszumessen.

3. Relevanz neuer Technologien

Das Smartphone ist mittlerweile zu einem allgegenwärtigen Begleiter des Alltages geworden. Durch die stetige Weiterentwicklung der Technik entstehen kontinuierlich neue Möglichkeiten der Gerätenutzung. Assoziierte man bisher das Bestimmen der eigenen Position mit dem Anwenden der GPS-Sensorik des Smartphones, so wird zum heutigen Zeitpunkt vor allem in Gebäuden auf die Fusion alternativer Gerätesensoren zurückgegriffen. Gerade in Bereichen, wo das Global Positioning System an seine Grenzen stößt, ist die Nutzung der gegebenen Infrastruktur oftmals die einzige Möglichkeit eine Positionsbestimmung durchzuführen. Die Smartphoneentwicklung hat mittlerweile ein neues Level erreicht. Betrachtet man die Mindestausstattung eines momentan handelsüblichen Handhelds, so ergeben sich durch eine Vielzahl an verbauten Sensoren ernstzunehmende Möglichkeiten der alternativen Positionierung innerhalb von Gebäuden. Im Folgenden wird auf die zur Positionsbestimmung nutzbaren Sensoren genauer eingegangen.

3.1. Nutzbare Technik

Alle für diese Arbeit verwendeten Testgeräte (*Samsung Galaxy S3 mini / Samsung Galaxy S4 und Google Nexus 5*) verfügen über die in den Punkten **3.1.1 – 3.1.3** beschriebenen Sensoren, welche für die alternative Positionsbestimmung mit dem Magnetfeldsensor innerhalb von Gebäuden eingesetzt werden können. Die wichtigsten Eckdaten werden in der folgenden Tabelle aufgelistet. (*Siehe Tab.3*)

Tab. 3 Eckdaten der verwendete Smartphones

Arbeitsgrundlage: Produktvergleich – geizhals.at

Modell	Samsung Galaxy S3 mini	Samsung Galaxy S4	LG Google Nexus 5
Veröffentlichung	11.September 2012	14. März 2013	31.10.2013
Technische Daten			
Digitalkamera	5,0 MP CMOS image sensor, Autofocus, Face detection, Smile detection, Digital zoom, Geo tagging	13 MP CMOS image sensor, Autofocus, Face detection, Smile detection, Digital zoom, Geo tagging, Optical image stabilization, HDR- function	8,0 MP CMOS Sony IMX179 Optical image stabilization, Face detection, Digital zoom, Self-timer, Back- illuminated sensor (BSI), Autofocus, , Geo tagging, ISO control, HDR -function
Aktuelles Betriebssystem	Android 4.1.2 „Jelly Bean“	Android 5.0.1 Lollipop	Android 6.0.1 „Marshmallow“
Prozessor	ST-Ericsson NovaThor U8500	Samsung Exynos 5 Octa (2 CPUs): 1,6 GHz Quad-Core Cortex-A15 und 1,2 GHz Quad-Core Cortex-A7, GPU: IT PowerVR SGX544MP3	4 x 2,26GHZ Krait 400 (Qualcomm MSM8974 Snapdragon 800)
RAM	1GB	2GB	2GB
Weitere Funkverbindungen	WLAN 802.11a/802.11n	WLAN 802.11a/802.11n/802.11ac	WLAN 802.11 a/b/g/n/ac
	Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0 Low-Power	Bluetooth 4.0
	GPS und GLONASS	GPS und GLONASS	GPS & GLONASS
	X	NFC BCM20794S1A	NFC BCM20793M

3.1.1. Bewegungssensorik des Smartphones

Das Android-Betriebssystem bietet verschiedene Sensoren mit denen sich die Bewegung des Smartphones beobachten, beziehungsweise aufzeichnen lässt. Nur drei Sensoren müssen als Hardwarekomponente direkt im Gerät verbaut werden (*Beschleunigungssensor / Gyroskop / Magnetfeldsensor*), während sich alle weiteren Messgrößen wie die *Gravitation*, die *lineare Beschleunigung* oder der *Rotationsvektor* über eine Sensorfusion berechnen lassen.

- *Beschleunigungssensor / Gyroskop*

Wird der Beschleunigungssensor mit einem Befehl aktiviert, kann durch den *SensorEventListener* ein multidimensionales Ergebnis in Form eines List-Arrays abgerufen werden. Für jedes Event erhält man in Folge die Beschleunigung des Smartphones in x- y- und z-Richtung. Gleiches geschieht bei der Aktivierung des Gyroskop-Sensors, welcher ebenfalls jedes Event in einem Listarray in x-, y- und z-Richtung speichert. Zusätzlich wird auf die vierte, fünfte und sechste Position beider List-Arrays der zu erwartende Drift für die jeweiligen Achsen gespeichert. Diese Werte dienen zum Beispiel als Korrektur, wenn davon auszugehen ist, dass die Sensorwerte über einen längeren Zeitraum abgerufen werden. **[ANDROID3]**

- *Pseudosensoren*

Die lineare Beschleunigung wird, gleich wie die Beschleunigung (*acceleration*) selbst, bei jedem SensorEvent des *TYPE_LINEAR_ACCELERATION* mit den drei Smartphone - Achsen (*x,y,z*) in einem List-Array ausgegeben. Als Ergebnis bekommt man die reinen Beschleunigungswerte abzüglich der Gravitation in *m/s²*. **[ANDROID3]**

Der Gravitationssensor nimmt, gleich wie der Beschleunigungssensor, die auf ihn wirkenden Kräfte in *x-, y- und z-Richtung* auf. Die Ausgabe des SensorEvents erfolgt, wie in Android üblich, über ein List-Array. Wird das Smartphone in einer ruhenden Position gelagert, so müssen der Gravitationssensor sowie der Beschleunigungssensor die gleichen Werte anzeigen. Somit kann auch mit dem Beschleunigungssensor die Erdanziehungskraft bestimmt werden. Dadurch ist das Verbauen eines Gravitationssensors in einem Smartphone nicht zwingend notwendig. **[ANDROID3]**

Die Abweichung zum magnetischen Nordpol konnte für das Android Betriebssystem bis zum API Level **18** über das Ansteuern des *SENSOR.TYPE_ORIENTATION* ermittelt werden. Dazu wurden die Daten des Magnetfeldsensors und des Beschleunigungssensors für die Berechnung heran gezogen. Diese jedoch eher ungenaue Methode hatte vor allem bei Winkeln im Vertikalbereich (*annähernd 90° od. -90°*) hohe Ausfallraten. Die sogenannte *kardanische Blockade* tritt hauptsächlich bei Transformationen in Kombination mit den Eulerschen Winkeln auf. Dabei fällt die Achse der ersten Drehrichtung (*x-Achse = grün*) mit der Achse der dritten Drehrichtung (*z-Achse = blau*) zusammen, wodurch die Summe des ersten und dritten Winkels tragend wird. Somit fehlt dieser Berechnung in Folge ein Freiheitsgrad und es entsteht aus mathematischer Sicht ein kritischer Wert. (*Siehe Abb. 24*) **[ANDROID3]**

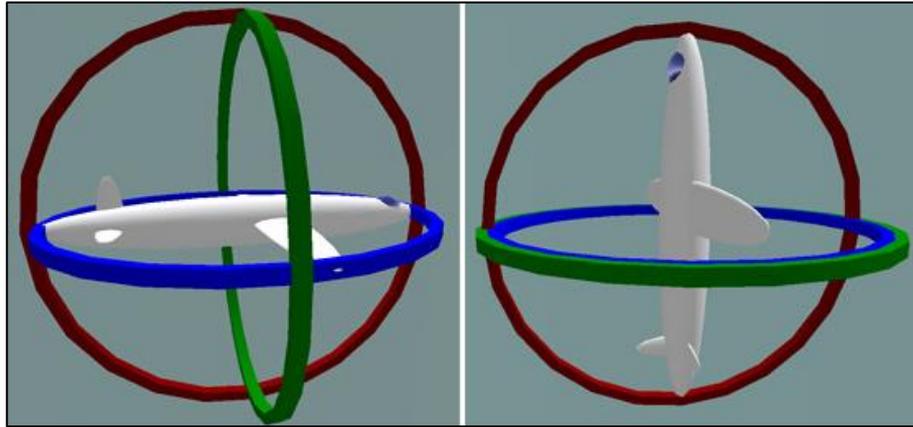


Abb. 24 Darstellung der kardanischen Blockade (grün = x-Achse, blau = y-Achse, violett = z-Achse)
Arbeitsgrundlage: [GIMBAL LOCK]

Dem entgegen wurde das Service `SENSOR.TYPE_ROTATION_VECTOR` entwickelt, welches den Beschleunigungssensor, Magnetfeldsensor und das Gyroskop mittels Fusion zur Berechnung der Orientierung verwendet. Durch die Verwendung von *Quaternionkoordinaten* ist eine präzise Bestimmung der Orientierung des Smartphones in jeder Lage möglich. [ANDROID3] (Siehe Tab.4)

- Beschleunigungssensoren im Überblick:

Tab. 4 Liste der in den verwendeten Smartphones verbauten Beschleunigungssensoren

Modell	Samsung Galaxy S3 mini	Samsung Galaxy S4	LG Google Nexus 5
Beschleunigungssensor	MPU-6050 Accelerometer	K330 3-axis Accelerometer	MPU-6515 Accelerometer
Gyroskop	MPU-6050 Gyroscope	K330 Gyroscope	MPU-6515 Gyroscope

Die **MPU-6050** Sensoreinheit beinhaltet ein MEMS (*MicroElectroMechanicalSystem*) in Form eines Beschleunigungssensors sowie eine weitere MEMS-Einheit mit einem Gyroskop. Hierbei handelt es sich um einen sehr leistungsstarken Chip mit einer **16-bit** Datenwandelrate von analog in digital. [SENSOR1]

Das Prinzip der **K330** Sensoreinheit ist mit dem **MPU-6050** gleichzusetzen. Nur die Aufnahmegeschwindigkeit ist variabel steuerbar, wodurch sich gerade bei Stillstand des Sensors mit einer reduzierten Aufnahme die Datenmenge verringern lässt. [SENSOR2]

Ebenso wie die vorangegangenen Sensoren ist auch der **MPU-6515** eine Einheit mit zwei verbauten **MEMS** in einem Chip. Er ist die weiterentwickelte Form der **MPU-6050** Serie und unterscheidet sich hauptsächlich durch seine kleineren Abmessungen (**3mm * 3mm * 0.9mm**), dem geringeren Stromverbrauch von **1.8µA** und seinem leichteren Gewicht. [SENSOR3]

3.1.2.Magnetfeldsensor

Der Magnetfeldsensor wird ausschließlich als Hardware in Smartphones verbaut und kann durch das Service `SENSOR.TYPE_MAGNETIC_FIELD` ausgelesen werden. Er misst die Magnetfeldstärke entlang der x-, y- und z-Achse. Alle Werte des Sensors werden in Micro-Tesla (μT) über ein List-Array ausgegeben. Im Folgenden werden die jeweiligen Magnetfeldsensoren der verwendeten Smartphones aufgelistet. (Siehe Tab.5)

Tab. 5 Liste der in den verwendeten Smartphones verbauten Magnetfeldsensoren

Modell	<i>Samsung Galaxy S3 mini</i>	<i>Samsung Galaxy S4</i>	<i>LG Google Nexus 5</i>
Magnetfeldsensor	<i>ALPS HSCDTD004A Magnetic Field Sensor</i>	<i>YAS532 Magnetic Field Sensor</i>	<i>AK8963 Magnetic Field Sensor</i>
Hersteller	<i>Alps Electric Co.</i>	<i>YAMAHA Corporation</i>	<i>AKM - Asahi Kasei Microdevices</i>
Auflösung	<i>sensitivity (X,Y,Z) 0.3μT max. \pm1200μT</i>	<i>sensitivity (X, Y) 0.15μT sensitivity (Z) 0.25μT max. \pm1200μT</i>	<i>sensitivity (X, Y) 0.6μT sensitivity (Z) 0.15μT max. \pm4900μT</i>

Arbeitsgrundlage: [MAGNETIC S1] [MAGNETIC S2] [MAGNETIC S3]

Die in **Tab.5** angeführten Sensoren sind **3-Achs-Magnetometer**. Sie unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre Leistungsmerkmale. Auffallend sind vor allem die Differenzen zwischen den Achsen innerhalb der jeweiligen Sensoren. Da die Aufnahmequalität mit der Sensibilität steigt, sollte nach den Herstellerangaben das **Samsung Galaxy S4** wesentlich genauere Daten als seine Mitstreiter liefern. Besonders das **LG Google Nexus 5** lässt auf Grund seiner eingeschränkten Sensibilität im **x-/y-Bereich** schon im Vorfeld ungenaue Ergebnisse erwarten.

3.1.3. Die Smartphonekamera als Sensor für die Szenenerkennung

Wie schon in **Punkt 2.8.3** beschrieben ist die Kamera eines Smartphones der wesentliche Bestandteil für die Anwendung einer Szenenerkennung. Abgesehen von einer, wenn möglich hohen Auflösung, kann ohne eine **Autofokus-Funktion** der Kamera keine Umsetzung dieser Methode stattfinden. Besonders im Nahbereich würde ohne ein automatisches Scharfstellen der Linse, das Erkennen und Rendern einer Szene nicht möglich sein. Versuche haben gezeigt, dass sich selbst mit **5 Megapixel (Samsung Galaxy S3 mini)** und entsprechendem Autofokus eine erfolgreiche Durchführung dieser Methode erreichen lässt.

Die Kameras der Testgeräte (**CMOS Sensoren von Sony**) unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre Auflösung. (**Siehe Tab.3**) Lediglich der Image-Sensor des **S3 mini** hat keine automatisch eingreifende optische Bildstabilisierung, wodurch eine unwesentlich längere Wartezeit bei der Bilderkennung entsteht. Somit sind alle zur Verfügung stehenden Smartphones für die beschriebene Methode geeignet. [KAMERA]

3.1.4. NFC – Near Field Communication

Bei der **Near Field Communication** handelt es sich um eine funkbasierte Kommunikationsmöglichkeit zwischen einem Datenträger und einem Empfänger. Der Datenträger selbst kann passiv oder aktiv sein, wird jedoch im Smartphonebereich hauptsächlich als passive Hardware verbaut. Eine Paarung zwischen dem Datenträger, welcher z.B. in Form eines Chips auftreten kann, und dem Lesegerät (**in diesem Fall ein Smartphone mit NFC-Chipset**) kann innerhalb von **10 cm** erfolgen. Diese Möglichkeit erlaubt es, überschaubare Datenmengen direkt an den Empfänger mit über **400 kBit/s** zu übermitteln. [NFC1 2014]

Sowohl das **Google Nexus 5** als auch das **Samsung Galaxy S4** besitzen einen **Near Field Controller** von der Firma Broadcom. Modellmäßig unterscheiden sich die beiden NFC-Chips nur durch eine unterschiedliche Leistungsstufe, welche sich durch die spezifische Anpassung an das jeweilige Endgerät ausdrückt. Für beide Controller wird eine maximale Übertragungsrate von

423 kBit/s angegeben. Leider besitzt das **Samsung Galaxy S3 mini** in der gegebenen Modellausführung keinen NFC Controller. **[NFC2]**

4. Argumentative Entscheidungsfindung für die weitere Forschungsarbeit

Bei der Entwicklung einer Smartphoneapplikation, die verschiedene Hardwaresensoren als Ressource nutzt, ist grundsätzlich davon auszugehen, dass je nach Genauigkeit der Komponenten mit Abweichungen verschiedenster Art zu rechnen ist. Um dieser Problematik Herr zu werden, ist eine eingehende Untersuchung der jeweiligen Sensorcharakteristik vorzunehmen. Durch das Eingreifen in den jeweiligen Aufnahmeprozess ist es nicht nur möglich, stabilere Ergebnisse zu berechnen, vielmehr können dadurch systematische Fehler ausgeglichen werden. Doch bevor mit den Untersuchungen begonnen werden kann, sind die Richtlinien für die zu erstellende Smartphoneapplikation festzulegen. Erst das Wissen um die einzusetzenden Sensoren ermöglicht im Weiteren die entsprechenden Untersuchungen.

Um die bisher beschriebene Technik (**Punkt 3**) für die Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden nutzen zu können, ist die Entwicklung einer weiteren Smartphoneapplikation notwendig. Diese soll unabhängig von der vorhandenen Infrastruktur autark anwendbar sein, wodurch sich zumindest zwei der bisher erwähnten Methoden (**Siehe Punkt 2.8.2 u. 2.8.4**) von vornherein ausschließen. Zum einen handelt es sich dabei um die Anwendung von **QR Codes**, zum anderen um den Einsatz der **Near Field Communication**. Bei beiden Methoden wird durch das Verwenden von zusätzlich notwendigen Materialien in bestimmten Situationen (**z.B. Museum**) das Gesamtbild gestört oder gerade im Bereich von **NFC**, das Anwenden jeglicher Funkverbindungen untersagt sein.

Somit besitzt ein zum heutigen Zeitpunkt als durchschnittlich bezeichnetes Smartphone, alternativ zu Wifi, GPS oder NFC die im Folgenden nutzbaren Sensoren.

- *Beschleunigungssensor*
- *Richtungsgebender Sensor*
- *Gyroskop*
- *Magnetfeldsensor*
- *Kamera*

4.1. Anforderungen an die zu erstellende Smartphoneapplikation

Grundlegend ist die Visualisierung des User-Standortes durch die Nutzung des Magnetfeldsensors eines Smartphones das Hauptziel der zu erstellenden Applikation. Um nach dem Start der Smartphone-App die Ausgangsposition des Anwenders zu ermitteln, bieten sich in Folge zwei kontroverse Methoden an.

Grundsätzlich wäre es möglich, die eigene Position anhand der eingemessenen Punkte über den Magnetfeldsensor zu bestimmen. Die Problematik dieser Überlegung steckt jedoch im Detail. Je mehr Standpunkte in einem Gebäude eingemessen wurden, desto häufiger besteht die Möglichkeit, dass mehrere Punkte an verschiedenen Orten denselben Wert besitzen oder sich zumindest innerhalb eines vordefinierten Toleranzbereiches befinden. Solange daher die eigene Position nicht bekannt ist, kann auch keine eindeutige Differenzierung zwischen allen Positionspunkten stattfinden.

Um diese Problematik zu umgehen wurde beschlossen, Teile der Technik von **Augmented Reality** als Alternativmethode zu verwenden. Mittels Szenenerkennung soll mit Hilfe der Smartphonekamera in der Startphase über die bereits vorhandene Bau- bzw. Infrastruktur, das Suchen der Startposition stattfinden und auf ein Minimum an Aufwand beschränkt werden. Somit ist es nicht nur möglich die absolute Position eines Users zu ermitteln, in Folge können bei Abweichungen auch **On-the-Flow-Korrekturen** vorgenommen werden.

Wurde die Ausgangsposition des Anwenders ermittelt und eventuelle Korrekturen vorgenommen, so kann über den Magnetfeldsensor die angestrebte Positionierung stattfinden. Dabei soll durch das Ausgrenzen aller Referenzpunkte, die bezogen auf den aktuellen Standort nicht als nächster Nachbar gelten, eine Differenzierung stattfinden.

Die letzte Instanz, bezogen auf das Ermitteln der eigenen Position, wäre die Einbindung des Beschleunigungssensors. Unter Verwendung der Methode **Dead Reckoning** sowie dem Ermitteln der orientierten Richtung, könnte die Annäherung bis zu einem eingemessenen Referenzpunkt verfolgt werden. Da dieser Ansatz jedoch als Alternativmethode zum vorliegenden Thema dieser Untersuchung angesehen wird, ist davon auszugehen, dass davon kein Gebrauch gemacht wird.

Schlussendlich bleibt noch zu erwähnen, dass im Tagesgeschehen unterschiedliche Bedingungen im Untersuchungsgebiet vorzufinden sind. Während früh am Tag im Gebäude ein Kommen und Gehen der Bediensteten, sowie das Auftreten von Spannungsspitzen durch einen erhöhten Energiebedarf (**Einschalten / Starten der elektronischen Geräte**) zu erwarten ist, pendelt sich im Laufe des Tages der Ressourcenverbrauch auf ein einheitliches Level ein. Im Gegensatz dazu kehrt am Abend nach Ende der Dienstzeit die Umgebung wieder in eine Art Ruhezustand zurück. Aufgrund dieser zu erwartenden Charakteristik ist voraussichtlich eine tageszeitabhängige Differenzierung der eingemessenen Referenzpunkte vorzunehmen.

4.2. Sensorkapazität – Sensorrauschen - Filtern und Kalibrieren

Nachdem die Rahmenbedingungen der zu erstellenden Smartphoneapplikation geklärt sind, kann der Fokus auf den Beginn des praktischen Teiles der Arbeit gelegt werden. Wer die Anforderungen kennt, kann sich in Folge auch Gedanken über die Methoden zur Prüfung der Fragestellung überlegen. Dahingehend ist zu ermitteln, wie groß die Aufnahmefähigkeit an Daten eines Smartphones ist. Dies ist vor allem für die weiteren Messverfahren ausschlaggebend, da die Messdaten verschiedener Smartphones miteinander vergleichbar sein müssen. Somit ist eine Kapazitätsprüfung des RAM-Speichers der einzelnen Handhelds notwendig, um die maximale Messdauer ermitteln zu können.

Ist die Frage nach der maximalen Aufnahmefähigkeit aller verwendeten Smartphones geklärt, kann auf die Charakteristik der Sensoren eingegangen werden. In erster Linie ist das Sensorrauschen zu ermitteln und eventuell mit den Herstellerangaben zu vergleichen. Um das Rauschen in Folge zu vermindern, empfiehlt es sich im weiteren Verlauf, verschiedene Filtermethoden einzusetzen.

Sollte in Folge noch eine Unstimmigkeit zwischen der theoretischen Berechnung einer Länge des Magnetfeldvektors und der tatsächlich gemessenen Länge des Magnetfeldvektors auftreten, so ist eine Kalibrierung des Magnetfeldsensors unumgänglich.

4.3. Conclusio

Somit stehen die Anforderungen für die finalisierende Smartphoneapplikation fest. Sie sollte demnach ein autarkes System darstellen, welches für den Anwender mit Hilfe des Magnetfeldsensors an Hand von Referenzpunkten seinen Standort ermittelt. Um die Position genauer bestimmen zu können, muss die Applikation zwischen den Referenzpunkten zusätzlich differenzieren und bei Notwendigkeit auch Richtungsabhängigkeiten unterscheiden können. Als Zusatz sollte es möglich sein, zwischen verschiedenen Tageszeitpunkten unterscheiden zu können.

5. Praktischer Teil

5.1. Probleme und Methoden

Grundsätzlich musste für diese Arbeit eine Möglichkeit gefunden werden, mit welcher man in der Lage war das Verhalten, die Eigenschaften, sowie die Genauigkeit des Messgerätes zu bestimmen. Um dahingehend mehr Aufschluss zu erlangen war es notwendig, die Daten des Magnetfeldsensors der Smartphones aufzuzeichnen. Im Laufe der Analysen kam es kontinuierlich zu neuen Fragestellungen. So stellte sich anfänglich die Frage nach der Kapazität der einzelnen Smartphones und der maximalen Aufnahmefähigkeit des RAM-Speichers, bevor ein Overflow stattfindet. Nach Abklärung der Kapazitätsfrage und der Auswertung der ersten Datensätze konnte die Vermutung eines Sensorrauschens bestätigt werden. Des Weiteren wurde eine Temperaturabhängigkeit des Magnetfeldsensors festgestellt. Auch das Einmessen von Fixpunkten musste möglich sein, worauf im Verlauf der Messungen eine Richtungsabhängigkeit der verwendeten Sensorik aufgedeckt werden konnte, welche aus rein mathematischer Sicht nicht existieren darf. Um all diese Problematiken zu bewältigen, war es notwendig, spezifische Smartphoneapplikationen zu entwickeln, welche in der Lage waren, im benötigten Ausmaß zufriedenstellende Ergebnisse zu liefern.

Die im Folgenden beschriebenen Smartphoneapplikationen wurden in **Android Studio 1.5** unter der **Java Runtime Environment 1.8.0_51-b16 amd64** erstellt. Die Programmierung fand in der Sprache **JAVA** für Android-Versionen ab **4.0** statt, da diese Stufe mittlerweile als Mindeststandard am Smartphonemarkt gilt. Zusätzlich wird ab dieser Version von Google eine neue Möglichkeit des Auslesens der Geräteorientierung des Smartphones geboten, wodurch eine Sensorfusion die bisher auftretende **kardanische Blockade** beseitigt. (Siehe Punkt 3.1.1)

5.2. Smartphone–Applikation „SensorLogger“

Das Entwickeln der Applikation **SensorLogger** hatte den Zweck, die auftauchenden Fragestellungen umgehend beantworten zu können. Mit dem Auslesen der Beschleunigungs-, Magnetfeld- und Temperatursensoren konnten sowohl die Charakteristika der Sensorik selbst sowie auch die des Smartphones aufgezeichnet werden. Durch die verschiedenen Messvarianten war es möglich, die Sensoren und deren Rohdaten auszulesen und dabei gleichzeitig die Kapazität der Hardware zu erheben. In Folge wurde die Applikation um diverse Filterfunktionen erweitert und mit dem Hinzufügen einer kalibrierten Aufnahmemöglichkeit fertiggestellt. (Siehe dazu Punkt 5.2.1 bis 5.2.6)

5.2.1.UI (UserInterface)

Das Userinterface wurde schlicht und einfach gehalten. Es besteht aus zwei Ansichten, dem Startscreen und dem Measurementscreen. Der Startscreen bietet die Möglichkeit aus vier verschiedenen Methoden (**Ungefilterte Messung, Filterung mit Toleranzen, Arithmetisches Mittel, Kalibrierung**), welche durch ihren jeweiligen Button aufgerufen werden können, zu wählen.

Durch die Wahl einer der angebotenen Methoden wird der User automatisch auf den Measurementscreen weitergeleitet. Über diese Ansicht kann in Folge der Messvorgang gestartet oder beendet werden, wobei ein Beenden auch gleichzeitig das Abspeichern der erhobenen Messdaten im *.txt-Format bedeutet. Der Measurementscreen beinhaltet drei statische und acht dynamische Textfelder, in welchen die erhobenen Messinformationen pro Messung beschrieben bzw. dargestellt werden. Da die Messwerte aufgrund der hohen Aufnahmegeschwindigkeit des Magnetfeld- bzw. Temperatursensors nicht abgelesen werden können, weist die digitale Darstellung dieser, lediglich auf einen laufenden Messvorgang hin. (Siehe Abb.25)

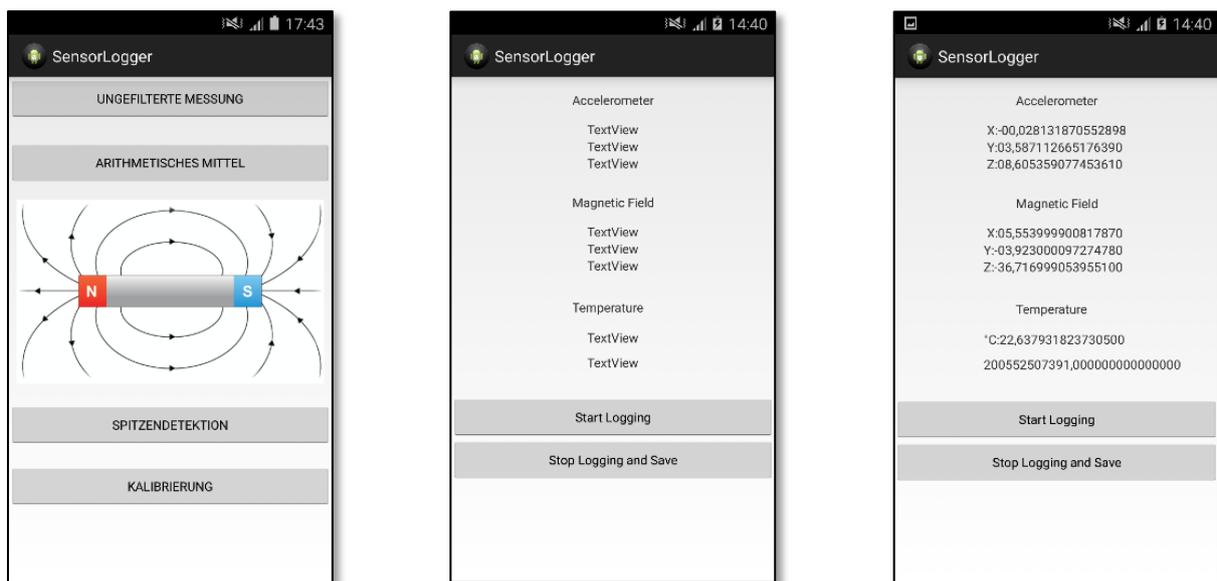


Abb. 25 Startscreen, Measurementscreen und Measurementscreen in Aktion; (Smartphoneapplikation SensorLogger)

5.2.2. Kapazitätsprüfung

Mit Hilfe der Smartphoneapplikation **SensorLogger** wurden verschiedene Messvorgänge realisiert. In erster Linie war es notwendig, eine unabhängige Kapazitätsprüfung von Smartphones vornehmen zu können. Dazu wurden die auf dem **Operating System (Android)** einheitlich ansteuerbaren Magnetfeld-, Beschleunigungs- und Temperatursensoren ausgelesen. Jeder dadurch erhaltene Messwert wurde in Folge in einem Array mit eigener Position gespeichert. Somit wurde die Datenaufnahme bei einer Frequenz von **100 Hz** so lange durchgeführt, bis aufgrund des überfüllten RAM-Speichers ein Overflow stattfand. Je nach verwendetem Smartphone dauerte dies zwischen **35min** und **45min**.

5.2.3. Erhebung eines Rohdatensatzes – Ungefilterte Methode

Um mit der Applikation **SensorLogger** einen unveränderten Rohdatensatz erheben zu können, muss lediglich der Button mit der Aufschrift **Ungefilterte Messung** gedrückt werden. Die dafür verantwortliche Weiterleitung hinterlegt den darauf folgenden Measurementscreen mit einer Methode, welche alle Daten des Magnetfeld-, Beschleunigungs- und Temperatursensors **1:1** übernimmt und beim Drücken des **Stop Logging and Save** Buttons im *.txt-Format speichert.

5.2.4. Datenerhebung - Arithmetische Mittelung

Die Methode für die Aufnahme des arithmetischen Mittels ist ähnlich jener der Rohdatenaufnahme. Statt einer einfachen Datenaufnahme werden aber in einem Array **1000** Messwerte gesammelt und danach kumuliert. Aus der Gesamtsumme wird in Folge das arithmetische Mittel erhoben, welches als Einzelwert in einem Folgearray gespeichert wird. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis der Anwender durch das Drücken von **Stop Logging and Save** die Messung unterbricht und dadurch die Messwerte im *.txt-Format abspeichert.

Die Wahl der Größe des Arrays kann frei gewählt werden. Es empfiehlt sich jedoch eine Messwertreihe von **1000** Werten pro Mittelung nicht zu überschreiten, da diese Methode sehr zeitintensiv ist.

5.2.5. Datenerhebung mit Filterung

Die Methode der Filterung ist im Gegensatz zur Rohdatenaufnahme bedeutend komplexer. So werden, abgesehen vom Basisprozess der Rohdatengewinnung, in einem Array **100** Messwerte gesammelt und danach kumuliert. Aus dieser Gesamtsumme wird in Folge das arithmetische Mittel berechnet, welches im Weiteren als Grundlage für eine Ober- bzw. Untergrenzendefinition Verwendung findet. Das arithmetische Mittel, zuzüglich einer Toleranz von $\pm 0.5\mu T$, ergibt in Folge die Obergrenze bzw. Untergrenze im laufenden Prozess. Stehen die jeweiligen Grenzen fest, werden die einzelnen Einträge des bisher verwendeten Arrays erneut aufgerufen und mit den aktuellen Grenzwerten verglichen. Sofern sich ein Messwert des Ausgangsarrays innerhalb der Ober- bzw. Untergrenze befindet, wird er in einem Folgearray übernommen. Wurde das Ende des Ausgangsarrays erreicht, werden die Einträge des Folgearrays kumuliert und es findet eine erneute Berechnung des arithmetischen Mittels der nun reduzierten Menge statt. Der dadurch erhaltene Mittelwert wird in einem finalisierenden Array gespeichert und der bisher durchgeführte Vorgang wiederholt. Diese Methode läuft exakt so lange, bis der Anwender den Messvorgang durch den entsprechenden Button stoppt. Danach werden die Daten im *.txt-Format ausgegeben.

Die Wahl der Größe des Arrays kann frei gewählt werden, es empfiehlt sich jedoch eine Messwertreihe von maximal **100** Werten nicht zu überschreiten, da diese Methode sehr zeitintensiv ist.

5.2.6. Kalibrierte Datenerhebung

Diese Methode dient zur Langzeitaufnahme im kalibrierten Zustand. Das Messergebnis wird durch die in **Punkt 5.6 (Kalibrierung des 3-Achs Magnetometers)** erhaltenen Korrekturwerte beeinflusst und liefert ein Vergleichsergebnis zur Rohdatenaufnahme. Bei diesen Messungen wird kein arithmetisches Mittel berechnet oder eine Filterung vorgenommen.

5.3. Smartphone-Applikation „LoggingPoints“

Die Smartphoneapplikation *LoggingPoints* wurde geschaffen, um eine Richtungsabhängigkeit des Magnetometers in unkalibriertem Zustand an einem Punkt nachweisen zu können. Diese, im Laufe der Messreihen entdeckte Abhängigkeit, lässt sich mit Hilfe der berechneten Schätzungsparameter (*Siehe Punkt 5.9*) fast zur Gänze beheben. Jedoch ist bis zur Anwendung der im Folgenden beschriebenen Methoden nicht klar, in welchem Ausmaß die einzelnen Elemente der Parameterschätzung ihre Wirkung zeigen. Diese Smartphoneapplikation zielt hauptsächlich auf die Messungen über einem fixen Punkt ab und hilft die Stärke des Einflusses der Kalibrierungsparameter zu bestimmen. (*Siehe Abb.39*) Jede, der in *LoggingPoints* durchführbaren Messungen, beinhaltet eine Filterung, sowie die Berechnung des arithmetischen Mittels. Je nach Methode werden verschiedene Elemente der Parameterschätzung (*Siehe 5.9.2 bis 5.9.6*) direkt nach Erhebung der Rohdaten miteinbezogen. Dadurch kann ein Vergleich vom Rohdatensatz bis hin zum, durch alle Schätzungsparameter beeinflussten Messergebnis, durchgeführt werden. Nicht zu vergessen ist die zu jedem Messpunkt mitgespeicherte räumliche Ausrichtung des Smartphones. Das Speichern der Ausrichtung ist besonders bei unkalibrierten Messungen entscheidend, da nur so eine entsprechende Zuordnung der erhobenen Länge des Magnetfeldvektors stattfinden kann. Die Richtung wird dabei in Grad (°) ausgedrückt. Zusätzlich wurde eine Countingfunktion realisiert, um die Messungen einheitlich durchführen zu können.

5.3.1.UI (Userinterface)

Das Userinterface setzt sich aus einem Startscreen und einem Measurementscreen zusammen. Der Startscreen beinhaltet fünf Buttons, welche den Anwender zur gewünschten Methode weiterleiten (*Siehe Abb.26*). Hat sich der User für eine der angebotenen Methoden entschieden, wird der Measurementscreen aufgerufen. Dieser beinhaltet ein Textfeld und drei Buttons. Zeigt das Textfeld „**READY TO MEASURE**“, laufen im Hintergrund keine Prozesse, die Applikation ist sozusagen im Wartemodus. Mit dem Button **MEASURE POINT** startet die ausgewählte Methode und verhält sich wie im Folgenden (*Punkt 5.3.2*) beschrieben. Das Textfeld zeigt, solange die Routine nicht vollständig durchlaufen wurde, den Wortlaut „**MEASUREING**“ an. Nach Ende der Routine wird die Countingfunktion gestartet, wodurch im Textfeld (*seconds remaining:xx Siehe Abb. 26*) die noch verbleibende Zeit der Unterbrechung bis zum Neustart der Routine angezeigt wird. Innerhalb dieser Zeitspanne kann das Smartphone, ohne die Messungen zu beeinträchtigen, von Hand in die jeweilige Folgeposition gedreht werden. Sollte während der Messung eine unerwartete Störquelle auftreten, kann mit dem „**CLEAR**“ Button ein Löschen des Zwischenergebnisses vorgenommen werden, worauf die Routine von neuem gestartet wird. Der **SAVE-Button** dient zum Stoppen der Berechnungen und startet gleichzeitig den Speichervorgang. (*Siehe Abb. 26*)

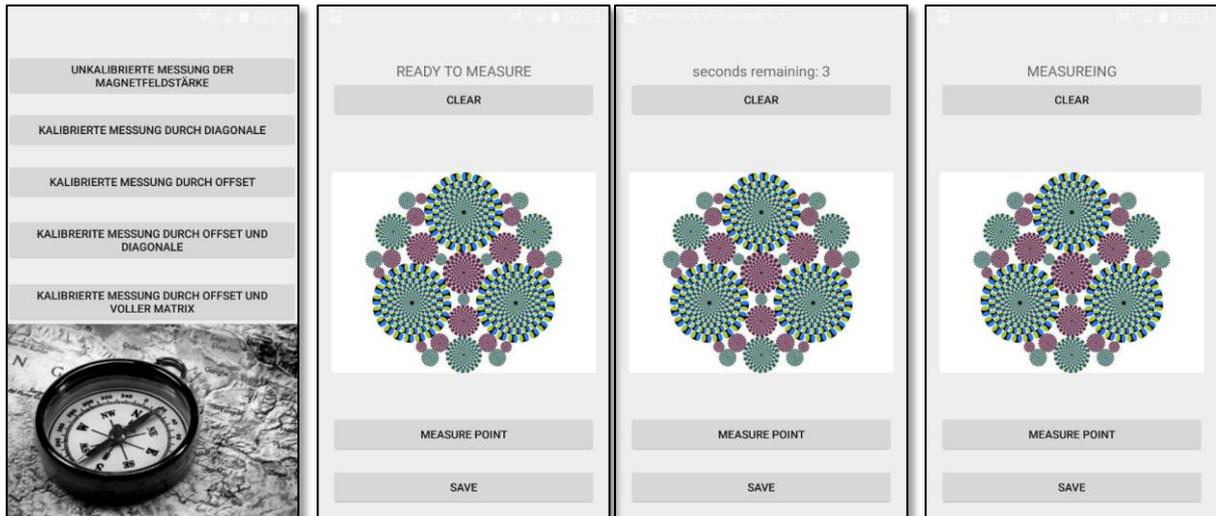


Abb. 26 User-Interface Smartphoneapplikation LoggingPoints – Startscreen u. Measurementscreen

5.3.2. Methoden - LoggingPoints

5.3.2.1. Unkalibrierte Messung der Magnetfeldstärke

Diese Methode dient zur Aufnahme des Iststandes und wird durch keinen der berechneten Schätzungsparameter beeinflusst. Im engeren Sinne werden an einem Punkt **1000** Messwerte des Magnetometers aufgenommen, deren arithmetisches Mittel berechnet, eine Ober- und Untergrenze (**+0.5 bzw. -0,5**) definiert, die über der Toleranz liegenden Messwerte detektiert und eliminiert. Mit Hilfe der gefilterten Daten wird in Folge ein erneutes arithmetisches Mittel berechnet und der dadurch erhaltene Wert in einem Array zwischengespeichert. Nach Durchlauf dieser Routine wird eine Sensorfusion (**Rotation Vector**) gestartet, um die aktuelle räumliche Ausrichtung festzustellen. Bei einem der Pretests wurde bemerkt, dass die Anlaufzeit der verwendeten Sensoren in etwa **80** Messimpulse beträgt. Daher wurde nach **100** Messimpulsen das arithmetische Mittel der letzten **10** Messwerte berechnet. Danach wird die Methode von einer Countingfunktion für **5** Sekunden gestoppt und von neuem gestartet. So lange der Messdurchlauf nicht vom Anwender durch den **Save Button** angehalten wird, werden die Länge des Magnetfeldvektors und die Ausrichtung des Smartphones im dafür vorgesehenen Array zwischengespeichert. Die Ausgabe findet im *.txt-Format statt.

5.3.2.2. Kalibrierte Messung durch die Diagonale der Skalierungsmatrix

Diese Methode ist eine Erweiterung der **Unkalibrierten Messung der Magnetfeldstärke** und unterscheidet sich lediglich durch die Beeinflussung der Rohdaten mit der berechneten Diagonale der Skalierungsmatrix. (*Siehe dazu Formel 5.1*) (*Siehe Punkt 5.6*)

$$ht = S_D * h$$

(Formel 5.1)

5.3.2.3. Kalibrierte Messung durch die Offsetparameter

Auch diese Methode ist eine Weiterentwicklung der *Unkalibrierten Messung der Magnetfeldstärke* und unterscheidet sich durch die Beeinflussung der Rohdaten mit den aus der Parameterschätzung (*Siehe Punkt 5.6*) berechneten Offsetparametern. (*Siehe dazu Formel 5.2*)

$$ht = h - b$$

(Formel 5.2)

5.3.2.4. Kalibrierte Messung durch die Offsetparameter und Diagonale der Skalierungsmatrix

Aufbauend auf der *Unkalibrierten Messung der Magnetfeldstärke* unterscheidet sich diese Methode durch die Beeinflussung der Rohdaten mit den aus der Parameterschätzung (*Siehe Punkt 5.6*) berechneten Offsetparametern sowie dem Einfluss der Diagonale der Skalierungsmatrix. (*Siehe Formel 5.3*)

$$ht = S_D (h - b)$$

(Formel 5.3)

5.3.2.5. Kalibrierte Messung durch die Offsetparameter und die gesamte Skalierungsmatrix

Auch diese, auf der *Unkalibrierten Messung der Magnetfeldstärke* basierende Methode wurde durch die in *Punkt 5.6* berechneten Schätzungsparameter beeinflusst und unterscheidet sich durch den Einsatz der Offsetparameter sowie der Anwendung der gesamten Skalierungsmatrix. (*Siehe Formel 5.4*)

$$ht = S (h - b)$$

(Formel 5.4)

5.4. Kennenlernen der Rahmenbedingungen, Charakteristik und Einflussfaktoren innerhalb einer Messung

5.4.1. Beschreibung der Messlokalität in der Ordination Dr. Margaux-Denise Lassacher

Die im Folgenden beschriebenen Methoden wurden in der Ordination von Frau *Dr. Margaux-Denise Lassacher* durchgeführt. In dieser Umgebung war es möglich, aufgrund der Klimatisierung (22°C), abgeschalteten Stromquellen und durch massives Gemäuer unter Laborbedingungen die notwendigen Messungen durchzuführen.

In *Abbildung 27 u. 28* wird der Messaufbau bildlich dargestellt, sowie das Gewölbe und die entsprechende Klimatisierungsautomatik angedeutet.



Abb. 27 Darstellung des Messaufbaues für die Erhebung der Speicherkapazität sowie aller Schätzungsparameter für die Kalibrierung



Abb. 28 Andeutung der baulichen Struktur (Gewölbe) und der Klimatisierungsautomatik

5.4.2. Kapazität des Smartphones

Um einen Overflow des Arbeitsspeichers zu vermeiden, wurde vor Beginn der Messungen ein Test der Aufnahmefähigkeit des **Samsung Galaxy S4 / S3 mini** und des **LG Nexus 5** vorgenommen (**App-SensorLogger**). Dabei wurden die verschiedenen Kapazitäten, bezogen auf die maximale Messdauer, ermittelt, wobei sich folgende Werte ergaben: (**Siehe Tab.6**)

Tab. 6 Kapazitätsprüfung der verwendeten Smartphones

Smartphone	Maximale Messdauer bis Overflow
Samsung Galaxy S3 mini	35 min
LG Nexus 5	45 min
Samsung Galaxy S4	55 min

Zum Definieren standardisierter Messintervalle wurde die Leistung des ressourcenschwächsten Smartphones herangezogen. Somit ergab sich, ausgehend von der Messleistung des Samsung Galaxy S3 mini, ein Zeitintervall von **30 min (Messdauer bis Overflow – 5 min Toleranz)** als maximale Messdauer für alle im Weiteren getätigten Messdurchläufe.

5.4.3. Anlaufzeit des Magnetfeldsensors

Die im Folgenden (*Abb.29/30*) dargestellten Langzeitmessungen (*30min*) zeigen, dass der Magnetfeldsensor in einem Smartphone für die Wiedergabe stabiler Daten eine bestimmte Anlaufzeit benötigt. Je nach Aufbewahrungsort (*Hosentasche – Handtasche etc.*) kann eine Anpassungsdauer an die jeweiligen Umgebungsverhältnisse *2,5min* bis *5min* dauern. Es scheint als würde die Differenz zwischen der Außentemperatur und Sensortemperatur Einfluss auf das Ergebnis der Messung haben. Um dieser Charakteristik im Speziellen genauer auf den Grund zu gehen, wurde in *Punkt 5.4.7* eine umfassend temperaturbezogene Untersuchung vorgenommen. Grundsätzlich empfiehlt es sich, vor der Anwendung sensorgestützter Systeme eine Anpassungszeit beziehungsweise generelle Anlaufzeit von ca. *10 min* einzuhalten. Diese Zeitspanne kann jedoch individuell an die unterschiedlich auftretenden Bedingungen angepasst werden.

5.4.4. Rauschen des Magnetfeldsensors

Smartphones werden hauptsächlich mit Low-Cost-Sensoren ausgestattet. Darunter fällt natürlich auch der Magnetfeldsensor. Um Rückschlüsse auf die Genauigkeit des verbauten Sensors ziehen zu können, muss dieser einer umfangreichen Prüfung unterzogen werden. Dahingehend wurden Langzeitmessungen mit verschiedenen Zeitperioden vorgenommen, welche helfen, die Charakteristik des verwendeten Sensors genauer zu beschreiben.

Die Messungen selbst wurden im Labor der Zahnarztpraxis von Frau *Dr. Margaux-Denise Lassacher* durchgeführt und fanden, bezogen auf die Baustruktur, in massiven Räumen (*Gewölbe*) ohne groben Einfluss von außen unter konstanten **22°C** bei weitestgehend isolierten Bedingungen statt. Auch Einflüsse wie Strom- oder Wasserleitungen konnten durch das Abschalten der Hauptversorgungsquellen eliminiert werden.

5.4.5.Sensorrauschen

Selbst bei hochwertigen Sensoren wird in der Regel auf eine Messtoleranz des Sensors (*auch Rauschen genannt*) hingewiesen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass im Falle eines Smartphone-Magnetfeldsensors Ungenauigkeiten auftreten. Um die Größenordnung dieser bereits erwarteten Schwankungen kennenzulernen, wurden die im Folgenden beschriebenen Messungen getätigt, welche aussagekräftige Ergebnisse brachten.

Mit Hilfe von Magnetfeldmessungen in verschiedenen Zeitintervallen war es möglich, die Eigenschaften der Sensoren (*LG Nexus 5 / Samsung Galaxy S4 u. Samsung Galaxy S3 mini*) festzuhalten. Zu diesem Zweck wurden Messungen in verschiedenen Intervallen (*5min/10min/15min/20min/25min/30min*) durchgeführt. Die Charakteristik, welche sich in allen sechs Messintervallen widerspiegelte, konnte in Folge mit zwei Diagrammen (*à 30 min Messintervall*) nachvollziehbar zusammengefasst und visualisiert werden. (*Siehe Abb. 29 / 30*)

In *Abbildung 29* lässt sich ein relativ starkes Sensorrauschen des *LG Nexus 5* feststellen. Dieses zeigt sich vor allem in der *x-* und *y-Achse* des Magnetfeldvektors und betrifft im weiteren Verlauf auch die *z-Achse*. Somit ergeben sich in *x* enorme Abweichungen zwischen den Minimal- und Maximalwerten von bis zu *7 μ T*. (*Siehe dazu Tab.7/8/9*)

Auch das Samsung Galaxy S4 weist ein, wenn gleich wesentlich geringes, Sensorrauschen auf. Mit einer maximalen Differenz (*in z*) von rund *1.9 μ T* besitzt es dahingegen einen wesentlich stabileren Sensor (*Magnetfeldsensor Typ: YAS532*).

Tab. 7 Sensorrauschen- LG Nexus5 u. Samsung Galaxy S4 in x-Richtung

Sensorrauschen der x-Achse		
Messdauer je Smartphone	Messung 30min LG Nexus 5	Messung 30 min Samsung Galaxy S4
Maximalwerte	18.6141967773438	75.9619979858398
Minimalwerte	11.7935180664062	74.6269989013672
Durchschnittlicher Wert	15.2353510558956	75.3136985966819
Differenz zwischen Minimum und Maximum	6.8206787109376	1.3349990844726

Tab. 8 Sensorrauschen- LG Nexus5 u. Samsung Galaxy S4 in y-Richtung

Sensorrauschen der y-Achse		
Messdauer je Smartphone	Messung 30min LG Nexus 5	Messung 30 min Samsung Galaxy S4
Maximalwerte	7.867431640625	40.0369987487793
Minimalwerte	1.89971923828125	39.0989990234375
Durchschnittlicher Wert	4.86904941543112	39.8404135549939
Differenz zwischen Minimum und Maximum	5.96771240234375	0.937999725341797

Tab. 9 Sensorrauschen- LG Nexus5 u. Samsung Galaxy S4 in z-Richtung

Sensorrauschen der z-Achse		
Messdauer je Smartphone	Messung 30min LG Nexus 5	Messung 30 min Samsung Galaxy S4
Maximalwerte	-30.6045532226562	18.4689998626709
Minimalwerte	-37.0803833007812	16.5550003051758
Durchschnittlicher Wert	-34.0122497825937	17.3670244096165
Differenz zwischen Minimum und Maximum	6.475830078125	1.9139995574951

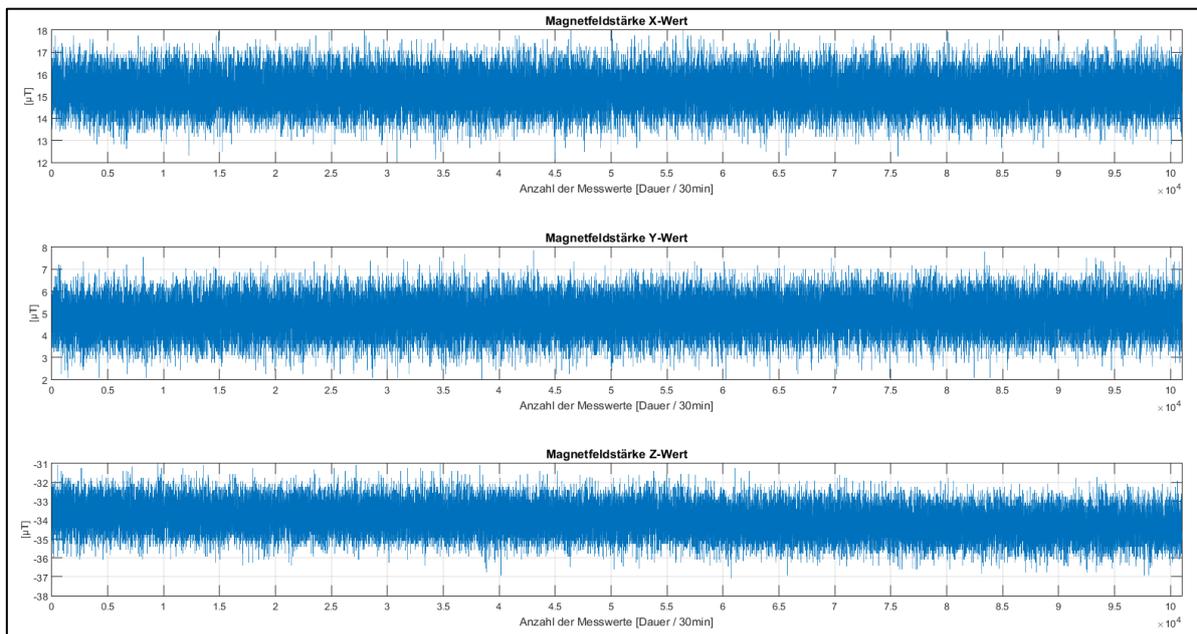


Abb. 29 Langzeitmessung der Magnetfeldstärke je Achse mit LG Nexus 5

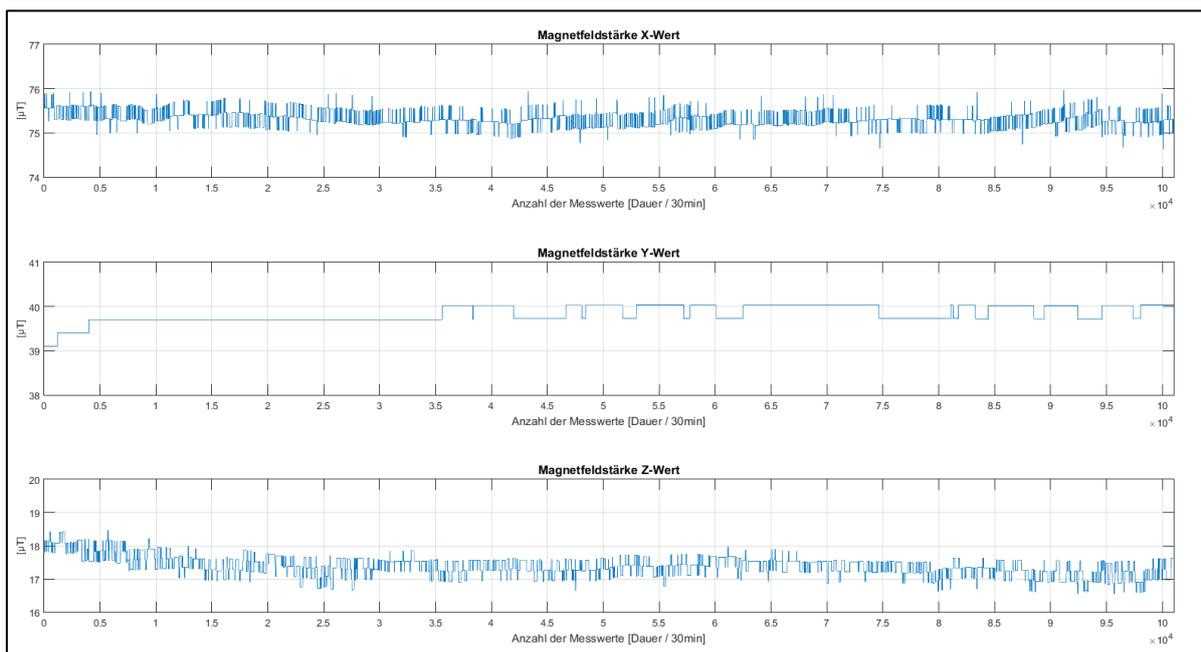


Abb. 30 Langzeitmessung der Magnetfeldstärke je Achse mit Samsung Galaxy S4

5.4.6. Filtern des Sensorrauschens

Bei Abweichungen von bis zu $6.5\mu T$ zwischen den Minima und Maxima der Ergebnisse, konnte beim LG Nexus 5 ein permanentes Sensorrauschen von 1 bis $2\mu T$ (*je nach Achse*) festgestellt werden. Auch das verwendete Samsung Galaxy S4 wies ein, wenn auch vergleichsweise sehr geringes, aber dauerhaftes Sensorrauschen von bis zu $1\mu T$ (*je nach Achse*) auf. Um das Rauschen einzudämmen wurden verschiedene Ansätze zur Filterung bzw. Minimierung herangezogen und erprobt. (*Siehe Abb.32*)

5.4.6.1. Anwenden des arithmetischen Mittels

In Anbetracht des Sensorrauschens ergab sich die Überlegung, eine Erhebung der Messwerte in Form von Intervallen (*1000 Werte pro Intervall*) für eine Mittelung vorzunehmen. Dadurch ist es möglich, den Bereich des feinen Rauschens zu beeinflussen. Das arithmetische Mittel bezeichnet den Durchschnitt, welcher aus der Summe aller Beobachtungen errechnet wird. Im Falle der Anwendung reduziert sich zwar die Häufigkeit der Messwerte um ein Vielfaches, jedoch erhält man ein wesentlich stabileres Ergebnis.

Wird die Methode der arithmetischen Mittelung beim Einmessen der Referenzpunkte angewandt, so ist diese auch im Endprodukt (*finalisierende Smartphoneapplikation*) einzusetzen. Sofern dies geschieht, kann die dadurch entstehende Fehlerquelle als konstant angesehen und in Folge vernachlässigt werden.

Da im *Android Developer Guide* explizit auf die Wahrnehmung des Users und dessen Empfinden zwischen schnellen und langsamen Prozessen eingegangen wird, wurde die Methode der arithmetischen Mittelung analytisch aufgearbeitet. Die in Folge angestellte Untersuchung betreffend des Messintervalles ergaben aufschlussreiche Ergebnisse. **[ANDROID2]**

Wie in *Tab.10* beschrieben, wurden verschiedene Messintervalle ausprobiert. Das Optimum der Berechnung des arithmetischen Mittels stellt sich bei einem Intervall von 100 Werten ein. Dabei wurde aus dem Magnetfeldvektor die Länge berechnet, das Ergebnis in einem Array kumuliert und nach Erreichen des Intervallendes gemittelt. Mit Hilfe der nachstehenden Diagramme wird in Folge auch der Unterschied zwischen dem ungefilterten und gefilterten Ergebnis graphisch dargestellt. (*Siehe Abb.31*)

Tab. 10 Erhebung der Zeit des Rechenprozesses für die arithmetische Mittelung mit verschiedenen Intervallen

Smartphone	Arithmetisches Mittel aus	Zeit des Rechenprozesses [sek]
Samsung Galaxy S4	10 Werten	0,7
LG Nexus 5	10 Werten	0,9
Samsung Galaxy S3 mini	10 Werten	1.0
Samsung Galaxy S4	100 Werten	1.5
LG Nexus 5	100 Werten	2.2
Samsung Galaxy S3 mini	100 Werten	2.7
Samsung Galaxy S4	1000 Werten	2,9
LG Nexus 5	1000 Werten	3.4
Samsung Galaxy S3 mini	1000 Werten	3.9

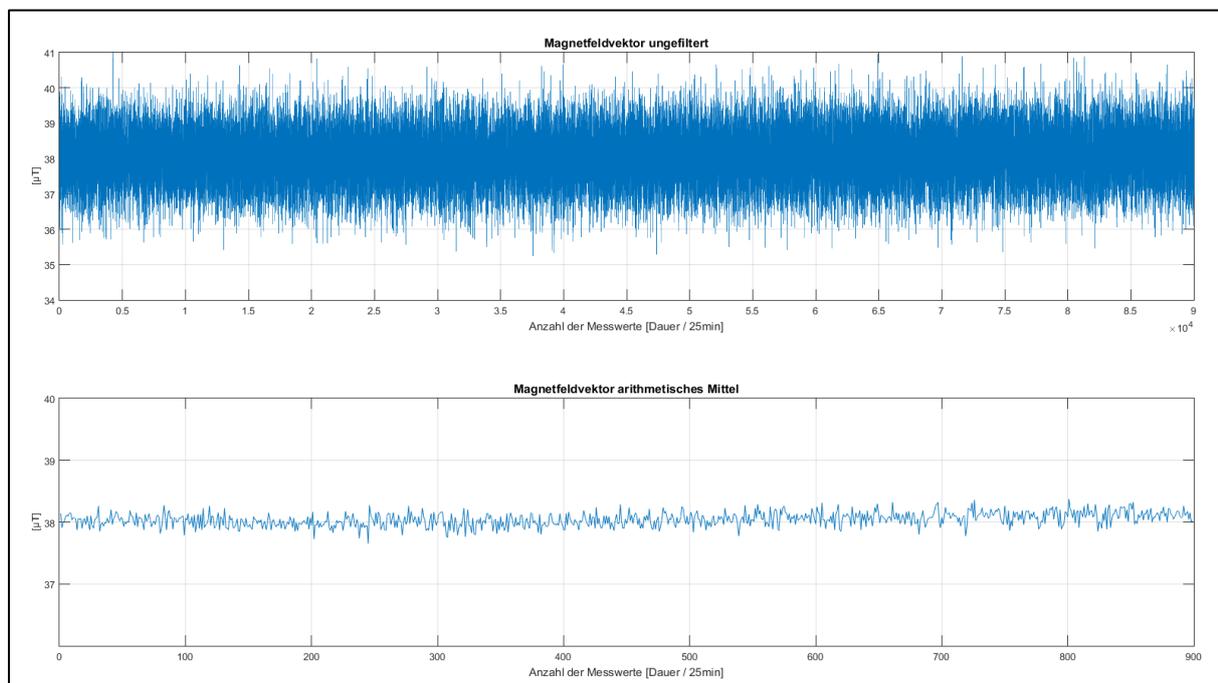


Abb. 31 Visuelle Darstellung des unbeeinflussten und durch das arithmetische Mittel beeinflussten Ergebnisses (Google Nexus 5)

Während die Rohdaten der 25 minütigen Erhebung durch das Sensorrauschen eine Schwankung von bis zu $5.8 \mu T$ aufwiesen, konnte durch die Berechnung des arithmetischen Mittels eine Reduktion von ca. $5.1 \mu T$ erreicht werden. (Siehe Tab.11)

Tab. 11 Sensorrauschen vor und nach der Berechnung des arithmetischen Mittels

Beschreibung der Aufnahmemethode	μT
• Sensorrauschen der Rohdaten über eine Zeitdauer von 25min	5.8268957689107
• Sensorrauschen der Rohdaten nach Berechnung des arithmetischen Mittels	0.7210361765886

5.4.6.2. Filterung über Toleranzen

In Anbetracht der vorangegangenen Überlegungen wurde erkannt, dass die beschriebene Methode zwar erfolgreich angewendet werden kann, sich das verrauschte Signal jedoch zusätzlich durch eine weitere Filtermethode reduzieren lässt.

Dahingehend wurde ein neuer Ansatz verfolgt, welcher aus den erhobenen Originaldaten größere Abweichungen in Echtzeit detektiert, indem für alle **100 bis 1000** Werte das arithmetische Mittel gebildet und zu stark abweichende Messwerte in Folge eliminiert werden. Die dafür notwendigen Toleranzen sind frei wählbar.

Die nachstehende Graphik zeigt eine Darstellung der Länge des Magnetfeldvektors in unverändertem Zustand, gefolgt von der bereits erwähnten Filterung mit einer Toleranz von **+/- 0.5 μ T**. Die dritte Figur stellt die arithmetische Mittelung der unberührten Daten dar, welche alle tausend Werte vorgenommen wurde, nach welcher zuletzt eine Kombination aus beiden Verfahren- (**Filterung mit Toleranzen**) und Anwendung des arithmetischen Mittels zu sehen ist. Die Richtigkeit der angenommenen These **„eine Filterung mit Toleranzen in Kombination mit der Berechnung des arithmetischen Mittels sei zielführend“**, konnte damit bestätigt werden. (Siehe Abb.32)

Um das visuelle Ergebnis aus **Abb.32** zu bestätigen, wurde die Beeinflussung des dargestellten Datensatzes wie folgt in Zahlen ausgedrückt. **Tabelle 12** zeigt, dass die Daten vor der kombinierten Methode im Rohzustand eine Differenz von über **6 μ T** zwischen dem Minimum und Maximum aufwiesen. Nach der Filterung in Kombination mit einer Mittelung konnte die Differenz um das zehnfache reduziert werden.

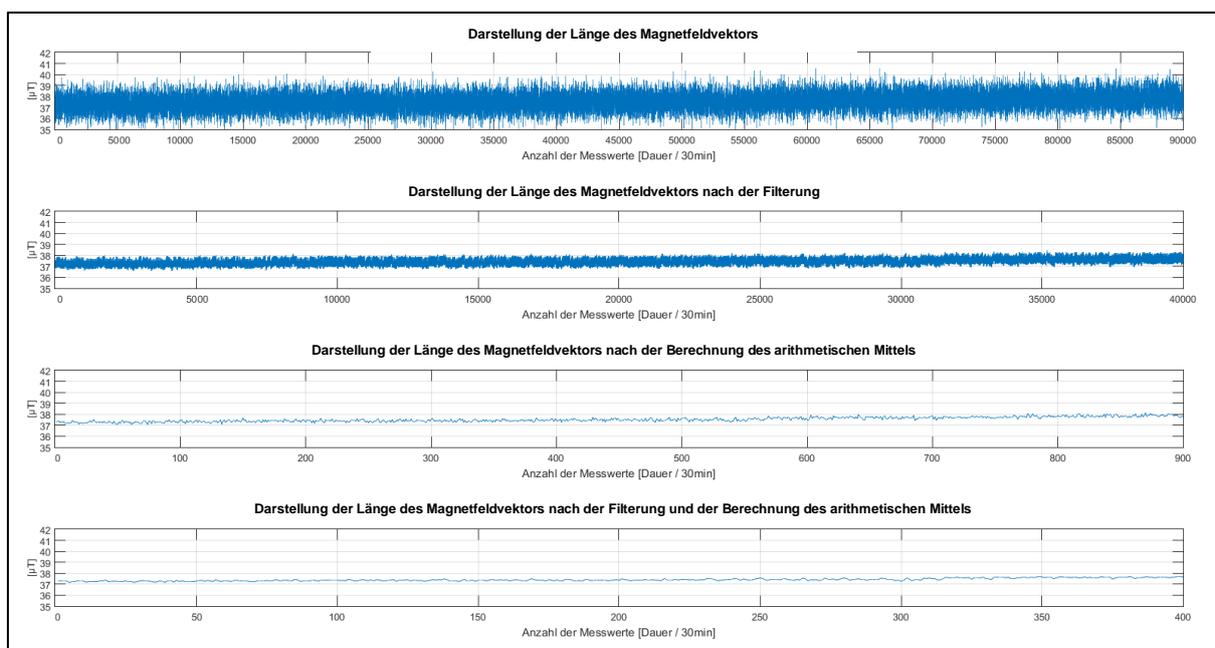


Abb. 32 Darstellung der Unterschiede zwischen den Rohdaten und einer Kombination aus Filterung durch den Einsatz von Toleranzen und einer Mittelung

Tab. 12 Gegenüberstellung der Rohdaten mit der Filter- bzw. Mittelungsmethode und der finalisierenden Kombinationsvariante

Methode	Maximalwert Magnetfeldvektor	Minimalwert Magnetfeldvektor	Differenz zwischen Minimum und Maximum
Rohdaten	40.5876305590026	34.4949300808056	6.092700478197
Nach Filterung	38.4686447664757	36.5661305589942	1.9025142074815
Nach arithmetischer Mittelung	38.1509852848967	37.0350044015826	1.1159808833141
Kombination Filterung - Arithmetisches Mittel	37.8194660971646	37.1687549777966	0.6507111193679

In **Tab.12** wird veranschaulicht, in welchem Ausmaß die verschiedenen Methoden die Messdaten beeinträchtigen. Dabei fällt auf, dass die Berechnung des arithmetischen Mittels als alleinstehende Methode den größten Erfolg in der Optimierung des Datensatzes erzielt. Da ein Teil des Filterverfahrens auf der Ermittlung des arithmetischen Mittels basiert, ist es im Weiteren nicht verwunderlich, dass der Erfolg dieser Methode fast ident zur Mittelung ist. Bei genauerer Betrachtung der Messwerte nach dem Filtern wird ersichtlich, dass diese Methode die Charakteristik der Daten aufrecht erhält. Aus diesem Grund muss bei einer Kombination dieser zwei Methoden unbedingt darauf geachtet werden, dass die Berechnung des arithmetischen Mittels, nach Eliminierung aller aus dem Toleranzbereich abweichenden Werte, vorgenommen wird.

5.4.7. Temperaturabhängigkeit des Magnetfeldsensors

Die Leitfähigkeit von Metallen wird unter anderem durch das Schwanken der Temperatur beeinflusst. Beim Erheben der ersten Messdaten fiel auf, dass sich die Temperatur des Smartphones (*mit der Hand fühlbar*) erhöht hat. Aus diesem Grund stellte sich die Frage, ob das Ansteigen der Prozessor-Kerntemperatur Auswirkungen auf das Ergebnis der Magnetfeldmessungen hat, da die Daten, wie bereits erwähnt, durch einen Hallsensor aufgenommen werden. Um diese Überlegung zu prüfen und einem mit dem Anstieg oder Abfall der Temperatur einhergehenden Drift vorzubeugen, wurden mehrere Referenzmessungen betreffend der Temperatur vorgenommen.

5.4.7.1. Temperaturabhängigkeit:

Durch sechs Messversuche (*á 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min*) wurde die x-, y- und z-Komponente des Magnetfeldvektors, sowie eine dazu parallel laufende Messung der Temperatur über den Humidity and Temperature Sensor (*SHTC1*) des in **Punkt 3.1** bereits beschriebenen Samsung Galaxy S4 vorgenommen. Die Messintervalle wurden zeitlich variabel definiert, um möglichst viel über die Charakteristik der verwendeten Sensoren zu erfahren.

Die im Folgenden (**Abb.33 bis 36**) dargestellten Diagramme zeigen den Messverlauf der einzelnen Messungen und geben Auskunft über das Verhalten der Sensoren bei kurzem (*5 min / 10 min*) bis hin zu langem (*25 / 30 min*) Betrieb.

Ausgehend von den vorherrschenden Laborbedingungen (**Punkt 5.4.1**) konnte die Charakteristik des Magnetfeldsensors durch zehn Messversuche erhoben werden. Dabei wurde das Messintervall von **5 min (Mindestmessdauer)** auf bis zu **30 min (Endintervall)** in fünf Minutenschritten erhöht.

Das Verhalten des Sensors stellte ab einem Messintervall von **20 Minuten** ein klares Profil dar. Wie aus den Ergebnissen (**Siehe Abb. 33**) ersichtlich, ist eine ca. **10** minütige Anlaufzeit, in welcher sich der Sensor einpendeln kann, erforderlich. Des Weiteren ist zu erkennen, dass auch der Temperatursensor eine Anlaufzeit von fast **5 min** benötigt um stabile Messergebnisse erzeugen zu können.

Die Annahme, die Vektorkomponenten (x,y,z) des Sensors würden sich mit dem Ansteigen und Abfallen der Temperatur verändern, konnte in den einzelnen Messungen eindeutig nachgewiesen werden. (**Siehe Abb. 34**) Dabei wurde das zur Erhebung verwendete Smartphone (**Samsung Galaxy S4**) auf einen kalten Heizkörper gelegt und dessen Temperatur im Laufe der Messperiode um ca. **6°C** erhöht. Als Folgeerscheinung ergab sich bei Abzug einer 10 minütigen Warmlaufphase ein Drift der Vektorkomponenten (**Anstieg um ca. +1 μ T in x-, Sinken um ca. -5 μ T bis -5.5 μ T in y- und +4 μ T bis +6 μ T in z-Richtung**).

Auch die abschließende Erhebungen (**Siehe Abb.34 u. 36**), welche in einem Messdurchlauf von gesamt je **30 min (30 min bei ca. 6°C Außentemperatur am Fensterbrett /außerhalb des Gebäudes und 30 min bei ca. 26°C am Heizkörper / im Gebäude)** durchgeführt wurden, ergab bei Abkühlung innerhalb der ersten **30 Minuten (Hälfte 1)** ein Absinken um ca. **-1 μ T bis -2 μ T** in x-, ein Ansteigen von ca. **+4 μ T bis +5 μ T** in y- und ein weiteres Sinken von ca. **-4 μ T bis -5 μ T** in z-Richtung. Das zu erwartende Pendant ergab sich innerhalb der folgenden **30 min (Hälfte 2)** bei spontanem Anheben der Temperatur. Hierbei verhielten sich die Werte wie erwartet entgegengesetzt zur Abkühlung des Smartphones. Mit einem Anstieg um ca. **+4 μ T bis +5 μ T** in x-, einem leichten Absinken von ca. **-1 μ T bis -2 μ T** in y- und einem Sinken von ca. **-3 μ T bis -4 μ T** in z-Richtung.

Die minimal auftretenden Differenzen zwischen der Aufwärm- und Abkühlphase resultieren aus nicht exakt eingehaltenen Messpositionen (**siehe z-Richtung**).

5.4.8.Ergebnis der Temperaturmessungen

Eine Verfälschung der Messwerte durch die Handwärme des Anwenders oder dem Abkühlen beim Entnehmen des Gerätes aus der Hosentasche kann durchaus eine Rolle beim Verwenden der Smartphonesensorik spielen. Somit muss diese Problematik in Folge mit in die Kalibrierung des Magnetfeldsensors eingebunden werden, oder aber eine Aufwärmphase vor dem Einmessen der Referenzpunkte sowie dem Anwenden des Endproduktes (**ca. 10 min**) abgewartet werden. Das Smartphone selbst produziert während seiner Laufzeit keine die Sensoren beeinflussende Wärme.

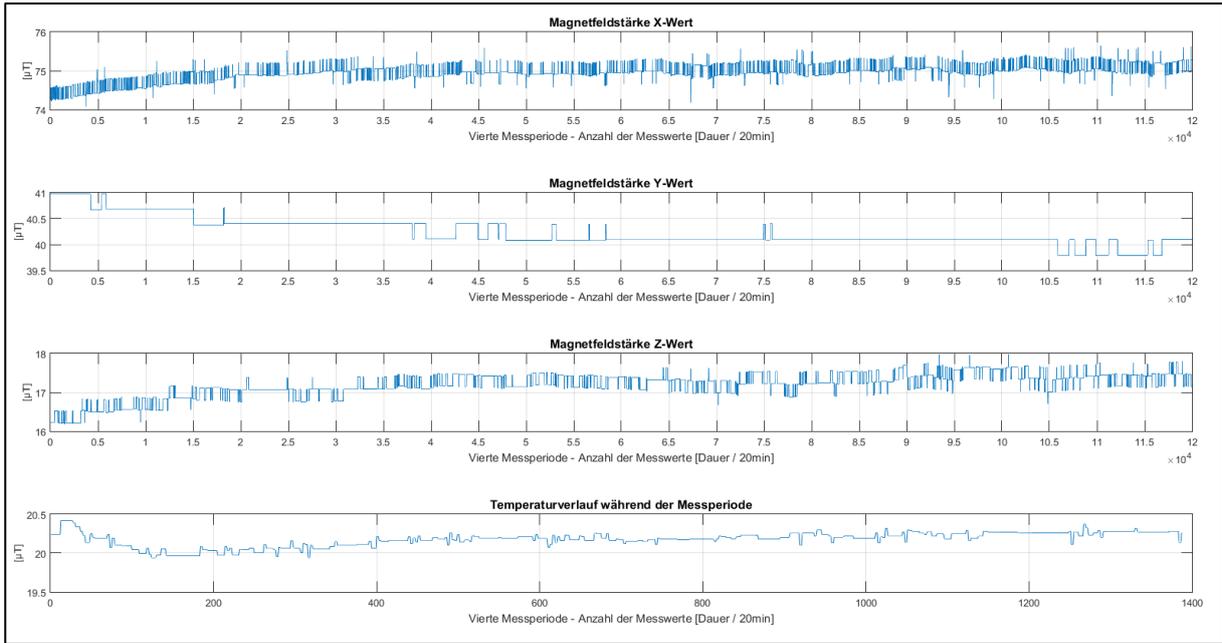


Abb. 33 Teilergebnis der Temperatur-Langzeitmessungen mit dem Samsung Galaxy S4

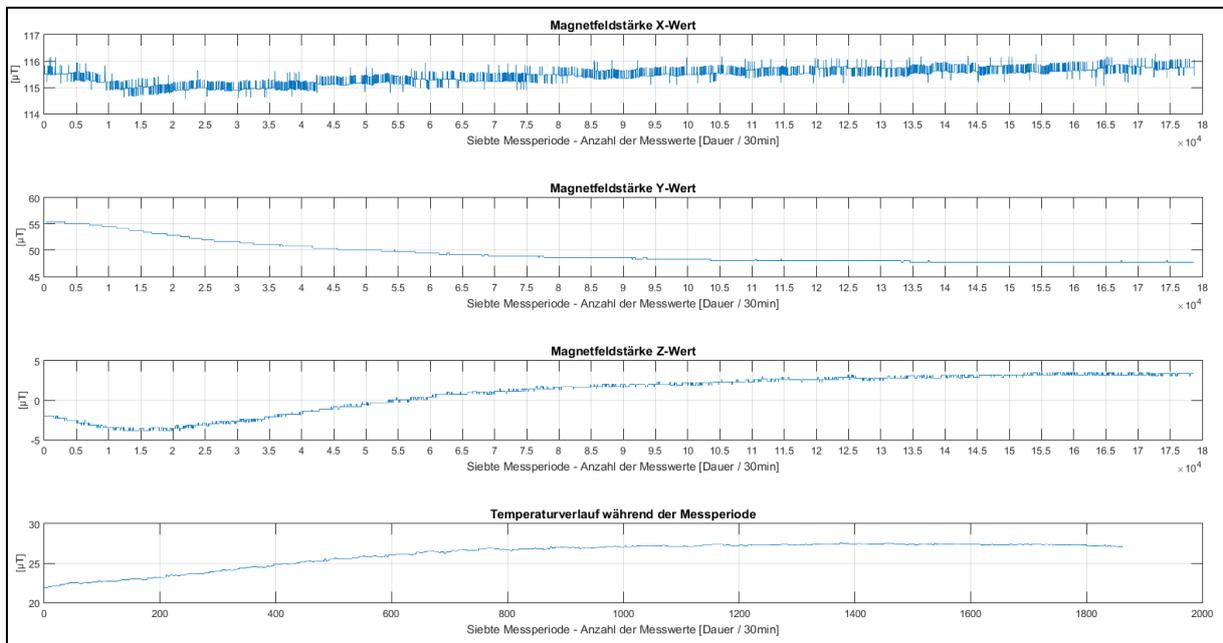


Abb. 34 Darstellung des Drifts der x- / y- u. z-Achse bei einem Temperaturanstieg

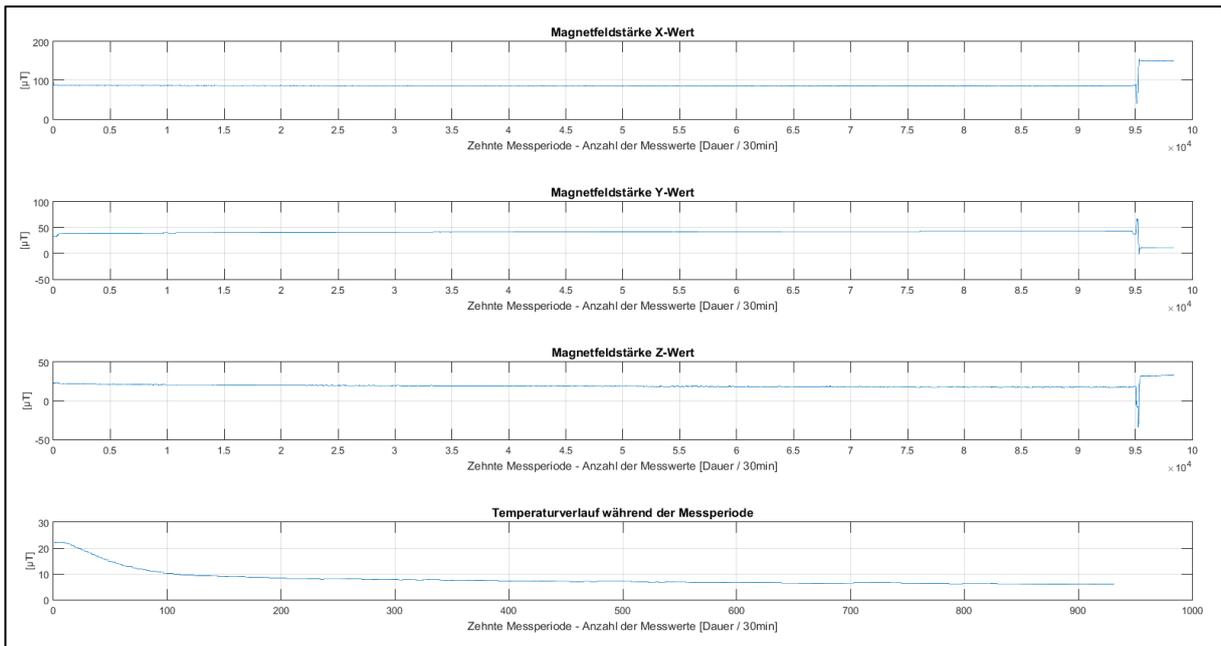


Abb. 35 Darstellung des Drifts der x- / y- u. z-Achse bei einem Temperaturabfall innerhalb einer Messung (Hälfte 1 30 min)

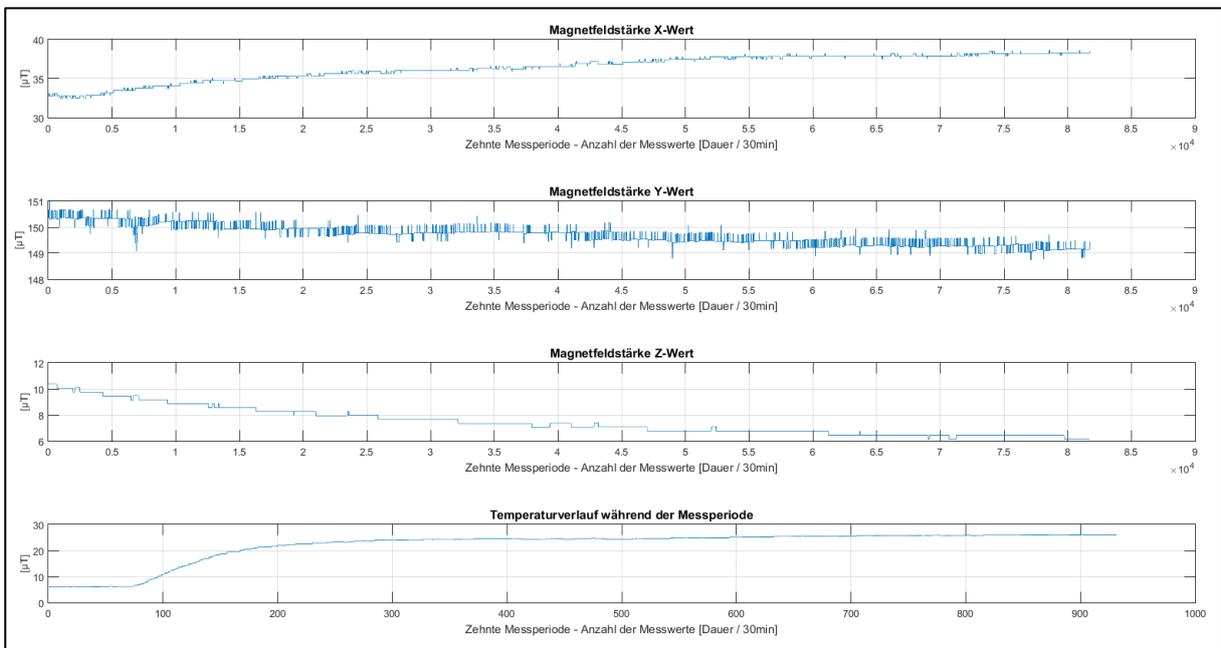


Abb. 36 Darstellung des Drifts der x- / y- u. z-Achse bei einem Temperaturanstieg innerhalb einer Messung (Hälfte 2 – 30 min)

5.5. Entwickelte Methoden und Kalibrierung

5.5.1. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Nach Analyse der sich in den Smartphones (*LG Nexus 5 / Samsung Galaxy S4*) befindlichen Magnetfeldsensoren (*AK8963- / YAS532 Magnetometer*) und der im Anschluss entwickelten Filtermethoden, stellte sich die Frage, inwieweit die erhaltenen Ergebnisse reproduzierbar sind. Somit wurde eine standardisierte Umgebung geschaffen, die es ermöglichte, eine Messung mehrmals unter gleichen Bedingungen zu wiederholen. Zu diesem Zweck wurde ein Messfeld erstellt, welches sich innerhalb der für das Endprodukt dieser Arbeit herangezogenen Lokalität befand. Aus diesem Grund wurde ein $3\text{m} \times 3\text{m}$ großes Quadrat im Korridor des sich im dritten Stock befindlichen Institutes für Geodäsie der TU Graz (*Steyrergasse 30*) ausgemessen. Dabei entstand in Folge ein Raster mit 36 Quadraten zu je $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$. (Siehe *Abb. 37*)



Abb. 37 Aufgeklebtes Messfeld im Korridor der TU-Graz (Steyrergasse 30)

Die einzelnen Zellen des Messfeldes wurden zur besseren Nachvollziehbarkeit nummeriert um eventuell auftretende Missverständnisse bei der Interpretation des Ergebnisses zu beseitigen. (Siehe *Tab.13*)

Tab. 13 Tabellarische Darstellung des aufgeklebten Messfeldes mit vorgegebener Bewegungsrichtung über eine Nummerierung

6	12	18	24	30	36
5	11	17	23	29	35
4	10	16	22	28	34
3	9	15	21	27	33
2	8	14	20	26	32
1	7	13	19	25	31

In Folge wurde ein zehnmaliger Durchlauf des Quadrates (**Tab.14**) zu je einer Messung pro Zelle angestrebt. Dazu wurde die bereits beschriebene App **LoggingPoints** verwendet, welche in diesem Fall sowohl die Rohdaten, das berechnete arithmetische Mittel (**100 Werte**), als auch die Kombination des Filterverfahrens und der arithmetischer Mittelung aufnahm.

Aus theoretischer Sicht ist davon auszugehen, dass sich an einem Messpunkt die Länge des berechneten Magnetfeldvektors, unabhängig von der räumlichen Ausrichtung des Messgerätes, nicht verändert. Im vierten Messdurchlauf wurde jedoch festgestellt, dass sich mit Veränderung der Geräteausrichtung auch die Länge des Vektors ändert. Da dieses Verhalten aus rein mathematischer Sicht nicht möglich ist, musste auf die neue Problematik im Besonderen eingegangen werden. Somit wurde kurzerhand das angestrebte Messziel von **10 Durchgängen (in bis dato eine Richtung)** verworfen und dahingehend eine neuer Ablauf definiert. Dieser beinhaltete in Folge drei Messdurchläufe pro Himmelsrichtung, wodurch sich insgesamt **12 Messdurchgänge** ergaben.

Erwarteter Weise ergab sich eine eindeutige Reproduzierbarkeit der Messpunkte (**je Zelle**), welche im Folgenden durch die Auswertung des Datenmaterials nachgewiesen werden konnte. Beim Vergleich zwischen der einfachen Mittelung und der kombinierten Methode konnte im Weiteren festgestellt werden, dass die Kombination der Mittelung und des Filterverfahrens definitiv die stabilsten Ergebnisse erbrachte. Mit einer durchschnittlichen Schwankung von **0,2 μ T** bis **0,6 μ T** bewegte sich die Differenz zwischen den Messdurchgängen innerhalb der Toleranz des Sensorrauschens und wurde somit als tolerierbar eingestuft. (**Siehe Tab.14 u. 15**)

Tab. 14 Aufschlüsselung von drei gleich orientierten Messdurchläufen (nach Norden gerichtet) im Messfeld

Nr.	arithmetisches Mittel 1	arithmetisches Mittel 2	arithmetisches Mittel 3	Kombination 1	Kombination 2	Kombination 3	Differenz zwischen erster und zweiter Messung - arithmetisches Mittel	Differenz zwischen erster und dritter Messung - arithmetisches Mittel	Differenz zwischen zweiter und dritter Messung - arithmetisches Mittel	Differenz zwischen erster und zweiter Messung - Kombination	Differenz zwischen erster und dritter Messung - Kombination	Differenz zwischen erster und zweiter Messung - Kombination
1	39,73269971	40,49704771	40,36432293	39,8060983	40,47744754	40,39162168	-0,764347996	-0,631623216	0,13272478	-0,671349247	-0,585523386	0,085825861
2	41,61013426	42,12008902	41,75523272	41,67423192	42,09264219	41,77981925	-0,50995477	-0,145098465	0,364856304	-0,418410274	-0,105587334	0,31282294
3	41,94540725	42,51579524	42,52202098	41,95184579	42,44897013	42,51759863	-0,570387984	-0,576613731	-0,006225746	-0,497124341	-0,565752846	-0,068628505
4	42,24310879	42,56312408	42,72944542	42,27242299	42,52173997	42,7307508	-0,320015299	-0,486336632	-0,166321333	-0,294316979	-0,503282092	-0,208965114
5	42,21402487	42,38234913	42,41737014	42,25783178	42,43608381	42,35479473	-0,168324267	-0,203345275	-0,035021008	-0,178252031	-0,096962947	0,081289084
6	42,33264171	42,36319849	42,29305575	42,33296241	42,39376569	42,29956697	-0,030556783	0,039585955	0,070142738	-0,060803288	0,033395438	0,094198727
7	44,32876846	44,95915945	44,6951365	44,34630939	44,9832923	44,67701117	-0,630390992	-0,366368035	0,264022956	-0,636982912	-0,330701779	0,306281133
8	45,70752707	46,025984	45,83358104	45,59676509	46,0044806	45,90703629	-0,318456935	-0,126053971	0,192402964	-0,407672963	-0,310271198	0,097401766
9	46,66491582	46,74852064	46,70842939	46,72689974	46,71506592	46,70844636	-0,083604828	-0,043513576	0,040091253	0,011833817	0,018453374	0,006619557
10	47,00780504	47,00314094	46,96118576	47,01264666	47,02475358	46,92547984	0,0046641	0,04661928	0,04195518	-0,01210692	0,087166824	0,099273744
11	47,00706334	47,48164098	47,07050979	47,01166467	47,40876523	47,12315132	-0,474577647	-0,063446455	0,411131192	-0,397100567	-0,111486651	0,285613915
12	47,42454184	47,52463257	47,34698287	47,47197252	47,3265995	47,3265995	-0,10009073	0,07758966	0,177649696	-0,003813766	0,145312571	0,149126337
13	47,47056817	48,0000492	48,09564408	47,48954893	47,9972667	48,06273671	-0,529481028	-0,625075908	-0,095594879	-0,507717766	-0,573187781	-0,065470015
14	48,95271366	49,40845393	49,47635536	48,95238958	49,449595	49,46455908	-0,455740271	-0,523641699	-0,067901429	-0,49720542	-0,512169505	-0,014964085
15	50,05996838	50,33188175	50,43051456	50,05371665	50,24887259	50,4795665	-0,27191337	-0,370546183	-0,098632813	-0,195155943	-0,425849852	-0,230693909
16	50,4440483	51,32862524	50,84025644	50,42462668	51,37864522	50,83794836	-0,884576938	-0,884576938	0,488368804	-0,954018542	-0,413321689	0,540696854
17	51,27642857	51,44207627	51,6504871	51,2768402	51,42719374	51,60091706	-0,165647704	-0,374058537	-0,208410834	-0,15035354	-0,324076855	-0,173723315
18	51,45500883	51,39399984	52,15528856	51,48328231	51,3597243	52,11128272	0,061008991	-0,700279728	-0,761288719	0,123558007	-0,628000416	-0,751558423
19	50,27901507	50,96734314	50,87067528	50,33110921	51,00772212	50,84473285	-0,688328074	-0,591660207	0,096667866	-0,676612909	-0,513623635	0,162989275
20	51,8046132	52,40518959	52,11867039	51,77989499	52,36890738	52,1209056	-0,60057639	-0,314057193	0,286519197	-0,589012394	-0,341010612	0,248001782
21	52,99011128	53,75073156	53,59293401	52,9710994	53,77502268	53,59846462	-0,760620286	-0,602822729	0,157797557	-0,803923281	-0,627365216	0,176558066
22	53,84175595	54,68707365	54,53945755	53,9035148	54,60744312	54,51129272	-0,845317698	-0,697701598	0,1476161	-0,703928324	-0,607777922	0,096150402
23	54,78259629	55,31723324	55,43644059	54,86854624	55,28655441	55,44385687	-0,53463695	-0,653844303	-0,119207354	-0,418008168	-0,575310632	-0,157302464
24	55,28589615	56,28575188	55,71403197	55,36368632	56,30395886	55,74495487	-0,999855731	-0,428135822	0,571719909	-0,94027254	-0,381268548	0,559030992
25	51,69232412	52,76686009	52,39553754	51,77733502	52,76320131	52,37960001	-1,074535965	-0,703213415	0,37132255	-0,985866288	-0,602264994	0,383601294
26	53,36715324	54,41605136	54,08314235	53,40627757	54,43104646	54,06788182	-1,048898113	-0,715989112	0,332909001	-1,024768885	-0,661604249	0,363164636
27	54,88070125	56,01322063	55,31005174	54,85311868	56,03457403	55,30860061	-1,13251938	-0,429350492	0,703168888	-1,181455356	-0,455481938	0,725973418
28	56,130844	57,27569137	56,4693772	56,15384192	57,31143445	56,41614903	-1,144847371	-0,338533201	0,80631417	-1,157592524	-0,262307111	0,895285413
29	57,35144814	58,40979501	58,03010018	57,33437462	58,46269157	57,9340327	-1,05834687	-0,67865204	0,37969483	-1,128316953	-0,599658075	0,528658878
30	58,38793466	59,17738517	58,65430035	58,39424724	59,1811682	58,60131863	-0,789450511	-0,266365693	0,523084818	-0,786920956	-0,207071389	0,579849567
31	51,6011717	52,44126926	51,55327113	51,55049089	52,45957068	51,61091471	-0,840097552	0,047900579	0,887998131	-0,909079792	-0,060423822	0,84865597
32	53,34066244	54,34875397	53,49908197	53,30123353	54,27150116	53,48232485	-1,008091537	-0,158419535	0,849672002	-0,970267632	-0,18109132	0,789176312
33	54,90176521	55,89599028	55,39138117	54,8790937	55,88292893	55,30729687	-0,99425061	-0,489615957	0,504609104	-1,003835233	-0,428203167	0,575632067
34	57,02647051	57,86850778	57,37765044	57,01735199	57,85336523	57,43666117	-0,842037261	-0,351179923	0,490857338	-0,836013238	-0,419309181	0,416704057
35	58,73261268	59,80684796	59,76284703	58,80108962	59,71442602	59,76364018	-1,074235277	-1,030234354	0,044000924	-0,913336402	-0,962550557	-0,049214155
36	58,73261268	59,80684796	59,76284703	58,80108962	59,71442602	59,76364018	-1,074235277	-1,030234354	0,044000924	-0,913336402	-0,962550557	-0,049214155
Durchschnittliche Differenz:							-0,585108499	-0,374873523	0,210234977	-0,561519015	-0,353734284	0,207784731

Tab. 15 Aufschlüsselung aller Messdurchläufe (separiert durch ihre räumliche Ausrichtung) im Messfeld

Messung	Differenz zwischen erster und zweiter Messung - arithmetisches Mittel	Differenz zwischen erster und dritter Messung - arithmetisches Mittel	Differenz zwischen zweiter und dritter Messung - arithmetisches Mittel	Differenz zwischen erster und zweiter Messung - Kombination	Differenz zwischen erster und dritter Messung - Kombination	Differenz zwischen erster und zweiter Messung - Kombination
Differenz zwischen Nord und Ost	1,139406391	1,476591173	0,337184781	1,118789473	1,445707652	0,326918178
Differenz zwischen Nord und Süd	0,843064688	1,359520276	0,516455588	0,824746286	1,329676398	0,504930111
Differenz zwischen Nord und West	1,014587754	0,963459768	0,051127987	0,997502424	0,953077631	0,044424794
Differenz zwischen Ost und Süd	0,296341703	0,117070897	0,179270807	0,294043187	0,116031254	0,178011933
Differenz zwischen Ost und West	0,124818637	0,513131405	0,388312768	0,121287049	0,492630021	0,371342972
Differenz zwischen Süd und West	0,171523066	0,396060508	0,567583575	-0,172756138	-0,376598767	-0,549354905

Im Nachstehenden (**Abb.38**) wurden die einzelnen Messrichtungen graphisch dargestellt um zu zeigen, dass sich die Länge des Magnetfeldvektors trotz der erkannten Richtungsabhängigkeit in ihrer Charakteristik nur unwesentlich verändert.

Nichts desto trotz wurde durch die Kontrolle der Reproduzierbarkeit eine bisher nicht erwartete Problematik aufgedeckt. Die durch die vorangegangene Erhebung festgestellte Richtungsabhängigkeit der Länge des Magnetfeldvektors, bedarf einer genaueren Aufklärung. Daher wurden in Folge weiterführende Untersuchungen vorgenommen. (**Siehe Punkt 5.5.2**)

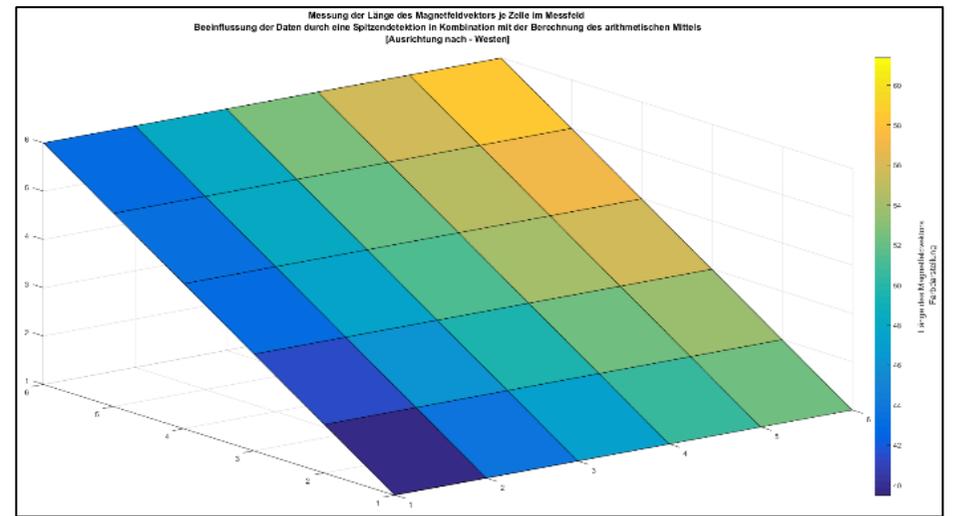
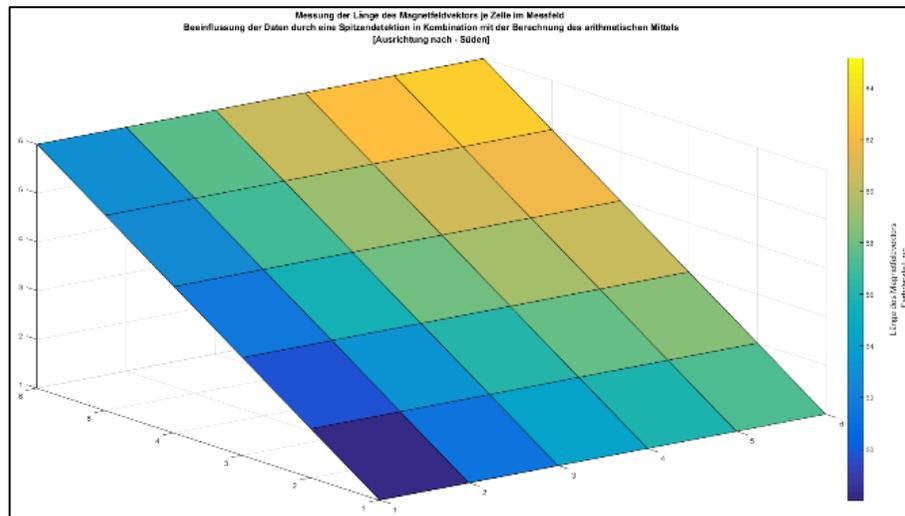
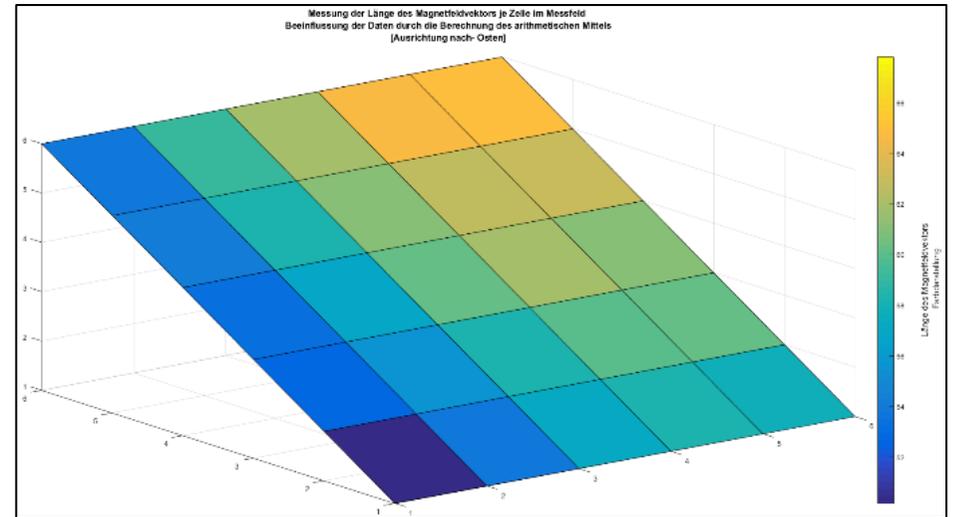
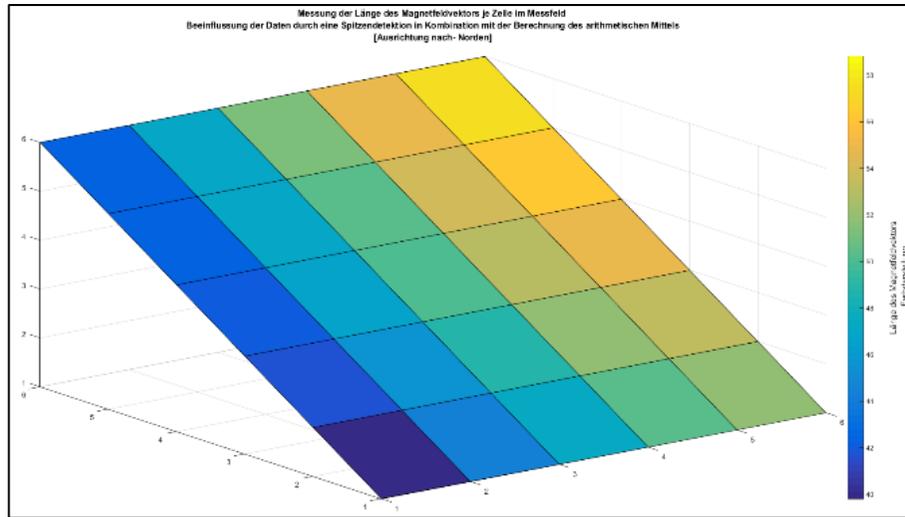


Abb. 38 Darstellung des Messaufbaues mit eingefärbten Messquadraten um die jeweilige Länge des Magnetfeldvektors (je Himmelsrichtung) darzustellen

5.5.2. Nachweis der Richtungsabhängigkeit - Rotationsmessungen

Die vorangegangenen Messungen haben unter anderem eine Richtungsabhängigkeit des Magnetfeldsensors im Smartphone aufgedeckt. Zumindest aus mathematischer Sicht muss die Länge, also der Betrag eines Vektors, an einem Messpunkt unabhängig von seiner räumlichen Ausrichtung immer gleich bleiben. Um weiter in die Tiefe dieses Problems zu gehen wurden Rotationsmessungen angestellt, welche mehr Aufschluss über diese Abhängigkeit geben sollten.

Für den Messaufbau (Siehe Abb. 39) wurde ein Tisch mit **60cm x 60cm** verwendet, welcher in entsprechendem Ausmaß vermessen und in Folge mit Klebebandstreifen als Markierung begrenzt wurde. Somit war gewährleistet, dass sich das Messgerät bei einer Drehung ausschließlich um den eigenen Mittelpunkt dreht.

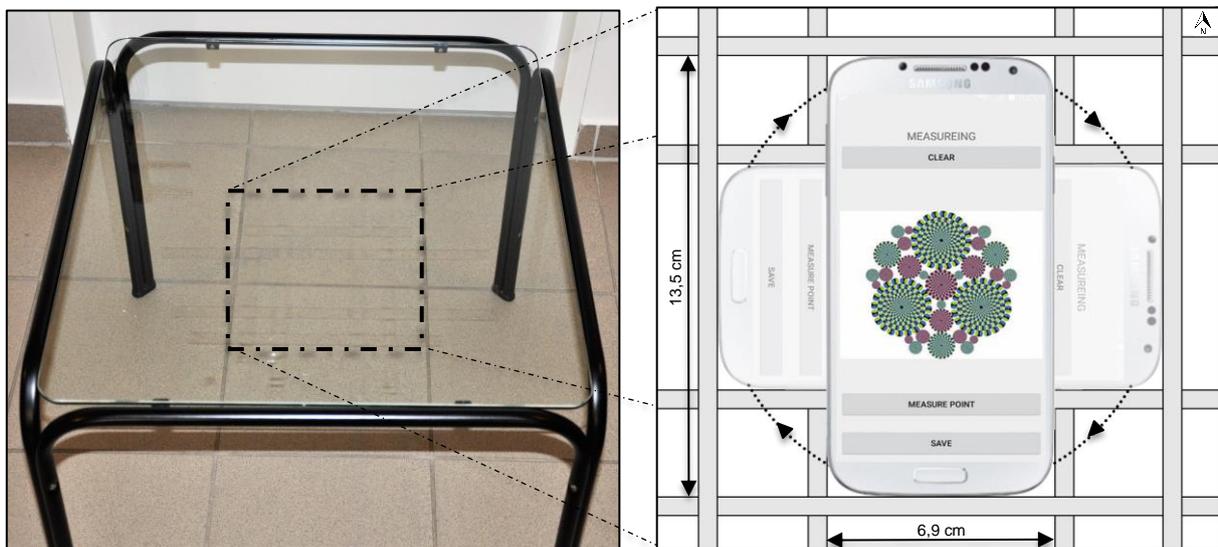


Abb. 39 Darstellung des benutzten Tisches zur Überprüfung der Richtungsabhängigkeit und Maße des abgeklebten Rotationsbereiches

Die Messungen wurden sowohl mit, als auch ohne direkten menschlichen Einfluss getätigt um von vornherein eine eventuelle Fehlerquelle zu eliminieren. Zur Aufnahme der folgenden Ergebnisse wurde die bereits in **Punkt 5.3** beschriebenen Smartphoneapplikation **LoggingPoints** verwendet.

5.5.3. Messungen mit unterschiedlichen Richtungen:

Wie schon erwähnt, kann mit der verwendeten Smartphoneapplikation **LoggingPoints** eine Messung ohne sowie mit Fremdeinwirkung vorgenommen werden. Die nachstehende Abbildung zeigt das Ergebnis der erst gemessenen Ausgangssituation. (Siehe Abb.40) Hierbei ist zu erkennen, dass bei der Drehung des Smartphones um den eigenen Mittelpunkt zwischen den einzelnen Richtungen (**Nord, Ost, Süd, West**) Differenzen von bis zu **32 μ T** auftreten. Im Gegensatz dazu bleibt der Unterschied zwischen einer Messung ohne- bzw. mit menschlichem Einfluss bei einer maximalen Differenz von bis zu **0.7 μ T** sehr gering.

Der Vollständigkeit wegen, wurde im Weiteren (*Abb.41 u. Abb.42*) der gesamte Verlauf der Richtungsmessungen tabellarisch aufgelistet, um durch die Summe der Ergebnisse die bereits in *Abb.40* erwähnte Charakteristik besser veranschaulichen zu können.

- *Bemerkung:*

Da die Anwendung der angestrebten Positionierungsapplikation von vornherein nur im Handbetrieb verwendet wird, empfiehlt es sich auf Grund der Einflussnahme des Menschen, (*Differenz von $0,7\mu T$ zur unbeeinflussten Messung*) die notwendigen Referenzpunkte bei direktem menschlichen Einfluss zu erheben.



Abb. 40 Messergebnis der Ausgangssituation – Rotationsdaten am Messtisch – Vergleich Messung mit und ohne menschlichem Einfluss

<i>Richtung</i>	<i>Messung ohne Mensch 1</i>	<i>Messung ohne Mensch 2</i>	<i>Messung ohne Mensch 3</i>	<i>Messung ohne Mensch 4</i>	<i>Messung ohne Mensch 5</i>	<i>Messung ohne Mensch 6</i>	<i>Messung ohne Mensch 7</i>	<i>Messung ohne Mensch 8</i>	<i>Messung ohne Mensch 9</i>	<i>Messung ohne Mensch 10</i>	<i>Durchschnitt</i>
	129,1730435	129,0586206	129,5095737	130,2647291	129,8762097	129,973724	129,9484687	130,2293398	129,9410743	129,7644503	129,773923
<i>N</i>	288	289	289	290	290	290	290	290	290	289	289,5
	155,2949723	155,5969302	156,1621413	157,1309102	156,8075936	156,5996244	156,4299026	156,5869129	156,3444086	156,087005	156,30404
<i>O</i>	292	292,1	293	293	293	293	293	293	293	293	292,81
	152,158396	152,4077998	152,5702132	153,8165777	153,3648048	153,457516	153,4157858	153,1082156	153,5638632	153,0133996	153,087657
<i>S</i>	303	303	303	304	304	304	304	304	304	304	303,7
	123,9767349	123,8510498	124,1657857	125,115011	125,2600168	125,2468247	125,257544	125,0959874	124,8377299	124,8140274	124,762071
<i>W</i>	302	302	302	303	303	303	303	303	303	303	302,7
	129,1212576	129,4529064	129,6824421	130,0971118	130,3689316	129,9877813	130,3027774	129,8109737	130,3513686	130,017574	129,919312
<i>N</i>	289	289	289	290	290	290	290	290	290	290	289,7
	155,5229057	155,8648931	156,0971926	156,9615807	156,9983844	156,5161619	156,6895999	156,5976302	156,6389739	156,3267738	156,42141
<i>O</i>	292	293	293	293	293	293	293	293	293	293	292,9
	152,2224169	152,40628	152,8253526	153,7798524	153,5079331	153,8164791	153,5236278	153,478116	153,4901944	153,5685981	153,261885
<i>S</i>	303	303	303,1	304	304	304	304	304	304	304	303,71
	123,5101331	123,7920252	123,9390689	124,7467893	125,1194105	124,7661627	125,0593079	124,9491773	124,8476691	124,647829	124,537757
<i>W</i>	302	302	302	303	303	303	303	303	303	303	302,7
<i>Abweichung vom Durchschnitt N</i>	0,60087985	0,715302814	0,264349676	-0,490805768	-0,102286315	-0,19980059	-0,174545325	-0,455416473	-0,167150895	0,009473026	
<i>Abweichung vom Durchschnitt O</i>	1,00906786	0,707109866	0,141898848	-0,826870104	-0,503553474	-0,295584277	-0,12586245	-0,282872829	-0,040368528	0,217035088	
<i>Abweichung vom Durchschnitt S</i>	0,929261213	0,679857401	0,517443927	-0,728920485	-0,277147676	-0,369858862	-0,32812861	-0,020558457	-0,476206003	0,074257553	
<i>Abweichung vom Durchschnitt W</i>	0,785336203	0,911021371	0,596285423	-0,352939811	-0,497945635	-0,484753563	-0,495472811	-0,333916223	-0,075658747	-0,051956209	
<i>Abweichung vom Durchschnitt N</i>	0,798054883	0,466406044	0,236870342	-0,17779938	-0,449619193	-0,068468847	-0,383464955	0,108338769	-0,432056141	-0,098261522	
<i>Abweichung vom Durchschnitt O</i>	0,898503885	0,55651651	0,324217066	-0,540171047	-0,576974814	-0,094752294	-0,268190243	-0,176220567	-0,217564293	0,094635798	
<i>Abweichung vom Durchschnitt S</i>	1,039468174	0,855605048	0,436532403	-0,517967342	-0,246048105	-0,554594056	-0,261742778	-0,216230917	-0,228309315	-0,306713112	
<i>Abweichung vom Durchschnitt W</i>	1,027624178	0,745732066	0,598688446	-0,209031973	-0,581653153	-0,228405409	-0,521550572	-0,41142001	-0,309911839	-0,110071734	

Abb. 41 Messung der Richtungsabhängigkeit ohne menschlichem Einfluss und Berechnung der Abweichung vom Mittelwert

<i>Richtung</i>	<i>Messung mit Mensch 1</i>	<i>Messung mit Mensch 2</i>	<i>Messung mit Mensch 3</i>	<i>Messung mit Mensch 4</i>	<i>Messung mit Mensch 5</i>	<i>Messung mit Mensch 6</i>	<i>Messung mit Mensch 7</i>	<i>Messung mit Mensch 8</i>	<i>Messung mit Mensch 9</i>	<i>Messung mit Mensch 10</i>	<i>Durchschnitt</i>
	129,562957	129,4759278	129,4759278	129,6320798	129,0906785	128,8508545	129,2321808	129,2092678	129,6994491	129,4255964	129,365492
<i>N</i>	289	289	289	289	289	289	289	289	290	289	289,1
	156,2416211	156,4034627	156,4034627	156,1302853	155,9638648	155,7353289	155,8620296	155,9503627	156,3385943	156,2432348	156,127225
<i>O</i>	293	293	293	293	292	292	292	292	293	293	292,6
	152,838803	152,8564398	152,8564398	153,1448832	152,5702856	152,5177529	152,2892438	152,2972307	153,2110329	153,4266783	152,800879
<i>S</i>	303	303	303	303	303	303	303	303	303	303	303
	124,7778014	124,5928129	124,5928129	124,7236718	124,5390608	124,3757243	124,2942278	124,6610792	125,1692365	125,0904989	124,681693
<i>W</i>	302	302	302	302	302	302	302	302	302	302	302
	130,1282111	130,0219651	130,0219651	130,0586518	129,76233	129,8868141	129,9174151	129,9258325	129,9770907	129,9190476	129,961932
<i>N</i>	290	290	290	289	289	289	289	289	289,9	289	289,39
	156,4276565	156,1300226	156,1300226	156,083271	155,7695047	155,9451958	155,8241475	155,9632627	156,5055382	156,0998968	156,087852
<i>O</i>	293	293	293	293	292	293	292,2	292	293	293	292,72
	153,113455	153,0251716	153,0251716	152,9460189	152,5756634	152,4275954	152,6938247	152,913509	153,6805219	153,5984257	152,999936
<i>S</i>	303	303	303	303	303	303	303	303	303	304	303,1
	124,7246513	125,2704862	125,2704862	124,7966438	124,4988383	124,359635	124,6395892	124,840901	125,3672135	125,636708	124,940515
<i>W</i>	302	302	302	302	302	302	302	302	302	302	302
<i>Abweichung vom Durchschnitt N</i>	-0,19746503	-0,110435818	-0,110435818	-0,26658789	0,27481342	0,514637461	0,133311111	0,156224146	-0,333957175	-0,060104405	
<i>Abweichung vom Durchschnitt O</i>	-0,114396401	-0,276238017	-0,276238017	-0,003060606	0,163359893	0,391895782	0,265195083	0,176861991	-0,211369571	-0,116010136	
<i>Abweichung vom Durchschnitt S</i>	-0,037924021	-0,055560789	-0,055560789	-0,344004217	0,230593381	0,283126105	0,511635224	0,503648249	-0,410153855	-0,62579929	
<i>Abweichung vom Durchschnitt W</i>	-0,096108762	0,088879779	0,088879779	-0,04197915	0,142631797	0,305968354	0,387464871	0,020613402	-0,487543824	-0,408806248	
<i>Abweichung vom Durchschnitt N</i>	-0,166278748	-0,060032798	-0,060032798	-0,096719522	0,19960233	0,07511818	0,044517194	0,036099798	-0,015158372	0,042884736	
<i>Abweichung vom Durchschnitt O</i>	-0,339804702	-0,042170796	-0,042170796	0,004580863	0,318347163	0,142656089	0,263704334	0,124589162	-0,417686334	-0,012044981	
<i>Abweichung vom Durchschnitt S</i>	-0,11351926	-0,025235911	-0,025235911	0,053916802	0,424272284	0,572340344	0,30611101	0,086426764	-0,680586161	-0,598489963	
<i>Abweichung vom Durchschnitt W</i>	0,215863967	-0,329970971	-0,329970971	0,143871507	0,441676962	0,58088022	0,300926017	0,099614257	-0,426698212	-0,696192775	

Abb.42 *Messung der Richtungsabhängigkeit mit menschlichem Einfluss und Berechnung der Abweichung vom Mittelwert*

5.6. Kalibrierung des 3-Achsen-Magnetometers

Grundsätzlich stellt sich die Frage, warum das Messergebnis der Richtungsmessungen derart richtungsabhängig ist. Um dafür eine Erklärung und schlussendlich den Lösungsansatz zu finden wurden im Folgenden weitere Untersuchungen angestellt. Die Hauptvermutung betreffend der Entstehung dieser Differenzen liegt auf der Verschiebung und Verzerrung einer, mehrerer oder schlussendlich aller Achsen des Magnetfeldsensors. Die Messwerte des 3-Achsen Magnetometers sollten bei unverändertem Ursprung und einer jeweiligen Drehung um die drei Achsen im Idealfall eine kugelförmige Ausdehnung besitzen. Ist jedoch unter anderem eine Nullpunktverschiebung einer oder mehrerer Achsen gegeben, nehmen die gemessenen Werte eine elliptische Form an und verzerren somit das Ergebnis. Laut Renaudin [RENAUDIN et al. 2010] können derartige Fehler durch instrumentale Einflüsse wie Biases, Nichtorthogonalität oder dem Skalierungsfaktor entstehen, sowie durch permanente Störeinflüsse (*Soft- und Hardiron Störungen*) hervorgerufen werden. Die folgende Abbildung (Abb.43) zeigt die Idealsituation (*blau eingefärbt*) einer Messreihe in unbeeinflusstem Zustand, sowie die Darstellung (*rot eingefärbt*) einer unkalibrierten Messreihe und die dadurch entstehende Verzerrung bzw. den Offset.

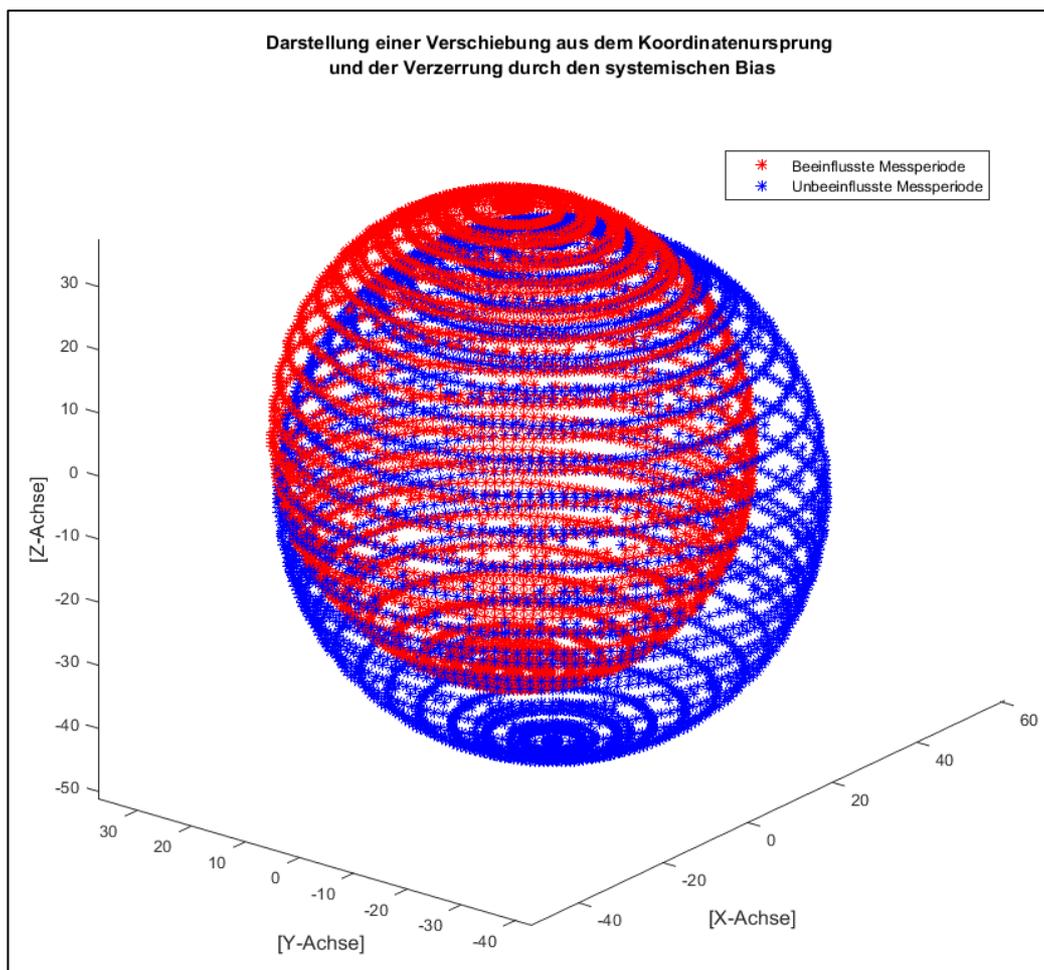


Abb. 43 Darstellung einer optimalen Magnetfeldmessung (blau) mit dem Vergleich zu einer verzerrten (BIAS) und verschobenen (Offset) Aufnahme bei unverändertem Ursprung

Diese oben angeführte Abbildung wurde mit fiktiven Werten aus dem Mittelpunkt gebracht („b“) sowie entsprechend verzerrt („s“). Mit „b“ wird der Offset der Messdaten vom Kugelmittelpunkt

beschrieben. Dieser Vektor gibt an wie groß die Abweichung je Achse des Magnetometers vom Mittelpunkt aus geschätzt ist und wird als Korrekturwert für die Rohdaten verwendet. Die Parameter in S beschreiben die Verzerrung der Messdaten und definieren die Skalierungswerte einer 3×3 Matrix, wodurch in Folge die Relationstreue der Messpunkte wieder hergestellt werden kann. Die folgenden Schätzungsparameter wurden zur Verzerrung der Optimaldaten eingesetzt: [RENAUDIN et al. 2010]

$$b = \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0.2 \\ 0.9 \end{bmatrix}; \quad S = \begin{bmatrix} 0.82477031763669, & 0 & 0 \\ 0 & 0.707960299933373 & 0 \\ 0 & 0 & 0.932677892490032 \end{bmatrix}$$

$$h = \frac{ht}{S} + b$$

(Formel 5.5)

In Anbetracht der vorangegangenen Richtungsmessungen war es notwendig, die Genauigkeit (*bezogen auf die Orthogonalität*) der Achsen des verwendeten Smartphonemagnetometers zu überprüfen. Zu diesem Zweck wurden Kriterien aufgestellt (*Siehe Punkt 5.7*), aus welchen schlussendlich eine sehr effektive Methode entwickelt werden konnte.

5.7. Achsausrichtung des Magnetometers - Kriterien

In erster Linie gilt es bei der Messung des Offsets bzw. Skalierungsfehlers eine Trennung der einzelnen Achsenrichtungen umzusetzen. Dies bedeutet, dass wenn möglich, während der Messung zwei Achsen konstant bleiben. Dieser Splittung der Achsen folgt somit die Notwendigkeit eines einheitlichen und fixierten Mittelpunktes. Erst dadurch wird es möglich, eventuelle Differenzen zwischen den Achsen zu erkennen. Im Weiteren ist es unerlässlich, dass eine Messung reproduzierbar ist, damit sowohl die Lage als auch die Ausrichtung des Messgerätes eindeutig nachvollziehbar wird. Zusätzlich darf ein Messaufbau keine störenden bzw. unregelmäßig beeinträchtigenden Materialien besitzen, welche das Messergebnis verfälschen.

5.7.1. Laufradmessungen

Zu diesem Zweck wurde das Laufrad eines Rennrades zwischen zwei Stühlen fixiert und dafür gesorgt, dass es sich ohne äußerliche Beeinträchtigung bei fixiertem Mittelpunkt drehen lässt. Um in Folge das Samsung Galaxy S4 in dieses System mit einzubinden, war das Befestigen des Gerätes selbst mittels Paketschnur erforderlich. (*Siehe Abb.44*) Diese Fixierung ermöglichte eine Lagetreue in die jeweils entsprechende Bewegungsrichtung. Durch die Notwendigkeit, nach einer abgeschlossenen Messung die Ausrichtung des Smartphones zu ändern, war es jedoch nicht möglich eine entsprechende Qualität der Messvorgänge aufrecht zu erhalten. Die Position einer vorangegangenen Messung auf dem Laufrad konnte weder durch die Abmessung von verschiedenen Winkeln, noch durch diverse Distanzen in Relation zu

markanten Punkten des Laufrades reproduziert werden und erfüllte somit nicht das Kriterium der eindeutigen Nachvollziehbarkeit, wenn gleich bereits aus diesen Messungen eine eindeutige Achsenverschiebung abgeleitet werden konnte.



Abb. 44 Darstellung der Laufradmessung

5.7.2. Paketschnurmessung – Rotation um die eigene Achse

Da es sich bei der Laufradmessung grundsätzlich um eine erste Annäherung an das vorherrschende Problem handelte, drehten sich die nachstehenden Überlegungen hauptsächlich um eine Verfeinerung der Messmethode. Einer der größten Kritikpunkte der Laufradmessungen betraf die mangelnde Reproduzierbarkeit. Auch die Differenz von **33 cm** zwischen Laufradmittelpunkt (**Laufradnabe**) und Smartphone (**Befestigung auf Höhe des Reifen/Mantel**) war nicht akzeptabel. Da sich die entstehenden Fliehkräfte negativ auf die Genauigkeit des Magnetfeldsensors auswirken können und in dieser Form bei Nutzung des Endproduktes auch nicht auftreten werden, wurde eine Weiterentwicklung der Untersuchungsmethode angestrebt.

Daher wurde die Überlegung getätigt, das betreffende Smartphone mit einer Paketschnur zu fixieren, sodass vom Mittelpunkt des Handhelds für jede Achsrichtung des Magnetometers eine Fixierung vorgenommen werden konnte. (**Siehe Abb.45**) Die folgenden Abbildungen zeigen alle für die Untersuchung notwendigen Befestigungsmöglichkeiten. Dabei wurde während der Messvorgänge bei der Befestigung des Smartphones ein besonderes Augenmerk auf die Winkel und Distanzen gelegt, welche für die Genauigkeit des Messerfolges ausschlaggebend waren. (**Siehe Abb.46**)

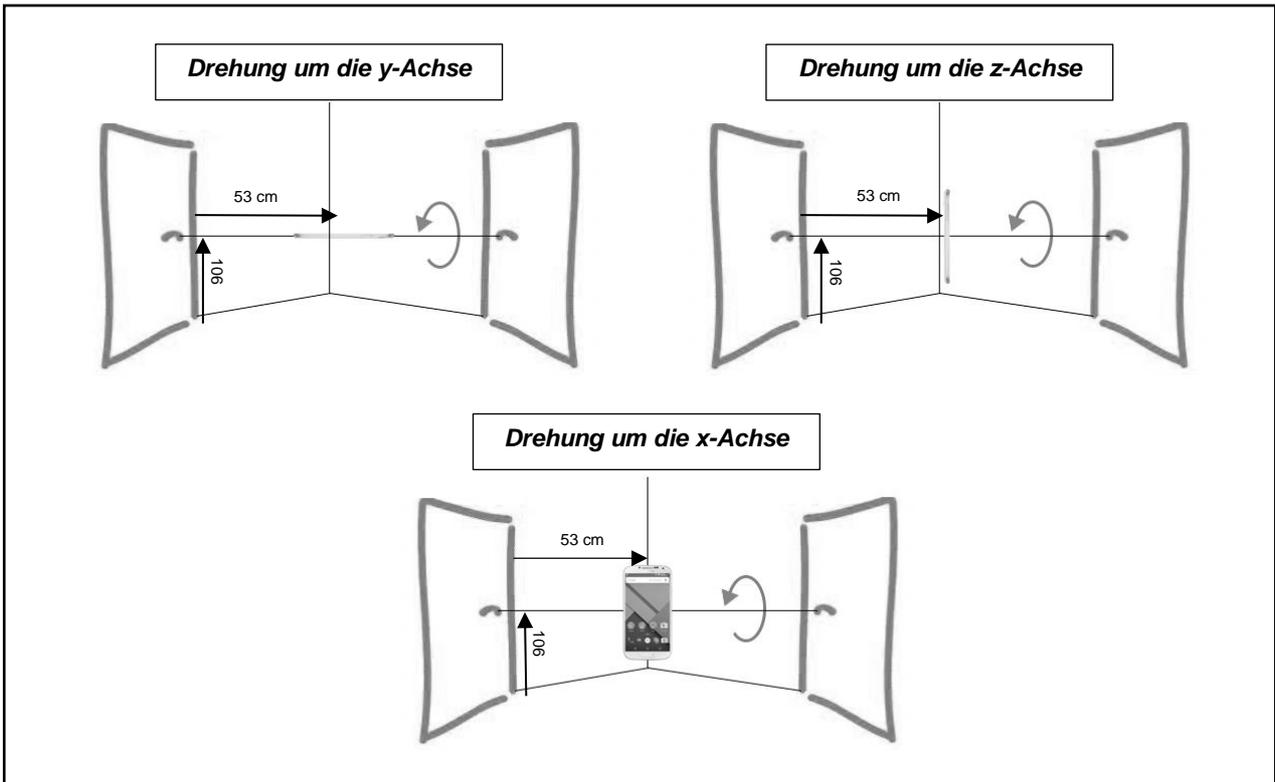


Abb. 45 Schematisch dargestellter Messaufbau mit entsprechenden Abmessungen

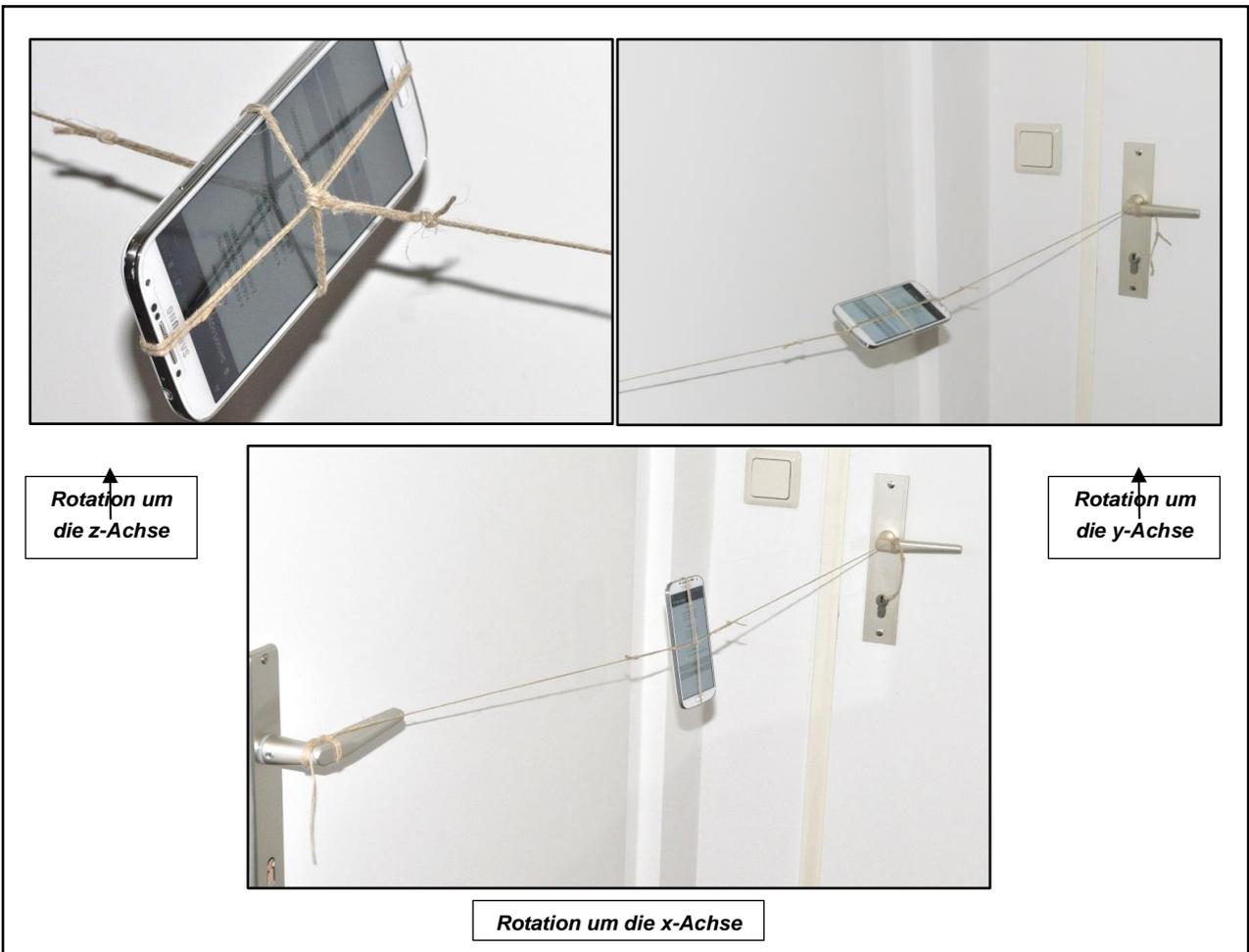


Abb. 46 Erstellung der Befestigungsmethoden des Messaufbaues der Paketschnurmessungen

Die folgende Abbildung (*Siehe Abb.47*) zeigt das Ergebnis einer unkalibrierten Messung und liefert somit den Beweis, dass die Achsen des Smartphone–Magnetometers einen Offset aufweisen. Die Verzerrung hält sich dahingegen, wie bereits optisch erkennbar, innerhalb eines überschaubaren Rahmens. Um die erhaltenen Daten genauer zu analysieren, wurde eine Parameterschätzung durchgeführt, mit welcher eine sehr genaue Annäherung an die tatsächliche Abweichung, bezogen auf den Offset und die Verzerrung, durchgeführt werden konnte.

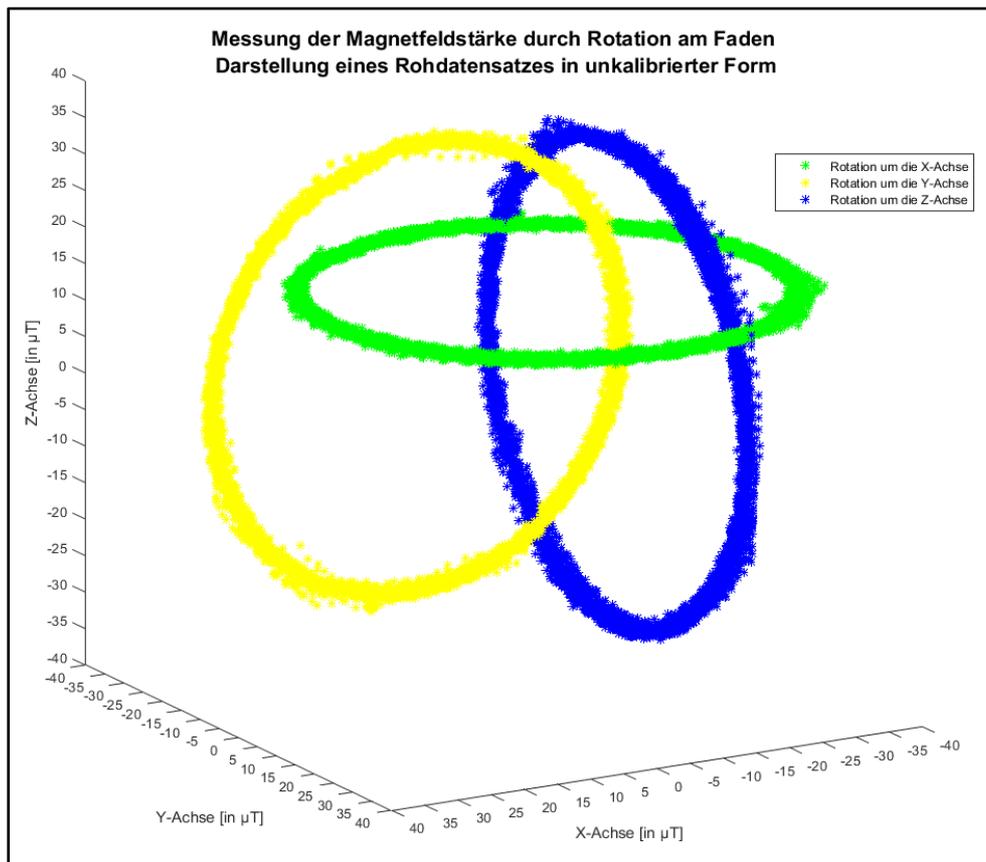


Abb. 47 Darstellung einer unkalibrierten Messung (Rotation mit Faden)

5.7.3. Messung mit Drehtisch

Der letzte und schlussendlich nochmals verfeinerte Versuch, eine Rotation um die eigenen Achsen ohne Mittelpunktverschiebung umzusetzen, wurde durch die Verwendung eines Drehtisches realisiert. Im Vergleich zur Rotationsmessung mit einem Faden musste für diese Messungen eine Smartphonehalterung angefertigt werden. Dabei galt es ein Material zu finden, welches keine oder nur minimale Störeinflüsse in das System mit einbringt. Durch die Verwendung von Styropor, welches weder metallisch ist, noch in irgendeiner Form als Wasser- bzw. Feuchtigkeitsspeicher fungieren kann, keine elektrischen Leitfähigkeiten besitzt und somit auch keinen messbaren Störeinfluss darstellt, konnte eine störungsfreie Messung der Magnetfeldstärke durchgeführt werden. (*Siehe Abb.53*) Des Weiteren ist es im Vergleich zu einer Messung mit Faden nicht notwendig, nach dem Einmessen und Befestigen der Halterung am

Drehtisch, die Smartphoneposition erneut auszumessen. Somit erwies sich dieser Messaufbau als äußerst präzise und schnell umsetzbar.

Im Folgenden (**Abb.50**) wurde das Ergebnis einer Drehtischmessung graphisch dargestellt und zeigt, dass diese Methode kaum Verzerrungen aufweist. Durch die Erkenntnis, dass die Weiterentwicklung der Messmethode und die dadurch steigende Präzision des Messaufbaues ein Abnehmen der bisher gemessenen Verzerrungen bewirkt und sich die Skalierungsparameter nur mehr im Tausendstelbereich vom Optimalzustand einer Kugel unterscheiden, lässt die Bedeutung der geschätzten Offsetparameter um ein Vielfaches steigen. Im engeren Sinne drängt sich sogar die Überlegung auf, die Skalierungsparameter nicht mehr als Korrekturdaten zu verwenden.

In den folgenden Abbildungen (**Abb.48/49/50**) kann beobachtet werden, wie positiv sich die Verfeinerung der Messmethode auf das Ergebnis auswirkt. Durch die steigende Präzision wird zwar nicht die Abweichung an sich eliminiert, jedoch gelang es dadurch, eine wesentlich genauere Annäherung an die tatsächlichen Korrekturdaten zu erreichen.

Bei genauerer Betrachtung von **Abb.48** ist zu erkennen, dass im Verhältnis zu **Abb.49** u. **50** die Dichte der Messpunkte geringer ist. Dies resultiert jedoch nicht aus einer kürzeren Messdauer, sondern aus dem durch die Laufradgröße entsprechend längeren Radius. Die fehlende Dichte bedeutet gleichzeitig den Verlust von Präzision. Zusätzlich lassen sich in der x- und y-Achse Bahnabweichungen durch die mangelnden Befestigungsmöglichkeiten erkennen. In Summe kann daher von keiner optimalen Ausgangsposition für eine Parameterschätzung gesprochen werden. (**Siehe Abb.49**)

Dahingegen war die Messung unter Verwendung einer Schnur wesentlich erfolgreicher. Die Rotation um die einzelnen Achsen konnte ohne gröbere Bahnabweichungen durchgeführt werden. Zusätzlich erhöhte sich die Dichte der Messpunkte durch den geringeren Abstand des Sensors zur Rotationsachse. Lediglich ein durch den Messaufbau künstlich erzeugter Offset ließ sich nicht vermeiden. Dies resultierte aus der Notwendigkeit des Abbauens vom Messstand bei jedem Auslesen der Daten, wodurch sich beim Neuaufbau unweigerlich kleine Ungenauigkeiten betreffend der Smartphonepositionierung ergeben haben.

Finalisierend wurden weitere Rotationsmessungen über den bereits beschriebenen Drehtisch angestellt. Wie in **Abb.50** ersichtlich, konnten der Offset und die Verzerrung durch die Weiterentwicklung der bisherigen Messmethoden reduziert werden.

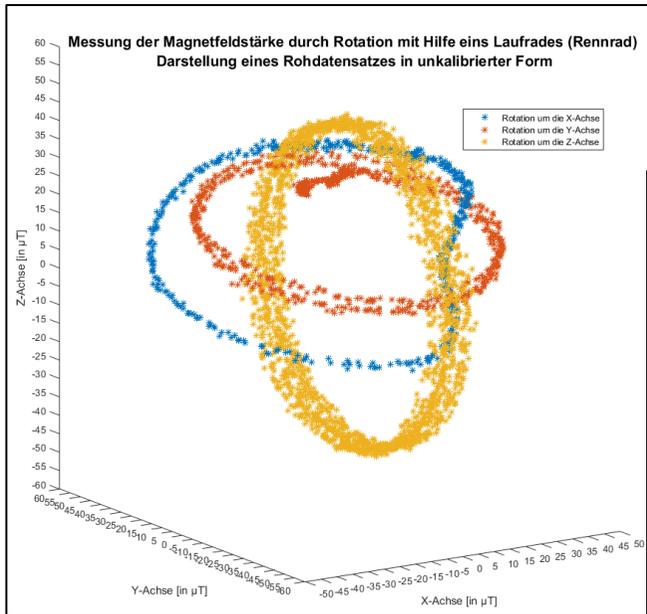


Abb. 48 Ergebnis einer Magnetfeldmessung mit dem Laufrad

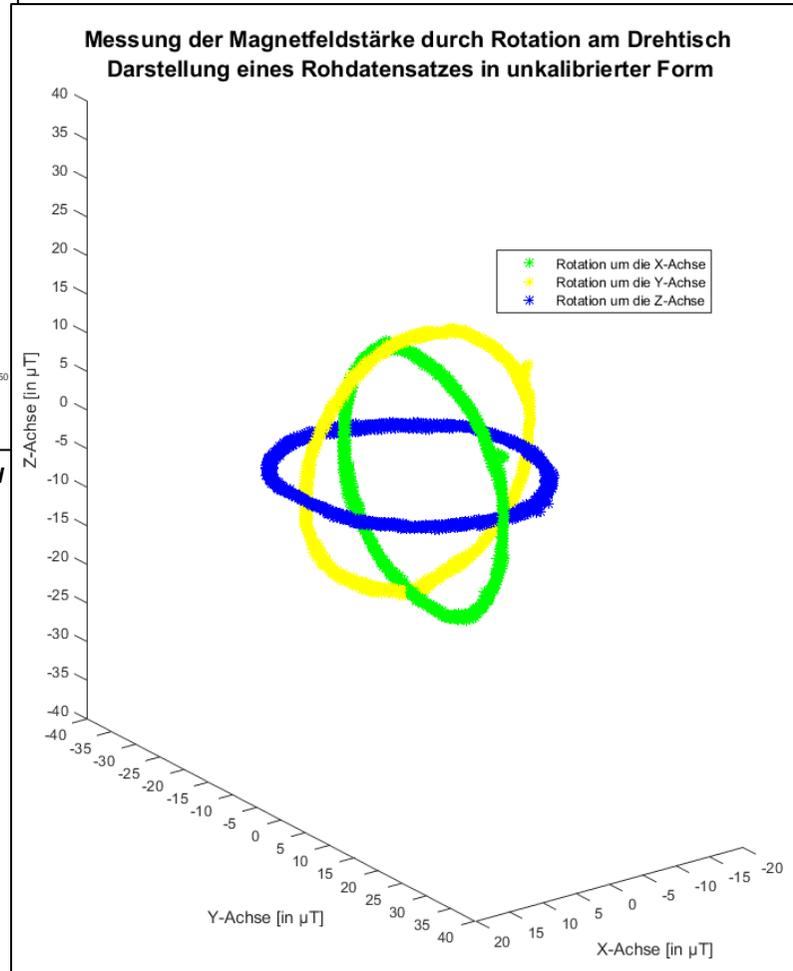


Abb. 50 Ergebnis einer Magnetfeldmessung am Messtisch

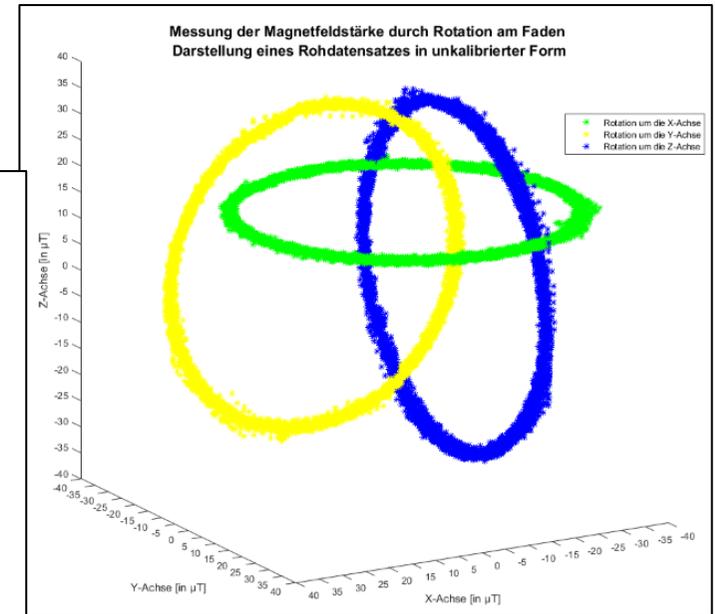


Abb. 49 Ergebnis einer Magnetfeldmessung durch die Rotation an einem Faden

Zur Verifizierung der einzelnen Methoden wurde für jeden Messaufbau eine Parameterschätzung durchgeführt. Dadurch bestätigte sich die, aus den visuellen Ergebnissen bereits abgeleitete Annahme, dass sich die Genauigkeit der Messung direkt auf das Ergebnis der Schätzung auswirkt

5.7.4. Parameterschätzung für die Kalibrierung des Smartphone-Magnetometers

Um das Smartphone-Magnetometer zu kalibrieren, muss vorab die Ausgangssituation ermittelt werden. Dazu wurde das Smartphone während der Messung um seine eigenen Achsen gedreht. Wie bereits erwähnt, ist in Messsystemen mit Abweichungen zu rechnen, welche sich im Falle einer Magnetometermessung aus verschiedenen Ursachen wie Offset, Instrumentenfehler oder magnetischen Deviationswinkel (*Störeinfluss durch die Smartphonehardware*) zusammensetzen. Diese Fehler können laut [RENAUDIN et. al. 2010] mit der im Folgenden dargestellten Formel (5.6) gemeinsam modelliert werden:

$$ht = S(h - b)$$

(Formel 5.6)

Die Rohdaten einer Messung werden durch den Vektor $h(x,y,z)$ definiert. Durch b wird der konstante Offset für die Achsmittelpunkte beschrieben, S definiert eine 3×3 Skalierungsmatrix und ht die schlussendlich kalibrierten Magnetometermessungen. Um ein Magnetometer zu kalibrieren, müssen insgesamt 12 Parameter (9 Parameter in S und 3 Parameter in b) bestimmt werden.

Da die kalibrierten Werte einer Messung schlussendlich auf der Oberfläche einer Kugel liegen sollen, kann der funktionale Zusammenhang mit der Kugelgleichung:

$$\psi = ht_x^2 + ht_y^2 + ht_z^2 - r^2 = 0$$

(Formel 5.7)

hergestellt werden. Durch die fehlende Linearität dieses funktionalen Modelles können für die Parameter Näherungswerte angenommen werden, durch welche über das Einsetzen in Formel 5.7 ein Widerspruchs-Vektor ω berechnet wird. Dies ist möglich, da ψ im Falle von praktischen Messungen nicht eindeutig 0 ergibt.

Der differenzielle Beobachtungsvektor dl kann über die Einführung von Pseudobeobachtungen berechnet werden. (Siehe Formel 5.8)

$$dl = l_{gem} - l_{ber}$$

(Formel 5.8)

Dabei wird das arithmetische Mittel der Länge aller erhobenen Magnetfeldvektoren (l_{ber}) von der Länge des aktuell erhobenen Magnetfeldvektors (l_{gem}) subtrahiert. Die Differenz wird als dl (differenzieller Beobachtungsvektor) gespeichert.

Nach dieser Berechnung kann mit dem Parameterausgleich begonnen werden. Dafür werden üblicher Weise die Formeln der Ausgleichsrechnung verwendet:

$$dxt = (A^T A)^{-1} A^T dl$$

$$xt = x + dxt$$

(Formel 5.9)

Dabei ist x der Vektor mit allen Näherungswerten. Die Designmatrix A setzt sich wie folgt zusammen: (Siehe auch Formel 5.10 - 5.22)

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial \psi^1}{\partial b_x} & \frac{\partial \psi^1}{\partial b_y} & \frac{\partial \psi^1}{\partial b_z} & \frac{\partial \psi^1}{\partial S_{11}} & \frac{\partial \psi^1}{\partial S_{12}} & \cdots & \frac{\partial \psi^1}{\partial S_{32}} & \frac{\partial \psi^1}{\partial S_{33}} & \frac{\partial \psi^1}{\partial r} \\ \frac{\partial \psi^2}{\partial b_x} & \frac{\partial \psi^2}{\partial b_y} & \frac{\partial \psi^2}{\partial b_z} & \frac{\partial \psi^2}{\partial S_{11}} & \frac{\partial \psi^2}{\partial S_{12}} & \cdots & \frac{\partial \psi^2}{\partial S_{32}} & \frac{\partial \psi^2}{\partial S_{33}} & \frac{\partial \psi^2}{\partial r} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \end{pmatrix}$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial b_x} = -2S_{11}ht_x - 2S_{21}ht_y - 2S_{31}ht_z \quad (\text{Formel 5.10})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial b_y} = -2S_{12}ht_x - 2S_{22}ht_y - 2S_{32}ht_z \quad (\text{Formel 5.11})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial b_z} = -2S_{13}ht_x - 2S_{23}ht_y - 2S_{33}ht_z \quad (\text{Formel 5.12})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{11}} = 2ht_x(ht_x - b_x) \quad (\text{Formel 5.13})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{12}} = 2ht_x(ht_y - b_y) \quad (\text{Formel 5.14})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{13}} = 2ht_x(ht_z - b_z) \quad (\text{Formel 5.15})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{21}} = 2ht_y(ht_x - b_x) \quad (\text{Formel 5.16})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{22}} = 2ht_y(ht_y - b_y) \quad (\text{Formel 5.17})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{23}} = 2ht_y(ht_z - b_z) \quad (\text{Formel 5.18})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{31}} = 2ht_z(ht_x - b_x) \quad (\text{Formel 5.19})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{32}} = 2ht_z(ht_y - b_y) \quad (\text{Formel 5.20})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial S_{33}} = 2ht_z(ht_z - b_z) \quad (\text{Formel 5.21})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial r} = -2r \quad (\text{Formel 5.22})$$

Sie stellt schlussendlich die Grundlage für die in Formel 5.9 beschriebene Ausgleichsrechnung dar. Die weitere Berechnung findet iterativ mit Hilfe eines Ausgleichs nach Parametern statt.

Dieses Modell kann in Folge auch vereinfacht durchgeführt werden, indem die Nebendiagonalelemente der Matrix S nicht berücksichtigt werden. Eine weitere Überlegung in diese Richtung wäre der komplette Verzicht auf die Skalierungsmatrix bei der Kalibrierung, da der berechnete Offset meist einen wesentlich größeren Einfluss auf das Endergebnis hat. Die im Folgenden dargestellten Abbildungen in **Abb.51** zeigen den Rohdatensatz einer Rotationsmessung am Faden, sowie das in Folge vollständig kalibrierte Ergebnis.

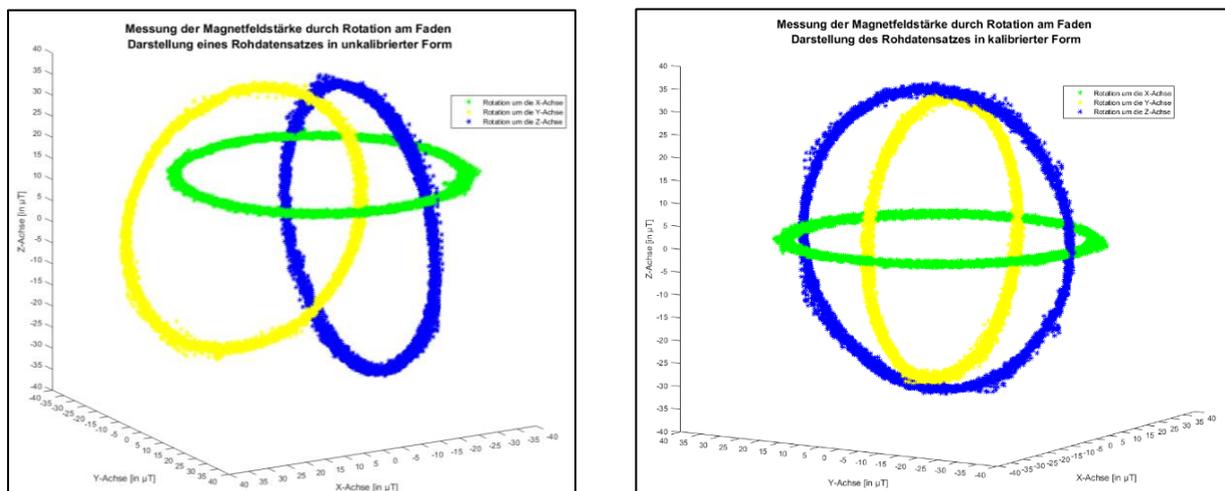


Abb. 51 Darstellung einer unkalibrierten Magnetfeldmessung durch die Rotation an einem Faden sowie einer kalibrierten Messung nach Durchführung einer Parameterschätzung

Da am Messgerät selbst (**Samsung Galaxy S4**) keine Veränderungen vorgenommen wurden, kann davon ausgegangen werden, dass alle Verbesserungen auf die Kalibrierung zurückzuführen sind. Die Methoden wurden nach jedem Durchlauf analysiert und entsprechend der gegebenen Möglichkeiten verbessert. Im engeren Sinne bedeutet dies, dass eine Methode so lange optimiert und wiederholt wurde, bis sich kein genaueres Ergebnis mehr herbeiführen ließ. Ab diesem Zeitpunkt war es möglich, die tatsächlichen Schätzungsparameter zu erheben. Die Analyse der einzelnen Messmethoden wird im Folgenden diskutiert. (**Siehe Punkt 5.8**)

5.8. Analyse der Messmethoden anhand des Ergebnisses der Parameterschätzung

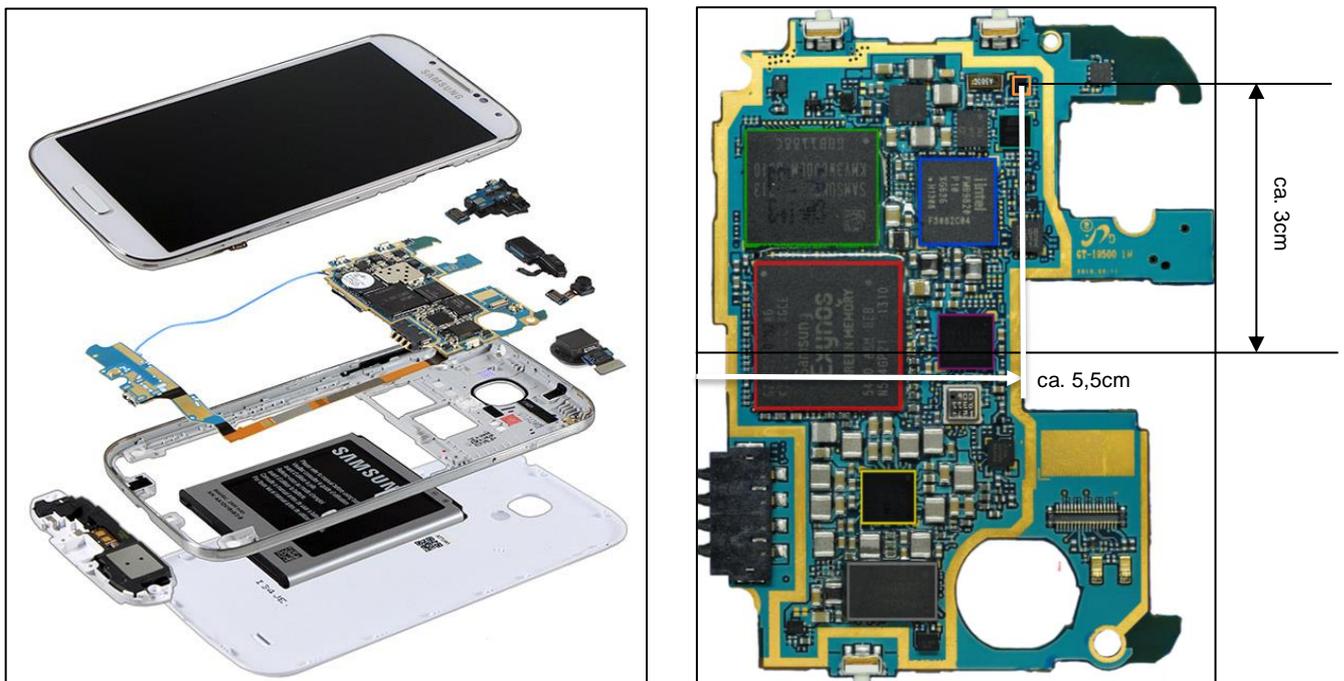
5.8.1. Analyse Laufradmessung

Das Hauptkriterium bei der Laufradmessung war die Befestigungsmethode, welche anfänglich mit einer Paketschnürung (**Siehe Abb.44**) durchgeführt und schlussendlich zu einer Art Flechtung als Befestigungselement adaptiert wurde. **Tabelle 16** zeigt die Anfangsmessung und Ausschnitte der Folgemessungen. Finalisierend konnte festgestellt werden, dass nicht ausschließlich die Distanz bzw. der Bewegungsradius für die Genauigkeit der Messung verantwortlich sind, sondern die Stabilität der Bewegung durch die Befestigungsmethode die größte Rolle spielte. Je präziser sich das Messgerät auf einer kreisrunden Bahn um eine Achsrichtung bewegen lässt, desto genauer kann die Abweichung vom Optimum bestimmt werden. Somit wurde mit Zunahme der Befestigungsqualität eine Verbesserung der Genauigkeit von bis zu 21% (**Vergleiche Tab.16 - S11 = Ausgangsmessung und Endmessung der**

Lauf radmessung) erreicht. Der größte Kritikpunkt dieser Methode betrifft die Befestigungsart des Messgerätes, welche nur mit hohem Aufwand realisierbar ist und dadurch pro Messdurchgang in etwa **20 min** beansprucht.

5.8.2. Analyse Fadenmessung

Die Befestigung des Smartphones an einer Paketschnur zwischen zwei Türen ermöglichte eine komplette Reduktion des Rotationsradius im Vergleich zur Lauf radmessung. Durch diese Methode entfällt der zusätzliche Abstand zwischen Radnabe und Messgerät. Lediglich der Abstand zwischen dem Smartphone-Mittelpunkt und dem Einbauort des Magnetfeldsensors bleibt. (Siehe Abb.52)



●	Samsung Exynos 5410 (Exynos Octa Eight-Core processor)
●	Samsung K3QF2F200C-XGCE (2GB LP DDR3)
●	Intel PMB9820 (X-Gold 636 Baseband Processor)
●	Samsung KMV3W000LM-B310 (Multiclip Memory – 64 MB Mobile DDR SDRAM, 16GB MLC NAND Flash-Controller)
●	Samsung S2MPS11 (Powermanagement IC)
●	Wolfson Micro WM5102E (Audio Hub Codec with Voice Processor DSP)
●	Atmel UC128L5-U (32 bit Microcontroller with 128KB Flash (custom package))
●	Broadcom BCM4335 (Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, dual-band, DLNA, Wi-Fi Direkct, Wi-Fi hotspot)
●	YAMAHA YAS532 (Tri-Axial Geomagnetic Sensor, $\pm 1200\mu T$, sensitivity (X, Y) $0.15\mu T$, sensitivity (Z) $0.25\mu T$)

Abb. 52 Darstellung der Sensorpositionen mit Vermessung des Hardware-Offsets
Arbeitsgrundlage: <http://www.techinsights.com>

Für den Anwender ist es von außen nicht ersichtlich, wo bzw. in welchem Abstand der Magnetfeldsensor des Smartphones zu dessen Mitte steht. Deshalb wird in der Regel das Smartphone vom User um den Mittelpunkt der Außenhülle bewegt und nicht um die Mitte des Sensors. Somit wurden von dieser Methode sehr aussagekräftige Ergebnisse erwartet, da diese die natürliche Bewegung des Anwenders simuliert. Das korrekte Vermessen des Messaufbaues und dessen notwendiger Abbau beim Ändern der Achsrichtung erforderte einen hohen Zeitaufwand (*10 min je Rotationsachse*), bezogen auf die korrekte Befestigung des Smartphones. Doch nicht nur der Zeitaufwand spielte bei dieser Messmethode eine große Rolle, sondern auch die als einmalig anzusehende Befestigungsmöglichkeit zwischen den zwei Türen in einem störungsfreien Raum. Durch diese individuelle Gegebenheit sind zukünftige Rekonstruktionen nahezu unmöglich. Schlussendlich konnte im Laufe der Messreihen auch bei dieser Messmethode durch die fortlaufende Verbesserung der Befestigungselemente eine Optimierung von bis zu **5%** (*Siehe Tab.16 S11 Erst-/Endmessung Rotation Schnur*) erreicht werden. Dies äußerte sich durch einen geringfügigen aber nachweisbaren Gewinn an Genauigkeit gegenüber den Messungen mit dem Laufrad.

5.8.3. Analyse Messtisch

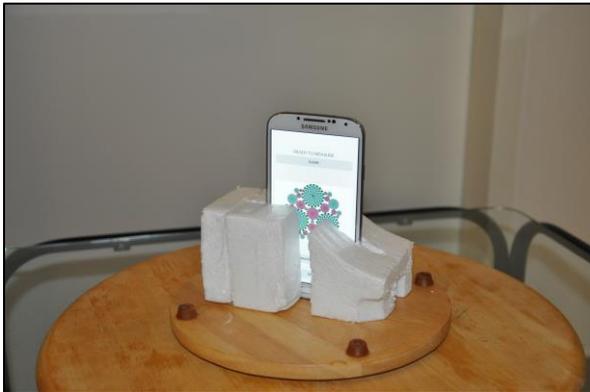
Eine wesentliche Problematik, bezogen auf die vorangegangenen Messmethoden, betrifft den Zeitaufwand, welcher für das erneute Positionieren des Smartphones, verwendet als Messgerät, benötigt wurde. Durch den Einsatz eines Messtisches, welcher aus einem umfunktionierten Drehteller gefertigt wurde, war es möglich, die Vorbereitungsphase auf ein einmaliges Einmessen der Smartphoneposition zu reduzieren. Das Anfertigen einer passgenauen Halterung für das jeweilige Messgerät minimierte im weiteren Verlauf die bisher nicht kontrollierbaren Bewegungsschwingungen der vorangegangenen Messmethoden. (*Siehe Abb.53*) Somit konnte mit der Messtischmethode eine Genauigkeit im Tausendstelbereich (*Siehe Tab.16 S11 Erst-/Endmessung*) erzielt werden, wodurch zusätzlich der Beweis erbracht wurde, dass die Skalierungsparameter im Vergleich zu den Korrekturwerten des Offsets nur wenig Einfluss auf die Berechnung der Kalibrierungswerte haben.

5.8.4. Conclusio Methoden

Abschließend stellt sich die Frage, welche der angewandten Methoden nun die besten Ergebnisse liefert. Sowohl mit der Laufrad- als auch mit der Paketschnurmessung konnten annähernd die gleichen Parameter geschätzt werden. Betrachtet man die Schätzungsparameter der beiden Hauptdiagonalen (*Siehe Tab. 17 – Schätzungsparameter S11 / S22 / S33*) so ist eindeutig ersichtlich, dass diese sich kaum von einander unterscheiden. In diesem Fall unterscheiden sich die beschriebenen Methoden ausschließlich durch die leichtere Umsetzbarkeit, welche auf Grund der Einsatzmöglichkeit und Mobilität zu Gunsten der Laufradmessung ausfällt. Durch ihre flexible und ortsungebundene Anwendungsmöglichkeit bietet diese Methode die einfachere Form der Verwendung. Durch den Entschluss, einen Messversuch mittels Drehtisch zu starten, wurden zusätzlich zu den bereits in Punkt 5.7 beschriebenen Kriterien eine Schwingungsdämpfung, die Verkürzung der Aufbauzeit und ein

hoher Grad an Mobilität realisiert. Somit stieg die Qualität der Messungen, welche sich positiv auf die Schätzungsparameter auswirkte. Dieser Genauigkeitsgewinn erbrachte den Beweis, dass der Smartphonesensor nur minimale Verzerrungen aufweist. In Anbetracht dessen, stieg die Relevanz der Offsetparameter, da sich die Hauptdiagonale in S nur noch im Hundertstelbereich von der Einheitsmatrix unterschied. (*Siehe Messaufbau Abb.53*)

Rotation um die y-Achse



Rotation um die x-Achse



Rotation um die z-Achse

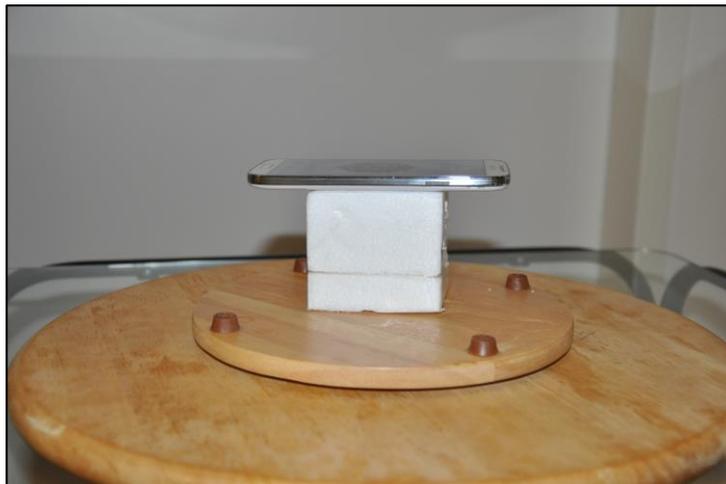


Abb. 53 Darstellung einer Messreihe am Messtisch je Achsrichtung

5.9. Ergebnis / Schätzungsparameter

Wie bereits erwähnt, stellt **Tabelle 16** einen Ausschnitt der bisher getätigten Kalibrierungsmessungen in Form der erhaltenen Schätzungsparameter dar. Aus diesen kann die Genauigkeit des Magnetfeldsensors abgelesen werden. Nachdem sich die Schätzungsparameter durch das Steigern der Messgenauigkeit in Richtung **1** (**1 = Optimalzustand**) verschoben haben und davon ausgegangen werden kann, dass der Offset sowie die Verzerrung der Daten konstant bleiben, verifiziert der ermittelte Unterschied zwischen den Messmethoden die Methoden selbst. Da die Verzerrung nach der Erhebung mit dem Messtisch nur noch im Hundertstelbereich nachweisbar ist, kann davon ausgegangen

werden, dass der Offset gegenüber der Verzerrung einen wesentlich höheren Einfluss auf das Messergebnis hat.

Tab. 16 Ausschnitt der Daten nach den verschiedenen Messmethoden – Darstellung des Unterschiedes zwischen Erst- und Endmessung nach Steigerung der Präzision

Parameter	Geschätzte Kalibrierungsparameter Laufradmessung (Ausgangs-/Erstmessung)	Geschätzte Kalibrierungsparameter Fadenmessung (Ausgangs-/Erstmessung)	Geschätzte Kalibrierungsparameter Drehtisch (Ausgangs-/Erstmessung)
<i>bx</i>	-1.40055585197557	0.729599630295004	-0.237002010357125
<i>by</i>	-1.42344471153074	-0.73352199149513	-2.15317126463739
<i>bz</i>	-1.46681920842276	0.450642691506452	0.36123066545281
<i>S11</i>	0.777487996084725	0.950641752452415	1.0191570111853
<i>S12</i>	-0.197226110684745	0.0432475279161181	0.0303478414042365
<i>S13</i>	-0.0839390802852738	0.0597829536530685	0.00730457616152138
<i>S22</i>	0.982903354708631	1.04262249851513	1.00674015262513
<i>S23</i>	0.0181823393638709	0.0121693965522645	0.0146955309746185
<i>S33</i>	1.07094163980477	0.98455332734553	1.02731846407012
	<i>Folgemessung</i>	<i>Folgemessung</i>	<i>Folgemessung</i>
<i>bx</i>	-0.19900344779636	-2.5224528597215	-1.30780621989035
<i>by</i>	0.157717546720732	1.68053102114547	0.764334164446344
<i>bz</i>	-2.92350394949572	4.68594464650048	-1.0035632589769
<i>S11</i>	0.831774969610421	1.02107040170293	1.01545539044844
<i>S12</i>	-0.118797827469974	0.0464210249254825	0.0272699584070418
<i>S13</i>	0.0426160384837818	0.144389317951294	0.0172802845578753
<i>S22</i>	0.996103760296865	1.00936179403008	1.00098973323531
<i>S23</i>	-0.132777526315912	-0.0860621770457449	0.018989270461446
<i>S33</i>	1.04253513905193	0.942370648385774	1.0234229113856
	<i>Endmessung</i>	<i>Endmessung</i>	<i>Endmessung</i>
<i>bx</i>	0.453367397206503	-2.7845917753084	-0.215260799589572
<i>by</i>	0.151455065563064	-1.12481736138558	1.43602439974959
<i>bz</i>	0.259597722699889	-1.04771478160834	-1.78942933764378
<i>S11</i>	0.986562062764337	0.997559492976856	1.0177785463944
<i>S12</i>	-0.0152722538778009	0.110458959117443	0.0115643928430309
<i>S13</i>	-0.0365058745542508	0.11505157706611	0.0258399933574282
<i>S22</i>	0.992868842393232	1.03097062232484	0.999497941714965
<i>S23</i>	-0.019595526401937	0.0278456144054409	0.0117154186623873
<i>S33</i>	1.00966519568721	1.03887824259167	1.00201029715399

5.9.1. Gegenüberstellung der Kalibrierungsmöglichkeiten durch den Einsatz der berechneten Parameter

Nach dem Berechnen der Offsetparameter- (*bx, by, bz*) und allen Parametern der Skalierungsmatrix (*S₁₁ – S₃₃*) wurde das Ergebnis (*Siehe Tab. 16*) dazu herangezogen, um erneute Rotationsmessungen auf dem Tisch (*Siehe Abb. 39*) zu tätigen. Dabei wurde das Smartphone mit der sich im Ruhemodus befindlichen Applikation *LoggingPoints* auf die ausgemessene Startposition gelegt und gestartet. Durch eine jeweils fünfsekündige Messintervallunterbrechung ergab sich die Möglichkeit, die Position des Smartphones nach der Berechnung der Länge des Magnetfeldvektors entsprechend der vordefinierten Markierungen zu ändern und auszurichten. Insgesamt wurden fünf unterschiedliche Messvarianten zu je 6 Messungen aufgenommen.

5.9.2.Variante 1

Für die Anfangsmessung wurden die Messdaten direkt vom Sensor in unverändertem Zustand übernommen. Hierbei musste darauf geachtet werden, dass die Richtungswerte erst nach dem achtzigsten Messausschlag des Magnetfeldsensors aufgenommen wurden, da die Erfahrungen aus den Messungen für das Sensorrauschen zeigten, dass der Sensor in der Startphase bis zu **80** Messausschläge benötigt um lückenlose (*ohne NaN*) Ergebnisse zu liefern. Diese Messung diente als Einstiegs- bzw. Referenzmessung für im Nachhinein getätigte Aufzeichnungen. Als Ergebnis wurde die Länge des Magnetfeldvektors angeführt. (*Siehe Tab.18*)

5.9.3.Variante 2

Die Sensordaten dieser Variante wurden jeweils durch die berechnete Diagonale der Skalierungsmatrix beeinflusst. Dadurch wurden die Verzerrungen der einzelnen Achsen zumindest grob entfernt. Auf den Offset wurde in dieser Untersuchung keine Rücksicht genommen. Das Ergebnis zeigt eine eindeutige Verbesserung der Richtungsabhängigkeit. Die maximale Differenz zwischen zwei Richtungen betrug ca. **1,2 μ T**. (*Siehe Tab.18*)

5.9.4.Variante 3

In diesem Versuch wurde der unter anderem angesprochene Offset beseitigt. Dadurch ergab sich ein erneuter Qualitätsgewinn gegenüber der bisherigen Messmethoden, welcher sich in den vorangegangenen Untersuchungen bereits abzeichnete. Im Vergleich zu den Messungen in Variante 2 war jedoch keine eindeutige Verbesserung erkennbar. Mit Abweichungen von **0,3 μ T** bis **1,4 μ T** konnte keine Verbesserung gegenüber einer Kalibrierung mit der Skalierungsmatrix erkannt werden. (*Siehe Tab.18*)

5.9.5.Variante 4

In Variante 4 wurden die Offsetparameter und die Diagonale der Skalierungsmatrix zur Kalibrierung des Smartphones eingesetzt. Betrachtet man das Ergebnis so fällt auf, dass sich zwar die Differenz zwischen dem Minimal- und Maximalmesswert mit bis zu **1,2 μ T**, nicht von den anderen Varianten unterscheidet, sich jedoch drei der vier aufgenommenen Richtungen innerhalb von ca. **0,2 μ T** befinden. Dieser Versuch bringt daher eine enorme Verbesserung des Messergebnisses, durch welches der User schlussendlich richtungsunabhängig seine Position über die Magnetfeldstärke bestimmen kann. (*Siehe Tab17*)

5.9.6.Variante 5

Mit dem Einsatz der Offsetparameter und allen Parametern der Skalierungsmatrix konnte schlussendlich keine Verbesserung gegenüber den bisher verwendeten Varianten (Variante 4) erzielt werden. Mit Abweichungen von bis zu **2,7 μ T** wurde keine der vorangegangenen Methoden betreffend der Genauigkeit überboten. (*Siehe Tab17*)

Tab. 17 Rotationsmessung am Tisch - Darstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Varianten einer Messserie

<i>Richtung</i>	<i>Variante 1: Unkalibriert (Ergebnis in μT)</i>	<i>Variante 2: Kalibriert durch Diagonale der Skalierungsmatrix (Ergebnis in μT)</i>	<i>Variante 3: Kalibriert durch Offsetparameter (Ergebnis in μT)</i>	<i>Variante 4: Kalibriert durch Offsetparameter und Diagonale der Skalierungsmatrix (Ergebnis in μT)</i>	<i>Variante 5: Kalibriert durch Offsetparameter und Skalierungsmatrix (Ergebnis in μT)</i>
<i>Nord</i>	44.85578783	44.78736685	43.28303503	43.00591144	43.321868
<i>Ost</i>	70.44512238	45.16155373	42.91839719	42.53368022	41.18510951
<i>Süd</i>	66.29627297	45.98561476	42.81718886	42.3203843	41.23814006
<i>West</i>	49.01336825	44.80182709	42.3168305	41.90261046	42.21740763
<i>Nord</i>	44.74136749	44.53463276	43.33861489	42.84651909	43.48273443
<i>Ost</i>	71.89861593	44.50656282	42.33531627	42.25869692	40.89984767
<i>Süd</i>	66.173366	45.57478046	42.55607654	42.01164677	40.82874473
<i>West</i>	50.9664292	44.66334321	42.0014858	41.66208362	41.62848666
<i>Nord</i>	44.48436302	44.61687659	43.29158417	42.60357112	43.06388804
<i>Ost</i>	70.52297348	44.26583825	42.26716969	41.89182573	40.74937948
<i>Süd</i>	66.01441792	45.42519483	42.25153722	41.70418103	40.8483977
<i>West</i>	49.5633092	44.43873687	41.84568922	41.70622472	42.17876371
<i>Maximaler Fehler M1 in μT</i>	25.5893346	0.82406103	0.36463784	1.10330098	2.13675849
<i>Maximaler Fehler M2 in μT</i>	27.1572484	1.06821764	1.33712909	1.18443547	2.6539897
<i>Maximaler Fehler M3 in μT</i>	26.0386105	1.15935658	1.44589495	0.89939009	2.31450856

6. Entwickelte Applikationen

Nach ausgiebigem Kennenlernen der Smartphonecharakteristik und Bewältigung der aufgetretenen Probleme wurden in Folge die angestrebten Endprodukte dieser Arbeit realisiert. Dabei handelte es sich zum einen um die Entwicklung einer Smartphoneapplikation, durch welche das Einmessen der finalen Referenzpunkte vorgenommen werden konnte (*Applikation FinalDestination*) und zum anderen um eine Applikation, (*FindMyPosition*) mit der der Anwender schlussendlich in der Lage ist, seine Position zu bestimmen.

In beiden Applikationen wurden die bisher erworbenen Kenntnisse eingesetzt, um die bestehenden Störquellen weitestgehend beseitigen zu können. Im Folgenden wird auf die Erstellung notwendiger Methoden und die Verifizierung des erstellten Produktes eingegangen.

6.1. Smartphoneapplikation „FinalDestination“

Als *FinalDestination* wird jene Smartphoneapplikation bezeichnet, die speziell für das Einmessen der notwendigen Referenzpunkte entwickelt wurde. In ihr wurden alle bisher erkannten Störeinflüsse beziehungsweise Fehlerquellen (*Sensorrauschen, Richtungsabhängigkeit*) weitestgehend beseitigt. Somit war es möglich, alle für die Endapplikation notwendigen Referenzpunkte mit entsprechend geringen Toleranzen einzumessen.

In Anbetracht der in *FindMyPosition* zum Einsatz kommenden Rotationsmatrix (*Siehe Punkt 6.3.1*), welche die gemessene Magnetfeldstärke vom *Body Frame* in das *Local-Level Frame* umrechnet, war es notwendig, die Aufnahme der Referenzpunkte abhängig von der Richtung zum magnetischen Nordpol vorzunehmen. Zu diesem Zweck wurde für die Applikation eine Richtungsanzeige entwickelt, welche dem User mit unterschiedlichen visuellen Reizen die optimale Ausrichtung zum magnetischen Nordpol signalisiert.

Vor dem Start der Referenzpunktmessungen wurde, wie in *Punkt 5.7.3* beschrieben, eine Kalibrierung des Smartphones vorgenommen. Diese ist notwendig, da durch das Ein- und Ausschalten des Smartphones leichte Veränderungen, bezogen auf den Offset und die Verzerrung der Smartphone-Achsen, festzustellen sind.

6.1.1. UI (Userinterface)

Das Userinterface von *FinalDestination* baut sich sehr einfach auf und wurde vom Design, da für den Endverbraucher nicht relevant, sehr schlicht und funktional gehalten. Da die vorzunehmende Referenzpunktbestimmung zu verschiedenen Tageszeiten durchgeführt werden muss, lag der Fokus bei der Gestaltung des Userinterface hauptsächlich auf einer eindeutigen Signalgebung im visuellen Bereich.

Somit beinhaltet die beschriebene Software-Applikation zwei Buttons, mit welchen die finalen Referenzpunkte eingemessen werden können. Durch eine kurze Einleitung wird der Anwender aufgefordert, mit dem Drücken von *START ORIENTATION-ADJUSTMENT* den Messvorgang zu starten. Über ein Textfeld wird in weiterer Folge die Abweichung des Smartphones, bezogen auf den magnetischen Norden, durch den entsprechenden Winkel angezeigt. Dreht der User

das Smartphone nun um die z-Achse kann er anhand der Winkelangabe des Textfeldes das Handheld entsprechend einnorden. Erreicht man eine Winkelangabe zwischen 359° und 1° verändert sich die Displayfarbe von grau auf grün und ein Nordpfeil erscheint. Durch das Drücken von **MEASURE REFERENCE-POINT** werden die gesuchten Referenzwerte der *x*- *y*- und *z*-**Achse** in μT abgespeichert. Der Wortlaut **SAVED** signalisiert dem User die korrekte Speicherung der Daten im *.txt* Dateiformat, gleichzeitig springt die Applikation wieder zu ihrem Ausgangsbildschirm zurück. (Siehe Abb.54)

6.1.2.Methoden der Applikation (FinalDestination)

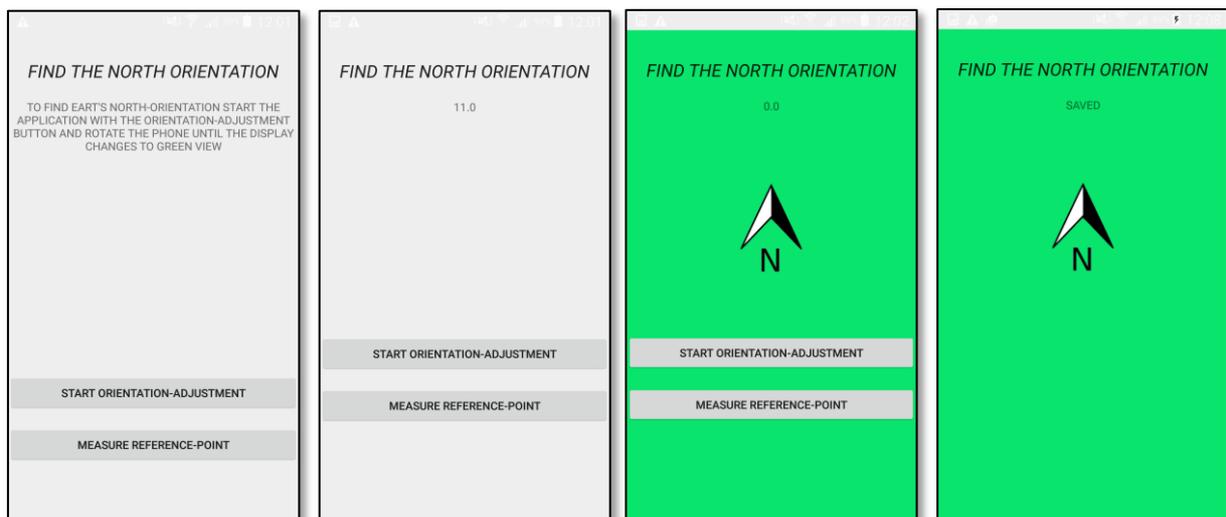
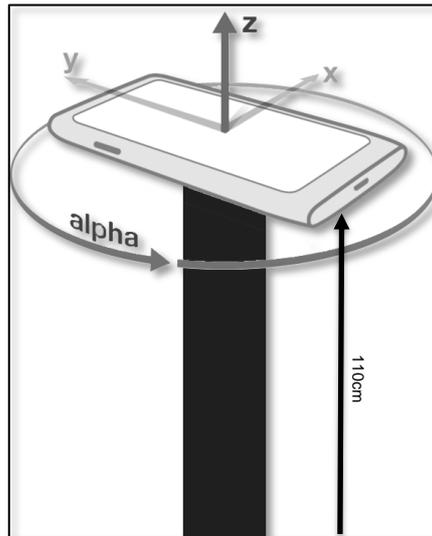


Abb. 54 Darstellung des Userinterface der Software-Applikation „FinalDestination“

Um mit der entwickelten Smartphoneapplikation entsprechende Ergebnisse zu erlangen, war es notwendig, einen möglichst einfachen und vor allem mobilen Messaufbau zu realisieren. Dazu wurde ein handelsübliches **PVC-Rohr** mit der Länge von **110cm** und einem Durchmesser von **10.4cm** eingesetzt. Auf diesem konnte das Smartphone entsprechend justiert werden, um die gewünschte Nordausrichtung zu erlangen. Außerdem war dadurch gewährleistet, dass sich die **z-Achse** beim Einmessen der Referenzpunkte auf einem permanent gleichbleibenden Niveau befand. (Siehe Abb. 55)



**Abb. 55 Darstellung des Messaufbaues für das Einmessen der finalisierenden Messpunkte
Arbeitsgrundlage: [OPERA]**

Die Smartphoneapplikation *FinalDestination* kann auch für simple Handmessungen herangezogen werden. Die Messprozedur der Handmessungen gestaltete sich nach mehrmaligen Anläufen im Vergleich zu den PVC-Rohrmessungen jedoch als besonders schwierig. Die größte Problematik entstand durch die Notwendigkeit, beim Messen eines Referenzpunktes den Arm je Messung in einem identen Winkel zum Körper, einer bestimmten Höhe und einer absolut ruhenden Position zu halten (*90° Winkel – 110cm Höhe – parallel zum Boden*).

Daraus resultiert im Vergleich zu den PVC-Rohrmessungen eine um $0.5\mu T$ höhere Abweichung, sowie eine nur schwer erreichbare Reproduzierbarkeit. (Siehe Abb.56)

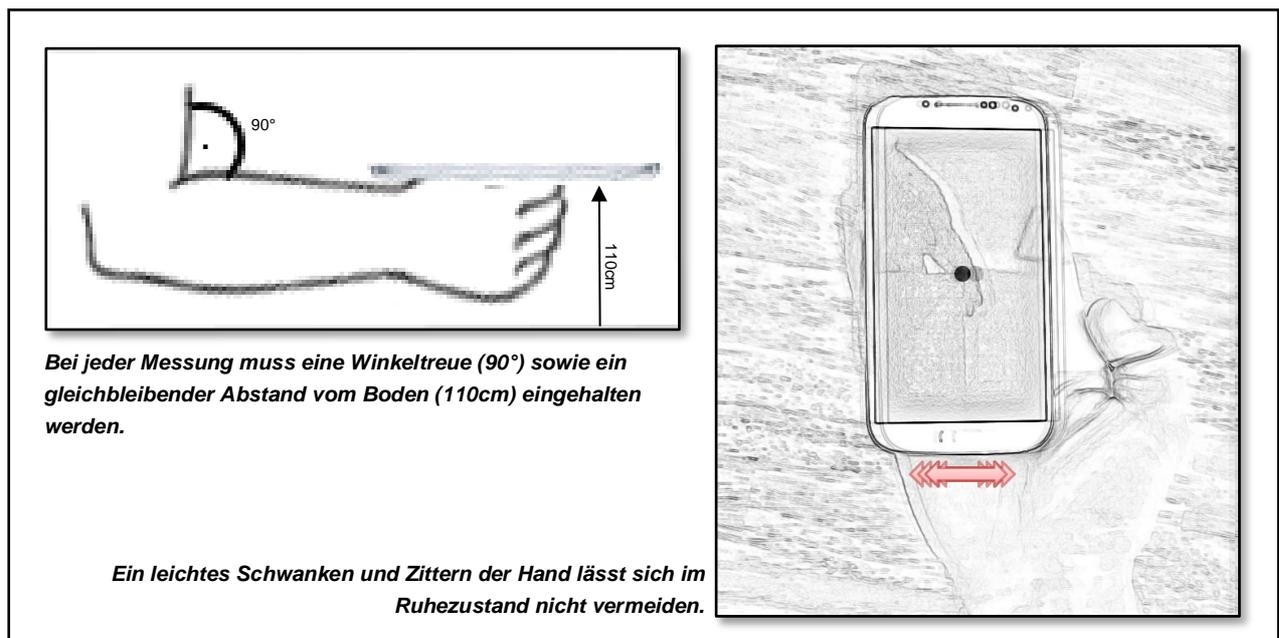


Abb. 56 Darstellung der Hauptproblematiken der Handmessung

Wie bereits in **Punkt 5.4.6.2** beschrieben wurde in der Applikation *FinalDestination* eine Filterung zu jeweils $0.5\mu T$ Toleranz in Kombination mit einer Mittelung durch das arithmetische Mittel von **100** Werten verwendet.

6.2. Einmessen der Referenzpunkte am Institut für Geodäsie

Die Aufnahme der finalisierenden Referenzpunkte fand im dritten Stock der **Steyrergasse 30** am Institut für Geodäsie statt. Die entsprechenden Punkte wurden mit Zuhilfenahme eines Ausschnittes des Gebäudeplans festgelegt und in Folge eingemessen.

Dabei wurden zwei verschiedene Ansätze verfolgt. Wie bereits beschrieben, kam zum einen ein **PVC-Rohr** zum Einsatz, mit welchem das Einmessen eines Punktes ohne menschlichen Einfluss vorgenommen werden konnte, zum anderen wurden die gleichen Referenzpunkte in einer Folgemessung per Hand, also mit menschlichem Einfluss aufgenommen.

6.2.1. Ergebnis

Um ein einheitliches Ergebnis zu erlangen wurde wie in **Punkt 6.1.2** beschrieben, der mobile Messaufbau zu den vordefinierten Referenzmarken getragen und eingerichtet. Schlussendlich wurden **8** Messreihen zu je **9** Punkten aufgenommen. Vor jeder Messung wurde das dazu verwendete Smartphone individuell zum lokalen magnetischen Norden ausgerichtet. (*Siehe Abb.57*)

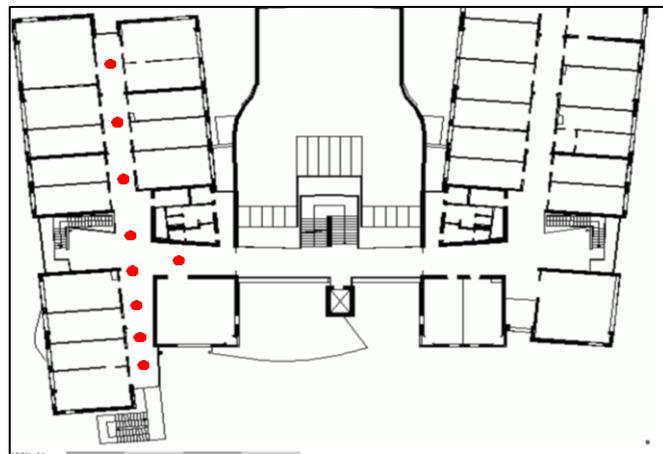


Abb. 57 Gebäudeplan – Steyrergasse 30 / 3.OG mit den eingezeichneten Referenzpunkten eines Messdurchlaufes
Arbeitsgrundlage: [TU GRAZ]

Des Weiteren wurden **8** händische Messreihen durchgeführt, um einen Vergleich zu den PVC-Rohrmessungen zu haben. In **Tab. 18** wird das Ergebnis eines Pretests aufgelistet, welches die verschiedenen Charakteristiken des Messsystems zeigt.

6.2.1.1. Pretest

Der Pretest wurde zu je 3 Messdurchläufen á 9 Punkten durchgeführt. Die größte Erkenntnis betreffend der Vorabuntersuchungen war das Aufdecken des Abfalls der Messwerte je Messdurchlauf. Hierbei kommt die bereits in **Punkt 5.4.7.1** erkannte Notwendigkeit, die Warmlaufphase des Magnetfeldsensors abzuwarten, zu tragen. Erst ab der sechsten Messreihe, (*ca. 25-28min*) konnte das Gleichbleiben der Messwerte beobachtet werden. Diese Zeitspanne gilt jedoch nur für punktuell angestellte Messungen und kann durch Aktivieren des Sensors im Dauerbetrieb über eine Zeitspanne von *ca. 10min* reduziert werden.

Des Weiteren konnten Diskrepanzen zwischen den von Hand eingemessenen Referenzpunkten und den PVC-Rohrmessungen festgestellt werden. Die Charakteristik beider Messverfahren blieb jedoch grundlegend ident. (*Siehe Tab.18*)

Da die in dieser Arbeit dokumentierten Messergebnisse das Endprodukt einer Vielzahl an Messreihen sind und oft erst im Laufe einer Messung Fehlerquellen erkannt werden konnten, fanden die Vorerhebungen zu Testzwecken ungeachtet der Tageszeit statt. Dabei viel auf, dass in dieser Phase der Untersuchung tageszeitabhängigen Unterschiede betreffend der Länge des Magnetfeldvektors gab. Um dieser Problematik auf den Grund zu gehen und eventuellen Unregelmäßigkeiten vorzubeugen, wurden die finalisierenden Referenzpunktmessungen zu unterschiedlichen aber fixen Zeitpunkten des Tages durchgeführt. (*Siehe Punkt 6.2.1.2*)

Tab. 18 Ergebnisauswertung der Referenzpunktmessungen im 3. OG des Institutes für Geodäsie in der Steyrergasse 30 der TU Graz

Messpunkte	Berechnete Länge des Magnetfeldvektors der Magnetfeldmessungen mit PVC-Rohr in μT			Berechnete Länge des Magnetfeldvektors der Magnetfeldmessungen per Hand in μT		
P1	16.84869765	15.16156819	13.6165374	12,61817738	9.860490601	9.01355228
P2	24.78110358	22.81674317	22.36225371	20,04246132	18.3423622	17.3784002
P3	24.50254774	23.84976375	23.33572277	19,40685416	18.03783469	15.4722127
P4	19.83211584	18.90565493	18.17489339	17,12580965	15.55759772	14.1361539
P5	20.38092082	19.60192859	18.92707948	16,54623028	16.65403993	NaN
P6	22.68284392	21.62616294	21.47645631	17,68539742	15.71350418	NaN
P7	19.89308957	19.11660065	17.65787176	15,39494802	13.12928264	NaN
P8	22.45212067	21.67353374	20.28559939	18,01188142	19.09886051	NaN
P9	27.17213879	26.63729787	25.33733658	21,54401933	26.04054513	NaN

6.2.1.2. Finalisierende Referenzpunktmessung

Durch die im Pretest erhobenen Informationen wurde der Entschluss gefasst, die Anzahl der Messdurchläufe auf 8 Wiederholungen zu erhöhen. Grundsätzlich wurden die Referenzpunkte, wie schon unter **Punkt 6.1.2** beschrieben, mit Zuhilfenahme eines PVC-Rohres über die Smartphoneapplikation *FinalDestination* erhoben. Zusätzlich wurden an den Referenzstellen im gleichen Ausmaß Handmessungen durchgeführt.

Wie in **Tab.19** ersichtlich waren erst die Messungen 7 u. 8 eindeutig auf einheitlichem Niveau. Durch diese Ergebnisse konnte die bereits angesprochene Aufwärmphase des Magnetfeldsensors (25-28min) eindeutig nachgewiesen werden. Insgesamt waren 6 Messdurchläufe notwendig um in Folge ein stabiles Ergebnis zu erhalten.

Auch die tageszeitabhängigen Unterschiede, welche bis zu $10\mu T$ ausmachen können, konnten mit den über einen ganzen Tag verteilten Messreihen nachgewiesen werden. (Siehe **Tab.19**) Die erweiterten Messungen (8 Durchläufe) fanden zu den bereits im Pretest definierten Zeiten (08:00 / 12:00/ 18:00 Uhr) statt.

Durch die Kalibrierung des verwendeten Smartphones und die Stabilisierung des Sensorrauschens über die bereits besprochene Filtermethode, sowie dem arithmetischen Mittel, ergab sich jedoch eine neue Problematik. Durch den Gewinn an Genauigkeit und der hohen Anzahl an Referenzpunkten kam es zu Überlappungen der Messwerte von mehreren Punkten. Somit kann sich zum Beispiel die Länge des Magnetfeldvektors in **Punkt 1** innerhalb der Toleranz eines nachstehenden Punktes (z.B. **Punkt 5**) befinden. In diesem Fall würden beide Referenzpunkte als möglicher Standort des Anwenders in Frage kommen bzw. angezeigt werden. Um diesen Fehler zu beheben können verschiedene Methoden zur Anwendung kommen. Zum einen würde sich für diese Situation die Methode des nächsten Nachbarn (*Nearest Neighbour*) anbieten, zum anderen ist es möglich über die einzelnen Komponenten des Magnetfeldvektors eine Differenzierung vorzunehmen.

Besonders die *Nearest Neighbour* Methode findet in verschiedenen Bereichen der Wissenschaft sehr oft Verwendung. Durch sie ist es möglich, zwischen den Referenzpunkten zu differenzieren. Musste der Algorithmus vor Einsatz der Methode noch zwischen allen vorhandenen Referenzpunkten unterscheiden, so legt diese differenzierende Methode den Fokus auf die direkt umliegende Nachbarschaft. Leider ergab sich betreffend der vorliegenden Thematik ein neues Problem (Siehe im Folgenden: *Differenzierung durch Nearest Neighbour*), welches zum Ausschluss der Methode geführt hat.

- **Ausgangssituation ohne Differenzierung:**

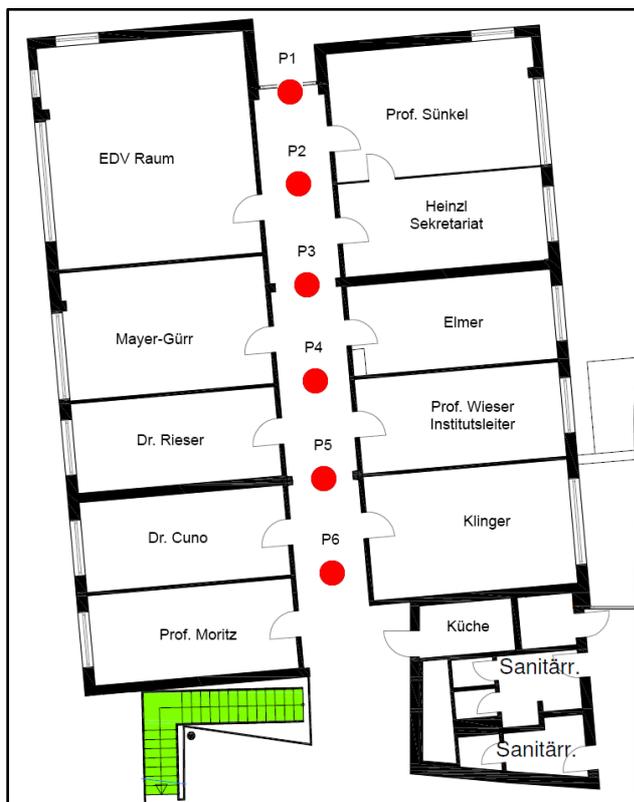
Unter der Annahme, dass sich der Anwender auf einem referenzierten Punkt im Gebäude befindet (z.B. **Punkt 3**), und sich in eine der möglichen Richtungen bewegt (z.B. *in Richtung Punkt 6*), reicht im Normalfall eine einfache Differenzierung durch die Länge des Magnetfeldvektors zwischen den erhobenen Referenzpunkten aus. Befinden sich jedoch mehrere dieser Punkte innerhalb eines Toleranzbereiches, so muss eine zusätzliche Unterscheidung nach Kriterien stattfinden. (Siehe **Abb.58**)

- **Differenzierung durch Nearest Neighbour:**

Betreffend der *Nearest Neighbour* Differenzierung würde in Bezugnahme auf die erwähnte Ausgangssituation vorab der nächste Nachbar definiert werden. Dieser könnte somit sowohl **Punkt 4** als auch **Punkt 2** sein, wodurch bereits **Punkt 6** vorab ausgeschlossen wird. Hat man jedoch das Problem, dass sich sowohl der Ausgangspunkt (**Punkt 3**) als auch der Folgepunkt in ihrem Toleranzbereich überschneiden, so ist eine Differenzierung über den nächsten Nachbarn nicht mehr über die Länge des Magnetfeldvektors möglich. Ebenso kann es geschehen, dass aufgrund einer kurzfristigen Störung ein Folgepunkt nicht erkannt wird und die Applikation somit beim Überschreiten des übernächsten Punktes (*z.B. Punkt 5*) noch immer auf den logischen Folgepunkt (**Punkt 4**) wartet. (Siehe Abb.58)

- **Differenzierung durch Einzelkomponenten des Magnetfeldvektors:**

Es ist ratsam, sich nicht nur an der Länge des Magnetfeldvektors zu orientieren, sondern in Folge auch an seinen Einzelkomponenten. Da die *x*- und *y*-Komponenten durch die Rotationsmatrix berechnet werden müssen, bietet sich für diese Thematik die *z*-Achse als zusätzliche Beobachtungsgrundlage besonders an. Die *z*-Richtung ist die einzige Komponente des Vektors, die immer gleich bleibt und somit einen eindeutigen Wiedererkennungswert hat. (Siehe Abb.58)



	<i>Toleranzbereich Magnetfeldvektor</i>	<i>Toleranzbereich z-Achse</i>
P3	40 μ T – 41 μ T	31,5 μ T - 31 μ T
P4	39.8 μ T – 40.7 μ T	33 μ T - 34 μ T
P5	47 μ T – 48 μ T	29 μ T - 30 μ T
P6	40 μ T – 41 μ T	35 μ T – 36.5 μ T

Abb. 58 Visuelle Darstellung der Referenzpunktproblematik – Entscheidungsbegründung bezogen auf die Anwendung eines Differenzierungsalgorithmus

In den Tabellen 19 - 21 werden die Werte der finalisierenden Rohr-Messungen ausgegeben. Wie bereits erwähnt sind vor allem die Messreihen 7 und 8 von Bedeutung. Besonders auffällig ist das Ergebnis der 13:00 Uhr Messungen, da durch diese Messreihen eine eindeutige Tageszeitabhängigkeit des Magnetfeldes im Untersuchungsgebiet nachgewiesen werden kann. Auch die Messreihen der 18:00 Uhr Messungen unterscheiden sich in leichtem Ausmaß von den Vormittagsmessungen. (Siehe Tab.19-21)

Tab. 19 Tabellarische Darstellung der PVC-Rohrmessreihen um 09:00 Uhr

Berechnung der Länge des Magnetfeldvektors je Referenzpunkt Ergebnis Messung 29.02.2016 09:00 Uhr in [µT]								
	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Messung 6	Messung 7	Messung 8
Punkt 1	42,5791914	48,45343786	52,9652351	40,43241888	38,95920442	39,08589077	39,80836307	39,69555236
Punkt 2	43,80006277	53,82633957	55,48401097	43,25724512	43,66982643	44,22484523	43,96869413	42,66599637
Punkt 3	44,84081547	60,92424075	60,33754274	47,6229773	48,18302104	48,28723869	48,60332998	49,08521703
Punkt 4	50,23555886	56,2534258	57,05001829	44,78056197	46,13329507	44,71455086	44,301996	45,03677826
Punkt 5	55,83952534	61,32354	63,30831367	50,07243737	49,45342398	49,35704596	49,22391485	49,39491239
Punkt 6	55,55470423	61,48364336	60,74829506	53,47007026	48,66873755	48,03090913	52,05687692	47,52173382
Punkt 7	50,48453127	52,78689468	53,87334923	42,37351963	41,29497954	44,11740558	43,27391553	42,59813844
Punkt 8	48,12428945	52,4568258	52,94589058	41,22697486	40,3497688	40,4539083	40,2468183	40,1970865
Punkt 9	59,7303926	60,51997952	60,20779475	48,4144184	47,83002975	48,23875456	47,70345869	47,87010475

Tab. 20 Tabellarische Darstellung der PVC-Rohrmessreihen um 13:00 Uhr

Berechnung der Länge des Magnetfeldvektors je Referenzpunkt Ergebnis Messung 29.02.2016 13:00 Uhr in [µT]								
	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Messung 6	Messung 7	Messung 8
Punkt 1	40,93311024	41,07181099	44,3273884	46,40075775	51,66205466	47,25817307	48,0726542	48,50201158
Punkt 2	42,91412012	42,70793366	44,93940065	46,93481423	51,75851138	47,59868032	47,84201665	48,59030971
Punkt 3	48,48328932	48,6560057	51,13060268	52,58973216	57,85400197	53,17694227	54,14220259	54,32585167
Punkt 4	46,68822451	46,77499971	49,92721558	50,94780515	55,41275147	51,43285769	51,96427462	52,61741949
Punkt 5	52,49969327	52,16445301	54,75470583	55,79714255	60,74982867	56,60320695	57,01336452	57,38800862
Punkt 6	50,3200321	50,49406876	52,54105943	53,62365305	58,06697306	54,19111449	54,32262567	58,52118566
Punkt 7	44,62050609	43,82100006	46,23816054	47,58657235	51,52995659	47,68524655	48,81029659	48,43014869
Punkt 8	43,2510168	42,2714512	46,90552026	45,48417122	49,98436291	46,25789658	46,40525819	46,82957834
Punkt 9	50,3734935	50,78572141	52,72262064	53,8672457	58,6113617	53,80183975	54,88533178	57,64921956

Tab. 21 Tabellarische Darstellung der PVC-Rohrmessreihen um 21:00 Uhr

Berechnung der Länge des Magnetfeldvektors je Referenzpunkt Ergebnis Messung 29.02.2016 21:00 Uhr in [μ T]								
	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Messung 6	Messung 7	Messung 8
Punkt 1	41,03734051	38,20154828	37,54979894	36,77383947	36,79249775	36,18102536	36,4641712	36,50495236
Punkt 2	43,31614229	40,22654233	40,32220523	40,25782052	40,00844938	39,65478992	40,0461383	39,8226387
Punkt 3	48,29211753	46,24712481	44,90548159	44,63205075	44,61759968	44,33292116	44,4825843	44,20390161
Punkt 4	46,11462933	43,49050827	41,88706157	41,6464671	41,25728369	41,49034603	42,52025032	41,29092381
Punkt 5	50,95857764	48,27788372	46,81319649	46,49832833	45,96542469	45,83455573	46,20915188	46,12112016
Punkt 6	48,28897491	46,44202291	45,25565968	44,92058698	44,67866961	44,94078787	44,96431474	44,47942649
Punkt 7	41,82497907	40,52414641	38,96397045	39,55106952	38,81945145	38,96381064	39,20511208	38,80456967
Punkt 8	40,31182722	39,26905316	38,37306138	37,93608883	38,07799763	38,19239342	38,09362207	37,77088786
Punkt 9	47,88934139	47,44825432	46,2118679	46,49211632	46,73155076	46,70206892	46,67657921	46,76592705

Bei weiteren Überlegungen manifestierte sich die Frage, ob es sich bei den tageszeitbezogenen Abweichungen um einheitliche bzw. regelhafte Abweichung handelt. In diesem Fall wäre ein Einmessen der Referenzpunkte nur noch zu einem bestimmten Zeitpunkt des Tages notwendig, der Rest könnte folglich berechnet werden. Bei der Überprüfung dieser These konnte jedoch keine eindeutige Regelmäßigkeit in Bezug auf die Abweichungen festgestellt werden. (Siehe Tab.22)

Tab. 22 Tabellarische Darstellung einer Abweichungsberechnung zwischen den Messungen je Tageszeit

09:00 Uhr	09:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	M7 Abweichungen in [%]	M7 Abweichungen in [%]
Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 7	Messreihe 8		
39,80836307	39,69555236	48,0726542	48,50201158	120,7601883	122,1850023
43,96869413	42,66599637	47,84201665	48,59030971	108,8092735	113,8853275
48,60332998	49,08521703	54,14220259	54,32585167	111,3960764	110,6766048
44,301996	45,03677826	51,96427462	52,61741949	117,2955607	116,8321126
49,22391485	49,39491239	57,01336452	57,38800862	115,8245229	116,1820233
52,05687692	47,52173382	54,32262567	58,52118566	104,3524485	123,1461501
43,27391553	42,59813844	48,81029659	48,43014869	112,7938066	113,6907632
40,2468183	40,1970865	46,40525819	46,82957834	115,3016814	116,4999318
47,70345869	47,87010475	54,88533178	57,64921956	115,0552461	120,4284383
09:00 Uhr	08:00 Uhr	21:00 Uhr	21:00 Uhr	M7 Abweichungen in [%]	M7 Abweichungen in [%]
Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 7	Messreihe 8		
39,80836307	39,69555236	36,4641712	36,50495236	91,59927309	91,96232371
43,96869413	42,66599637	40,0461383	39,8226387	91,07875295	93,33577577
48,60332998	49,08521703	44,4825843	44,20390161	91,52168034	90,05542663
44,301996	45,03677826	42,52025032	41,29092381	95,97818193	91,6826767
49,22391485	49,39491239	46,20915188	46,12112016	93,87540999	93,37220764
52,05687692	47,52173382	44,96431474	44,47942649	86,3753598	93,59807169
43,27391553	42,59813844	39,20511208	38,80456967	90,59756114	91,09451983
40,2468183	40,1970865	38,09362207	37,77088786	94,65002124	93,96424256
47,70345869	47,87010475	46,67657921	46,76592705	97,84736892	97,69338775

Grundsätzlich hat sich bei den mit der Hand eingemessenen Referenzpunkten die gleiche Charakteristik wie bei den PVC-Rohrmessungen gezeigt. Auch bei diesen Messungen konnte eine eindeutige Tageszeitabhängigkeit festgestellt werden. Ebenso wie bei den Referenzmessungen mit dem PVC-Rohr blieb eine Regelmäßigkeit in den Abweichungen aus. (Siehe Tab.23)

Tab. 23 Tabellarische Darstellung einer Abweichungsberechnung zwischen den Messungen je Tageszeit

	Messreihe 09:00 Uhr	Messreihe 13:00 Uhr	Messreihe 21:00 Uhr
P1	35,72817682	51,93913874	36,82809047
P2	35,5603162	51,06896104	37,3188329
P3	43,14494071	57,80338256	43,60048919
P4	41,80991349	57,52604613	42,86618379
P5	47,06333393	49,72587872	48,00426906
P6	44,55107257	47,62307072	45,41455561
P7	37,76123497	41,22744242	39,45362192
P8	35,49865192	39,47146459	36,76124514
P9	44,97428531	49,25807248	46,32657087

6.3. Entwicklung der Applikation FindMyPosition

Mit *FindMyPosition* wurde als abschließendes Element dieser Arbeit eine Smartphoneapplikation entwickelt, welche in Kombination mit einer präzisen Kalibrierung des Magnetfeldsensors, der Filterung des Sensorrauschens sowie einer Szenenerkennung zur Bestimmung der absoluten Position für den Anwender den aktuellen Standort ermittelt. Im Hintergrund laufen daher wie bereits in *Punkt 5.4.6* sowie in *Punkt 5.6* beschrieben, die entsprechenden Filteralgorithmen zur Verbesserung der Genauigkeit des Magnetfeldsensors. Zusätzlich wurde besonderes Augenmerk auf die einfache und intuitive Bedienung von *FindMyPosition* gelegt. Der User wird somit durch die Applikation mit nur wenigen Schritten durchgeleitet, wodurch sich die Anwendung der App sehr einfach gestaltet.

Im Nachstehenden findet eine genaue Aufgliederung des Userinterfaces statt, um die Hintergründe der Entscheidungsfindung für das Design genauer zu beleuchten.

6.3.1. UI (Userinterface)

Das Userinterface setzt sich aus verschiedenen Bedienelementen zusammen und fördert vor allem die einfache Handhabung der Smartphoneapplikation *FindMyPosition*.

- **Splashscreen**

Beim Starten der App wird ein Splashscreen aufgerufen. (Siehe Abb.59) Dieser hat den Zweck, den Startprozess zu entschleunigen, wodurch mehr Zeit für notwendige Hintergrundprozesse bleibt. Zusätzlich kann der Anwender dadurch erkennen, ob er die richtige Applikation aufgerufen hat, da dieser Screen auch den Namen der Applikation beinhaltet. Zwei Sekunden

nach dem Aufruf der *Splashactivity* erscheint der sogenannte Kalibrierungsbildschirm. (Siehe *Abb.59*)



Abb. 59 Darstellung des Splashscreens und der Kalibrierungsactivity

- **Kalibrierungsbildschirm**

Durch den Kalibrierungsbildschirm wird der Anwender aufgefordert, sein Smartphone um alle drei Achsen zu drehen, da die meisten Endgeräte und in diesem Fall auch das **Samsung Galaxy S4**, bei einem Neustart die Orientierung verlieren. Als Präventivmaßnahme, da ein Selbsttest des Sensors (*bei Android OS*) nur händisch über ein verstecktes Servicemenü durchgeführt werden kann, wird der User bei jedem Start von *FindMyPosition* zu einer Sensorkalibrierung aufgefordert.

- **Test Menü**

Um diese Problematik zu verdeutlichen, wurde im Folgenden (*Siehe Abb.60*) ein Auszug aus dem Testmenü des **Samsung Galaxy S4** per Screenshot dargestellt. Durch die Eingabe der Tastenkombination **#0*#* kann das im Betriebssystem hinterlegte Menü aufgerufen werden. In diesem können die Sensoren des verwendeten Smartphones überprüft werden. Die Messwerte des Magnetfeldsensors werden über eine schwarze Scheibe, welche im Idealfall in Richtung Norden zeigt, ausgewiesen. Zusätzlich werden die als aktiv erkannten Achsrichtungen angezeigt. Nach einem Neustart des Systems bleibt die Anzeige daher auf Null, wodurch dem User der Kalibrierungsbedarf des Dreiachsmagnetometers signalisiert wird. Erst nach mehrmaligem Drehen um die eigenen Achsen kann die Software des Handhelds wieder den wahren magnetischen Norden bestimmen. Dies wird schlussendlich durch die Zahl **3 (drei aktive Achsen)** signalisiert. (*Siehe Abb.60 – Kalibrierte Ansicht*)

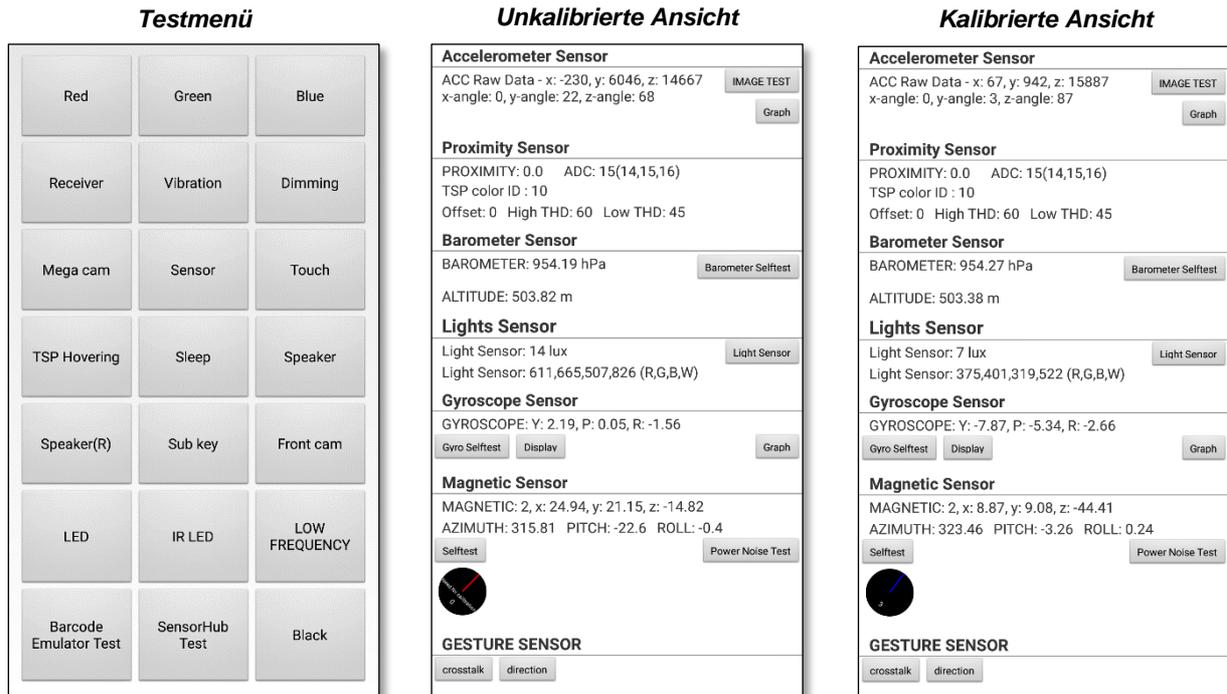


Abb. 60 Darstellung des Test Menüs eines Android OS (Android Operating Systems)

- **Startscreen**

Mit dem **FINISHED** Button (Abb.59) bestätigt der Anwender in der Kalibrierungsansicht die von ihm geforderten Achsbewegungen durchgeführt zu haben. In Folge wird er zum **Startscreen** weitergeleitet. Dieser bietet dem User die Auswahlmöglichkeit zwischen zwei Methoden. Eine davon ist die Standortbestimmung über die bereits in **Punkt 2.8.3** beschriebene Szenenerkennung, die andere ermöglicht die Eingabe des aktuellen Standortes durch den User selbst. (Siehe Abb.61 - Startscreen)

- **Navigation Drawer**

Grundsätzlich können die zwei Methoden über den **Navigation Drawer** aufgerufen werden. Durch Berühren der drei Balken in der **Titelbar** poppt der **Drawer** von links nach rechts auf und zeigt eine Auswahlmöglichkeit zwischen den Methoden an. (Siehe Abb.61 – Navigation Drawer)

- **Touchevent**

FindMyPosition wurde im Laufe der Entwicklung auch von verschiedenen Testpersonen ausprobiert. Dabei ist aufgefallen, dass die Anwender häufig nicht den **Navigation Drawer** zur Auswahl der entsprechenden Methode verwendeten, sondern intuitiv versuchten, das Beispielbild am Startscreen selbst zu drücken. Aus diesem Grund wurden zusätzlich **Touchevents** über die beiden Bilder gelegt.

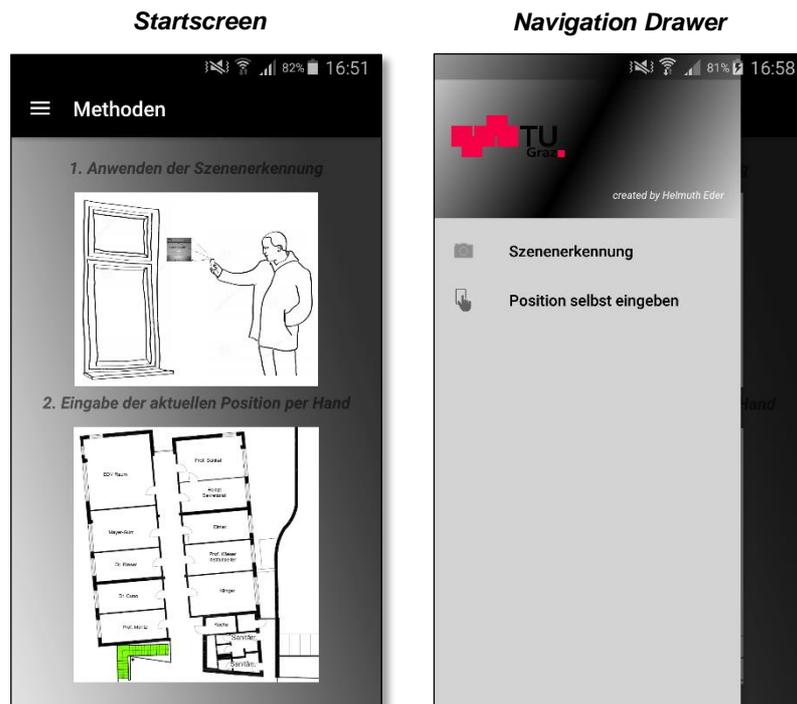


Abb. 61 Darstellung des Startscreens und des Navigation Drawers von FindMyPosition

- **Szenenerkennung**

Die erste Auswahlmöglichkeit der vorgeschlagenen Methoden ist die Szenenerkennung. (**Punkt 2.8.3**) Durch sie hat der Anwender die Möglichkeit, seine **Absolutposition** über einen **Renderalgorithmus** zu bestimmen. Für den User selbst öffnet sich nach dem **Touchevent** eine Kameraansicht, welche die Smartphonekamera in einem permanenten Scanmodus betreibt. Dabei werden die vorab erhobenen Szenen mit der aktuell vorliegenden Szene über eine interne Datenbank verglichen.

Um eine Szenenerkennung praktikabel zu machen, ist es notwendig, das Untersuchungsgebiet entsprechend auf seine Charakteristik zu überprüfen. Dabei gilt es, die stetig gleichbleibenden Elemente einer Szene herauszufiltern. Wie in **Abb.62** ersichtlich, bietet der Korridor des Institutes eine Vielzahl an möglichen Referenzpunkten für den Renderabgleich.

Ein Rendertarget (**Zielobjekt für das Rendering**) zeichnet sich durch seine Einzigartigkeit aus. Es reicht nicht, dass Bürotüren in ausreichender Anzahl an den notwendigen Stellen vorhanden sind und diese sich, als fixer Bestandteil des Gebäudes, nie ändern. Die zum Rendering verwendeten Objekte müssen zusätzlich voneinander unterscheidbar sein. Gleiches gilt für die Plakatwände, welche zwar in der Gebäudestruktur verankert sind, jedoch durch die Gefahr einer neuen Plakatierung nicht für die Szenenerkennung herangezogen werden können.

Daher wurden Objekte zum Rendern verwendet, welche sich aufgrund ihrer Zugehörigkeit zur Baustruktur bzw. der betreffenden Personen in den einzelnen Räumlichkeiten nicht ändern und eindeutig unterscheidbar sind. In diesem Fall war es die Türbeschilderung, welche durch ihre Nummerierung einem Büro eindeutig zuzuordnen ist und keiner weiteren Veränderung unterliegt. (**Siehe Abb.62**)



Abb. 62 Darstellung – Korridor vom Institut für Geodäsie mit markierten Türschildern

Die einzige Problematik entsteht durch die Angabe der Stockwerksnummer auf der Beschilderung (**ST 03 – als Bezeichnung für den dritten Stock**) im Korridor. Somit kann es passieren, wenn der User ein Türschild von links nach rechts scannt, dass durch die am Anfang registrierte Bezeichnung **ST 03**, alle in der Datenbank befindlichen Einträge aktiviert werden. Um dieser Problematik vorzubeugen, wurden weitere Attribute für die Szenenerkennung aufgenommen. Dadurch war es möglich, die gesamten Türschilder aller Büros in einheitlicher Größe aufzunehmen. Zusätzlich bedeutet dies einen Komfortgewinn für den Anwender, der dadurch einen uneingeschränkten Scannvorgang durchführen kann. (Siehe Abb.63)

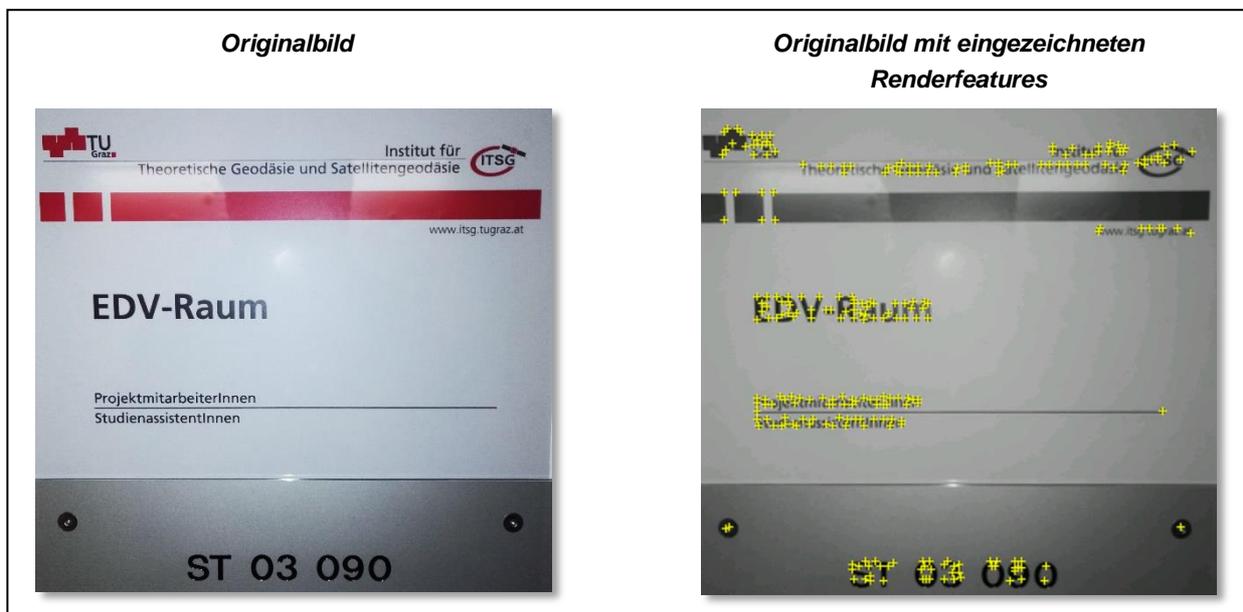


Abb. 63 Darstellung eines Türschildes der Büros im dritten Stock des Institutes für Navigation im Originalzustand, sowie einer Darstellung des Schildes mit seinen eingezeichneten Renderfeatures

Insgesamt wurden **16** Türschilder in die Datenbank aufgenommen und entsprechend ihrer Position bezeichnet. **(Siehe Abb.64)**

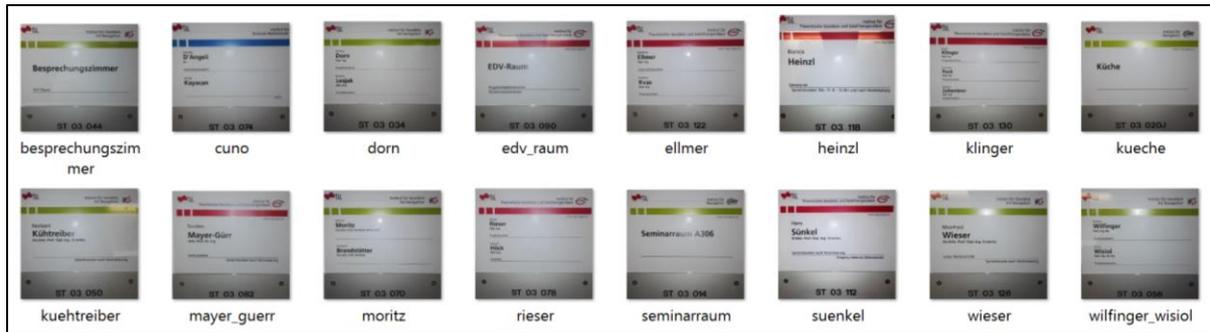


Abb. 64 Darstellung der in die interne Datenbank aufgenommenen Türschilder

Im Gegensatz zu **Augmented Reality** blendet diese Methode keine neuen Informationen ein, sondern gibt nach Erkennung der Szene eine spezifische Information an die nachstehenden Prozesse (**Java-Klassen**) weiter. Mit Hilfe dieser Informationen kann auf die absolute Position des Anwenders zurückgeschlossen werden. **(Siehe Abb.65)**

- **Manuelle Eingabe**

Wählt der Anwender die zweite Methode, so kann er über ein vorgegebenes Menü seinen Standort auch selbst eingeben. Dabei wird er Schritt für Schritt von einer anfänglichen Stockwerksabfrage bis hin zur Auswahl des vor ihm liegenden Büros durchgeleitet. Zusätzlich bekommt er zum leichteren Verständnis eine visuelle Unterstützung in Form eines Textes sowie einer bildhaften Beschreibung. **(Siehe Abb.65)**

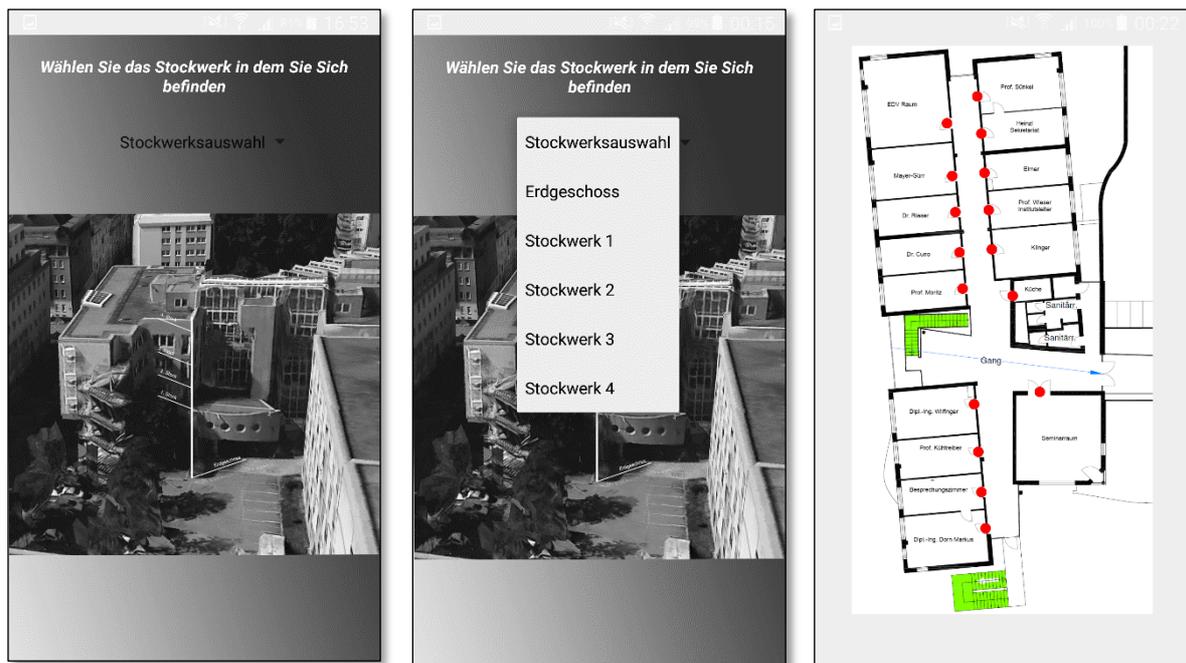


Abb. 65 Darstellung der manuellen Eingabemöglichkeit zur Definition des aktuellen Userstandortes

- **Finale Ansicht**

Egal ob sich der Anwender für die manuelle Eingabe des Standortes oder die Szenenerkennung entscheidet, schlussendlich führt ihn das Prozedere zur Endansicht der Smartphoneapplikation (see_location01.xml), siehe Abb.66 / Gesamtansicht. Diese beinhaltet alle Punkte, an denen sich der User vor Beginn der Magnetfeldmessungen befinden kann. Ist sein Standort bekannt, werden alle dem Standort nicht entsprechenden Punkte ausgeblendet. (Siehe Abb.66 / Selektierte Ansicht) Somit wird dem Anwender sofort nach Erkennen seiner gescannten Szene bzw. seiner manuellen Eingabe eine selektierte Ansicht mit seinem spezifischen Standort angezeigt.

Um in Folge über die Messung des Magnetfeldes die eigene Position bestimmen zu können, muss der User lediglich über den Button **START POSITIONING** den Magnetfeldsensor aktivieren. Ab diesem Zeitpunkt kann sich der Benutzer von **FindMyPosition** frei im Raum bewegen. Überschreitet er dabei einen Referenzpunkt, wird ihm sein neuer Standort angezeigt.



Abb. 66 Darstellung aller möglichen Standorte des Users in einem Stockwerk über die Gesamtansicht, sowie der Einzelpunktdarstellung über die selektierte Ansicht

6.3.2.Orthogonale Transformation (Rotationsmatrix)

Um dem erhobenen Magnetfeldvektor die Richtungsabhängigkeit zu nehmen, wird eine Rotationsmatrix zur orthogonalen Transformation eingesetzt. Für die Anwendung der Matrix muss eine permanente Erhebung des Rotationsvektors stattfinden. Der daraus berechnete Winkel der Abweichung zum magnetischen Nordpol wird über den Sensor des Smartphones direkt ausgelesen. Das erhaltene Ergebnis unterliegt ebenfalls einer Filterung und Mittelung wie bereits in **Punkt 5.2.4** und **5.2.5** beschrieben.

Eine orthogonale Transformation kann um alle drei Achsen (x, y, z) vorgenommen werden. Nachdem die **z-Achse** durch das PVC-Rohr als stabil anzusehen ist, sind somit die x - und y -**Komponente** des Magnetfeldvektors entsprechend der Abweichung zum magnetischen Nordpol zu drehen. Somit wird der Vektor des gefilterten und gemittelten Signales ht mit der Rotationsmatrix (**orthogonale Transformation um die z-Achse**) multipliziert. Als α wird dabei der Winkel der Abweichung zum magnetischen Nordpol bezeichnet. Das daraus entstandene Ergebnis hg wird in Folge zum Abgleich mit den Referenzpunkten verwendet. (**Siehe Formel 6.1 u. 6.2**)

$ht =$ aus Formel 5.6

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(Formel 6.1)

$$hg = ht * R$$

(Formel 6.2)

6.3.3.Conclusio

Um die bisher erworbenen Kenntnisse umzusetzen war es notwendig, zwei finalisierende Smartphoneapplikationen (**FinalDestination / FindMyPosition**) zu entwickeln.

FinalDestination ist eine App, mit welcher dem Anwender eine Hilfestellung für die Ausrichtung des Smartphones nach Norden geboten wird. Durch sie ist es möglich, jeden Referenzpunkt mit der gleichen Ausrichtung, bezogen auf den magnetischen Nordpol, aufzunehmen.

Die bereits angesprochene Ausrichtung nach Norden ist ein essentieller Bestandteil der Datenaufnahme. Je exakter die Ausrichtung beim Einmessen eines Referenzpunktes, desto effizienter auch das Ergebnis der Rotationsmatrix.

Für das Userinterface selbst galt wie bei den vorangegangenen Smartphoneapplikationen das Ziel, eine in sich intuitive und benutzerfreundliche Umgebung zu schaffen. Somit war es möglich, die Referenzpunkte durch zwei verschiedene Methoden aufzunehmen. Ein besonderer Fokus lag auf der einhändigen Bedienbarkeit, da die App bei beiden Methoden während der Messungen nur mit einer Hand bedienbar ist.

Da vor der ersten Anwendung nie gesagt werden kann, ob die eingesetzten Methoden und die dafür entwickelte Software fehlerlos zueinander passen, wurde ein Pretest mit **3** Messdurchläufen zu je **9** Referenzpunkten durchgeführt. Durch diesen Test konnte ein Drift der Messwerte nachgewiesen werden, welcher sich durch eine unzureichende Warmlaufphase des Magnetfeldsensors äußerte. Somit wurden die Durchläufe der Hauptmessungen von **3** auf **8** Messreihen erhöht. Erst **25 min** nach Beginn der Messungen (**M7 / M8**) konnte eine Stabilisierung der Messwerte erkannt werden.

Bis zu diesem Zeitpunkt wurde von einem tageszeitabhängigen Magnetfeld ausgegangen. Durch die Warmlaufphase und der Kalibrierung des Smartphone-magnetometers zeigte sich jedoch, dass sich während des Tages das Magnetfeld im Gebäude grundsätzlich auf gleichem Niveau befindet.

Mit *FindMyPosition* wurde eine Smartphoneapplikation entwickelt, welche es dem Anwender erlaubt, seine eigene Position innerhalb eines Gebäudes über Referenzpunkte zu bestimmen. Auch diese Applikation beinhaltet ein intuitiv nutzbares Userinterface, das dem Anwender die notwendigen Schritte bis hin zur eigenen Positionsbestimmung selbsterklärend vorgibt.

Die Applikation selbst kann über die Selbsteingabe der Ausgangsposition oder einer Szenenerkennung (*Voraussetzung einer Kamera*) gestartet werden. Die Hintergrundprozesse beinhalten gleich wie in *FinalDestination* alle Kalibrierungsparameter des Smartphones, sowie die unter *Punkt 5.4* erhobenen Filtermethoden. Zusätzlich werden die Messwerte über eine Rotationsmatrix vom Bodyframe ins *Local-Level Frame* umgerechnet.

6.4. Evaluierung von *FindMyPosition*

Wie bereits in *Punkt 6.2* beschrieben, ist es möglich die Referenzpunkte durch verschiedene Methoden aufzunehmen. Für die abschließende Evaluierung wurde das Prozedere für die Datenaufnahme unter dem Aspekt der Differenzierung über den z-Wert des Magnetsensors angepasst. Eines der finalen Ziele ist die universelle Anwendung der für diese Arbeit entwickelten Methoden. Somit wurde der Entschluss gefasst, ein bisher noch unbekanntes Smartphone zu kalibrieren, neue Referenzpunkte mit *FinalDestination* aufzunehmen und schlussendlich mit der Applikation *FindMyPosition* eine Evaluierung vorzunehmen.

Zu diesem Zweck wurde das *Honor7* der Marke *Honor* kalibriert und die dafür entsprechenden Referenzpunkte eingemessen. Im Gegensatz zu den bisher mit hohem Aufwand getätigten Messreihen war es mit dem Wissen, dass eine *10 – 25* minütige Aufwärmphase des Sensors notwendig ist, möglich, durch nur eine Messung pro Referenzpunkt die tatsächliche Magnetfeldstärke unabhängig der Tageszeit zu erheben.

Zur Vollständigkeit werden in *Tab.24* die Eckdaten des verwendeten Endgerätes aufgelistet.

Tab. 24 Technische Daten Honor 7

Modell	Honor 7
Veröffentlichung	01. September 2015
Technische Daten	
Digitalkamera	20 megapixel (5152x3888) Sony IMX230
Aktuelles Betriebssystem	Android 4.1.2 „Jelly Bean“
Prozessor	64-bit octa-core 2.2 GHz Kirin 935
RAM	3GB
Weitere Funkverbindungen	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac
	Bluetooth 4.0
	GPS A-GPS und GLONASS
	X

6.4.1. Kalibrierung

Die Kalibrierung verlief relativ unproblematisch. Insgesamt wurden drei Messreihen durchgeführt. Die Schätzungsparameter der Messreihen wiesen eine hohe Ähnlichkeit zueinander auf. Lediglich die Kalibrierungswerte der ersten Messung hatten, vermutlich durch eine zu kurze Warmlaufphase des Sensors, abweichende Werte. Wie schon in **Punkt 5.6** beschrieben zeigt sich, dass die low-cost Sensoren der aktuellsten Smartphones kaum Verzerrungen aufweisen, wodurch eine geringe Abweichung zum Optimalwert „1“ als Beweis für die Genauigkeit des Messverfahrens gesehen werden kann. Nachdem das Ergebnis der Schätzungsparameter im dritten Messdurchlauf in ihrer Abweichung zum Optimum nicht mehr verbessert werden konnten, wurden diese als finalisierende Kalibrierungsparameter herangezogen. (Siehe Tab.25)

Tab. 25 Berechnete Schätzungsparameter zur Kalibrierung des Honor 7

Kalibrierung am Messtisch			
	Kalibrierungswerte Messung1	Kalibrierungswerte Messung2	Kalibrierungswerte Messung3
bx	-6.29699697155646	-2.30128197390505	-2.67205275514681
by	1.85842738159729	0.58734310667699	0.775848255315348
bz	0.366316764669734	0.645220818960892	0.695099260973541
S11	1.02991166630708	0.997943167784815	0.999137524459003
S22	1.05293776666971	1.02327221038087	1.02298200585641
S33	1.0569680990387	1.01206840870483	1.01608293454927

- **Referenzpunktaufnahme**

Nach der Kalibrierung wurden am Institut für Geodäsie der TU Graz (*Steyrergasse 30 / Stock 3*) die bereits unter dem **Punkt 6.2.1.2** vorgestellten Referenzpunkte eingemessen. Dazu wurden wie unter **Punkt 6.1** beschrieben, die Punkte einmal per Hand und einmal per PVC-Rohr eingemessen. Die Messungen fanden zu den üblichen Tageszeiten (*08:00 Uhr / 12:00 Uhr und 18:00 Uhr*) statt.

Nach den Messungen hat sich gezeigt, dass die Präzision beim Aufnehmen der Daten eine große Rolle spielt. Je genauer die Referenzpunkte per Hand im Vorfeld aufgenommen werden, desto geringer auch der Unterschied zwischen den Aufnahmemethoden (*Handmessung / PVC Rohr*). Weiters konnte festgestellt werden, dass sich die Referenzpunkte der *08:00 Uhr* Messungen, der *12:00 Uhr* und *18:00 Uhr* Messungen in einem derart geringen Ausmaß unterscheiden, dass eine Differenzierung der Referenzwerte während der offiziellen Dienstzeiten des Institutes nicht mehr notwendig ist. (*Siehe Tab.26*)

Tab. 26 Tabellarische Auswertung der Referenzpunktmessungen (Ergebnis – Länge des Magnetfeldvektors in μT)

Länge Magnetfeldvektor	Ergebnis Hand 1	Ergebnis PVC Rohr 1	Ergebnis Hand 2	Ergebnis PVC Rohr 2	Ergebnis Hand 3	Ergebnis PVC Rohr 3
P1	45,00836117	45,09195911	43,68663168	45,07295025	47,12806761	48,49169162
P2	45,70805073	45,70769522	44,46478453	46,1534879	48,02912146	50,12538089
P3	52,50053854	51,79157674	52,15281376	52,33112587	55,11917984	55,7716591
P4	51,22954433	50,09798721	50,28138309	50,20011897	53,6717932	53,39765622
P5	57,55365142	55,55544791	56,41979981	55,88860852	59,95853872	58,95571206
P6	55,1495793	52,25307133	53,91743112	52,61419328	57,30857035	55,90713677
P7	48,3578484	45,70187465	47,25491038	46,31679031	51,23512394	49,17295137
P8	45,41069028	43,99870998	44,59888844	44,49832592	48,28979282	48,04034823
P9	54,22348842	53,51567045	54,68748071	53,47412986	58,14116514	57,28737965

6.4.2. Verifizierung Software-Applikationen

Sofern die Leistungsmerkmale den Mindestanforderungen entsprechen (**Autofokus und Magnetfeldsensor**) sollte jedes mit **Android OS** betriebene Smartphone in der Lage sein, die Smartphoneapplikationen **SeonsorLogger**, **LoggingPoints**, **FinalDestination** und **FindMyPosition** anzuwenden. Sowohl das **Samsung Galaxy S4**, das **Samsung Galaxy S3 mini**, das **Google Nexus 5** und das **Honor 7** konnten ohne Probleme mit den entwickelten Apps verwendet werden. Die unterschiedlichen Softwareversionen der einzelnen Smartphones hatten dabei keinen Einfluss auf die fehlerlose Anwendbarkeit. Da durch die Entwicklerumgebung (**Android Studio mittlerweile in der Ausführung 1.5.1**) generell alle Bugs ausgebessert werden konnten, sollte einem einwandfreien Start der Applikationen nichts mehr im Wege stehen.

6.4.3. Verifizierung der Referenzpunkte

Nach Aufnahme der Referenzpunkte galt es deren Genauigkeit zu überprüfen. Dabei wurden die von Hand und die mit dem PVC-Rohr eingemessenen Punkte über die Smartphoneapplikation **FindMyPosition** gesucht. In Summe wurden **10** Durchläufe zur Verifizierung durchgeführt.

Die Anwendung von **FindMyPosition** mit Hilfe des PVC-Rohres ergab eine **100%ige** Trefferquote, wenn gleich bei manchen Referenzpunkten (**durch x gekennzeichnet**) eine Zeitspanne von mehr als **3** Sekunden bis zum korrekten Ergebnis abzuwarten war. In diesem Kontext ist zu erwähnen, dass während dieser Untersuchung statische Bedingungen vorherrschten. Es befanden sich keine anderen Menschen in unmittelbarer Nähe und auch die Bürotüren waren zur Gänze verschlossen. (**Siehe Tab.27**)

Ähnliches ergab sich bei der Untersuchung durch die Handmessungen, jedoch mit dem Unterschied, dass nach ca. **4-5** Durchläufen keiner bzw. nur noch wenige der Referenzpunkte gefunden werden konnten. (**Siehe Tab.28**) Durch das Bemerkens einer Temperaturerhöhung des Smartphones wurden die aktuellen Werte des Magnetfeldsensors überprüft und dabei ein Drift der **z-Achse** festgestellt. (**Siehe Abb.33/34**) Zum Durchführen einer Abkühlphase (**ca. 2-3 min**) wurde das verwendete Smartphone (**Honor 7**) auf einen Tisch mit entsprechender Temperatur

(Raumtemperatur) abgelegt. Danach war es möglich, einzelne Punkte erneut zu finden. Es ist jedoch zu empfehlen, die Problematik der Handabwärme bereits bei Aufnahme der Referenzpunkte zu berücksichtigen, indem nicht nur auf die Warmlaufzeit des Sensors eingegangen wird, sondern auch auf die individuelle Temperaturerhöhung durch die Abwärme der Hand. Aufgrund dieser individuellen Problematik ist keine universelle Lösung möglich.

Tab. 27 Tabellarische Darstellung der Referenzpunkterkennung von FindMyPosition mit Hilfe des PVC-Rohres

Verifizierung der PVC-Rohr Referenzpunkte																		
	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7		M8		M9	
P1	OK																	
P2	OK																	
P3	OK	x																
P4	OK																	
P5	OK																	
P6	OK	x																
P7	OK																	
P8	OK																	
P9	OK	x																

Tab. 28 Tabellarische Darstellung der von Hand eingemessenen Referenzpunktüberprüfung

Verifizierung der per Hand eingemessenen Referenzpunkte																		
	M1		M2		M3		M4		M5		M6		M7		M8		M9	
P1	OK		OK		OK		OK		OK		NF		OK		OK		NF	
P2	OK		OK		OK		OK		NF		NF		NF		NF		NF	
P3	OK	x	OK	x	OK	x	OK	x	NF									
P4	OK		OK		OK		OK		OK		NF		OK		OK		NF	
P5	OK		OK		OK		OK		NF		NF		NF		NF		NF	
P6	OK	x	OK	x	OK	x	OK	x	NF									
P7	OK		OK		OK		OK		NF		NF		NF		NF		NF	
P8	OK		OK		OK		OK		OK		OK		OK		OK		OK	
P9	OK	x	OK	x	OK	x	OK	x	NF									

In Tab.29 wird auf den Drift der z-Achse zwischen der ersten und letzten Messreihe eingegangen. Aus den Aufzeichnungen geht hervor, dass im Laufe der Messreihen ein Drift von $1\mu T$ bis $2\mu T$ stattgefunden hat.

Tab. 29 Tabellarische Darstellung des Drifts der z-Achse zwischen der ersten und sechsten Messperiode

	<i>Toleranzbereich Messreihe 1</i>	<i>Toleranzbereich Messreihe 6</i>	<i>Differenz in [μT]</i>
P1	-39,5 bis -49,5	-38,5 bis -39,0	1,0μT
P2	-36,5 bis -37,5	-34,5 bis -35,5	2,0μT
P3	-44,6 bis -45,9	-44,0 bis -45,2	0,6μT
P4	-45,0 bis -46,0	-43,5 bis -44,5	1,5μT
P5	-51,8 bis -52,8	-51,0 bis -52,0	0,8μT
P6	-48,4 bis -49,4	-47,8 bis -48,5	0,6μT
P7	-42,6 bis -43,6	-41,0 bis -42,0	1,6μT
P8	-36,6 bis -37,6	-36,0 bis -37,0	0,6μT
P9	-45,0 bis -46,1	-44,0 bis -45,0	1,0μT

6.5. Conclusio

Grundlegend diente die durchgeführte Evaluierung der Verifizierung aller bis zu diesem Zeitpunkt getroffenen Entscheidungen. Durch Einsetzen eines bisher noch unbekanntes Smartphones (*Honor 7*) und der Durchführung aller notwendigen Schritte (*Kalibrieren / Einmessen der Referenzpunkte*) konnte die universelle Einsetzbarkeit der entwickelten Smartphoneapplikationen bestätigt werden.

Auch die Kalibrierungsmethode hat im Laufe dieser Arbeit ein Niveau erreicht, das sich durch Abweichungen im Hundertstelbereich als sehr hoch beschreiben lässt. Dies spiegelt sich im Besonderen über die Verzerrungswerte, welche nur minimal vom Optimum abweichen, wieder. Somit ist es möglich auch ein bisher noch nicht bekanntes Smartphone äußerst genau zu kalibrieren.

Mit der Durchführung eines Pretests konnte im Weiteren erkannt werden, dass der Magnetfeldsensor in einem Smartphone, vor der Anwendung, einer Warmlaufphase unterzogen werden muss. Durch diese Phase, welche bis zu **25min** dauern kann, ist es nicht mehr notwendig, multiple Messreihen anzustellen.

Unter Rücksichtnahme der genannten Verbesserungen reduziert sich auch die bisher angenommene Tageszeitabhängigkeit auf lediglich zwei Phasen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass nur noch zwischen, dem Zeitraum von **08:00 Uhr bis 18:00 Uhr** und nach der Dienstzeit unterschieden werden muss.

Die Entscheidung bei Notwendigkeit die Referenzpunkte über die Magnetfeldstärke der **z-Richtung** zu differenzieren stellt sich als sehr hilfreich heraus. Dies bestätigte sich in letzter Instanz durch eine **100%ige** Trefferquote der Referenzpunkte, die über das PVC-Rohr eingemessen wurden. (*Wärmeentwicklung durch Handabwärme nicht miteinbezogen*)

7. Resümee

Die zum heutigen Stand erhältliche Standardhardware bietet dem Entwickler eine Vielzahl an Möglichkeiten der Positionsbestimmung. Sensoren wie **GPS**, **Bluetooth**, **WLAN** oder einfach nur das **GSM Sende- bzw. Empfangsmodul** können für die Bestimmung der eigenen Position herangezogen werden. So auch der Magnetfeldsensor in Verbindung mit dem Magnetfeld der Erde.

Doch kaum ein System kann unabhängig von externen Hilfsmitteln betrieben werden und genau aus diesem Grund wurde besonders auf diese Problematik eingegangen. Mit dem Ziel, seine eigene Position innerhalb eines Gebäudes bestimmen zu können, wurden entsprechende Untersuchungen angestellt.

Durch die Gestaltung eines Strukturplanes wurde versucht, **ein Schritt-für-Schrittkonzept** umzusetzen, welches bei Bedarf durch neue Erkenntnisse oder auftauchende Probleme adaptiert wurde.

Nach Abhandlung aller offenen Fragestellungen und einer abschließenden Verifizierung ist es möglich, eine klare Aussage auf die Fragestellung „*Ist die Positionierung mittels der in einem handelsüblichen Smartphone vorkommenden Sensorik über das Magnetfeld der Erde möglich*“ zu treffen.

Diese Fragestellung kann unter Vorbehalt mit einem **Ja** beantwortet werden. Denn unter Einhaltung der entwickelten Kalibrierungsmethode und dem Filtern des Sensorrauschens, ist die Positionsbestimmung über das Magnetfeld der Erde mittels Smartphone präzise möglich.

Die kommerzielle Einsetzbarkeit dieser Art der Positionsbestimmung ist jedoch zum momentanen Zeitpunkt fraglich.

Die Hauptproblematik liegt in der sehr aufwändigen Kalibrierung der Hardware bzw. Berechnung der Schätzungsparameter für die Verzerrung und den Offset. Gleichzeitig gibt es bei den aktuell verbauten Sensoren keine ausreichende Dokumentation betreffend ihrer Abweichung, wodurch die notwendige Definition der Toleranzen nicht allgemein umgesetzt werden kann.

Somit endet diese Untersuchung mit dem Potential, basierend auf den bisherigen Kenntnissen, eine Weiterentwicklung im Bereich **Routing**, **Beseitigung der Störanfälligkeit** oder **Entwicklung einer kommerziellen Anwendung** umzusetzen.

8. Literatur

- [BADER, K. 1964] BADER, K.: „Das magnetische Störfeld der Serpentine am Südost-Rand der Münchberger Gneismasse und seine Interpretation“: *Dt. Geodät. Komm., Reihe C, Nr. 72*, (1964), S. 69;
- [GART, 2013] GENTILE, C., ALSINDI, N., RAUFELS, R., TEOLIS, C.: „Geolocation Techniques (Principles and Applications)“: Springer Verlag, (2013), S. 138;
- [GUBBINS, D. 2007] GUBBINS, D., HERRERO-BERVERA, E.: „Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism“: Springer Verlag, (2007), S. 1054;
- [KAHMEN, H. 2006] KAHMEN, H.: „Angewandte Geodäsie – Vermessungskunde“: DE Gruyter Verlag, (2006), S. 683;
- [KÜPPER, A. 2005] KÜPPER, A.: „Location-Based Services: Fundamentals and Operation“: Wiley Verlag, (2005), p. 386;
- [HAAK, V. 2003] HAAK, V., MAUS, S., KORTE, M., LÜHR, H.: „Das Erdmagnetfeld – Beobachtung und Überwachung“, *Physik in unserer Zeit – Bd. 34, Nr. 5*, (2003), S 214 – 218;
- [CHANDRA, S. 2010] CHANDRA, S., SRIVASTAVA, S., THENG, Y.: „Evaluating the Role of Trust in Consumer Adoption of Mobile Payment“, *Communications of the Association for Information Systems*, (2010), p. 561-588;
- [OEHME, O. 2004] OEHME, O.: „Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service“, *Shaker Verlag*, (2004), S. 192;
- [RIPKA, P. 2001] RIPKA, P.: „Magnetic Sensors and Magnetometers“: Artech House, (2001), p. 494;
- [WEIDT, M. 2011] WEIDT, M.: „Gehen, Laufen, Springen und weitere Fortbewegungsarten des Menschen“ *Schriftliche Hausarbeit zur ersten Staatsprüfung, Julius Maximilians Universität Würzburg – Fakultät für Physik und Astronomie*, (2011), S. 165;
- [WIENKE, C. 2010] WIENKE, C.: „Indoor Positioning using a Modern Smartphone“ *Bericht, University of New Hampshire*, (2010);

9. Internetliteratur PDF

(überprüft am 19.01.2017)

- [AHMH 2011] ABDULRAHIM, K., HIDE, C., MOORE, T., HILL, C.: „Aiding Indoor Pedestrian Navigation with Building Heading“, (2011)
Link:
<http://www.nottingham.ac.uk/grace/news/newsarchive/aiding-indoor-pedestrian-navigation-with-building-heading.aspx>
- [BAHL, P. 2000] BAHL, P., PADMANABHAN, V.: „RADAR – An In-Building RF-based User Location and Tracking System“: Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (2000)
Link:
<http://research.microsoft.com/en-us/people/padmanab/infocom2000.pdf>
- [CAZAN, I. 2011] CAZAN, I.: „Kalman Filters“, Colby College, ME, USA (2011)
Link:
<http://www.colby.edu/math/program/honorsprojects/2011-Cazan-Honors.pdf>
- [CHIN, 2010] CHINTALAPUDI, K., PADMANABHA, A., IYER, N., VENKATA, N.: „Indoor Localization Without the Pain“, Microsoft GTSC, India (2010)
Link:
<http://research.microsoft.com/pubs/135721/ez-mobicom.pdf>
- [GUBI, K. 2010] GUBI, K.: „RoughMaps: Indoor Positioning using Existing Infrastructure and Symbolic Maps“, Bericht, CHAI Group, School of IT, The University of Sydney, (2010)
Link:
http://sydney.edu.au/engineering/it/~judy/Homeec/Theses/2010_Gubi.pdf
- [HONK, 2009] HONKAVIRTA, V., PERALA, T. ALILOYTTY, S., PICHE, R.: „A Comparative Survey of WLAN Location Fingerprinting Methods“, 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (2009)
Link:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4907834&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4907834
- [OSCHATZ, H 2011] OSCHATZ, H.: „Indoorpositionierung mittels Smartphone“, Trends in mobilen und verteilten Systemen (2011)
Link:
http://www.mobile.ifi.uni-muenchen.de/studium_lehre/verg_semester/ss11/hs/tims7.pdf
- [KAWAJI, H. et al] KAWAJI, H., HATADA, K., YAMASAKI, T., AIZAWA, K.: „Image-based Indoor Positioning Systems: Fast Image Matching Omnidirectional Panoramic images“
Link:
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1878041>
- [KING et al, 2006] KING, T., KOPF, S., HAESELMANN, T., LUBBERGERAND, C., EFFELSBURG, W., „COMPASS: A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802.11 and Digital Compasses“, First ACM International Workshop on Wireless Network Testbeds, WINTECH, (2006)
Link:
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1160995>

- [LOPEZ, C. 2013] LOPEZ, C.: „Studie zur Smartphone-Nutzung und ihren Einsatzorten“. Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) (2013)
Link:
http://www.bvdw.org/presseserver/bvdw_tns_mobile_landscape/BVDW_TNS_mobileclub_einsatzorte.pdf
- [MARTIN, E. 2010] MARTIN, E., VINYALS, O., FRIEDLAND, G., BAJICSY, R.: „Precision Indoor-Localization using Smart Phones“ (2010)
Link:
<http://www.icsi.berkeley.edu/pubs/speech/preciseindoor10.pdf>
- [NFC1 2014] PRINZ, A.: „Interaction Design Patterns für NFC-basierte Electronic Data Capture Anwendungen“, Dissertation Universität Kassel (2014)
Link:
<http://prinz-publishing.de/wp-content/uploads/2014/08/978-3-98168-750-7.pdf>
- [NFC7 2013] JANDEBEUR, J., CHO, J., LEE, S.E., SCHAEUFELE, A.: „SWOT Analysis of Near Field Communication Technology“, Colorado State University (2013)
Link:
<http://www.aabri.com/NO2013Manuscripts/NO13069.pdf>
- [RENAUDIN et al. 2010] RENAUDIN, V., AFZAL, H., LACHAPELLE, G.: „Complete Triaxis Magnetometer Calibration in the Magnetic Domain“, Research Article (2010)
Link:
<http://www.hindawi.com/journals/js/2010/967245/>
- [SERRA et al 2010] SERRA, A., CARBONI, D., MAROTTO, V.: „Indoor Pedestrian Navigation System Using a Modern Smartphone“, Bericht (2010)
Link:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.188.7478&rep=rep1&type=pdf>
- [SWARM 2005] FLECHTNER, F., SCHMIDT, R., ROTHACHER, M., WICKERT, J., LÜHR, H.: „CHAMP und GRACE – erfolgreiche Schwerefeld- und Klimamissionen“, Geo Forschungszentrum Potsdam, Zweijahresbericht (2004/2005)
Link:
http://bib.gfz-potsdam.de/pub/2jb/gfz_04_05_053-062_k.pdf

10. Internetlinks

(überprüft am 19.01.2017)

[ANDROID]	https://developer.android.com/sdk/installing/index.html?pkg=adt
[ANDROID1]	http://developer.android.com/reference/android/hardware/Sensor.html#TYPE_ACCELEROMETER
[ANDROID2]	https://developer.android.com/guide/index.html
[ANDROID3]	http://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion.html
[AR1]	http://360.here.com/2012/06/12/augmented-reality-seeing-the-real-world-in-a-new-way/
[BMDE]	http://www.weltderphysik.de/gebiet/planeten/erde/sonnenwind/
[BS]	http://www.smartdroid.de/so-funktioniert-ein-beschleunigungssensor-im-smartphone-video/
[BITKOM1]	https://www.bitkom.org/Marktdaten/Marktdaten/index-2.jsp
[BITKOM2]	http://www.springerprofessional.de/bitkom-studie-smartphone-navigation-immer-beliebter/4690294.html
[BVDW2]	http://www.bvdw.org/presse/news/article/routenplanung-und-navigation-am-weitesten-verbreitet-beim-einsatz-mobiler-datendienste.html
[CHEMIE 2017]	http://www.chemie.de/lexikon/Gau%C3%9F_%28Einheit%29.html
[COMPETE]	http://www.areamobile.de/news/11401-studie-smartphone-navigation-loest-navigationsgeraete-ab#Kommentar
[DIPOL]	http://www.google.at/imgres?imgurl=&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.vitatec.com%2Fgrundlagen%2Feinflusserdmagnetfeld&h=0&w=0&tbnid=P22i85XFdBf9SM&zoom=1&tbnh=193&tbnw=260&docid=Lh8e8p6DX6zwwM&tbnm=isch&client=safari&ei=l0k0VK2EDoLMO4jMgMgN&ved=0CAQQsCUoAA
[DIPOL1]	http://www.chemie.de/lexikon/Erdmagnetfeld.html
[GLATZMEIER]	https://the-geophysicist.com/480px-glatzmeier_h
[GOOGLE 1]	http://www.hausjournal.net/pflastersteine-preise
[GIMBAL LOCK]	http://claimcare.co.kr/bbs/board.php?bo_table=claim_request&wr_id=8504&page=58
[HALLBOOK]	http://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=47847
[IKL]	http://www.beobachter.ch/natur/flora-fauna/tierwelt/artikel/orientierung_der-innere-kompass/#
[KAMERA]	http://www.sony-semicon.co.jp/products_en/index.html
[MAGNETISMUS]	https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/magnetismus-geheimnisvolle-stoffeigenschaft
[MAGNETIC S1]	http://download.yamaha.com/api/asset/file/?language=ja&site=jp.yamaha.com&asset_id=52799
[MAGNETIC S2]	http://www.akm.com/akm/jp/

[MAGNETIC S2]	http://www.alps.com/e/news_release/2011/0526_01.html
[MEDIAMARKT]	http://www.mediamarkt.at
[NFC2]	https://www.broadcom.com/products/wireless-connectivity/
[NFC3]	https://www.ipc.on.ca/about-us/guidance-documents/
[NFC4]	http://www.atelier.net/en/trends/articles/tagstand-lets-users-and-businesses-program-their-own-nfc-stickers
[NFC5]	http://www.nachrichten.at/nachrichten/wirtschaft/wirtschaftsraumooe-/Das-Smartphone-wird-in-LinzzurBankomatkarte;art467,1866836
[NFC6]	http://k-tai.impress.co.jp/docs/interview/20121128_575639.html
[OPERA]	https://dev.opera.com/articles/w3c-device-orientation-api
[QR-CODE]	http://www.qrcode.com/en/
[SENSOR1]	http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050
[SENSOR2]	http://www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM89/SC1448/PF252427
[SENSOR3]	http://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/
[SPITZER]	https://schulesocialmedia.com/2012/08/22/rezension-manfred-spitzer-digitale-demenz/
[STATISTA]	http://de.statista.com/themen/581/smartphones/
[STATISTA1]	http://de.statista.com/statistik/daten/studie/182363/umfrage/prognostizierte-marktanteile-bei-smartphone-betriebssystemen/
[STATISTIK-T1]	http://www.statistik.at/web_de/statistiken/informationsgesellschaft/ikt-einsatz_in_haushalten/022210.html
[STS]	http://diepresse.com/home/science/1514574/Keine-Gefahr_Sonnensturm-naehert-sich-der-Erde
[TU GRAZ]	https://online.tugraz.at/tug_online/webnav.ini
[UCY]	http://www2.ucy.ac.cy/~laoudias/pages/penek/description.html
[UNITY-3D]	http://unity3d.com/unity/download
[VUFORIA]	https://developer.vuforia.com
[ZAMG]	http://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetter-oesterreich/wien