

## Untersuchung der Normierbarkeit der WLAN-Empfangsleistung mobiler Endgeräte

### Projektleiter

Prof. Dr. Uwe Großmann

### Forschungsschwerpunkt

Mobile Business  
Mobile Systems

### Zeitraum

2004 – 2008

### Mitarbeiter

Dipl.-Inform.  
Markus Schauch  
Cand. Oec.  
Sebastian Gail

### Förderung

Bundesministerium für  
Bildung und Forschung:  
Anwendungsorientierte  
Forschung und  
Entwicklung an  
Fachhochschulen  
(aFuE) - Verbundprojekt

### Kontakt

Prof. Dr. Uwe Großmann  
Fachbereich Wirtschaft  
Fachhochschule  
Dortmund  
Emil-Figge-Straße 44  
44227 Dortmund  
Tel.: (0231) 755-4943  
E-Mail: uwe.grossmann  
@fh-dortmund.de

### Einleitung

Mobile Endgeräte werden immer leistungsfähiger und halten flächendeckend Einzug in die tägliche Arbeitsumgebung. Personal Digital Assistant (PDA), Smartphone, Webpad, MP3- und Multimedia-Player, Tablet-PC, aber auch Navigationssysteme haben sich zu einem zuverlässigen Partner der persönlichen Kommunikation und Informationsverarbeitung entwickelt. Der massive Ausbau kabelloser Netzwerke, wie WLAN, UMTS, Bluetooth oder satellitengestützte Kommunikation, ist eine wesentliche Komponente dieser Entwicklung. Neue Forschungsprojekte jenseits dieser Netzwerktechnologien behandeln die Produktion und Bereitstellung von multimedial aufbereiteten mobilen Inhalten und die Entwicklung völlig neuer Branchenanwendungen, die in Zusammenhang mit der Positions- und Kontextbestimmung der Endgeräte einen komplexitätsreduzierten, orts- und situationsbezogenen Informationskanal ermöglichen. Während die Positionsbestimmung im Outdoor-Bereich durch das Global Positioning System (GPS) eine etablierte Lösung darstellt, ist die Ortung für den Indoor-Bereich immer noch eine Problemzone. Da GPS innerhalb von Gebäuden nicht genutzt werden kann, kommen hier andere Verfahren zum Einsatz.

Eines dieser Verfahren ist die Positionsbestimmung innerhalb einer WLAN-Infrastruktur. Dabei werden vorhandene drahtlose Netzwerkstrukturen und Signalausbreitungen als Basis für die Ortung genutzt. Die Güte dieses Verfahrens hängt dabei von zahlreichen Faktoren ab. So können zum Beispiel Hindernisse, welche die Signalausbreitung einschränken oder Signalreflexionen bewirken (z.B. Wände mit großer Dichte, Menschen, Kunstobjekte in Museen), zu starken Fehlinterpretationen führen. Methoden, die die Signalstärkemessung in IEEE 802.11 WLAN-Netzwerken zur Grundlage haben und so genannten Fingerprints auf Basis des Received-Signal-Strength-Index (RSSI) verwenden, werden derzeit im Hinblick auf die Genauigkeit optimiert. Hier kommt es vor allem darauf an, geeignete Ähnlichkeitsmaße zu finden, über die sich aktuelle Signalstärkemessungen mit vorab ermittelten Kalibrierungsdaten vergleichen lassen. Es werden auch Methoden eingesetzt, die die statistische Verteilung der gemessenen Signalstärkewerte an einem bestimmten Ort berücksichtigen [3]. Ein weiteres Verfahren ist die Isoline-Methode [2], bei der auf die Position mittels Interpolation geschlossen wird.

### Problembeschreibung

Neben dem möglichen Problem einer Beeinträchtigung der Signalausbreitung durch Hindernisse

und Reflexionen, spielt auch die Empfangsleistung der in den mobilen Endgeräten integrierten WLAN-Adapter eine gewichtige Rolle für die Qualität der Positionsbestimmung. So ist es derzeit notwendig, für unterschiedliche mobile Endgeräte jeweils separate Fingerprint- bzw. Kalibrierungsmessungen durchzuführen, da die Niveaus der empfangenen Signalstärke-Indizes sehr unterschiedlich sein können.

Um den Kalibrierungsaufwand zur Nutzung verschiedener mobiler Endgeräte zu minimieren, soll versucht werden, die Empfangsleistungen der Endgeräte zu normieren. Damit sollte es dann möglich sein, die mit einem spezifischen mobilen Endgerät erhobenen Fingerprint- bzw. Kalibrierungsmessungen auch für die Positionsbestimmung weiterer Endgerätemodelle zu nutzen. Somit würde die Mehrfach-Kalibrierung entfallen. Im Folgenden wird ein Normierungsansatz auf Grundlage der Regressionsanalyse vorgestellt.

### Testumgebung

Um Aussagen über die Normierbarkeit der Empfangsleistungen zu treffen, wurden im Rahmen von Testmessungen die Empfangsleistungen verschiedener mobiler Endgeräte untersucht. Für die Testmessungen wurde eine Testumgebung in einem leerstehenden Hörsaal (ca. 15 Meter x 7 Meter) aufgebaut. In den Ecken des Raumes wurden 4 identische und gleich konfigurierte Access Points der Firma Lancom in Deckenhöhe positioniert. Auf dem Boden wurde ein Messpunkttraster mit 1 Meter Abstand aufgetragen. An den so insgesamt 66 Messpunkten wurden dann für 15 Sekunden pro Ausrichtung (0, 90, 180, 270 Grad) die empfangenen Signalstärke-Indizes der 4 Access Points aufgezeichnet. Die Ausrichtung bedeutet in diesem Zusammenhang die Orientierung einer Person und folglich des PDA im Raum. Innerhalb unserer Testumgebung ist zum Beispiel die 0 Grad Ausrichtung diejenige, bei der die Person in Richtung der rechten Wand (siehe Abb. 1) blickt.

Die Messreihen wurden mit folgenden mobilen Endgeräten durchgeführt:

- PDA Dell Axim x50v
- PDA Hewlett Packard hx4700
- PDA Fujitsu Siemens PocketLoox 720
- Smartphone T-Mobile MDA 3

Für die Erhebung der Messwerte kam ein für dieses Vorhaben entwickeltes Tool zum Einsatz [4]. Insgesamt wurden bei diesen Messungen ca. 64.000 Messwerte erhoben und für die weitere Auswertung in eine Datenbank überführt.

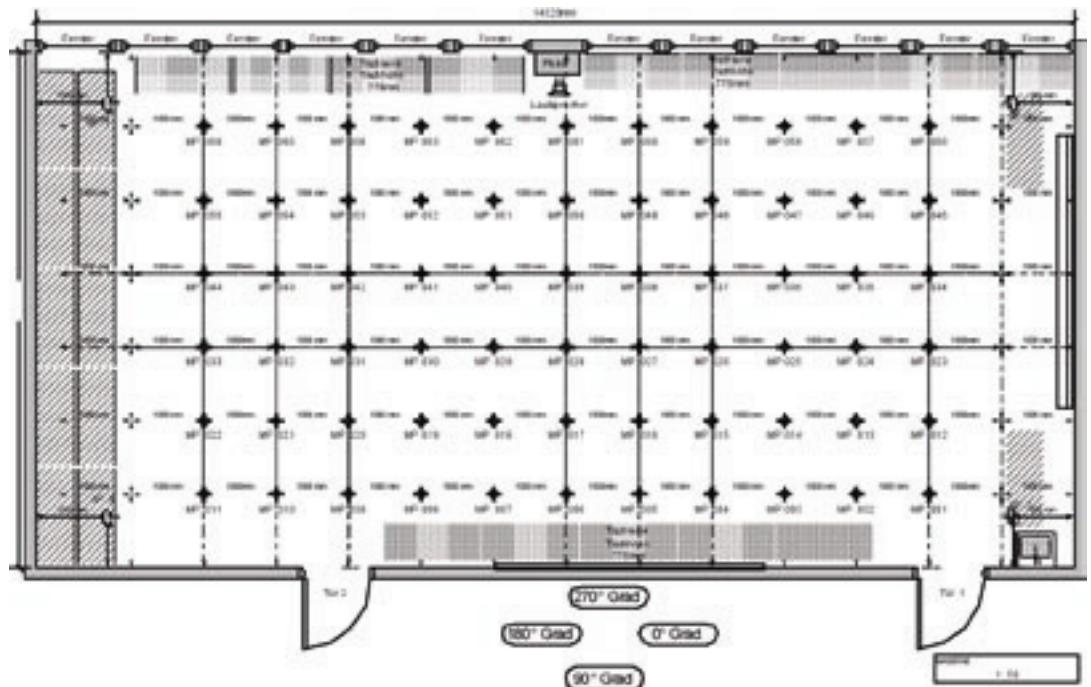


Abb. 1: Aufbau der Testumgebung

### Auswertung der Empfangsleistung

In einem ersten Schritt wurden die Empfangsleistungen der einzelnen Endgeräte untersucht. Dazu wurde jeweils der Mittelwert der über 15 Sekunden aufgezeichneten Signalstärke-Indizes für jede Messpunkt/Access-Point/Ausrichtung-Kombination berechnet. Diese Werte wurden dann in Radiomaps überführt, welche die Signalausbreitung in der Testumgebung visualisieren. In Abbildung 2 sind diese exemplarisch für den Access Point 1 (Position oben rechts) und die Ausrichtung 0 Grad dargestellt.

An Hand der Visualisierung mittels Radiomaps kann bereits ein signifikanter Unterschied zwischen den Empfangsleistungen der einzelnen Endgeräte identifiziert werden. So empfangen der Dell und der HP die von den Access Points ausgestrahlten Signale mit der besten Qualität, gefolgt vom MDA 3 und dem Fujitsu Modell. Des Weiteren ist eine ungleichmäßige Ausbreitung der Signale erkennbar. So gibt es zahlreiche Positionen, an denen das Signal entweder sprunghaft besser oder schlechter wird. Diese Veränderungen resultieren aus Reflektionen bzw. Signalabschattungen.

Die beobachteten signifikanten Unterschiede in der Empfangsleistung der mobilen Endgeräte können mehrere Ursachen haben. Da die Mes-

sungen durch eine Person durchgeführt wurden, kann es durch unterschiedliche Körperhaltungen, nicht einhundertprozentige exakte Ausrichtung und/oder Ungenauigkeit bei der Positionierung auf einen Messpunkt zu Abweichungen führen. Allerdings muss erwähnt werden, dass der Messvorgang anhand fester Vorgaben durchgeführt wurde. So gab es Richtlinien hinsichtlich der Körperhaltung und Positionierung des PDA. Da die Messungen nur durch eine Person durchgeführt wurden, kann somit die Körperhaltung als alleinige Ursache für die teils gravierenden Abweichungen ausgeschlossen werden. Vielmehr sollte die in den Endgeräten verwendete WLAN-Hardware und das entsprechende Antennenlayout als Einflussfaktor für die Abweichungen berücksichtigt werden.

### Normierung der Empfangsleistungen

Um eine Normierung bzw. Anpassung der Empfangsleistungen der einzelnen Endgeräte durchzuführen, bietet sich die Regressionsanalyse [1] an. Dabei wird die lineare Abhängigkeit zwischen einer metrisch skalierten abhängigen Variablen und einer oder mehreren metrisch skalierten unabhängigen Variablen untersucht.

In unserem Fall stellen die erhobenen Messwerte des Dell PDA die abhängigen Variablen dar. Der

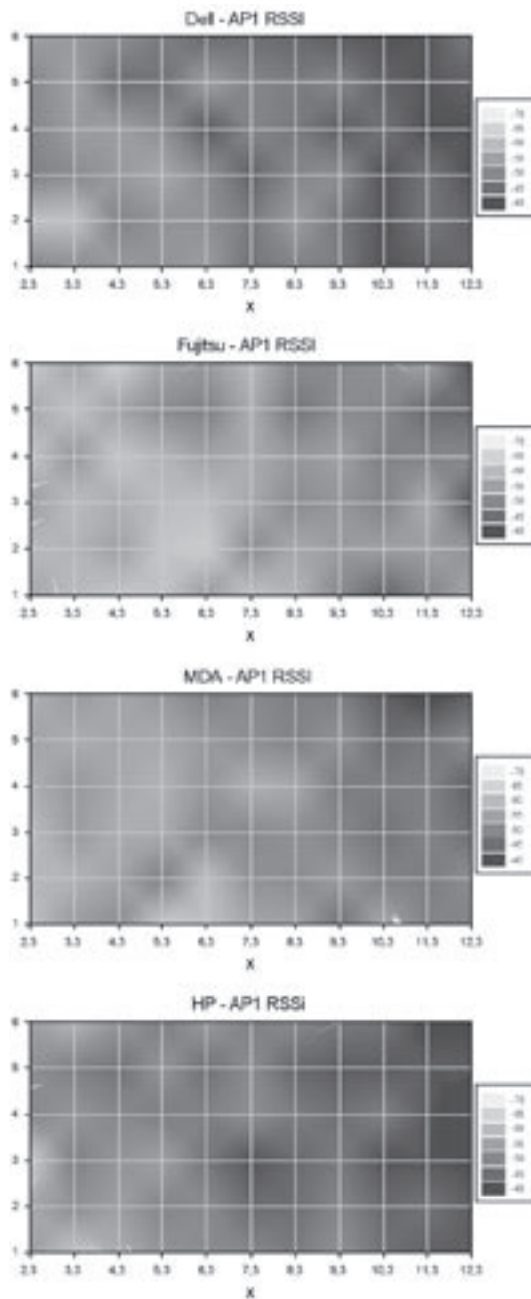


Abb. 2: Radiomaps der einzelnen Endgeräte

Dell PDA wurde hierfür ausgewählt, da er die konsistentesten Messergebnisse aller Endgeräte

über alle Messreihen geliefert hat. Die unabhängigen Variablen stellen die Messwerte der anderen PDA dar. Für jede Kombination der unabhängigen und abhängigen Variablen (Fujitsu-Dell, HP-Dell, MDA-Dell) wurden separate Regressionsanalysen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden diesbezüglich zu jedem Messpunkt die Mittelwerte der

empfangenen Signalstärke-Indizes jedes Access Points berechnet (siehe Tabelle 1).

AP	Messpunkt	Dell	Fujitsu	HP	MDA3
AP1	MP 001	-46,23	-54,97	-44,95	-49,70
AP1	MP 002	-43,60	-49,38	-42,82	-49,12
...					
AP2	MP 001	-49,95	-52,60	-45,75	-52,05
AP2	MP 002	-50,35	-55,72	-50,00	-53,15
...					
AP3	MP 001	-58,35	-61,78	-56,53	-61,68
AP3	MP 002	-55,47	-61,63	-54,43	-63,27
...					
AP4	MP 001	-57,87	-63,42	-59,63	-63,90
AP4	MP 002	-56,53	-65,58	-58,48	-65,43
...					

Tabelle 1: Basistabelle für die Regressionsanalyse

Die so aufbereiteten Daten wurden in ein Punkt-Diagramm übertragen, in dem die jeweiligen Signalstärke-Indizes des HP, Fujitsu und MDA (unabhängige Variablen) auf der x-Achse gegen die Signalstärke-Indizes des Dell (abhängige Variable) auf der y-Achse eingetragen wurden. Dargestellt wird dies in Abbildung 3.

Die anschließende Regressionsanalyse wurde mit Microsoft Excel durchgeführt. Diese ermittelt neben den linearen Schätzfunktionen auch die Güte bzw. Qualität der Schätzung und des linearen Zusammenhangs. Der Korrelationskoeffizient stellt dabei ein dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen den ermittelten Signalstärke-Indizes dar. Bei einem Wert von +1 (bzw. -1) besteht ein vollständig positiver (bzw. negativer) linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen. Wenn der Korrelationskoeffizient den Wert 0 aufweist, hängen die beiden Merkmale überhaupt nicht linear voneinander ab.

Die Güte der Schätzfunktionen lässt sich mittels des zugehörigen Bestimmtheitsmaßes bewerten.

Je größer diese Maßzahl ist, desto genauer wird mittels der Schätzfunktion ausgehend von den Signalstärke-Indizes des PDA auf die Signalstärke-Indizes des Dell geschlossen. Dargestellt sind die Ergebnisse in Tabelle 2. Die ermittelten Schätzfunktionen sind als Graphen in Abbildung 3 einge-

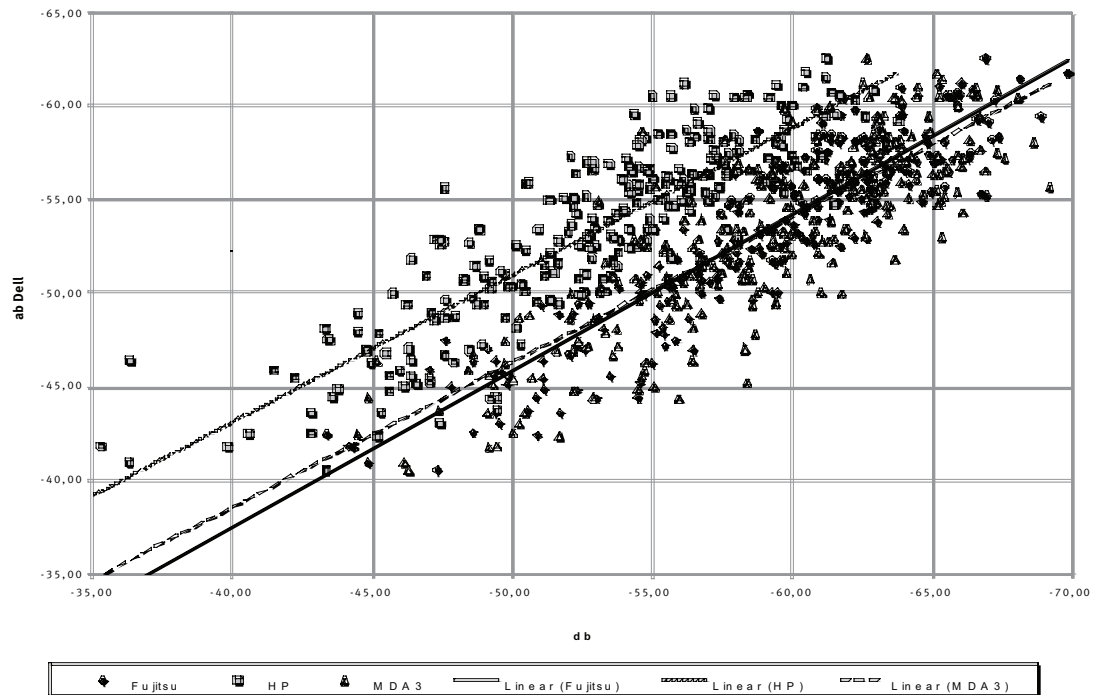


Abb. 3: Punkt-Diagramm der Signalstärke-Indizes

PDA	Korrelationskoeffizient	Schätzfunktion	Bestimmtheitsmaß
Fujitsu	0,903621445	$y = 0,834x - 4,164$	0,816531716
HP	0,867743798	$y = 0,787x - 11,648$	0,752979299
MDA	0,825210611	$y = 0,774x - 7,612$	0,680972554

Tabelle 2: Korrelationskoeffizient, Schätzfunktion, Bestimmtheitsmaß

tragen. Nachfolgend verstehen wir die Schätzfunktion als die Normierungsfunktion, mit deren Hilfe wir die Empfangsleistungen des HP, Fujitsu und MDA auf das Niveau des Dell-PDA angleichen.

Basierend auf der Auswertung der Korrelationskoeffizienten, kann bei allen PDA in Bezug auf die Signalstärke-Indizes des Dells ein hoher, positiver linearer Zusammenhang festgestellt werden. Dieser ist mit ca. 0,9 beim Fujitsu PDA am deutlichsten ausgeprägt. Danach folgt der HP mit einem Korrelationskoeffizienten von ca. 0,86 und zuletzt der MDA mit einem Korrelationskoeffizienten von ca. 0,82.

Analysiert man das Bestimmtheitsmaß, so ist dies auf Grund der Abhängigkeit zum Korrelationskoeffizienten auch beim Fujitsu am höchsten. Konkret

stehen die ca. 81% für den Anteil der erklärten Varianz eines Zusammenhangs. Die Streuung der Signalstärke-Indizes des Fujitsu wird also zu 81% durch die lineare Abhängigkeit erklärt. Beim HP erklärt die lineare Abhängigkeit 75% und beim MDA 68% der Streuung. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Signalstärkestreuungen zu 20% beim Fujitsu, zu 25% beim HP und zu 32% beim MDA unerklärt bleiben, also mittels linearer Ansätze nicht ausreichend gut abgebildet werden können.

### Bewertung und Fazit

Vergleicht man die einzelnen mobilen Endgeräte hinsichtlich ihrer Empfangsleistungen, so lässt sich trotz der signifikanten Unterschiede ein ausgeprägter linearer Zusammenhang zwischen den Empfangsleistungen der Modellen feststellen. Die einzelnen Korrelationskoeffizienten, die jeweils für die Kombinationen Fujitsu-Dell, HP-Dell und MDA-Dell berechnet wurden, ergeben Werte von 0,9 beim Fujitsu, 0,86 beim HP und 0,82 beim MDA und lassen auf einen hohen, positiven linearen Zusammenhang schließen. Berichtet wurde über diese Ergebnisse in [5].

Die Beurteilung der Qualität der ermittelten Normierungsfunktion anhand des Bestimm-

heitsmaßes ergibt durch den Zusammenhang mit dem Korrelationskoeffizienten ein vergleichbares Ergebnis. Die Streuung der Signalstärke-Indizes des Fujitsu wird zu 81%, beim HP zu 75% und beim MDA zu 68% durch die lineare Abhängigkeit mittels der Normierungsfunktion erklärt.

Der Einfluss der Normierungsfunktionen auf die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist derzeit Gegenstand weiterer Messungen. Hier ist insbesondere der Einfluss der Signalstärke-Index-Streuung auf die Positionierungsgenauigkeit zu untersuchen.

#### **Literatur und Quellen**

- [1] Chatterjee, Price; Praxis der Regressionsanalyse, Oldenbourg, 1995;
- [2] Grossmann, U.; Röhrig, C.; Hakobyan, S.; Domin, T.; Dalhaus, M.: WLAN indoor positioning based on Euclidian distance and interpolation (isobars), Wireless Technologies (Hrsg. Wollert, Jörg), Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10 Nr. 772, Dortmund, 27-28 September 2006, S.296-305

- [3] Ladd, A. M.; Bekris, K. E.; Rudys, A.; Kavradi, L. E.; Wallach, D. S.: Robotics-based location sensing using wireless Ethernet, Wireless Networks, vol 11, no 1 - 2, pp. 189 - 204, 2005
- [4] L'hoest, A.: „Entwicklung mobiler Anwendungen mit Microsoft.NET“, Projektarbeit, FH Dortmund, 2005,
- [5] Schauch, M., Großmann, U., Gail, S.: Untersuchung der Normierbarkeit der WLAN-Empfangsleistung mobiler Endgeräte, In: Wireless Technology 2007 (Hrsg. Wollert, J.), Akademische Verlagsgesellschaft Aka GmbH, Berlin, 2007, pp 54-60