

Geryon
intern

Autor **stephan.brumme**
Erstellungsdatum **05.11.2002 13:54**

Bezugsdokument
Anzahl Seiten **10**
Status **Entwurf**
Angesehen von

Das Walfish-Ikegami-Modell

History:

Name	Datum und Zeit	Veränderung
Stephan Brumme	06.11.2002, 16:00	Erste Fassung
Stephan Brumme	07.11.2002, 11:00	Ergänzende Illustrationen

Bemerkungen:

Name	Datum und Zeit	Bemerkung

1. Einführung

Mit der Installation von Mobilfunk-Sendeanlagen sind hohe Kosten verbunden. Aus diesem Grunde ist es wünschenswert, bereits während der Planung solcher Anlagen die resultierende Netzabdeckung bestimmen zu können.

Mehrere Wellenausbreitungsmodelle nehmen sich dieser Problematik an. Sie versuchen entweder deterministisch mit physikalisch-basierten Ansätzen eine Vorhersage zu treffen oder beruhen auf empirischen Erkenntnissen. In die erste Kategorie fallen abgewandelte Raytracing-Algorithmen, die wellenphysikalische Gesetzmäßigkeiten nutzen und daher sehr realistische Ergebnisse liefern können. Leider besitzen sie eine hohe Laufzeitkomplexität und kommen daher kaum zum Einsatz. Die empirischen Modelle sind in der Regel sehr schnell und reagieren weniger sensibel auf Ungenauigkeiten in der modellierten Umwelt. Allerdings ist ihr Einsatzgebiet recht beschränkt: sie sind meist auf urbane Regionen ausgerichtet, bei anderen Szenarien scheitern sie.

Unser Bachelorprojekt **Geryon** erfordert eine schnelle Berechnung der Ausbreitung von Mobilfunkwellen in einem Stadtmodell. Die Trägerfrequenz liegt in der Regel bei 900 MHz (GSM), 1800 MHz (GSM) oder 2000 MHz (UMTS). Es ist nur ein Sender zu beachten, Interferenzeffekte scheidet damit aus.

Alle untersuchten Verfahren können nur Ergebnisse in der Qualität liefern, in der uns die verwendeten Szenarien vorliegen. Aufgrund des Datenvolumens, des Vermessungsaufwands und der vielen Änderungen in der Bausubstanz bestehen starke qualitative Einschränkungen in Hinblick auf die uns bereitgestellten Stadtmodelle. Dort werden auch keine elektromagnetischen Einflüsse (Stromleitungen), biologische Faktoren (Bewuchs) und zeitliche Parameter (Aufenthalt der Menschen im Tagesverlauf) berücksichtigt.

Unsere Entscheidung fiel zugunsten des empirischen Walfish-Ikegami-Modells aus. Die verwendeten Formeln und Algorithmen sind verhältnismäßig einfach zu berechnen und daher schnell. Außerdem integriert das Programm Pegasos^[1] der T-Mobile Deutschland GmbH dieses Verfahren^[2], so dass ein guter Vergleich mit bereits existierenden Ergebnissen möglich ist.

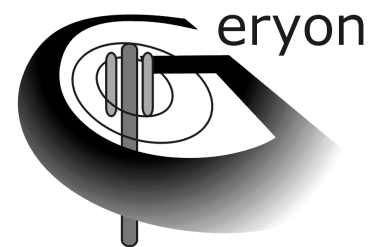


Abbildung 1: **Geryon-Logo**

2. Konzepte des Walfish-Ikegami-Modells

Das Walfish-Ikegami-Modell stellt ein approximatives Verfahren zur Berechnung von Funkwellenpfadverlusten in bebauten Gebieten dar. Es ist Bestandteil von COST231 (European COoperation in the field of Scientific and Technical research 231: Evolution of Land Mobile Radio Including Personal Communication). Die Ergebnisse dieses von 1989 bis 1996 europaweit durchgeführten Forschungsvorhabens^[6,7] werden häufig in Wissenschaft und Industrie bei der Untersuchung von Mobilfunknetzen verwendet.

Die Idee beruht darauf, dass der überwiegende Teil der Funkwellen über die Hausdächer in die Straßen hinein diffraktiert wird (over-roof propagation)^[2,3,4,5].

Das Ergebnis der Berechnung ist stets ein positiver Wert in Dezibel, der angibt, wie hoch der Verlust einer Funkwelle entlang eines Pfades ist. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Direkte Sichtverbindung (LOS – „Line Of Sight“):
 - Die Funkwelle gelangt auf direktem Wege vom Sender zum Empfänger
 - Es brauchen keine Reflexionen und Diffraktionen (Beugungen) betrachtet werden
 - Dämpfung der Funkwelle durch Partikel in der Luft

2. Keine direkte Sichtverbindung (NLOS – „No Line Of Sight“):
 - Es ist min. ein Hindernis zwischen Sender und Empfänger
 - Hindernisse erhöhen Dämpfung enorm
 - Starker Einfluss von Reflexionen und Diffraktionen
 - Ebenfalls Dämpfung der Funkwelle durch Partikel in der Luft

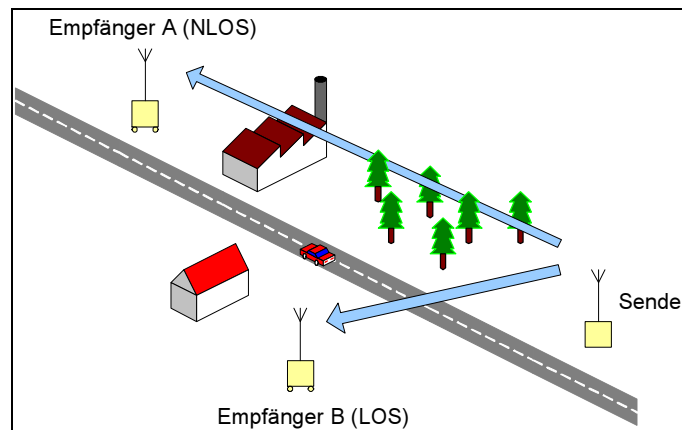


Abbildung 2: Unterscheidung LOS / NLOS

Die Parameter des Walfish-Ikegami-Modell unterliegen einigen Einschränkungen:

Parameter	Wertebereich
Trägerfrequenz	$f = 800 \text{ MHz} \dots 2000 \text{ MHz}$
Höhe des Senders	$h_b = 4 \text{ m} \dots 50 \text{ m}$
Höhe des Empfängers	$h_m = 1 \text{ m} \dots 5 \text{ m}$
Entfernung Sender/Empfänger	$d = 0,010 \text{ km} \dots 5 \text{ km}$

Tabelle 1: Basisparameter für das Walfish-Ikegami-Modell

Diese Werte bewegen sich im Rahmen unserer Anforderungen. Lediglich die maximale Höhe des Empfängers könnte kritisch werden, da wir auch eine Berechnung der Häuserwände durchführen wollen und diese meist 5 m deutlich übersteigen.

Es ist zu beachten, dass alle Längenangaben in Metern erfolgen, lediglich der Abstand d muss immer in Kilometern betrachtet werden.

Das Dezibel gibt das Verhältnis zweier Größen an und ist daher ohne Dimension. Als Faustregel gilt, dass etwa 3 dB einer Verdopplung^[8] entsprechen.

3. Line Of Sight

Bei direkter Sichtverbindung kann der Pfadverlust L_{LOS} sehr einfach berechnet werden:

$$L_{LOS} = 42,6 + 20 \cdot \log_{10} f + 26 \cdot \log_{10} d \quad (1)$$

Zu beachten sind die verwendeten Einheiten: die Frequenz f muss in Megahertz vorliegen, für den Abstand d kommt die Einheit Kilometer zum Zuge.

Beispiel für L_{Los} : In 0,5 km Entfernung erhält man bei 900 MHz (GSM) einen Pfadverlust von 93,8 dB.

4. No Line Of Sight

Dieser Teil ist der eigentliche Kern des Walfish-Ikegami-Modells. Die Strahlenausbreitung in urbanen Gebieten zeichnet sich aus durch eine Ausbreitung der Wellen über die Dächer und eine horizontale Beugung in die Straßen.

4.1 Parameter

Als Berechnungsgrundlage dient eine zum Boden vertikal orientierte Schnittebene, die Sender und Empfänger enthält.

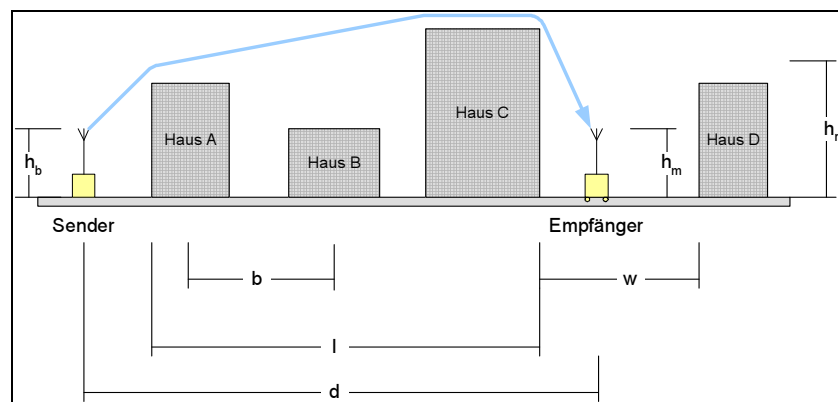


Abbildung 3: Wellenausbreitung über Dächer

Der vertikale Schnitt in Abbildung 3 verdeutlicht, dass eine Beugung (Diffraktion) der Wellen an mehreren Dachkanten erfolgt. Um diese Phänomene erfassen zu können, sind zusätzlich zu d , h_b , h_m und f weitere Parameter notwendig:

Parameter	Einheit
Durchschnittliche Gebäudehöhe	h_r (in m)
Breite der Straße, in der sich der Empfänger befindet	w (in m)
Mittlerer Abstand der Gebäudemittelpunkte	b (in m)
Strecke, die die Wellen über Dächern zurücklegen	l (in km)

Tabelle 2: Zusätzliche Parameter für NLOS, I

Reflexionen an den Hauswänden der Straße, in der der Empfänger sich aufhält, sind ebenfalls von Bedeutung. Aus diesem Grunde muss man den Winkel zwischen dem Wellenpfad und der Straße berücksichtigen. Dieser liegt stets zwischen 0° und 90°, in Abbildung 4 sind es in etwa 20°.

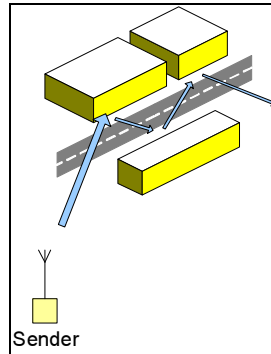


Abbildung 4: Wellenreflexion entlang von Straßen

Für eine genauere Justierung des empirisch-basierten Walfish-Ikegami-Modells unterscheidet man zwischen kleinen bis mittleren Städten und großen Metropolen. Somit erweitert sich Tabelle 2 um zwei neue Parameter:

Parameter	Wertebereich
Winkel zwischen Wellenpfad und Straßenachse	ϕ ($0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$)
Besiedlungsdichte	{ kleine/mittlere Stadt; große Metropole }

Tabelle 3: Zusätzliche Parameter für NLOS, II

4.2 Formelwerk

4.2.1 Allgemein

Im Walfish-Ikegami-Modell berechnet sich der Pfadverlust L als Summe der Freiraumdämpfung L_{fs} , der Abschlussdämpfung L_{rts} und der Dämpfung über Dächern L_{msd} .

$$L = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{msd} & L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{fs} & L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

4.2.2 Freiraumdämpfung (free-space loss)

Ähnlich dem Line-Of-Sight-Fall gibt es auch bei No-Line-Of-Sight eine Freiraumdämpfung L_{fs} , die lediglich von der Trägerfrequenz f und der Entfernung d abhängt:

$$L_{fs} = 32,4 + 20 \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} f \quad (3)$$

Da die Trägerfrequenz konstant ist, bewirkt die Entfernung d in der Visualisierung die Bildung eines radialen Farbverlaufs.

Beispiel für L_{fs} : In 0,5 km Entfernung erhält man bei 900 MHz (GSM) einen Pfadverlust von 85,5 dB.

4.2.3 Abschlussdämpfung (roof-top-to-street diffraction and scatter loss)

Die Abschlussdämpfung ist das Resultat der Diffraction (Beugung) der Funkwellen von den Dachkanten in die Straße hinein, in der der Empfänger steht. Neben der Trägerfrequenz f , der Straßenbreite w , der durchschnittlichen Gebäudehöhe h_r und der Höhe der Empfänger h_m spielt auch der Winkel ϕ zwischen dem Wellenpfad und der Straßenachse eine Rolle:

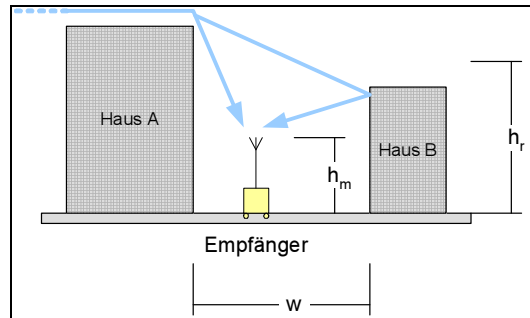


Abbildung 5: Abschlussdämpfung

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \cdot \log_{10} w + 10 \cdot \log_{10} f + 20 \cdot \log_{10} (h_r - h_m) + L_{ori} \quad (4)$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354 \cdot \phi & 0^\circ \leq \phi < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075 \cdot (\phi - 35^\circ) & 35^\circ \leq \phi < 55^\circ \\ 4,0 - 0,114 \cdot (\phi - 55^\circ) & 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (5)$$

Eine breitere Straße bewirkt demzufolge eine geringere Dämpfung als eine schmale Straße. Ebenso zieht ein geringer Höhenunterschied zwischen dem Empfänger und den Gebäudeoberkanten nur eine geringe Dämpfung nach sich.

Die Orientierung ϕ der Straßenachse in Bezug zum Wellenpfad äußert sich in den in Abbildung 6 dargestellten Dämpfungswerten:

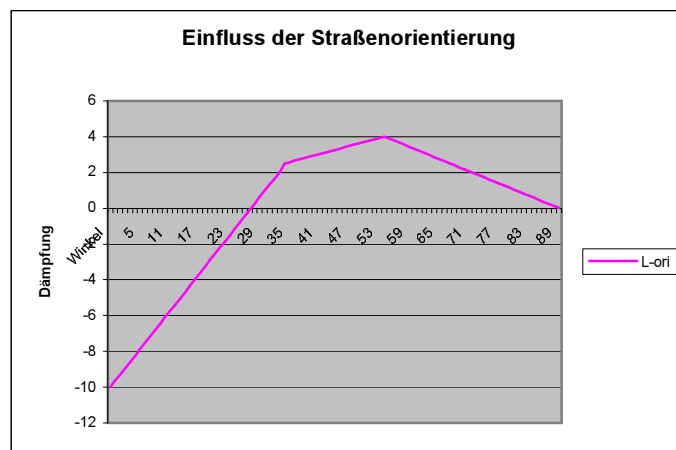


Abbildung 6: Dämpfung aufgrund der Straßenorientierung

Beispiel für L_{rts} : In einer 20 m breiten Straße, deren Achse einen Winkel von 30° zum Wellenpfad bildet und von durchschnittlich 12 m hohen Häusern umgeben wird, ermittelt man für einen Empfänger auf einer 900-MHz-Trägerfrequenz eine Abschlussdämpfung von 32,4 dB.

4.2.4 Dämpfung über Dächern (multiscreen diffraction loss)

Die Dämpfung über Dächern wird teilweise auch als „multi-obstacle diffraction“ bezeichnet.

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log_{10} d + k_f \cdot \log_{10} f - 9 \cdot \log_{10} b \quad (6)$$

L_{bsh} bestimmt die Dämpfung aufgrund der Höhe der Antenne über den Dächern.

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log_{10}(1 + h_b - h_r) & h_b > h_r \\ 0 & h_b \leq h_r \end{cases} \quad (7)$$

k_a und k_d stellen Korrekturfaktoren hinsichtlich der Höhe der Sendeantenne h_b über den Gebäuden h_r dar, k_f wird von der Stadtgröße beeinflusst.

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_b > h_r \\ 54 - 0,8 \cdot (h_b - h_r) & h_b \leq h_r \text{ und } d \geq 0,5 \\ 54 - 1,6 \cdot (h_b - h_r) \cdot d & h_b \leq h_r \text{ und } d < 0,5 \end{cases} \quad (8)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_b \geq h_r \\ 18 - 15 \cdot (h_b - h_r) / h_b & h_b < h_r \end{cases} \quad (9)$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0,7 \cdot \frac{f}{925 - 1} & \text{kleine / mittlere Städte} \\ -4 + 1,5 \cdot \frac{f}{925 - 1} & \text{Großstädte} \end{cases} \quad (10)$$

4.2.5 Abweichungen der T-Mobile-Formeln

Die hier vorgestellten Formeln sind in [3], [4] und [5] identisch. Sie weichen aber von den von der T-Mobile zur Verfügung gestellten Gleichungen^[2] leicht ab. Genauer gesagt existieren zwei Vorzeichenunterschiede in (4) und (5):

$$L_{rts} = -16,9 + 10 \cdot \log_{10} w + 10 \cdot \log_{10} f + 20 \cdot \log_{10}(h_r - h_m) + L_{ori} \quad (4a)$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354 \cdot \phi & 0^\circ \leq \phi < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075 \cdot (\phi - 35^\circ) & 35^\circ \leq \phi < 55^\circ \\ 4,0 + 0,114 \cdot (\phi - 55^\circ) & 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (5a)$$

5. Implementation

In Geryon ist allein die Klasse `WavePropagation` für die Umsetzung des Walfish-Ikegami-Modells zuständig. Sie hat Zugriff auf das Stadtmodell und kennt die Position der Sendeantenne.

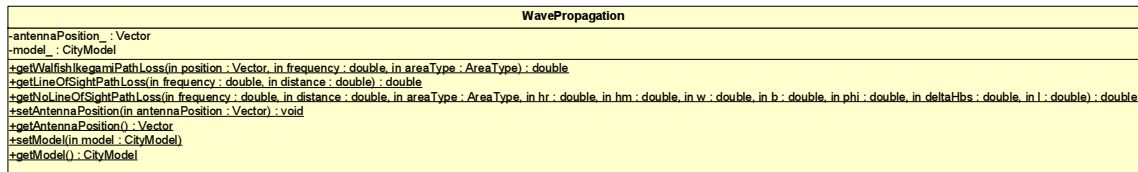


Abbildung 7: UML-Beschreibung von WavePropagation

Ein Programm, das `WavePropagation` benutzt, muss folgende Schritte durchlaufen:

1. Mit `setModel` das Stadtmodell festlegen
2. Über `setAntennaPosition` den Standort der Sendeantenne definieren
3. Anhand von `getWalfishIkegamiPathLoss` den Pfadverlust an einem bestimmten Punkt bestimmen
4. Punkt 3 beliebig wiederholen

Die Methoden `getLineOfSightPathLoss` und `getNoLineOfSightPathLoss` werden intern von `getWalfishIkegamiPathLoss` benutzt. Sie sind aber `public`, d.h. jedermann darf sie einsetzen.

Um alle Parameter von `getNoLineOfSightPathLoss` bestimmen zu können, schickt `getWalfishIkegamiPathLoss` virtuelle Strahlen per Raytracing vom Sender zum Empfänger durch das Stadtmodell. Dabei protokolliert die Methode alle Schnittpunkte mit Gebäuden. Da auch die Straße, in der sich der Empfänger befindet, wichtige Parameter liefert, verlängern wir den virtuellen Strahl über den Empfängerstandort hinaus.

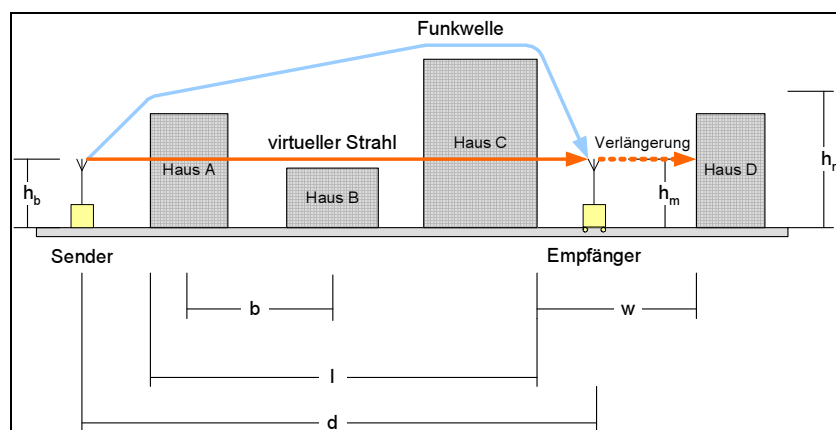


Abbildung 8: Virtuelle Strahlen im Stadtmodell

Die Straßennachse liegt uns nicht explizit als Datensatz vor. Wir behelfen uns, indem wir davon ausgehen, dass die Häusernormalen orthogonal zur Straßennachse verlaufen.

6. Ergebnisse

Ein erster Walfish-Ikegami-Prototyp von Geryon kann mit einfachen Stadtmodellen umgehen. Er erzeugt in einem Raster jeweils einen Farbwert zwischen Grün und Rot, wobei Grün für eine niedrige Dämpfung steht. Dieses Raster bildet der Prototyp auf eine Textur ab.

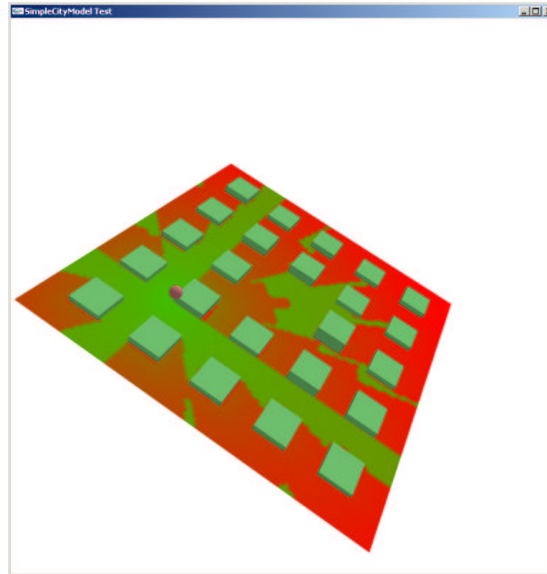


Abbildung 9: Bildschirmfoto des Walfish-Ikegami-Prototypen

In Abbildung 9 ist auf der linken Seite eine Kugel zu erkennen, die den Sendemast symbolisiert. Zwei Straßenzüge erreicht sie per Line-Of-Sight (an der grünen Farbe zu erkennen). Sie weisen Dämpfungen im Bereich 60 dB bis 90 dB auf. Die restlichen rötlichen Bereiche können keine Sichtverbindung zum Sender herstellen (NLOS), die Dämpfungen liegen zwischen 120 dB und 220 dB.

Für ein 100x100 Gitter ist momentan eine Rechenzeit von ca. 4 Sekunden auf einem 1 GHz Intel Pentium III notwendig.

7. Ausblick

Der Schwerpunkt unserer weiteren Arbeit liegt in der Beschleunigung der Schnittpunkt-berechnung des Strahlentests. Dazu untersuchen wir eine Vielzahl von Datenstrukturen, die die Anzahl der Schnittpunktberechnungen minimieren. Ein anderer Ansatzpunkt bildet die Spezialisierung der Schnittpunktberechnungen, um so den Zeitaufwand pro Intersektion zu senken.

Einen Performancegewinn konnten wir bereits durch die Integration eines Strahlen-Caches erzielen. Dieser Cache beruht darauf, dass pro vorher definierter Winkeleinheit (meist 1°) nur ein Strahl generiert wird. Gerade in großer Entfernung vom Sender kann daher ein Strahl gleich eine ganze Gruppe von potentiellen Empfängerstandorten überdecken.

8. Quellen

- [1] www.pegasos.com
- [2] T-Mobile, „Propagation in Macro and Microcells“, Pegasos-Dokumentation, S.39-40
- [3] Christoph Stamm, „Algorithms and Software for Radio Signal Coverage Prediction in Terrains“, Dissertation 14283 der ETH Zürich, S. 90-92, www.inf.ethz.ch/personal/stamm/publications/stamm_thesis01.pdf, 2001
- [4] G. Wölfle, R. Hoppe, F.M. Landstorfer, R.R. Collmann, „Vergleich deterministischer und empirischer Ausbreitungsmodelle für die Planung von Mikrozellen“, www.ihf.uni-stuttgart.de/forschung/pdf/woe98e_p.pdf
- [5] Ari Viinikainen, „Digital Mobile Communication Systems“, Mandatory Assignment des Kurses TLI319 an der Universität Jyväskylä/Finnland, S. 2-3, www.mit.jyu.fi/arjuvi/opetus/tli319/Tli319_HE2_2001.pdf, 2001
- [6] www.lx.it.pt/cost231/
- [7] Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique, cost.cordis.lu/src/home.cfm, www.bbw.admin.ch/html/pages/forschung/cost/faq-d.html
- [8] mitglied.lycos.de/radargrundlagen/grundlagen/db.html