

will'tek

# White Paper

**Zuverlässige  
HF-Feldmessungen  
unter Verwendung der  
Lee-Kriterien**

William Lee veröffentlichte seine richtungsweisende Arbeit zur Messwert-erfassung für die Stärke von Mobilfunk-signalen im Februar 1985<sup>[1]</sup>. Im vorlie-genden Artikel werden Hintergrund und Vorgehensweise seiner Untersuchung ohne detaillierte Ausführung der zugrun-de liegenden mathematischen Prinzipien erklärt.

Der Artikel nimmt darüber hinaus Bezug auf die Arbeit von David Parsons<sup>[2]</sup>, der eine höhere Anzahl an Abtastungen vor-schlägt.

Die von Lee festgelegte Spezifikation für gültige Messungen der Durchschnitts-stärke von 36 Messwerten innerhalb  $40 \lambda$  sollte nicht als absolut geltende Vorgabe angesehen werden. Sie sollte vielmehr als Richtlinie dienen und in Hinblick auf die vorzunehmenden Messungen jeweils neu geprüft werden. Darüber hinaus sind auch andere Faktoren, die die Anzahl an notwendigen Messungen beeinflussen, zu berücksich-tigen. Die Anzahl an benötigten Mess-werten hängt zum Beispiel auch davon ab, ob es sich um einen Empfänger mit linearen oder logarithmischen Eigen-schaften handelt.

Willtek bietet hier die Griffin Fast Measurement Receiver Produktreihe. Mit ihrer hohen Messgeschwindigkeit (bis zu 100 000 Messungen pro Sekunde) bei der akkuraten Messung von HF-Signal-stärken ermöglichen Griffin-Empfänger eine Messfahrt mit einer Geschwindig-keit von 100 km/h und erfüllen somit die "Lee-Kriterien".

## Einführung

William Lees Zielsetzung war es, ein gül-tiges Verfahren für die Schätzung der lokalen Durchschnittsstärke eines Signals in der Mobilfunkumgebung zu finden. Er kam zu dem Schluss, dass ein geeignetes Verfahren die Ermittlung des Durch-schnitts von 36 Messwerten über  $40 \lambda$  (Wellenlängen) sei. Seine Schluss-folgerungen zur Anzahl der benötigten Messwerte sowie zu den Wellenlängen, über welche diese gemessen werden sollten, wurden branchenweit übernom-men. Durch die breite Akzeptanz dieser Grundlage kann sie auch dann eingesetzt werden, wenn eine strikte Anwendung der Lee-Messwerterfassung nicht mög-lich ist. Die Methode mag nicht für alle Ausgangssituationen optimal geeignet sein, sie liefert jedoch eine Grundlage für den Vergleich von Messungen. Andere Experten, z. B. Professor David Parsons, hielten unterschiedliche Werte für die Anzahl an Messungen und die Entfer-nungen für geeigneter, um eine bessere Annäherung zu erreichen.

[1] Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal, William C.Y. Lee, IEEE Trans. Veh. Tech. Vol VT-34, No. 1, Feb 1985.

[2] The Mobile Radio Propagation Channel, David Parsons, John Wiley & Sons 1992, ISBN 0 471 96415 8.

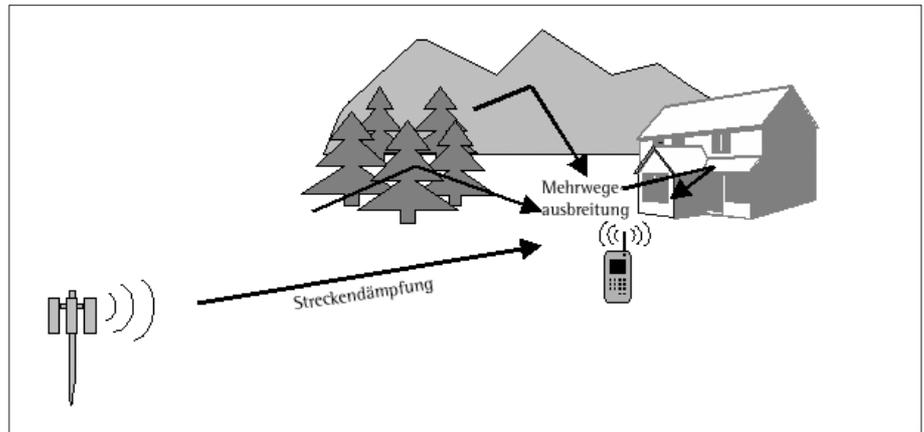
## Hintergründe für Schwankungen in der Signalstärke

Der Kurvenverlauf eines empfangenen Mobilfunksignals setzt sich aus einem Signal mit Slow Fading und einem überlagerten Signal mit Fast Fading zusammen. Bei einer Reihe von Anwendungen muss die lokale Durchschnittsstärke eines Signals mit Slow Fading durch Glätten (bzw. durch Ermittlung eines Durchschnitts) der Komponente mit Fast Fading gemessen werden.

Für das Auftreten von starkem Fading bei einem mobilen Empfänger gibt es zwei Hauptursachen:

### 1. Die Mehrwegeausbreitung

In den meisten Fällen sind Mobilfunkantennen niedriger als die sie umgebenden Objekte, z. B. Gebäude. Das von der Basisstation gesendete Signal wird in der Regel von den Objekten in der Umgebung geblockt. Dadurch entsteht eine Reihe von reflektierten Wellen. Die Summierung der Mehrwegewellen am mobilen Endgerät verursacht Schwankungen im empfangenen Signal. Dieses Phänomen bezeichnet man als Mehrwege-Fading. Unter Bezugnahme auf den kurzen Zeitraum, in dem Signale variieren, wird es auch als Short-term Fading oder Fast Fading bezeichnet.



### 2. Die Schwankung der Streckendämpfung (oder lokales Mittel)

Die Schwankung in der durchschnittlichen Signalstärke bei Bewegung des mobilen Endgeräts wird als Schwankung der Streckendämpfung bezeichnet. Sie entsteht aufgrund unterschiedlicher Ausbreitungswege zwischen der Basisstation und dem Mobilgerät, das während seiner Bewegung in einem bestimmten Zeitraum unterschiedlichen Umgebungsgegebenheiten ausgesetzt ist. Da sich der Ausbreitungsweg mit der Bewegung des mobilen Endgeräts laufend ändert, schwanken auch die Streckendämpfungswerte und somit auch die lokale Durchschnittsstärke des empfangenen Signals. Da die lokale Durchschnittsstärke von der jeweiligen Position des mobilen Endgeräts, dass sich in Echtzeit bewegt, beeinflusst wird und langsam schwankt, wird sie als lokales Mittel des Long-term Fading (oder Slow Fading) bezeichnet.

Als Ausgangspunkt stellt Lee zunächst die Relation zwischen Short-term und Long-term Fading dar. Er definiert  $r(t)$  als vom mobilen Endgerät empfangenes Signal,  $r_0(t)$  als Mehrwege-Fading bzw. Signal mit Short-term Fading und  $m(t)$  als lokale Durchschnittsstärke bzw. lokales Mittel des Signals mit Long-term Fading.

Die Relation zwischen diesen drei Parametern wird wie folgt ausgedrückt:

$$r(t) = m(t) \times r_0(t)$$

Ist die Geschwindigkeit  $v$  bekannt, kann das empfangene Signal auch in einer räumlichen Domäne ausgedrückt werden. Die Gleichung lässt sich somit wie folgt ändern:

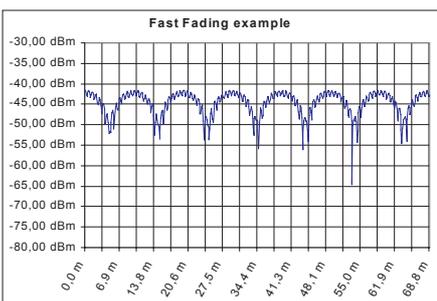
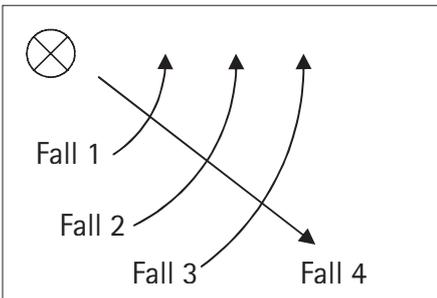
$$r(x) = m(x) \times r_0(x)$$

Die Entfernung  $x$  wird hier aus der folgenden Gleichung ermittelt:

$$x = v \times t$$

Die lokale Durchschnittsstärke oder das lokale Mittel  $m(x)$  eines Mobilfunksignals in Echtzeit ist eine beliebige Variable, die von der Schwankung der Streckendämpfung beeinflusst wird. Da das empfangene Mobilfunksignal sowohl Short-term als auch Long-term Fading umfasst, muss zur Schätzung des lokalen Mittels für das Long-term Fading versucht werden, das Short-time Fading  $r_0(x)$  zu eliminieren. Wird das empfangene Signal  $r(x)$  nicht korrekt verarbeitet, stimmen tatsächliche Durchschnittsstärke und gemessene Durchschnittsstärke nicht überein.

Vor der Berechnung des lokalen Mittels führt Lee in seiner Untersuchung natürliche Phänomene der HF-Signalcharakteristika in einer realen Umgebung ein. Er betrachtet drei Fälle, in denen die Signale an Straßen, die die Basisstation kreisförmig umgeben, mit unterschiedlichen Radien gemessen werden und einen vierten Fall, in dem das Signal über einen direkten Weg von der Basisstation empfangen wird.



- Das in Fall 1 (mit der geringsten Entfernung zum Empfänger) empfangene Signal weist kaum Fading auf und erhält größtenteils Sichtverbindungsbedingungen.
- Die in den Fällen 2 und 3 empfangenen Signale zeigen starkes Fading, entsprechend der Beispieldarstellung für Fast Fading. Die Durchschnittsstärke  $m(x)$  dieses Signals hat auf einer dB-Skala Lognormal-Charakter. Das bedeutet, dass die Variable  $m(x)$  eine Zufälligkeit der Verteilung gleichmäßig zum Durchschnitt  $m(x)$  aufweist, wobei es sich um das Mittel der lokalen Durchschnittssignalstärke handelt.
- In Fall 4 nimmt die lokale Durchschnittssignalstärke  $m(x)$  ab, sobald sich das mobile Endgerät, wie in der Routendarstellung gezeigt, von der Basisstation wegbewegt. Darüber hinaus ist der Wegeverlust entlang der Entfernungsskala proportional zu  $x^{-4}$ .

Lees Zielsetzung war es, das lokale Mittel eines Signals in allen vier Fällen mit der gleichen Methode zu ermitteln.

### Ermittlung einer lokalen Durchschnittssignalstärke (lokales Mittel)

Für die Messung des lokalen Mittels bei Empfang des Signals durch einen mobilen Empfänger beschäftigte sich Lee mit zwei grundlegenden Problemstellungen. Sein Lösungsansatz bei beiden Fragen hatte die Reduzierung der Fehlerquoten bei Messungen als Zielsetzung.

1. Welche Länge ( $2L$ ) der Signaldaten ist für die Durchschnittsermittlung geeignet?
2. Wie viele voneinander unabhängige Messwerte sind für die Durchschnittsermittlung über die festgelegte Länge ( $2L$ ) notwendig?

### Auswahl der geeigneten Länge für ein lokales Mittel

Die Länge eines lokalen Signals muss sinnvoll gewählt werden. Ist sie zu kurz, ist nach dem Prozess der Durchschnittsermittlung immer noch Short-term Fading vorhanden. Ist sie zu lang, gehen Informationen über das Long-term Fading, die beibehalten werden sollen, durch Glätten verloren. Daher ist für die Länge ein korrekter Mittelwert zu wählen.

Bei Ermittlung des Durchschnitts über eine bestimmte Entfernung wird der tatsächliche Durchschnittswert geschätzt. Naturgemäß zeigen Durchschnittswerte über kurze Entfernungen mehr Schwankungen als Durchschnittswerte über längere Entfernungen, bei denen das Fast Fading durch Glätten eliminiert wird. Zur Ermittlung der geeigneten Länge  $2L$  berechnet Lee die Schwankung des geschätzten lokalen Mittels als Funktion der Länge. Hier ist hervorzuheben, dass Lee davon ausgeht, dass das Fast Fading den Rayleigh-Statistiken folgt. Die Varianz von einer Auswahl an Messwerten ist das Quadrat zur Standardabweichung der Messwerte sowie eine Maßzahl für die Verteilung der Messwerte. Lee stellt dies in einem Graphen der Schwankung in dB gegenüber  $2L$  dar.

Dieser Graph zeigt, welche Schwankung jeweils bei unterschiedlichen Werten für  $2L$  zu erwarten ist, und dient somit als Hilfestellung bei der Auswahl von  $2L$ . Die Auswahl eines Werts für  $2L$  ist eher eine Frage der Einschätzung als der unumstößlichen Fakten. Lee schlägt hier folgende Auswahlmöglichkeiten vor:

- $2L = 20 \lambda$ , wenn eine Ausbreitung von  $1 \sigma_m$  in einem Bereich von 1,56 dB akzeptabel ist, oder
- $2L = 40 \lambda$  wenn eine Ausbreitung von  $1 \sigma_m$  in einem Bereich von 1,0 dB akzeptabel ist.

Bei Auswahl von weniger als 20 Wellenlängen erhöht sich die Ausbreitung von  $1 \sigma_m$  schnell. Wählt man die Länge  $2L$  größer als  $40 \lambda$ , nimmt die Ausbreitung von  $1 \sigma_m$  sehr langsam ab. Die Ermittlung des Durchschnitts über mehr als 40 Wellenlängen birgt jedoch das Risiko des Verlusts von Informationen zum Long-term Fading durch Glätten. Lee schließt daraus, dass eine Länge zwischen 20 und 40 Wellenlängen zur Ermittlung des Durchschnitts für das Signal geeignet ist. Ein erheblich kleinerer oder größerer Wert hat aller Wahrscheinlichkeit nach eine Minderung der Messgenauigkeit zur Folge.

## Messungsdurchschnitt

Bei Verwendung eines analogen Filters als Durchschnittsermittlungsprozess erweist sich die Steuerung der Bandbreite als schwierig. Lee wählt daher statt der analogen Vorgehensweise die arithmetische. Hier stellt sich ihm nun die Frage, wie viele Messungen über die Länge  $2L$  durchgeführt werden sollen. In seiner Absicht, die Anzahl an Abtastungen zu minimieren, berechnet Lee die Anzahl an benötigten Messpunkten.

Die Berechnung basiert auf der Ermittlung des Durchschnitts zweier Variablen mit unterschiedlicher statistischer Verteilung. Lee berechnet, wie viele Messungen verwendet werden müssen, damit der resultierende Durchschnitt mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  dB an das tatsächliche Mittel herankommt. Bei dem resultierenden Wert von 36 Messungen kann nicht garantiert werden, dass der Durchschnitt im Bereich  $\pm 1$  dB vom tatsächlichen Mittel liegt. Bei Verwendung dieser Anzahl an Messungen erreicht man jedoch eine Sicherheit von 90 %. Mit Hilfe der Gleichungen lässt sich die Anzahl an Messungen, die für eine höhere Sicherheit benötigt werden, ermitteln. Lee wählt 36 Messungen, da der Wert  $\pm 1$  dB der erwarteten Ausbreitung von  $1 \sigma_m$  im Bereich 1,0 dB ähnelt.

In seiner Untersuchung gibt Lee vor, dass die Messwerte nicht voneinander abhängig sein dürfen. Darüber hinaus gibt er an, dass Sie unabhängig voneinander betrachtet werden können, wenn sie einen Abstand von mindestens  $0,8 \lambda$  voneinander haben. Bei der Auswahl von 36 Messungen für  $40 \lambda$  haben die Messwerte  $1,1 \lambda$  Abstand voneinander. Die Messwerterfassungs- und Durchschnittsermittlungsverfahren müssen gewährleisten, dass die Messabstände stets größer als  $0,8 \lambda$  sind. Andernfalls stehen die Messwerte in Beziehung zueinander, wodurch u. U. das Durchschnittsergebnis verfälscht wird.

## Auswirkungen verschiedener Fading-Umgebungen

Lee kommt zu dem Schluss, dass die gemessene Länge eines Signals, die zur Ermittlung der lokalen Durchschnittsstärke notwendig ist, im Bereich zwischen 20 und 40 Wellenlängen ( $\lambda$ ), basierend auf der Rayleigh-Distribution, liegen muss. 36 Messungen sind für die Schätzung dieser lokalen Durchschnittstärkewerte ausreichend, wenn man von 90 % Sicherheit und einer Fehlerquote von  $\pm 1$  dB in der Schätzung ausgeht. Bei den verarbeiteten Durchschnittsdaten werden die Informationen zum Long-term Fading beibehalten, somit ergibt sich die lokale Durchschnittsstärke des Signals.

Lee legt seinen Berechnungen die Rayleigh-Distribution zugrunde. Hier ist keine direkte Wellenkomponente vorhanden. Lee sagt in seiner Untersuchung aus, dass man im schlechtesten Fall Sichtverbindungsbedingungen erhält, wenn sich das mobile Endgerät in der Nähe der Basisstation befindet. In diesem Fall kann eine direkte Wellenkomponente empfangen werden. Die direkte Komponente erzeugt ein anderes Short-term Fading mit Rician-Distribution. Für diese Distribution wird die Länge  $2L = 40 \lambda$  als Durchschnittsbasis nicht benötigt. Wenn sich das mobile Endgerät jedoch in Bewegung befindet, tritt die direkte Wellenkomponente je nach Umgebung auf oder bleibt aus. Diese Art Fading verhält sich u. U. anders als das Fading bei der Mehrwegeausbreitung. In diesem Fall schlägt Lee jedoch vor, eine Länge von  $2L = 40 \lambda$  und  $N = 36$  festzulegen, um allen Situationen gerecht zu werden.

Zum Abschluss seiner Arbeit schlägt Lee vor, den dargestellten Schätzprozess als Standardverfahren einzusetzen. Im Laufe der Zeit hat sich sein Verfahren tatsächlich als Standard etabliert.

## Ergebnisse der Untersuchung von David Parsons

David Parsons wendet einen ähnlichen Prozess wie William Lee zur Berechnung der Anzahl an Messungen und der Länge an, er kommt jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Parsons kommt zu dem Schluss, dass bei einem linearen Empfänger eine Anzahl von 85 Messungen notwendig ist, um eine Sicherheit von 90 % und eine Fehlerquote von  $\pm 1$  dB zu erreichen. Um sicherzustellen, dass die Messwerte voneinander unabhängig sind, legt Parsons einen Mindestabstand zwischen den Messungen von  $0,38 \lambda$  fest, wodurch die Messwertfassungslänge  $2L$  von  $33 \lambda$  erreicht wird. Er betont außerdem, dass bei einem logarithmischen Empfänger mehr Messungen notwendig sind, um eine Sicherheit von 90 % für eine Fehlerquote von  $\pm 1$  dB zu erreichen.

## Schlussfolgerung

Ziel bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments war es, einen Überblick über die Grundlagen für die Untersuchung von William Lee zu geben. Dabei ist noch einmal hervorzuheben, dass die "Lee-Kriterien" von 36 Messungen über  $40 \lambda$  als Richtlinie und nicht als absoluter, unveränderbarer Wert angesehen werden sollten. Die Ergebnisse sollten stets unter Einbeziehungen der Anforderungen für die jeweils durchzuführende Messung überprüft werden. Professor Parsons zeigte, dass es weitere Faktoren gibt, die die Anzahl an benötigten Messungen beeinflussen und sogar eine höhere Anzahl erfordern. Hier sind z. B. die Empfänger-eigenschaften, linear oder logarithmisch, zu nennen. Es hat sich gezeigt, dass bei der Messung der lokalen Durchschnittsstärke eines Mobilfunksignals eine Reihe von Aspekten in Betracht zu ziehen ist, mehr als auf den ersten Blick ersichtlich. Zweifellos wird die Diskussion über die beste Vorgehensweise auch in Zukunft fortgesetzt werden.

## Wie kann Willtek Sie hier unterstützen?

Die Griffin Fast Measurement Receiver Reihe von Willtek deckt mit den jeweils relevanten Funktionserweiterungen Mobilfunksysteme im Bereich von 300 MHz bis 2,2 GHz ab. Das kostengünstige Paket aus Receiver und Down Converter ist robust und kann mit Batterie betrieben werden. Das Griffin-Instrument führt eine breite Palette von schnellen und akkuraten Messfunktionen im HF-Kanal durch.

Bis zu fünf Downlink-Kanäle lassen sich bei 2,2 GHz und einer Geschwindigkeit von 100 km/h bei voller Erfüllung der "Lee-Kriterien" für zuverlässige HF-Kanalmessungen messen. Unter Anwendung der Hindsite™-Software von Willtek lassen sich die Ergebnisse zur Kombination der Signalleistungen mit topographischen Informationen analysieren. Durch den Abgleich des HF-Ausbreitungsmodells mit den realen Ausbreitungsergebnissen tragen die Ergebnisse zu einer hohen Quality of Service bei.

© Copyright 2004 Willtek Communications GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

"Willtek Communications", Willtek und das Logo sind eingetragene Warenzeichen der Willtek Communications GmbH. Alle anderen Warenzeichen und eingetragenen Warenzeichen sind das Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.

Hinweis: Änderungen technischer Daten, Bezeichnungen und Lieferangaben vorbehalten.

Willtek Communications GmbH  
85737 Ismaning  
Germany  
Tel: +49 (0) 89 996 41-0  
Fax: +49 (0) 89 996 41-440  
info@willtek.com

Willtek Communications Inc.  
Indianapolis  
USA  
Tel: +1 317 595 2021  
Tel: +1 866 willtek  
Fax: +1 317 595 2023  
sales.us@willtek.com  
willtek.cala@willtek.com

Willtek Communications Ltd.  
Chessington  
United Kingdom  
Tel: +44 (0) 20 8408 5720  
Fax: +44 (0) 20 8397 6286  
willtek.uk@willtek.com

Willtek Communications SARL  
Paris  
France  
Tel: +33 (0) 1 74 37 26 35  
Fax: +33 (0) 1 74 37 25 88  
willtek.fr@willtek.com

Willtek Communications  
Singapore  
Asia Pacific  
Tel: +65 943 63 766  
willtek.ap@willtek.com

Willtek Communications Ltd.  
Shanghai  
China  
Tel: +86 21 5835 8039  
Fax: +86 21 5835 5238  
willtek.cn@willtek.com