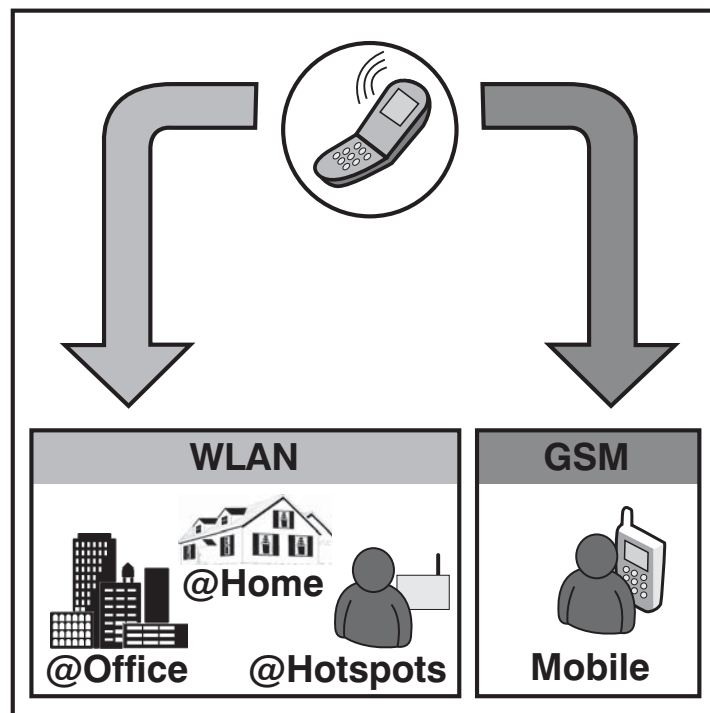


# Fixed-Mobile-Convergence

## Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

von Dr. Frank Imhoff, Dipl.-Inform. Nick Schirmer, Dr. Michael Wallbaum



Das Zusammenwachsen von Fest- und Mobilfunknetzen wird in der Regel als Fixed-Mobile-Convergence (FMC) bezeichnet. Dabei wird sowohl die Integration von GSM-Netzen und klassischen Telekommunikationsanlagen als auch die Nutzung von Wireless-LAN zur Übertragung von Sprache unter diesem Begriff zusammengefasst. Einige Hersteller verfügen schon länger über entsprechende FMC-Lösungen, dennoch

ist bisher ein wirklicher Durchbruch ausgeblieben. Ohne eine solche Alternative ist aber vor allem die Ablösung von bestehenden DECT-Installationen kaum sinnvoll möglich. Und ohne die Ablösung von DECT ist die konsequente Einführung neuer, gänzlich IP-basierter Kommunikationslösungen nur bedingt möglich. Dabei wäre es für immer mehr Nutzer höchst wünschenswert, wenn sie statt DECT-Telefon, Festnetz-

Apparat und Mobilfunk-Handy nur noch ein Gerät hätten, mit dem sie überall erreichbar wären. Für Unternehmen kommt neben der erheblich reduzierten Endgeräte-Vielfalt auch noch der Wegfall von DECT-Infrastrukturen hinzu. Damit verbunden sind natürlich nicht nur erhebliche Einsparpotenziale, sondern auch ein deutlicher Zuwachs an Komfort für die Nutzer.

## Schwerpunktthema



Dr. Frank Imhoff ist technischer Direktor und Senior Consultant der ComConsult Beratung und Planung GmbH. Er blickt auf jahrelange Erfahrung in Forschung, Entwicklung und Betrieb von lokalen Netzen, Voice-over-IP, Wireless Local Area Networks sowie anderen Mobilfunk- und Telekommunikationssystemen zurück. Zu diesen Themenbereichen sind von ihm bereits zahlreiche Veröffentlichungen erschienen und Seminare betreut worden.



Dipl.-Inform. Nick Schirmer ist bei der ComConsult Beratung und Planung GmbH auf Unified-Communications- und Fixed-Mobile-Convergence-Lösungen spezialisiert. Darüber hinaus konnte er in zahlreichen Projekten Erfahrungen bei der Planung und Implementierung von komplexen Kommunikationslösungen sammeln. Weitere Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in der Konzeption von Test-Umgebungen sowie in der Durchführung von umfangreichen Produkttests im ComConsult-eigenen Test-Center.



Dr. Michael Wallbaum ist Senior Consultant der ComConsult Beratung und Planung GmbH. Er blickt auf jahrelange Projekterfahrung in Forschung, Entwicklung und Betrieb im Bereich mobiler Kommunikationssysteme, Voice-over-IP und Groupware zurück. Zu diesen Themenbereichen sind von ihm zahlreiche Veröffentlichungen und Buchbeiträge erschienen.

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

Es stellt sich also einerseits die Frage, welche Anforderungen an eine moderne FMC-Lösung zu stellen sind, um große DECT-Lösungen wirtschaftlich und technisch sinnvoll abzulösen. Andererseits müssen die unterschiedlichen Ansätze der Hersteller kritisch auf ihre unterschiedlichen Möglichkeiten und Leistungsmerkmale hin betrachtet werden, um sicherzustellen, dass eine ähnlich hohe Akzeptanz der Nutzer zu erzielen ist wie bei DECT. Hauptaugenmerk muss dabei sicherlich auf die Sprachqualität gelegt werden, weil hier eine Gewöhnung an die vergleichsweise gute DECT-Qualität stattgefunden hat. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist aber auch die Nutzung und der Übergang von eigenen Infrastrukturen wie Wireless-LAN und öffentlichen GSM-Netzen. Dieser Artikel widmet sich vor allem der letzteren Frage. Und wieder einmal ergeben sich dabei überraschende Unterschiede zwischen den Herstellern und Lösungsansätzen.

Der Innovationsdruck unter den Herstellern von modernen Kommunikationslösungen und die weiter zunehmende Nutzung von Mobilkommunikationslösungen haben unter anderem dazu geführt, dass die bisherigen Grenzen zwischen Mobilfunk- und Festnetz-Telefonie, aber auch zwischen unterschiedlichen Funktechnologien, immer weiter verschwimmen. Zukunftsträchtige Kommunikationslösungen erlauben daher eine möglichst nahtlose - und damit benutzerfreundliche - Nutzung unterschiedlicher Technologien. Dadurch wird einerseits die Flexibilität und Erreichbarkeit der Nutzer erhöht, andererseits werden Mehrwertdienste und Kostenvorteile der unterschiedlichen Kommunikationsmöglichkeiten vereint. Ein Hauptaugenmerk der Hersteller liegt dabei auch auf der Nutzung von Wireless Local Area Networks (WLAN) als Medium für die Sprachübertragung. Kommunikationssysteme, die sowohl WLAN als auch Mobilfunk mit den Eigenschaften von modernen Kommuni-

kationslösungen verbinden, werden häufig unter der Bezeichnung „Fixed Mobile Convergence“ (FMC) zusammengefasst.

Die zentrale Herausforderung für eine transparente Integration von zumeist firmeneigenen WLAN und öffentlichen Mobilfunknetzen ist die möglichst störungs- und unterbrechungsfreie Übergabe (Roaming) laufender Telefongespräche zwischen den beiden Funktechnologien. Erste Ansätze führten diesen Wechsel nicht automatisch durch, sondern machten den Eingriff des Nutzers erforderlich. Der Nutzer musste den Roaming-Vorgang am Mobilgerät selbst einleiten und bestätigen, so dass der Wechsel im laufenden Gespräch kaum sinnvoll möglich war. Neuere Systeme übernehmen diesen Roaming-Vorgang automatisch. Der Nutzer einer solchen Lösung kann, je nach Hersteller, lediglich bestimmte Schwellwerte einstellen und den Vorgang so an seine Bedürfnisse anpassen.

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

Um ein möglichst störungsfreies Roaming zu gewährleisten, sind vor allem zwei Aspekte von zentraler Bedeutung: Die Minimierung der Verbindungsaufbauzeiten und die richtigen Schwellwerte für das Auslösen eines Roaming-Vorgangs. Grundvoraussetzung für einen störungsfreien Übergang sind darüber hinaus aber auch die richtige Zellplanung und die Auswahl eines möglichst effizienten Handover- und Roaming-Verfahrens.

Derzeit bieten erst wenige Hersteller Fixed-Mobile-Convergence-Lösungen für WLAN und Mobilfunk an. Dabei ist festzustellen, dass diese Lösungen sich sowohl in ihren Ansätzen, als auch in Umfang und Realisierung unterscheiden. Die objektive Analyse und Bewertung der jeweils für das Roaming verwendeten Verfahren war dabei Bestandteil der Tests und Analysen zu diesem Artikel.

### Testumgebung

Die WLAN-Infrastruktur für die Testreihen bestand aus Siemens Access Points der 2600er Serie sowie einem Controller vom Typ HiPath Wireless Controller C10.

Im Zuge der Analyse sind dabei folgende Aspekte genauer untersucht worden:

- **Roam-In / Roam-Out:** Einfluss des Wechsels der Kommunikationstechnologie auf die Qualität und die Unterbrechungsfreiheit der übertragenen Sprache. Untersuchung der verwendeten Verfahren und deren Schwellwerte zur Beurteilung der einzelnen Lösungen.
- **WLAN-Handover:** Untersuchung der entstehenden Verzögerungszeit (Delay) und der möglichen Unterbrechungen, bezüglich der Übertragung der Sprache, beim Wechsel von einer WLAN-Zelle zur nächsten.
- **Sprachqualität:** Anhand des PESQ-Verfahrens (Perceptual Evaluation of Speech Quality) nach ITU-T P862 wurde die Sprachqualität eines WLAN-Gesprächs mit dem MOS-Wert (Mean Opinion Score) bewertet. Anhand der ermittelten Werte wurde ein Vergleich der möglichen Qualitäten im WLAN und GSM erstellt.
- **WLAN-Planung:** Einfluss der Stärke des WLAN-Signals auf die Sprachqualität und die Sicherheit des Handovers zwischen zwei WLAN-Zellen. Beeinträchtigung des Roaming-Vorgangs zwischen WLAN und GSM, durch mögliche Störungen des WLAN-Signals. Unterschiede bei der Planung eines WLAN für rei-

ne Datenübertragung und der Planung eines WLAN für Sprachübertragungen in Echtzeit.

Da es sich beim WLAN sowohl um ein Shared Medium als auch um eine physikalisch bedingt, störanfällige Funkverbindung handelt, sind einige Gesichtspunkte bei der qualitativen Bewertung bei der Übertragung von Sprache von besonderer Bedeutung. Dazu gehören

- **Handover-Zeiten:** Die Handover-Zeiten zwischen benachbarten WLAN-Funkzellen müssen möglichst gering gehalten werden, damit diese die Übertragung der Sprache nicht beeinträchtigen.
- **Grenzwerte für Signalstärke:** Damit eine durchgängig gute Sprachqualität garantiert werden kann, müssen im gesamten Gebiet des WLAN festgelegte Grenzwerte für die Signalstärke eingehalten werden. Dazu müssen sich die einzelnen Funkzellen bis zu einem bestimmten Grad überlappen, um so auch das rechtzeitige Handover zu begünstigen.
- **Rechtzeitiges Handover:** Ein bekanntes Problem bei Wireless-LAN Geräten ist die rechtzeitige Einleitung des Handovers/Roamings. Es muss eine software-gesteuerte Schranke eingerichtet werden, ab der das System selbstständig den Handover- / Roaming-Vorgang einleitet.
- **Schnelle Authentifizierung:** Die Zugriffssteuerung sollte den Zeitbedarf des Handover- / Roaming-Vorgangs nicht negativ beeinflussen.
- **Sicherheit:** Es muss trotz Handover-Beschränkungen ein sicheres Verfahren zur Authentifizierung der mobilen Nutzer gewählt werden.
- **Kanalplanung:** Zur Kanalplanung stehen im 2,4 GHz-Band nur wenige interferenzfreie Kanäle zur Verfügung. Nutzt man statt dessen das 5 GHz-Band, (802.11a) so ist die Kanalplanung erheblich einfacher, allerdings wird dieses Frequenzband derzeit nicht von allen Fixed-Mobile-Convergence-Systemen unterstützt. Weitere Störquellen sind Bluetooth-Geräte, DECT bei 2,4 GHz, Videoübertragungssysteme, Amateurfunk, Mikrowellenherde etc.

In Bezug auf die Zellplanung eines WLAN sind ebenfalls einige Einschränkungen gegenüber reiner Datenübertragung zu berücksichtigen. Ein mit G.711 kodierter Anruf erzeugt beispielsweise Ethernet-

Rahmen mit einer Rahmengröße von 228 Byte inklusive aller Header. Ein Gespräch erzeugt einen RTP-Verkehr von 50 Paketen pro Sekunde in jede Richtung, womit ein Gespräch rund 182 kbit/s beansprucht. Demnach könnten bei 802.11b in einer Funkzelle theoretisch rund 60 Gespräche parallel stattfinden. Diese naive Berechnung berücksichtigt jedoch weder Paketwiederholungen, Empfangsbestätigungen, Management Rahmen, konkurrierenden Datenverkehr noch die Einflüsse des Medienzugriffsverfahrens. Planerisch sinnvoll sind maximal acht Telefonate pro Zelle. Auch bei einer reinen VoIP-Nutzung sollte der Wert kaum über zehn gleichzeitige Telefonate hinausgehen, da man die abnehmende Datenübertragungsrates am Rand der Zelle einkalkulieren muss. Damit müssen WLANs, die auch für Sprache genutzt werden, in der Regel viel dichter und mit kleineren Zellradien geplant werden als reine Daten-WLANs, um eine qualitativ hochwertige und unterbrechungsfreie Sprachübertragung zu gewährleisten.

Neben diesen von der gewählten FMC-Lösung unabhängigen Faktoren sind jedoch noch eine ganze Reihe Hersteller-spezifischer Unterschiede zu beachten. Dazu zählen unter anderem die angebotenen Sprach-Codecs der Endgeräte und vor allem die eingestellten Schwellwerte für Handover- und Roaming-Vorgänge. Auf diese Unterschiede zwischen den Herstellern soll im Folgenden eingegangen werden.

### Siemens HiPath Mobile Connect

Zu den Aufgaben des HiPath Mobile Connect Controller gehören unter anderem Handover-Vorgänge, Gesprächsaufbau und Gesprächs-Routing im Zusammenspiel mit der TK-Anlage. Der Mobile Connect Controller kann mit jeder SIP-fähigen Telefonanlage gekoppelt werden. Im vorliegenden Testaufbau war dies die HiPath 8000 von Siemens, die wiederum über eine HiPath 4000 an das öffentliche Netz angeschlossen wurde. Bei dieser Lösung übernimmt der Mobile Connect Controller – im Zusammenspiel mit der HiPath 8000 – auch das Roaming zwischen GSM und WLAN. Aus diesem Grund müssen sowohl die GSM-Telefonnummer, als auch die interne Telefonnummer des Mobiltelefons auf dem Mobile Connect Controller hinterlegt werden. (siehe Abbildung 1)

Der HiPath Mobile Connect Client (HPMC) wurde auf einem Nokia E60 installiert (Symbian S60 3rd Edition), das auch ohne Installation von spezieller Client-Software die Nutzung von SIP-Profilen zur VoIP-Telefonie bietet. HPMC basiert auf dem von fgMicrotec entwi-

Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

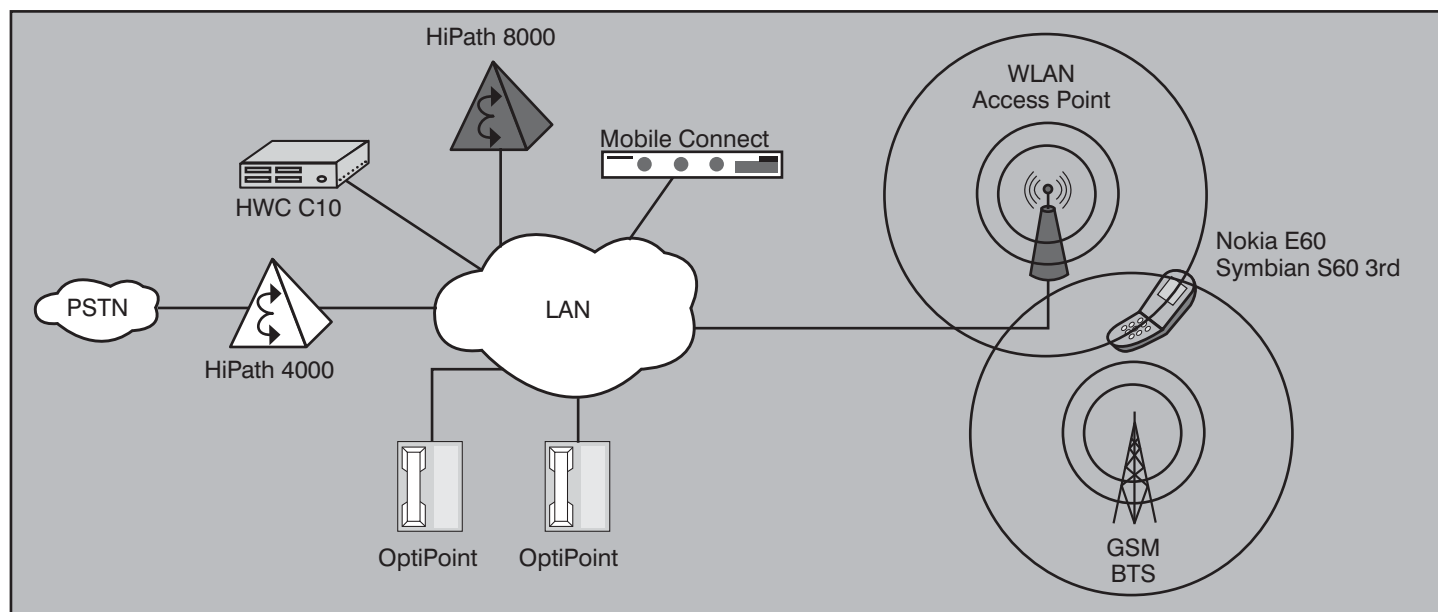


Abbildung 1: Grundaufbau Siemens HiPath Mobile Connect

ckelten Client und unterliegt laut Auskunft von Siemens einer ständigen Weiterentwicklung. Die aktuelle Version der Client-Applikation ist 2.03; getestet wurde jedoch die Version 1.11.

In punkto Sicherheit bietet die Siemens-Lösung in der getesteten Version eine Sicherung der Signalisierung zwischen Controller und Softswitch mittels TLS und eine auf dem Controller integrierte Firewall an. Auf dem Controller ist auch bereits ein Netzwerk-Sniffer installiert, der zur Analyse bei Problemen eingesetzt werden kann. Die Sicherung der Medienströme zwischen Mobiltelefon und Controller per SRTP ist für die Version 2.2 der Client-Applikation geplant.

Empfängt die HiPath 8000 ein Gespräch für den bei ihr registrierten Mobile Connect Client, so sendet sie den Anruf an den Mobile Connect Controller. Dieser überprüft den Status des Mobiltelefons und leitet den Anruf dementsprechend weiter. Ist das Mobiltelefon im WLAN eingebucht, schickt der Controller das SIP-Invite direkt an das Mobiltelefon. Ist das Mobiltelefon nicht per WLAN angebunden, so leitet er den Anruf zurück an die HiPath 8000, die dann versucht den Teilnehmer über das PSTN zu erreichen. (Es muss angemerkt werden, dass als externe Endgeräte nicht nur GSM-Geräte sondern z.B. auch Festnetz-Apparate angemeldet werden können.)

Im Gegensatz zu einem VoIP-Gespräch zwischen zwei OptiPoint-Tischapparaten, bei dem der RTP-Strom direkt von Endgerät zu Endgerät geleitet wird (ver-

gleiche Abbildung 2), wird dieser während des Gespräches vom OptiPoint über den HiPath Mobile Connect Controller – der auch als RTP-Proxy fungiert – zum

Mobile Connect Client geleitet. Bei einem internen Anruf der HiPath 8000 zum nicht ins WLAN eingebuchten Mobiltelefon, fragt die HiPath 8000 zwar beim Mo-

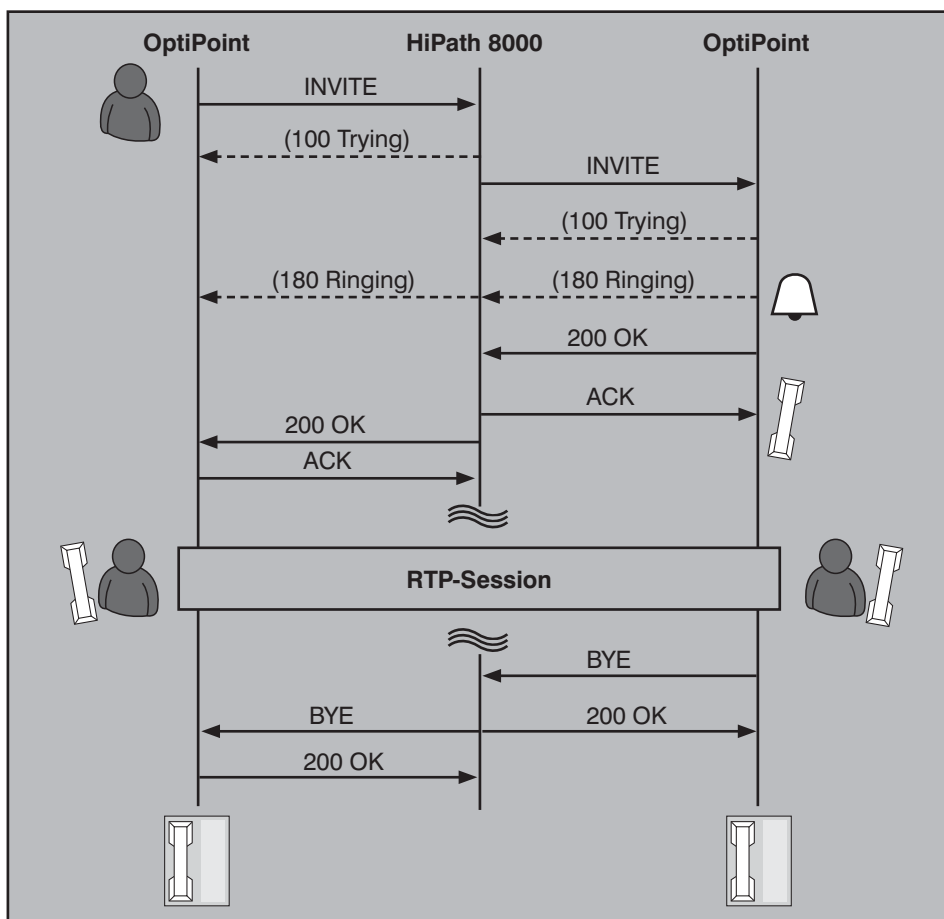


Abbildung 2: RTP-Strom ohne RTP-Proxy

Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

bile Connect Controller nach dem Status des Mobiltelefons, führt dann aber den Anruf über das PSTN an die GSM-Rufnummer durch. Abbildung 2 skizziert den zeitlichen Ablauf der Kommunikation.

Der Mobile Connect Client führt mithilfe der Hardware des Mobiltelefons regelmäßig Messungen der WLAN-Signalstärke durch. Wird der eingestellte Schwellwert für den aktuell verwendeten Access Point unterschritten, sendet das Mobiltelefon eine Benachrichtigung zum Roaming über die WLAN-Verbindung an den Mobile Connect Controller. Diese Benachrichtigung wird vom Mobile Connect Controller an die HiPath 8000 weitergeleitet, die dann ein neues Gespräch über das PSTN zur GSM-Nummer des Mobiltelefons aufbaut.

Beim umgekehrten Roaming von GSM zu WLAN registriert sich das mobile Endgerät beim HiPath Mobile Connect Controller sobald es über ein hinreichend stabiles WLAN-Signal verfügt. Die HiPath 8000 baut dann über den Mobile Connect Controller ein SIP-Gespräch über WLAN auf. Dann wird die GSM-Verbindung beendet und das Gespräch über das WLAN-Netz weiter geführt. Der Aufbau des WLAN-SIP-Gesprächs und der Abbau des GSM-Gesprächs erfolgen automatisch, ohne Zutun der beteiligten Nutzer.

**Avaya one-X Mobile**

Die Fixed-Mobile-Convergence-Lösung von Avaya nennt sich one-X Mobile Dual Mode und besteht im Wesentlichen aus dem one-X-Mobile-Client und dem one-

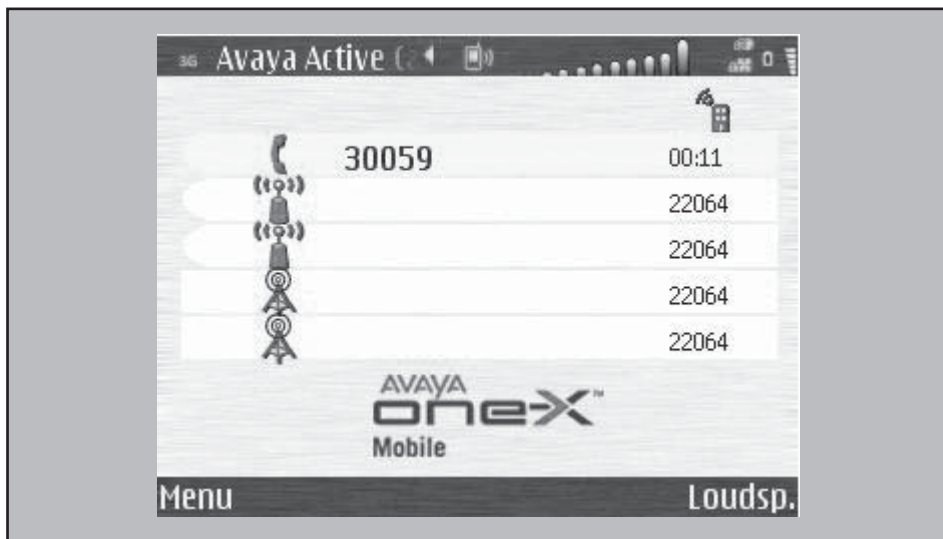


Abbildung 3: Avaya one-X Mobile Dual Mode Client

X-Mobile-Server. Als proprietäre Lösung werden der Avaya Communications Manager sowie ein SIP Enablement Server (SES) vorausgesetzt.

Bisher unterstützt Avaya one-X Mobile Dual Mode keine Verschlüsselung der Kommunikation zwischen Mobiltelefon und TK-Anlage. Wird die Client-Applikation aktiviert, zeigt diese ähnlich wie die Tischtelefone der Avaya one-X Serie die verfügbaren Leitungen im Display (vgl. Abbildung 3). Sie bietet zwei PSTN-Leitungen und - nach Verbindung mit dem WLAN - drei WLAN-Leitungen.

Um SIP-Kompatibilität herzustellen, benötigt die Avaya-Lösung den Avaya SIP-En-

ablement-Server (SES) als Übersetzer. Alle Gespräche der FMC-Lösung müssen den SES zumindest für die Signalisierung, also den Gesprächsaufbau und -abbau, verwenden. Auch bei Gesprächen zwischen SIP-Telefonen und Nicht-SIP-Telefonen übernimmt der SES die Vermittlung.

Der Avaya one-X Mobile Server verwaltet die Nummern der mobilen Endgeräte. In der Server-Applikation werden die einzelnen Funktionalitäten durch Kurzwahlnummern angesteuert. Mobiltelefone werden in der Konfiguration der PBX als so genannte Off-PBX-Stationen deklariert, um eine Unterscheidung zu den normalen IP-Telefonen zu schaffen. In Abb. 4 ist der grundlegende Aufbau der Avaya-Lösung dargestellt.

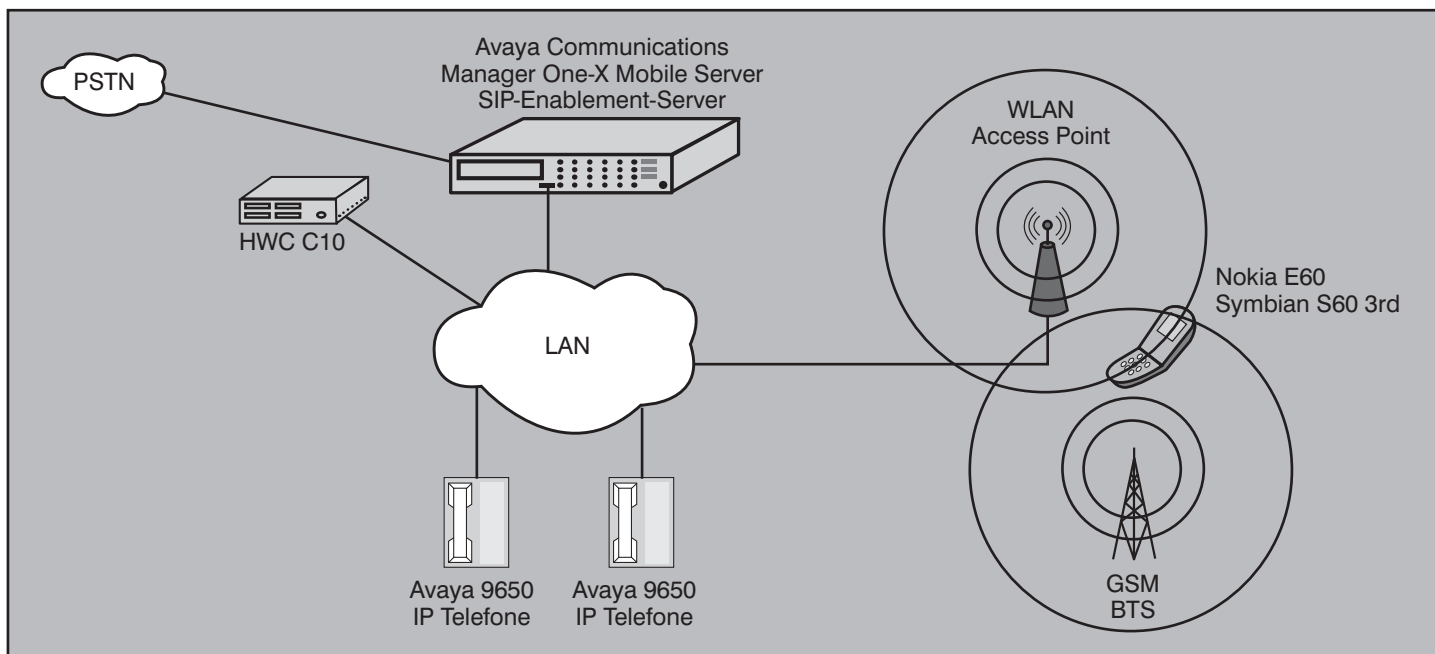


Abbildung 4: Grundaufbau Avaya one-X Mobile

Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

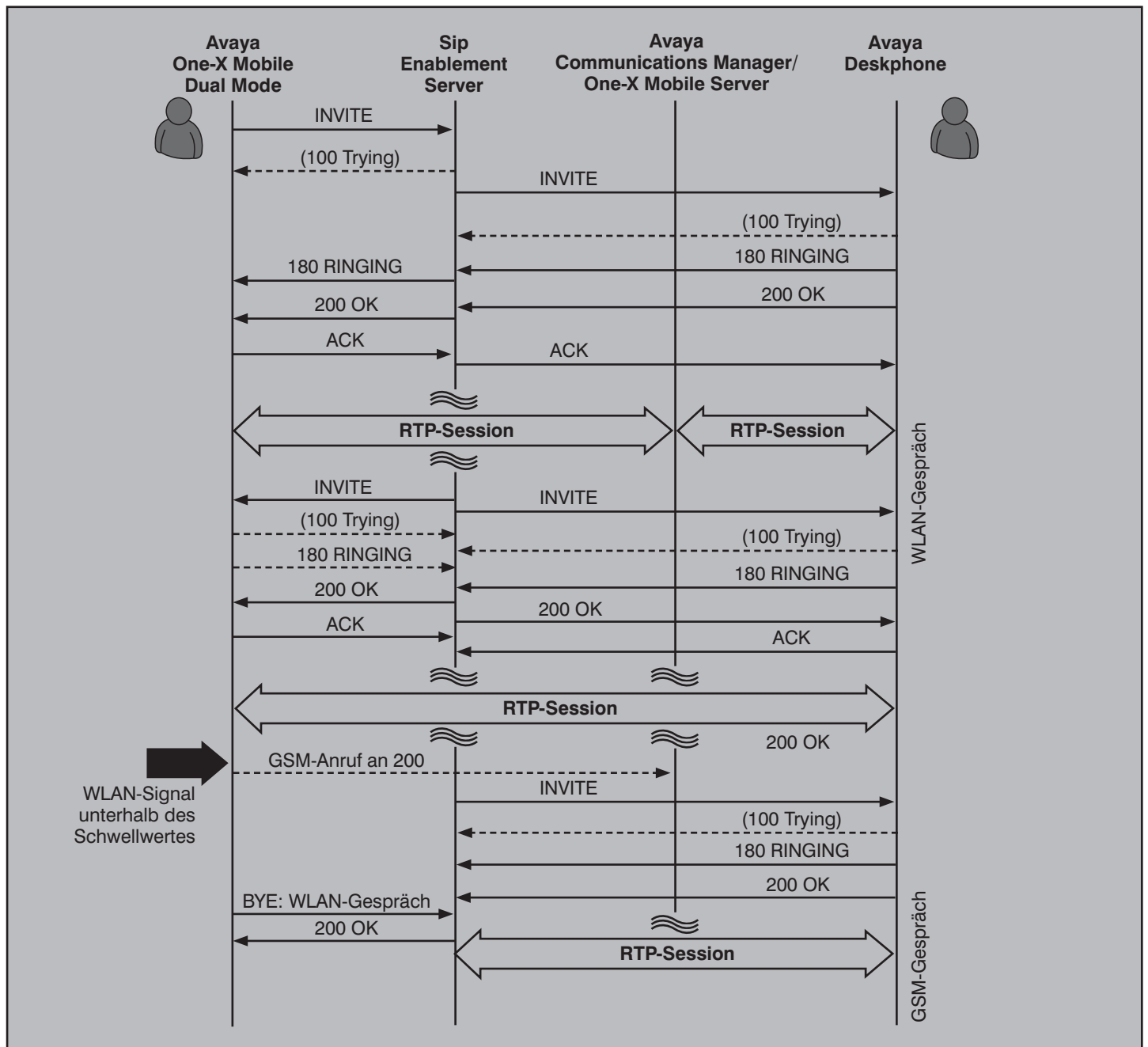


Abbildung 5: Avaya one-X Mobile Roaming von WLAN nach GSM

Auch beim Test der Avaya-Lösung wurde die Client-Applikation Avaya one-X Mobile Dual Mode auf einem Nokia E60 mit Symbian S60 3rd Edition installiert. Sie nutzt eines der vorinstallierten SIP-Profiles des Mobiltelefons. Bei der Installation wird die bevorzugte Anrufart des Mobiltelefons auf VoIP-Anruf umgestellt. Deaktiviert man die Client-Applikation, so bleibt diese Einstellung aktiv, was dazu führt, dass nur Gespräche über die Avaya-TK-Anlage geführt werden können.

Empfängt der Avaya Communication Manager ein Gespräch für das Mobiltelefon, so kontaktiert er den SES und den one-X Mobile Server, um festzustellen ob das Mobiltelefon im WLAN eingebucht ist. Bei einem WLAN-Gespräch kontaktiert der Server das Mobiltelefon über das WLAN unter der im Server hinterlegten internen Telefonnummer. Der RTP-Strom geht bei diesem Anruf über den one-X Server, der als RTP-Proxy agiert. Abbildung 5 zeigt den Verlauf einer Sitzung mit einem Roaming von WLAN nach GSM.

Communication Manager und SES befinden sich in einem Chassis mit nur einem LAN-Interface aber zwei IP-Adressen. Die Kommunikation zwischen den beiden Komponenten geschieht innerhalb des Chassis, so dass sie am LAN-Interface nicht analysiert werden konnte.

Die Avaya one-X Mobile Dual Mode Client Applikation führt in definierten Abständen mit Hilfe des Mobiltelefons Messungen bezüglich der Stärke des WLAN-Signals durch. Sobald der eingestellte Schwellwert unterschritten wird, führt das Mobilte-

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

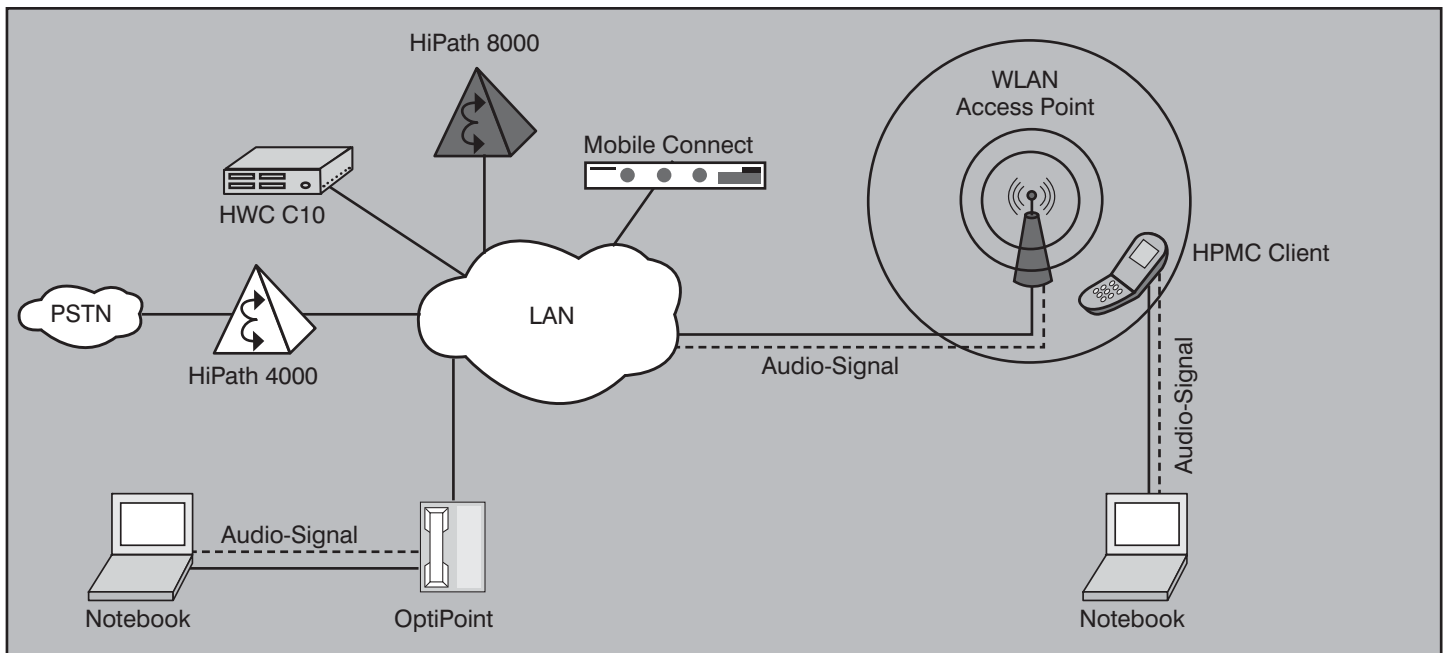


Abbildung 6: Aufbau zur Bestimmung der Sprachqualität am Beispiel Siemens Mobile Connect

lefon das Roaming durch. Beim Roaming von WLAN nach GSM ruft nach Unterschreitung des Schwellwertes das Mobiltelefon den Avaya one-X Server unter der Extension 200 über das GSM-Netz an und baut so eine zweite Verbindung auf. Es findet übergangsweise eine Konferenz statt. Teilnehmer dieser Konferenz sind das IP-Telefon, der Avaya Communication Server und zweimal das Mobiltelefon. Das Mobiltelefon nimmt mit WLAN und GSM an der Konferenz teil, bis das GSM-Gespräch komplett eingerichtet ist, dann beendet es das WLAN-Gespräch.

In umgekehrter Richtung, d.h. beim Roaming von GSM nach WLAN ist die Vorgehensweise ähnlich. Nachdem sich das Mobiltelefon ins WLAN eingebucht hat und sich an der TK-Anlage registriert hat, tätigt die Client-Applikation einen Anruf an die Kurzwahl 200. Dieser Anruf wird über das WLAN ausgeführt und so wieder die Konferenz mit den Teilnehmern IP-Telefon, Communication Server und zweimal Mobiltelefon eingerichtet. Wenn das WLAN-Gespräch aufgebaut ist, wird das GSM-Gespräch durch das Mobiltelefon beendet.

#### WLAN-Signalstärke und Sprachqualität

Im WLAN nimmt die effektive Übertragungsrate mit zunehmendem Abstand vom Sender oder durch andere dämpfende Einflüsse ab, da bei schlechterer Signalqualität automatisch robustere Modulationsverfahren verwendet werden. Fällt die Signalstärke jedoch weiter ab, führt das zu erheblichen Paketverlusten. Um

den Zusammenhang zwischen WLAN-Signalstärke und erzielter Sprachqualität festzustellen, wurden Messungen mit der MOS-Wert-Analyse Software PESQ-Scope durchgeführt.

Zunächst wurde die Testreihe mit Siemens HiPath Mobile Connect (HPMC) durchgeführt, da hier am Mobiltelefon die aktuell empfängerseitig gemessene WLAN-Signalstärke ablesbar ist (vgl. Abbildung 6). Vorteilhaft für diesen Versuch war zudem, dass am Mobiltelefon schnell zwischen den beiden Sprach-Codecs Internet Low Bitrate Codec (ILBC) und G.711a gewechselt werden konnte. Für den Test wurden alle Access Point bis auf einen deaktiviert, so dass nur eine WLAN-Funkzelle verwendet wurde.

Damit das Gespräch bei einer niedrigen Signalstärke nicht einfach ans GSM-Netz übergeben wurde, mussten die Schwellwerte für ein gefundenes und ein verlorenes WLAN-Signal am Mobiltelefon auf -89 dBm geändert werden, was dem Minimalwert der Software für ein gefundenes WLAN-Signal -71 dBm und für ein verlorenes -79 dBm eingestellt, so dass die automatische Übergabe eines Gespräches ans WLAN ab einer Signalstärke von -71 dBm und besser, vorgenommen wird (vergl. Abbildung 7). Damit kommt eine Kombination aus relativer Signalstärke mit Schwellwert und Hysterese zum Einsatz, so dass nur dann ein Roaming bzw. ein Handover durchgeführt wird, wenn die Signalstärke des neuen Zugangspunkts eine bedeu-

tend bessere Signalqualität bietet als der alte.

Die Messreihe wurde anschließend auch mit der Avaya-Lösung One-X Mobile Dual Mode durchgeführt. Dabei wurde die WLAN-Signalstärke bei diesen Messungen ebenfalls mit der Siemens Client Software HiPath Mobile Connect gemessen. Das Audio-Signal wurde über ein Avaya one-X IP-Telefon und die Avaya TK-Anlage übertragen. Auch hier wurde der Schwellwert am Mobiltelefon auf -89 dBm verringert.

Für die Messung wurde eine Audio-Referenzdatei von einem Notebook über ein OptiPoint IP-Telefon auf das im WLAN eingebuchte Mobiltelefon übertragen. Dort wurde das Signal abgegriffen und mittels der Software TotalRecorder aufgezeichnet. Zur MOS-Wert-Bestimmung wurde die Aufzeichnung dann mit der Referenz-Datei unter Verwendung von PESQ-Scope verglichen. Zur Referenz-Wert-Bestimmung wurde die Audio-Datei Ref.wav ohne jegliche Übertragung mit sich selbst mithilfe von PESQ-Scope verglichen. Bei allen drei Messungen kam als Ergebnis der MOS-Wert 4.5 heraus. Dies ist aus statistischen Gründen der maximale MOS-Wert, den die Software PESQ-Scope für eine Messung vergibt.

Zum Vergleich wurden auch Übertragungen über GSM aufgezeichnet und bewertet. Um Schwankungen der Übertragungsqualität weitgehend zu kompensieren, wurde hier der Mittelwert aus drei Messungen als Referenzwert für GSM fest-

Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

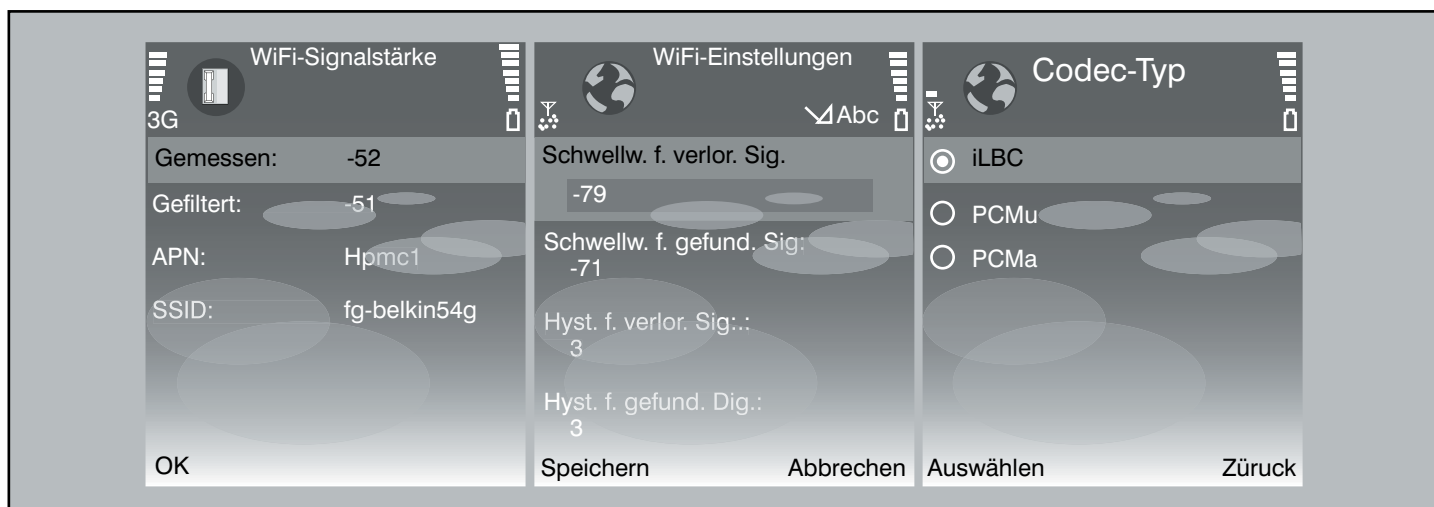


Abbildung 7: WLAN-Signalstärke, -Schwellwerte und Codec am Mobiltelefon HPMC

gelegt. Da die Mobilfunk-Provider unterschiedliche Sprachcodecs verwenden, wurden zudem für die GSM-Messungen unterschiedliche Provider (E-Plus, T-Mobile) genutzt. Die Messungen mit T-Mobile zeigen anhand der ausgezeichneten MOS-Werte, dass bei geringer Zellauslastung und gutem Empfangswert offenbar der Enhanced-Full-Rate-Sprachcodec verwendet wird. Bei zunehmender Auslastung der Mobilfunk-Zelle oder schwächerem Signal wird dann zu einem Codec gewechselt, der fehlertoleranter ist und weniger Bandbreite benötigt. E-Plus verwendet für GSM-Gespräche auch bei geringer Auslastung und gutem Signal nur den Full-Rate-Sprach-Codec. Die Messungen haben ergeben, dass der Enhanced-Full-Rate-Codec im GSM-Netz sehr gute MOS-Werte erzielen kann (durchschnittlich 3,8). Der Full-Rate-Codec hingegen liefert einen durchschnittlichen MOS-Wert von 3,3.

In Abbildung 8 sind die Messergebnisse dargestellt. Die WLAN-Messungen zeigen, dass bei einer WLAN-Signalstärke oberhalb von -75 dBm kaum eine Beeinflussung der Sprachqualität nachweisbar ist. Die Werte für Full-Rate und Enhanced Full-Rate-Codec sind unabhängig von der WLAN-Signalstärke und lediglich zu Vergleichszwecken in der Grafik dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass der PCMa Codec bis -80 dB deutlich bessere MOS-Werte liefert als der iLBC. Nehmen Paketverluste aufgrund von schwacher Signalstärke zu, so erreicht der iLBC eine ebenso gute Qualität wie der PCMa Codec. Dieser Trend kann durch seine Fähigkeit begründet werden, Paketverluste besser auszugleichen.

Da die meisten Mobilfunk-Anbieter mit dem Full-Rate-Code arbeiten, sollte dieser als erste Referenz genommen werden. Gegen ihn zeigen die WLAN-Gespräche

sehr gute Ergebnisse. Selbst im Vergleich zum Enhanced-Full-Rate-Codec erzielen die VoWLAN-Gespräche gute MOS-Werte, so dass sich beide Hersteller-Systeme im Bezug auf die Sprachqualität gegen ein GSM-Gespräch behaupten können. Auch subjektiv bewertet ist die Sprachqualität beim WLAN-Gespräch im Vergleich zum GSM-Gespräch besser.

**Mouth-to-Ear-Delay**

Durch Paketverluste, hohen Datenverkehr bei beschränkter Bandbreite und durch das Passieren einzelner Netzwerkkomponenten kann ein hörbarer Delay entstehen. Im Rahmen der Messungen wurde das Mouth-to-Ear-Delay gemessen. Dies beschreibt die Zeit, die zwischen der Erzeugung der Sprache im Mund des Senders bis zum Wahrnehmen der Information im Ohr des Empfängers vergeht, und setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen:

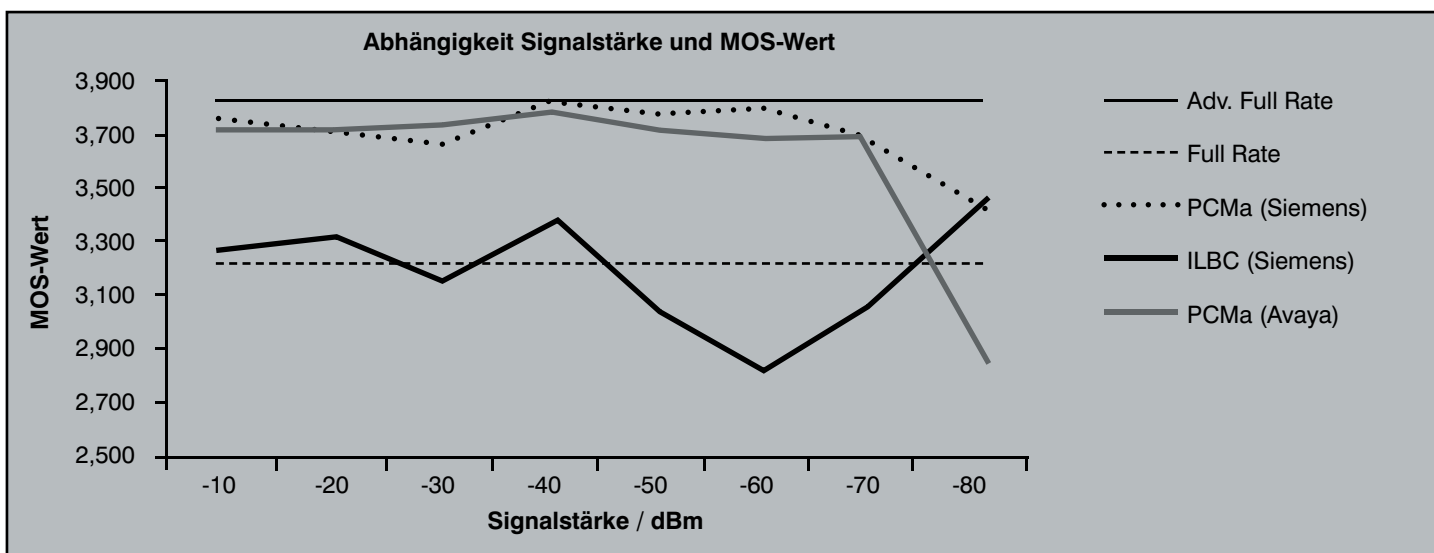


Abbildung 8: MOS-Werte bei unterschiedlichen Signalstärken

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

- Zeit für die Abtastung des Signals und Generierung des Bitstroms.
- Komprimierungszeit des verwendeten Algorithmus zuzüglich einer Verzögerung (look-ahead-delay), um Korrelationseffekte auszunutzen.
- Dauer für die Paketbildung, da hier abgewartet werden muss, bis genügend Bits für das nächste Paket verfügbar sind.
- Zeit zur Übertragung des Pakets auf das Netz.
- Physikalische Signallaufzeit.
- Verzögerung durch Warteschlangen an Netzkomponenten.
- Dauer des Empfängerbuffers, der dazu genutzt wird, die ankommenden Pakete trotz unterschiedlicher Ankunftszeiten in der richtigen Reihenfolge an den Decoder weiterzuleiten.
- Dekomprimierungszeit der Pakete zu einem Bitstrom.
- Zeit für die Signalgenerierung aus dem Bitstrom.

Zur Bestimmung der Ende-zu-Ende-Verzögerung wurden mehrere Messreihen durchgeführt. Am Audio-Analyse-Rechner wurde mittels des Test Ton Generators ein Stereo-Sweep-Sinus-Signal erzeugt. Einer der Kanäle wurde über ein IP-Telefon als VoIP-Gespräch an das Mobiltelefon übertragen. Vom Mobiltelefon wurde das Signal an den Audio-Analyse-Rechner weitergeleitet, bei dem der gesendete Kanal und der zurückkommende Kanal mit Hilfe der Software Zelscope verglichen wurde.

Anhand der Aufzeichnungen von Zelscope konnte der Zeitunterschied zwischen dem Ende des gesendeten (und direkt wieder zurückgeführten Signal) und dem über das Mobiltelefon geleiteten Signals bestimmt werden. Die sich daraus ergebende Zeit beschreibt den Mouth-to-Ear-Delay der Übermittlung.

Die Referenzmessung, bei der beide Mono-Kanäle direkt wieder in den Analyse-Rechner geleitet und gegen einander verglichen wurden, lieferte ein Delay von 0 ms. Bei den Messungen mit beiden Systemen wurde der Sinus-Sweep von

- einem IP-Telefon zum anderen,
- vom IP-Telefon zum Mobiltelefon über LAN und GSM und
- zuletzt vom IP-Telefon zum Mobiltelefon über LAN nach WLAN

übertragen. Da die Siemens-Lösung den einfachen Wechsel zwischen den zwei Sprach-Codern ermöglicht, wurde die Übermittlung über LAN und WLAN sowohl mit dem ILBC als auch mit dem PCMA-Codern durchgeführt.

Während die Systeme im LAN ein geringes Delay von durchschnittlich 89 ms erzielten, ergaben sich bei Siemens für die LAN-GSM-Verbindung bei drei Messungen im Durchschnitt 290 ms, für LAN-WLAN (ILBC) 410 ms und LAN-WLAN (PCMA) 598 ms. Das Avaya-System lieferte für ein LAN-GSM-Gespräch 189 ms und für ein LAN-WLAN-Gespräch einen Wert von 370 ms. Auch wenn die Delay-Werte hoch erscheinen, wurden diese nur dann von den Gesprächsteilnehmern wahrgenommen, wenn sich diese während des Gesprächs sehen konnten.

Mögliche Gründe für das gegenüber dem LAN-LAN-Mouth-to-Ear-Delay hohe LAN-WLAN-Mouth-to-Ear-Delay sind:

- Die schlechtere Prozessorleistung des Mobiltelefons bei der Codierung/Decodierung des Signals.
- Verschlüsselung/Entschlüsselung der über das WLAN übertragenen Daten.
- Ein höherer Jitter-Buffer, durch höhere Schwankungen in der durchschnittlichen Ankunftszeit, aufgrund der Fehleranfälligkeit der WLAN-Strecke.

Ende-zu-Ende-Verzögerungen sind für zwei entfernte Gesprächspartner nicht so einfach wahrnehmbar. Erst wenn sich die Teilnehmer beim Gespräch sehen können, Reaktionen zu lange auf sich warten lassen oder sie wahrnehmen, wann ihr gesprochenes Wort beim Gegenüber ankommt, wird ein Delay als negativ wahrgenommen.

Auch die originalgetreue Wiedergabe eines Sprachsignals wird von Menschen als qualitativ schlecht bewertet, wenn sie erst nach einem zu großen Zeitverzug erfolgt. Die dabei maßgebliche Grenze ist bei jedem Menschen individuell unterschiedlich. Die Feststellung dieser Grenze ist Gegenstand aufwändiger Studien (z. B. ITU G.114, „One Way Transmission Time“). Nach diesen Studien empfinden die sensibelsten Benutzer Verbindungen mit Mund-zu-Ohr-Delays von mehr als 150 ms als eine Art „Wechselsprechen“ und nicht als interaktives Gespräch. Beim weniger empfindlichen Benutzer liegt diese Grenze etwas höher.

**Handover zwischen zwei WLAN-Zellen**

Im WLAN-Umfeld wird oft auch der Wechsel zwischen zwei WLAN-Funkzellen als „Roaming“ bezeichnet. Im Mobilfunk bezeichnet Roaming üblicherweise den Provider-Wechsel, während der Wechsel von Funkzellen während eines laufenden Gesprächs als Handover bezeichnet wird. Um keine Verwirrung entstehen zu lassen, soll diese Sprachregelung im Folgenden auch für das WLAN-Umfeld genutzt werden.

Der Handover-Vorgang ist bei der Übertragung von Sprache ein sehr kritischer Bereich, da hier erhebliche Verzögerungen oder sogar Paketverluste und damit erhebliche Qualitätseinbußen bei der Sprachübertragung auftreten können. Verzögerung entsteht u.a. auf Schicht 2 zwischen den Access Points und auf Schicht

**Jetzt Leser werden****Der Netzwerk Insider**

Der Netzwerk Insider erscheint 12 Mal im Jahr im PDF-Format und informiert Sie per eMail über die Hintergründe aktueller Netzwerk-Technologien. Jeden Monat werden zwei Themen gewählt, über die in ausführlicher Form topaktuelle Insider-Informationen gegeben werden. Der Netzwerk-Insider vertritt die Sichtweise von Technologie-Anwendern und bewertet Produkte und Technologien im Sinne der wirtschaftlichen und erfolgreichen Umsetzbarkeit in der täglichen Praxis. Durch seine strenge wirtschaftliche Unabhängigkeit (keine Hersteller-Anzeigen) kann er es sich leisten, Schwachstellen und Nachteile offen anzusprechen. Der Netzwerk-Insider ist bekannt für seine kritische, herstellerneutrale und fundierte Technologie-Bewertung.



Hier können Sie sich zum Netzwerk Insider kostenlos und ohne jede Verpflichtung registrieren lassen:

<http://www.comconsult-akademie.de/de/Registrierung.php>

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

3 bei der Konfiguration von IP-Adresse, Re-Routing und Authentifizierung. Einige Hersteller unterstützen darüber hinaus auch Preemptive Roaming, das den Client bereits an benachbarten Access Points anmeldet, obwohl er sich noch gar nicht in Reichweite befindet. Das ermöglicht einen reibungslosen Übergang, sobald der Client in Reichweite des nächsten Access Point kommt.

Ein Handover-Vorgang von einem Access Point zum nächsten besteht aus mehreren Schritten. Hier ist zunächst die Reauthentifizierung zu nennen. Damit die bestehende Verschlüsselung erhalten bleibt, ist in den meisten Fällen das Aushandeln eines neuen Keys gemäß 802.11i erforderlich. In einigen Fällen erhält der Client eine neue IP-Adresse und der IP-Traffic muss zum neuen AP gelangen, mit dem der Client dann verbunden ist. Wird im Netzwerk ein QoS-Kontext (Quality of Service) gemäß 802.11e konfiguriert, so muss dieser erhalten bleiben, um die Servicequalität und die erforderliche Übertragungsgeschwindigkeit sicherzustellen. All diese Schritte sind bei jedem Access-Point-Wechsel notwendig, ohne dass der Benutzer etwas davon bemerken sollte. Ein weiteres Problem ist die mit zunehmender Entfernung des Clients vom Access Point sinkende Datenübertragungsrate bis hinunter zu 1 MBit/s. Damit können unter Umständen Störungen auftreten, obwohl schon früher ein Access Point mit besserer Übertragungsgeschwindigkeit in Reichweite gewesen wäre.

„Klassische“ WLANs nach IEEE 802.11 verwenden den Mobile Controlled Handover (MCHO) für den Zellwechsel. Eine Kanalmessung wird dabei nur endgeräte-seitig durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen entscheidet ausschließlich das Mobilgerät über einen durchzuführenden Handover. Beim Einsatz von Thin-Access-Point-Systemen stehen hingegen andere Möglichkeiten zur Verfügung. So kann der Controller Hand-over-Entscheidungen z.B. aufgrund von zentral zur Verfügung stehenden Informationen über die Auslastung einzelner Access Points oder die Signalstärke zwischen diversen Access Points und einem einzelnen Endgerät treffen. Auf diese Weise lassen sich Überlastungen vermeiden und Hand-over schon frühzeitig auslösen, so dass dem Client immer die bestmögliche Übertragungskapazität zur Verfügung steht.

Die verwendeten Nokia-Endgeräte versuchen so lange wie möglich mit dem gewählten Access Point verbunden zu bleiben. Aus diesem Grund wurden Handover-Vorgänge erst eingeleitet, wenn ein Signalverlust kurz bevor stand – auch dann, wenn

schon lange vorher ein Access Point mit deutlich besserem Signal in Reichweite war. Im schlechtesten Fall führt diese Vorgehensweise sogar zu einer Übergabe des Gesprächs an das GSM statt an einen anderen Access Point. Nur durch eine größere Überlappung der WLAN-Zellen konnte dieses Problem behoben werden.

Um Qualitätseinbußen beim Handover quantitativ bestimmen zu können, wurde ein Sinussignal mit 500 Hz mittels der Software „Test Ton Generator“ über ein Notebook an ein IP-Telefon übertragen. Mithilfe einer VoIP-Verbindung wurde das Signal an das Mobiltelefon weitergeleitet. Dort wurde es wieder abgegriffen und mit einem Notebook unter Verwendung der Software „Audacity“ aufgezeichnet. Zur Messung der qualitativen Einbußen infolge eines Handover wurde ein Test-Audio-File in einer Endlosschleife über denselben Weg wie das Sinussignal übertragen und aufgezeichnet. Diese nach der Übertragung aufgezeichnete Datei wurde dann zur Mean-Opinion-Score-Wert-Bestimmung mit dem Originaldatei durch die Software PESQ-Scope verglichen.

Für beide Untersuchungen wurde das Dual-Mode-Mobiltelefon im Überdeckungsbereich von zwei WLAN-Zellen platziert. Anschließend wurde der Handover-Vorgang auf unterschiedliche Weise ausgelöst.

- Im ersten Versuch wurde das Mobiltelefon vom gerade verbundenen Access Point durch den WLAN-Controller abgemeldet und verband sich daraufhin

mit dem anderen Access Point.

- Beim zweiten Test wurde vom gerade verwendeten Access Point das Stromkabel abgezogen, so dass sich das Mobiltelefon mit dem anderen Access Point verbinden musste.
- Im dritten Test wurde das LAN-Kabel vom gerade verwendeten Access Point abgezogen und der resultierende Handover-Vorgang aufgezeichnet.

Zum Abschluss der Testreihe wurde bei „normaler“ Schrittgeschwindigkeit der Sendebereich der einen Funkzelle verlassen, bis das Handover an den zweiten Access Point stattfand. Dabei wurde das übertragene Sinus-Signal aufgezeichnet, um eventuelle Ausfälle zu dokumentieren.

Bei der Avaya-Lösung one-X Mobile Dual Mode erzeugte der durch den Zellwechsel verursachte Handover einen durchschnittlichen Ausfall von 155 ms. Die Siemens Mobile-Connect-Lösung benötigte im Durchschnitt von drei Messungen 295 ms. Eine mögliche Erklärung für die zusätzlich für das Handover benötigte Zeit gegenüber der Avaya-Lösung, könnte eine Kontaktaufnahme zum Controller sein, dem der Zellwechsel mitgeteilt wird.

Trennt man den Access Point durch ein beherztes Entfernen des Netzkabels vom Netz, führt das zu einem stark verzögerten Handover. Das Mobiltelefon blieb durchschnittlich 31 Sekunden mit dem Access Point verbunden, obwohl dieser

## Jetzt Leser werden

### Der Netzwerk Insider

Der Netzwerk Insider erscheint 12 Mal im Jahr im PDF-Format und informiert Sie per eMail über die Hintergründe aktueller Netzwerk-Technologien. Jeden Monat werden zwei Themen gewählt, über die in ausführlicher Form topaktuelle Insider-Informationen gegeben werden. Der Netzwerk-Insider vertritt die Sichtweise von Technologie-Anwendern und bewertet Produkte und Technologien im Sinne der wirtschaftlichen und erfolgreichen Umsetzbarkeit in der täglichen Praxis. Durch seine strenge wirtschaftliche Unabhängigkeit (keine Hersteller-Anzeigen) kann er es sich leisten, Schwachstellen und Nachteile offen anzusprechen. Der Netzwerk-Insider ist bekannt für seine kritische, herstellerneutrale und fundierte Technologie-Bewertung.



Hier können Sie sich zum Netzwerk Insider kostenlos und ohne jede Verpflichtung registrieren lassen:

<http://www.comconsult-akademie.de/de/Registrierung.php>

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

keine Verbindung mehr zum Netzwerk hatte. Erst nach dieser Zeit verband sich das Mobiltelefon mit dem anderen Access Point. Die Unterbrechung entspricht der Zeit, die vergeht bis durch ein Timeout erkannt wird, dass der Access Point nicht mehr erreichbar ist und die Verbindung zum neuen Access Point hergestellt wurde. Abbildung 9 zeigt den Verlauf der Übertragung mit deutlicher Unterbrechung.

Subjektiv bewertet sind die Unterbrechungen, die durch ein reguläres Handover entstehen, bei beiden Systemen in einem Gespräch kaum wahrnehmbar und nicht störend. Sie erzeugen lediglich einen kurzen „Knacks“ beziehungsweise Aussetzer. Daher lässt sich feststellen, dass an dieser Stelle gegenüber DECT-Lösungen oder reinen Mobilfunk-Ansätzen keine Nachteile bei einer WLAN-Lösung entstehen.

Der von den Endgeräten verwendete Schwellwert für das Handover zur nächsten WLAN-Zelle war im Rahmen der hier dargestellten Testreihen nicht beeinflussbar. Lediglich die Werte für den Roaming-Vorgang konnten mittels der Client-Applikationen eingestellt werden. Wäre der Parameter für ein Handover einstellbar, könnte hier u.U. eine nutzerspezifische Anpassung an das gegebene WLAN und an die eigenen Qualitätsansprüche erfolgen.

Ein möglicher Ansatz dafür wäre z.B. ein Hysterese-abhängiges Handover, ähnlich wie beim Roaming. Bewegt sich der WLAN-Client von Access Point 1 in Richtung Access Point 2, ist das Handover davon abhängig, ob das gemessene WLAN-Signal unterhalb des Schwellwertes liegt und die Differenz der beiden gefundenen

WLAN-Signale größer als der eingestellte Hysterese-Wert ist. Durch die Anwendung der Kombination von Schwellwert, relativer Signalstärke und Hysterese wird der so genannte „Ping-Pong“-Effekt vermieden, der den permanenten Handover zwischen zwei empfangenen Access Points aufgrund von Schwankungen in der SNR beschreibt. Hierbei muss allerdings eine eventuell daraus resultierende Verlängerung des Hand-over-Vorgangs möglichst vermieden werden.

### Seamless Roaming

Die unterbrechungsfreie Übergabe eines laufenden Gespräches von einer drahtlosen Kommunikationstechnologie zu einer anderen ist der zentrale Vorteil dieser FMC-Lösungen. Dabei wurde die Übergabe eines WLAN-Gesprächs an das GSM-Netz und eines GSM-Gesprächs ans WLAN-Netz untersucht. Die Richtung des Roaming-Vorgangs hatte jedoch keinen Einfluss auf die Messergebnisse der jeweiligen Lösung.

Abbildung 10 zeigt den Verlauf der Medienströme bei der Siemens-Lösung.

Im Testaufbau zum nahtlosen Übergang eines laufenden GSM-Gesprächs am Mobiltelefon zum WLAN wurde nur eine WLAN-Funk-Zelle betrieben. Das Mobiltelefon befand sich am Rand der Zelle, so dass sich das Mobiltelefon nicht in das WLAN-Netz einbucht. Während des laufenden GSM-Gesprächs wurde nun das Mobiltelefon weiter in die WLAN-Zelle hinein bewegt, bis das Roaming ins WLAN stattfand. Für den umgekehrten Übergang wurde bei laufendem WLAN-Gespräch der Sendebereich der WLAN-Funk-Zelle ver-

lassen, bis das Gespräch ans GSM-Netz übergeben wurde.

Die Messungen wurden mit zwei unterschiedlichen Intentionen und aus diesem Grund auch mit zwei unterschiedlichen Audiodateien durchgeführt.

- Im ersten Versuch wurde ein 500 Hz Sinus-Signal übertragen. Mit diesem durchgängigen Signal sollte die Ausfallzeit während des Roamings vom GSM ins WLAN-Netz gemessen und visualisiert werden.
- Im zweiten Versuch wurde eine Referenzdatei übertragen. Auf diese Weise konnte ein MOS-Wert für den Roaming-Vorgang von GSM nach WLAN bestimmt werden.

Durch die Ergebnisse der Roaming-Messungen wurden die Unterschiede der beiden Lösungen deutlich. Zwar vollzogen beide den Roaming-Vorgang zumeist zuverlässig, allerdings mit unterschiedlicher Qualität bezüglich der Ausfallzeiten.

Zur Bestimmung der Ausfallzeiten wurde das Sinussignal übertragen und während des Roamings am Mobiltelefon aufgezeichnet. Bei Avaya war während des Roamings von WLAN nach GSM kein Ausfall messbar. Es gab lediglich in einigen Fällen ein Echo des gesendeten Audio-Signals, ein paar Doppler und einen Piepser beim Roaming. Beim Roaming-Vorgang von GSM nach WLAN war es ähnlich. In den Messungen waren Aussetzer im Bereich von 6 bis 60 ms nachweisbar, die zusammen mit dem durchschnittlich 90 ms langen Piepsen einen maximalen Sprachverlust von 150 ms ergaben. Bei Siemens

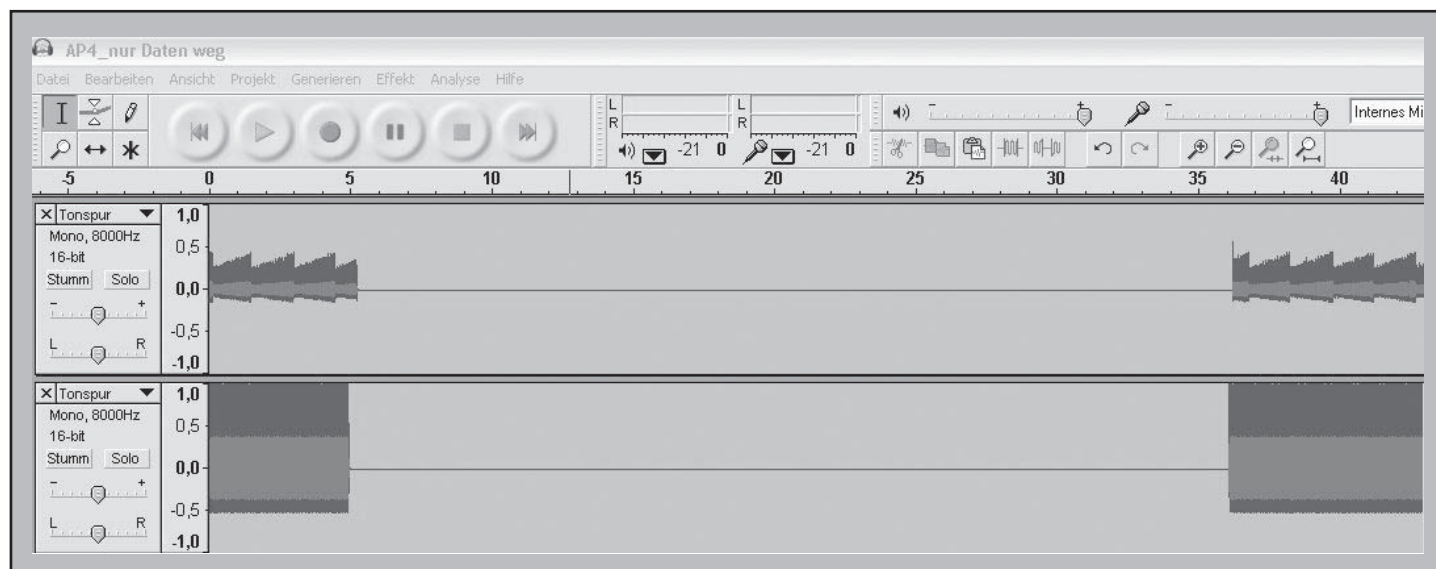


Abbildung 9: Beide Systeme mit 31 Sekunden Unterbrechung

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

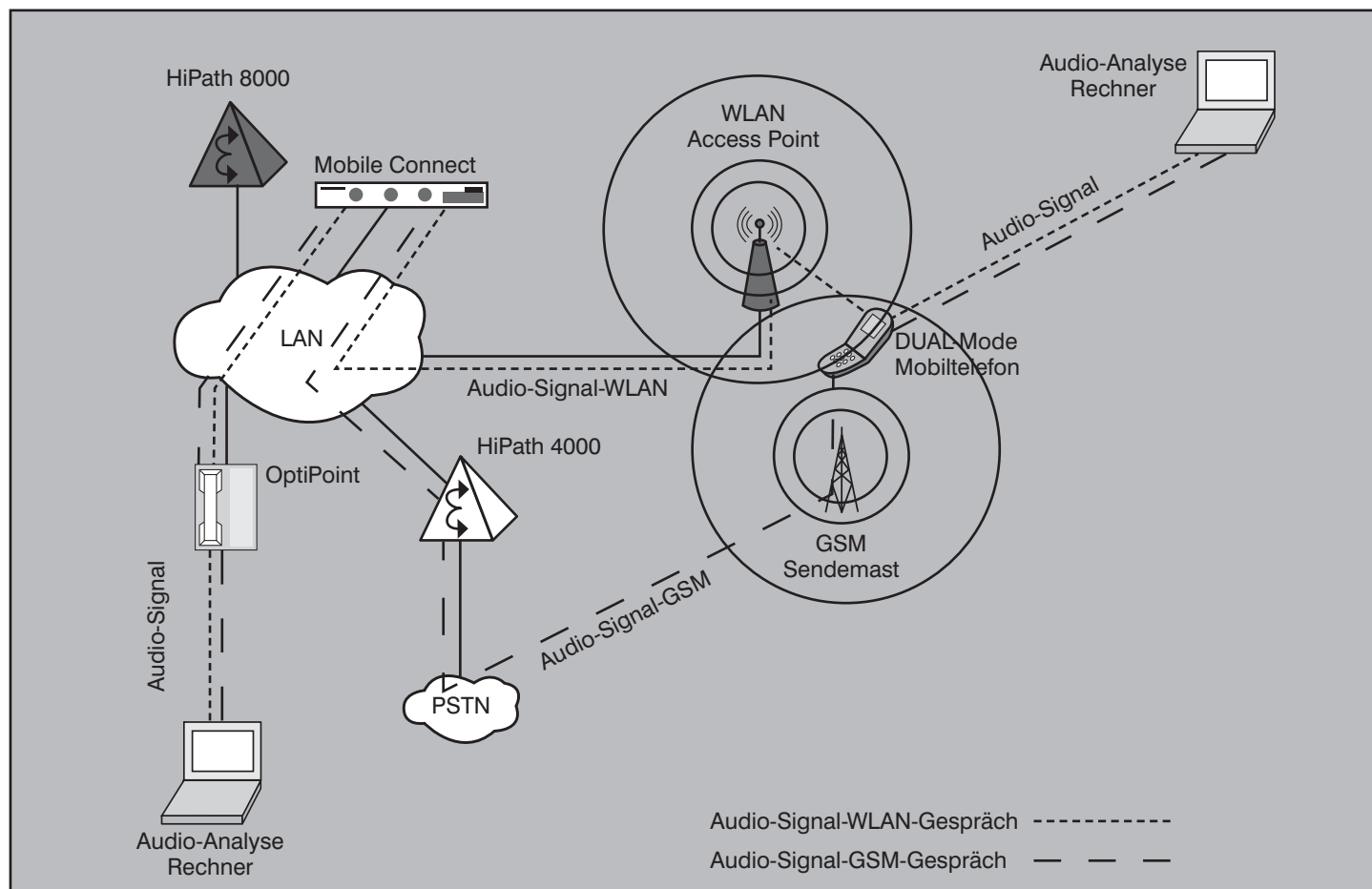


Abbildung 10: Verlauf der Medienströme am Beispiel Siemens

waren die Ausfall-Zeiten deutlich größer. Das Roaming von WLAN nach GSM erzeugte eine Pause von 1834 ms, während das umgekehrte Roaming einen Ton-Ausfall von 900 ms hervorrief.

Zur qualitativen Bewertung des Roaming-Vorgangs der beiden Systeme wurde eine Sprach-Datei übertragen und die aufgezeichnete gegen die gesendete mittels PESQ-Scope bewertet. Allerdings waren die Bestimmung des Ausfallzeitpunktes und die Ausfalldauer durch die in der Datei bereits vorhandenen Sprachpausen nicht immer bis auf wenige Millisekunden möglich. Bei Avaya war das Roaming meist durch ein ungefähr 90 ms kurzes Piepen und den Aussetzer begleitet.

Je nachdem wo die Aussetzer auftraten, wurden bei Siemens aufgrund der längeren Ausfallzeiten nur sehr geringe MOS-Werte erzielt. Die hierbei erzielten MOS-Werte lagen bei Siemens mit PCMa-Codec zwischen 1,8 und 2,9. Bei Verwendung des ILBC wurden MOS-Werte zwischen 1,7 und 2,7 erreicht. Durch die geringeren Ausfallzeiten bei Avaya lagen dort die MOS-Werte zwischen 2,3 und 3,2.

Allerdings kam es bei den Tests in einzelnen Fällen mit der Avaya-Applikation zu Problemen beim Roaming von GSM nach WLAN. So wurde ein Gespräch weiter über das GSM-Netz geführt, obwohl sich das Mobiltelefon längst in einem Bereich mit ausreichender WLAN-Signalstärke aufhielt. Da das Mobiltelefon bereits das Symbol für die Verbindung zum WLAN im Nokia-Display anzeigte, wurde die vorhandene Verbindung in der Avaya-Applikation noch nicht als verfügbar angezeigt und demnach auch noch kein Roaming-Vorgang eingeleitet. Eine Lösung für dieses Problem könnte eine verbesserte Kommunikation zwischen der Avaya-Applikation und den Schnittstellen des Mobiltelefons bringen, da das Mobiltelefon das WLAN-Signal rechtzeitig erkennt, aber die Information von der Avaya-Applikation nicht rechtzeitig verstanden wird.

Bei der Siemens Client-Applikation konnten als Einflussfaktoren für den Roaming-Vorgang sowohl Schwellwert als auch Hysterese-Wert geändert werden, während bei der Avaya Client-Applikation one-X Mobile Dual Mode lediglich der Schwellwert angepasst werden konnte.

Dies deutet darauf hin, dass zumindest Siemens für das Auslösen des Roaming-Vorgangs ein Hysterese-abhängiges Verfahren verwendet. Dadurch würden wie beim WLAN-Handover „Ping-Pong“-Roamings zwischen WLAN und GSM vermieden werden. Die Übergabe des laufenden GSM-Gesprächs an das WLAN-Netz wurde bei Siemens kurz nach Erreichen des Schwellwertes für das gefundene WLAN-Signal durchgeführt.

Während Siemens Mobile Connect erst bei Erreichen des eingestellten Schwellwertes für die WLAN-Signalstärke mit dem Aufbau einer GSM-Verbindung beginnt, arbeitet Avaya mit mehreren parallelen Sprachverbindungen. Bei Einleitung des Roaming-Vorgangs erzeugt Avaya eine Konferenz-Schaltung und beendet dann die eine der beiden Verbindungen zum Mobiltelefon. An dieser Konferenz sind der Communications Server, der Anrufer aus dem Festnetz und das Mobiltelefon (sowohl per WLAN als auch per GSM) beteiligt. Allerdings kann keine der beiden Lösungen zuverlässig mit abruptem Verlust der Signalstärke des gerade verwendeten Kommunikationsnetzes umgehen.

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

In den meisten Fällen führte dies zum Verlust des Gesprächs.

### Sprachqualität bei Voice over WLAN

Um die Leistungsfähigkeit der beiden Systeme auch unter denselben Bedingungen vergleichen zu können, wurden die Messungen zur Sprachqualität bei einer festen WLAN-Signalstärke durchgeführt. Dafür wurde an einer dedizierten Stelle die WLAN-Signalstärke bestimmt und dort das Mobiltelefon platziert. Als Audio-Datei wurde die mit der Software PESQ-Scope gelieferte Referenz-Datei verwendet.

Die Audio-Datei wurde dabei als Gespräch übertragen und am Mobiltelefon aufgezeichnet. Im Anschluss wurde der resultierende MOS-Wert mit PESQ-Scope bestimmt. Damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu herkömmlichen Gesprächen möglich war, wurden die Messungen für eine Übertragung von

- LAN nach LAN
- LAN nach GSM und
- LAN nach WLAN

mit den verfügbaren Sprach-Codern durchgeführt. Die berechneten Durchschnittswerte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Die Messungen zeigten, dass Avaya im Durchschnitt etwas bessere MOS-Werte sowohl bei LAN-LAN, als auch bei LAN-WLAN-Gesprächen liefert. Zum Vergleich wurden dann für einzelne Messungen bei Siemens nicht die einfachen OptiPoint IP-Telefone, sondern zwei hochwertige OpenStage-Geräte verwendet. Allerdings wurden auch mit diesen Geräten keine deutlich höheren MOS-Werte erzielt.

Die gemessenen MOS-Werte für den ILBC lagen bei der gewählten WLAN-Signalstärke und der geringen Zellauslastung deutlich unter denen des PCMa-Codern. Während Siemens HiPath Mobile Connect den manuellen Wechsel zwischen diesen beiden Audio-Codern in der Client-Applikation ermöglicht, kann ein Wechsel bei Avaya nur über den Avaya Communication Server eingestellt werden. Hier wäre bei beiden Lösungen die Integration eines Mechanismus wünschenswert, der den automatischen Wechsel zwischen den Codern managed. Dieser Mechanismus darf allerdings nicht den Wechsel zum GSM-Netz hinauszögern, sondern sollte nur dann Anwendung finden, wenn zum Beispiel gerade kein GSM-Netz verfügbar ist, die WLAN-Signalstärke aber unter einen gewählten Schwellwert sinkt. Auf diese Weise könnte auch in Bereichen ohne GSM-Abdeckung und nur mit geringer

	Codec	Siemens [MOS-Wert]	Avaya [MOS-Wert]
LAN nach LAN	PCMa	3.8	4.1
LAN nach GSM	Enh. Full-Rate	3.8	3.9
LAN nach GSM	Full-Rate	3.3	3.8
LAN nach WLAN	PCMa	3.7	4.1
LAN nach WLAN	ILBC	3.2	---

Tabelle 1: MOS-Vergleich der Systeme

WLAN-Signalstärke noch eine möglichst gute Sprachqualität ohne Gesprächsverlust erreicht werden.

Es bleibt noch die Frage, ob neue Entwicklungen und Standardisierungsbemühungen der Hersteller auch erheblichen Einfluss auf VoWLAN- bzw. FMC-Lösungen haben werden. Hier stehen vor allem die Standardisierungsbemühungen rund um 802.11n im Fokus zahlreicher Veröffentlichungen. Der kommende Standard ermöglicht schon heute deutlich höhere Datenraten als bisherige WLAN-Standards, bringt jedoch auch erheblich mehr Energiebedarf der Endgeräte mit sich, so dass er für mobile Telefonie bisher nicht in Frage kommt. Vielmehr werden erweiternde Standards wie 802.11k Radio Resource Measurement Enhancements und 802.11r Fast Roaming nutzbare Vorteile bringen. Während 802.11k eine effektivere Verwaltung der Access Point Ressourcen durch Messung der Auslastung oder Regulierung der Sendeleistung ermöglicht, bietet 802.11r ein schnelleres Verfahren für das Handover. Durch eine Kombination dieser beiden Erweiterungen könnte dann ein schnelleres und sichereres Handover realisiert werden.

### Testergebnisse

Fixed Mobile Convergence ist ein Teil der Unified-Communications-Lösungen einiger Hersteller, die zunehmend Verbreitung bei Unternehmen finden. Grundlage für den Einsatz von FMC-Systemen sind Unternehmens-WLANs mit ausreichender Abdeckung und Signalqualität, um sicherzustellen, dass eine ähnlich hohe Sprachqualität zu erreichen ist wie bei DECT oder Mobilfunknetzen. Ein Zusammenhang zwischen WLAN-Signalstärke und Sprachqualität ist vor allem spürbar, wenn die Signalstärke so niedrig ist, dass die Systeme bereits selbstständig in das GSM-Netz gewechselt hätten. Oberhalb eines Wertes von -80 dBm konnte keine nennenswerte Beeinträchtigung mehr festgestellt werden.

Bei einer sorgfältig ausgeführten Zell- und Kanalplanung sollte es durch Überdeckung der Funkzellen im Abdeckungsbe-

reich keine zu geringe Signalstärke geben. Lediglich an den Zellgrenzen der sich am Rande befindlichen Zellen darf die Mindestsignalstärke unterschritten werden. Dabei müssen auch Störungen durch andere Sendequellen, Interferenzen, bauliche Hindernisse und Probleme mit stark dämpfenden Hindernissen wie schnell schließende Stahltüren berücksichtigt werden.

Vergleicht man die Datenrate des G.711a-Codern, die bei 64 kBit/s liegt, mit der minimalen Bandbreite am Rand einer WLAN-Funkzelle von 1 MBit/s, wird deutlich, dass nur durch zusätzliche Last in der Zelle ein Engpass entstehen kann. Eine Trennung von Daten- und Sprach-Netzwerk ist zwar ein denkbarer Ansatz, eine Überlastung der Funkzellen zu vermeiden, läuft jedoch dem Unified-Communications-Gedanken völlig zu wider. Eine Verkehrssteuerung nach 802.11e zur Unterstützung von Quality of Service (QoS) im WLAN ist für die Priorisierung der Sprach-Pakete im WLAN-Verkehr jedoch unverzichtbar.

Für das Handover zwischen den WLAN-Zellen gilt ähnliches wie für den Zusammenhang von Signalstärke und Sprachqualität. Wenn das WLAN-Netzwerk mit ausreichend Kapazität für VoWLAN und durchgängig guter Signalstärke durch Überdeckung der Zellen geplant wurde, ist der Handover-Vorgang am Mobiltelefon kaum wahrnehmbar. Beim Roaming, also dem Übergang zwischen WLAN und GSM, funktionieren beide hier getesteten Systeme hingegen nicht immer zu 100 Prozent zuverlässig. Die während eines VoWLAN-Gesprächs gute Sprachqualität verschlechterte sich mit zunehmender Unterbrechungszeit beim Roaming beträchtlich. Zum Zeitpunkt der Tests schnitt die Avaya-Lösung unter den hier getesteten Herstellern etwas besser ab. Je nach verwendetem Codec erzielte Siemens MOS-Werte zwischen 1,8 und 2,9, während Avaya Werte zwischen 2,3 und 3,2 erzielte. Es bleibt abzuwarten, ob die nächsten Versionen der FMC-Lösungen hier deutliche Verbesserungen bringen werden.

## Fixed-Mobile-Convergence: Ist das Roaming zwischen WLAN und GSM schon reif für die Ablösung von DECT?

Auch beim Handover zwischen WLAN-Zellen schnitt Avaya etwas besser ab. Bei one-X Mobile verursachte Handover einen durchschnittlichen Ausfall von 155 ms. Siemens Mobile-Connect-Lösung benötigte knapp 300 ms. Beide Ausfallzeiten sind aber in der Regel kaum wahrnehmbar, so dass dieser Unterschied nicht ins Gewicht fällt.

Bei der Übertragungsverzögerung ergeben sich bei beiden Lösungen ebenfalls minimale Unterschiede. Während bei Siemens für die LAN-GSM-Verbindung knapp 300 ms, für LAN-WLAN (ILBC) 410 ms und LAN-WLAN (PCMa) 598 ms auftreten, bleibt Avaya mit 189 ms - für ein LAN-GSM-Gespräch und 370 ms für ein LAN-WLAN-Gespräch minimal darunter. Alle genannten Werte führen subjektiv zu keiner nennenswerten Beeinträchtigung der Sprachqualität.

Ingesamt bleiben auch die ansonsten von Siemens erzielten MOS-Werte bei diversen Übertragungsvarianten etwas schlechter als die von Avaya (im Durchschnitt 0,3). Dieser Abstand entsteht aber auch bei der reinen Voice-over-IP-Übertragung im LAN. Ansonsten wiesen die hier getesteten Lösungen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf, so dass eine Kaufentscheidung kaum aufgrund der Sprachqualität erfolgen sollte, sondern eher im Hinblick auf eine bessere Integration in die vorhandenen WLANs, TK-Lösungen, Unified Communications-Lösungen etc. - und da sind beispielsweise Standard-Konformität, Hersteller-übergreifende Kompatibilität und Ausbaufähigkeit erheblich gewichtigere Argumente.

### Fazit

Nach einer Gartner-Studie verfügt heute jeder mobile Mitarbeiter heute über sechs Endgeräte bzw. Applikationen, mit denen er regelmäßig kommuniziert. FMC lässt viele dieser Endgeräte überflüssig werden und sorgt gleichzeitig für die mobile Nutzbarkeit alter und neuartiger Dienste. Die Konvergenz im Messaging-Bereich (SMS, MMS, IM, Chat) sowie Unified Messaging (Voice-mail, E-Mail, Fax, Kalender, Directory) sind Aspekte, die in zukünftigen Lösungen realisiert werden sollten. Die Erreichbarkeit unter einer Nummer, unabhängig vom aktuellen globalen Aufenthaltsort, Präsenzstatus als Anhaltspunkt zum Routing der Kontaktaufnahme, Unified Communications und Applikationsintegration sind ebenfalls wichtige Aspekte für die Weiterentwicklung. Um diese auch nutzen zu können, kommen nur leistungsfähige WLANs oder Mobilfunknetze in Frage - mit DECT-Systemen ist das kaum mehr zu machen.

Durch die Integration einer FMC-Lösung in die lokale TK-Anlagentechnik können die Vorteile des global verfügbaren Mobilfunks mit denen der lokalen Technik auf transparenter Weise verknüpft werden. Die Kopplung der Technologien erlaubt beispielsweise, die Roaming-Kosten im Mobilfunk zu senken und Gebäude nahtlos in die drahtlose Telefonie zu integrieren, die bisher nicht zufriedenstellend durch Mobilfunk abgedeckt werden können. Um eine durchgängig akzeptable Qualität der VoWLAN-Übertragungen gewährleisten zu können, müssen jedoch sehr hohe Ansprüche an die WLAN-Infrastruktur gestellt werden. Zudem entstehen bei der Integration von FMC-Lösungen in die IT-Infrastruktur im Bereich der mobilen Endgeräte zusätzliche Sicherheitsrisiken. Dennoch mag eine auf WLAN-basierende FMC-Lösung eine geeignete Lösung sein, oder die Funkversorgung in bestimmten, vom Mobilfunk nicht abgedeckten Bereichen zu sichern.

Liegt ein solches WLAN zugrunde, dann ist zweifelsohne der Zeitpunkt gekommen, evtl. noch vorhandene DECT-Systeme vollständig abzulösen. Sprachqualität und Handover-Zeiten erzielen bei modernen FMC-Lösungen längst vergleichbare Werte. Auch unter Sicherheitsaspekten sind WLAN-basierte Lösungen DECT-Systemen mindestens ebenbürtig, sofern eine Verschlüsselung durchgeführt wird. FMC bietet darüber hinaus aber vielfältige Möglichkeiten, neuartige und bisher nur aus dem Festnetz bekannte Dienste, Standort-übergreifend und sogar global verfügbar zu machen.

In der Konvergenz von Fest- und Mobilfunknetz liegt zweifelsohne der Schlüssel zu einer uneingeschränkten Mobilität für den Anwender. Die daraus resultierenden Vorteile werden den nötigen Vorschub zur raschen Weiterentwicklung der bereits vorhandenen Technologien liefern. Ob allerdings die Integration von WLAN dazu langfristig erforderlich ist, bleibt fraglich. Zum einen stört noch der im Vergleich zu GSM höhere Stromverbrauch und die daraus resultierende kürzere Akkulaufzeit und - im Hinblick auf die Nutzung von Hot Spots - die Verwaltung und das Handling unterschiedlicher WLAN-Zugriffspunkte. Vor allem aber die Notwendigkeit, auch weiterhin eine eigene, sehr dichte Infrastruktur aufzubauen und zu betreiben, bleibt das größte Gegenargument im Vergleich zu einer reinen Festnetz-Mobilfunk-Integration.

Wer also in der glücklichen Situation ist, über eine hinreichende Mobilfunkabdeckung zu verfügen, der braucht über eigene Infrastrukturen nicht mehr nachzudenken. Die Gebührenmodelle der Mobilfunkanbieter sowie die fortschreitende Entwicklung entsprechender Lösungen für eine nahtlose Integration von Festnetz und Mobilfunk werden das Übrige tun, um hier auch weiterhin für eine zunehmende Mobilität, geringere Kosten und weitere Steigerung der Qualität zu sorgen.

## Jetzt Leser werden



### Der Netzwerk Insider

Der Netzwerk Insider erscheint 12 Mal im Jahr im PDF-Format und informiert Sie per eMail über die Hintergründe aktueller Netzwerk-Technologien. Jeden Monat werden zwei Themen gewählt, über die in ausführlicher Form topaktuelle Insider-Informationen gegeben werden. Der Netzwerk-Insider vertritt die Sichtweise von Technologie-Anwendern und bewertet Produkte und Technologien im Sinne der wirtschaftlichen und erfolgreichen Umsetzbarkeit in der täglichen Praxis. Durch seine strenge wirtschaftliche Unabhängigkeit (keine Hersteller-Anzeigen) kann er es sich leisten, Schwachstellen und Nachteile offen anzusprechen. Der Netzwerk-Insider ist bekannt für seine kritische, herstellerneutrale und fundierte Technologie-Bewertung.

Hier können Sie sich zum Netzwerk Insider kostenlos und ohne jede Verpflichtung registrieren lassen:

<http://www.comconsult-akademie.de/de/Registrierung.php>