

# Entwicklung und Bewertung eines Relais-Konzeptes als Erweiterung des DECT-Standards

Christian Plenge, Ingo Lenzen, Lehrstuhl Kommunikationsnetze, RWTH Aachen

## Zusammenfassung

Die Liberalisierung der Telekommunikationsmärkte hat zu intensiven Diskussionen über Anwendungen wie Telepoint, "public access" oder Wireless Local Loop (WLL) geführt. Dem Einsatz von DECT-Systemen wird dabei eine entscheidene Rolle zugeschrieben. Durch die Entwicklung von Relaiskonzepten wird die Flexibilität und Leistungsfähigkeit von DECT-Netzen speziell für diese Anwendungen erhöht. Daneben bieten Relais im Ersatz für verkabelte Feststationen erhebliche Vorteile im Indoor/Residential Bereich. Wie bei der Kombination aus WLL und "public access" zeichnet sich diese flexible Anwendung durch ein höheres Maß an gegenseitiger Beeinflussung innerhalb des DECT-Systems als bei reinen WLL Anwendungen aus. Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Entwicklung und Analyse der Leistungsfähigkeit von Relais im Indoor-Bereich, zeigt Auswirkungen auf das Verhalten des umgebenden DECT-Systems und bewertet die Ergebnisse in Bezug auf DECT Outdoor-WLL Anwendungen.

## 1 Einleitung

Das DECT-System ist ein lokales, mikrozellulares und digitales Mobilfunksystem. Es bietet dem Teilnehmer eine Vielzahl verschiedener Sprach- und Datendienste. Den sprunghaften Marktzuwachs verdanken diese Systeme neben ihren vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten (ISDN, FAX, Bilder) vor allem ihrem geringen Anschaffungs- und Betriebskosten. Damit ist DECT für lokale Netzinstallationen wesentlich attraktiver als ein überregionales System, wie das D- oder E-Netz.

Mit der Einführung von Wireless Local Loops (WLL) sind Netzbetreiber in der Lage, die bisher drahtgebundene "letzte Strecke" von Verteilstationen bis zur Hausanlage des Kunden durch eine DECT-Relaisfunkstrecke zu ersetzen. Dadurch können schnell, flexible und kostengünstig Versorgungsgebiete aufgebaut und betrieben werden (s. Abb. 1a). Während diese Umbaumaßnahmen im Verteilnetz des Anbieters für den Kunden nur indirekt Vorteile bringt, können in einem nächsten Schritt diese Betreiberstrecken dem allgemeinen Zugriff geöffnet werden, falls dafür die gesetzlichen Regelungen geschaffen werden. Ähn-

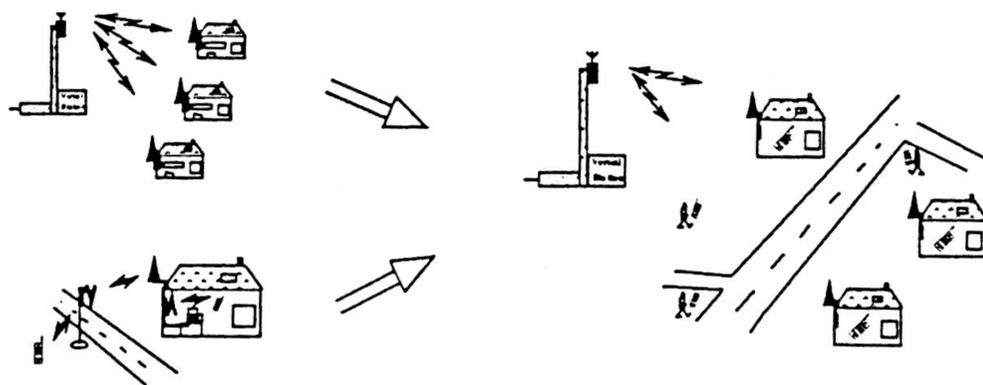


Abbildung 1 DECT-Systeme mit Wireless Local Loop

lich dem z.Zt. ebenfalls in der Diskussion befindlichen Telepoint, besteht dann für mobile Outdoor-Geräte die Möglichkeit, neben den privaten, hausintern installierten, DECT-Anlagen, auch die öffentlichen Relais und Basisstationen zu benutzen. Dieser "public access" garantiert dem Anwender eine umfassend gesicherte mobile Versorgung in einem weiträumigen Gebiet (s. Abb. 1b).

Im Indoorbereich finden wir die gleiche Grundkonstellation. Im Gegensatz zu einem dezierten Einsatz im WLL werden hier die Relais als integrale Bestandteile des Systems gesehen. Dabei ist die Leistungsfähigkeit eines Indoor-Netzes genau wie bei WLLs mit "public access" durch die gegenseitige Beeinflussung der Zellen untereinander gegeben. Ähnlich wie im Outdoor-Bereich sind die Indoor-Relais-Systeme bei entsprechender Transceiver-Ausstattung nicht "trunked limited", sondern es kommt durch eine Verschlechterung der C/I Werte (Carrier to Interference) an den Zellgrenzen zu Kapazitätsverlusten.

## 2 Das DECT-Relais-Konzept

Der Einsatz von DECT-Relais in WLL-Netzen bietet eine kostengünstige Alternative zu herkömmlichen drahtgebundenen Netzen. Auch bei komplexen Indoor-Installationen, z.B. Bürogebäuden mit vielen Basisstationen, kann dieser Vorteil genutzt werden, indem drahtlose Indoor-Relaisstationen die Aufgaben einer Basisstation übernehmen. Durch die DECT-konforme Realisierung benutzen die Relais die für das DECT-System zugelassenen Frequenzbänder und Protokolle. Die Geräte sind sofort aufstellbar und einsatzbereit. Der Umstand, daß die Relais netzseitig ungebunden sind, erlaubt dem Betreiber eine ständige manuelle Anpassung des Systems an längerfristige Laständerungen in den Betrieben. Es muß dabei nur gewährleistet sein, daß eine gute Verbindung von dem Relais zu einer drahtgebundenen Basisstation besteht. Es sind ausschließlich **Fix Relais Station (FRS)** als DECT Relais vorgesehen [1] bei der die Funkschnittstelle zum Benutzer so erhalten bleibt, daß in dem Endgerät des Anwenders keinerlei Veränderungen vorgenommen werden müssen. Der Einsatz einer Relaisstation ist somit für den Teilnehmer nicht erkennbar. Das Weiterleiten der Verbindung an eine netzgekoppelte Basisstation ist Sache des Anbieters und kann netzintern gesteuert und verändert werden. Eine optimale Wahl des Standortes und der Einsatz gerichteter Antennensysteme ermöglichen eine hohe Übertragungsqualität. Indoor FRS werden in schlecht ausgeleuchteten Funkbereichen innerhalb des Gebäudes anstelle üblicher Radio Fixed Parts (RFP) aufgestellt und sind für die Dauer ihres Einsatzes fest positioniert (s. Abb. 2). Die verbleibenden RFPs tragen neben ihrem eigenen Verkehr auch den in den Relais umgesetzt und wieder ausgestrahlten Verkehr. Durch dieses Umsetzen und erneutes Abstrahlen entsteht eine wesentlich größere Störleistung im Gesamtsystem, welche durch den Einbau komplexer Antennensysteme mit gerichteten Strahlern in Relais und RFP wieder reduziert werden kann.

## 3 Aufbau einer Relaisstation

Die Basis einer DECT-Relaisstation bildet der Zusammenschluß der wichtigsten Grundfunktionen eines Radio Fixed Part (RFP) und eines Portable Parts (PP). Für die Basisstation erscheint das Relais wie eine Mobilstation mit bis zu 12 Verkehrskanäle. Das mobile Handgerät sieht in dem Relais eine scheinbar normale kabelgebundene RFP. Die zusätzlichen Relaisfunktionen sind für die richtige Umsetzung der Verbindung PP - Relais zur

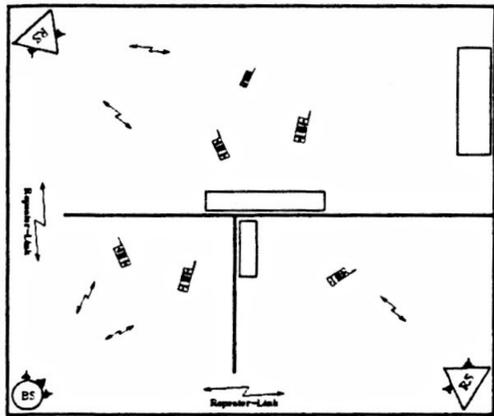


Abbildung 2 Fix Relais Systeme in Indoor-Umgebung

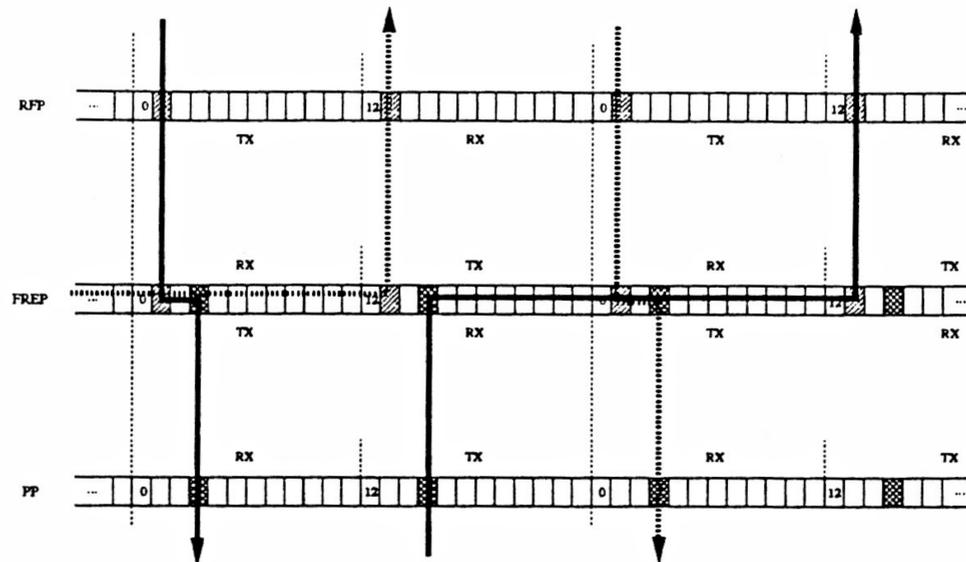


Abbildung 3 Slotbelegung beim Einsatz einer Relaisstation

geordneten Relais - RFP Verbindung zuständig. Jede dieser Verbindungen bekommt im Relais eine eigene separate MAC (Medium Access Control) Schicht Instanz zur Verfügung gestellt, um die Qualität des Kanals beurteilen zu können und mittels Dynamic Channel Allocation Handover einleiten zu können. Jeder Slot im Relais kann als Sende- oder Empfangslot verwendet werden. Für die Verbindung zu einem RFP gelten Slot 0-11 im Relais als Empfangsbereich (RX) und Slot 12-23 als Sendebereich (TX) (s. Abb. 3). Bei der Verbindung zum PP werden Slot 0-11 als Sende- und Slot 12-23 als Empfangslots genutzt. Dies ermöglicht die Beibehaltung der standardkonformen Up- und Downlinkaufteilung in RFP und PP. Das Umschalten von Sende- zu Empfangsmodus zwischen zwei Slots bedarf einer schnellen Transceiver-Hardware in dem Relais.

Beim Aufbau einer Verbindung über ein Relais schickt das PP zunächst einen Verbindungsaufbau an das Relais. Dieses antwortet mit dem standardisierten WAIT-Kommando, ein Zeichen dafür, daß der Wunsch nach Verbindung akzeptiert worden ist. Nun wird in einer zweiten Stufe versucht, eine Verbindung vom Relais zur RFP herzustellen. Gelingt dies, erhält das PP eine Bestätigung für den erfolgreichen Verbindungsaufbau. Handover können sowohl zwischen Relais und PP, als auch zwischen RFP und Relais durchgeführt werden. Führt ein Handgerät einen Intracell-Handover durch, so wird nur eine neue Verbindung zwischen PP und Relais geschaffen. Initiiert das PP jedoch einen Intercell-Handover zu einer anderen Basisstation, wird sowohl die Verbindung PP-Relais, als auch die zugehörige Verbindung zwischen RFP und Relais gelöst.

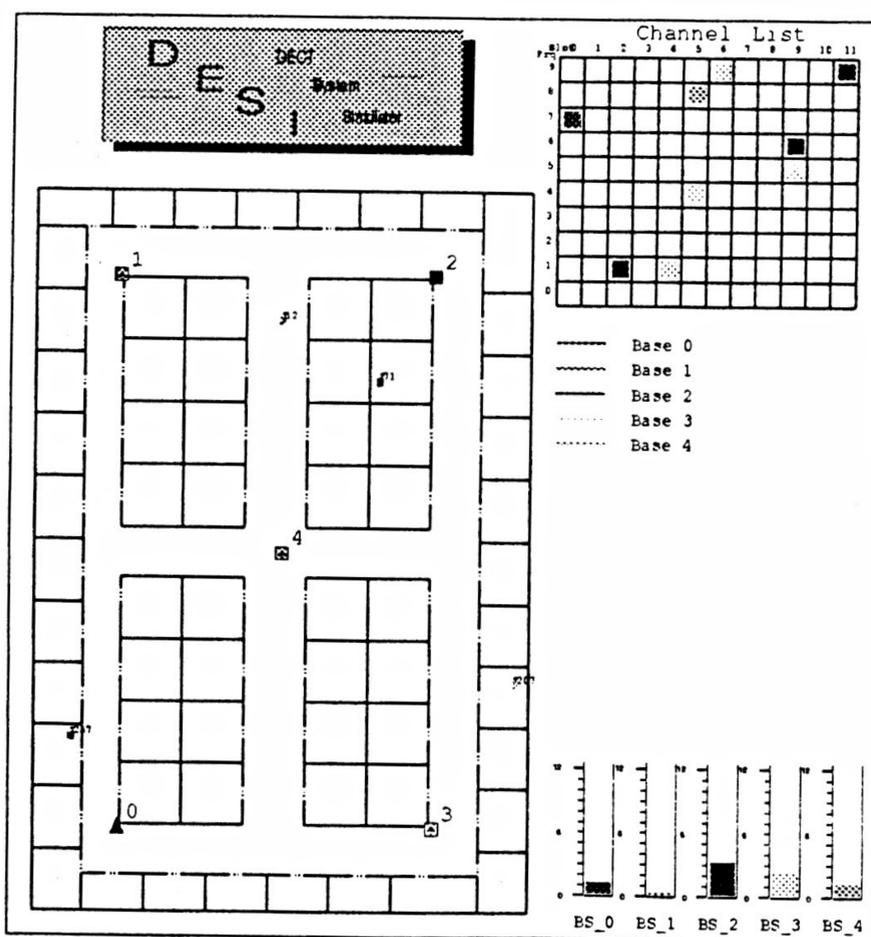
## 4 Leistungsbewertung durch Simulation

Das Einbringen von Relais in ein bestehendes Netz bewirkt eine Veränderung des Gesamtsystemverhaltens. Das Ermitteln folgender Parameter erlaubt Rückschlüsse auf die Güte des Relaiskonzeptes:

- Systembelastung der erweiterten Konfiguration  
Beim Ersetzen eines RFPs durch ein Relais steigt die Verkehrslast im gesamten System. Die Analyse der einzelnen durchschnittlichen Belastungen pro Basisstation erlauben Aussagen hinsichtlich der Leistung, der Ausstattung und geeigneter Standorte der Relais.

- Anzahl der blockierten Setup-Versuche, Anzahl der abgebrochenen Handover  
Mittels dieser zwei Parameter kann der Servicegrad (GOS: Grade Of Service) des Systems bestimmt werden.  
$$GOS = (blockierteSetupVersuche + 10 \cdot abgebrocheneVerbindungen) / GesamtanzahlVerbindungen$$
- Handoververhalten  
Die ungleichmäßige Verteilung der Systembelastung innerhalb des Netzes läßt eine erhöhte Handoveraktivität im Bereich der Relaisstandorte erwarten.
- C/I Verteilung an dem PP  
Für die tatsächliche Versorgungsqualität der Teilnehmer sind die C/I Verhältnisse am aktuellen Standort der Handies von Bedeutung.

Um die Änderungen des Systemverhaltens analysieren zu können, die sich z.B. beim Einsatz einer Relaisstation ergeben, wurde am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH Aachen ein modular aufgebautes Simulationswerkzeug (DESI, DEct Simulator) für das DECT-System entwickelt [3]. In mehrjähriger Arbeit ist eine Software entstanden, mit der eine Vielzahl verschiedenartiger Indoor- oder Outdoor-Szenarien untersucht werden können. Als Ausbreitungsmodelle stehen neben einfachen Pfadverlustmodellen [5] für schnelle Berechnungen auch ein Ray Tracing basiertes Verfahren [2] zur Verfügung. Zur Steuerung des Lastgenerators ist ein Markoffmodell des Typs M/M/n //q (n=q endlich) implementiert, welches durch eine negativ-exponentiell verteilte Rufgenerierung und Rufdauer die gewünschte Verkehrslast einstellt. Die Protokolle des Radio Resource Management wurden entsprechend des DECT Standards implementiert und in eigenen Untersuchungen hinsichtlich wichtiger Aspekte (z.B. bezgl. des Verhaltens beim Handover) optimiert [6].



**Abbildung 4** Szenario für DECT-Untersuchungen

Für die Untersuchungen wurde eine 2320 m<sup>2</sup> große Büroetage mit 67 Räumen ausgewählt (s. Abb. 4). Bei einer Simulationsdauer von 100 min wurden die von mobilen Endgeräten aufgebauten Verbindungen alle 10 ms (also nach jedem Rahmen) aktualisiert und bewertet. Die durchschnittliche Verkehrslast betrug 0.1 Erlang pro Teilnehmer, wobei die durchschnittliche Dauer jedes Gespräches mit 120 sec vorgegeben wurde.

Die ersten Simulationen wurden mit 5 Feststationen (RFP) und unterschiedlichem Teilnehmerangebot durchgeführt und dienten im weiteren Verlauf als Referenzwerte. Im zweiten Schritt wurde die Station No 0 (s. Abb. 4 links unten) durch ein Relais mit einem Transceiver (1 Trx) ersetzt. In einem dritten Schritt wurde diese Relaisstation mit einem zweiten Transceiver (2 Trx) ausgestattet. Eine an die zusätzliche Last optimal angepaßte Hardwarekonfiguration mit 2 Transceivern im Relais und der Basisstation Nr.3 wurde im letzten Schritt untersucht.

## 4.1 Simulationsergebnisse

Die Simulation wurde durchgeführt, um den Einfluß einer Relaisstation in einem DECT-System untersuchen und bewerten zu können. Das oben gezeigte Indoor-Szenario wurde gewählt (s. Abb. 4), um sowohl Systemuntersuchungen als auch Kapazitätsbetrachtungen durchzuführen, deren Ergebnisse auf gleichartige Outdoor Anordnungen direkt übertragbar sind. Dabei wurden die äußeren vier symmetrisch angeordneten Basisstationen 0 - 3 beobachtet und ihre Kennwerte aufgezeichnet. Die Station 4 wurde wegen ihrer zentralen Stellung nicht ausgewertet.

### Basisstationsbelastung

Ein gutes Kriterium zur Beurteilung der Funkversorgung im System ist die durchschnittliche Belastung der einzelnen Feststationen. Sie ist in den Abbildungen 5 und 6 über dem gesamten Verkehrsangebot des Szenarios aufgetragen. Die dort gezeigte Referenzkurve gibt die optimale, Auslastung jeder Basisstation an. In Abbildung 5 wurde die Basisstation No 0 durch ein Relais ersetzt. Da dieses die meisten seiner Verbindungswünsche an die ihm am nächsten stehende RFP No 3 umsetzt, liegen die Auslastungen von RFP No 3 und dem Relais deutlich oberhalb der Referenzkurve. Die Relaisstation belegt bei jedem Aufbau die doppelte Anzahl Slots, je einen für die Verbindung zum PP (Downlink) und zur RFP (Uplink). Oberhalb eines Angebots von 40 Erlang läßt die Steigung der Verkehrslast nach, da die Stationen 3 und 1 so belegt sind, daß kaum noch Verbindungswünsche des Relais positiv beantwortet werden. Es kommt immer häufiger zu Setup-Fehlern im Bereich der Station 0. Der leichte Anstieg der anderen Kurven resultiert aus dem DCA-Algorithmus in den Handgeräten, welcher an Zellgrenzen beim Handover auf geringer belastete Basisstationen auszuweichen versucht.

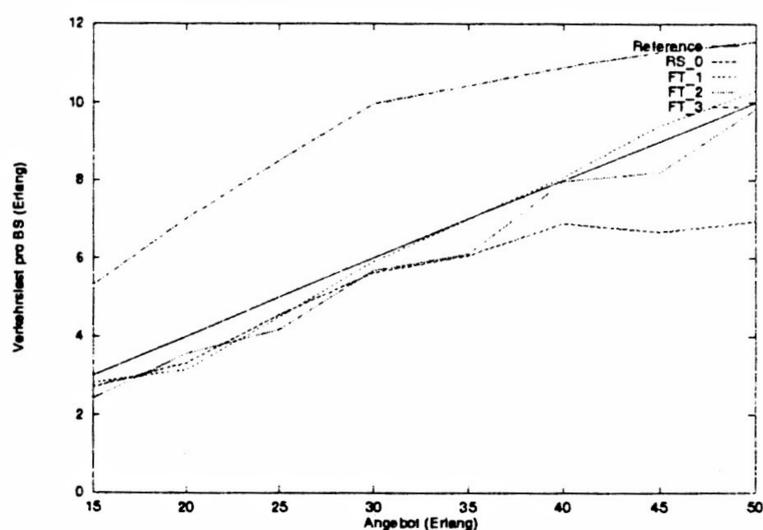
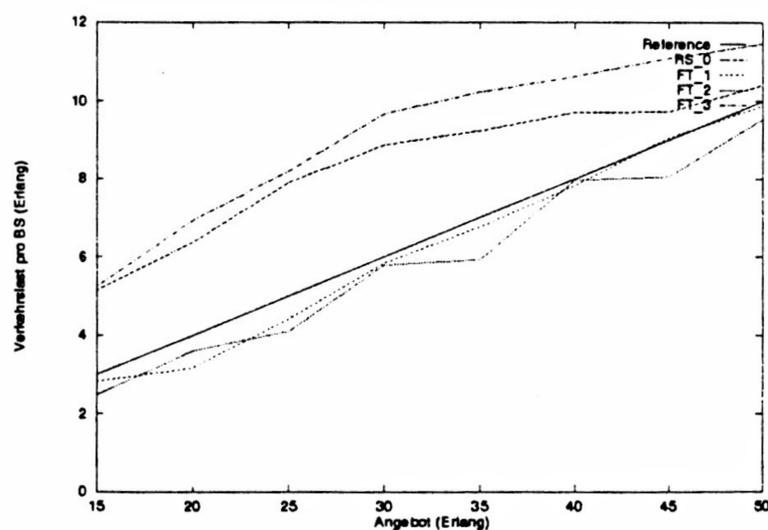


Abbildung 5 Systembelastung (1FRS + 1Trx)      Abbildung 6 Systembelastung (1FRS + 2Trx)

In Abbildung 6 wurde in die Relaisstation ein zweiter Transceiver eingebaut. Die Last wird durch die Verlagerung der Link Verbindungen FRS - RFP auf die zweite Send-/Empfangseinheit verringert. Für die ungleichmäßige Belastung des Systems bringt der Einbau nur bedingt eine Lösung. Die Station No 3 muß immer noch fast den gesamten Verkehr der Station No 0 mit einer Transceivereinheit umsetzen. Zur Entlastung muß hier eine zweite Trx-Baugruppe eingesetzt werden. Da die Downlink-Verbindungen zu den Mobiles im Relais nun keine Slots mehr im Uplinkbereich zu den RFPs blockieren, kann das Relais öfter die weiter entfernt liegende Station No 1 benutzen. Jedoch läßt sich mit dem bestehenden, dezentralen DCA-Verfahren des DECT-Systems nur bedingt Einfluß auf die Basisstationsauswahl nehmen. Ein intelligenteres DCA-System bzw. eine dynamische, lastabhängige Veränderung der Zellgröße (DCESA [4]) im Relais würde die Last auf die angrenzenden RFPs wesentlich gleichmäßiger verteilen. Das Abknicken der Kurve von Station No 0 im Bereich oberhalb eines Angebots von 45 Erlang läßt vermuten, daß die sehr belasteten RFPs in ihrer Nachbarschaft die Verbindungswünsche des Relais nicht mehr aufnehmen können.

### Grade of Service

Der GOS stellt in Leistungsbewertungen von Mobilfunknetzen das wichtigste Kriterium dar, denn er beschreibt die für den Benutzer sichtbare Qualität eines Systems. Bei einem Qualitätsverlust im System steigt der GOS-Faktor über den akzeptablen Grenzwert von 1 % für drahtlose Kommunikationssysteme. In Abbildung 7 ist der Grade of Service für die verschiedenen Indoor-Realisierungen dargestellt. Als Referenzkurve soll in diesem Fall das Ergebnis des festverkabelten Systems (nur RFPs) dienen. Bis zu einem Gesamtangebot von 25 Erlang liegt der GOS deutlich unter 1 %. Beim Einsatz eines Relais mit einem Transceiver wird die Qualität des Systems wesentlich schlechter. Schon bei einem Teilnehmerangebot von weniger als 20 Erlang steigt die GOS-Kurve über den Grenzwert. Durch den Einsatz eines zweiten Transceivers in dem Relais wird das Netz wieder leistungsfähiger. Der Grade of Service ist bei gleichem Angebot zwar niedriger, aber immer noch wesentlich höher als im Referenzfall. Durch den Einsatz eines zweiten Transceivers sinkt der GOS-Faktor noch unter den Wert der festverkabelten RFP-Lösung. Der Relaiseinsatz scheint hier keinerlei Qualitätseinbußen mehr zu verursachen.

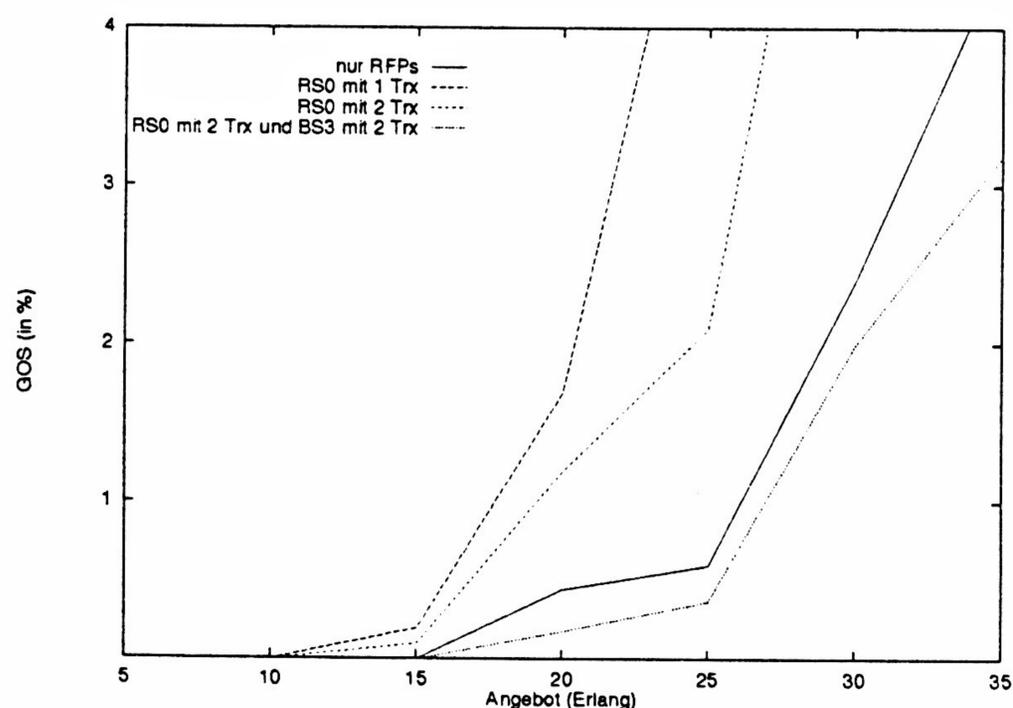


Abbildung 7 Grade of Service

## Handoververhalten

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Bewertung eines Relaiseinsatzes ist die Beobachtung des Handoververhaltens am Rand und innerhalb der Zelle. In der Abbildung 8 läßt sich deutlich eine unsymmetrische Verschiebung der Handoverorte im Szenario feststellen. Die sonst nur an Zellgrenzen üblichen Intercellhandover treten nun auch im Zellinnern auf. Der Einsatz eines 2. Transceiver schafft hier keine Verbesserung. Zwar nehmen die Handover in der Zelle des Relais stark ab, jedoch bildet sich in der nun besonders stark belasteten Zelle No 3 eine starke Anhäufung von Intercellhandovern aus.

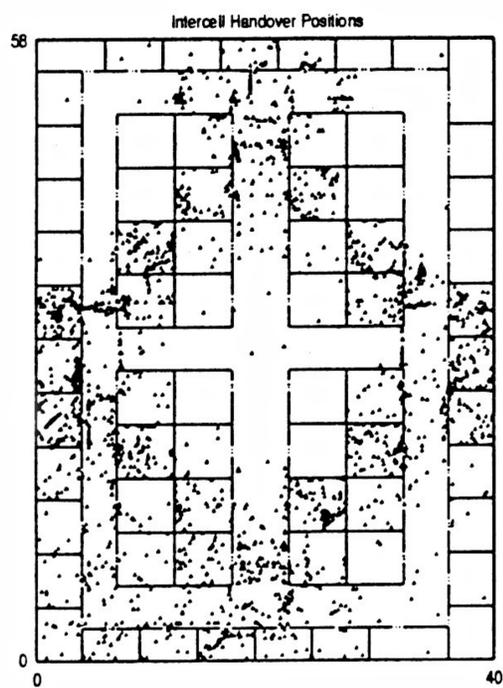


Abbildung 8 Intercell-H/O  
(1FRS + 1Trx)

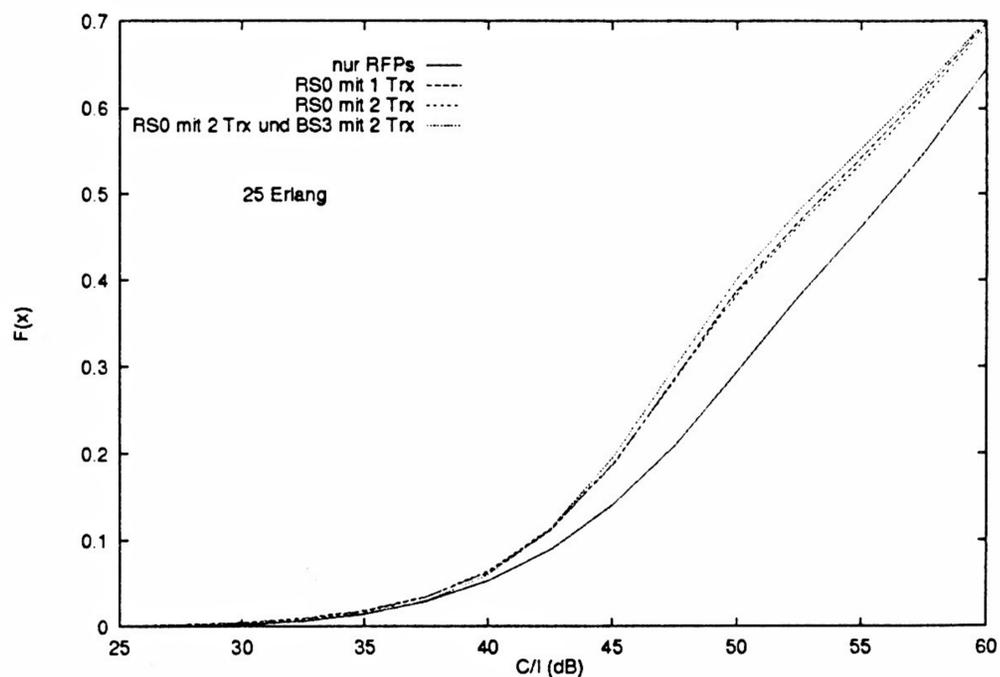


Abbildung 9 C/I-Verteilungsfunktion an PP

## C/I-Verteilung am PP

Wie sich die sehr unterschiedliche Lastverteilung an den Basisstationen auf die Versorgungsqualität auswirkt, kann man aus der Verteilungsfunktion und -dichtefunktion der C/I Werte entnehmen (s. Abb. 9). Es zeigt sich dabei, daß ohne den Einsatz von Relais einem Angebot von 25 Erlang eine akzeptable Qualität der Verbindungen gewährleistet werden kann. Der C/I Wert sinkt selten unter den Mindestwert von 31 dB, der einer maximalen Bitfehlerrate von 0,001 im D-Feld entspricht. Ersetzt man eine Basisstation durch ein Relais wird deutlich, daß der zusätzliche Verkehr des Relais trotz Verwendung eines zweiten Transceivers durch die erhöhte Interferenz zu einem deutlichen Qualitätsverlust führt. Vor allem bis zum kritischen Bereich um 35 dB verdreifacht sich die Wahrscheinlichkeit von niedrigen C/I-Werten. Aber auch im Bereich bei 50-60 dB wird eine starke Verschlechterung deutlich. Zur Unterstreichung des negativen Einflusses durch die zusätzliche Interferenzleistung des Relais wurden die Ergebnisse für eine Konfiguration mit 2 Transceivern auch an der Basisstation 3 aufgenommen. Es wird deutlich, daß durch eine Ausrüstung, die den zusätzlichen Verkehr ohne Qualitätseinbuße aufnehmen kann, keine deutliche Verbesserung erfolgt, da durch die Rundstrahlcharakteristik der verwendeten Antennen im gesamten Netz das C/I stark verschlechtert wird. Nur durch den Einsatz gerichteter Antennensysteme zwischen Relais und RFP kann die zusätzliche Interferenzleistung verringert und damit die Systemgesamtleistung erhöht werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz von Relaisstationen in DECT-Indoor-Systemen wurde in diesem Artikel vorgestellt. Es wurde gezeigt, daß bei geringen Lastaufkommen der Einsatz einer drahtlosen Basisstation möglich ist. Dies würde in vielen Bereichen das Telefonsystem DECT noch attraktiver machen. Bei höheren Lasten erreicht das System sehr schnell seine Kapazitätsgrenzen. Der Einsatz von zusätzlichen Transceivern in den Basisstationen erscheint im betrachteten Szenario unumgänglich, um die Leistungsfähigkeit des System trotz der stark erhöhten Last durch den verdoppelten Verkehr zu erhalten. Die erhöhten Interferenzleistungen begrenzen diese Möglichkeit stark, sodaß der Einsatz von gerichteten Antennen nötig erscheint.

## Literatur

- [1] Dag Åkerberg. *DECT technology for radio in the local loop*. In *Proceedings of IEEE, 44th Vehicular Technology Conference*, pp. 1069–1073, 1994.
- [2] Jan Gronewold. *Optimierung der Funkausleuchtung von DECT-Systemen*. Diplomarbeit, RWTH Aachen, Lehrstuhl Kommunikationsnetze, März 1994.
- [3] Holger Hußmann. *Ein Simulationswerkzeug zur Leistungsanalyse des Radio Resource Managements des DECT Systems*. In *ITG Fachbericht 124 'Mobile Kommunikation'*, September 1993.
- [4] Holger Hußmann. *Handover and Channel Management in MBS*. MBS/WP2.2.4/UA074.1, April 1994.
- [5] Keenan J. M., Motley A. J. *Radio coverage in buildings*. *British Telecom Technology Journal*, Vol. 8, No. 1, pp. 19–24, 1990.
- [6] Axel Schain. *Entwicklung von Handoveralgorithmen für Sprach- und Datenübertragung im DECT-System*. Diplomarbeit, RWTH Aachen, Lehrstuhl Kommunikationsnetze, Juni 1994.