

# Zuverlässige Ad-Hoc Kommunikation mobiler Endgeräte mit satellitengestützter Internet-Anbindung

N. Jung<sup>1</sup>, M. Cremer, S. Diob, T. Islam, Y. Slimi, M. Wessel  
Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg, Sankt Augustin

K. Jonas<sup>1</sup>

Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme (FOKUS), Berlin

**Abstract:** Mobile Datenkommunikation basiert üblicherweise auf der drahtlosen Anbindung eines Endgerätes an eine Basisstation, die ihrerseits an eine feste Infrastruktur angebunden ist. In vielen Szenarien sind diese Voraussetzungen jedoch nicht gegeben. Beispiele hierfür sind Hochwasser, Erdbeben oder Flugzeugabstürze in dünn besiedelten Regionen.

Einen Lösungsansatz für sich daraus ergebende Anforderungen bieten dynamisch aufgebaute Ad-Hoc Netze mit einer satellitengestützten Anbindung an eine Festnetz-Infrastruktur. In solchen Netzen stellen die mobilen Terminals die benötigte lokale Infrastruktur selbst dynamisch her.

Ziel der hier vorgestellten Arbeiten ist es, die Zuverlässigkeit und Dienstqualität der verwendeten Technologien zu untersuchen und durch geeignete Mechanismen so anzupassen, dass die Anforderungen typischer Applikationen möglichst erfüllt werden. Zur Demonstration wurde ein Prototyp aufgebaut, der unter anderem die Anwendungen "Voice over IP" (VoIP), "Datenbankzugriff im Intranet" und Internetzugang (WWW) untersucht.

## 1 Problemstellung

Mobile Datenkommunikation basiert in heutigen Kommunikationsnetzen, wie GSM, UMTS, WLAN, etc. typischerweise auf einer drahtlosen Anbindung jedes mobilen Terminals an eine Basisstation, die ihrerseits an eine feste, meist terrestrische, leitungsbasierte Infrastruktur angebunden ist.

Dabei müssen für das Funktionieren die folgenden Voraussetzungen gegeben sein:

- Es muss eine Infrastruktur von angehenden Basisstationen vorhanden sein.
- Jedes mobile Terminal muss (mindestens) eine dieser Basisstationen direkt erreichen können.

---

<sup>1</sup> Kontakt: [norbert.jung@fh-brs.de](mailto:norbert.jung@fh-brs.de); [karl.jonas@ieee.org](mailto:karl.jonas@ieee.org)

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung über den Projektträger Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. finanziert.

Ein Teil der Arbeiten erfolgt in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme, Berlin

Wird eine Voraussetzung nicht erfüllt, ist eine Kommunikation mit dem mobilen Terminal nicht möglich.

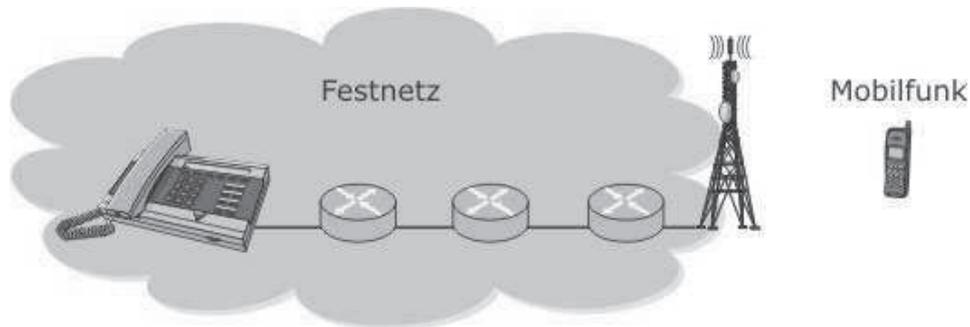


Abbildung 1: Mobilkommunikation auf der Basis terrestrischer Infrastruktur

Wichtige Beispiele für fehlende terrestrische Infrastruktur sind:

- dünn besiedelte Regionen,
- Einsätze in Katastrophengebieten, in denen eine vormals vorhandene Infrastruktur ausfällt oder nur unzureichende Kommunikationsdienste anbieten kann,
- weltweit viele Gebiete, in denen eine gute Kommunikationsinfrastruktur nur temporär benötigt wird, z.B. bei Konferenzen/Tagungen oder im Falle der Inspektionstätigkeiten der UN.

## 2 Lösungsansatz

Einen Lösungsansatz für die oben beschriebenen Anforderungen bieten dynamisch aufgebaute Ad-Hoc-Netze in Verbindung mit einer satellitengestützten Anbindung an eine (andernorts) gegebene Festnetzinfrastruktur. In solchen Netzen stellen die mobilen Terminals die benötigte lokale Infrastruktur selbst her, fungierend also sowohl als Endsystem für die Benutzer als auch als Vermittlungssystem (Router) für die Nachrichten anderer Teilnehmer im Netz. Eine direkte drahtlose Verbindung ist immer nur bis zum nächsten mobilen System notwendig, nicht aber unbedingt zu einer Basisstation.

Alle mobilen Terminals innerhalb des Ad-Hoc-Netzes können miteinander kommunizieren, auch ohne eine direkte Verbindung zu haben. Eine Anbindung an eine Festnetzinfrastruktur kann schon dann für alle mobilen Terminals bereitgestellt werden, wenn nur eines der beteiligten Terminals vor Ort eine Verbindung zu einer Basisstation hat und die übrigen lediglich über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen über Router angeschlossen sind.



Abbildung 2: Mobilkommunikation mit Ad-Hoc Netzen und Satellitenanbindung

Wenn diese Basisstation ihrerseits eine satellitengestützte Datenübertragung unterstützt, kann die Kommunikation von einem weltweit beliebigen Ort aus erfolgen. Dabei bestimmen die Leistungsfähigkeit der Terminals und der Satellitenverbindung die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems, eine Abhängigkeit von lokalen Anbietern einer Infrastruktur, wie örtliche Telekommunikationsunternehmen, ist dann nicht mehr gegeben.

Das Ad-Hoc-Netzwerk wurde hier mittels VSAT an das Intranet des Fraunhofer Instituts für Offene Kommunikationssysteme (FOKUS) angebunden. Damit kann jeder mobile Teilnehmer zum Festnetz (Intranet, Telefonnetz etc.) kommunizieren und auch von dort erreicht werden.

Es ergeben sich allerdings auch potentielle Probleme mit einem solchen Ansatz: zum einen können sich bei ungünstigen Anordnungen der Netzteilnehmer (temporär) Bandbreitengpässe ergeben. Zum anderen können Teile des Ad-Hoc-Netzes durch die Mobilität temporär die Verbindung untereinander und zur Festnetzanbindung vollständig verlieren. Dies muss mit geeigneten Mechanismen zur Realisierung einer möglichst zuverlässigen Kommunikation berücksichtigt werden. Hierzu werden im Folgenden insbesondere Lösungen für die Erhöhung der Zuverlässigkeit bei verschlechterten Verbindungsbedingungen bis hin zu einer temporären Unterbrechung von Ende-zu-Ende-Verbindungen untersucht.

Zentraler Punkt bei der Projektdurchführung waren auch die Auswahl und anwendungsspezifische Bewertung von verfügbaren Hard- und Software-Komponenten anhand von systematischen Tests existierender Implementierungen im Laborversuch. Dabei wurden zur praktischen Realisierung fehlende Schnittstellen und Softwarekomponenten sowie Unverträglichkeiten von Komponenten identifiziert.

### 3 Zuverlässigkeits- und Sicherheitsmechanismen

Die oben beschriebene Gesamtkonfiguration ist wegen der nicht eingegrenzten Mobilität der einzelnen Terminals und der damit wechselnden Erreichbarkeit hoch dynamisch. Dabei kann jedes Endsystem in Abhängigkeit von den aktuellen Übertragungsqualitäten wechselnde Rollen als Sender, Empfänger oder Router annehmen. Es ist auch nicht auszuschließen, dass einzelne Endgeräte sich so weit von den nächsten Nachbarn entfernen, dass sie den Kontakt zum Netz verlieren. Dies kann z.B. durch die Ausbreitungsbedingungen aufgrund der Topologie des Geländes oder durch das Betreten von Gebäuden geschehen.

Für eine hinreichende Zuverlässigkeit des Gesamtsystems muss insbesondere eine schlechter werdende Verbindung innerhalb des Netzes möglichst bis kurz vor ihrem physikalischen Abbruch nutzbar bleiben.

Außerdem ist eine hinreichende Informationssicherheit in vielen Anwendungen zwingend erforderlich.

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Aspekte untersucht [ZUKAS05]:

- Eigenschaften des dynamischen Aufbaus und der Rekonfiguration des Ad-hoc Netzes: Endsysteme können sich an das Netz ohne manuelle Konfiguration durch die Benutzer anbinden, bzw. das Netz verlassen.
- Dynamische Konfiguration auch der Weiterleitung von Daten (Routing). Dabei kann jedes Endsystem gleichzeitig auch als Router fungieren.
- Bewertung und Optimierung der Leistungsfähigkeit und der Zuverlässigkeit des Ad-Hoc-Netzwerkes durch geeignete Mechanismen im Falle gestörter Übertragung.
- Bewertung und Optimierung der Sicherheit der Satellitenstrecke

## 4 Ergebnisse

Die beiden ersten Aspekte (Netzaufbau und dynamische Rekonfiguration) werden durch Ad-Hoc Routingprotokolle hinreichend gelöst. Eine Vielzahl von Implementierungen wurde hinsichtlich des konzeptionellen Ansatzes sowie in Bezug auf die Verfügbarkeit stabiler Implementierungen untersucht. Letztlich wurde AODV für die Realisierung der Ad-Hoc Infrastruktur ausgewählt [PER02].

Eine wesentlich größere Herausforderung stellte der Anspruch auf hohe Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit dar. Hierbei sind zwei wichtige Fälle zu unterscheiden, nämlich die Erhöhung der Bitfehlerrate im WLAN und der vollständige Abbruch der WLAN Verbindung.

### Maßnahmen bei erhöhter Bitfehlerrate

Eine Erhöhung der Bitfehlerrate führt im Falle von VoIP zu einer unnötig dramatischen Verschlechterung der Übertragungsqualität, da aufgrund der Fehlerprüfung in UDP Datenpakete komplett verworfen werden wenn nur ein Bit falsch übertragen wurde. Dies ist häufig unnötig, da es sich im Falle einer VoIP Übertragung wesentlich um Audiodaten handelt, bei denen ein einzelner Bitfehler vom Empfänger viel leichter ausgeglichen werden kann als der Verlust eines kompletten Paketes.

Um diesem Rechnung zu tragen wurde ein Proxy implementiert, welcher UDP-Pakete auf der drahtlosen Strecke (einschl. Satellit) in UDPLite Pakete umwandelt. Bei UDPLite wird nur ein (konfigurierbarer) Teil des UDP Paketes durch eine Checksumme geschützt. Typischerweise sind dies relevante Header-Informationen. Ein Bitfehler in den Audiodaten verletzt dadurch die CRC-Prüfung nicht, und die Daten können dem Empfänger ausgeliefert werden. In unseren Arbeiten wurde der Proxy transparent im Netz installiert, und die UDPLite Datenpakete wurden vor der Auslieferung an die Endanwendung wieder in UDP umgewandelt, so dass hier keine Anpassung der Endanwendungen notwendig war.

Im Rahmen des Projektes wurde der Einsatz von Fehlerkorrekturmechanismen (FEC) für den Einsatz mit TCP und UDP untersucht [ISLAM05]. In einer derzeit laufenden Arbeit wird der UDPLite Proxy um FEC erweitert, so dass Bitfehler nicht nur übertragen, sondern sogar korrigiert werden können.

### **Maßnahmen bei Abbruch der WLAN Verbindung**

Ein Abbruch der WLAN Verbindung ist i.d.R. durch deren physikalische Eigenschaften bedingt. Um hier eine Verbesserung zu erzielen wurde ein zweiter Funkkanal mit einer wesentlich niedrigeren Frequenz aufgebaut. Dieser basiert auf Packet Radio und arbeitet in einem freien Band im Kurzwellenbereich. Die Umschaltung zwischen den beiden Radiokanälen (WLAN und PR) erfolgte bei sehr schlechter WLAN Verbindung und für Endanwendungen transparent. Wie zu erwarten ist der Erfolg dieser Methode stark abhängig vom Kanalbedarf der betroffenen Anwendungen. Packet Radio ermöglicht im Vergleich zu WLAN nur eine sehr niedrige Datenrate. Diese wird jedoch auch dann noch bereitgestellt, wenn WLAN längst nicht mehr kommunizieren kann. Das heißt, in allen Situationen mit einem geringen Bedarf bezüglich der übertragenen Datenrate, insbesondere in Notsituationen, bietet die Verfügbarkeit eines zweiten Radiokanals eine sehr preiswert zu realisierende Ergänzung zu WLAN.

### **Optimierung der Satellitenübertragung**

Geeignete Mechanismen im Falle satellitenbasierter Übertragung sind zunächst Caching und Pre-fetching benötigter Daten bei Web-Zugriffen. Auf Basis von Open Source Webproxies (z.B. squid) lässt sich relativ einfach ein Mechanismus implementieren, bei dem mit dem Abruf einer Webseite durch einen mobilen Anwender sofort die ersten  $n$  in dieser Seite vorhandenen Links angefordert und im Cache des Proxys abgelegt werden. Greift der Anwender anschließend auf einen dieser Links zu (und es gibt Untersuchungen, die hierfür eine hohe Wahrscheinlichkeit nachweisen), so kann die entsprechende Seite aus dem Cache geladen und dem Anwender sofort zur Verfügung gestellt werden. Die sonst üblichen Wartezeiten aufgrund der Signallaufzeit über den Satelliten entfallen. Für die Sprachübertragung hat ein solches Verfahren natürlich kaum Nutzen.

Die Sicherheit der Satellitenstrecke wurde durch Implementierung eines Generic Routing Encapsulation Tunnels [GRE] erreicht. GRE ist ein mit dem Point to Point Tunneling Protokoll benutztes Protokoll zur Bildung eines Virtual Private Networks, also für besonders gesicherte Verbindungen.

## **Literaturverzeichnis**

- [DRAFT UDP LITE] Larzon, et. al: The UDP Lite Protocol, IETF, August 2003
- [GRE] RFC 2784, Generic Routing Encapsulation
- [ISLAM05] Islam, M.T., "Adaptive protocol for reliable and secure wireless ad hoc communication" Master-Thesis, FH-Bonn-Rhein-Sieg, 2005
- [PER02] Perkins, C.E und Roger, E.M.: Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing; IETF MANET Working Group, Internet-Draft, Juni 2002
- [ZUKAS05] Projektdokumentation, [www.zukas.de](http://www.zukas.de)