

# Kapitel 12 – Mobiles TCP

**Vorlesung Mobilkommunikation Wintersemester 2017/18**  
**Prof. Dr. Oliver Waldhorst (HS Karlsruhe), Markus Jung**

INSTITUT FÜR TELEMATIK





## Mobiles TCP



Mobile Ad Hoc Netze



Mobile IP



WLAN, Bluetooth



GSM, UMTS, LTE



Mobilitätsmanagement



Medienzugriff



Drahtlose Übertragung

- In Festnetzen entstehen Datenverluste i.A. durch Überlast
  - Router verwerfen Dateneinheiten, sobald Puffer voll sind
  - Übertragungswiederholungen würden Stausituation verschlimmern
- TCP wurde für **Festnetze** entwickelt
  - Slow Start zum „Messen“ verfügbarer Ende-zu-Ende-Bandbreite
  - Bei Datenverlust wird Stau angenommen: TCP reduziert Datenrate
    - Fast Retransmit/Fast Recovery bei 4 gleichen Bestätigungen
      - Staukontrollfenster wird auf Hälfte der ausstehenden Daten gesetzt
      - Anschließend direkt Congestion Avoidance (Slow Start entfällt)
    - Slow Start bei Timeout
      - Staukontrollfenster wird auf 1 (oder einen anderen festen Wert) gesetzt



[12.1]

Vorlesung "Telematik"  
behandelt TCP im Detail



# Mobile TCP

- Stauannahme von TCP im Festnetz i.A. richtig
- Allerdings falsch in drahtlosen mobilen Netzen
  - Drahtlose Netze: Datenverluste meist durch **Übertragungsfehler**
  - **Mobilität**: Dateneinheiten zu alter Zustelladresse unterwegs
    - Subnetz-Wechsel impliziert Timeout  $\Rightarrow$  Slow Start
    - Sinnvoll (wenn keine Alternative vorhanden), da Ende-zu-Ende-Bandbreite auf neuem Pfad zunächst unbekannt
- Konsequenz für TCP bei Mobilität
  - Slow Start nach jedem Subnetz-Wechsel ist zeitaufwändig
    - Insbes. für Pfade mit hohem Bandbreite-Verzögerungs-Produkt (z.B. Satellitenlinks)
    - Macht sich bei hoher Mobilität stark bemerkbar
  - U.U. langer Timeout, insbesondere wg. Backoff bei „Mehrfach-Timeouts“
  - Übertragungsfehler reduzieren erzielbare Datenrate unnötig
- TCP kann aber nicht „grundsätzlich“ verändert werden
  - Interoperabilität mit Festnetzrechnern notwendig
  - Stau- und Flusskontrolle halten im Festnetz das Internet zusammen

# Mobile TCP

## ■ Ziel

- Stau- und Flusskontrolle von TCP im Wesentlichen beibehalten
- Zusätzliche Mechanismen
  - bei Übertragungsfehlern in drahtlosen Netzen
  - nach Subnetz-Wechsel bei Mobilität

## ■ Lösungsansätze

- Erzwungener Fast Retransmit
- Indirektes TCP
- Snooping TCP
- Quick Start für TCP

# Erzwungener Fast Retransmit

## ■ Problem (am Beispiel Einsatz von Mobile IP)



[12.6]

- Dateneinheiten werden nach Subnetz-Wechsel zunächst an falsche Zustelladresse gesendet
  - Dateneinheiten gehen verloren
  - Sender erhält keine Bestätigungen
    - Timeout und Slow Start
- Wiederholung der Dateneinheiten erst nach Timeout
  - Selbst wenn Station erfolgreich im Fremdnetz registriert, Tunnel etabliert, ...
  - Timeout kann lang sein, insbes. wegen Backoff bei "Mehrfach-Timeouts"

## ■ Lösungsmöglichkeit

- Erzwingen von **Fast Retransmit** durch mobile Station
  - Mobile Station sendet nach Subnetz-Wechsel 4 gleiche Bestätigungen
  - Kommunikationspartner führt Fast Retransmit durch
- Anschließend **Slow Start** anstatt Fast Recovery
  - Bandbreite auf neuem Datenpfad muss neu bestimmt werden
  - Slow Start automatisch, falls Timeout vor Eingang der Bestätigungen auftrat
  - Ansonsten muss Slow Start "erzwungen" werden

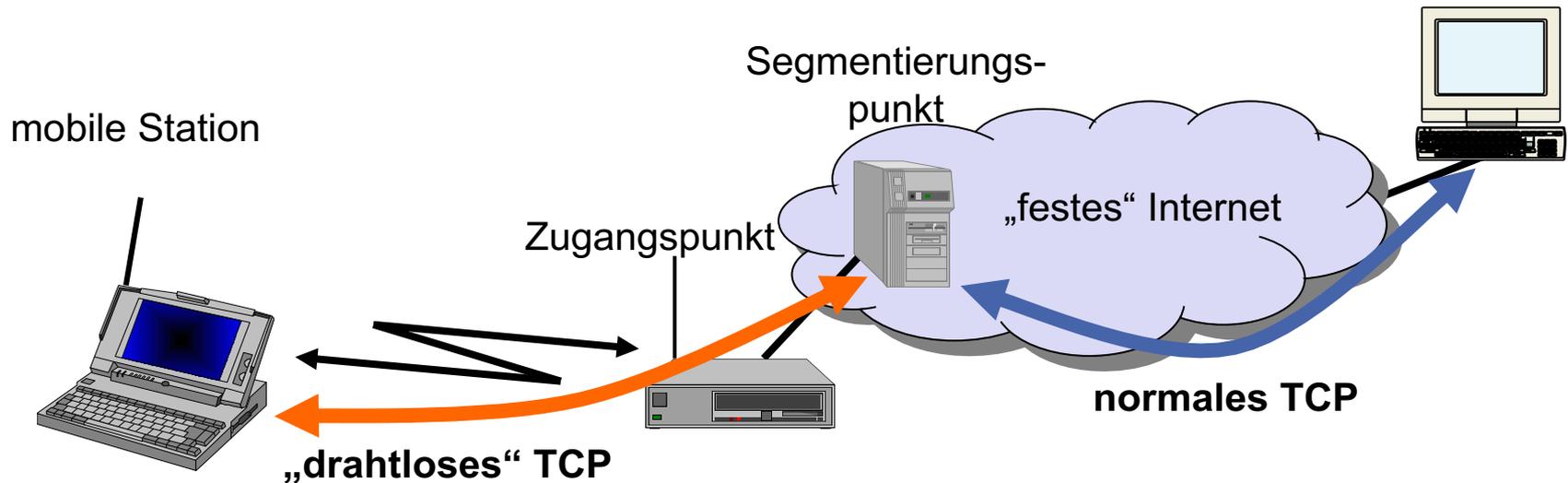
# Erzwungener Fast Retransmit

## ■ Nachteile

- Wiederholte Dateneinheiten legen gesamten Weg durch das Netz zurück
  - Komplette Umlaufzeit für die 4 gleichen Bestätigungen und erste wiederholte Dateneinheit nötig
- Ermittlung der neuen Datenrate über Slow Start langwierig
- Berücksichtigt nur Datenverluste bei Subnetz-Wechsel
  - Durch Übertragungsfehler verursachte Verluste können aber durch reguläres Fast Retransmit/Fast Recovery behoben werden
- Erzwingen des Slow Starts erfordert ggf. Modifikation von TCP am Kommunikationspartner im Festnetz

# Indirektes TCP

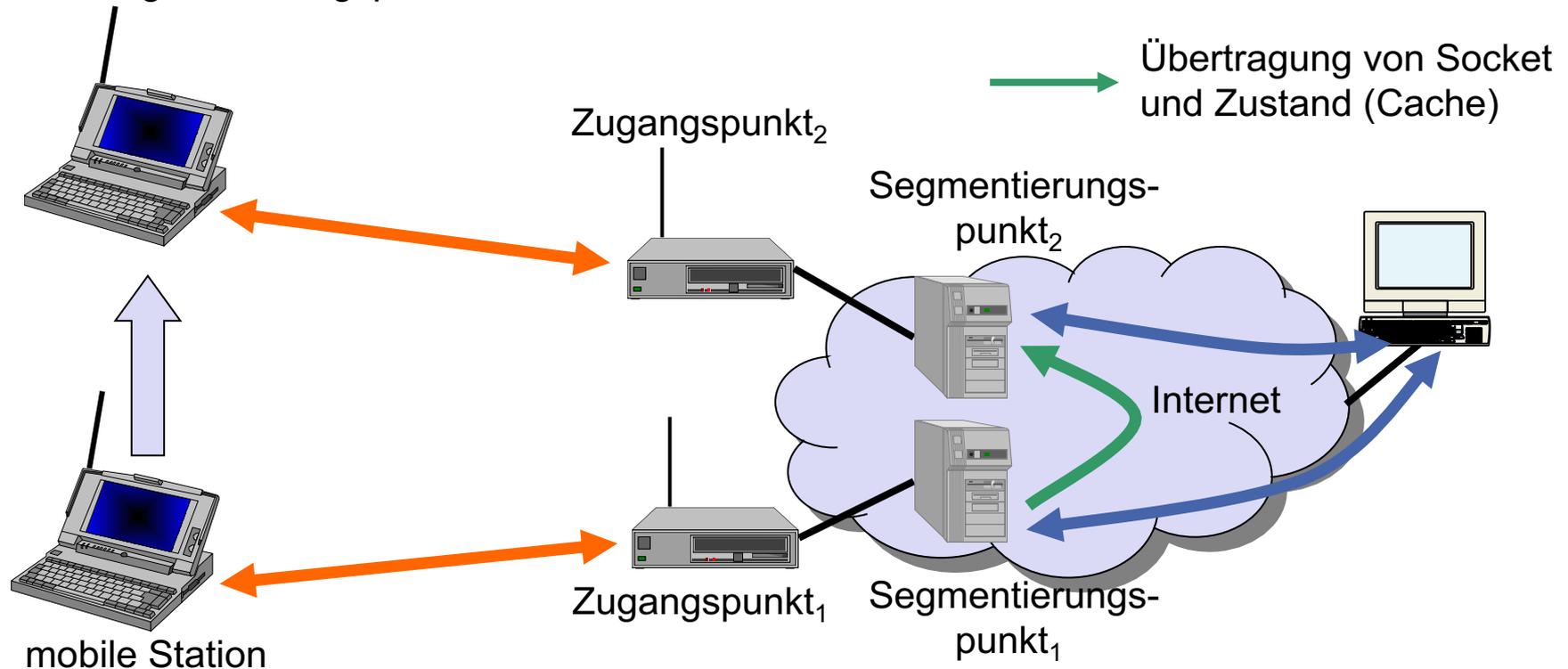
- Aufteilen der TCP-Verbindung in zwei Segmente
  - Aufteilung findet in der Nähe des Übergangs vom Festnetz ins drahtlose Netz statt
    - Zum Beispiel beim Fremdagenten bzw. Zugangsrouter
  - Keine Änderung am TCP-Protokoll für Festnetz-Stationen
    - Installierte Basis ist zu hoch
  - Optimiertes Transportprotokoll zwischen Segmentierungspunkt und mobilem Endgerät („drahtloses“ TCP)
  - Festnetz-Stationen bemerken Subnetz-Wechsel der mobilen Station nicht



# Indirektes TCP

## ■ Optimierung der Mobilstrecke

- Zwischenspeicherung von Dateneinheiten im Segmentierungspunkt
- Schnelle Übertragungswiederholung, da Strecke zwischen Segmentierungspunkt und mobiler Station kurz
- Übertragung des TCP-Zustands bei Subnetz-Wechsel zum neuen Segmentierungspunkt



# Indirektes TCP

## ■ Vorteile

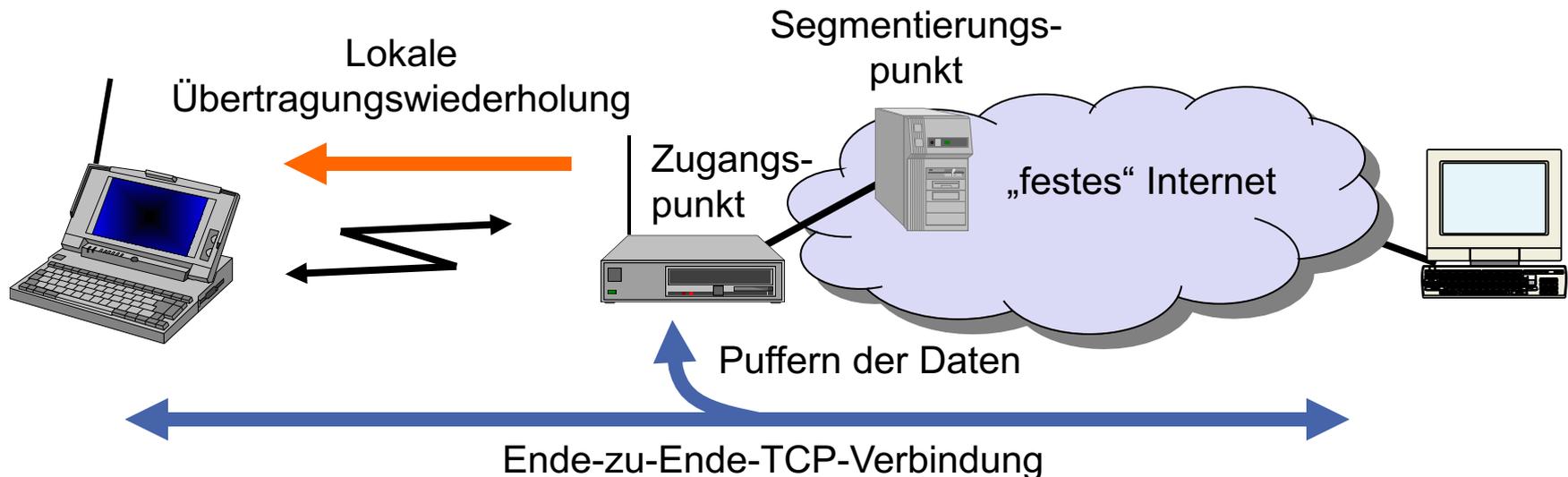
- Keine Änderungen im Festnetzbereich
  - Existierende Mechanismen hier weiterhin effektiv
- Fehler auf der drahtlosen Strecke pflanzen sich nicht ins Festnetz fort

## ■ Nachteile

- Verlust der Ende-zu-Ende-Semantik
  - Bestätigung an Sender heißt nun nicht mehr, dass Empfänger wirklich die Daten erhalten hat
  - Was passiert bei einem Absturz/Fehlfunktion des Segmentierungspunkts?
  - Konsistenz der Sichten?
- Vergrößerte Latenzzeiten durch Pufferung der Daten im Segmentierungspunkt und evtl. Übertragung an neuen Segmentierungspunkt
- Übertragung von Socket und Zustand (Cache) bei Wechsel des Zugangspunktes notwendig
  - Kurzzeitige Unterbrechung der Datenübertragung über Transportverbindung

# Snooping TCP

- „Transparente“ Erweiterung von TCP im Segmentierungspunkt
  - Puffern der zur mobilen Station gesendeten Daten
  - Bei Datenverlust auf der Strecke zwischen Segmentierungspunkt und mobiler Station (beide Richtungen) direkte Übertragungswiederholung durch Segmentierungspunkt („lokale“ Übertragungswiederholung)
  - Dazu hört der Segmentierungspunkt den Datenverkehr ab und erkennt Bestätigungen in beide Richtungen (Filtern der Bestätigungen)
  - TCP bleibt in beiden Endsystemen unverändert



# Snooping TCP



[12.2]

[12.3]

- **Datentransfer zur mobilen Station**
  - Segmentierungspunkt puffert Daten bis zur Bestätigung
  - Erkennt Datenverluste durch duplizierte Bestätigungen oder Timeouts
  - Schnelle Übertragungswiederholung; transparent gegenüber Festnetz
  
- **Datentransfer von mobiler Station**
  - Segmentierungspunkt erkennt Datenverluste auf dem Weg von mobiler Station anhand der Sequenznummern, sendet daraufhin negative Bestätigung zur mobilen Station
  - Mobile Station kann nun sehr schnell erneut übertragen
  
- **Probleme**
  - Snooping TCP isoliert die drahtlose Verbindung nicht komplett
    - Selbst bei einer lokalen Übertragungswiederholung kann beim Kommunikationspartner ein Timeout auftreten
  - Je nach Verschlüsselungsverfahren ist Snooping nutzlos
    - IPsec verschlüsselt bspw. den Inhalt von IP-Datagrammen und somit auch den TCP-Header. Segmentierungspunkt hat also keinen Zugriff darauf.

# Quick Start für TCP

- Problem: Timeout und Slow Start nach jedem Subnetz-Wechsel ist zeitaufwändig
  - Kann bei hoher Mobilität und Datenpfaden mit hohem Bandbreite-Verzögerungs-Produkt Großteil der Kommunikationszeit ausmachen



[12.5]

- Quick Start für TCP hilft, verfügbare Bandbreite *schnell* zu bestimmen
  - Station fragt Router auf Datenpfad nach verfügbarer Bandbreite
    - IP-Option in TCP-Dateneinheit enthält *gewünschte Bandbreite* in Bit/s
    - Zweite IP-Option enthält „Quick Start TTL“
  - Router können Bandbreite in IP-Option reduzieren
    - Quick-Start-fähige Router dekrementieren Quick Start TTL
  - Kommunikationspartner sendet Ergebnis zurück
    - TCP-Option in erster TCP-Dateneinheit
  - Quick Start TTL zeigt, ob alle Router Quick-Start-fähig sind
    - Nur dann kann Quick Start angewendet werden
  - Station passt Staufenster an verfügbare Bandbreite an
    - Verfügbare Bandbreite \* Einschätzung der Umlaufzeit = neues Staufenster
    - Schneller als Bandbreitenermittlung über Slow Start
  - Kommunikationspartner führt umgekehrt gleiche Prozedur durch
  - Einsatz von Quick Start bei Mobilität zurzeit jedoch noch nicht standardisiert

# Quick Start für TCP

## ■ Vorteile

- Kein zeitaufwändiger Slow Start
- Trotzdem Ausnutzung verfügbarer Bandbreite
- Quick Start auch für andere Transportprotokolle außer TCP geeignet

## ■ Nachteile

- Beide TCP-Partner müssen Quick-Start-fähig sein
- Alle Router auf dem Pfad müssen Quick-Start-fähig sein
- An ubiquitären Einsatz wird zurzeit nicht gedacht, insbes. nicht in Core-Routern

## ■ Probleme bei Mobilität

- Nach Subnetz-Wechsel sendet mobile Station i.A. zunächst keine TCP-Dateneinheit
    - Quick-Start-Option muss aber an TCP-Dateneinheit angehängt werden
  - 1 Roundtrip-Zeit erforderlich zum Ermitteln der verfügbaren Bandbreite
  - Mobile Station muss Umlaufzeit auf neuem Pfad kennen, um Stufenfenster anzupassen
    - Umlaufzeit ändert sich bei Subnetz-Wechsel möglicherweise stark
    - Lösungsansatz: Verwende für Bandbreitenbestimmung benötigte Umlaufzeit
      - Nachteil: Umlaufzeit kann schwanken; ermittelter Wert evt. sehr ungenau
- Noch Forschungsbedarf

# Vergleich der vorgestellten Verfahren

Verfahren	Mechanismus	Vorteile	Nachteile
Fast Retransmit/ Fast Recovery	Schnelles Erzwingen einer Übertragungswiederholung nach Verbindungswechsel	Einfach, effizient	Vermischung der Schichten, nicht transparent
Indirektes TCP	Auftrennen in zwei TCP-Verbindungen	Isolation der drahtlosen Strecke, einfach	Verlust der Ende-zu-Ende-Semantik, erhöhte Latenz
Snooping TCP	Mithören von Daten und Quittungen, lokale Wiederholung	Transparent für Ende-zu-Ende	Problematisch bei Verschlüsselung, schlechtere Isolation
Quick Start für TCP	Explizite Auskunft über verfügbare Bandbreite von Routern	Bandbreiten-Bestimmung ohne Slow Start	Beide TCP-Partner und alle Router auf dem Datenpfad müssen Optimierung unterstützen

# Zusammenfassung

- TCP wurde nicht für drahtlose Verbindungen entwickelt
  - Annahme Festnetz: Paketverlust = Stau
  - Auf drahtlosen Links gibt es jedoch viele andere Gründe für Paketverluste (Interferenzen, Handover, ...)
  
- Lösungsansätze
  - Fast Retransmit
  - Indirektes TCP
  - Snooping TCP
  - Quickstart

- 12.1 Worin liegen die Probleme beim Einsatz von TCP über drahtlose Verbindungen?
- 12.2 Welche der betrachteten Verfahren eignen sich besser bei einem Handover, welche bei Paketverlusten durch Interferenzen?
- 12.3 Beschreiben Sie den Einsatz von Fast Retransmit!
- 12.4 Warum kann sollte nach einem Fast Retransmit ein Slow Start erfolgen?
- 12.5 Wie funktioniert indirektes TCP?
- 12.6 Welche Nachteile von indirektem TCP werden durch Snooping TCP gelöst?
- 12.7 Erläutern Sie an einem Beispiel, wie nicht Quickstart-fähige Router erkannt werden!

# Referenzen, weiterführende Literatur

- [12.1] Hala Elaarag; Improving TCP Performance over Mobile Networks, ACM Computing Surveys, September 2002
- [12.2] H. Balakrishnan, S. Seshan, R. H. Katz; Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks, Wireless Networks, J.C. Baltzer, Band 1, 1995
- [12.3] E. A. Brewer et al.; A Network Architecture for Heterogeneous Mobile Computing, IEEE Personal Communications, 5(5), 1998
- [12.4] A. Fieger, M. Zitterbart; Zuverlässige Transportdienste für Mobile Computing, Informatik – Forschung und Entwicklung, 16(4), 2001
- [12.5] IETF Transport Area Working Group, <http://www.ietf.org/html.charters/tsvwg-charter.html>
- [12.6] S. Schütz et al.: Protocol Enhancements for Intermittently Connected Hosts, ACM Computer Communication Review, Juli 2005

# Referenzen, weiterführende Literatur

- [12.13] H. Balakrishnan, S. Seshan, R. H. Katz; Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks, Wireless Networks, J.C. Baltzer, Band 1, 1995
- [12.14] E. A. Brewer et al.; A Network Architecture for Heterogeneous Mobile Computing, IEEE Personal Communications, 5(5), 1998
- [12.15] J. Roth; Mobile Computing: Grundlagen, Technik, Konzepte, dpunkt, 2002
- [12.16] A. Fieger, M. Zitterbart; Zuverlässige Transportdienste für Mobile Computing, Informatik – Forschung und Entwicklung, 16(4), 2001
- [12.17] IETF MIP4 Working Group, <http://www.ietf.org/html.charters/mip4-charter.html>
- [12.18] H. Soliman et al.: Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management, RFC 4140, August 2005
- [12.19] Rajeev Koodli: Fast Handovers for Mobile IPv6, RFC 4068, Juli 2005
- [12.20] IETF Transport Area Working Group, <http://www.ietf.org/html.charters/tsvwg-charter.html>
- [12.21] RFC 2608 - Service Location Protocol, Version 2
- [12.22] RFC 2610 - DHCP Options for Service Location Protocol
- [12.23] S. Schütz et al.: Protocol Enhancements for Intermittently Connected Hosts, ACM Computer Communication Review, Juli 2005

# Vielen Dank!