Mobilkommunikation

VII. Mobiles Internet

Kapitel 11

Mobile Vermittlungsschicht

Kapitelübersicht

11.1 Motivation

- Neuartige Kommunikationsanwendungen mit Interaktivität und Echtzeit-Anforderungen
  - Internet-Telefonie (Voice over IP)
  - Video-Konferenzen
  - Audio- und Video-Streaming
  - etc.
- Nutzer wünschen sich ubiquitären Internetzugang
  - zu jeder Zeit
  - an jedem Ort
  - über beliebige Technologie
- Erfordert Mobilitätsunterstützung → mobile Stationen
  - Wechsel zwischen Subnetzen der gleichen Technologie (**horizontale Handover**)
    - Bessere Verfügbarkeit/Signalstärke (geographische Bewegung der mobilen Station)
  - Wechsel zwischen Subnetzen unterschiedlicher Technologie (**vertikale Handover**)
    - Bessere Verfügbarkeit/Signalstärke (geographische Bewegung der mobilen Station)
    - Höherer Bandbreite
    - Kürzere Latenz
    - Geringere Zugangskosten
- Mobilfunknetze (GSM, UMTS) bieten Mobilitätsunterstützung, aber (noch) nicht IP-basiert
  - Umstellung auf IP
    - Besser geeignet für heterogene Services
    - Ermöglicht Integration anderer Technologien, bspw. WLAN (so genannte "4G-Netze")

[VI.5]

Problematik

- Doppelfunktion von IP-Adressen
  - **Wegewahl** im Internet basiert auf IP-Zieladresse von Dateneinheiten
  - Adresspräfix (z.B. 129.13.42/8) legt physikalisches Subnetz fest
  - Gleichzeitig werden IP-Adressen in Transportprotokollen und Anwendungen zur **Identifikation** von Stationen genutzt
- Konsequenz für mobile Stationen
  - Wechsel des Subnetzes erfordert Wechsel der IP-Adresse
  - Wechsel der IP-Adresse wiederum terminiert bestehende Kommunikationsverbindungen
  - **Transparente Mobilität nicht möglich**

Lösungsmöglichkeiten

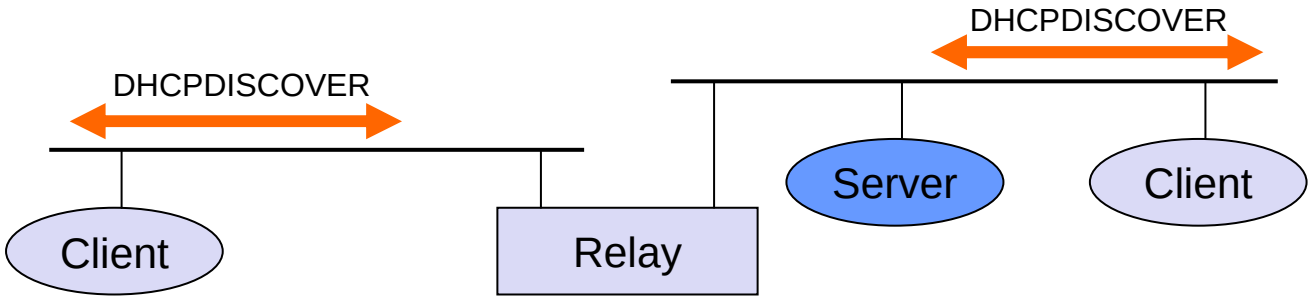
- **Host-spezifische Routen** zur mobilen Station
  - Anpassen der Routing-Einträge aller Router auf dem Kommunikationspfad → Skaliert nicht Internet-weit!
- **Separate IP-Adressen für Wegewahl u. Identifikation**
  - Je nach Lokation andere IP-Adresse für Wegewahl
  - Konstante IP-Adresse für Transportprotokolle und Anwendungen → Skaliert, aber…
    - Wie sollen mobile Stationen gefunden werden, wenn sich IP-Adresse ändert?
    - DNS-Aktualisierung für schnelle Handover zu träge

Portabilität	Mobilität
Mobile Stationen in versch. Subnetzen betrieben (Subnetz-Wechsel selten) Erhalt aktiver Komm.verbindungen nicht notwendig Lösung durch DHCP (nächste Folie) Mobile Stationen erhalten bei Subnetz-Wechsel neue IP-Adresse über DHCP	Häufige Subnetz-Wechsel Aktive Komm.verbindungen sollen erhalten werden Lösung durch Mobile IP (Kap 11.3 ff.)

11.2 Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

- Anwendung
  - Automatische Konfiguration vernetzter Stationen
  - Zuweisung einer IP-Adresse für begrenzte Zeitspanne
  - Zusätzliche Konfigurationsparameter, bspw.
    - IP-Adresse(n) von DNS-Server(n), Name-Server(n), Time-Server(n)
    - Subnetz-Maske, Zugangsrouter, Domain Name für Station
- Client-Server-Modell
  - Station (Client) sendet Anfrage per MAC-Broadcast an DHCP-Server, u.U. über DHCP-Relay
- Eigenschaften
  - Mehrere Server möglich (Koordination zurzeit noch nicht standardisiert)
  - Erneuerung der Konfiguration (IP-Addr müssen regelm. erneuert werden)
  - Modularer Aufbau (DHCP-Nachrichten, insbes. DHCPOFFER, enthalten IP-Adressen und andere Konfigurationsparameter in separaten Optionen

[VI.7]
[VI.8]



11.3 Mobile IPv4

- Ziel: Mobile Stationen können bei Wechsel des Subnetzes aktive Kommunikationsverbindungen fortführen
  - IP-Adresse ändert sich nur für Zustellung von Dateneinheiten
  - Transparenz gegenüber Transportprotokollen und Anwendungen

[VI.9]

- Anforderungen
  - Kompatibilität
    - Keine Änderung an Schicht-2-Protokollen, Routern oder Festnetzstationen
    - Kommunikation zwischen mobilen Stationen und Festnetz-Stationen
  - Sicherheit
    - Authentifizierung von Registrierungsnachrichten
    - Privatsphäre soll geschützt werden
  - Effizienz und Skalierbarkeit
    - Mobile Stationen evtl. über eine schmalbandige Funkstrecke angebunden
      - Möglichst wenig Signalisierung auf Luftschnittstelle
    - Große Anzahl mobiler Stationen soll Internet-weit unterstützt werden

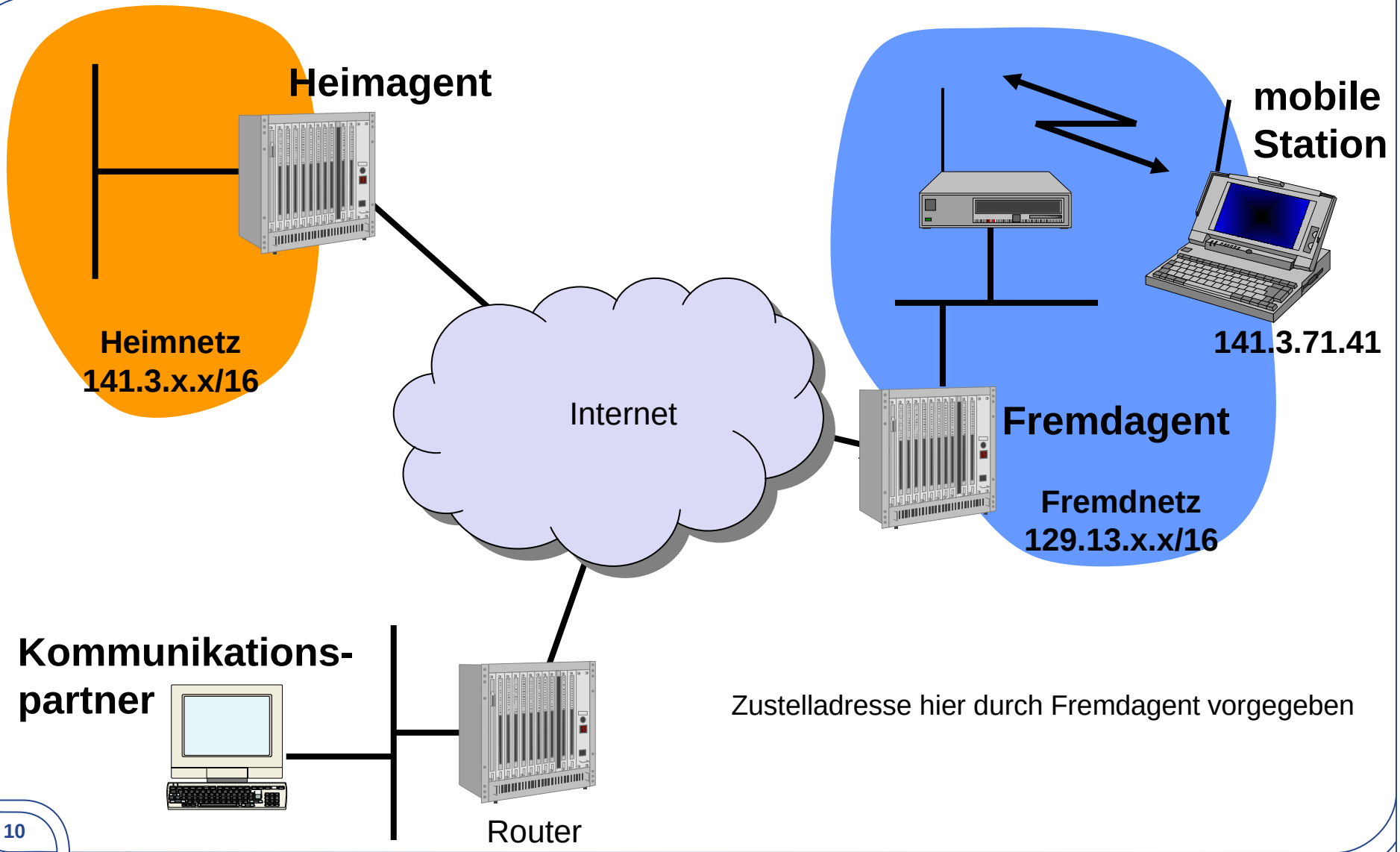
Terminologie

- Mobile Station
  - Station, die das Subnetz wechseln kann, ohne bestehende Kommunikationsverbindungen zu verlieren
- Kommunikationspartner (der mobilen Station)
  - Kann ebenfalls mobil sein oder Festnetz-Station
- Heimnetz
  - Mobiler Station zugewiesenes, eindeutiges Subnetz
  - Mobile Station kommuniziert im Heimnetz ohne Mobile IP
- Fremdnetz
  - Jedes Subnetz außer dem Heimnetz
- Heimadresse
  - IP-Adresse der mobilen Station im Heimnetz
  - Transportprotokolle und Anwendungen benutzen Heimadresse auch dann, wenn sich mobile Station im Fremdnetz aufhält
- Zustelladresse
  - IP-Adresse, unter der mobile Station im Fremdnetz erreichbar ist
  - Z.B. über DHCP zugewiesen

Terminologie

- Heimagent
  - Einheit im Heimnetz, typischerweise Router
  - Stellvertreter der mobilen Station im Heimnetz
  - Kennt aktuelles Fremdnetz (Aufenthaltsort) der mobilen Station
  - Endpunkt eines Tunnels zum Fremdnetz
    - Tunnelt vom Kommunikationspartner empfangene Dateneinheiten zum Fremdnetz
    - Leitet aus dem Fremdnetz getunnelte Dateneinheiten zum Kommunikationspartner weiter
- Fremdagent
  - Einheit im Fremdnetz, typischerweise Zugangsrouter
  - Endpunkt des Tunnels zum Heimagenten
    - Tunnelt von mobiler Station empfangene Dateneinheiten zum Heimagenten
    - Leitet vom Heimagenten getunnelte Dateneinheiten zur mobilen Station weiter
  - Kann Zustelladresse vorgeben

Beispielnetz

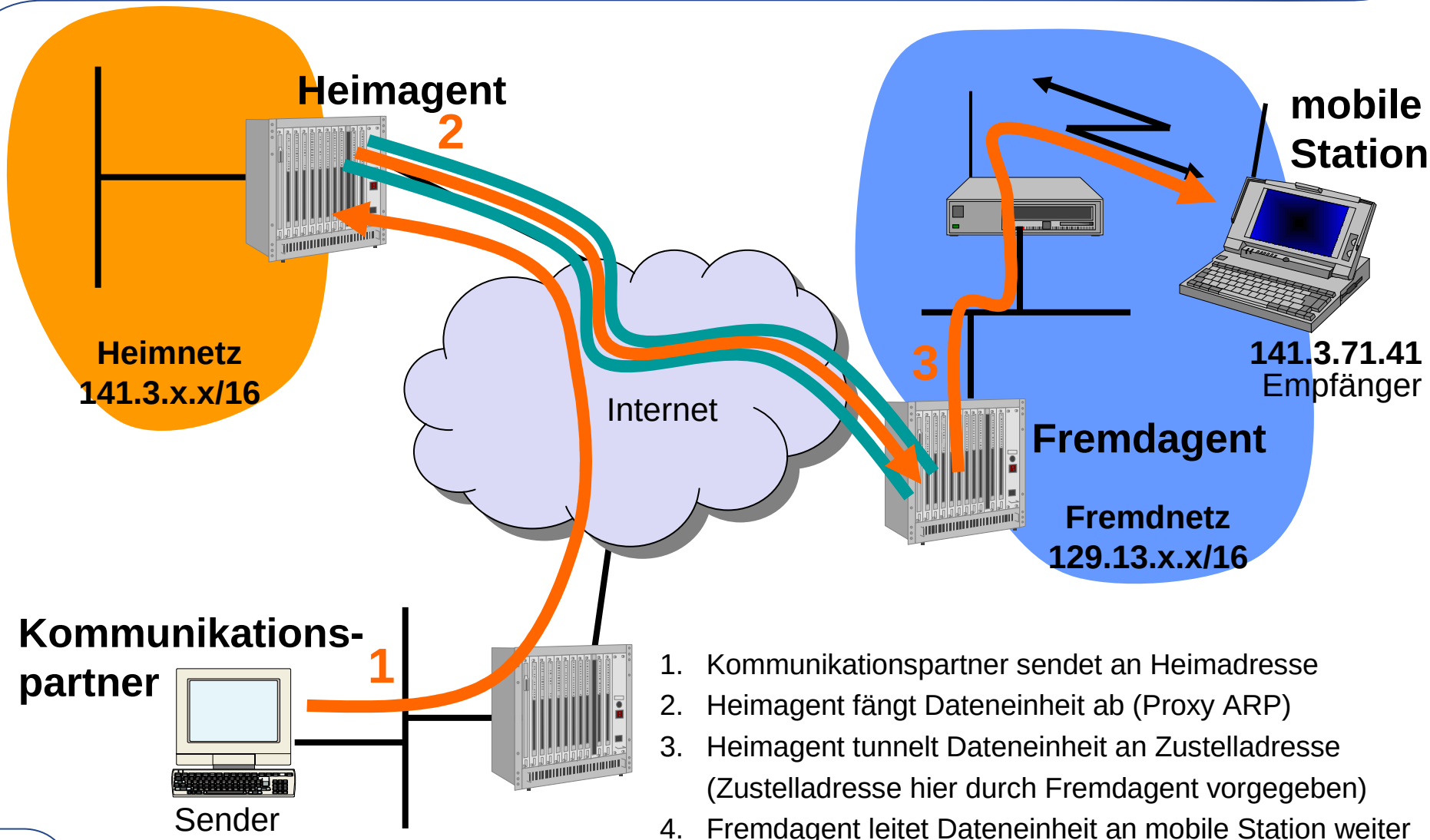


Zustelladresse hier durch Fremdagent vorgegeben

Arten von Zustelladressen

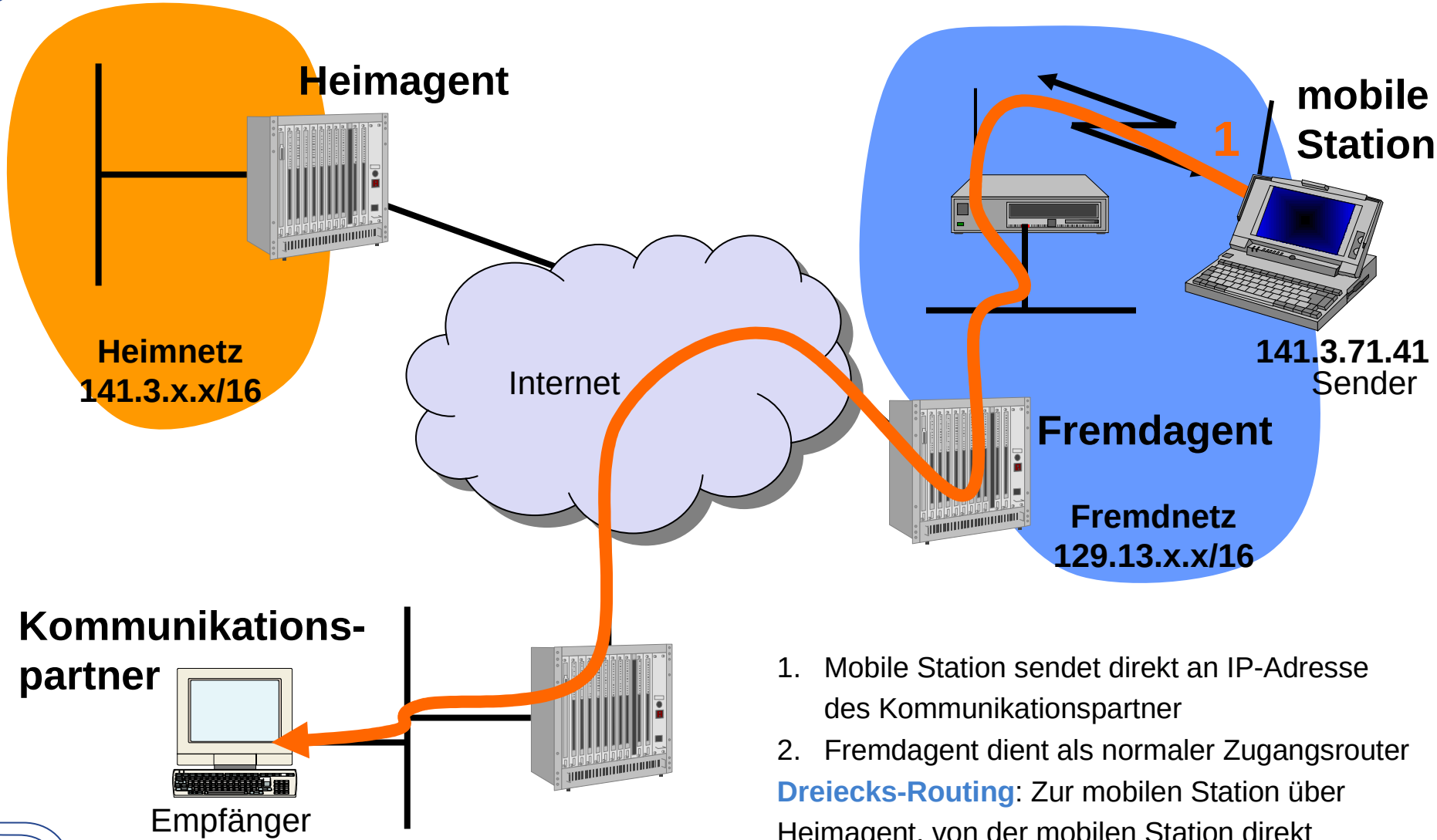
- Zustelladresse des Fremdagenten
  - Zustelladresse gehört dem Fremdagenten
  - Mobile Station registriert sich über Fremdagent beim Heimagenten
  - Fremdagent ist Endpunkt des Tunnels zum Heimagenten
  - Vorteil: Sparsamer Umgang mit IP-Adressen, da eine Zustelladresse von mehreren mobilen Stationen verwendet werden kann
- Eigene Zustelladresse
  - Mobile Station konfiguriert eigene Zustelladresse
  - Mobile Station registriert sich direkt beim Heimagenten
  - Mobile Station ist Endpunkt des Tunnels zum Heimagenten
  - Vorteil: Kein Fremdagent erforderlich

11.3.1 Datentransfer zur mobilen Station



1. Kommunikationspartner sendet an Heimadresse
2. Heimagent fängt Dateneinheit ab (Proxy ARP)
3. Heimagent tunnelt Dateneinheit an Zustelladresse (Zustelladresse hier durch Fremdagent vorgegeben)
4. Fremdagent leitet Dateneinheit an mobile Station weiter

Datentransfer von mobiler Station



1. Mobile Station sendet direkt an IP-Adresse des Kommunikationspartner
2. Fremdagent dient als normaler Zugangsrouter

Dreiecks-Routing: Zur mobilen Station über Heimagent, von der mobilen Station direkt

Probleme beim Dreiecks-Routing

- Quelladress-Filter
  - Viele Router und Firewalls verwerfen Dateneinheiten mit topologisch inkorrekten Quelladressen
  - Quelladresse der mobilen Station muss Heimadresse sein
  - Daher nicht topologisch korrekt
- Multicast
  - Möglicherweise keine Unterstützung für Multicast im Fremdnetz
  - Teilnahme an Multicast-Gruppen im Heimnetz über Tunnel zwischen mobiler Station und Heimagent
  - Quelladresse der mobilen Station beim Tunneln gemäß Mobile-IPv4-Standard gleich Heimadresse, daher topologisch inkorrekt
- Lebensdauer der Dateneinheit (TTL)
  - Hin- und Rückrichtung sind evt. unterschiedlich lang
    - TTL mag für eine Richtung genügen, für andere aber nicht
  - Mobile Station muss TTL für ausgehende Dateneinheiten nach Subnetz-Wechsel ggf. anpassen

Reverse Tunneling

- Von mobiler Station gesendete Dateneinheiten werden
  - durch den Fremdagenten gekapselt
  - über Heimagent getunnelt
- Lösung der Probleme von Dreiecks-Routing
  - Dateneinheiten topologisch korrekt
  - Lösung der Multicast-Problematik
  - Lösung der TTL-Problematik (Tunnel hat Länge 1)
- Nachteile
  - Geringere Effizienz durch längere Wege
  - Sicherheitsproblematik bei Firewalls
    - Umgekehrter Tunnel kann zur Umgehung von Schutzmechanismen missbraucht werden
      - Böswillige Station im Fremdnetz kann Tunnel ihres Opfers zu ebenfalls böswilligen Heimagent umleiten (Tunnel Hijacking)
    - Zusätzliche Authentifizierung löst dieses Problem
      - Zwischen mobiler Station und Fremdagent
      - Zwischen Fremdagent und Heimagent

11.3.2 Netzintegration und Mobilitätsmanagement

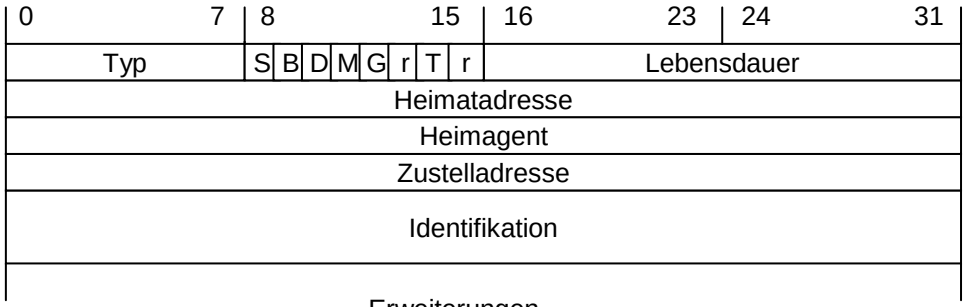
- Netzintegration im Festnetz
  - Zugangsrouter versenden periodisch Router-Advertisement-Nachrichten
    - Explizite Anforderung durch Router-Solicitation-Nachricht möglich
    - Enthalten IP-Adressen der Zugangsrouter
    - Erweiterung von ICMP (RFC 1256)
    - Durch „Preference Level“ können bestimmte Zugangsrouter im Subnetz priorisiert werden
- Probleme bei Mobilität
  - Mobile Stationen können nicht erkennen, ob ein Zugangsrouter als Heim- bzw. Fremdagent fungiert
  - Zustelladressen eines Fremdagenten können nicht bekannt gegeben werden
- Lösung
  - Zugangsrouter versenden periodisch Agent-Advertisement-Nachrichten (RFC 3344)
  - Dies sind Router-Advertisement-Nachrichten mit zusätzlicher Option
  - Beinhalten Informationen für mobile Stationen

0 7	8 15	16 23	24 31
Typ = 9	Code = 0	Prüfsumme	
#Adressen	Adresslänge	Lebensdauer	
Router Adresse 1			
Preference Level 1			
Router Adresse 2			
Preference Level 2			
. . .			
Router Adresse *#Adressen*			
Preference Level *#Adressen*			

11.3.3 Registrierung

- Mobile Station erhält Zustelladresse (von Fremdagent oder über DHCP)
- Danach: Registrierung beim Heimagent
  - Heimagent erfährt damit aktuellen Aufenthaltsort der mobilen Station
- Registrierung besitzt stets begrenzte Lebensdauer
  - Danach automatisch gelöscht (Soft State)
  - Registrierung muss periodisch aufgefrischt werden
- Registrierung durch Authentifikation abgesichert

- Registrierungsanforderung:
  - Kapselung in UDP-Dateneinheiten (schneller als TCP, da kein Verb.aufbau)
  - Eigener Mechanismus für Übertragungswiederholungen
  - Ziel der UDP-Dateneinheit ist je nach Art der Zustelladresse der Heimagent oder der Fremdagent
  - Aufbau des Nutzdatenteils einer Registrierungs-anforderung:



11.3.4 Sicherheit bei Mobile IPv4

- Sicherheitsprobleme
  - Authentizität nicht gewährleistet (unberechtigte Registrierungen)
    - Angreifer kann sich gegenüber Heim- und Fremdagent als mobile Station ausgeben
    - Angreifer kann sich gegenüber mobiler Station als Heim- oder Fremdagent ausgeben
  - Angreifer kann Dateneinheiten seines Opfers an falsche Zustelladresse umlenken
  - Wiedereinspiel-Angriffe (Replay-Attacken)

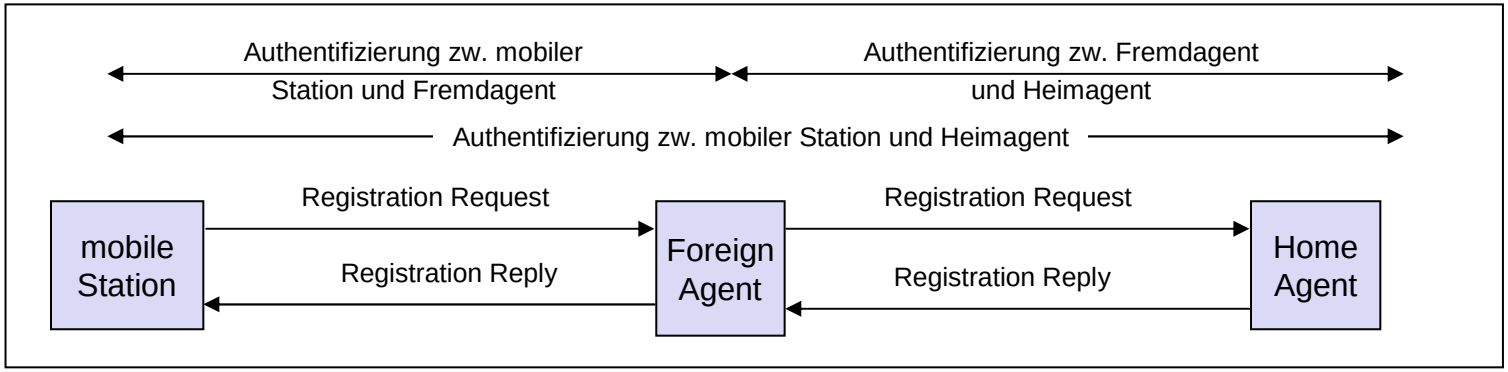
- Lösung
  - Authentifizierung der Registrierungsnachrichten
  - Schutz vor Wiedereinspiel-Angriffen

- Verschlüsselung nicht enthalten; erfordert zusätzliche Mechanismen

- Sicherheitsbeziehungen
  - Zwischen mobiler Station, Heimagent und evtl. auch Fremdagent
  - Sicherheitsbeziehung (für ein bestimmtes Knotenpaar) enthält
    - Authentifizierungsalgorithmus (Voreinstellung: HMAC-MD5)
    - Schlüssel (symmetrisch oder asymmetrisch)
    - Methode zur Verhinderung von Wiedereinspiel-Angriffen
  - Aushandlung der Sicherheitsbeziehung und Schlüsselaustausch durch externen Mechanismus

Sicherheit bei Mobile IPv4

- Authentifizierung der Registrierung
  - Vorgeschrieben zwischen mobiler Station und Heimagent
  - Optional zwischen [mobiler Station ←→ Fremdagent ←→ Heimagent]
  - Authentifizierungserweiterung für Registrierungsnachrichten



- Verhindern von Wiedereinspiel-Angriffen
  - Identifikationsfeld ist für jede Nachricht verschieden
  - 2 Verfahren: Zeitstempel (erfordert synchronisierte Uhren), Einmalwerte („Nonces“), optional
  - Identifikationsfeld geht in Authentifizierungsdaten ein
- Probleme
  - Authentifikation mit Fremdagent
    - Fremdagent gehört u.U. zu anderer Organisation als mobile Station und Heimagent
  - Kein Protokoll für die Schlüsselverwaltung und Schlüsselverteilung im Internet standardisiert

11.3.5 Probleme mit Mobile IPv4

- Firewalls
  - Verhindern typischerweise den Einsatz von Mobile IP
  - Spezielle Konfigurationen sind nötig, z.B. Reverse Tunneling
- QoS
  - Erneute Reservierungen nach jedem Handoff bei RSVP
  - Tunneln verhindert das Erkennen gesondert zu behandelnder Datenströme
- Dreiecks-Routing
  - Hohe Verzögerungszeiten
  - Höhere Netzlast

11.4 Mobile IPv6


[VI.11]

- Mobilitätsunterstützung für IPv6
  - Pendant zu Mobile IPv4
- Hohe Zahl von IPv6-Adressen erlaubt eigene Zustelladresse für jede mobile Station
  - IPv6-Konfiguration: Mobile Station wählt zufällige Zustelladresse und überprüft diese auf Eindeutigkeit
  - Mobile Station ist stets Endpunkt des Tunnels zum Heimagenten
  - Fremdagent wird nicht mehr benötigt
- Netzintegration
  - Ähnlich wie in Mobile IPv4 über ICMPv6 und DHCPv6
- Geänderte Terminologie
  - Binding Update = Registration Request in Mobile IPv4
  - Binding Acknowledgement = Registration Reply in Mobile IPv4

Modi und Eigenschaften von Mobile IPv6


[VI.11]

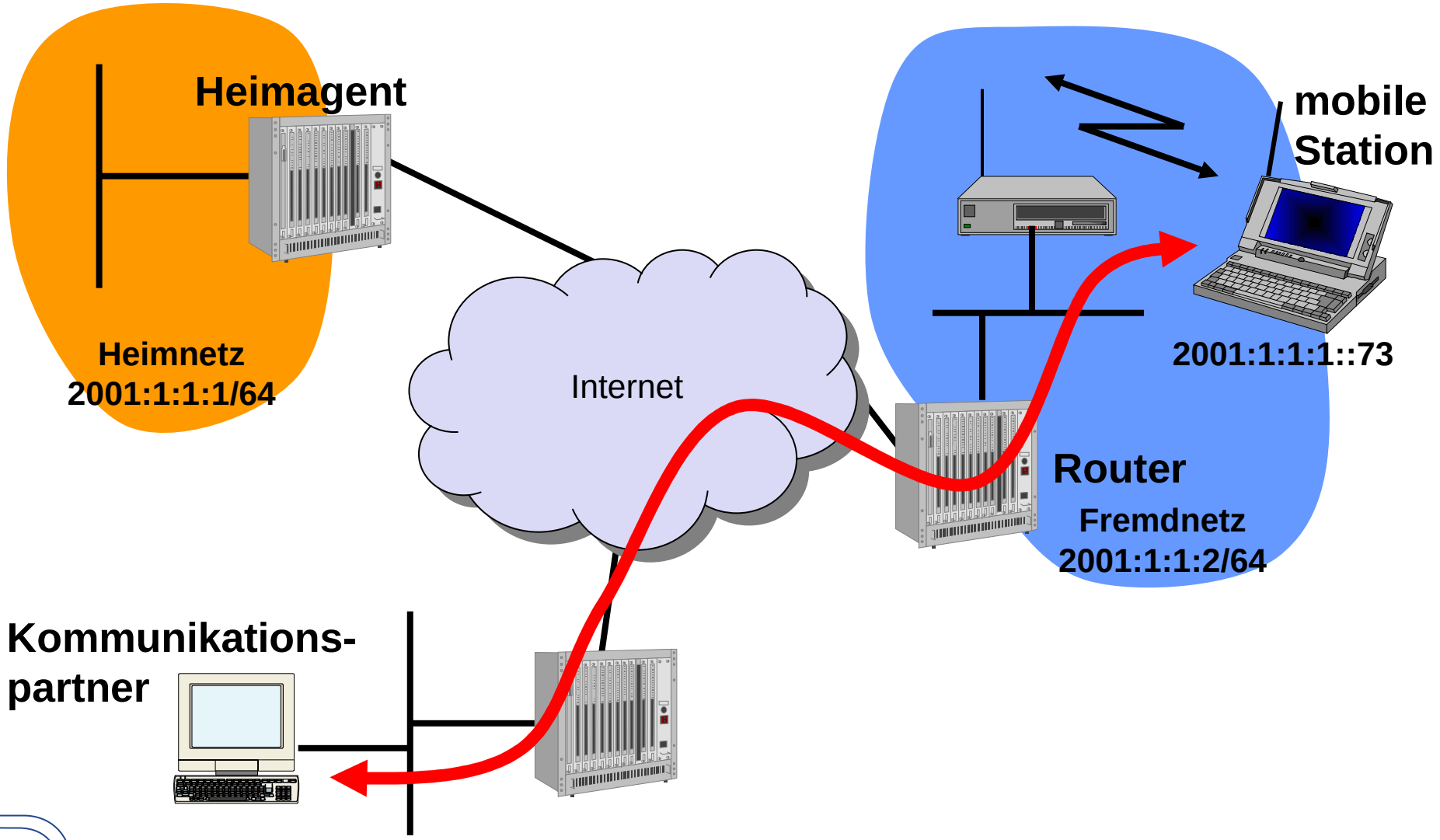
- Bidirektionales Tunneln (wie bei Mobile IPv4)
  - Vorteil: Mobilitätsunterstützung vom Kommunikationspartner nicht nötig
  - Nachteil: Erhöhte Zustelllatenz für Dateneinheiten
- Routenoptimierung (Ziel: Reduktion der Latenz für interaktive Echtzeit-Anwendungen)
  - Direktes Routing zwischen mobiler Station und Kommunikationspartner
    - Kein Umweg über Heimagent, kein Dreiecks-Routing
  - Dateneinheiten im Netz
    - IPv6-Köpfe enthalten Zustelladresse (als Quelle oder Ziel)
    - Erweiterungen der IPv6-Köpfe enthalten Heimadresse
  - Nachteil: Erfordert Mobilitätsunterstützung vom Kommunikationspartner

- Weitere Eigenschaften
  - Authentifizierung und Sicherheit von vorneherein integriert
  - IPsec für bidirektionales Tunneln
  - Return-Routability-Prozedur für Routenoptimierung
  - Falls Adresse des Heimagenten unbekannt ist, kann diese erkundet werden (Dynamic Home Agent Discovery)
  - Heimatadresse der mobilen Station kann dynamisch angepasst werden, wenn z.B. Heimnetz neues Präfix erhält (Mobile Prefix Discovery)

11.4.1 IPv6-Autokonfiguration

- Zustandsbehaftete Adress-Konfiguration
  - Zustelladresse wird einer mobilen Station auf Anfrage von DHCPv6-Server zugewiesen
  - DHCPv6-Server merkt sich vergebene Adressen
- Zustandslose Adress-Konfiguration
  - Mobile Station erhält Subnetz-Präfix durch Router Advertisement
  - Durch Kombination des Subnetz-Präfixes mit Link-abhängigen Identifikator (z.B. aufbauend auf 48-bittiger Ethernetadresse) bildet mobile Station Zustelladresse
- Duplicate Address Detection
  - Wird benötigt, um doppelte Adressen zu erkennen
  - Für zustandslose wie für zustandsbehaftete Adress-Konfiguration
  - Protokollablauf
    - Station sendet Neighbor-Solicitation-Nachricht mit zu prüfender Adresse an alle Nachbarn
    - Falls Adresse schon vergeben…
      - Station, der die Adresse gehört, sendet Neighbor-Advertisement-Nachricht
      - Anfragende Station muss andere Adresse wählen

11.4.3 Routenoptimierung



Routenoptimierung

- Idee: Direkter Austausch zwischen mobiler Station und Kommunikationspartner
  - Initiiert von mobiler Station, wenn über den Heimagenten getunnelte Dateneinheit empfangen wird
  - Erfordert Mobilitätsunterstützung beim Kommunikationspartner
  - Tunnel zwischen mobiler Station und Kommunikationspartner ineffizient
    - Echtzeit-Anwendungen wie Internet-Telefonie senden viele kleine Pakete
    - Zusätzlicher IPv6-Header fällt mit 40 Byte stark ins Gewicht
  - Daher alternativer Mechanismus über IPv6-Erweiterungsköpfe
- Datentransfer
  - Transportprotokolle und Anwendungen senden an/von Heimadresse
  - Sender ersetzt Heimadresse durch Zustelladresse bei Verarbeitung der Dateneinheit auf Netzwerk-Schicht
  - Heimadresse wird in Erweiterung des IPv6-Kopfs untergebracht
    - IPv6 Destination Options Extension Header beim Transfer von mobiler Station zum Kommunikationspartner
    - IPv6 Routing Extension Header beim Transfer vom Kommunikationspartner zur mobilen Station
  - Dateneinheit wird direkt an/von Zustelladresse gesendet
  - Empfänger der Dateneinheit tauscht Heimadresse und Zustelladresse vor Auslieferung an Transportprotokolle und Anwendungen

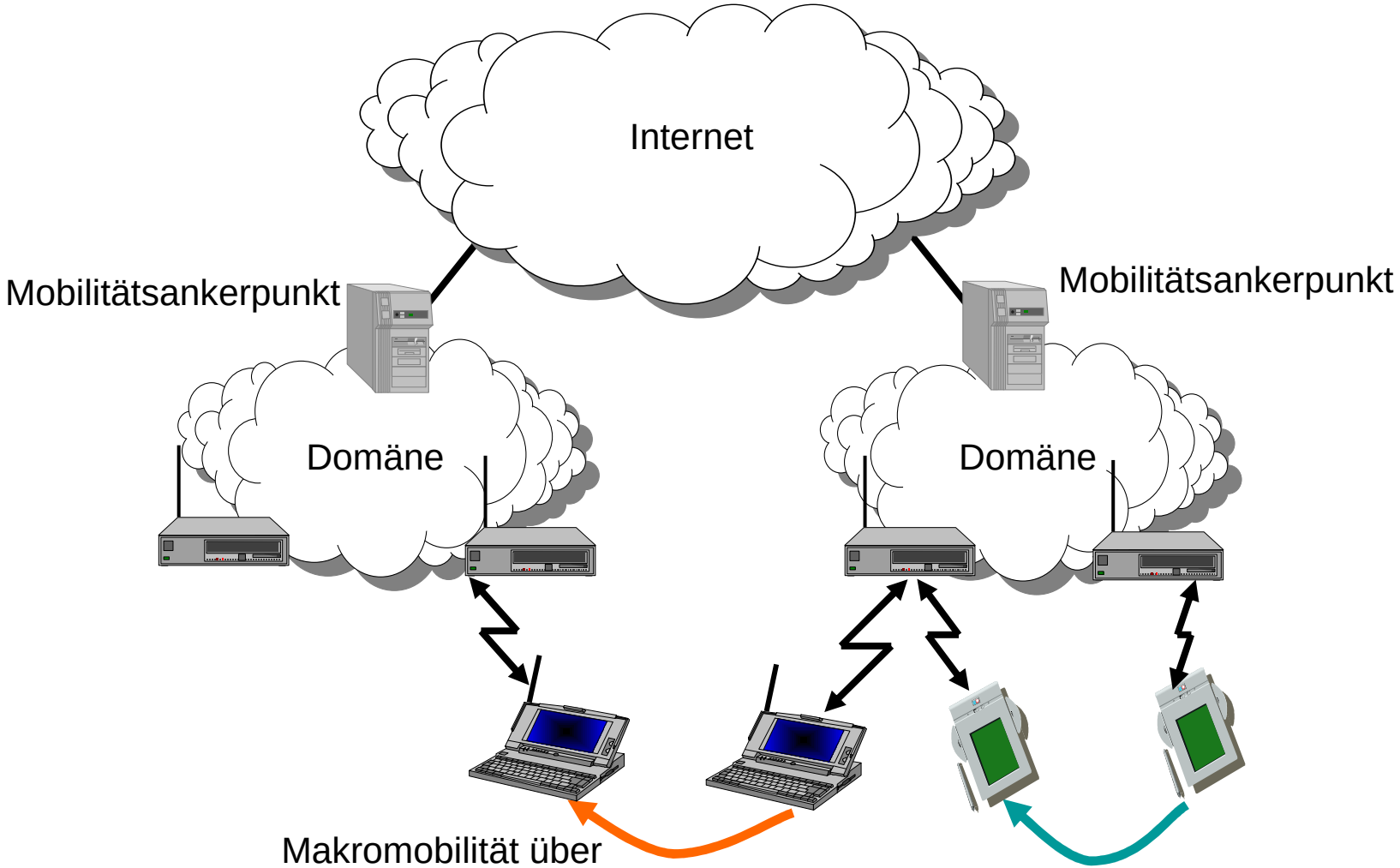
Routenoptimierung

- Effizienz
  - Geringere Zustelllatenzen für Dateneinheiten als bei bidirektionalem Tunneln
  - Datentransfer funktioniert auch bei Ausfall des Heimagenten
  - Heimagent wird entlastet
  - Quelladresse topologisch korrekt
    - Keine Probleme mit Quelladress-Filtern in Routern und Firewalls
- Sicherheit
  - Authentifizierung schwierig
    - I.A. kein Vertrauensverhältnis zwischen mobiler Station und Kommunikationspartner
    - Vorkonfiguration nicht möglich
  - Keine Privatsphäre
    - Kommunikationspartner kann aktuellen Aufenthaltsort der mobilen Station von Zustelladresse ableiten

11.4.4 Registrierung

- Registrierung beim Heimagenten
  - Ermöglicht bidirektionales Tunneln
  - Ist auch für Routenoptimierung erforderlich
  - Protokollablauf
    - Mobile Station schickt Binding-Update-Nachricht mit Heim- und Zustelladresse zum Heimagent
    - Heimagent bestätigt mit Binding-Acknowledgement-Nachricht
  - IPsec für Integrität und Authentizität der Nachrichten
- Registrierung beim Kommunikationspartner
  - Erfordert vorherige Registrierung mit Heimagent
  - Prozedur wird mit Keyed-Hash-Algorithmus gesichert
    - Keine IPsec Security Association notwendig
  - Schlüssel K_{bm} wird aus „Keygen Tokens“ in Home-Test- und Care-of-Test-Nachrichten generiert
    - Ein Angreifer muss auf dem entsprechenden Pfad sein, um ein „ Keygen Token“ abzuhören

11.5 Mikromobilität



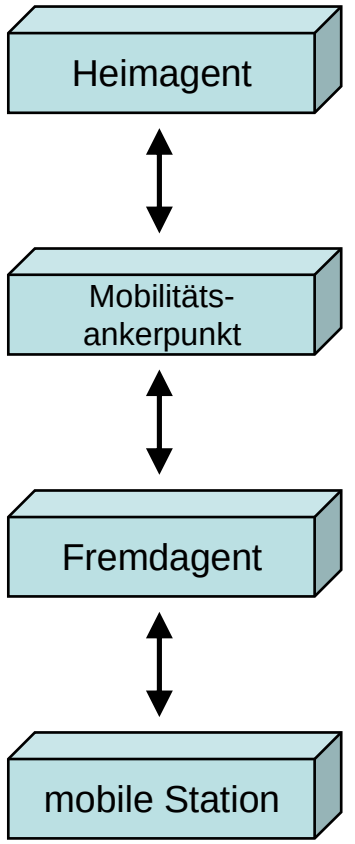
Makromobilität vs. Mikromobilität

- Makromobilität
  - Kann mit Mobile IP realisiert werden
  - Registrierungen erfordern globalen Nachrichtenaustausch
    - hoher Signalisierungsaufwand
    - lange Signalisierungszeiten
    - hoher Datenverlust
    - nahtlose Handovers nicht möglich

- Mikromobilität
  - Effizientere Mobilitätsunterstützung innerhalb einer Domäne
    - Ermöglicht Ansätze, die Internet-weit nicht skalieren würden
    - Bspw. Host-spezifische Routen
  - Mobile Station registriert sich mit einem lokalen **Mobilitätsankerpunkt**
    - Signalisierung nur innerhalb der Domäne
    - Mobile Station erhält IP-Adresse vom Mobilitätsankerpunkt
    - Diese kann als Zustelladresse bei Heimagent und Kommunikationspartnern registriert werden
  - Mobilität innerhalb der Domäne transparent nach außen
    - Keine erneute Registrierung bei Heimagent und Kommunikationspartnern
  - Ansätze aus der IETF
    - Regionale Registrierungen in Mobile IPv4
    - Hierarchisches Mobile IPv6
    - *Cellular IP*
    - *Handoff-Aware Wireless Access Internet Infrastructure (Hawaii)*

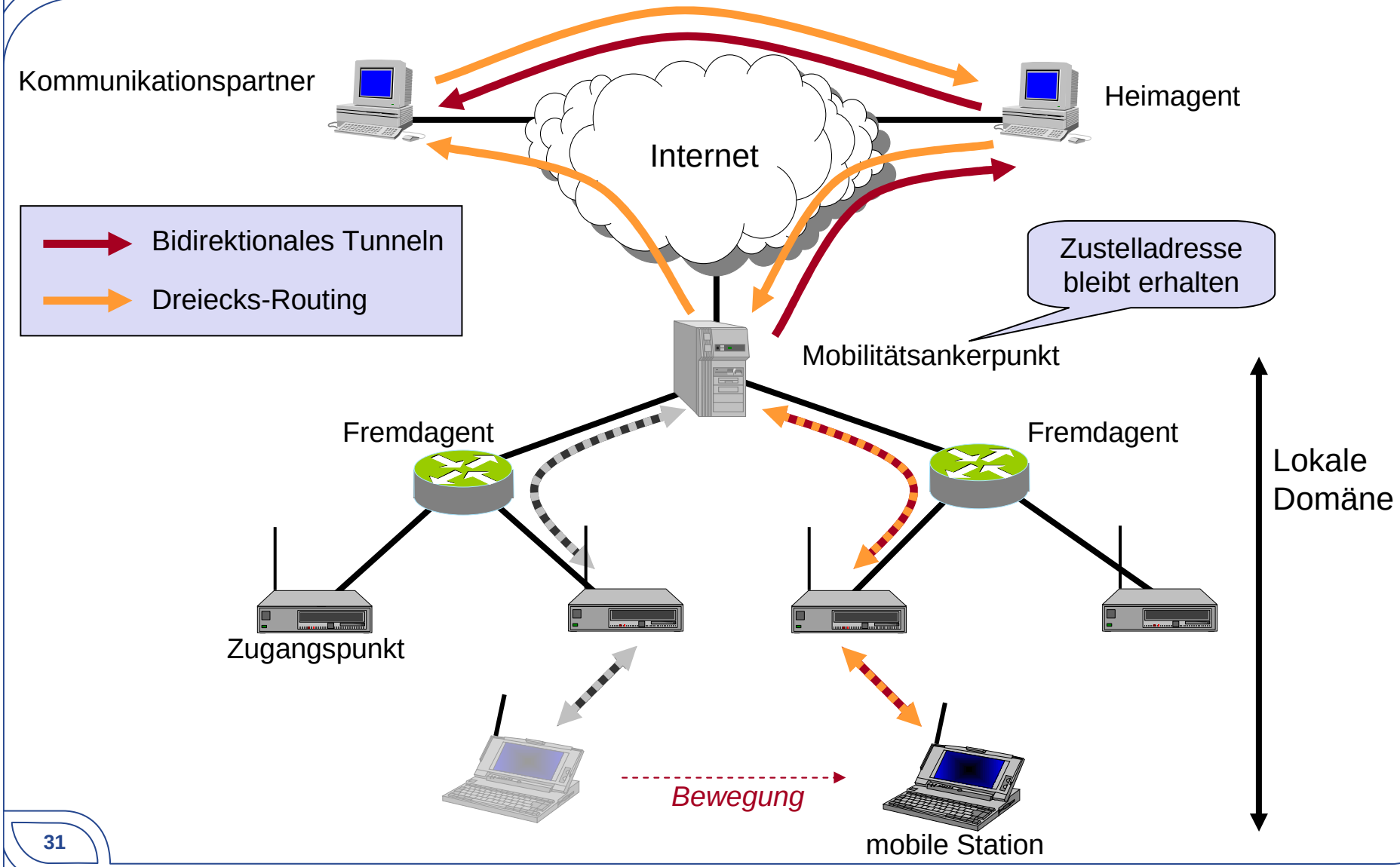
11.5.1 Regionale Registrierungen in Mobile IPv4

- Zwei (oder mehr) Level von Fremdagenten
  - Mobilitätsankerpunkt
  - Regionale Fremdagenten (optional)
  - Fremdagenten
- Mobilitätsankerpunkt liefert Zustelladresse, die für Heimagent und Kommunikationspartner sichtbar ist
  - Tunnel zwischen mobiler Station und Mobilitätsankerpunkt
- Mobile Station behält Zustelladresse bei Wechsel des Fremdnetzes
- Regionale Registrierung bei Subnetz-Wechsel
- Reguläres Mobile IP (Makromobilität) bei Wechsel des Mobilitätsankerpunkts



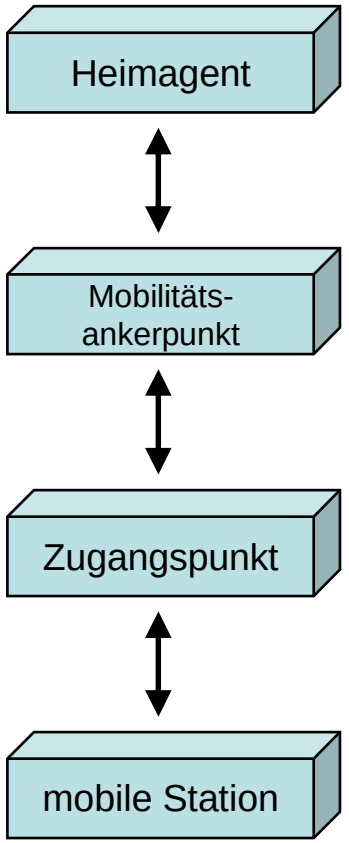
[VI.17]

Regionale Registrierungen in Mobile IPv4



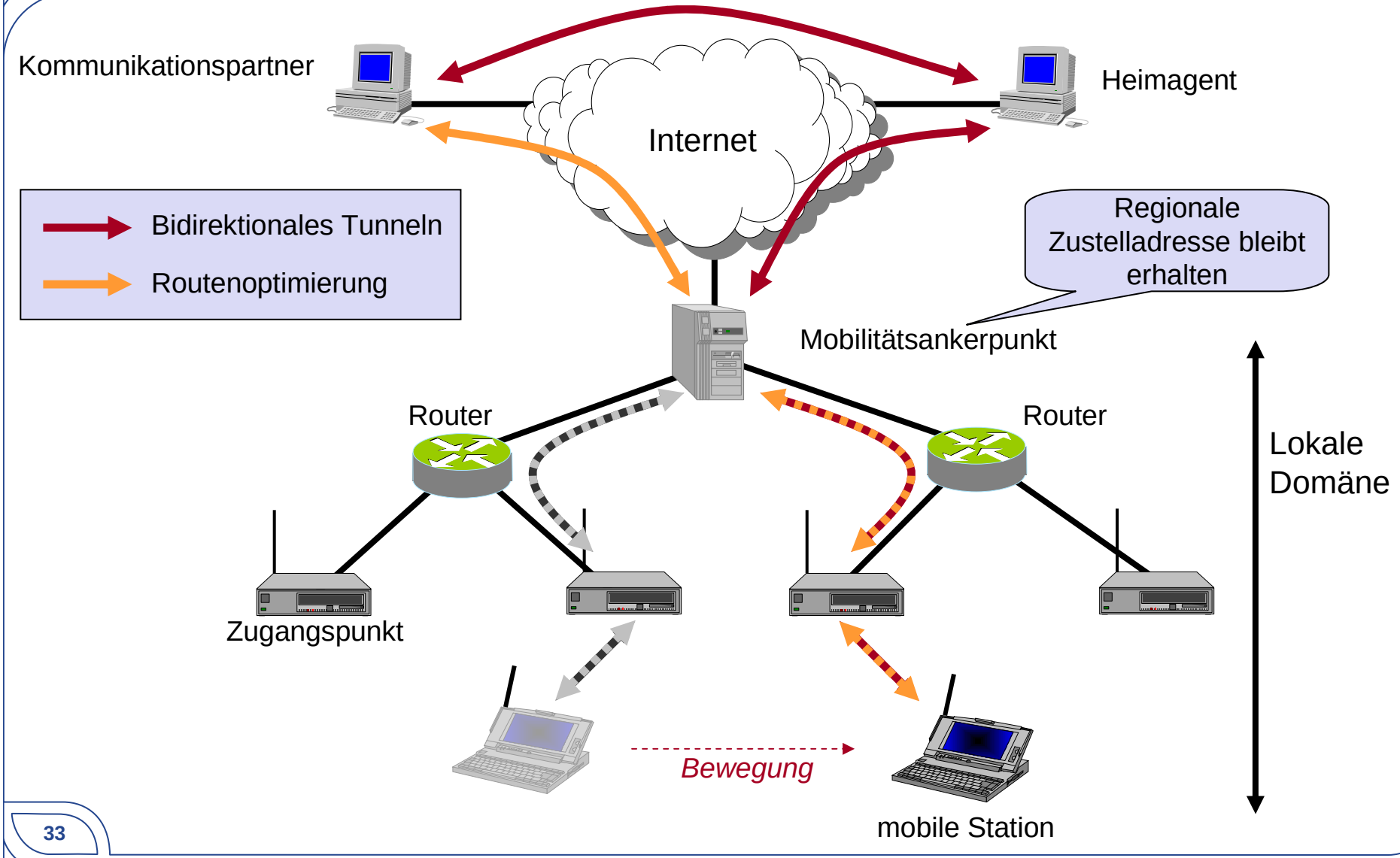
11.5.2 Hierarchisches Mobile IPv6

- Zwei Levels von Heimagenten
  - Regulärer Heimagent
  - Mobilitätsankerpunkt
- Mobilitätsankerpunkt liefert **regionale Zustelladresse**
  - Regionale Zustelladresse für Heimagent und Kommunikationspartner sichtbar
  - Tunnel zwischen mobiler Station und Mobilitätsankerpunkt
- Mobile Station konfiguriert **On-Link-Zustelladresse**
- Mobile Station behält regionale Zustelladresse bei Wechsel des Fremdnetzes
- Regionale Registrierung bei Subnetz-Wechsel
- Reguläres Mobile IP (Makromobilität) bei Wechsel des Mobilitätsankerpunkts



[VI.18]

Hierarchisches Mobile IPv6



Mobilkommunikation

VI. Mobiles Internet

Kapitel 11

Mobile Transportschicht und mobile Dienste

Kapitelübersicht

12.1 Mobile TCP

- 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
      - Staufenster wird auf Hälfte der ausstehenden Daten gesetzt
      - Anschließend Congestion Avoidance
    - Slow Start bei Timeout
      - Staufenster wird auf 1 gesetzt
      - Verfügbare Ende-zu-Ende-Bandbreite wird neu bestimmt

[VI.12]

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 ⇒ Slow Start
    - Sinnvoll, da Ende-zu-Ende-Bandbreite auf neuem Pfad zunächst unbekannt
- Konsequenz für TCP bei Mobilität
  - Übertragungsfehler reduzieren Datenrate/Durchsatz unnötig
  - Slow Start nach jedem Subnetz-Wechsel ist zeitaufwändig
    - Insbes. für Pfade mit hohen Bandbreiten und hoher Latenz (z.B. Satellitenlinks)
    - Macht sich bei hoher Mobilität stark bemerkbar
- 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

12.1.1 Erzwungener Fast Retransmit

[VI.23]

- Problem
  - 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 bei zwischenzeitlicher Mobile-IP-Registrierung
    - Timeout kann lang sein, insbes. wegen Backoff bei "Mehrfach-Timeouts"

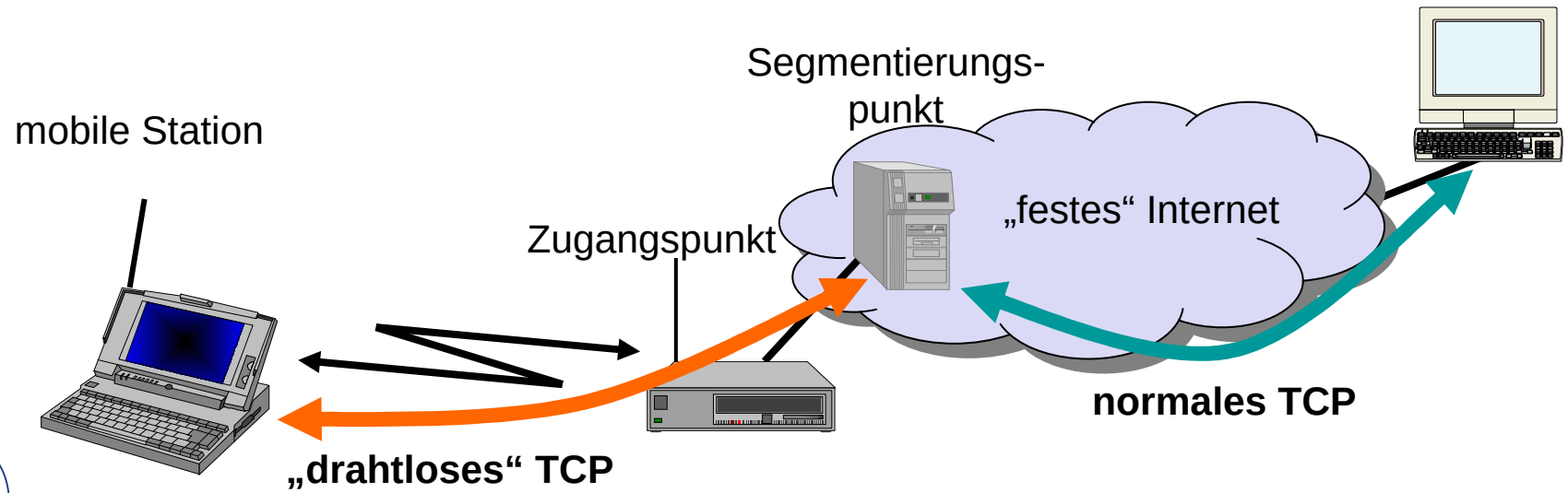
- Lösungsmöglichkeit
  - Erzwingen von Fast Retransmit durch mobile Station
    - Mobile Station sendet nach Subnetz-Wechsel 4 gleiche Bestätigungen
    - Kommunikationspartner führt Fast Retransmit durch
  - Anschließend Slow Start anstatt Fast Recovery
    - Bandbreite auf neuem Datenpfad muss neu 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 Modifikation von TCP am Kommunikationspartner

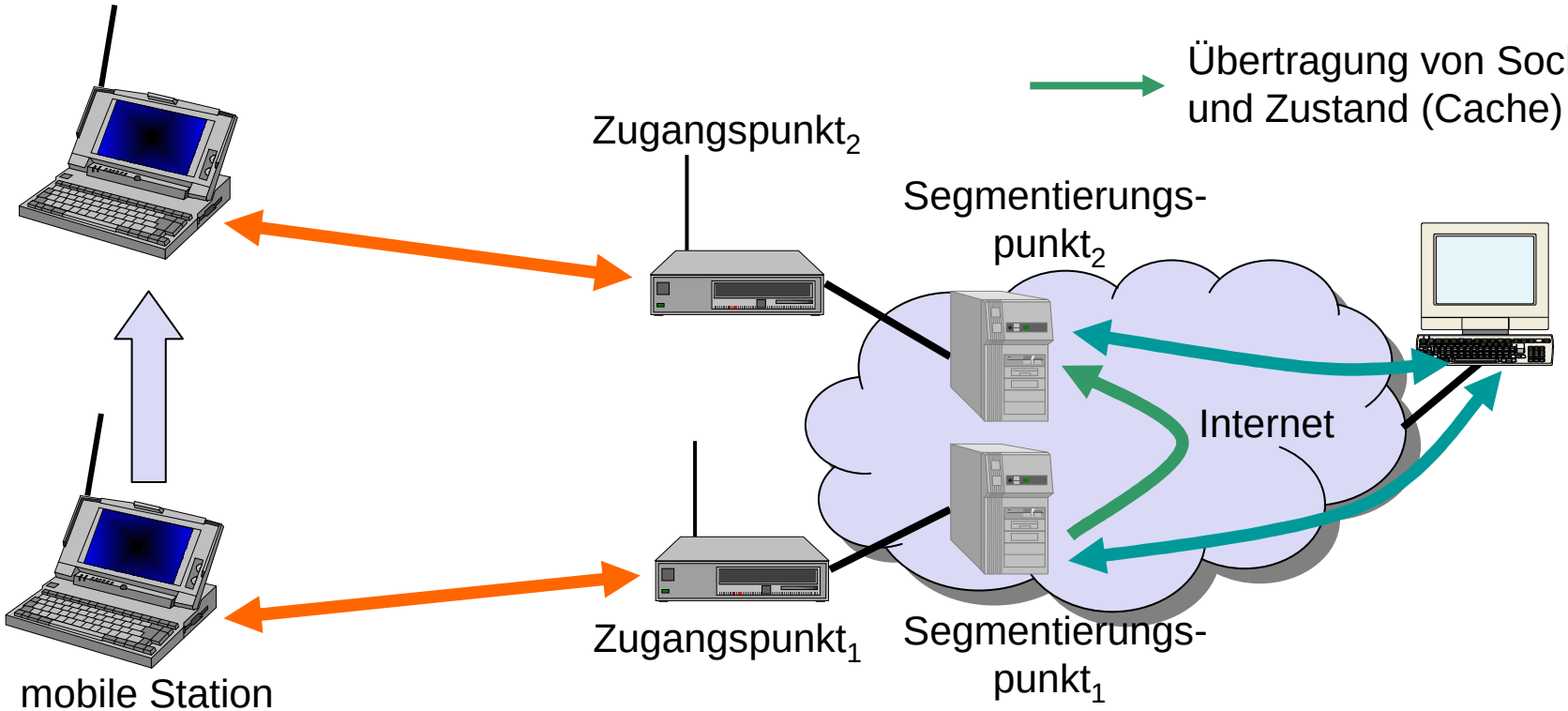
12.1.2 Indirektes TCP

- 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)
    - Zum Beispiel Indirect 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



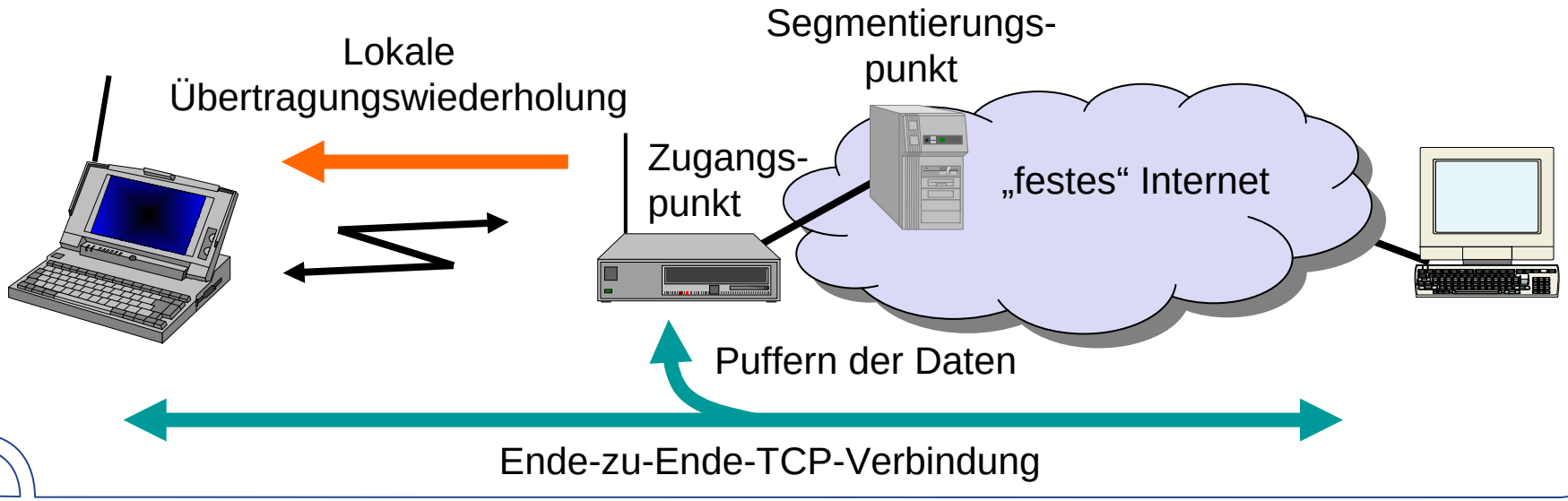
Indirektes TCP

- Vorteile
  - Keine Änderungen im Festnetzbereich
    - Existierende Mechanismen hier weiterhin effektiv
  - Fehler auf der drahtlosen Strecke pflanzen sich nicht ins Festnetz fort
  - Relativ einfach administrierbar, da nur die kurze Strecke (wenige Hops) zwischen Segmentierungspunkt und mobiler Station

- 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

12.1.3 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

[VI.13]
[VI.14]

- 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.

12.1.4 Quick Start für TCP

- Problem: Timeout und Slow Start nach jedem Subnetz-Wechsel ist zeitaufwändig [VI.20]
  - Kann bei hoher Mobilität und Datenpfaden mit großen Bandbreiten und langen Verzögerungszeiten Großteil der Kommunikationszeit ausmachen

- 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 Staufensters 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 Timeout und 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 Staufenster 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

12.1.5 Vergleich der vorgestellten Verfahren

Verfahren	Mechanismus	Vorteile	Nachteile
Fast Retransmit/ Fast Recovery	Schnelles Erzwingen einer Übertragungs-wiederholung nach Verbindungswechsel	Einfach, effizient	Vermischung der Schichten, nicht transparent
Indirektes TCP	Auftrennen in zwei TCP-Verbindungen	Isolation der drahtlosen Strecke, einfach	Verlust der TCP-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-Parter und alle Router auf dem Datenpfad müssen Optimierung unterstützen

12.2 Service Location Protocol

- Mobile Stationen greifen auf diverse Netzdienste zu
  - Drucker
  - Faxgeräte
  - DNS-Server
  - Web-Server
  - Proxy-Server
  - Timeserver
  - Dateisysteme
  - Datenbanken

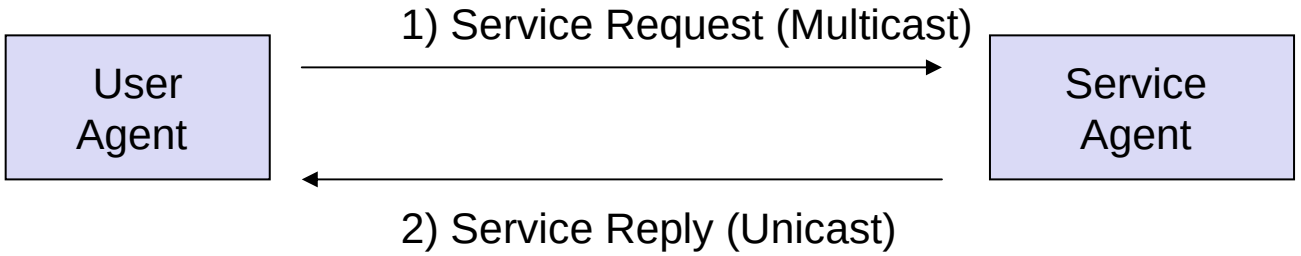
[VI.21]

- Station muss Namen des Hosts kennen, der Netzdienst anbietet
  - Vorkonfiguration für Heimnetz denkbar
  - Vorkonfiguration für Fremdnetze aufwändig oder unmöglich
- Ziel
  - Mobile Stationen sollen ohne Kenntnis von Hostnamen auch nach Subnetz-Wechsel auf benötigte Netzdienste zugreifen können
    - Interessant insbes. bei Wechsel der administrativen Domäne
    - Zuvor genutzte Netzdienste dann ggf. nicht mehr verfügbar
  - Automatische Ermittlung benötigter (und verfügbarer) Netzdienste

Service Location Protocol

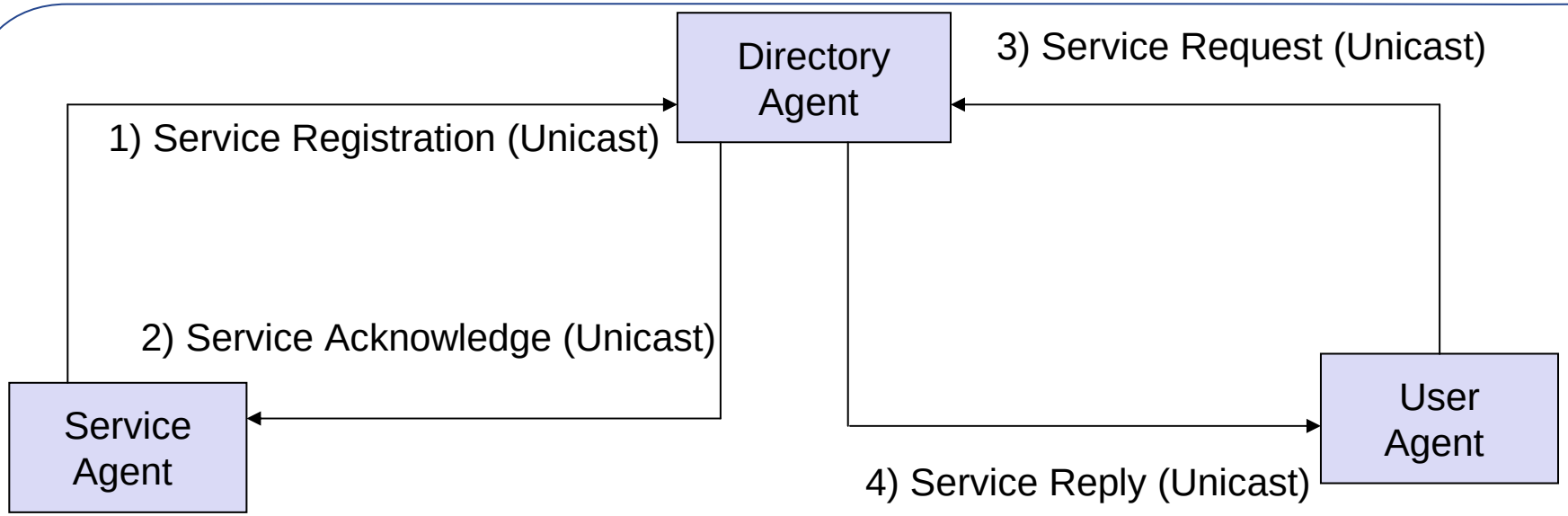
- Lösung bietet Service Location Protocol (SLP)
  - Ermittelt Existenz, Lokation und Konfiguration von Netzdiensten
  - Mobile Station kann nach Subnetz-Wechsel nach benötigten Netzdiensten suchen
- Terminologie
  - **User Agents** suchen und nutzen Netzdienste
  - **Service Agents** bieten Dienste an
  - **Directory Agents** speichern Beschreibungen verfügbarer Dienste
- Zwei Modi in SLP
  - Direkte Interaktion zwischen User Agents und Service Agents
  - Dienstlokalisierung über Directory Agent

12.2.1 Direkte Interaktion



- Kein Directory Agent vorhanden
  - User Agent sendet Service-Request-Nachricht per Multicast
    - z.B. Anfrage für Druckdienst
    - Multicast Adresse: 239.255.255.253
  - Anfrage kann benötigte Dienstcharakteristika enthalten
    - z.B. Postscript-Fähigkeit
  - Service Agents antworten, wenn sie einen entsprechenden Dienst anbieten

12.2.2 Lokalisierung über Directory Agent



- Service Agents registrieren ihre Dienste beim Directory Agent
  - Attribute und Schlüsselworte beschreiben Dienste des Service Agents
  - Directory Agent schickt Service-Acknowledge-Nachricht nach erfolgreicher Registrierung
- User Agent sendet Service-Request-Nachricht an Directory Agent
  - Anfrage kann benötigte Dienstcharakteristika enthalten, z.B. Postscript-Fähigkeit
- Directory Agent sucht in seiner Datenbank entsprechenden Dienst und antwortet

Directory Agent Discovery

- Aktive Suche nach Directory Agent
  - User Agent oder Service Agent sendet Service-Request-Nachricht per Multicast
    - service-type = “directory-agent”
- Passive Suche nach Directory Agent
  - Directory Agent sendet periodisch Directory Agent Advertisement
    - Multicast oder Broadcast
- Andere Möglichkeiten
  - DHCP
    - SLP Directory Agent Option (Code 78)
  - Manuelle Konfiguration

[VI.21]

12.2.3 Dienstbeschreibungen

- Service URL
  - Ermittlung der Lokation eines Dienstes
  - In einer Form wie „service:“<srvtype>“://“<addrspec>
    - <srvtype>: Typ des Dienstes
    - <addrspec>: Adresse des Dienstes

- Beispiele
  - Webseite des Instituts – service:http://www.tm.uka.de
  - Netzdrucker – service:lpr://lprserver.tm.uka.de/lj4100

Dienstbeschreibungen

- URL-Eintrag

0 7	8 15	16 23	24 31
Reserved	Lifetime	URL Länge	
URL Länge	URL (unterschiniedliche Länge)		
# der Auth.	Auth. Block		

- Verwendet in Service-Reply- und Service-Registration-Nachrichten
- Angabe der Information über Service URL
  - Länge der Service URL
  - Gültige Zeit
  - Authentifizierungsinformation

Beispiel

- Registrierung eines Druckdienstes im Directory Agent

```
URL = service:lpr://lprserver.tm.uka.de/lj4100
scope-list = Development
Lang. Tag = de
Attributes =        (Name=LaserJet 4100),(Description=For
  developers only),
    (Protocol=LPR),(location-description=3rd floor),
    (Operator=Frank Winter \3cwinter@tm.uka.de\3e),
    (media-size=na-letter),(resolution=res-600),x-OK
```

- URL: service URL
- scope-list: Druckdienste nur für Abteilung Development
- Lang. Tag: Beschreibungen auf Deutsch
- Attributes: einzelnen Paare vom (Attributname, Attributwert)

12.2.4 Sicherheit in SLP

- Authentifikation
  - Authentisierung von Service URLs und Dienstattributen
  - Autorisierung der Service Agents
  - Gewährleistung durch digitale Signaturen
- Mobilitätsbezogenes Problem
  - Schlüsselaustausch im Fremdnetz nötig
  - Verifikation von Zertifikaten
  - Hoher Verwaltungsaufwand für PKI
- Verschlüsselung
  - Nicht unterstützt in SLP
    - Ziel ist lediglich Bekanntgabe vorhandener Netzdienste
  - Alternative: IPsec Encapsulating Security Payload (ESP) zur Verschlüsslung der SLP-Nachrichten

Übungen

- 6.1 Welche Probleme ergeben sich mit IP in Zusammenhang mit mobilen Stationen? Wie lassen sich diese lösen?
- 6.2 Welche Funktionalität stellt DHCP bereit? Welche Probleme lassen sich damit nicht lösen?
- 6.3 Skizzieren Sie die Funktionsweise von Mobile IP.
- 6.4 Was versteht man unter Dreiecks-Routing?
- 6.5 Wie lässt sich der Datenpfad bei Mobile IP optimieren?
- 6.6 Was geschieht bei einem Wechsel in ein anderes Fremdnetz? Wie lässt sich hier ein Datenverlust vermeiden?
- 6.7 Welche Probleme werden durch Reverse Tunneling gelöst? Welche nicht?
- 6.8 Wie unterscheiden sich Mobile IPv4 und Mobile IPv6?
- 6.9 Wie erkennt eine mobile Station den Wechsel in ein anderes Fremdnetz? Vergleichen Sie die Mechanismen bei IPv4 und IPv6.
- 6.10 Welche Sicherheitsprobleme treten beim Einsatz von Mobile IP auf? Was lässt sich dagegen tun?

Übungen II

- 6.11 Weshalb ist Mobile IP nicht für häufige Handover geeignet?
- 6.12 Erklären Sie den Unterschied zwischen Mikro- und Makromobilität.
- 6.13 Welche Ansätze gibt es zur Unterstützung von Mikromobilität?
- 6.14 Welche Vorteile besitzt Cellular IP bei häufigen Verbindungsübergaben im Gegensatz zu Mobile IP?
- 6.15 Erklären sie die Funktionsweise von dynamischen Host-spezifischen Routen.
- 6.16 Wie wird eine Verbindungsübergabe bei Cellular IP durchgeführt?
- 6.17 Worin liegen die Probleme beim Einsatz von TCP über drahtlose Verbindungen?
  Durch welche Ansätze lassen sich diese Probleme lösen?
  Welche Vor- und Nachteile bieten die angesprochenen Ansätze?
- 6.18 Skizzieren Sie weitere Möglichkeiten für mobile Transportprotokolle.
- 6.19 Welches Problem wird durch SLP gelöst? Beschreiben Sie die Funktionsweise.

Referenzen, weiterführende Literatur

- [VI.1] Jochen Schiller; Mobilkommunikation, Pearson Studium, 2. Auflage 2003
- [VI.2] James D. Solomon; Mobile IP: The Internet Unplugged, Prentice Hall, 1997
- [VI.3] Charles E. Perkins; Mobile IP: Design Principles and Practices, Addison-Wesley, 1997
- [VI.4] Andrew T. Campbell et. al.; Design, Implementation, and Evaluation of Cellular IP, IEEE Personal Communications, August 2000
- [VI.5] S. Keshav; Why Cell Phones Will Dominate the Future Internet, ACM Computer Communications Review, April 2005
- [VI.6] Andrew T. Campbell et al.; Comparison of IP Micromobility Protocols, IEEE Wireless Communications, Vol. 9 Nr. 1, Februar 2002
- [VI.7] R. Droms; Dynamic Host Configuration Protocol, RFC 2131, März 1997
- [VI.8] R. Droms et al.; Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6, RFC 3315, Juli 2003
- [VI.9] C. Perkins; IP Mobility Support, RFC 3344, 2002
- [VI.10] C. Perkins; IP Encapsulation within IP, RFC 2003, 1996
- [VI.11] Hesham Soliman; Mobile IPv6, Addison-Wesley, 2004
- [VI.12] Hala Elaarag; Improving TCP Performance over Mobile Networks, ACM Computing Surveys, September 2002

Referenzen, weiterführende Literatur

- [VI.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
- [VI.14] E. A. Brewer et al.; A Network Architecture for Heterogeneous Mobile Computing, IEEE Personal Communications, 5(5), 1998
- [VI.15] J. Roth; Mobile Computing: Grundlagen, Technik, Konzepte, dpunkt, 2002
- [VI.16] A. Fieger, M. Zitterbart; Zuverlässige Transportdienste für Mobile Computing, Informatik – Forschung und Entwicklung, 16(4), 2001
- [VI.17] IETF MIP4 Working Group, http://www.ietf.org/html.charters/mip4-charter.html
- [VI.18] H. Soliman et al.: Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management, RFC 4140, August 2005
- [VI.19] Rajeev Koodli: Fast Handovers for Mobile IPv6, RFC 4068, Juli 2005
- [VI.20] IETF Transport Area Working Group, http://www.ietf.org/html.charters/tsvwg-charter.html
- [VI.21] RFC 2608 - Service Location Protocol, Version 2
- [VI.22] RFC 2610 - DHCP Options for Service Location Protocol
- [VI.23] S. Schütz et al.: Protocol Enhancements for Intermittently Connected Hosts, ACM Computer Communication Review, Juli 2005