

# Adaptives Routing-Protokoll für Satellitenkonstellationen mit ISLs

Manuel M. H. Roth  
Institut für Kommunikation und Navigation



Wissen für Morgen



# Low Earth Orbit Satellitenkonstellationen

- Satellitenkonstellationen mit intersatelliten Links (ISLs)
  - Orbit Höhe von 400km – 2000km
  - Häufige Handover
- Typische Konstellations-Struktur:
  - Polare Orbits (Walker Alpha)
  - Inklinierte Orbits (Walker Delta)
- Typischerweise vier ISLs (optisch oder RF)
- Fokus auf breitbandige Kommunikation
  - End-to-end Verbindungen von User Terminal zu User Terminal am Boden

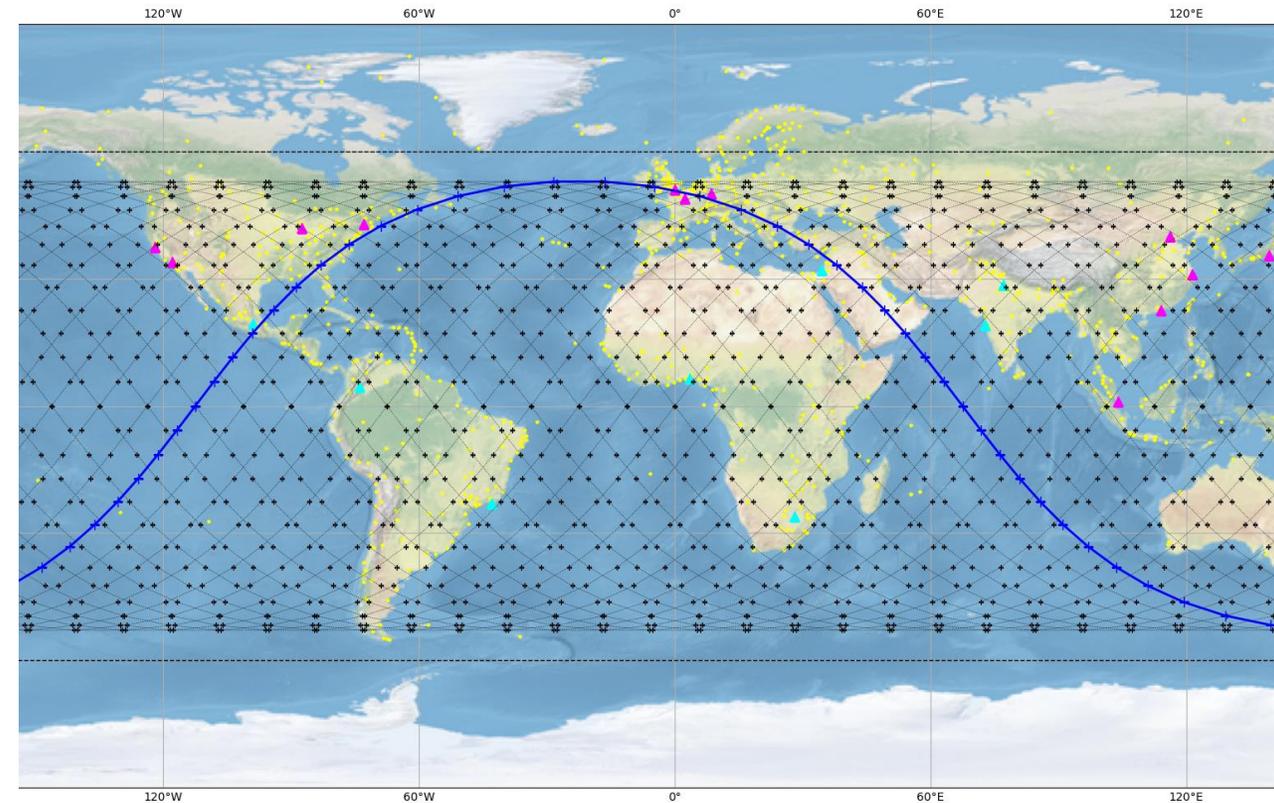


Abbildung: Starlink Phase 1 Satellitenkonstellation mit beispielhaften Bodenstationen und Terminals.



# Motivation: Routing

- Dynamische Topologie
    - Prinzipiell vorhersehbar
    - Erhöhter Signalisierungsaufwand
  - Latenzen bei Management über große Distanzen
  - Ungleich verteilter Verkehr
    - Hot Spots geographisch, nicht topologisch
  - On-board Prozessierleistung limitiert
  - Satellitennetz als Ganzes aus Nutzersicht globaler IP Switch
- Bedarf nach speziell entworfenen Routing-Verfahren  
 → Adaptiv auf Verkehr und Netzänderungen reagieren

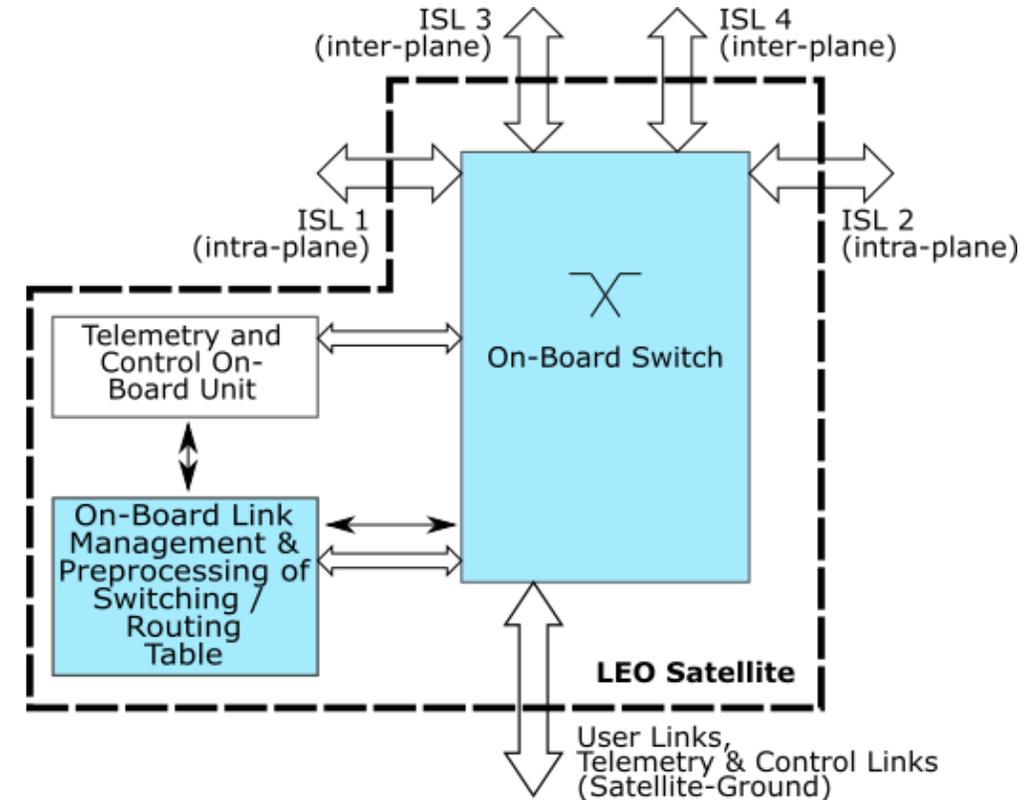


Abbildung: Beispielhafte Struktur eines LEO Satelliten mit vier ISLs samt On-board Switch und Link Management.



# Implementierung System-Simulator

- Event-basierter System-Level Simulator
- Paket-basierte Übertragungen
- Modularer, objektorientierter Aufbau
- Erweiterbar für verschiedene Routing-Ansätze
- Prä- und Postprozessierungs-Skripte

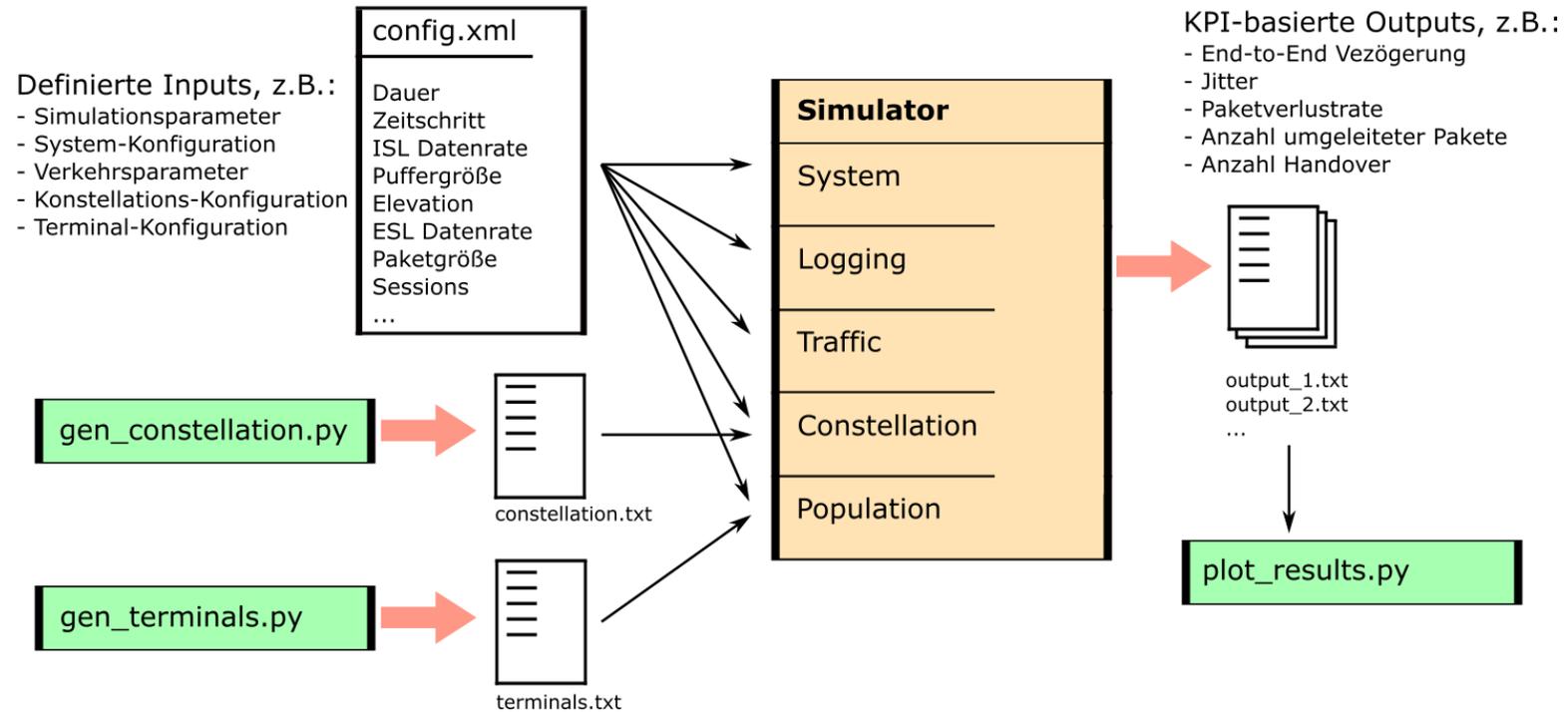


Abbildung: Funktionsweise des implementierten System-Level Simulators.



# Ansätze

- Source-Routing – Shortest Path First (SPF)
  - Kürzester Pfad berechnet und in Paket-Header hinterlegt
- Geographisches Routing-Protokoll
  - Pakete werden an geographisches Zielgebiet geleitet
- Cluster Routing-Protokoll mit Software Defined Networking (SDN)
  - Verteilte SDN Controller bestimmen Flows basierend auf Quality of Service (QoS) Anforderungen



# Geographische Routing-Verfahren

- Einteilung der Erdoberfläche in Gebiete mit individueller Kennung (Area-ID)
- Area-ID eines Pakets bestimmt nächsten Hop
- Mögliche Mehrdeutigkeiten im letzten Hop
  - Vor allem am Saum kritisch
- Tendiert wie Source-Routing zu Hot Spots
- Dezentral, hohes Maß an Autonomie

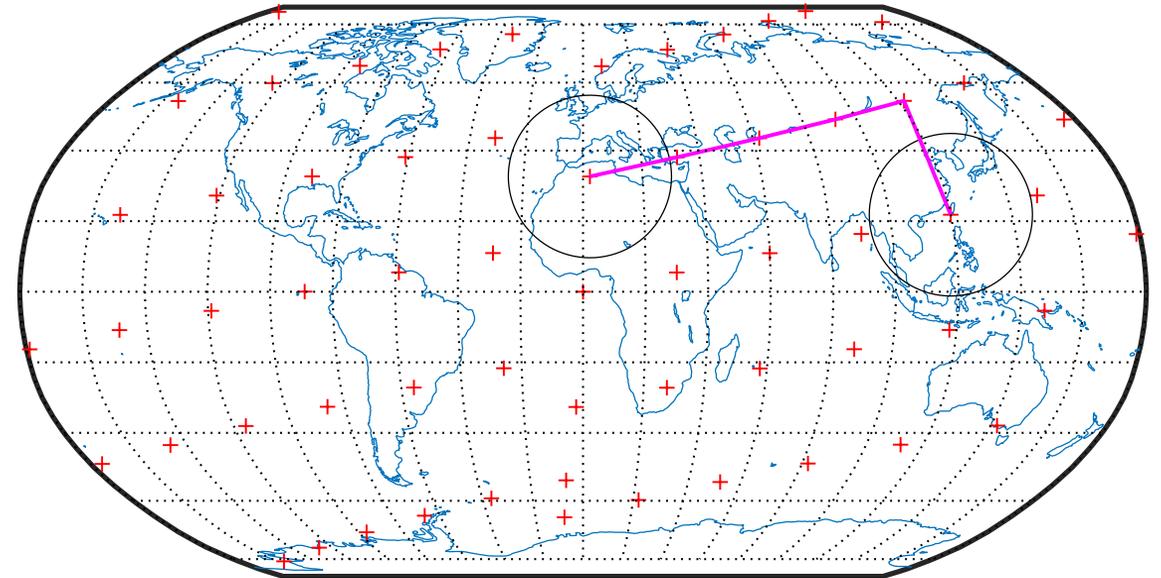


Abbildung: Routing über ISLs in einer Iridium-ähnlichen Satellitenkonstellation.

- + : Satelliten der Konstellation
- ---- : Geographische Gebiete, bestimmen die Kennung
- \_\_\_ : Versorgungsgebiet der ausgewählten Satelliten
- — : Intersatelliten Verbindung (ISL)



# Entwickeltes Geographisches Routing-Verfahren

- Area-ID auf Layer 2 für schnelles Switching
  - Nur Änderung der MAC Adresse für Signalisierung relevant
  - Flexible Implementierung
- Lokales Routing für Mehrdeutigkeiten
  - Zusätzlich orbitale Richtung als Information am Saum
- Lokale Umleitungen mittels Signalisierung von Überlast-Situationen verringert Paketverluste
- Ähnlich performant wie Source-Routing Ansatz

Comparison of average packet delay for Iridium-like constellation

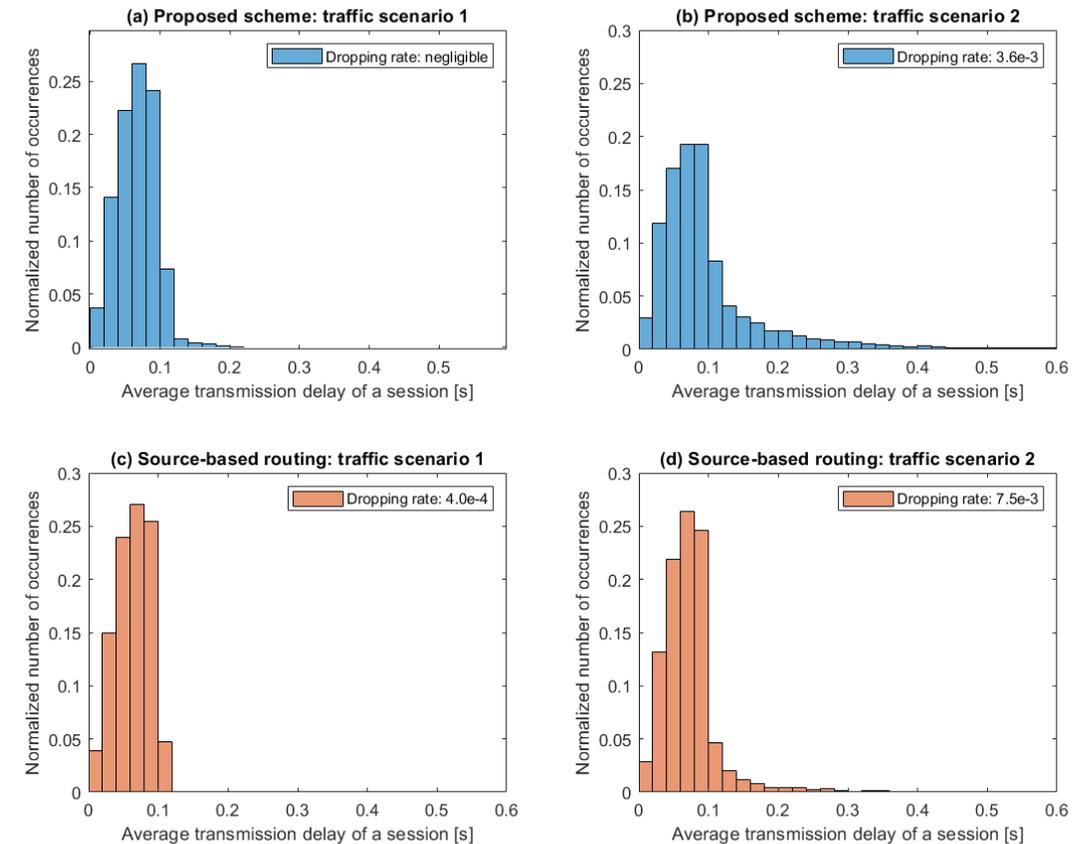


Abbildung: Histogramme der durchschnittlichen Latenz von Übertragungen in einer Iridium-ähnliche Konstellation – geographisches vs. Source-Routing.



# SDN-basiertes Cluster Routing

- SDN: feine, konfigurierbare QoS Garantien, Prozessierregeln
- Auswahl Flows beruhend auf QoS & proaktivem Lastausgleich
- On-board Prozessierleistung limitiert: Rollenverteilung
  - Statische oder mobile SDN Controller
- Definition der Interfaces zwischen Clustern und vorgeschlagenen Standards

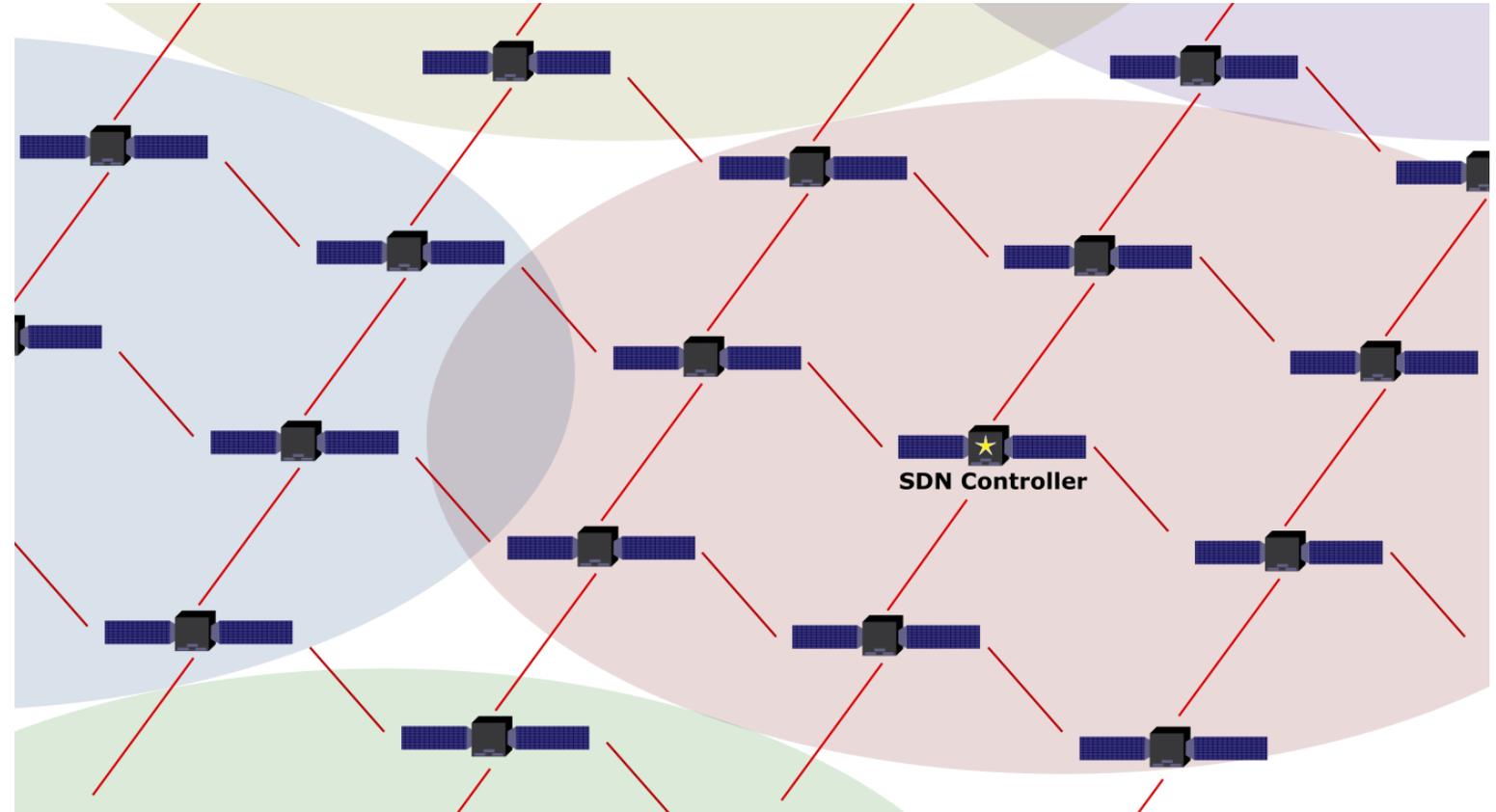


Abbildung: Exemplarische Einteilung des Satellitenetzes in Cluster mit verteilten, dedizierten SDN Controllern.



# Zusammenfassung

- Funktionsfähiger System-Level Simulator in C++ für Satellitenkonstellationen
  - Paket- und Event-basierte Datenübertragungen
  - Vergleich und Analyse verschiedener Routing-Ansätze
  - Untersuchung verschiedener Konstellationen und Benutzer
- Entwicklung eines geographischen Routing-Schemas
  - Geographische Kennung auf Layer 2 im Satellitennetz
  - Performant mit geringem Signalisierungsaufwand
  - Flexible Implementierungsmöglichkeiten
- Entwurf und Untersuchung eines SDN-basierten Cluster Routing-Schemas
  - Adaptiver und flexibler Lastausgleich
  - Feinere QoS Garantieren und Prozessierregeln
  - Schnittstellen zu vorgeschlagenen Standards

