

Modul 12: Multipath TCP



Ausgangssituation + Problemstellung Multipath-TCP

Ausgangssituation:

- **Mobile Endgeräte haben mehrere Netzwerkverbindungen:**
 - WLAN
 - Mobilfunk
- **High-End Web-Server haben mehrere Ethernet-Interfaces**
- **Datencenter haben komplexe Netztopologie mit vielen Pfaden**

Problemstellung:

- **TCP baut genau eine Verbindung zwischen zwei Endpunkten auf.**
- **Ein geschmeidiger Wechsel auf andere Verbindungsendpunkte wird durch TCP nicht unterstützt.**
- **TCP hält die Verbindung so lange es geht, dann Verbindungsabbruch und Aufbau einer neuen Verbindung**



Lösung Multipath-TCP

- **Durch Multipath-TCP wird ein TCP-Verbindungspfad zwischen zwei Anwendungen auf mehrere parallele Verbindungspfade demultiplexed.**
- **Konkret:**
Für die Anwendung sieht es aus, als ob nur ein TCP-artiger Verbindungspfad zur Zielanwendung besteht.
In Wirklichkeit werden aber von Multipath-TCP mehrere Verbindungspfad zur Zielanwendung gemanaged.



Use Cases für Multipath TCP

- **Aggregation mehrerer Anschlusspunkte.**
- **Traffic Handover zwischen WLAN-Hotspots.**
- **Traffic Handover zwischen Mobilfunknetz und WLAN.**
- **Loadbalancing zwischen mehreren parallelen Pfaden.**
- **Ausfall eines Interfaces temporär überbrücken.**
- **Optimierung der Ressourcennutzung nach verschiedenen Zielparametern:**
 - **Kosten,**
 - **Stromverbrauch,**
 - **RTT,**
 - **Durchsatz.**
- **Allgemein: Traffic Engineering auf Transportebene z.B. Ressourcen-Pooling zwischen Endsystemen (→ transport-layer-based load-balancing)**



Allgemein: Nutzen und Ziele von Multipath-TCP

- **Bessere Nutzung der Kommunikationsressourcen.**
- **Verbesserte Nutzung der Internetinfrastruktur als Ganzes (Umgehung von Bottlenecks).**
- **Höherer Durchsatz durch parallele Pfade.**
- **Flexible Nutzung der parallele Pfade.**
- **Automatische Verhandlung von eingesetzten Leistungsmerkmalen.**
- **Maximale Anwendungskompatibilität:**
Das Service-Modell von TCP wird komplett übernommen, d.h. am SAP wird ein bidirektionaler, zuverlässiger Bytestrom zur Verfügung gestellt.
- **Der Multipath-SAP muss auch als konventioneller TCP-SAP, also normaler TCP-Port, betrieben werden können. ("API compatibility")**
- **Multipath-TCP muss einfach über "Middleboxes" wie Firewalls, NAT, Caching-Server betrieben werden können.**
- **MPTCP soll gleichermaßen über IPv4 und IPv6 laufen.**



Multipath TCP schafft viele neue Probleme

- **Wie wird eine Verbindung identifiziert? (→ Mehrere IPs, IPv4/IPv6)**
- **Wie werden die Segmente durchnummeriert? (→ mehrere Subflows)**
- **Wie laufen die Mechanismen der Flusskontrolle, Überlastkontrolle, Verlusterkennung, Retransmission bei mehreren Pfaden?**
- **Spezielle Multipath Überlastkontrolle notwendig. Wie sieht diese aus?**
- **Wie wird die Last auf verschiedene Pfade verteilt?**



Referenz-Szenario nach RFC6182

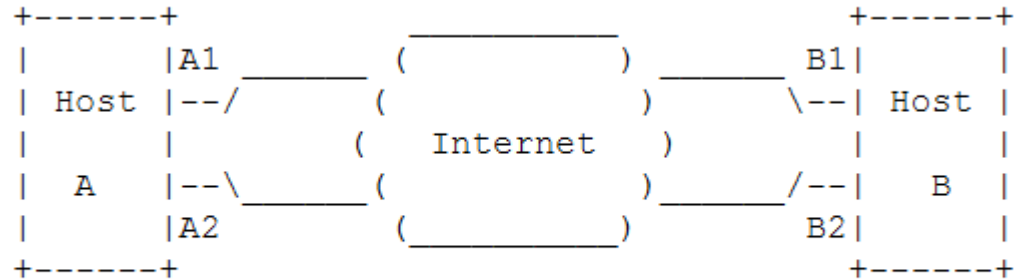


Figure 1: Simple Multipath TCP Usage Scenario

- Mehrere IP-Adressen für jeden Host (multihomed + multi-addressed)
- Bis zu 4 Pfade sind zwischen diesen Hosts möglich:
 - A1-B1,
 - A1-B2,
 - A2-B1,
 - A2-B2



Tng-Referenz-Architektur nach RFC6182

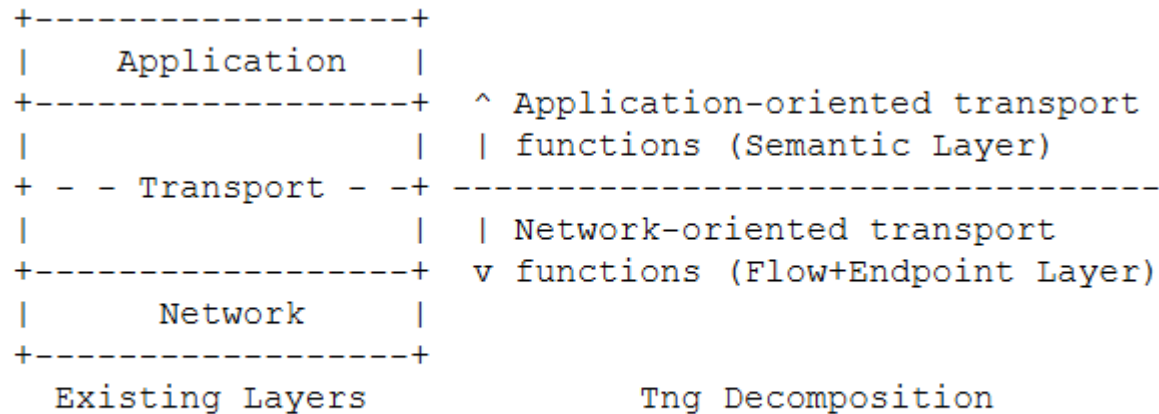


Figure 4: Decomposition of Transport Functions

- Tng ("Transport next-generation")



Tng-Umsetzung von MPTCP gemäß RFC6182

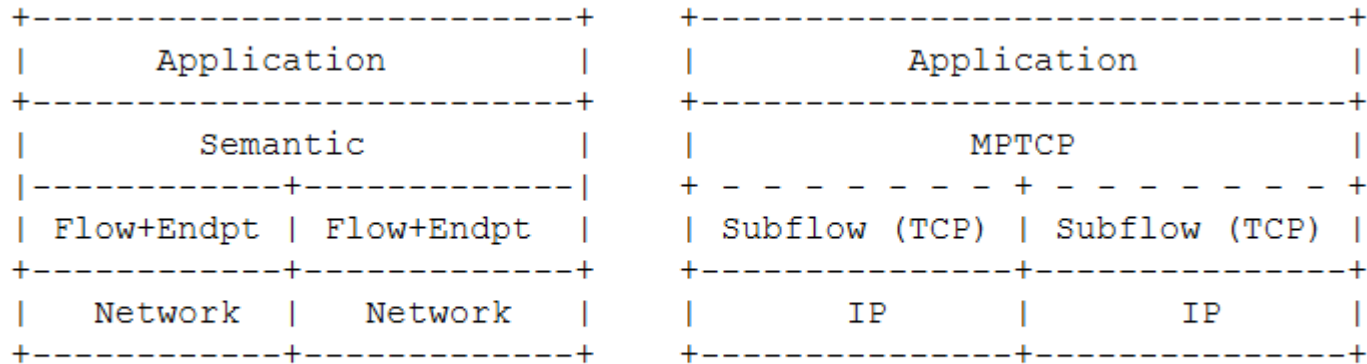


Figure 6: Relationship between Tng (Left) and MPTCP (Right)

MPTCP:

- **Path Management:** Alternative Adressen signalisieren, Subpfade aufbauen
- **Packet Scheduling:** Bytestrom in Segmente zerlegen und auf Pfad verteilen
- **Congestion Control:** Koordination der Überlastkontrolle zwischen den Pfaden

Neue Formel für die Überlastkontrolle

Für jeden Pfad $r \in R$ wird ein eigenes Überlastfenster c_r eingeführt.
(R = Menge aller Pfade einer Verbindung)

- Additive Increase gemäß:

$$c_r := c_r + \frac{\alpha}{\sum_{s \in R} c_s} \quad (\text{vereinfachte Formel})$$

$$c_r := c_r + \min_{S \subseteq R: r \in S} \left(\frac{\max_{s \in S} (c_s / (RTT_s)^2)}{(\sum_{s \in S} c_s / RTT_s)^2} \right) \quad (\text{vollständige Formel})$$

Erläuterung:
siehe Video-Tutorials

- Multiplicative Decrease:

$$c_r := \frac{c_r}{2}$$





RFCs zu Multipath TCP

- RFC6181 (Informational), 03/2011: **Threat Analysis for TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses**
- RFC6182 (Informational), 03/2011: **Architectural Guidelines for Multipath TCP Development**
- RFC6356 (Experimental), 10/2011: **Coupled Congestion Control for Multipath Transport Protocols**
- RFC6824 (Experimental), 01/2013: **TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses**
- RFC6897 (Informational), 03/2013: **Multipath TCP (MPTCP) Application Interface Considerations**
- RFC7430 (Informational), 07/2015: **Analysis of Residual Threats and Possible Fixes for Multipath TCP (MPTCP)**
- RFC8041 (Informational), 01/2017: **Use Cases and Operational Experience with Multipath TCP**



- **RFC6897:** This document summarizes the **impact that MPTCP may have on applications**, such as changes in performance. Furthermore, it discusses **compatibility** issues of MPTCP in combination **with non-MPTCP-aware applications**. Finally, the document describes a basic application interface that is a simple extension of TCP's interface for MPTCP-aware applications.
 - **RFC8041:** This document discusses both **use cases** and **operational experience** with Multipath TCP (MPTCP) **in real networks**. It lists several prominent use cases where Multipath TCP has been considered and is being used. It also gives insight to some heuristics and decisions that have helped to realize these use cases and suggests possible improvements.
- ...
- These different congestion-control schemes have been compared in several articles. [CONEXT13] and [PaaschPhD] compare these algorithms in an emulated environment.