



Verfahren zur Berechnung von Routen zur Gewährleistung von Ende-zu-Ende QoS



Dezember 2007

Dipl.-Ing. Stefan Abu Salah
Dipl.-Ing. Achim Marikar

QoS (Quality of Service):

- Sicherstellung der Qualität

Zeitkritische Datenströme:

- Audio
 - Sprachtelefonie
- Video
 - Videotelefonie
 - Live-TV (IPTV)
- Spiele
 - Multiplayer-Echtzeitspiele

Leitungsmerkmale

- Laufzeit (Delay)
- Laufzeitschwankung (Jitter)
- Paketverlust (Paketloss)

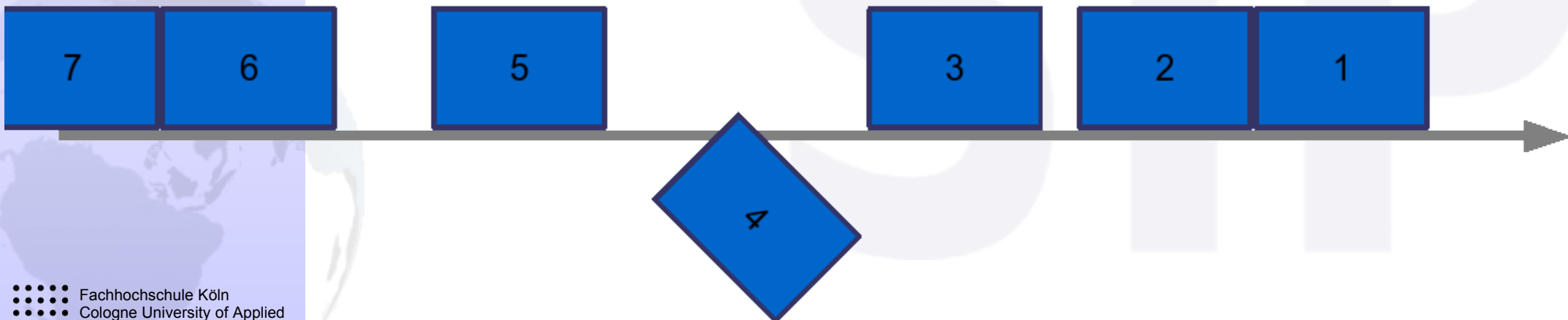


Das Verhalten eines (RTP-) Datenstroms

Wunsch:

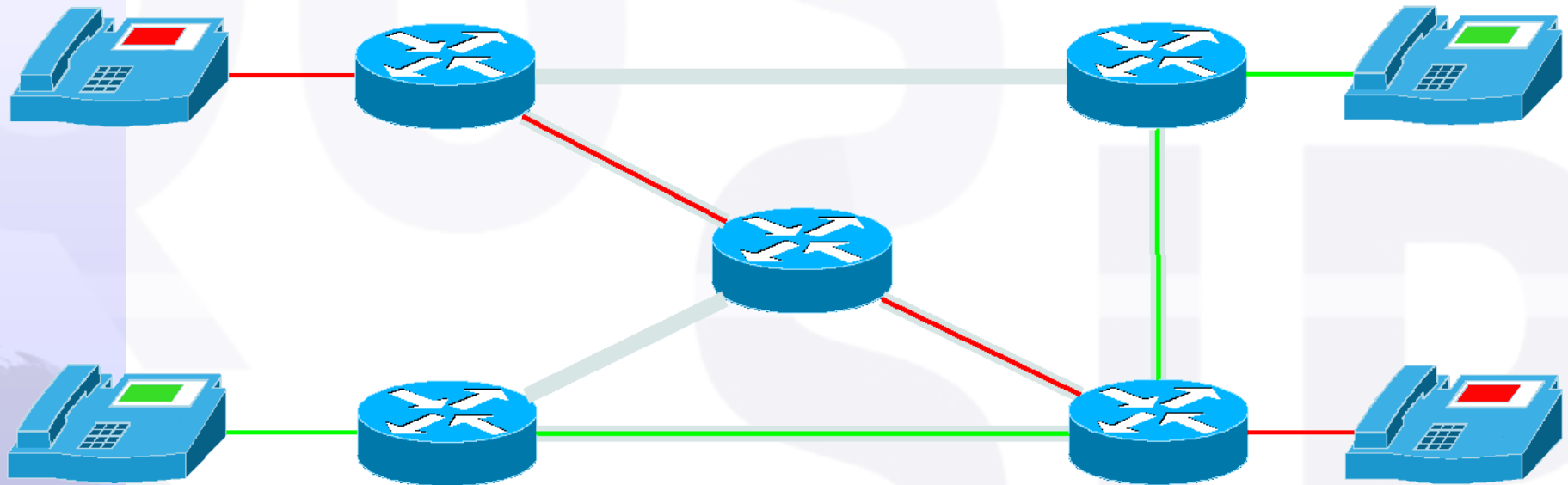


Realität:



Leitungsbasierte Netze

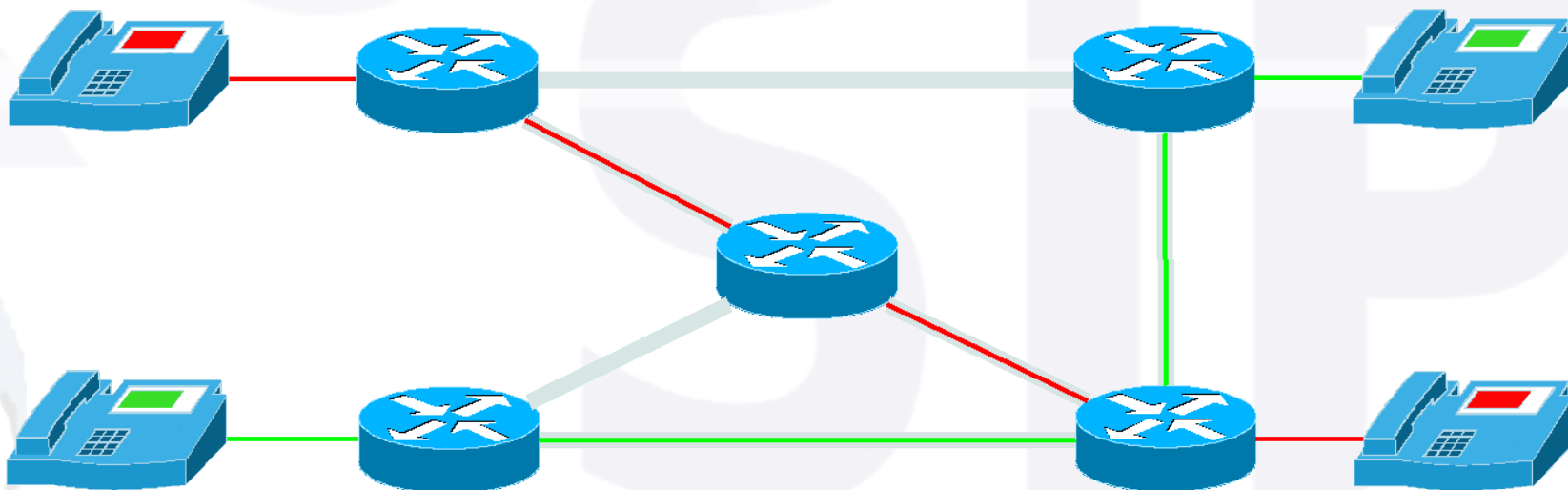
Telefonnetz:





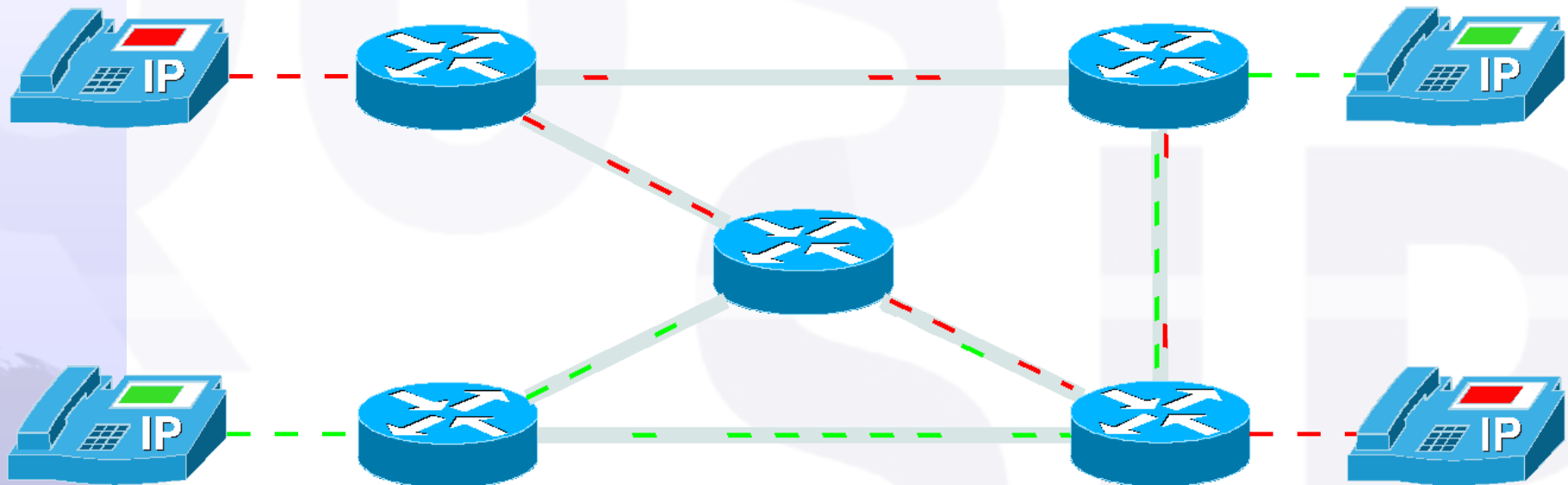
Telefonnetz:

- Für jedes Gespräch wird eine Leitung mit garantierter Übertragungskapazität und minimalem Jitter aufgebaut
- Es werden nicht mehr Gespräche zugelassen, als das Netz verkraftet



Paketbasierte Netze

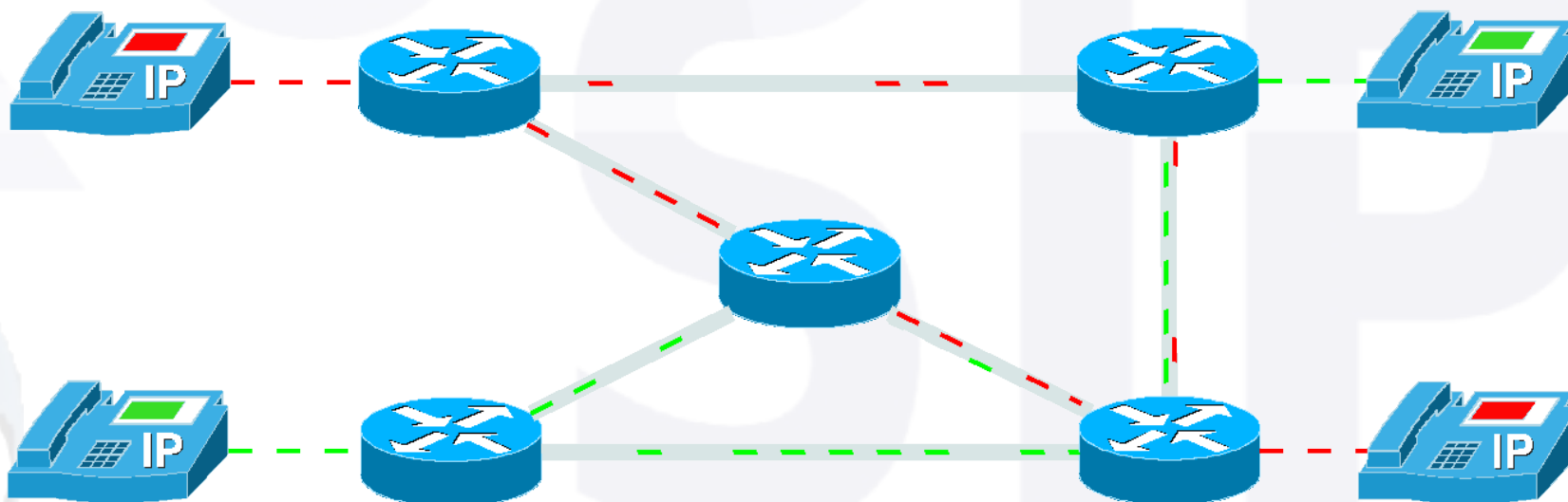
IP-Netz:



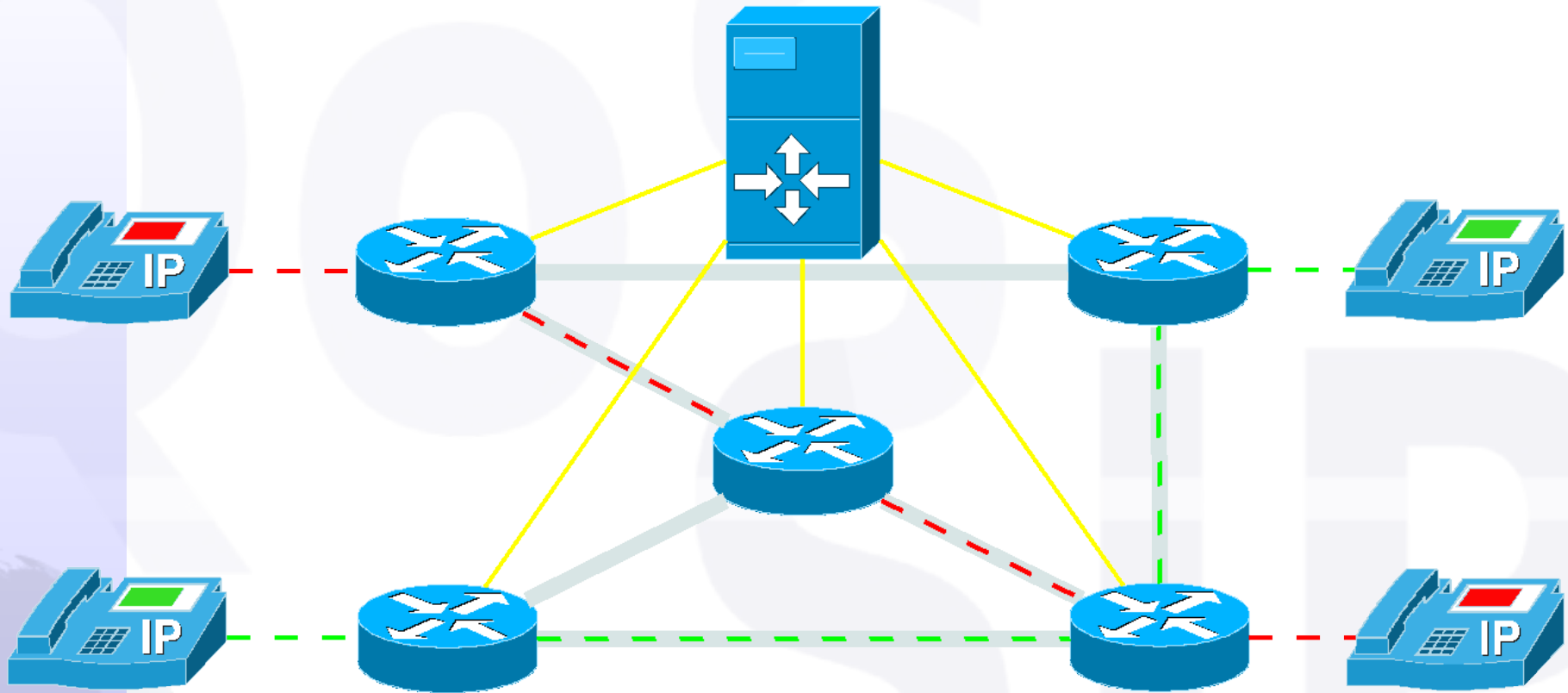


IP-Netz:

- Die Daten werden nach dem Best Effort-Prinzip übertragen
- Es finden ggf. mehr Gespräche gleichzeitig statt, als das Netz verkraftet



IP-Netz mit Controller:

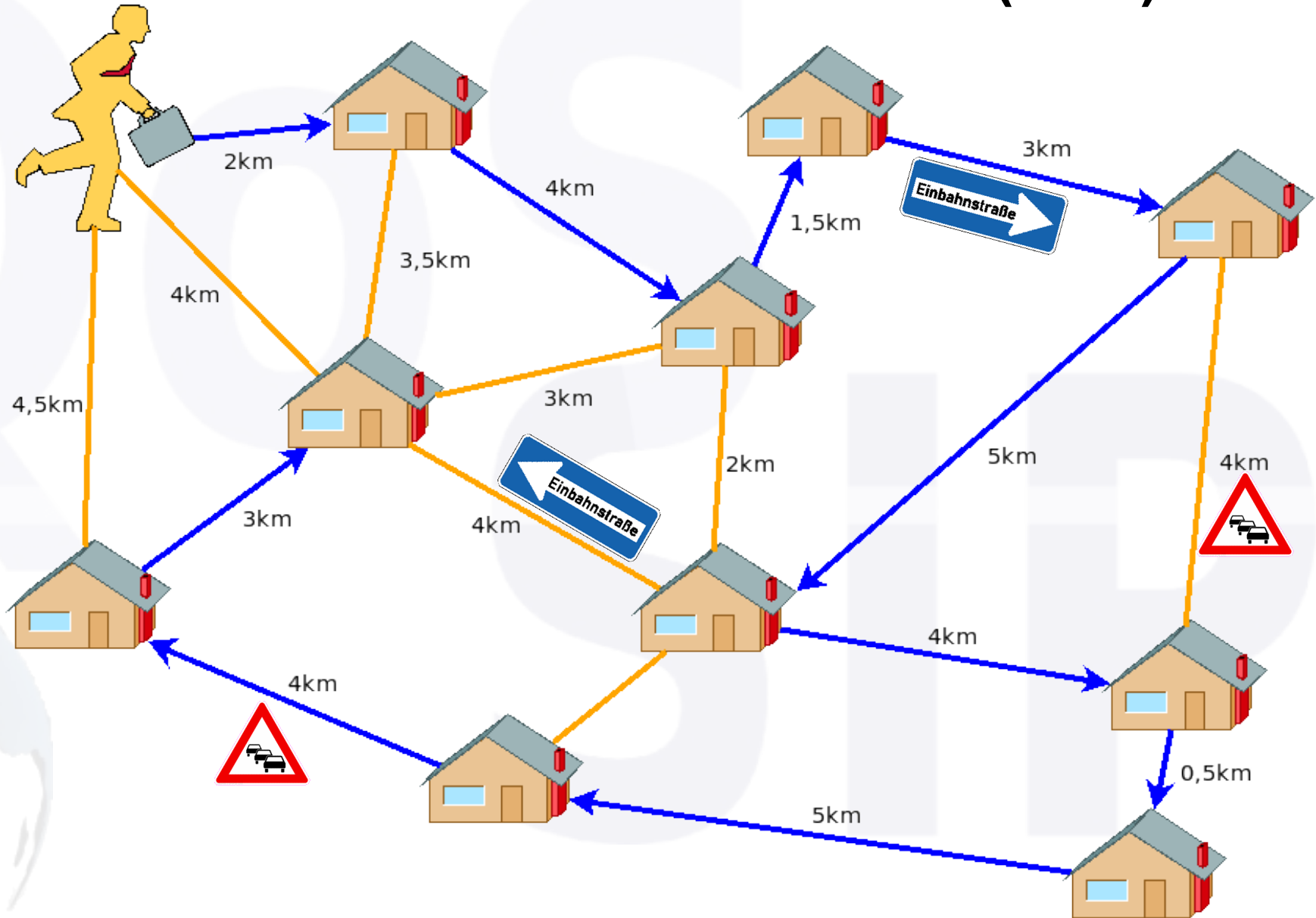


IP-Netz mit Controller:

- Auf die Routen wird Einfluss genommen
- Die Vorteile des IP-Netzes und des PSTN werden vereint
- Ein hoher zusätzlicher Verwaltungsaufwand ist notwendig
- Ein ähnliches Berechnungsverfahren wird bereits in der Theoretischen Informatik als Traveling Salesman Problem (TSP) behandelt

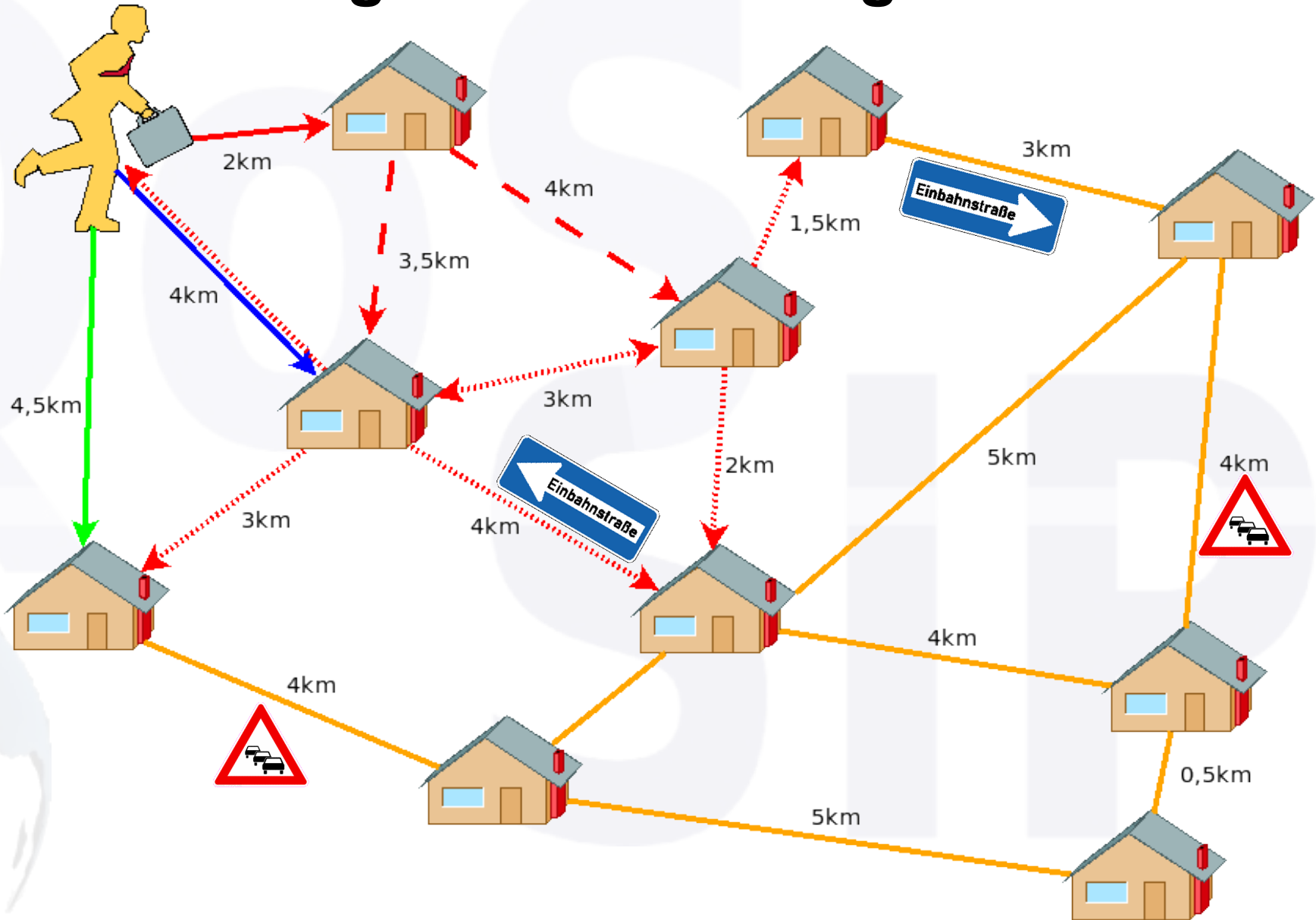


Problem des Handelsreisenden (TSP)





Berechnung des besten Weges



Berechnung

- Bis zu $(n-1)!$ Möglichkeiten (bei n Orten)
- Mit einer nichtdeterministischen Turingmaschine (NTM) in Polynomialzeit lösbar
- Mit einer deterministischen Turingmaschine (DTM) in Exponentialzeit lösbar

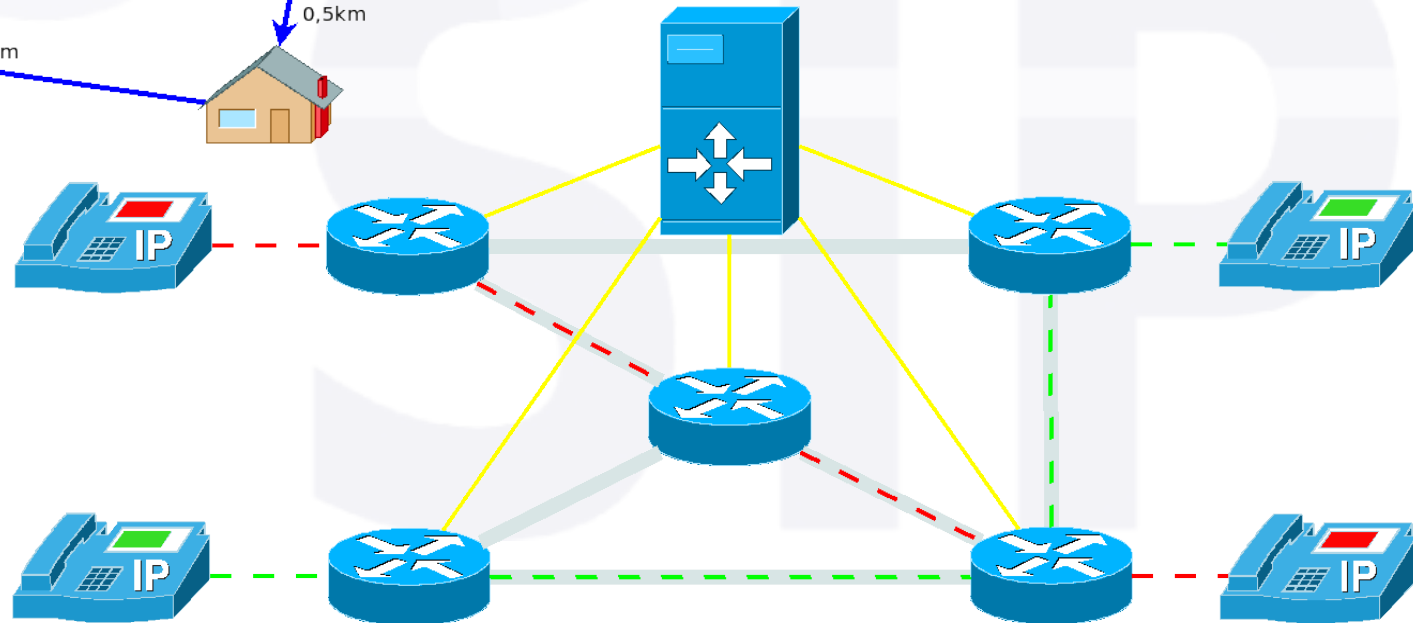
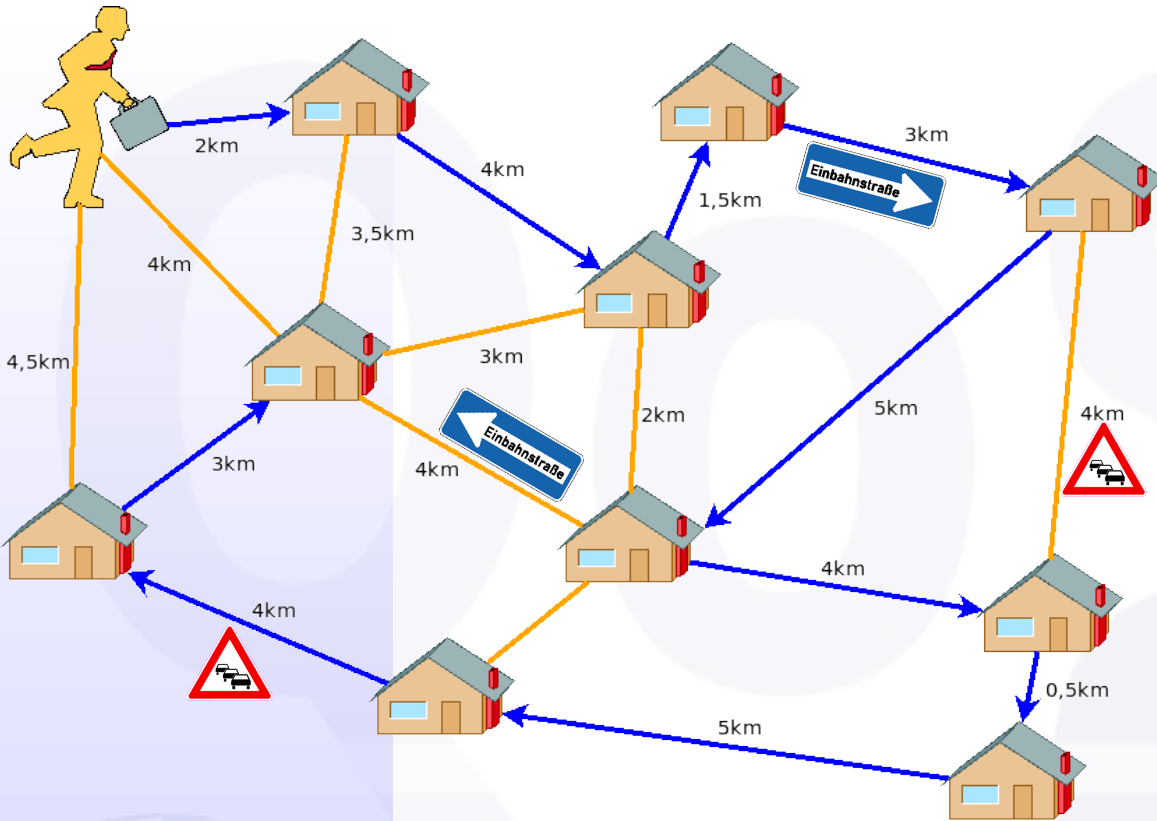
Ergebnis:

- Problem ist NP-Äquivalent
=> nicht berechenbar!

Wikipedia: NP-Äquivalenz [...] liefert eine prinzipielle Aussage darüber, ob Suchprobleme mit wachsender Anzahl der zu durchsuchenden Pfade oder Objekte noch praktisch lösbar sind, oder ob der benötigte Zeit- oder Speicheraufwand rasch in makroskopische Dimensionen wächst.



Vergleich Routing und TSP



Fazit

- Das Problem des Handelsreisenden ist fast 1:1 übertragbar
- Ein Controller kann nicht ohne weiteres die perfekte Route berechnen
- Ein neuer Lösungsansatz muss gefunden werden

Problematik in realen Netzen: Finden des besten Weges

➔ aus Sicht des Providers
- möglichst kostengünstiges Routing über Providergrenzen hinweg

➔ aus Sicht des Kunden
- möglichst hohe Dienstgüte für die Verbindung

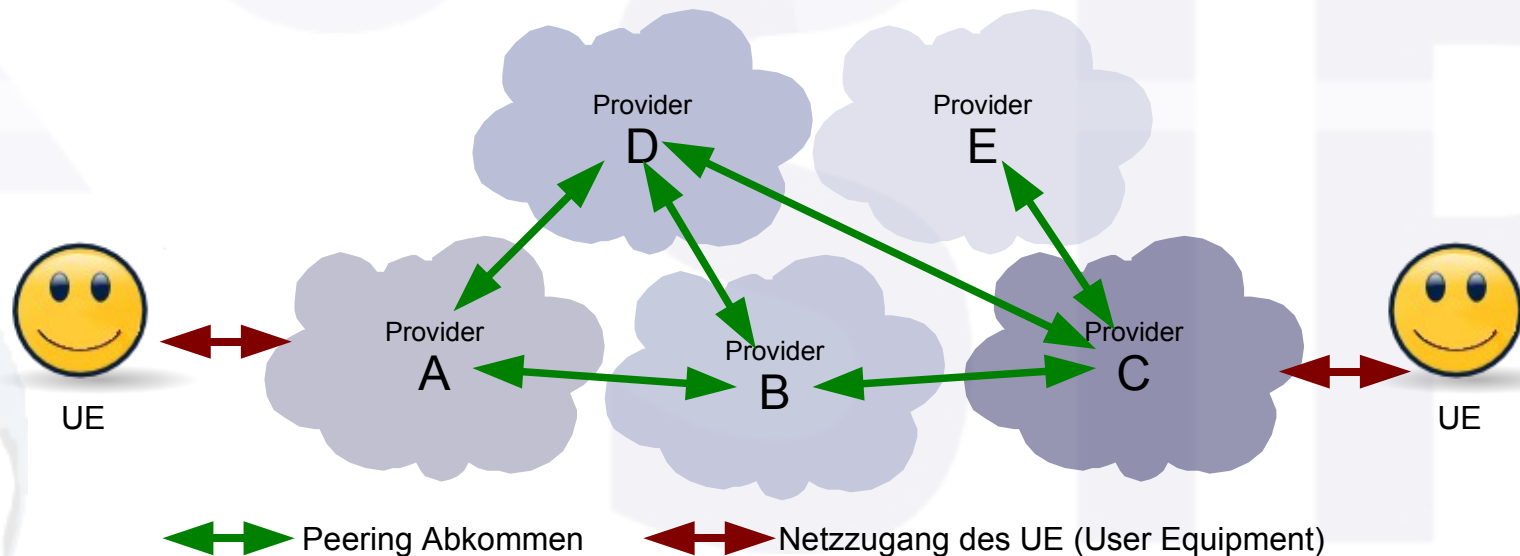
✓ Lösungsansatz welcher beide Interessen berücksichtigt ist erforderlich





Ein reales Szenario

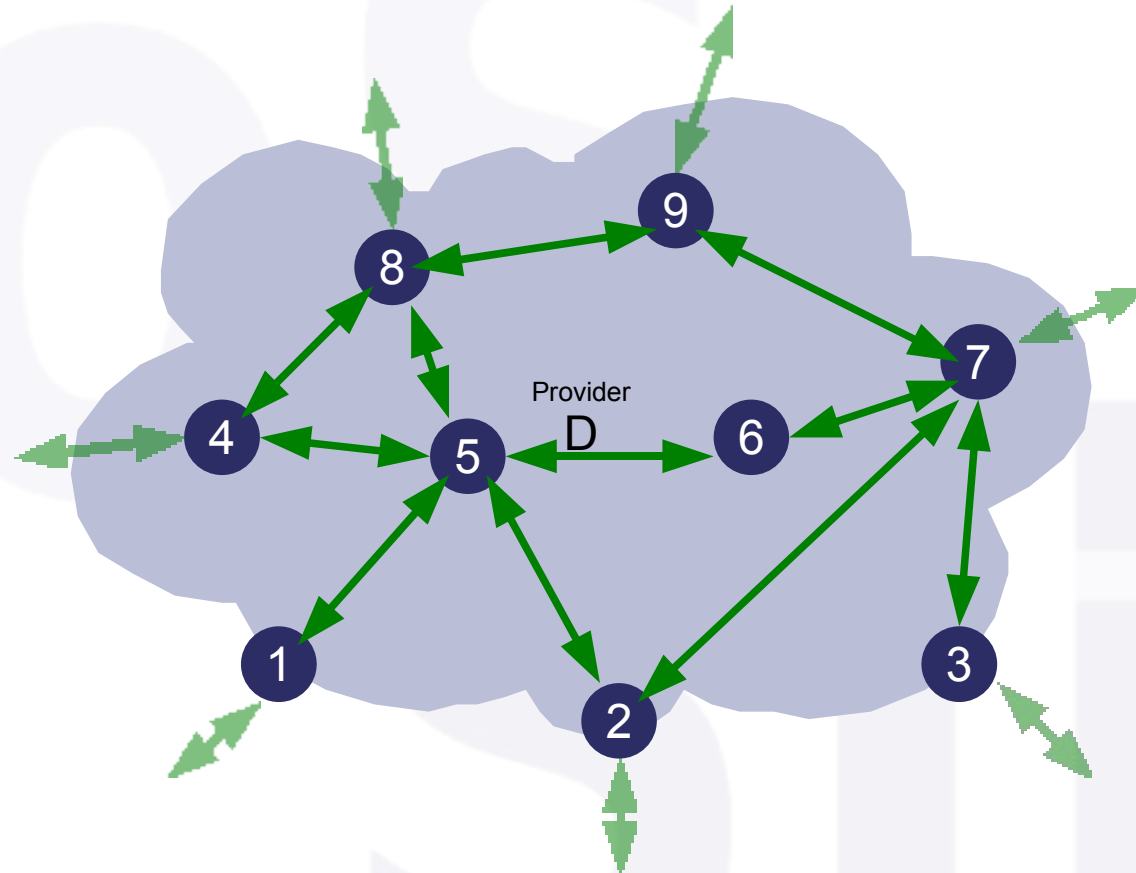
- Zwei Endkunden (User Equipments (UE)) sind bei unterschiedlichen Providern 'zu Hause'
- Für eine gemeinsame Kommunikation werden unterschiedliche Datennetze unterschiedlicher Provider beansprucht
- Welche Netze beansprucht werden hängt ab von
 - Peering Abkommen zwischen den Providern
 - Kosten die dem Provider für Transit oder Peering entstehen (i.d.R. wird in das kostengünstigere Netz geroutet)





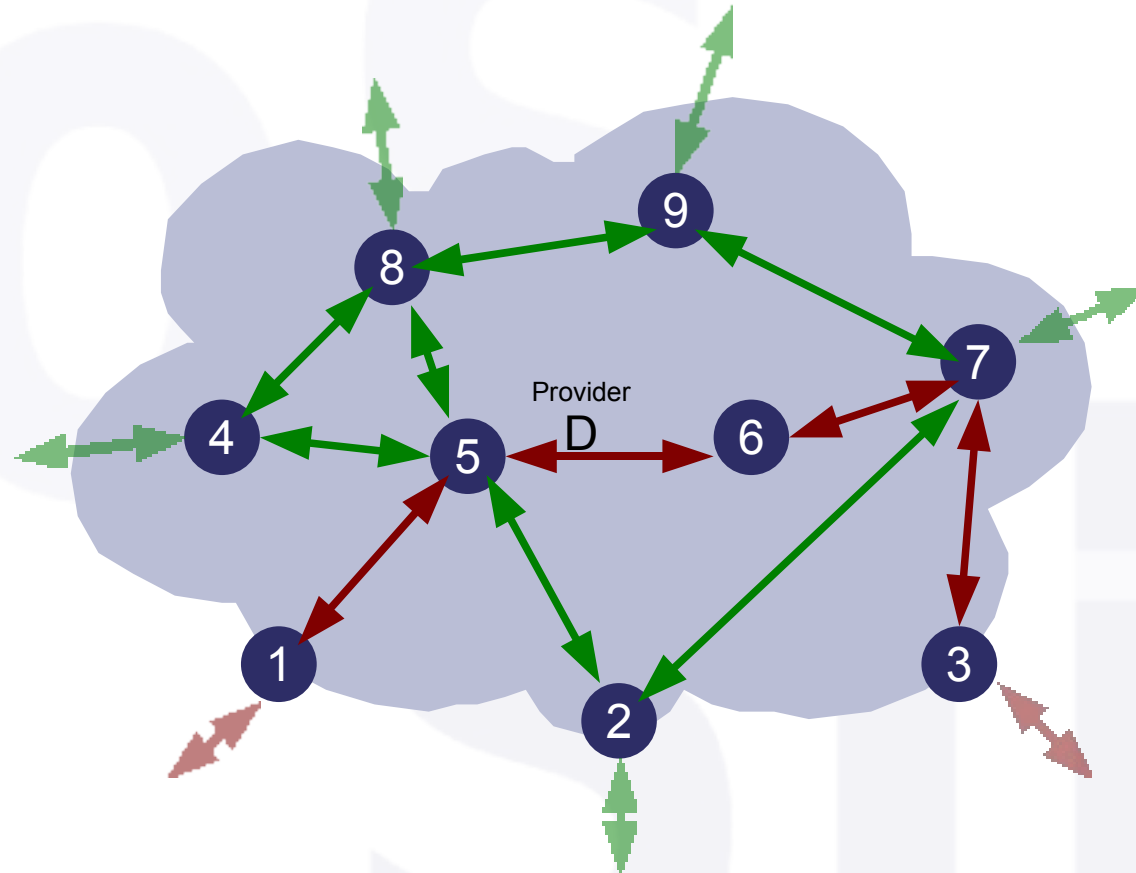
Innerhalb jedes Providernetzes gibt es beliebig viele Knoten und Kanten

- Knoten : Aktive Netzelemente (z.B. Router)
- Kanten : Übertragungswege (z.B. Kabel)



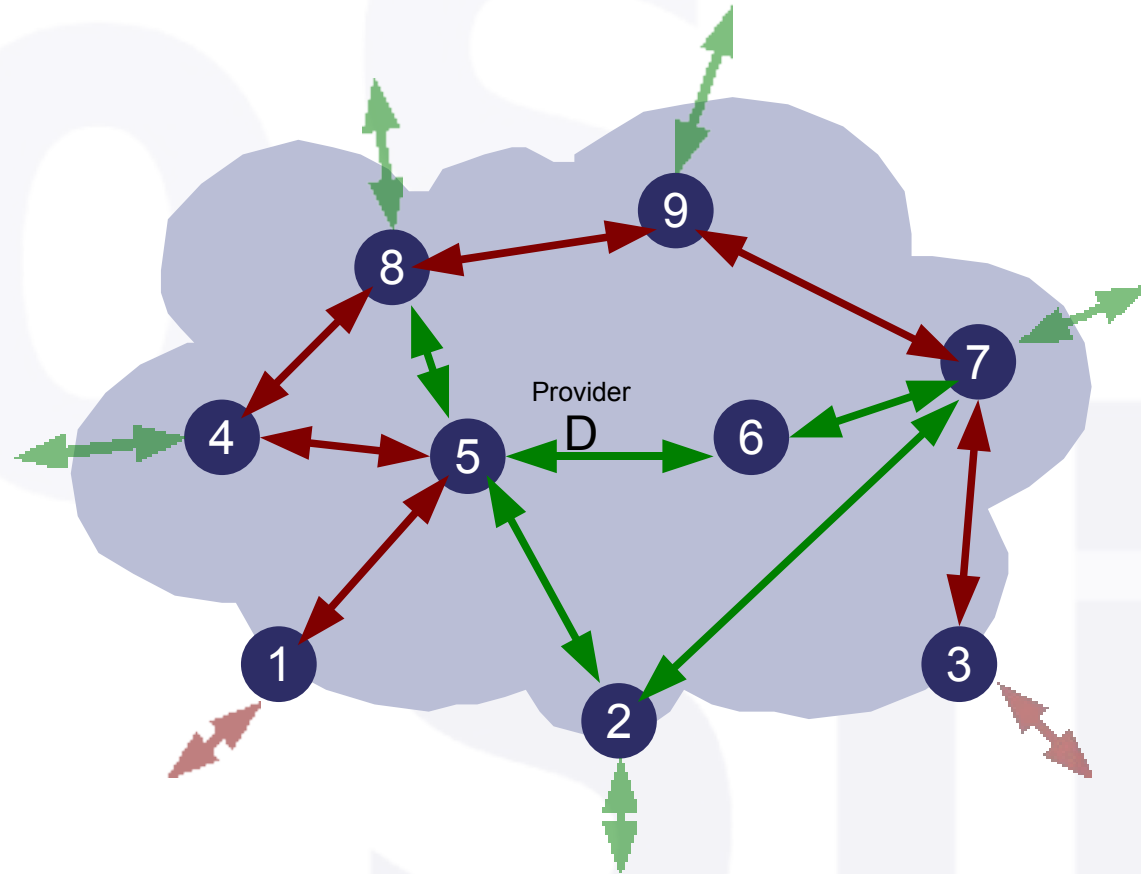


- Ein Datenstrom, welcher dieses Netz durchlaufen soll wird geroutet
- nach den aktuell vorhandenen Routingtabellen
 - nach der Klassifizierung des Traffic (im Idealfall)



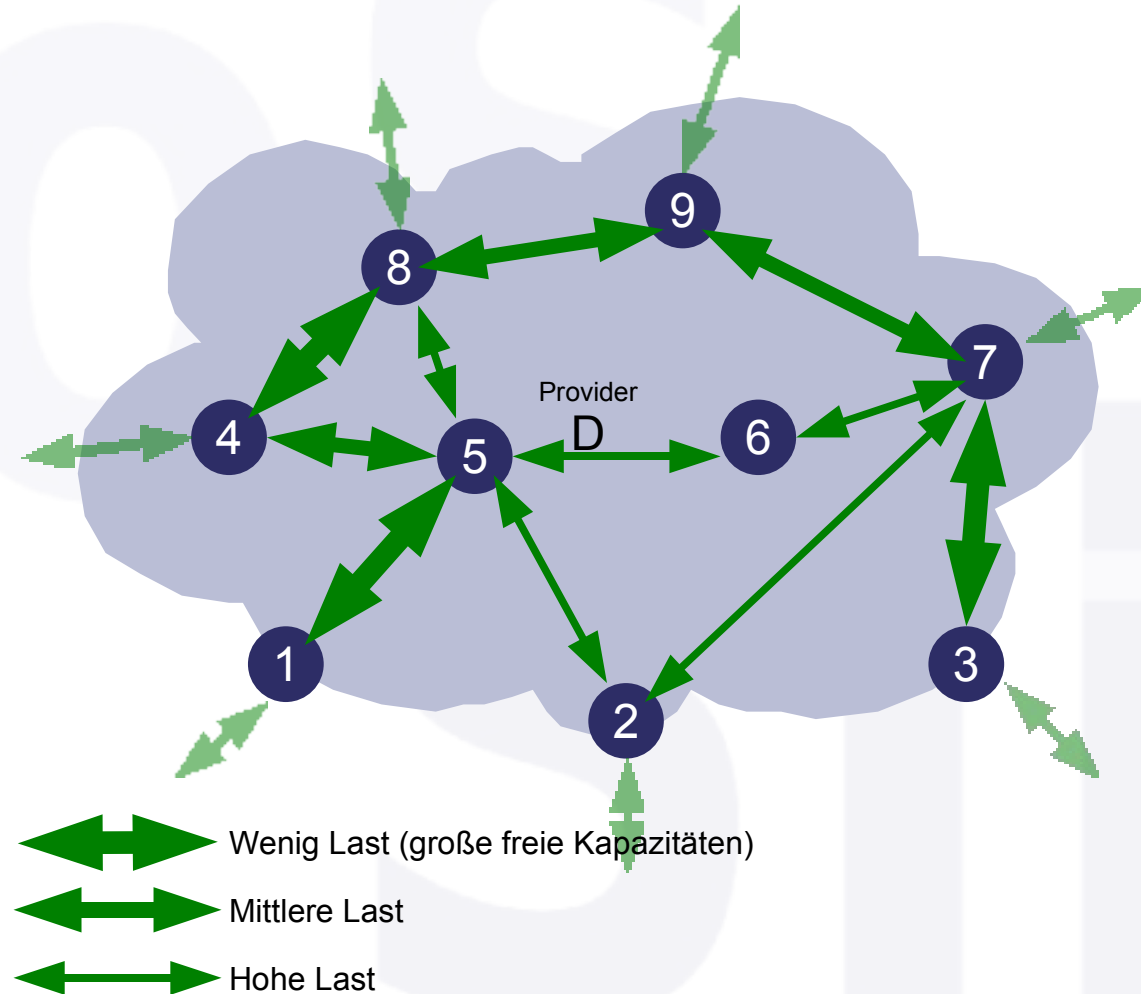


Ein Datenstrom durchläuft nicht zwangsläufig den 'besten' Weg
 - für Echtzeit Kommunikation wäre dies ein Weg mit geringsten Werten für : Delay, Jitter und Packetloss



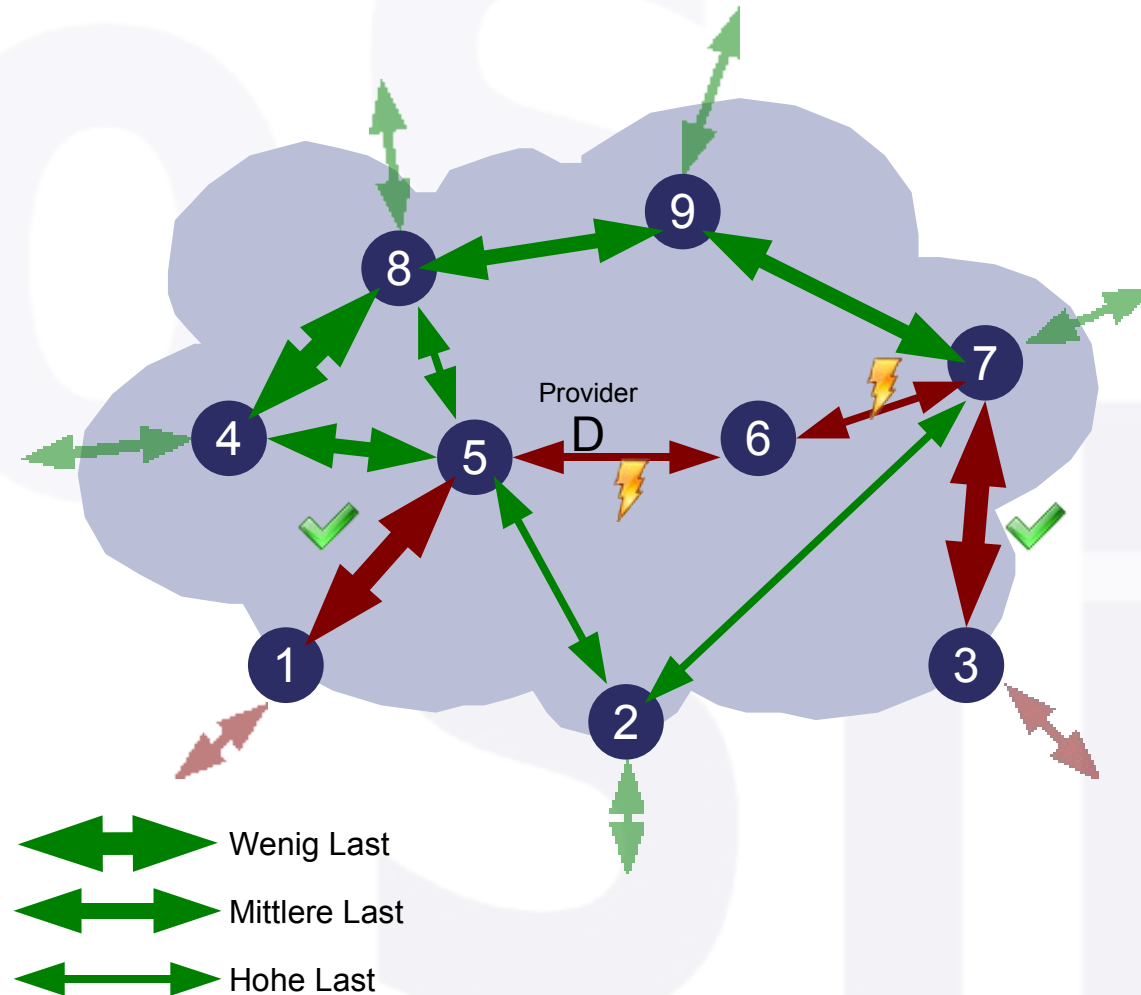


Welcher Weg der beste ist hängt jedoch nicht unbedingt von dessen 'Länge' ab. Wichtig sind andere Parameter wie beispielsweise die auf einem Link verfügbare (freie) Bandbreite.



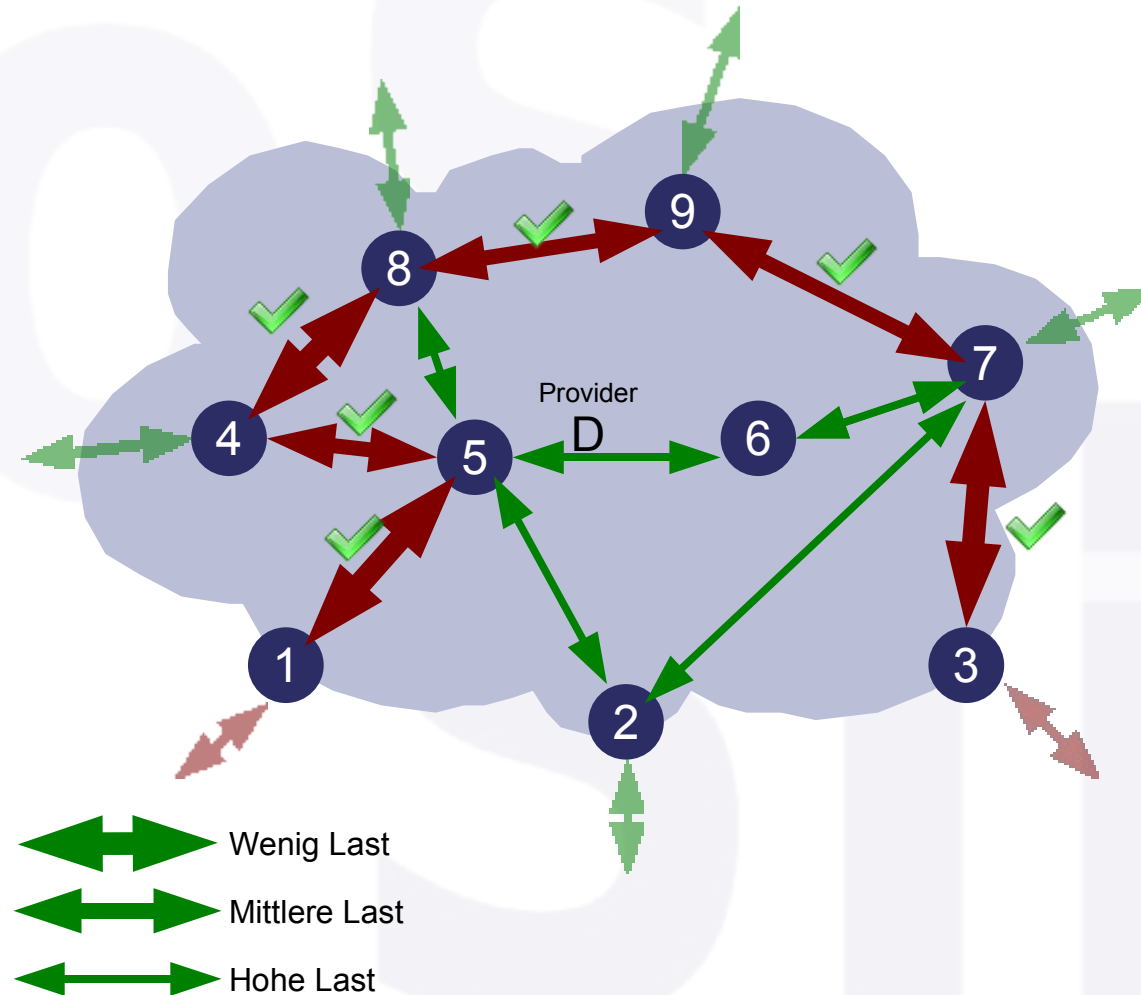


Der Standardweg (hier der 'kürzeste') kann unter Umständen ein schlechter Weg sein



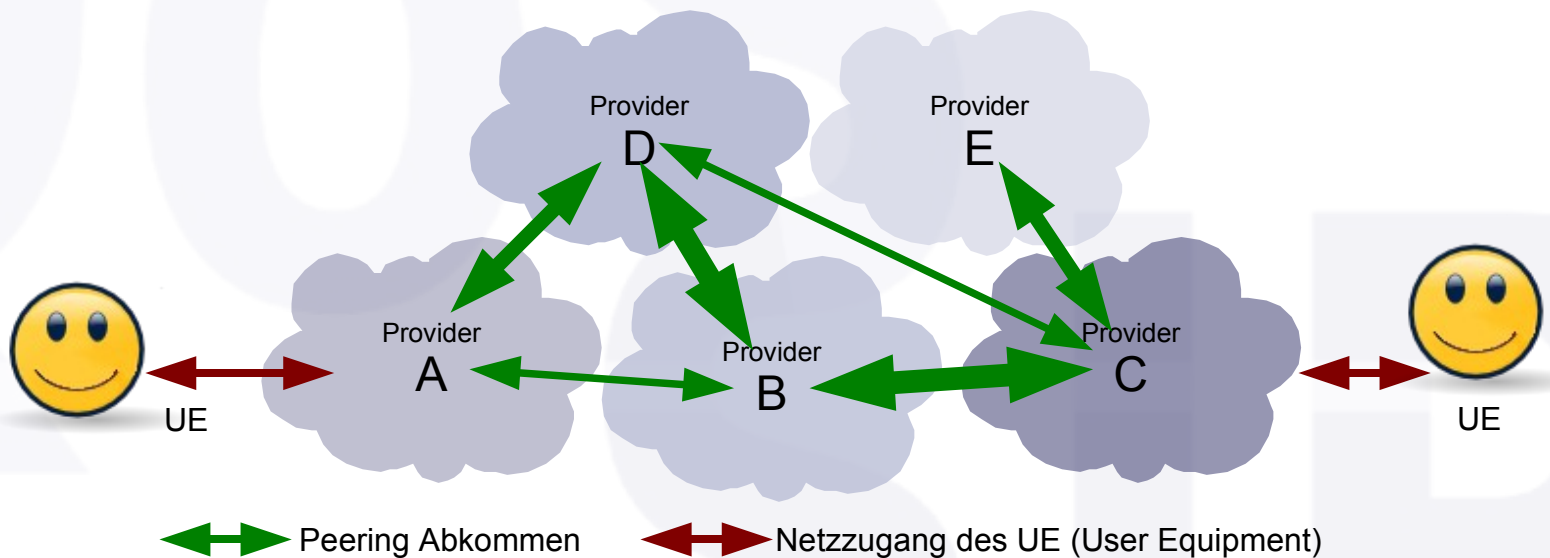


Der längere kann unter Umständen ein wesentlich besserer Weg sein da hier genügend Reserven vorhanden sind





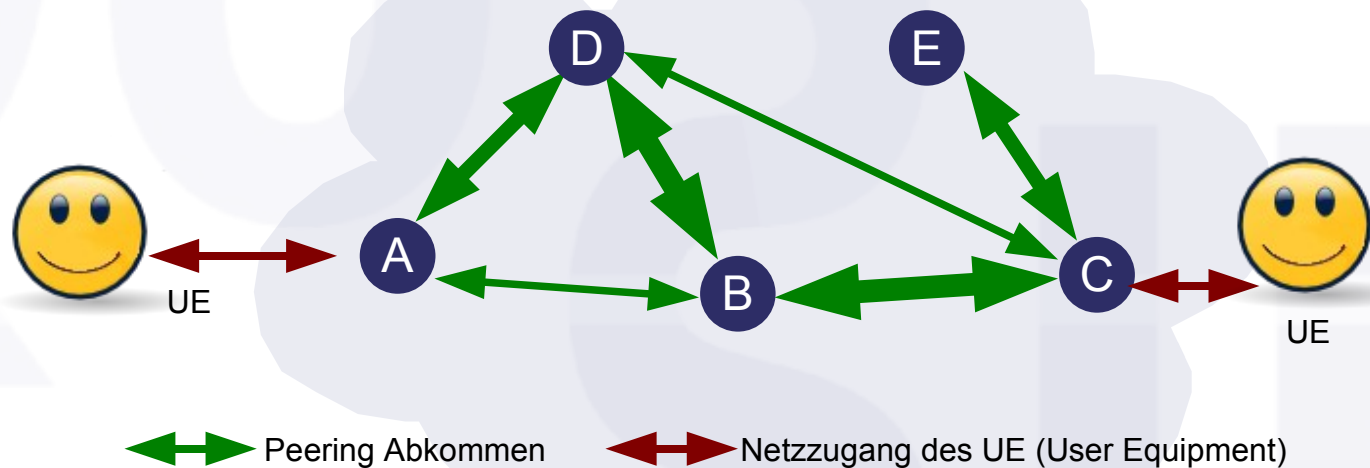
Was für das Netz eines Providers gilt, gilt auch für das Netz aus unterschiedlichen Providernetzen





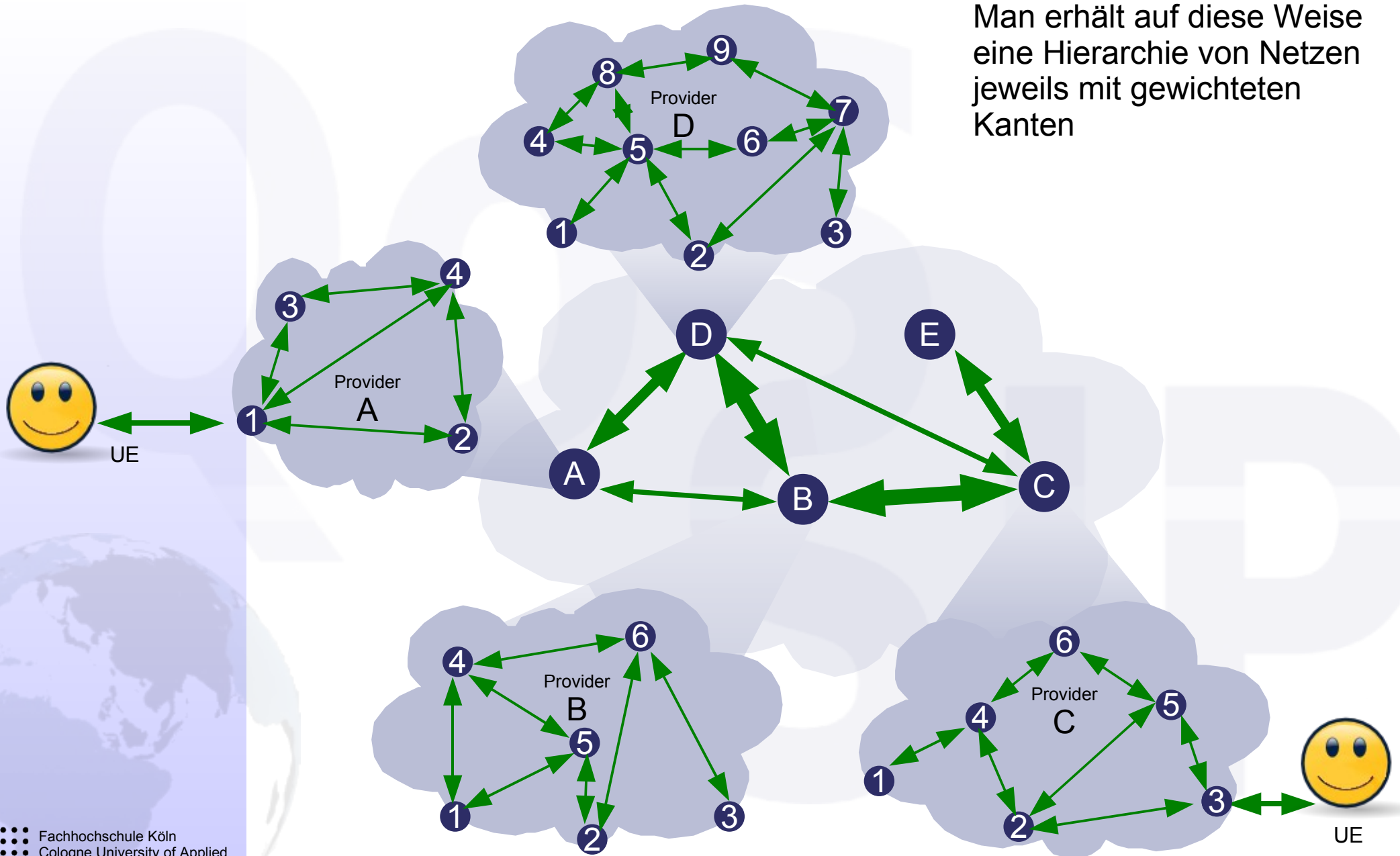
Auch dieses Netz lässt sich als einfaches Netz aus Knoten und Kanten darstellen. Hier sind

- Knoten : die Netze der Provider
- Kanten : die Verbindungen zwischen den Providern





Man erhält auf diese Weise
eine Hierarchie von Netzen
jeweils mit gewichteten
Kanten





Man benötigt in jedem Netz ein Element, welches

- den Zustand des eigenen Netzes kennt
- Einfluss auf das Routing von Datenströmen nehmen kann
- Eine Aussage darüber treffen kann ob ein Datenstrom gewissen Qualitätsansprüchen genügen kann
- Antworten möglichst schnell zur Verfügung stellt



Man benötigt in jedem Netz ein Element, welches

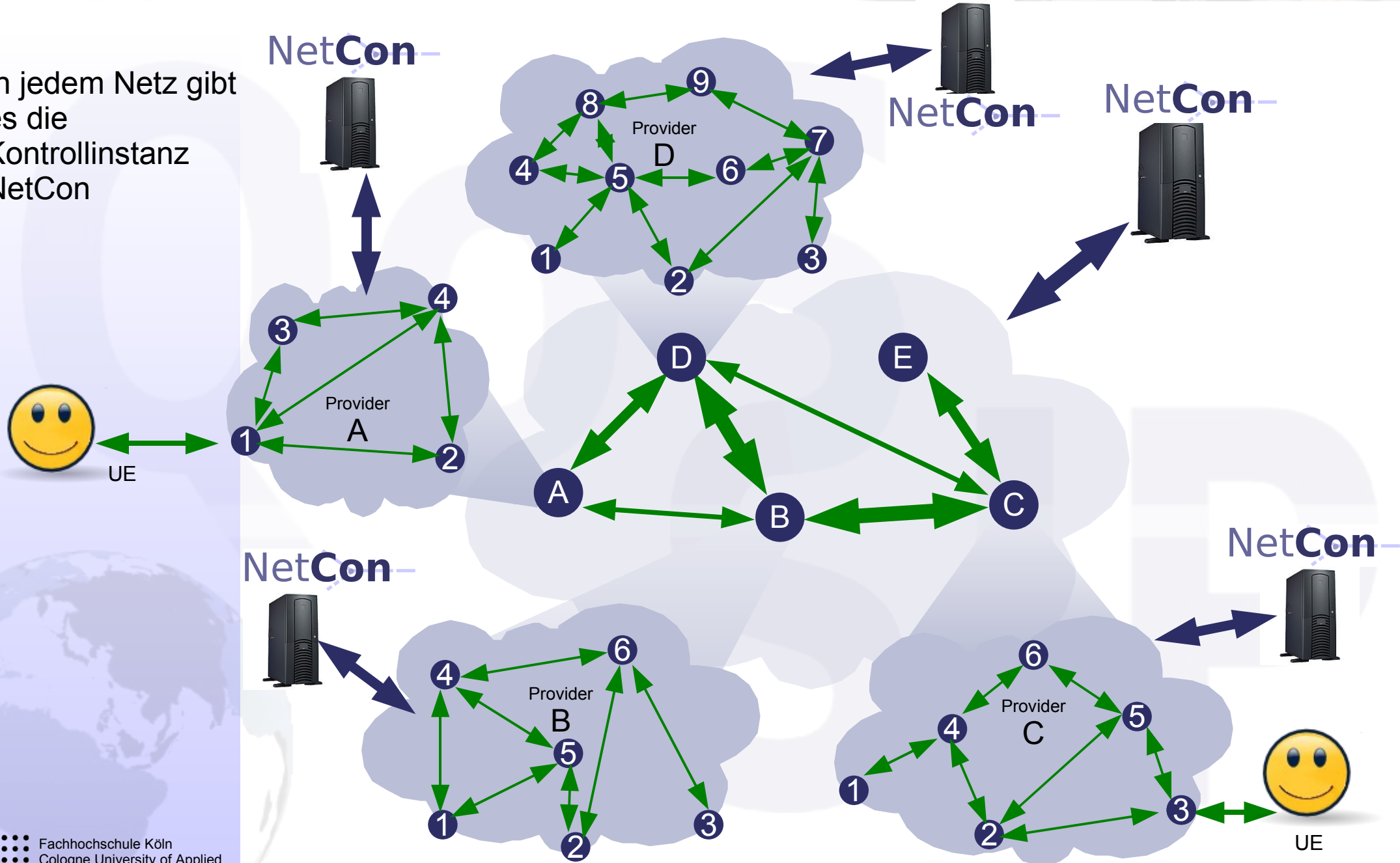
- den Zustand des eigenen Netzes kennt
- Einfluss auf das Routing von Datenströmen nehmen kann
- Eine Aussage darüber treffen kann ob ein Datenstrom gewissen Qualitätsansprüchen genügen kann
- Antworten möglichst schnell zur Verfügung stellt

Ein Ansatz diese Anforderungen zu erfüllen ist:

NetCon



In jedem Netz gibt es die Kontrollinstanz NetCon

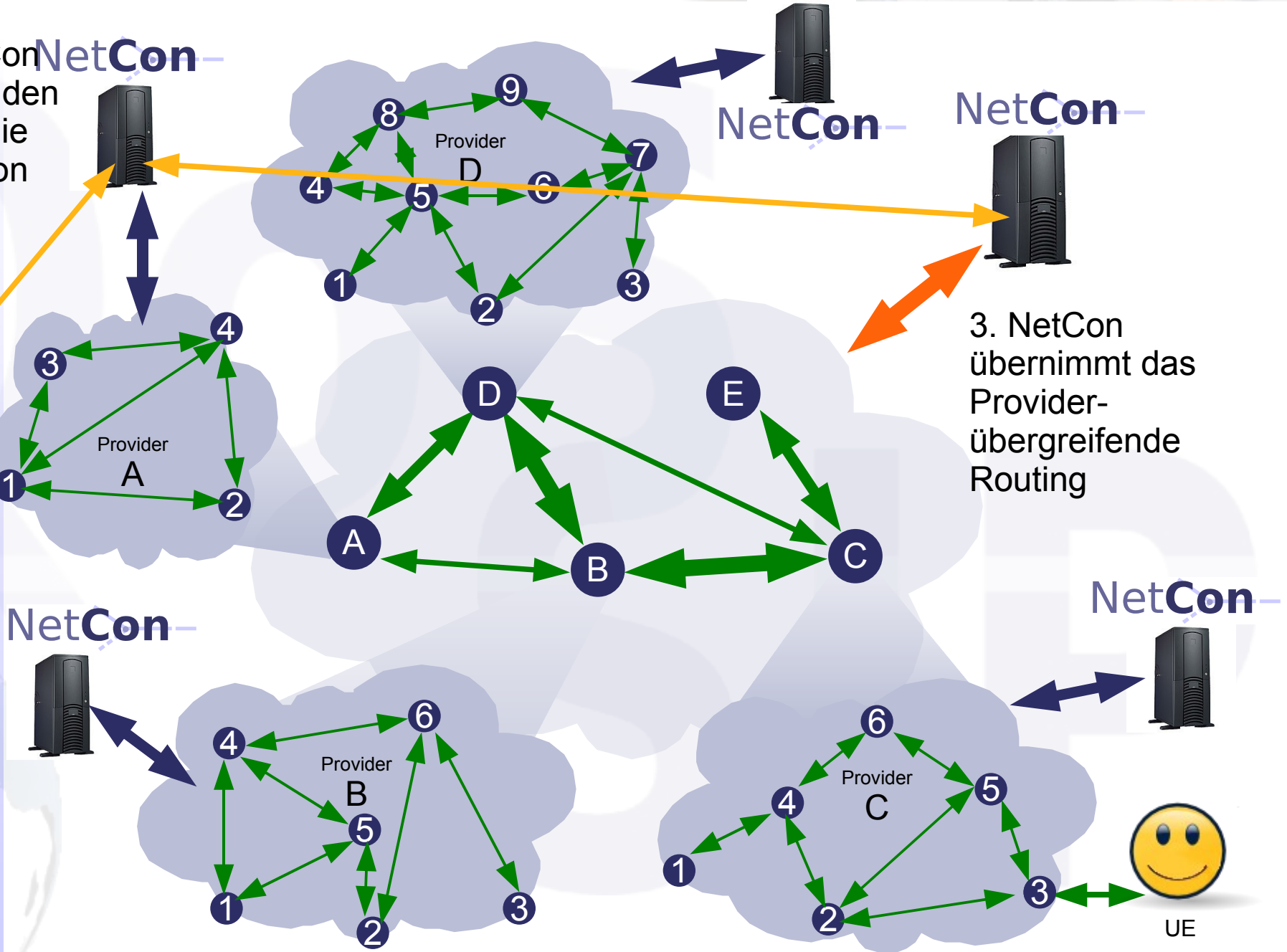


2. Dieser NetCon fragt zunächst den in der Hierarchie höheren NetCon um Rat



UE

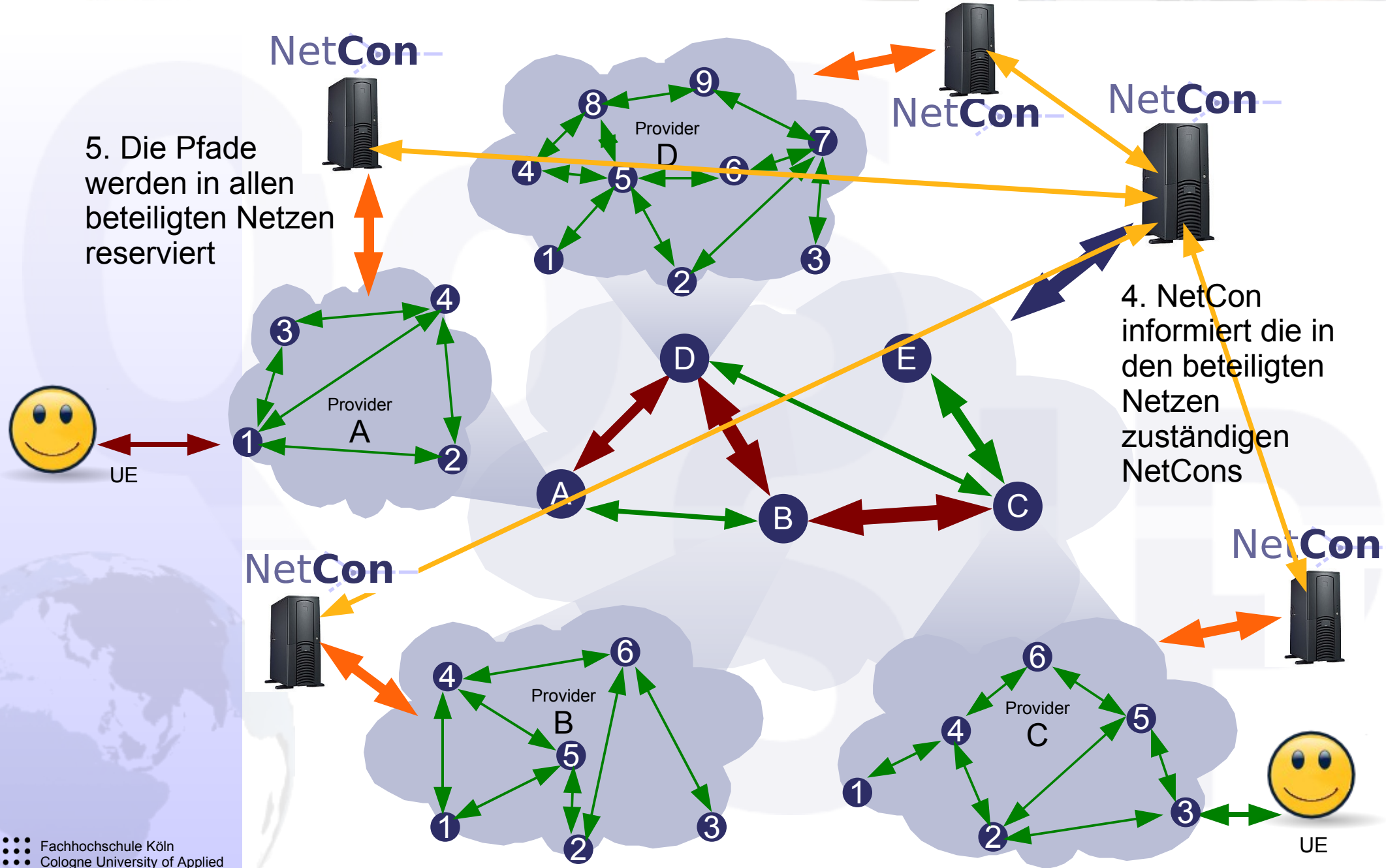
1. Will ein UE einen Anruf tätigen stellt er eine Anfrage (meist indirekt) an NetCon im eigenen Netz



3. NetCon übernimmt das Provider-übergreifende Routing

NetCon

UE

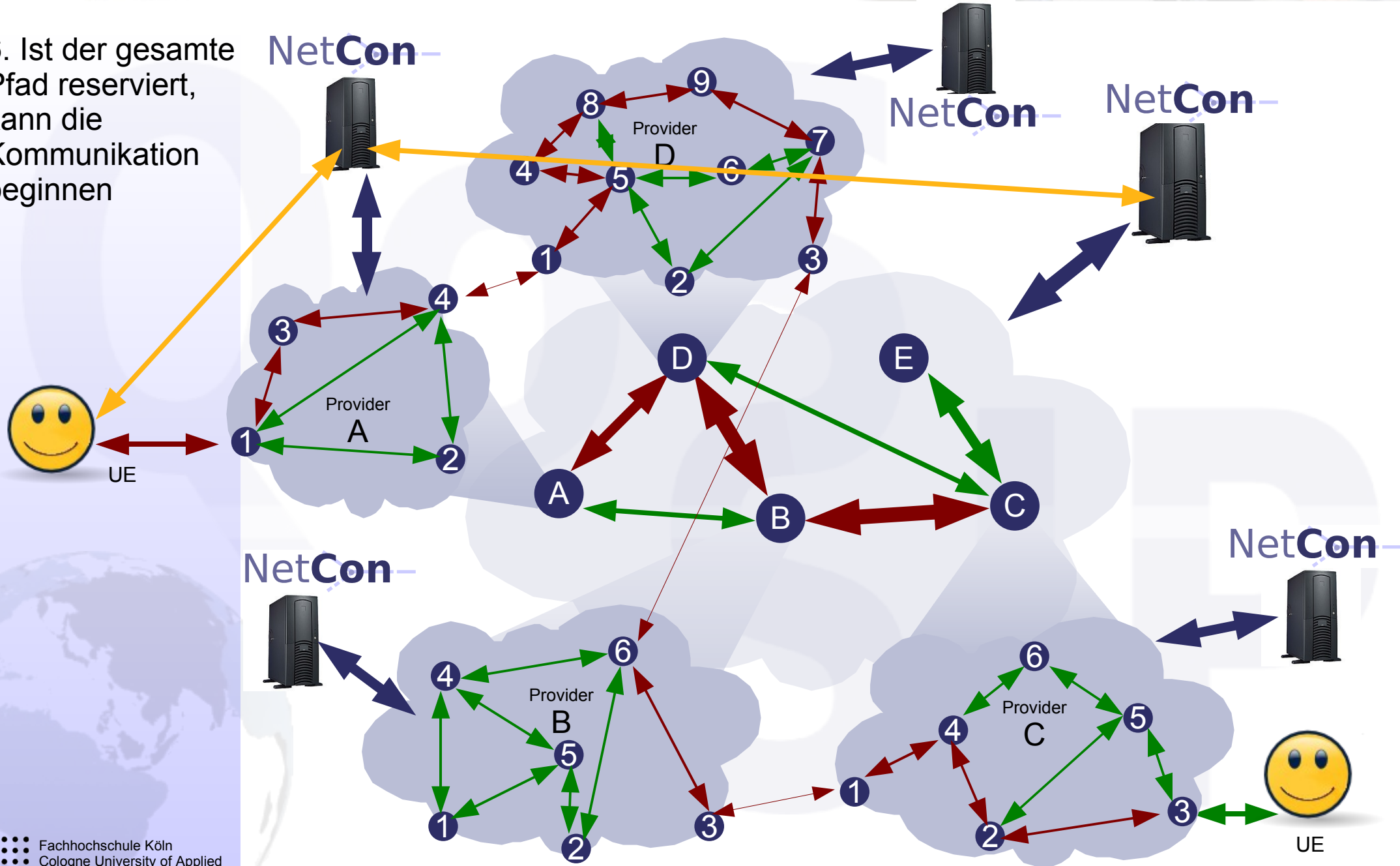


5. Die Pfade werden in allen beteiligten Netzen reserviert

4. NetCon informiert die in den beteiligten Netzen zuständigen NetCons

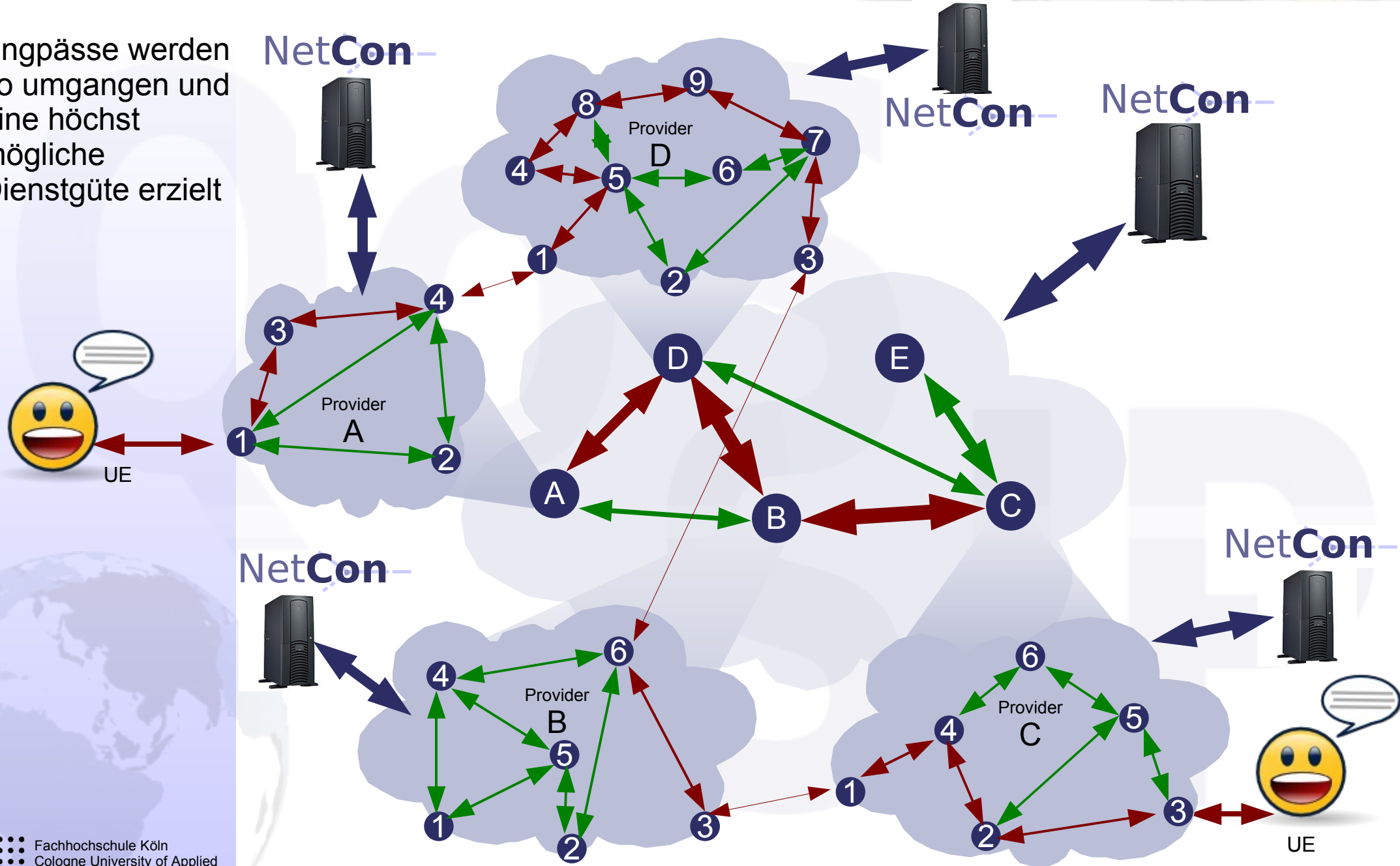


6. Ist der gesamte Pfad reserviert, kann die Kommunikation beginnen



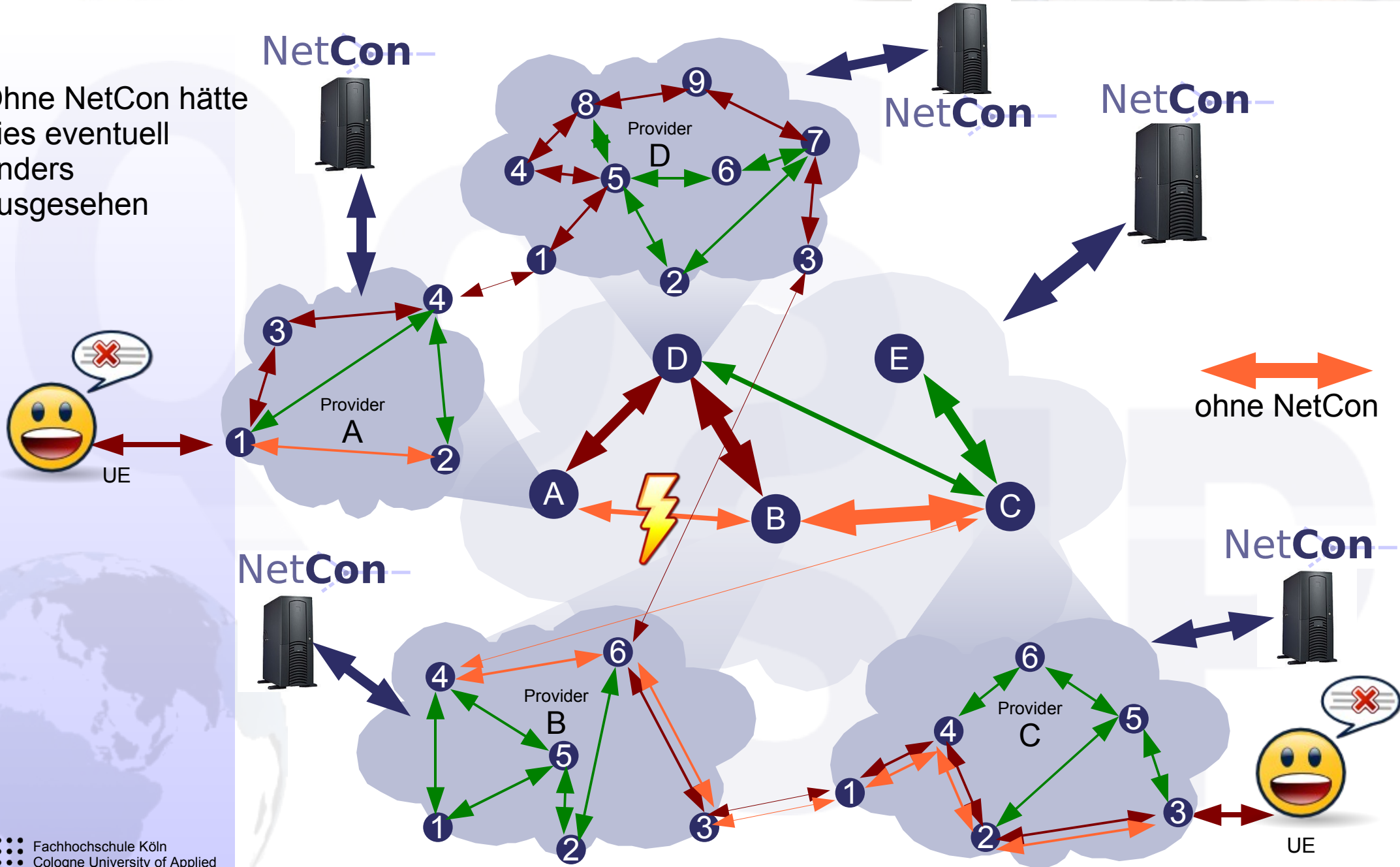


Engpässe werden so umgangen und eine höchst mögliche Dienstgüte erzielt





Ohne NetCon hätte dies eventuell anders ausgesehen



NetCon

Wie realisiert NetCon E2E-QoS?

✓ Passiver Modus

Es wird ausschließlich geprüft ob auf dem vom Netz vorgesehenen Datenweg die gewünschte QoS garantiert werden kann. Es wird nicht in das Netzwerk eingegriffen.

✚ Kein Eingriff in die beteiligten Netzwerke notwendig

...

✗ Garantierte QoS nicht möglich

✗ Gesamte Routinginformation muss bekannt sein

✗ Routing-Algorithmen müssen implementiert werden

NetCon

Wie realisiert NetCon E2E-QoS?

✓ Aktiver Modus

Es wird der beste Weg für die Datenkommunikation ermittelt und für den Call reserviert. Es muss in aktive Komponenten des Netzes zugegriffen werden.

✚ Garantierte QoS möglich

✗ Aufwendige Signalisierung und Steuerung

✗ Kooperation aller Provider erforderlich

NetCon

Wie findet NetCon den besten Weg?

✓ **Passiver Modus**

Exaktes Abbild der realen Routingtabellen erforderlich
Routingalgorithmus muss implementiert werden

✓ **Aktiver Modus**

Algorithmus für das Auffinden des besten Weges muss
implementiert werden
Wege finden mit Dijkstra oder probabilistischem Algorithmus



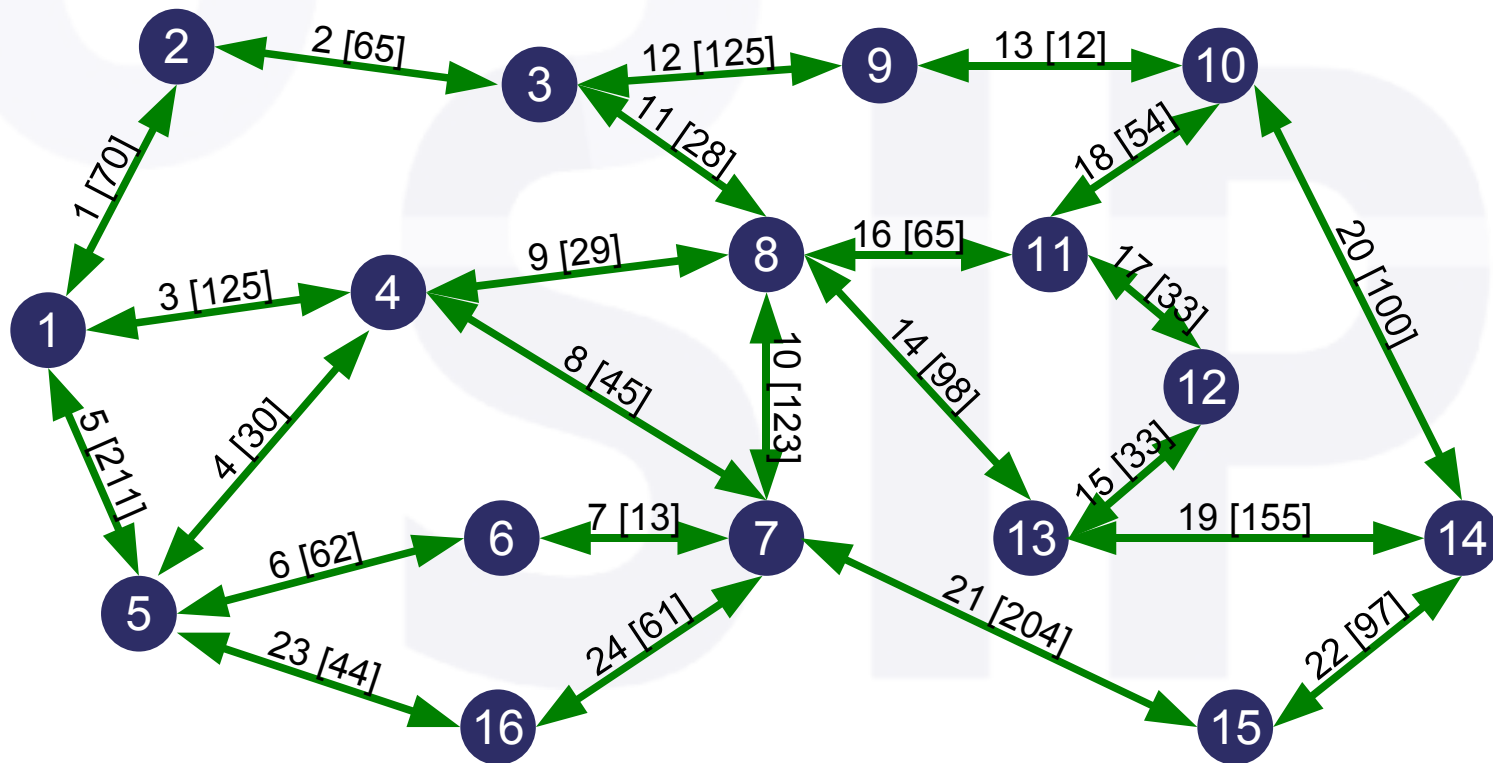
NetCon

Wie findet NetCon den besten Weg?

Jedes Netzwerk wird als gewichteter Graph interpretiert

Knoten sind aktive Netzwerkelemente

Kanten sind logische Verbindungen zwischen den Knoten





NetCon

Bester Weg von 1 nach 15?

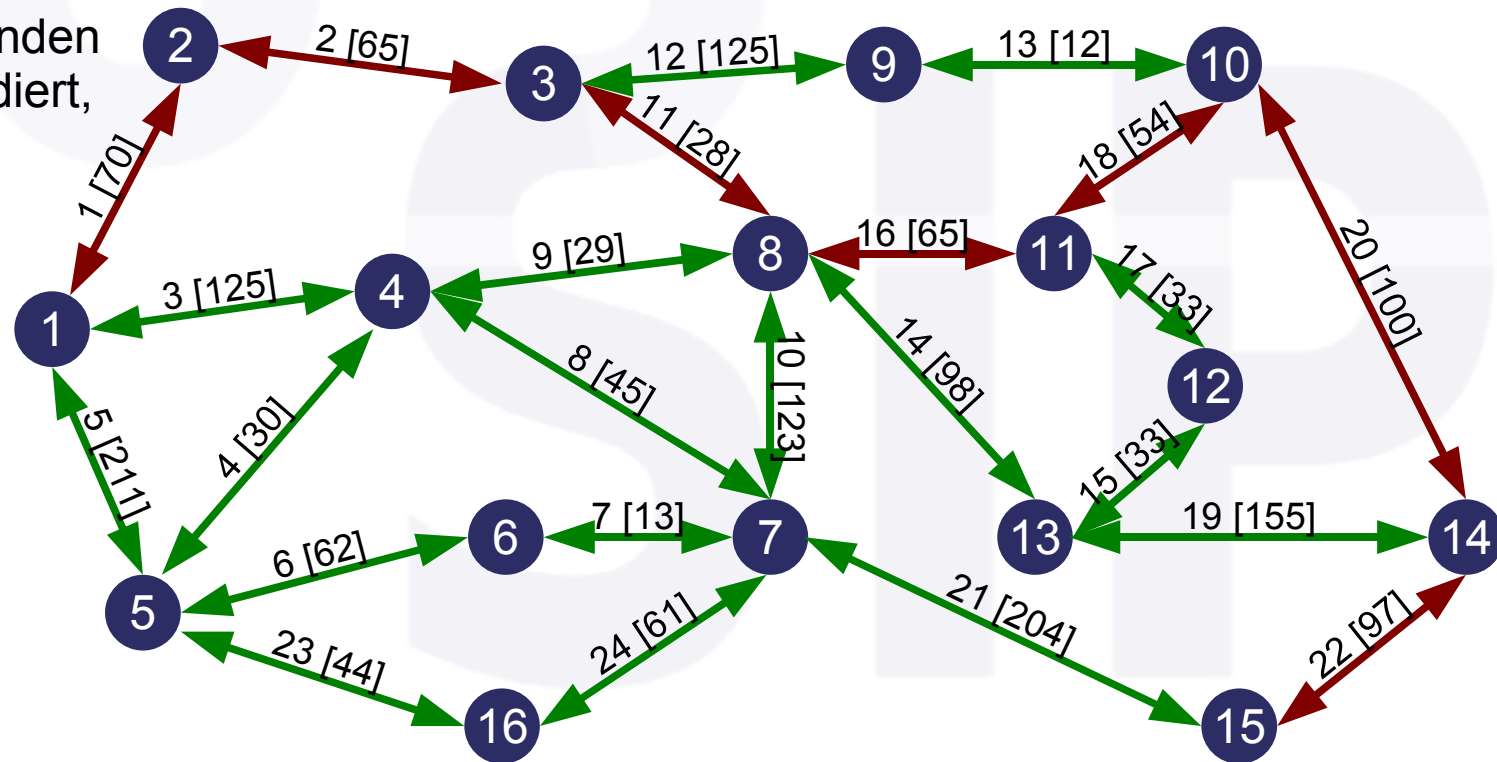
NetCon berechnet die besten Wege gewichtet nach den 'Kosten' jeder Kante. Dies kann auch bidirektional erfolgen (unterschiedliche Kosten für Hin- und Rückrichtung). Die anfallenden Kosten werden quadratisch addiert, um besonders 'teure' Kanten stärker zu gewichten.

```
stefan@london:~/ $ ./wege_finden -s 1 -d 15 | sort -n -k 6
Lines:48
ZIEL (k:15) --> 1;2;3;8;11;10;14;15; >>> S=> 190.942400
ZIEL (k:15) --> 1;4;8;11;10;14;15; >>> S=> 207.402989
ZIEL (k:15) --> 1;2;3;8;13;12;11;10;14;15; >>> S=> 209.799905
ZIEL (k:15) --> 1;2;3;9;10;14;15; >>> S=> 210.482778
ZIEL (k:15) --> 1;2;3;8;11;12;13;14;15; >>> S=> 223.038113
ZIEL (k:15) --> 1;4;8;13;12;11;10;14;15; >>> S=> 224.884415
...
```

Beanspruchte Rechenzeit:

```
real 0m0.007s
user 0m0.004s
sys 0m0.000s
```

bei 96 Lösungen





NetCon

Bester Weg von 16 nach 9?

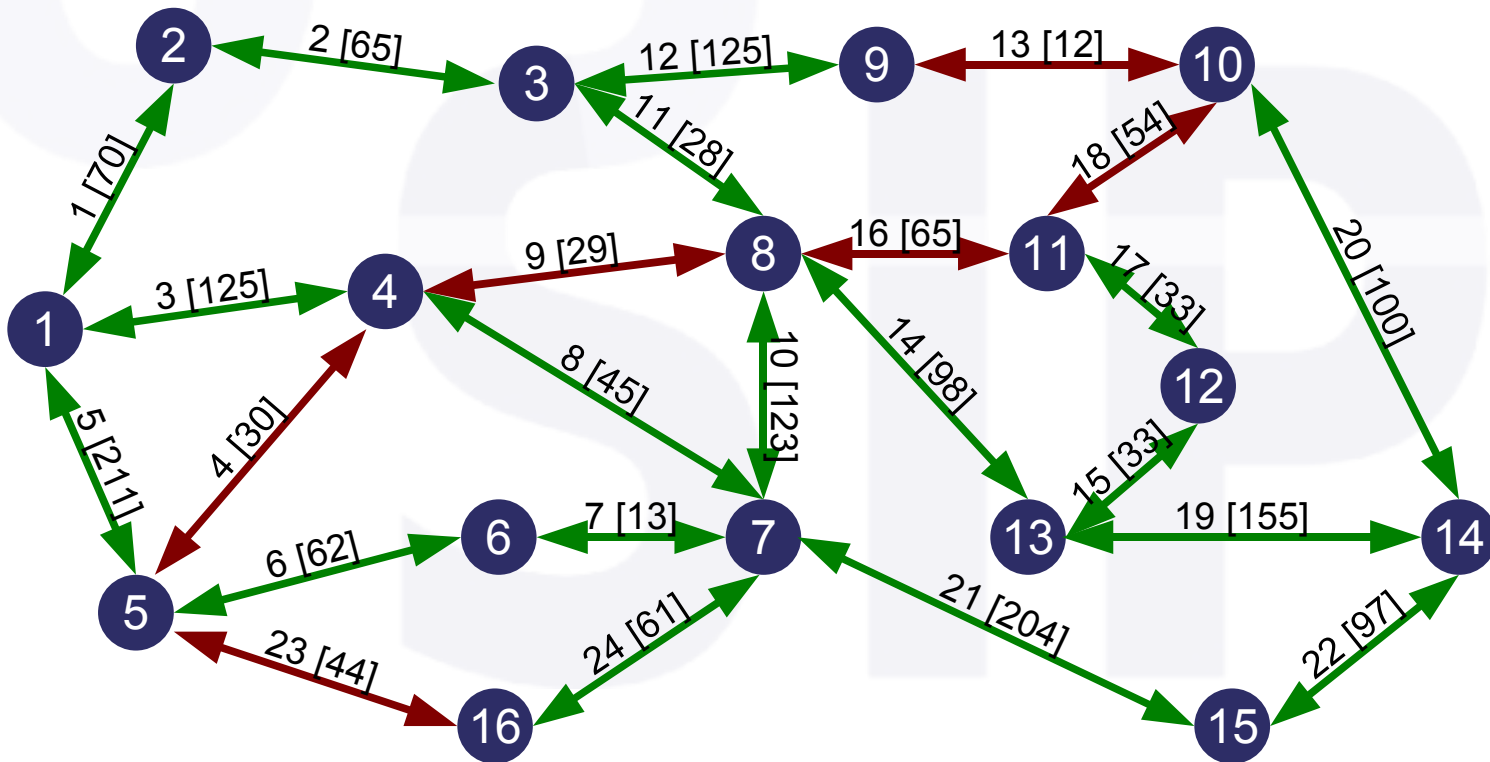
```

stefan@london:~/ $ ./wege_finden -s 16 -d 9 | sort -n -k 6
Lines:48
ZIEL (k:9) --> 16;5;4;8;11;10;9; >>> S=> 104.699570
ZIEL (k:9) --> 16;7;4;8;11;10;9; >>> S=> 117.779455
ZIEL (k:9) --> 16;5;6;7;4;8;11;10;9; >>> S=> 126.885775
ZIEL (k:9) --> 16;7;6;5;4;8;11;10;9; >>> S=> 129.460419
ZIEL (k:9) --> 16;5;4;8;13;12;11;10;9; >>> S=> 136.084533
...
    
```

Beanspruchte Rechenzeit:

real 0m0.005s
 user 0m0.000s
 sys 0m0.004s

bei 125 Lösungen



NetCon

Fazit

- ✓ NetCon kann die besten Wege durch beliebig komplexe Netzwerke in kurzer Zeit finden
- ✓ NetCon kann auf Basis von echten Routingtabellen eine Abschätzung geben, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist das gewisse Parameter eingehalten werden
- ✓ NetCon skaliert durch das hierarchische Konzept sehr gut



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie Fragen?

