

# Re-thinking Multi-Domain Multi-Layer Network Monitoring

Feng Liu <sup>1</sup>   Patricia Marcu <sup>1</sup>   David Schmitz <sup>1</sup>  
Mark Yampolskiy <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Rechenzentrum, Garching

<sup>2</sup> Vanderbilt University, TN, USA

5. DFN-Forum Kommunikationstechnologien  
Regensburg, 21. Mai, 2012

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

## 1 Motivation: Schichten-übergreifende LHCOPN-Monitoring-Sicht

Problem-  
Dimensionen

## 2 Problem- und Szenario-Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

## 3 Schichten/Domänen-übergreifende Topologie-Abbildungs-Notation

Ausblick

## 4 Zusammenfassung/Ausblick

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

1

## Motivation: Schichten-übergreifende LHCOPN-Monitoring-Sicht

Problem-  
Dimensionen

2

## Problem- und Szenario-Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

3

## Schichten/Domänen-übergreifende Topologie-Abbildungs-Notation

Ausblick

4

## Zusammenfassung/Ausblick

# Motivation: Schichten-übergreifende LHCOPN-Monitoring-Sicht

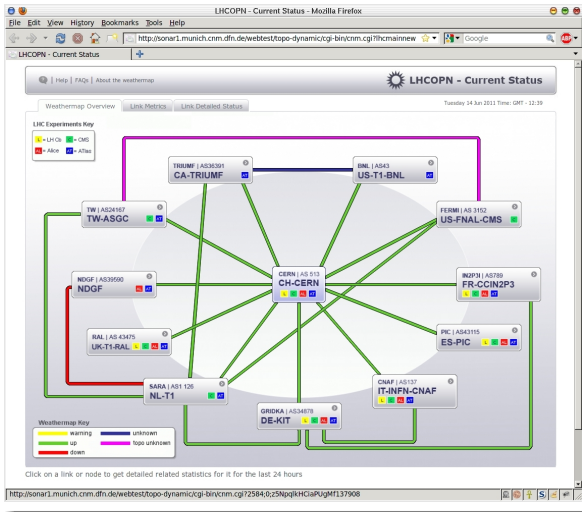


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensione

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



## LHCOPN:

Optical Private  
Network für  
T0/T1 Standorte  
des LHC-Projekts  
auf Basis von  
E2E-Links:

- Dedizierte Schicht-2-Links
- Kooperativ, erbracht durch mehrere Domänen

LHCOPN - Current Status - Mozilla Firefox

http://sonar1.munich.cnm.dfn.de/webtest/topo-dynamic/cgi-bin/crm.cgi?i2584;0;25NpqkHCk

LHCOPN - Current Status

Help | FAQs | About the weathermap

Weathermap Overview | Link CH-CERN::US-T1-BNL Metrics | Link CH-CERN::US-T1-BNL Detailed Status

Tuesday 14 Jun 2011 Time: GMT - 12:45

E2EMon Link CERN-BNL-LHCOPN-001 detailed status of particular sections:

Domain	BNL			ESNET					
Link Structure	EP	←-----	-----→	DP	←-----→	DP	←-----	-----→	DP
Type	EndPoint	ID Part.Info	ID Part.Info	Demarc	Domain Link	Demarc	ID Part.Info	ID Part.Info	Demarc
Local Name	BNL-ESNET	SUB_CERN-BNL-LHCOPN-001	BNL-LHCOPN-001-Site-Tail	ESNET-BNL	BNL-LHCOPN-001-BNL-AOFA1	ESNET-AOFA1	BNL-LHCOPN-001-USLHCnet-Tail	CERN-BNL-LHCOPN-001-ESNET-Tail	USLHCNET-NYC
State Oper.	-	Up	Up	-	Up	-	Up	Up	-
State Admin.	-	Normal Oper.	Normal Oper.	-	Normal Oper.	-	Normal Oper.	Normal Oper.	-
Timestamp	-	2011-06-14 T12:45:01+0000	2011-06-14 T12:40:00.0	-	2011-06-14T12:40:10.0	-	2011-06-14 T12:40:12.0	2011-06-14 T14:42:14Z	-

E2EMon Link CERN-BNL-LHCOPN-002 detailed status of particular sections:

Domain	BNL			ESNET					
Link Structure	EP	←-----	-----→	DP	←-----→	DP	←-----	-----→	DP
Type	EndPoint	ID Part.Info	ID Part.Info	Demarc	Domain Link	Demarc	ID Part.Info	ID Part.Info	Demarc
Local Name	BNL-ESNET	SUB_CERN-BNL-LHCOPN-002	BNL-LHCOPN-002-Site-Tail	ESNET-BNL	BNL-LHCOPN-002-BNL-STAR	ESNET-STARLIGHT	BNL-LHCOPN-002-USLHCnet-Tail	CERN-BNL-LHCOPN-002-ESNET-Tail	USLHCNET-NYC
State Oper.	-	Up	Up	-	Up	-	Up	Up	-
State Admin.	-	Normal Oper.	Normal Oper.	-	Normal Oper.	-	Normal Oper.	Normal Oper.	-
Timestamp	-	2011-06-14 T12:45:01+0000	2011-06-14 T12:40:23.0	-	2011-06-14T12:40:23.0	-	2011-06-14 T12:40:24.0	2011-06-14 T14:42:17Z	-

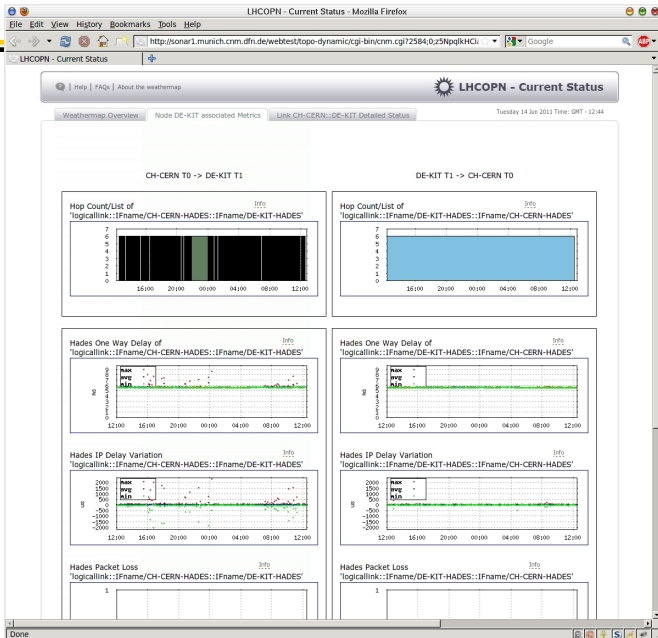
javascript:flipTab("link3");showThing("section3")

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

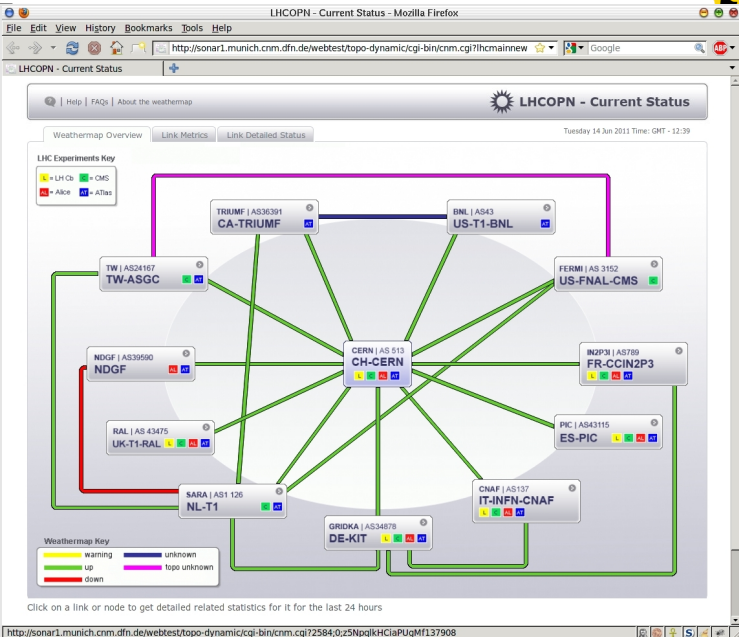


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

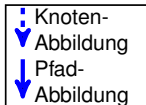


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



CERN

Switch

USHLCNET

US FNAL (Fermilab)

# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

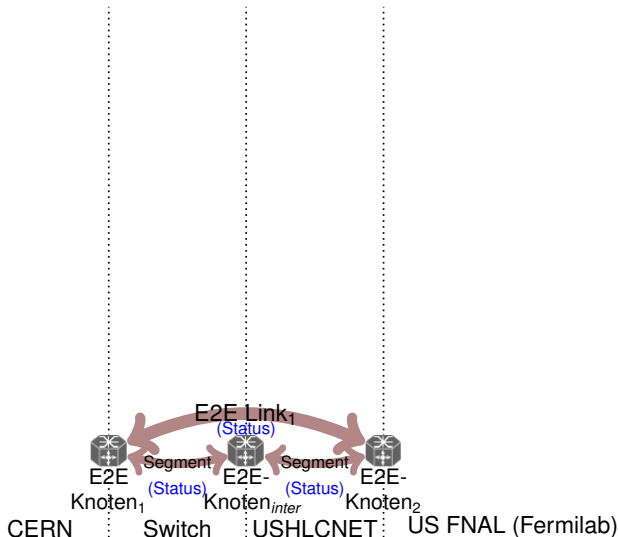
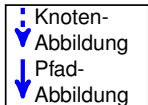


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

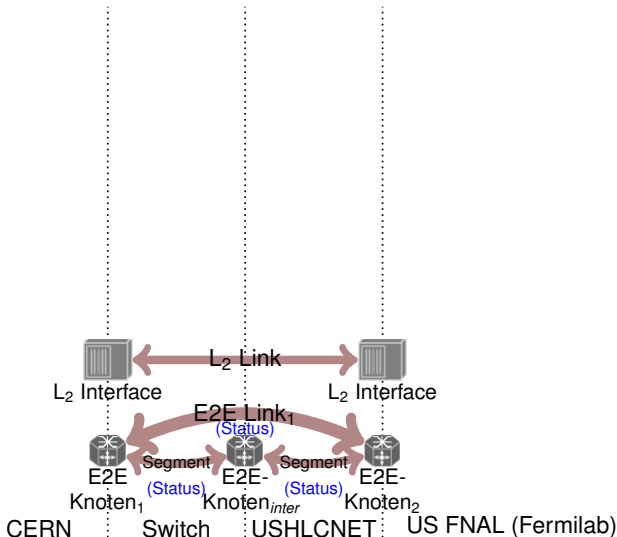
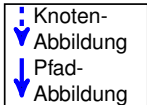


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



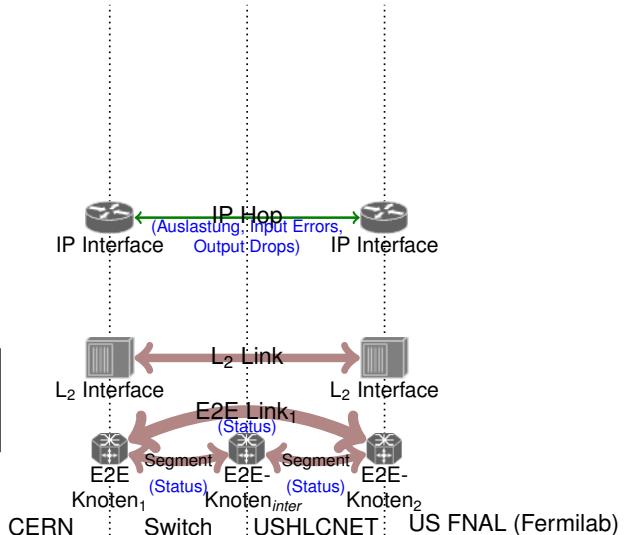
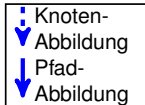
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



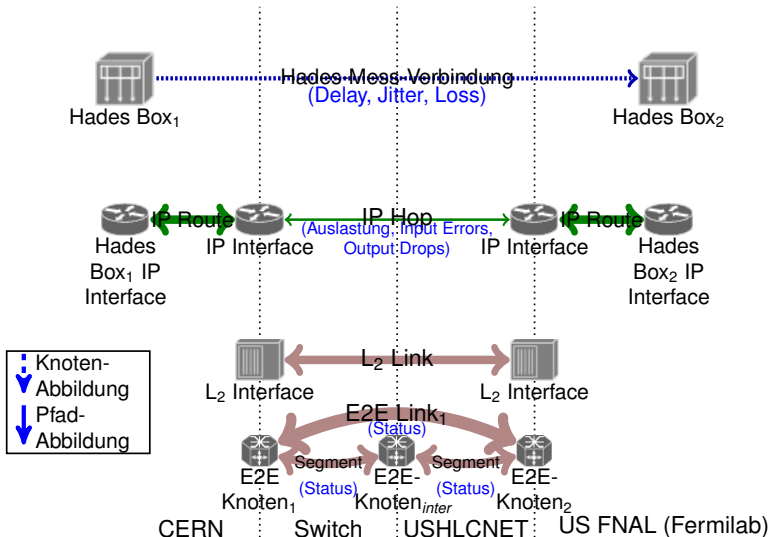
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

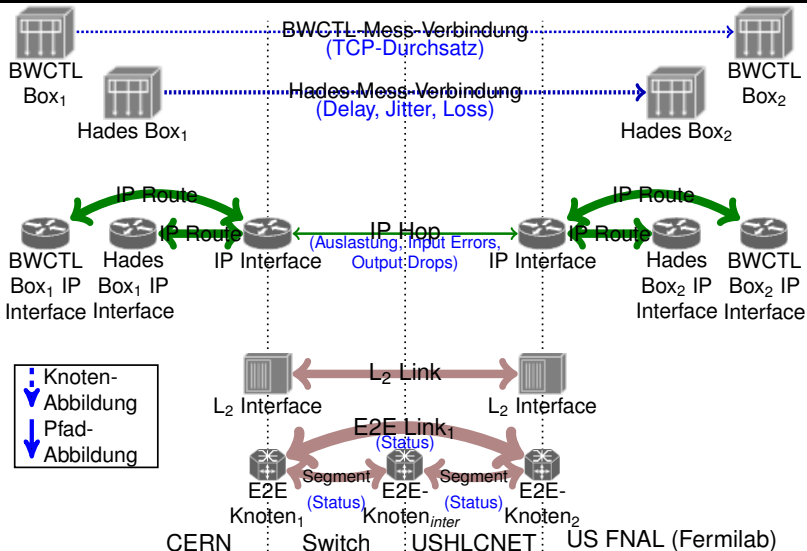


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

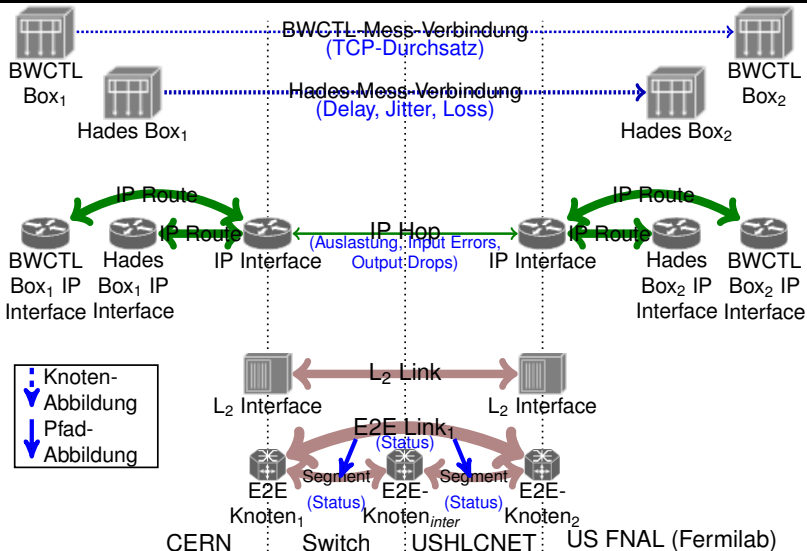


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

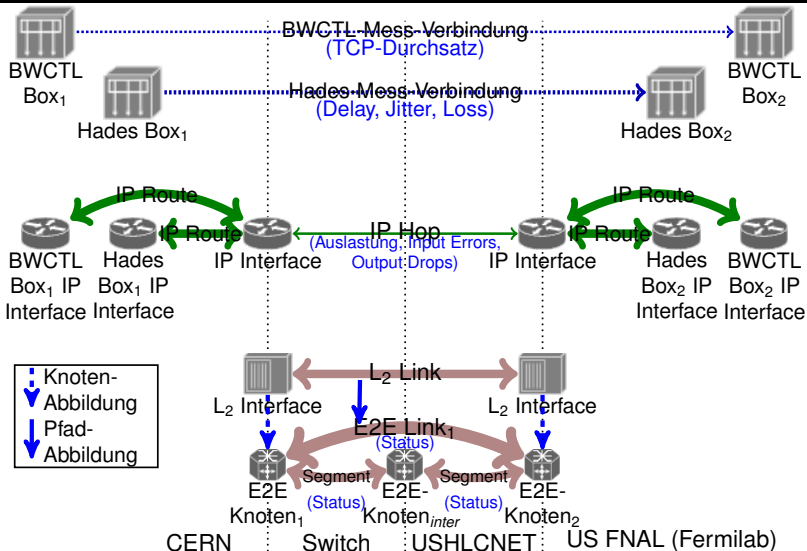


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick





# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

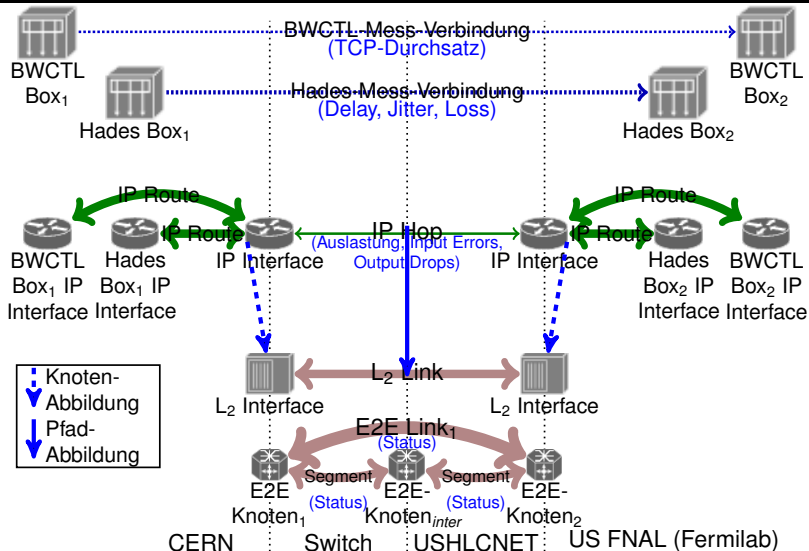


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

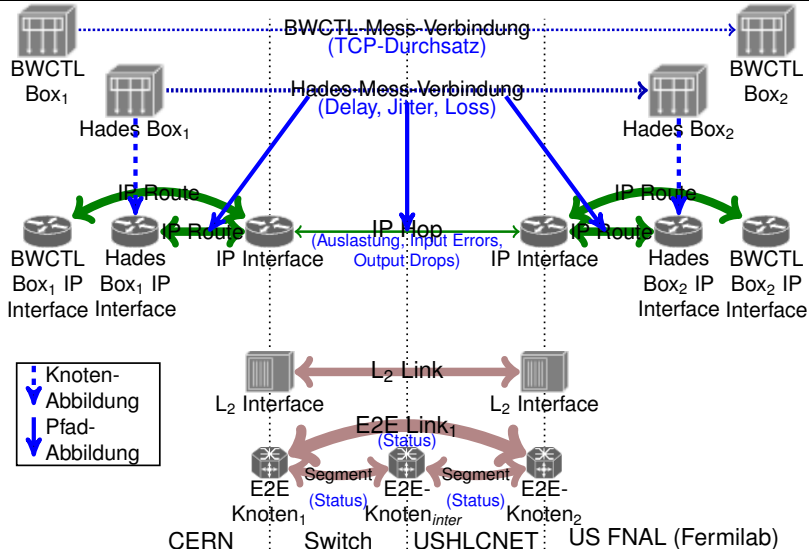


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

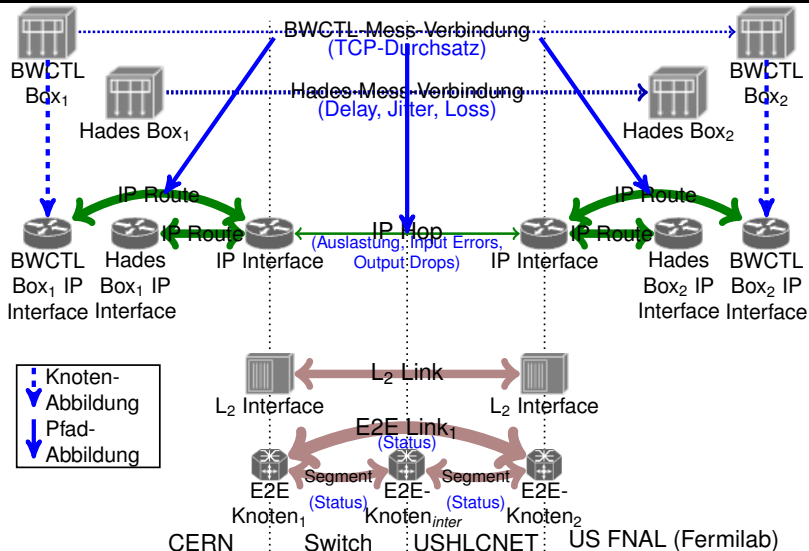


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



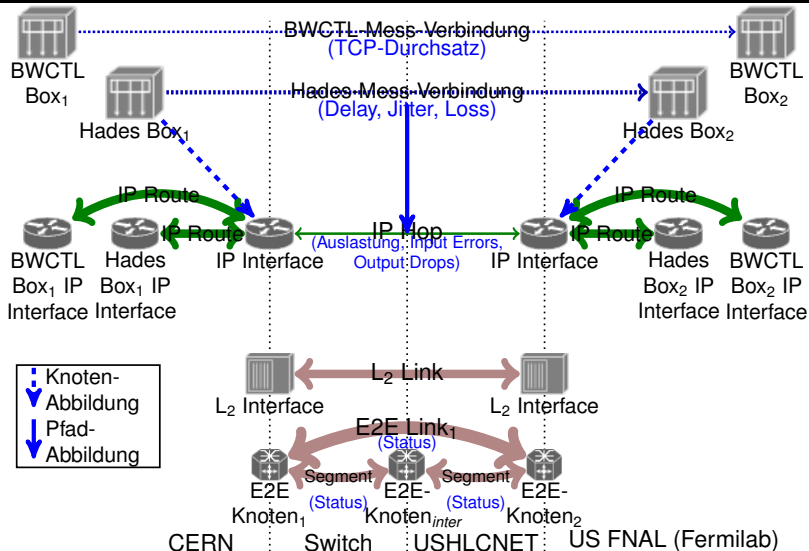
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



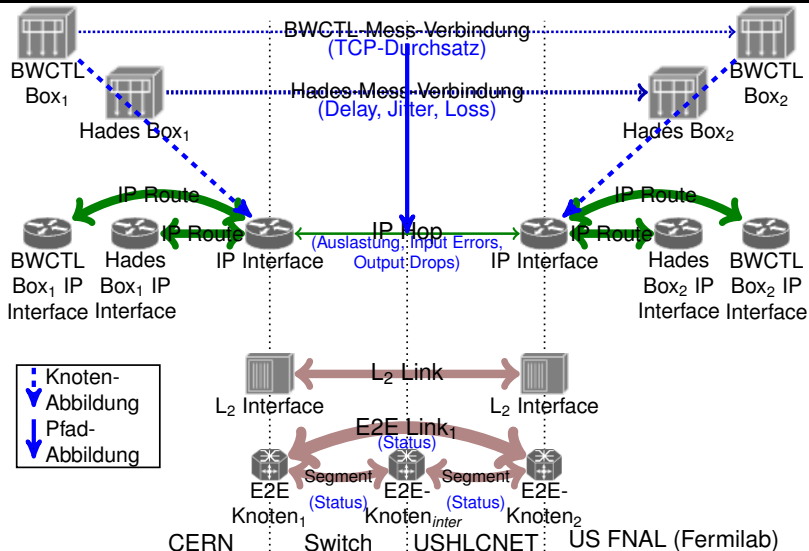
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

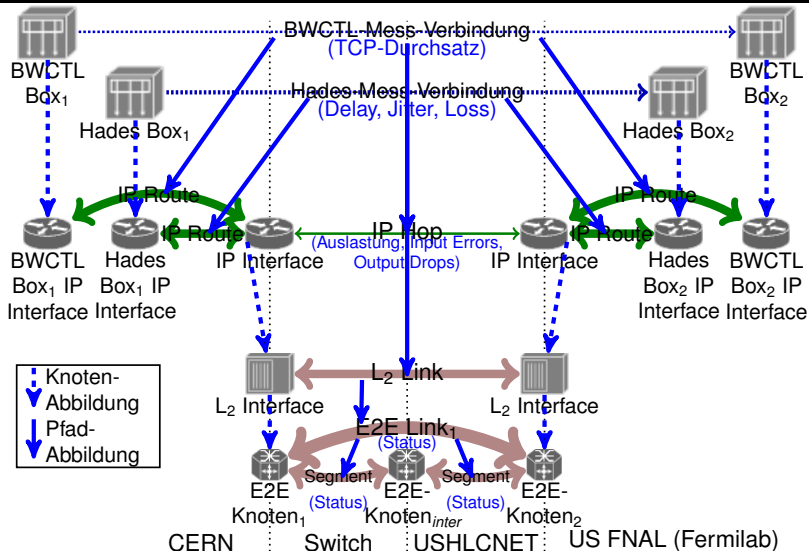


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



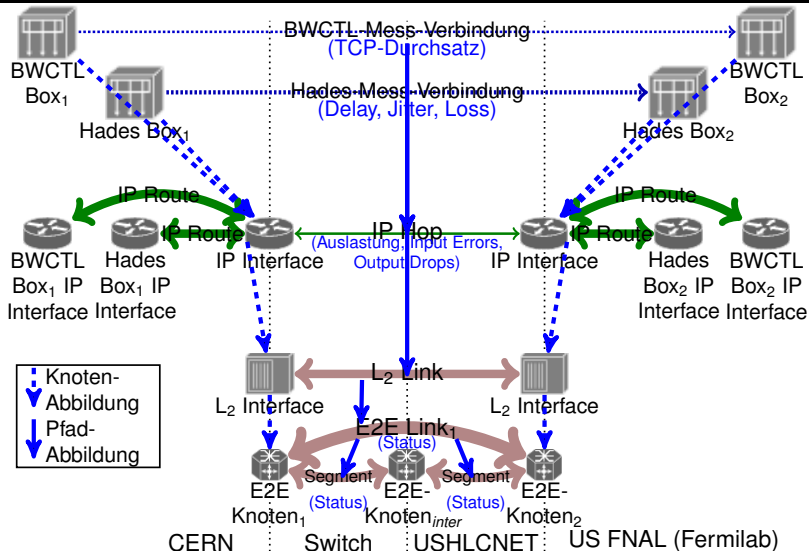
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



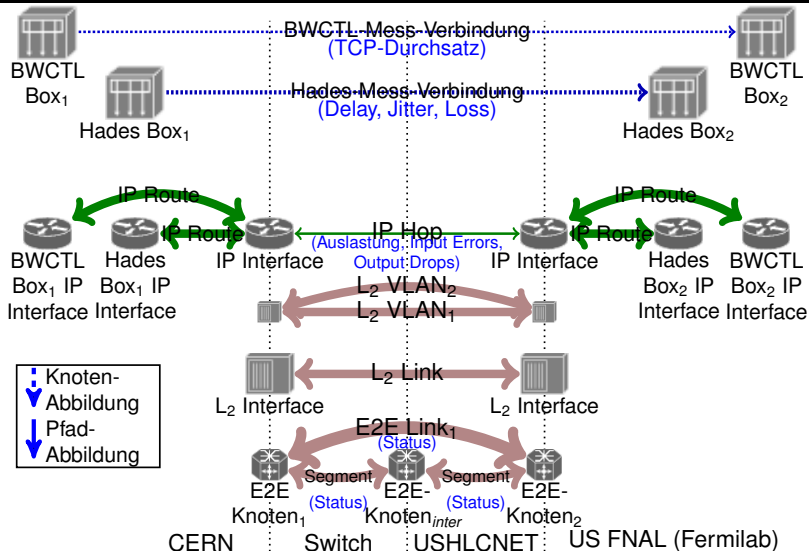
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick





# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

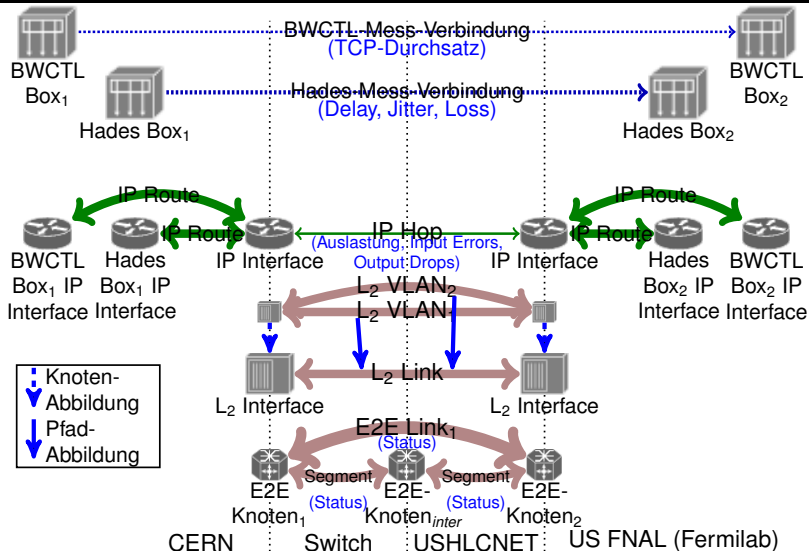


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

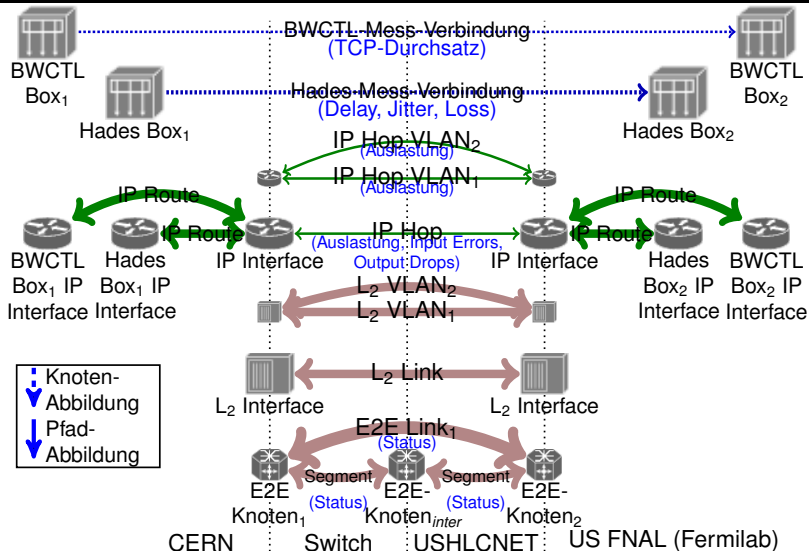


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

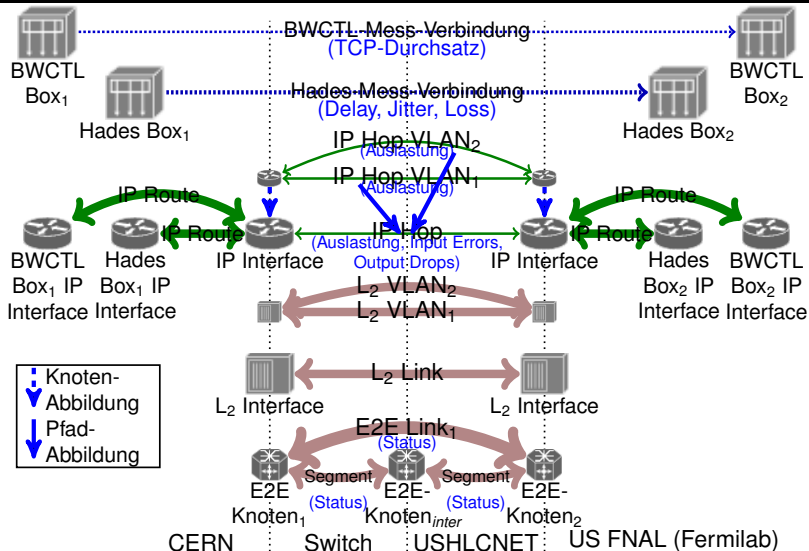


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

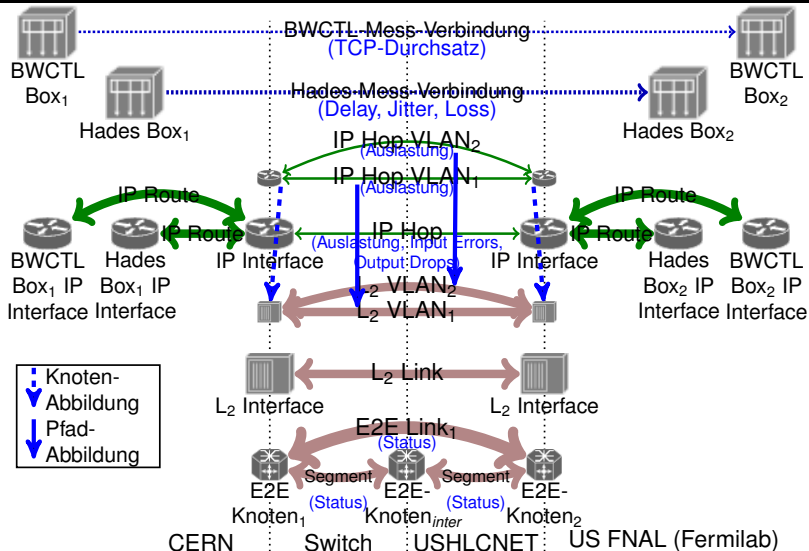


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

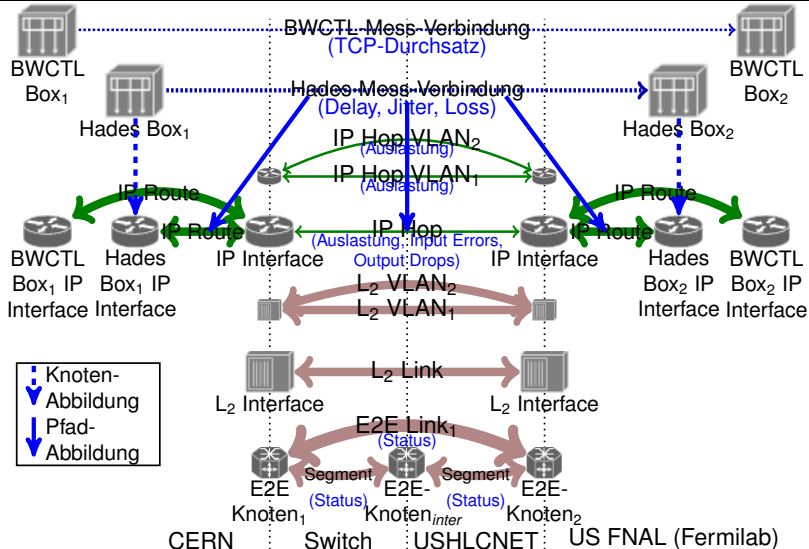


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

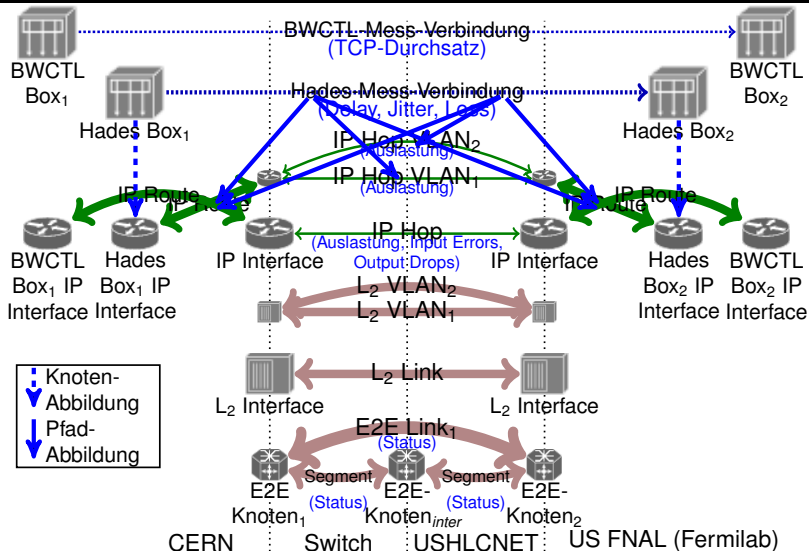


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



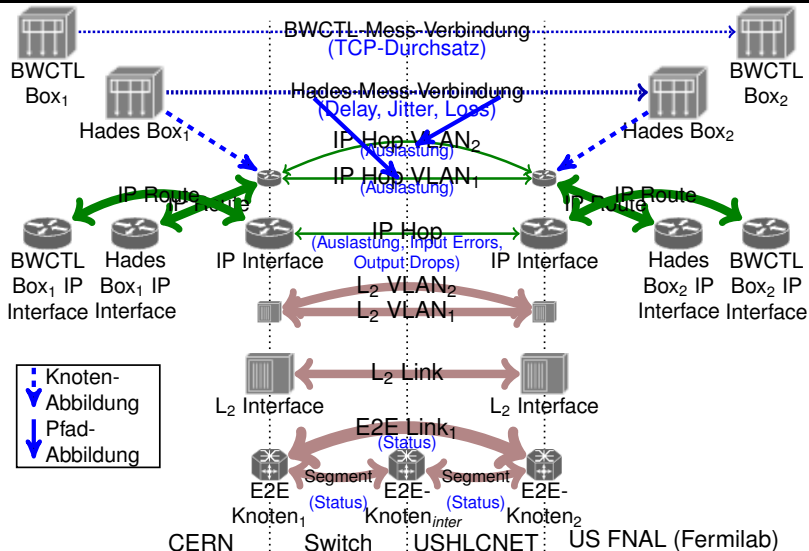
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

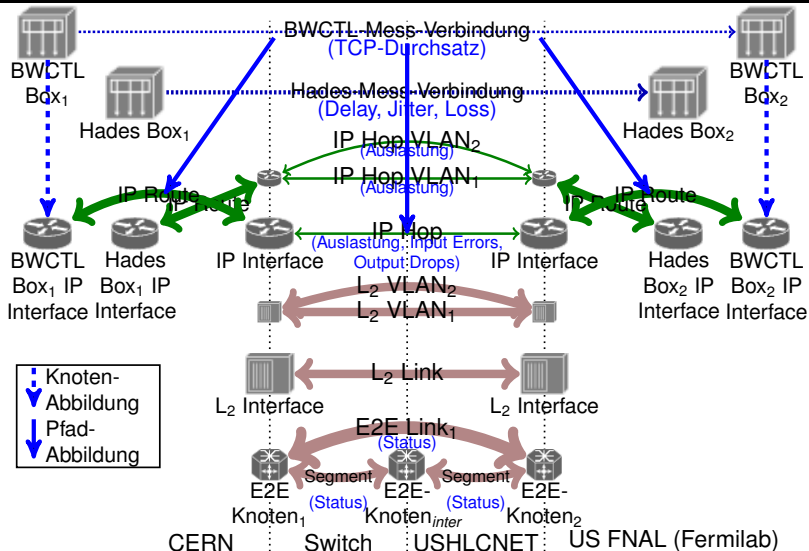
Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung



- Motivation: LHCOPN Wetterkarte
- Problem-Dimensionen
- Neue Topologie-Abbildungs-Notation
- Ausblick





# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

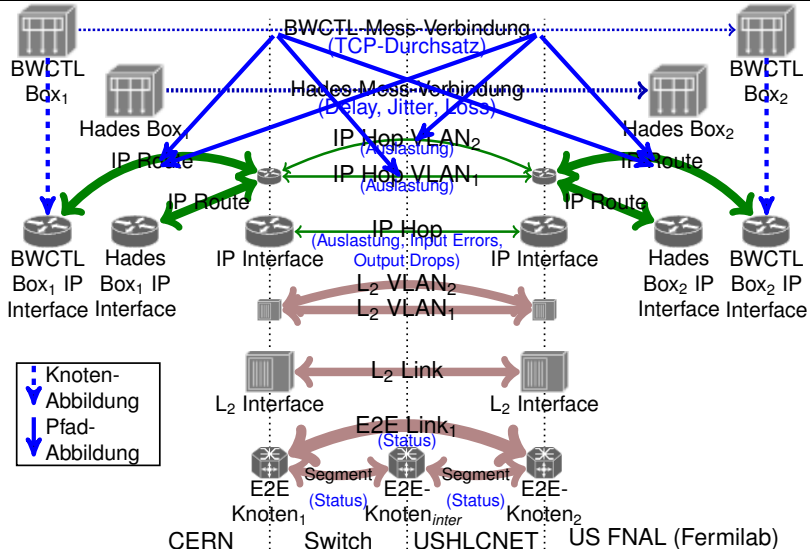


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

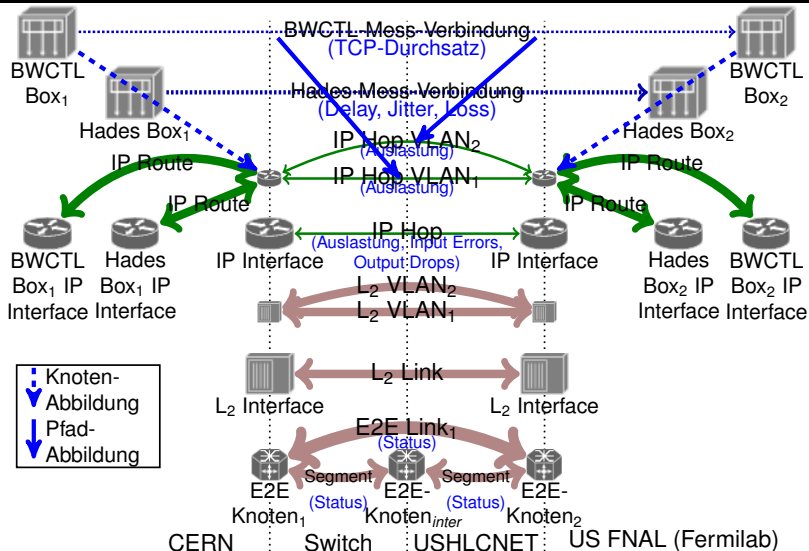


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

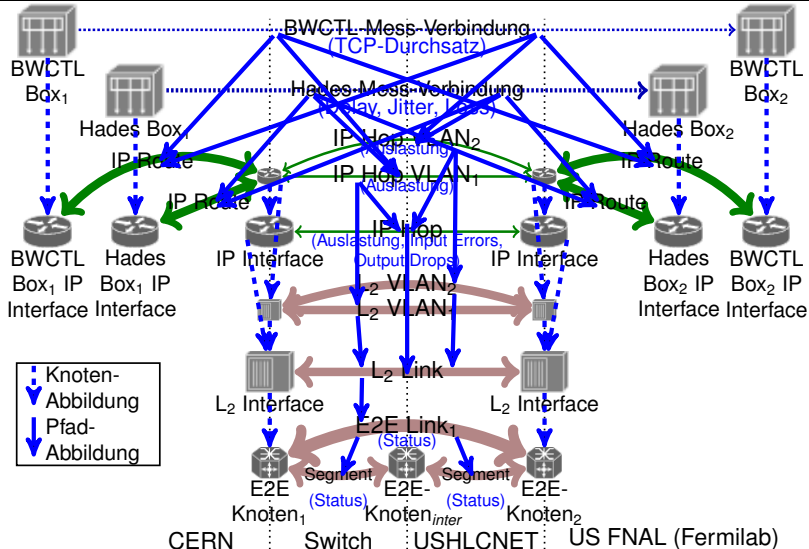
Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung



- Motivation: LHCOPN Wetterkarte
- Problem-Dimensionen
- Neue Topologie-Abbildungs-Notation
- Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

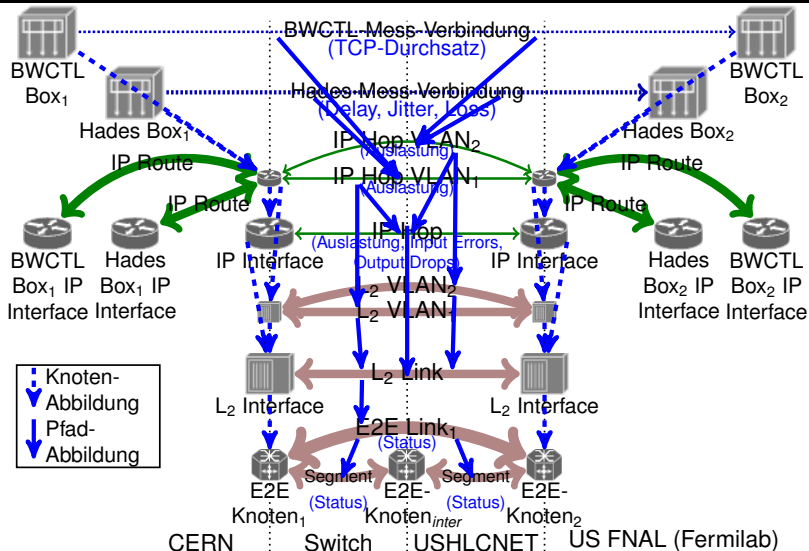


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

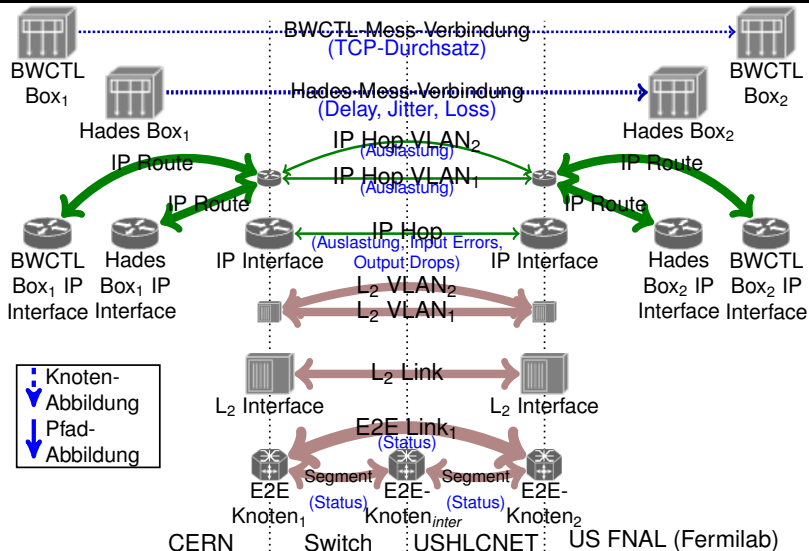


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

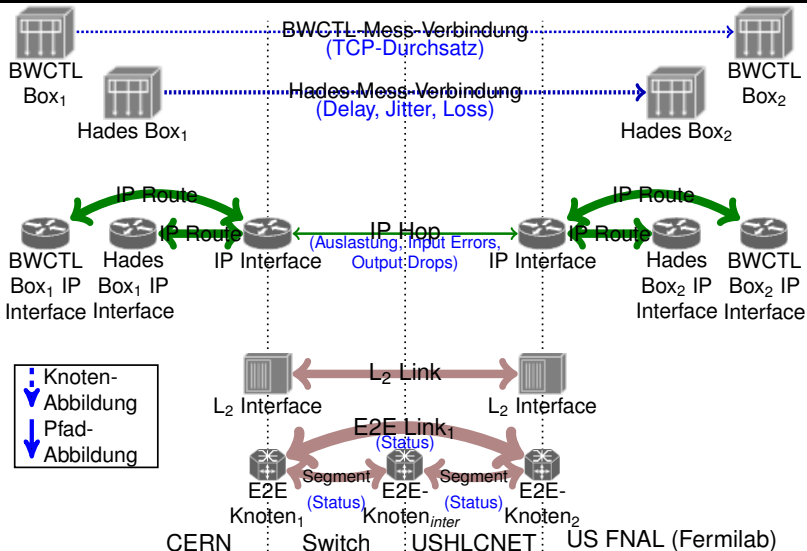


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



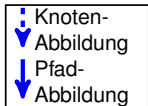
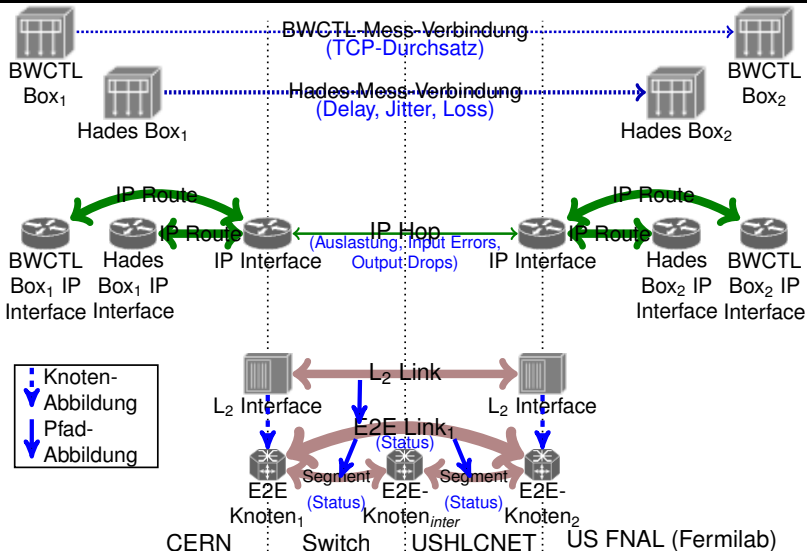
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

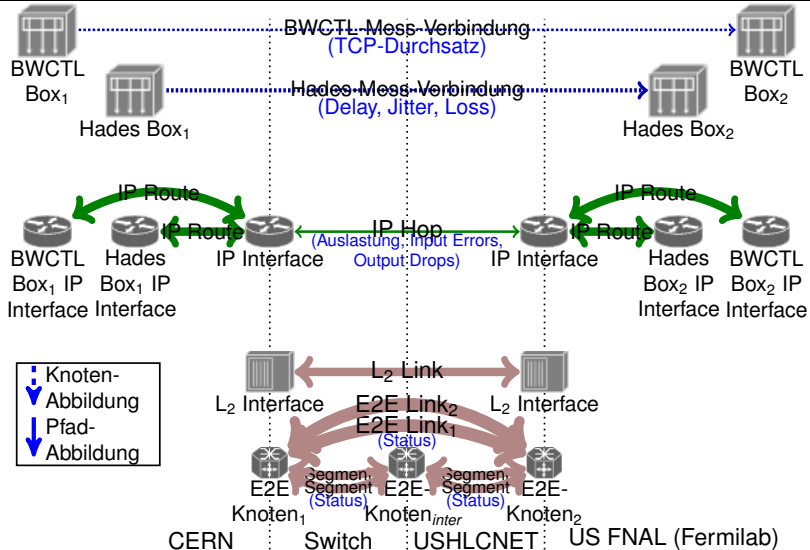


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick





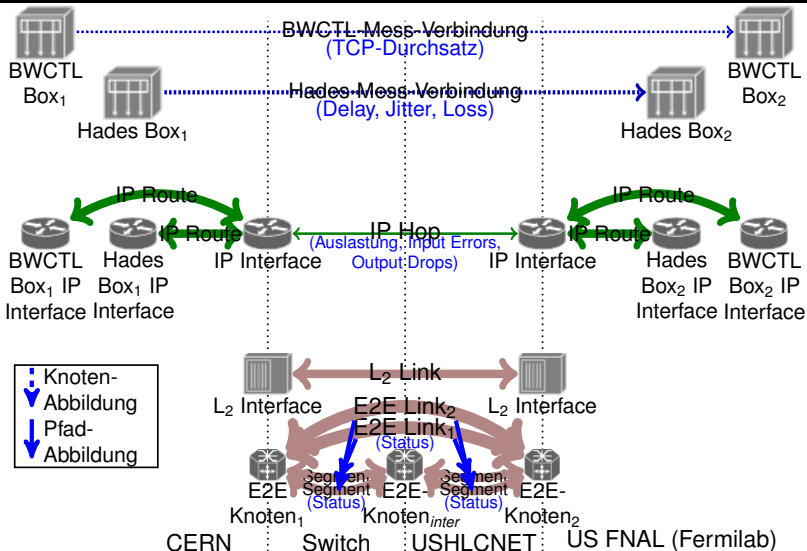
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



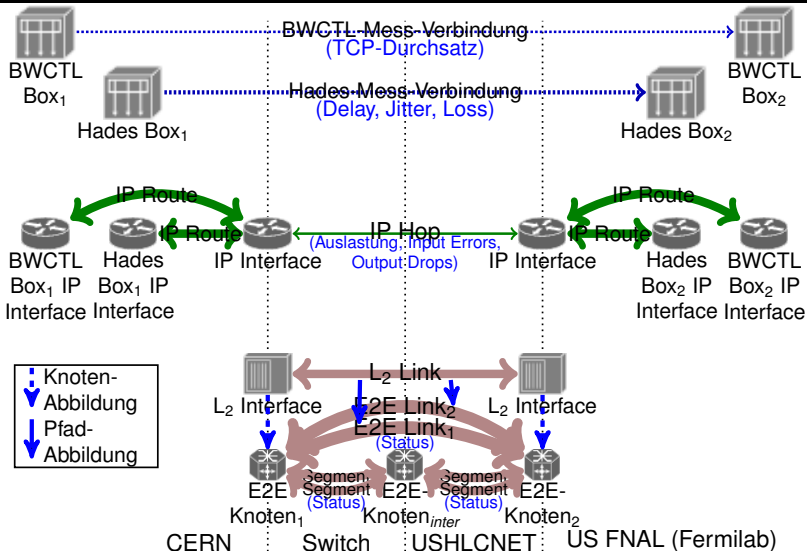
# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

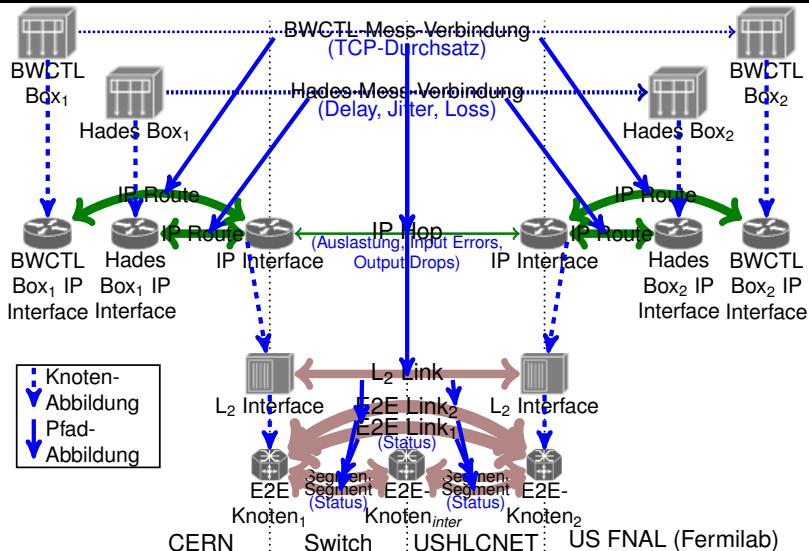


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

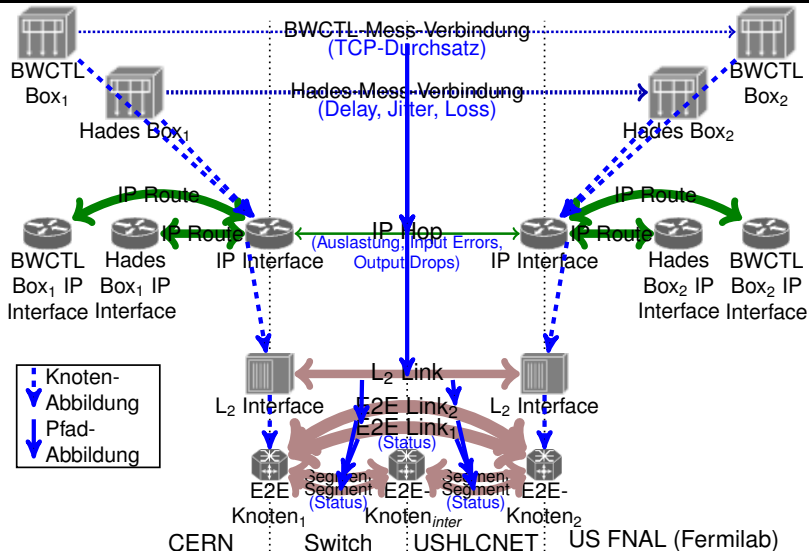


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

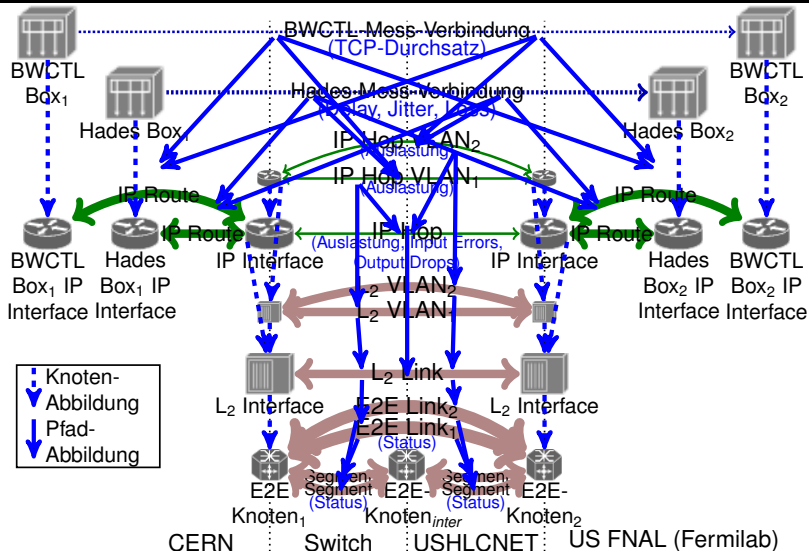


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie- und Metrik-Pfad-Abbildungen einer LHCOPN-Verbindung

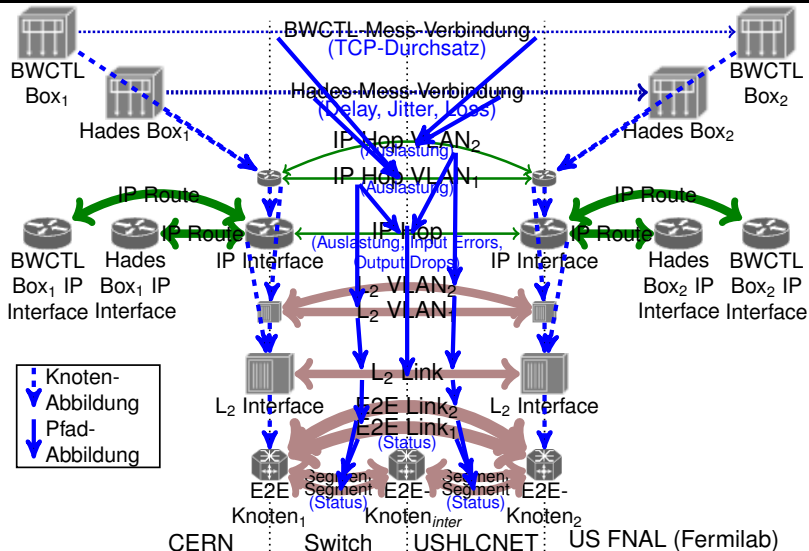


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Pro Schicht:
  - Metriken?
  - Scheduling?
  - Netz-Elemente (Knoten, Links, Pfade)?
  - Datenquellen und -formate (pro Element x Metrik)?
- Abbildung der Netz-Elemente (und Metriken) zwischen Schichten:
  - Abbildung der Netzknoten?
  - Abbildung der Pfade?
  - 1:n/n:1/n:m-Relationen zwischen Pfaden?
- Zuordnung der Metriken verschiedener Schichten?
- Änderung von Schichten und ihrer Abbildung?

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Pro Schicht:
  - Metriken?
  - Scheduling?



Am Ende nur spezialisierte Lösung  
für aktuelles Szenario!

- Abbildung der Netzknoten?
- Abbildung der Pfade?
- 1:n/n:1/n:m-Relationen zwischen Pfaden?
- Zuordnung der Metriken verschiedener Schichten?
- Änderung von Schichten und ihrer Abbildung?



- Generische, anpassbare/wiederverwendbare Lösung wünschenswert
- Was im Detail unterstützen?
  - Generische **Topologie-Abbildung** von Elementen (Knoten, Links und Pfaden) zwischen Schichten
  - Darauf aufbauend: Generische **Abbildung der Metriken** der Elemente (v.a. Pfaden)
- **Schichten/Domänen-übergreifende (Multi-Domän Multi-Layer) Sprache/Notation** wünschenswert
  - Allgemeingültig, Domänen/Technologie-unabhängig
  - Schicht-übergreifend: Abbildung der Pfade zwischen beliebigen Schichten
  - Für Verhandlung/Spezifikation, Design, Realisierung und Betrieb

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

1

Motivation: Schichten-übergreifende  
LHCOPN-Monitoring-Sicht

Problem-  
Dimensionen

2

Problem- und Szenario-Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

3

Schichten/Domänen-übergreifende  
Topologie-Abbildungs-Notation

Ausblick

4

Zusammenfassung/Ausblick

- Basisproblem: **allgemeingültige, Schichten/Domänen/Technologie-übergreifende Sprache/Notation** fehlt
  - Für Verhandlung/Spezifikation/Realisierung/Betrieb von Netz-Visualisierungen
  - Weitergehend als Grundlage für andere Monitoring-Fragestellungen, z.B. automatisierte Fehler-Korrelation
- ➔ Ziel: **Framework für allgemeingültiges Multi-Domän Multi-Layer Monitoring** auf Basis der Abbildungs-Notation
- Realisierung nicht beschränkt auf Modell-basierte Ansätze, sondern generelle Sprache

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

**Problem-  
Dimensionen**

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick


	QoS/S-Param	Topologie	Zeit	Funktionalitäten
Multi-Layer				
Multiple Technische Domänen				
Multiple Organisatorische Domänen				

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

	QoD/S-Param	Topologie	Zeit	Funktionalitäten
Multi-Layer				
Multiple Technische Domänen				
Multiple Organisatorische Domänen				

Als Basis für Topologie:  
Generische Topologie-Abbildungs-Muster dafür identifiziert

### Abbildung der Pfade

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- **Zwischen** (nicht notwendig direkt aufeinanderfolgender) **Schichten**: OSI-(Teil)-Schichten
- Oft von höherer Schicht zu niedriger
- Für z.B. Tunneling auch von niedriger Schicht zu höherer
- z.B.  
Hades-Location-ID-Paar auf IP-Adressen-Endpunkte-Paar,  
IP-Adressen-Endpunkte-Paar auf konkrete IP-Route,  
IP-Hop/Segment auf L2-E2E-Link(s),  
VLAN-Segment(e) auf Physisches IP-Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

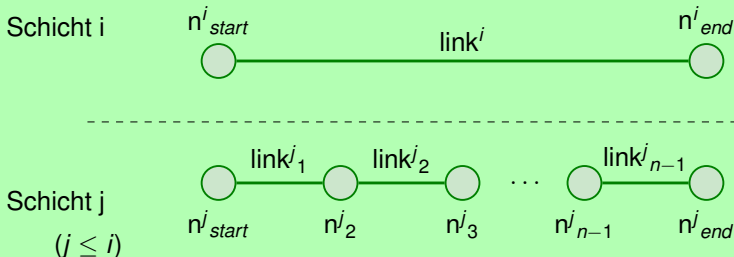
- Abstrakte Sicht auf Schichtung: (partiell geordnete)  
Schichtindex-Menge  $I \ni i, j$ , Schichtbezeichnung:  $L^i, L^j$
- 3 grundsätzliche Muster
  - 1 Link-Segmentierung  
 $L^i$ -Link  $\mapsto L^j$ -Pfad (=  $L^j$ -Links in Reihe)
  - 2 Link-Bündelung  
(Link-Aggregation, Bonding, Splitting, inverses Multiplexing)  
 $L^i$ -Link  $\mapsto n$   $L^j$ -Links (parallel)
  - 3 Link-Sharing  
(Link-Multiplexing)  
 $n$   $L^i$ -Links (parallel)  $\mapsto L^j$ -Link

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



- z.B.
  - 1  $L_2$ -E2E-Link auf  $n$  E2E-Domain-Segmente
  - 1 abstrakte IP-Verbindung (von..nach) auf 1 konkrete IP-Route
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf 1  $L^j$ -Pfad zwischen Bildknoten abbilden

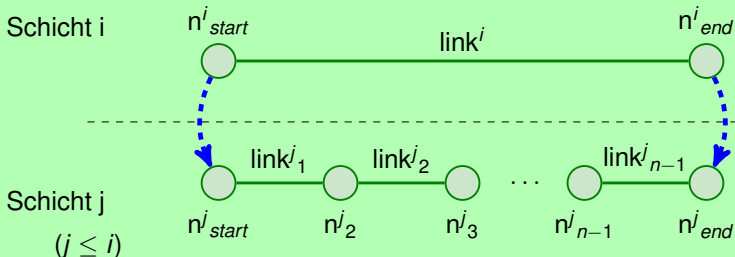


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



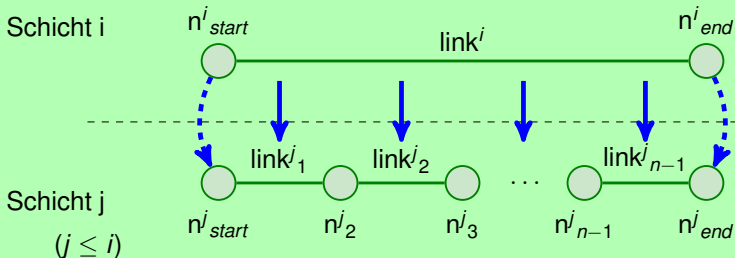
- z.B.
  - 1  $L_2$ -E2E-Link auf  $n$  E2E-Domain-Segmente
  - 1 abstrakte IP-Verbindung (von..nach) auf 1 konkrete IP-Route
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf 1  $L^j$ -Pfad zwischen Bildknoten abbilden

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



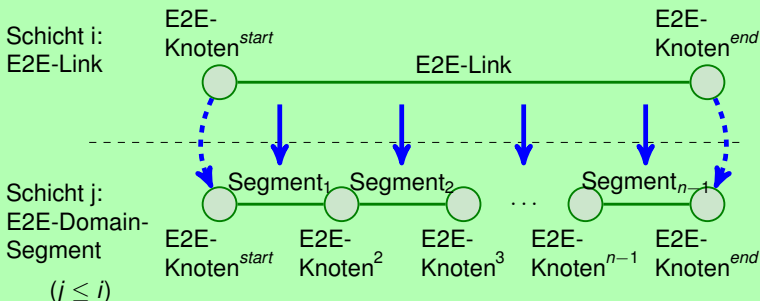
- z.B.
  - 1  $L_2$ -E2E-Link auf  $n$  E2E-Domain-Segmente
  - 1 abstrakte IP-Verbindung (von..nach) auf 1 konkrete IP-Route
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf 1  $L^j$ -Pfad zwischen Bildknoten abbilden

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



- z.B.
  - 1  $L_2$ -E2E-Link auf  $n$  E2E-Domain-Segmente
  - 1 abstrakte IP-Verbindung (von..nach) auf 1 konkrete IP-Route
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf 1  $L^j$ -Pfad zwischen Bildknoten abbilden

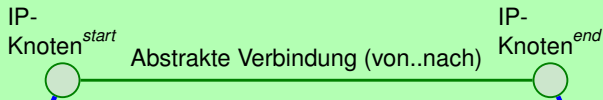
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

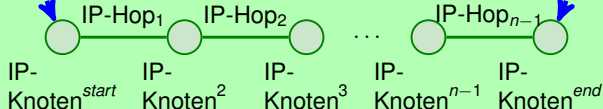
Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i:  
Abstrakte  
IP-  
Verbindung



Schicht j:  
Konkrete  
IP-Route  
( $j \leq i$ )



- z.B.
  - 1  $L_2$ -E2E-Link auf n E2E-Domain-Segmente
  - 1 abstrakte IP-Verbindung (von..nach) auf 1 konkrete IP-Route
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf 1  $L^j$ -Pfad zwischen Bildknoten abbilden

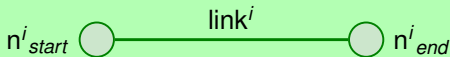
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

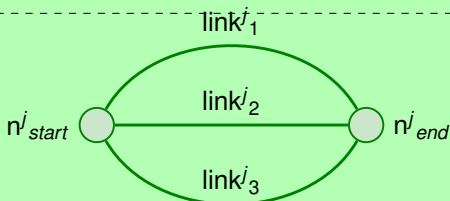
Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht  $i$



Schicht  $j$ ,  
( $j \leq i$ )



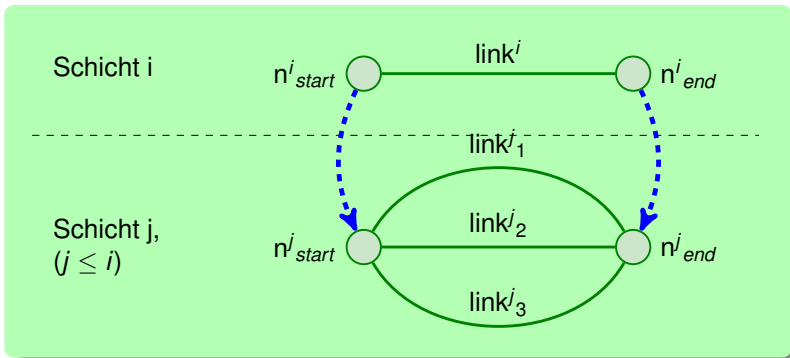
- z.B.
  - Ethernet-Link-Bundeling, d.h. Layer2 auf Layer2
  - IP-Verbindung (von..nach) auf  $n$  IP-Routen
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf  $n$   $L^j$ -Links zwischen den Bildknoten abbilden

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



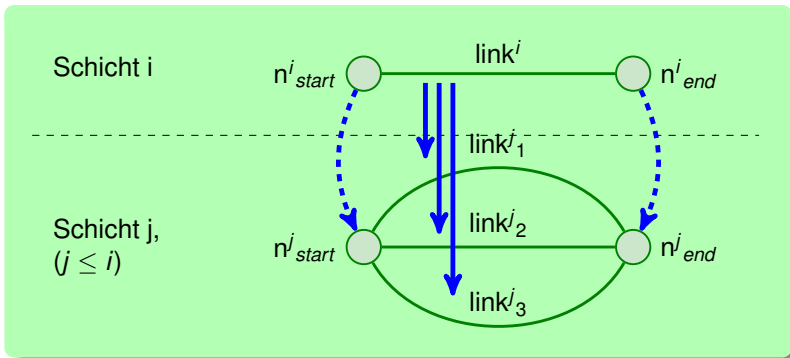
- z.B.
  - Ethernet-Link-Bundeling, d.h. Layer2 auf Layer2
  - IP-Verbindung (von..nach) auf n IP-Routen
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf n  $L^j$ -Links zwischen den Bildknoten abbilden

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



- z.B.
  - Ethernet-Link-Bundeling, d.h. Layer2 auf Layer2
  - IP-Verbindung (von..nach) auf n IP-Routen
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf n  $L^j$ -Links zwischen den Bildknoten abbilden

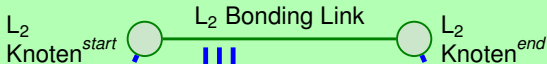
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

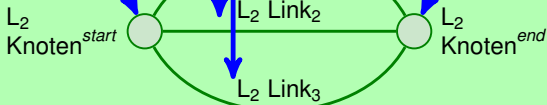
Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i:  
L<sub>2</sub> Link



Schicht j:  
L<sub>2</sub> Link,  
( $j \leq i$ )



- z.B.
  - Ethernet-Link-Bundeling, d.h. Layer2 auf Layer2
  - IP-Verbindung (von..nach) auf n IP-Routen
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf n  $L^j$ -Links zwischen den Bildknoten abbilden



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i:

Abstrakte

IP-Verbindung

IP-  
Knoten<sup>start</sup>

Verbindung (von..nach)

IP-  
Knoten<sup>end</sup>

IP-Route<sub>1</sub>

Schicht j:

IP-Route,

( $j \leq i$ )

IP-  
Knoten<sup>start</sup>

IP-Route<sub>2</sub>

IP-  
Knoten<sup>end</sup>

IP-Route<sub>3</sub>

- z.B.
  - Ethernet-Link-Bundeling, d.h. Layer2 auf Layer2
  - IP-Verbindung (von..nach) auf n IP-Routen
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf n  $L^j$ -Links zwischen den Bildknoten abbilden

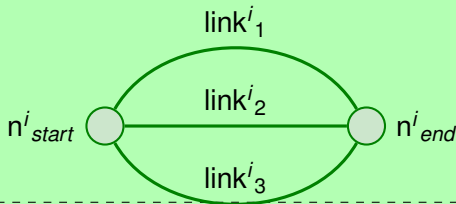
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

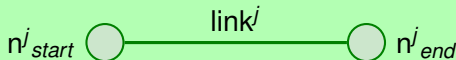
Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i



Schicht j



- z.B. mehrere VLANs auf einem Ethernet-Link
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n$   $L^i$ -Links auf 1  $L^j$ -Link zwischen den Bildknoten abbilden

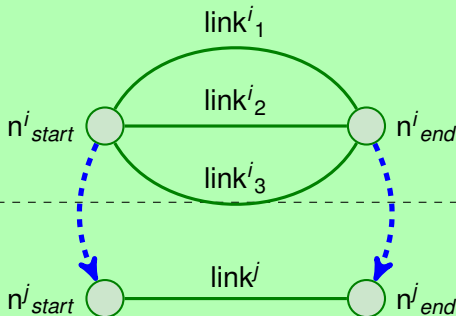
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i



Schicht j

- z.B. mehrere VLANs auf einem Ethernet-Link
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n$   $L^i$ -Links auf 1  $L^j$ -Link zwischen den Bildknoten abbilden

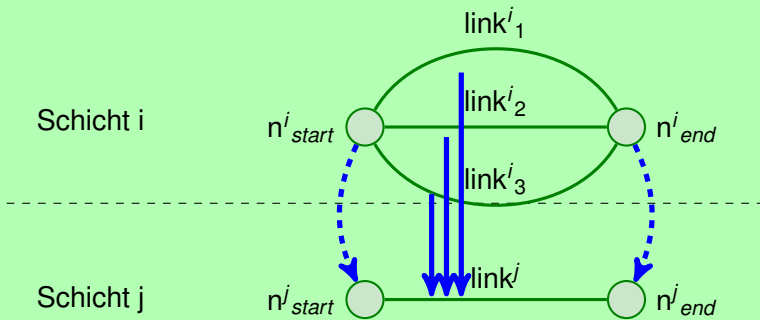
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i



- z.B. mehrere VLANs auf einem Ethernet-Link
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n$   $L^i$ -Links auf 1  $L^j$ -Link zwischen den Bildknoten abbilden

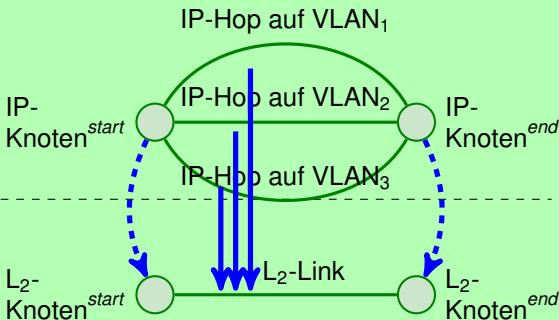
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i:  
IP-Hop



- z.B. mehrere VLANs auf einem Ethernet-Link
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n$   $L^i$ -Links auf 1  $L^j$ -Link zwischen den Bildknoten abbilden

# Multi-Domän

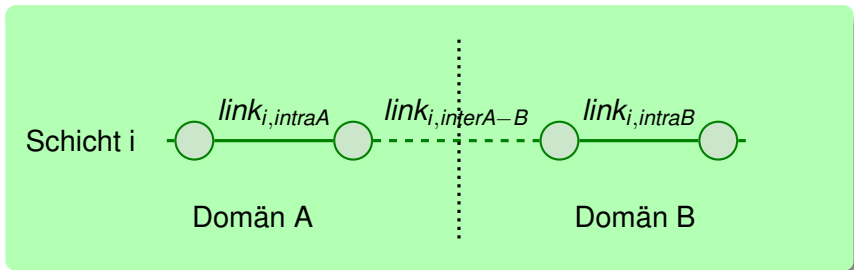
## Intra- und Inter-Domän Links pro Schicht

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

## 1 Motivation: Schichten-übergreifende LHCOPN-Monitoring-Sicht

Problem-  
Dimensionen

## 2 Problem- und Szenario-Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

## 3 Schichten/Domänen-übergreifende Topologie-Abbildungs-Notation

Ausblick

## 4 Zusammenfassung/Ausblick

- Ziel: Framework für allgemeingültiges Multi-Domän Multi-Layer Monitoring
- Bewährte Strukturierung im Netz/Systemmanagement [HAN99]:
  - Informationsmodell
    - Topologie-Information als Basis, z.B. von QoD/S
    - Grundlegende, einheitliche, Domänen-unabhängige Begriffe
    - Unterstützung der identifizierten Muster
  - Organisationsmodell
  - Kommunikationsmodell
  - Funktionsmodell

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



- Ziel: Framework für allgemeingültiges Multi-Domän Multi-Layer Monitoring
- Bewährte Strukturierung im Netz/Systemmanagement [HAN99]:
  - Informationsmodell
    - Topologie-Information als Basis, z.B. von QoD/S
    - Grundlegende, einheitliche, Domänen-unabhängige Begriffe
    - Unterstützung der identifizierten Muster



Vorschlag: neue Schichten/Domänen-übergreifende  
Topologie-Abbildungs-Notation

- Organisationsmodell
- Kommunikationsmodell
- Funktionsmodell

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Auf Basis von **gerichteten Multi-Graphen**:
- Jede Schicht  $L^i, i \in I$  dargestellt als Graph
- Abbildungen zwischen Pfaden verschiedener Schichten
  - Knoten funktional (partiell oder total) abgebildet
  - Pfade relational (1:n,n:1,n:m) abgebildet, passend zur Abbildung ihrer Start/End-Knoten
  - Identifizierte 3 Abbildungs-Muster unterstützt
- ① Notation für Pfad-Abbildungen:  
 $p_1^i, p_2^i, \dots, p_n^i \mapsto p_1^j, p_2^j, \dots, p_m^j$
- ② Entsprechende mengentheoretische Notation

Schicht  $L^i$ ,  $i \in I$ , als gerichteter Multi-Graph:

- Knoten  $v^i \in V^i$
- Kanten (Links)  $e^i \in E^i$  von  $\text{start}(e^i)$  nach  $\text{end}(e^i)$
- Pfade  $p^i = [e_1^i, \dots, e_n^i]$  von  $\text{start}(p^i)$  nach  $\text{end}(p^i)$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

## Definition

Die **Einfach-Pfad-Abbildung zwischen  $p^i$  und  $p^j$** ,  
Pfaden  $p^i \in P^i$  und  $p^j \in P^j$  auf Schicht  $i$  bzw.  $j$ ,  
definiert als:  $(p^i, p^j) \in P^i \times P^j$

Beschreibt die Beziehung  $p^i \mapsto p^j$  zwischen den Pfaden

Start/Endknoten werden hierbei entsprechend abgebildet:

$\text{start}(p^i) \mapsto \text{start}(p^j)$

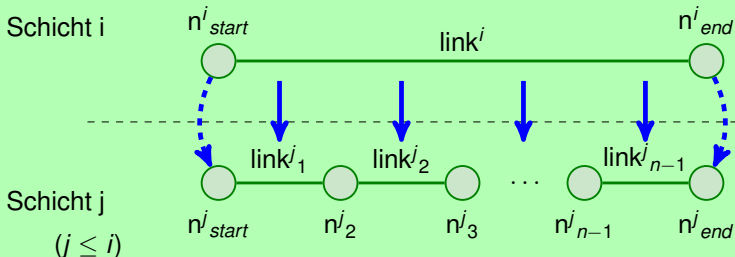
$\text{end}(p^i) \mapsto \text{end}(p^j)$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



- z.B.
  - 1  $L_2$ -E2E-Link auf  $n$  E2E-Domain-Segmente
  - 1 abstrakte IP-Verbindung (von..nach) auf 1 konkrete IP-Route
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf 1  $L^j$ -Pfad zwischen Bildknoten abbilden

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

## Notation

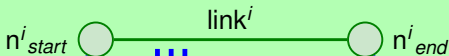
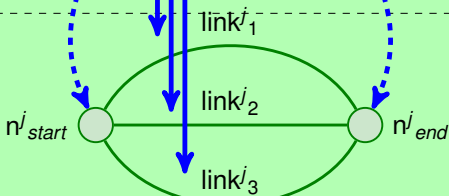
**Link-Segmentierung** dargestellt als Einfach-Pfad-Abbildung:

Eine **Link-Segmentierung**

$$p^i = [e^i] \mapsto p^j = [e_1^j, e_2^j, \dots, e_n^j]$$

werde repräsentiert als  $(p^i, p^j)$  bzw.

ein-elementige Menge davon:  $\{(p^i, p^j)\} \subset P^i \times P^j$

Schicht  $i$ Schicht  $j$ ,  
( $j \leq i$ )

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- z.B.
  - Ethernet-Link-Bundeling, d.h. Layer2 auf Layer2
  - IP-Verbindung (von..nach) auf  $n$  IP-Routen
- $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $L^i$ -Link auf  $n$   $L^j$ -Links zwischen den Bildknoten abbilden

### Notation

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

**Link-Bündelung** als Menge von Einfach-Pfad-Abbildungen mit gleichen Bild-Start/Endknoten:

für Pfad  $p^i \in P^i$  auf Schicht  $i$  und  
 $n$  gebündelte Pfade  $p_1^j, p_2^j, \dots, p_n^j \in P^j$  auf Schicht  $j$  mit  $i \geq j$ ,

$\text{start}(p_k^j) = v_{\text{start}}^j = \text{const}$ ,

$\text{end}(p_k^j) = v_{\text{end}}^j = \text{const}$  ( $k = 1, \dots, n$ ),

werde die **Link-Bündelung**  $p^j \mapsto p_1^j, p_2^j, \dots, p_n^j$

repräsentiert durch die Relation

$\{(p^j, p_1^j), (p^j, p_2^j), \dots, (p^j, p_n^j)\} \subset P^i \times P^j$

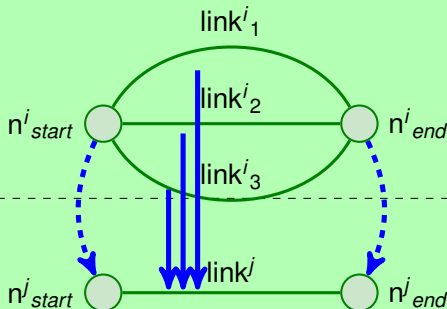
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Schicht i



Schicht j

- z.B. mehrere VLANs auf einem Ethernet-Link
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Startknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- Gemeinsamen  $L^i$ -Link-Endknoten auf 1  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n$   $L^i$ -Links auf 1  $L^j$ -Link zwischen den Bildknoten abbilden



### Notation

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

**Link-Sharing** als Menge von Einfach-Pfad-Abbildungen mit gleichen Ursprungs-Start/End-Knoten:

für  $n$  (ge-multiplexte) Pfade  $p_1^i, p_2^i, \dots, p_n^i \in P^i$  auf Schicht  $i$  und deren gemeinsamen Pfad  $p^j \in P^j$  auf Schicht  $j$ , mit  $i \geq j$ ,

$\text{start}(p_k^i) = v_{\text{start}}^i = \text{const}$ ,

$\text{end}(p_k^i) = v_{\text{end}}^i = \text{const}$  ( $k = 1, \dots, n$ ),

werde das **Link-Sharing**  $p_1^i, p_2^i, \dots, p_n^i \mapsto p^j$

repräsentiert durch die Relation

$\{(p_1^i, p^j), (p_2^i, p^j), \dots, (p_n^i, p^j)\} \subset P^i \times P^j$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

### Folgerung

**Link-Segmentierung,**  
**Link-Bündelung,**  
**Link-Sharing**

jeweils als Menge von **Einfach-Pfad-Abbildungen**

- mit kompatiblen Start/Endknoten -

d.h. als **Teilmenge von  $P^i \times P^j$**

(= **Relation zwischen  $P^i$  und  $P^j$** ) darstellbar

### Notation

#### **Kombination** der Muster:

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

*n ge-multiplexte Links auf Schicht i,  
die sich Bündelung von m Links auf Schicht j ( $i \geq j$ ) teilen:*

$p_1^i, p_2^i, \dots, p_n^i \mapsto p_1^j, p_2^j, \dots, p_m^j$  mit

$\text{start}(p_k^i) = v_{\text{start}}^i = \text{const}$ ,

$\text{end}(p_k^i) = v_{\text{end}}^i = \text{const}$  ( $k = 1, \dots, n$ ),

$\text{start}(p_k^j) = v_{\text{start}}^j = \text{const}$ ,

$\text{end}(p_k^j) = v_{\text{end}}^j = \text{const}$  ( $k = 1, \dots, m$ ),

*werde repräsentiert durch die Relation*

$\{ (p_1^i, p_1^j), (p_1^i, p_2^j), \dots, (p_1^i, p_m^j),$

$(p_2^i, p_1^j), (p_2^i, p_2^j), \dots, (p_2^i, p_m^j),$

$\dots$

$(p_n^i, p_1^j), (p_n^i, p_2^j), \dots, (p_n^i, p_m^j) \} \subset P^i \times P^j$

# Multi-Domän

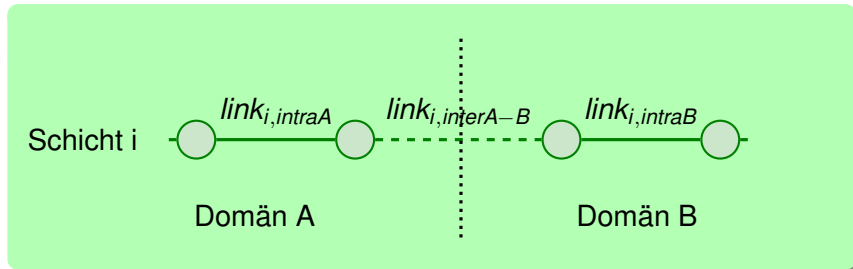
## Intra- und Inter-Domän Links pro Schicht

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



## Notation

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

**Multi-Domän Knoten-Notation**, pro Schicht  $i$ :

*technische bzw. organisatorische Domäns*

als **Zugehörigkeits-Eigenschaft der Knoten  $V^i$**  repräsentiert:

$$\text{dom}_{tech}^i : V^i \rightarrow D_{tech}$$

$$\text{dom}_{org}^i : V^i \rightarrow D_{org}$$

wobei  $D_{tech}$  bzw.  $D_{org}$  = Menge vorkommender  
technischer bzw. organisatorischer Domäns

**Multi-Domän Link-Notation**, pro Schicht  $i$ :

Von Zugehörigkeit der Knoten ableitbar

1

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Motivation: Schichten-übergreifende  
LHCOPN-Monitoring-Sicht

Problem-  
Dimensionen

2

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Problem- und Szenario-Dimensionen

Ausblick

3

Schichten/Domänen-übergreifende  
Topologie-Abbildungs-Notation

4

Zusammenfassung/Ausblick

- Fragestellung identifiziert: Allgemeingültige Netz-Topologie-Abbildungs-Sprache fehlt
  - Schichten/Domänen-übergreifend
  - Zum Abbilden von (Nutz/Mess)-Pfadern zwischen Schichten
  - Technologie-unabhängig
- Problem-Dimensionen identifiziert:
  - QoD/S
  - Topologie: Topologie-Abbildungsmuster
  - Zeitabhängigkeit von Topologie/Messung
  - Netz-Funktionalitäten (Nutzung, Management)
- Basis für Informationsmodell:
  - Allgemeingültige Graphen/Mengen-theoretische Netz-Topologie-Abbildungs-Notation

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

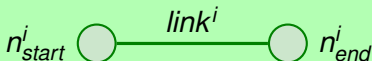
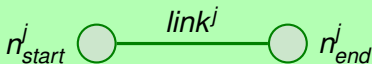
Ausblick

- Explizite Unterstützung von Tunneling/Virtuellen Links
- Organisations-, Kommunikations-, Funktions-Modell
- Einordnung existierender, verwendbarer Arbeiten in Framework
  - z.B. NSL, OGF-NML:
    - Ansatz zur Beschreibung vieler Netztechnologien
    - Keine allgemeingültig anwendbare Sicht auf Pfade Schichten-übergreifend
- Einsatz:
  - Formale Spezifikation bereits bei Verhandlung
  - Automatisierte Verfolgung der Pfad-Abhängigkeiten zwischen Schichten



---

# Fragen?

Schicht  $i$ Schicht  $j$ 

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

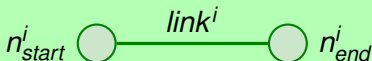
Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

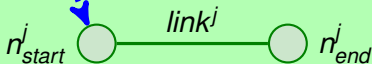
Ausblick

- Für Tunnel-Links (von einem Host zum anderen)
- Keine Bedingungen bezüglich  $i$  und  $j$  allgemein gefordert (oft aber  $i \leq j$ , z.B. ssh-TAP-Tunneling  $i = 2, j = 7$ )
- Link-Endknoten- $L^i$   $L^i$  auf 1  $L^j$ -Link-Endknoten abbilden
- $L^i$ -Links entspricht 1  $L^j$ -Link
- Nur Spezialfall von Link-Segmentierungs-Muster (ohne Bedingungen an  $i, j$ )

Schicht  $i$



Schicht  $j$



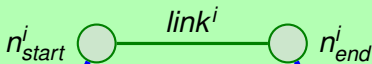
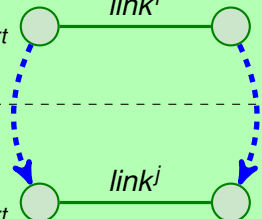
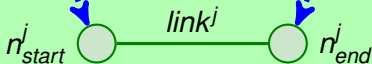
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Für Tunnel-Links (von einem Host zum anderen)
- Keine Bedingungen bezüglich  $i$  und  $j$  allgemein gefordert (oft aber  $i \leq j$ , z.B. ssh-TAP-Tunneling  $i = 2, j = 7$ )
- Link-Endknoten- $L^i$  auf 1  $L^j$ -Link-Endknoten abbilden
- $L^i$ -Links entspricht 1  $L^j$ -Link
- Nur Spezialfall von Link-Segmentierungs-Muster (ohne Bedingungen an  $i, j$ )

Schicht  $i$ Schicht  $j$ 

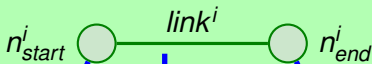
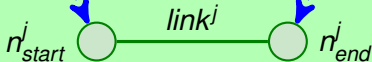
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Für Tunnel-Links (von einem Host zum anderen)
- Keine Bedingungen bezüglich  $i$  und  $j$  allgemein gefordert (oft aber  $i \leq j$ , z.B. ssh-TAP-Tunneling  $i = 2, j = 7$ )
- Link-Endknoten- $L^i$  auf 1  $L^j$ -Link-Endknoten abbilden
- $L^i$ -Links entspricht 1  $L^j$ -Link
- Nur Spezialfall von Link-Segmentierungs-Muster (ohne Bedingungen an  $i, j$ )

Schicht  $i$ Schicht  $j$ 

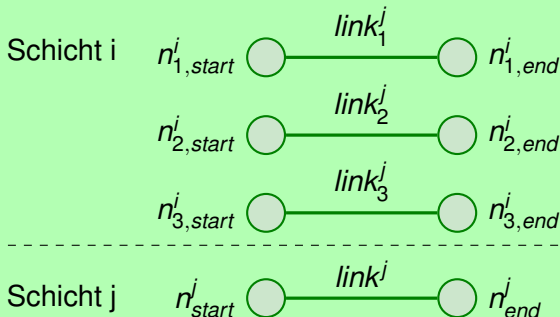
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Für Tunnel-Links (von einem Host zum anderen)
- Keine Bedingungen bezüglich  $i$  und  $j$  allgemein gefordert (oft aber  $i \leq j$ , z.B. ssh-TAP-Tunneling  $i = 2, j = 7$ )
- Link-Endknoten- $L^i$   $L^i$  auf 1  $L^j$ -Link-Endknoten abbilden
- $L^i$ -Links entspricht 1  $L^j$ -Link
- Nur Spezialfall von Link-Segmentierungs-Muster (ohne Bedingungen an  $i, j$ )



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

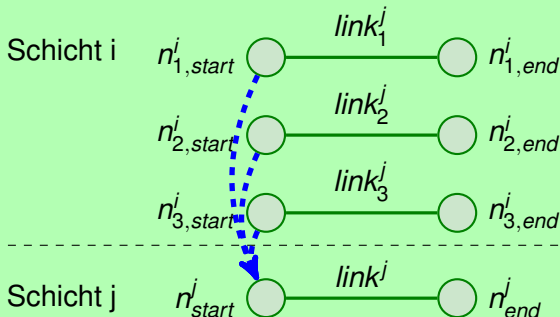
- für  $n$  virtuelle IP-Hops (von virtuellen Hosts) auf 1 phys. IP-Hop
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Startknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Endknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Links auf gleichen  $L^j$ -Link zwischen Bildknoten abbilden
- Verallgemeinerung von Link-Sharing, mit unterschiedlichen Ursprungs-Link-Start/Endknoten, und beliebigen  $i, j$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



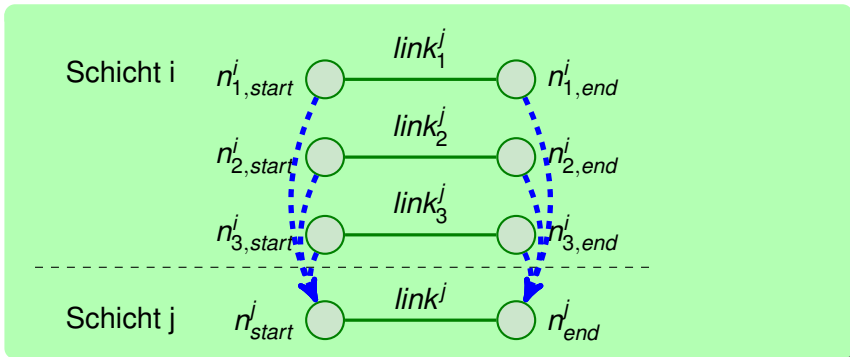
- für  $n$  virtuelle IP-Hops (von virtuellen Hosts) auf 1 phys. IP-Hop
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Startknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Endknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Links auf gleichen  $L^j$ -Link zwischen Bildknoten abbilden
- Verallgemeinerung von Link-Sharing, mit unterschiedlichen Ursprungs-Link-Start/Endknoten, und beliebigen  $i, j$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



- für  $n$  virtuelle IP-Hops (von virtuellen Hosts) auf 1 phys. IP-Hop
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Startknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Endknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Links auf gleichen  $L^j$ -Link zwischen Bildknoten abbilden
- Verallgemeinerung von Link-Sharing, mit unterschiedlichen Ursprungs-Link-Start/Endknoten, und beliebigen  $i, j$

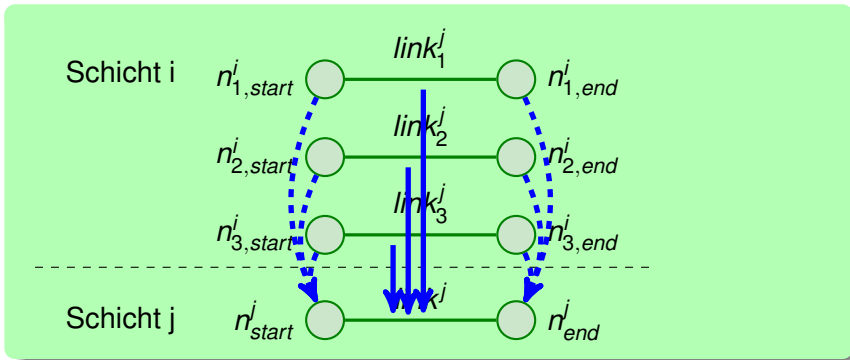


Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



- für  $n$  virtuelle IP-Hops (von virtuellen Hosts) auf 1 phys. IP-Hop
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Startknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Link-Endknoten auf gleichen  $L^j$ -Knoten abbilden
- $n(=3)$   $L^i$ -Links auf gleichen  $L^j$ -Link zwischen Bildknoten abbilden
- Verallgemeinerung von Link-Sharing, mit unterschiedlichen Ursprungs-Link-Start/Endknoten, und beliebigen  $i, j$

### Definition

*Pro Schicht  $i$ :*

Ein **Link** wird definiert als eine Kante  $e^i \in E^i$  von **Start-Knoten**  $v_{start}^i$  zu **End-Knoten**  $v_{end}^i$ , mit  $v_{start}^i, v_{end}^i \in V^i$ ,  
 $E^i$  = Menge aller möglichen Links (=Kanten),  
 $V^i$  = Menge aller möglichen Knoten, auf Schicht  $i$

*Notationen für Knoten/Kanten-Beziehungen:*

$start : E^i \rightarrow V^i$  mit Start-Knoten  $start(e^i) = v_{start}^i$

$end : E^i \rightarrow V^i$  mit End-Knoten  $end(e^i) = v_{end}^i$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

### Definition

*Pro Schicht  $i$ :*

Ein **Pfad**  $p^i \in P^i$  von **Start-Knoten**  $v_{start}^i$  zu **End-Knoten**  $v_{end}^i$  ist (geordnete) Folge von Links  $p^i = [e_1^i, e_2^i, \dots, e_n^i]$ , mit

$e_1^i, e_2^i, \dots, e_n^i \in E$ ,

$v_{start}^i = \text{start}(e_1^i)$ ,

$\text{end}(e_{k-1}^i) = \text{start}(e_k^i)$ , für  $k = 2, \dots, n$ ,

$v_{end}^i = \text{end}(e_n^i)$

*Notationen für Knoten/Kanten-Beziehungen:*

$\text{start} : P^i \rightarrow V^i$  mit Start-Knoten  $\text{start}(p^i) = v_{start}^i$

$\text{end} : P^i \rightarrow V^i$  mit End-Knoten  $\text{end}(p^i) = v_{end}^i$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

## Definition

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Für 2 Pfade  $p^i \in P^i$  und  $p^j \in P^j$  auf Schicht  $i$  bzw.  $j$ ,  
wird die **Einfach-Pfad-Abbildung** zwischen  $p^i$  und  $p^j$  definiert  
als das Element  $(p^i, p^j)$  der vollen Relation  $P^i \times P^j$

Beschreibt Beziehung  $p^i \mapsto p^j$  zwischen den 2 Pfaden:

$p^i = [e_1^i, e_2^i, \dots, e_n^i]$  von  $\text{start}(p^i) = \text{start}(e_1^i)$  nach  $\text{end}(p^i) = \text{end}(e_n^i)$

$p^j = [e_1^j, e_2^j, \dots, e_m^j]$  von  $\text{start}(p^j) = \text{start}(e_1^j)$  nach  $\text{end}(p^j) = \text{end}(e_m^j)$

Start/End-Knoten hierdurch entsprechend abgebildet:

$\text{start}(p^i) \mapsto \text{start}(p^j)$

$\text{end}(p^i) \mapsto \text{end}(p^j)$

### Notation

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

**Multi-Domän Knoten**-Notation, pro Schicht  $i$ :

*technische bzw. organisatorische Domäns*

als **Zugehörigkeits-Eigenschaft der Knoten  $V^i$**  repräsentiert:

$$\text{dom}_{\text{tech}}^i : V^i \rightarrow D_{\text{tech}}$$

$$\text{dom}_{\text{org}}^i : V^i \rightarrow D_{\text{org}}$$

wobei  $D_{\text{tech}}$  bzw.  $D_{\text{org}}$  = Menge vorkommender  
technischer bzw. organisatorischer Domäns

Kurznotation für  $v^i \in V^i$  mit  $\text{dom}_X^i(v^i) = d$  :  $v^i, d_X$

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

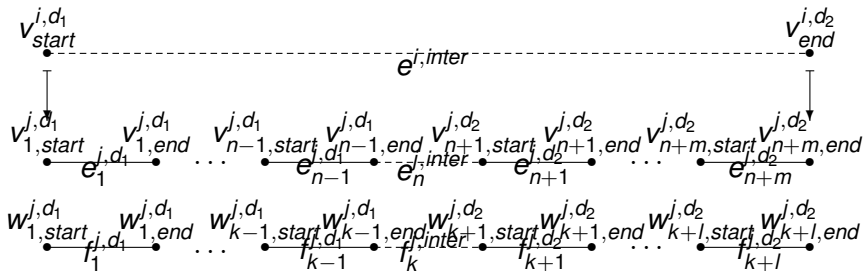
## Notation

**Multi-Domän Link**-Notation, pro Schicht  $i$ :  
Von Zugehörigkeit der Knoten ableitbar

Kurznotation:

**Intra-Domän Link**  $e^i \in E^i$  in Domän  $d$   
(technisch oder organisatorisch) :  $e^{i,d}$

**Inter-Domän Links**  $e^i$  von Domän  $d_1$  nach  $d_2$  :  $e^{i,inter(d_1,d_2)}$



- Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte
- Problem-  
Dimensionen
- Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation
- Ausblick
-  A. Dhamdhere, R. Teixeira, C. Dovrolis und C. Diot.  
NetDiagnoser: Troubleshooting network unreachabilities using end-to-end probes and routing data.  
In *Proceedings of the 2007 ACM CoNEXT conference*, page 18. ACM, 2007.
-  R. Gopal.  
Layered model for supporting fault isolation and recovery.  
In *Network Operations and Management Symposium, 2000. NOMS 2000. 2000 IEEE/IFIP*, pages 729–742.  
IEEE, 2000.
-  H.-G. Hegering, S. Abeck und B. Neumair.  
*Integrated Management of Networked Systems – Concepts, Architectures and their Operational Application*.  
Morgan Kaufmann Publishers, ISBN 1-55860-571-1, 1999.
-  A. Hanemann.  
*Automated IT Service Fault Diagnosis Based on Event Correlation Techniques*.  
PhD thesis, Ludwig-Maximilians Universität München, 2007.
-  R.R. Kompella.  
*Fault localization in backbone networks*.  
PhD thesis, University of California, San Diego, 2007.
-  R.R. Kompella, J. Yates, A. Greenberg und A.C. Snoeren.  
IP fault localization via risk modeling.  
In *Proceedings of the 2nd conference on Symposium on Networked Systems Design & Implementation-Volume 2*, pages 57–70. USENIX Association, 2005.





R.R. Kompella, J. Yates, A. Greenberg und A.C. Snoeren.

Detection and localization of network black holes.

In *INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE*, pages 2180–2188. IEEE, 2007.

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte



F. Liu.

The role of AI planning in the management of future Internet.

In *Integrated Network Management-Workshops, 2009. IM'09. IFIP/IEEE International Symposium on*, pages 147–148. IEEE, 2009.

Problem-  
Dimensionen



F. Liu.

*Supporting IT Service Fault Recovery with an Automated Planning Method.*

PhD thesis, Ludwig-Maximilians Universität München, 2011.

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation



W. Lai, D. McDysan, J. Boyle, M. Carlzon, R. Coltun, T. Griffin, E. Kern und T. Reddington.

Network hierarchy and multilayer survivability.

Technical report, RFC 3386, November, 2002.

Ausblick



P. Marcu.

*Architekturkonzepte für interorganisatorisches Fehlermanagement.*

PhD thesis, Ludwig-Maximilians Universität München, 2011.



C. Mas und P. Thiran.

An efficient algorithm for locating soft and hard failures in WDM networks.

*Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 18(10):1900–1911, 2000.



A. Pal, A. Paul, A. Mukherjee, M. Naskar und M. Nasipuri.

Fault detection and localization scheme for multiple failures in optical network.

*Distributed Computing and Networking*, pages 464–470, 2008.



A.S. Sethi et al.

A survey of fault localization techniques in computer networks.  
*Science of Computer Programming*, 53(2):165–194, 2004.



M. Steinder und A.S. Sethi.

End-to-end service failure diagnosis using belief networks.  
In *Network Operations and Management Symposium, 2002. NOMS 2002. 2002 IEEE/IFIP*, pages 375–390. IEEE, 2002.



M. Steinder und A. Sooethi.

Distributed fault localization in hierarchically routed networks.  
*Management Technologies for E-Commerce and E-Business Applications*, pages 195–207, 2002.



R. Valta.

*Entwicklung einer Methodik zur Beschreibung von offenen Rechnernetzen als Grundlage für integriertes betriebsorientiertes Netzmanagement.*  
PhD thesis, Technische Universität München, 1990.



G.G. Xie, W.D. Fischer und J.D. Young.

Is Cross-Domain Fault Localization Feasible, 2009.



M. Yampolskiy.

*Massnahmen zur Sicherung von E2E-QoS bei Verketteten Diensten.*  
PhD thesis, Ludwig-Maximilians Universität München, 2009.



M. Yampolskiy, W. Hommel, B. Lichtinger, W. Fritz und M.K. Hamm.

Multi-domain End-to-End (E2E) Routing with Multiple QoS Parameters-Considering Real World User Requirements and Service Provider Constraints.  
In *Evolving Internet (INTERNET), 2010 Second International Conference on*, pages 9–18. IEEE, 2010.

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- Vis. Datenzugriff
- Metrik-Abholung
- BWCTL-Messung
- Hades-Messung
- Traceroute-Messung
- Route/Pfad
- IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv

Messpunkt

IP-Interface

L2 E2E-Punkt

# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv

Messpunkt

IP-Interface

L2 E2E-Punkt

E2E<sub>1</sub> : CH CERN

# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv

Messpunkt

IP-Interface

L2 E2E-Punkt

E2E<sub>1</sub> : CH CERN

E2E<sub>2</sub>

# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv M

Messpunkt M

IP-Interface

L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv M

Messpunkt M

IP-Interface

L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv M  
Messpunkt M  
IP-Interface  
L2 E2E-Punkt





# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

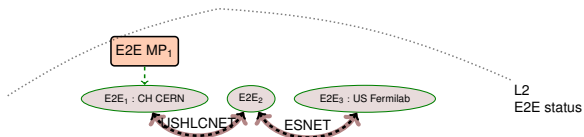
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv M  
Messpunkt M  
IP-Interface  
L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

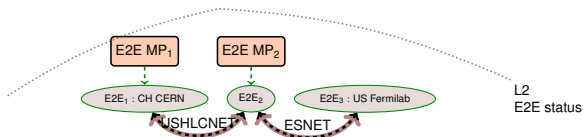
Ausblick

Messarchiv M

Messpunkt M

IP-Interface

L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

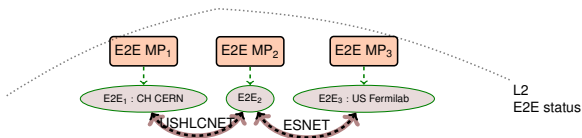
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

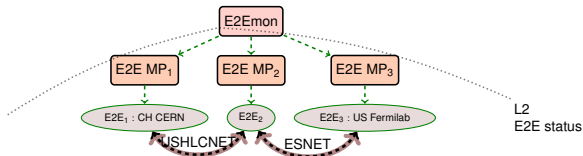
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Messarchiv M
- Messpunkt M
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

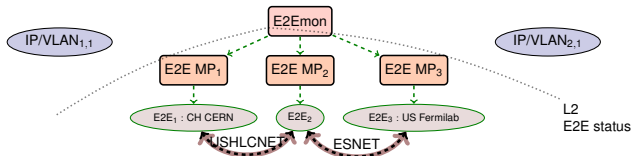
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv M  
Messpunkt M  
IP-Interface  
L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis.Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

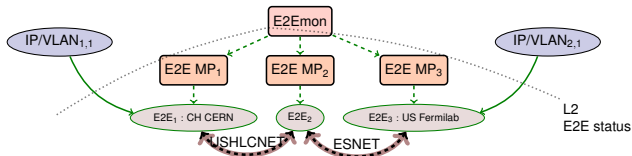
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

Messarchiv M  
Messpunkt M  
IP-Interface  
L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- ↔ E2E Domän Segment

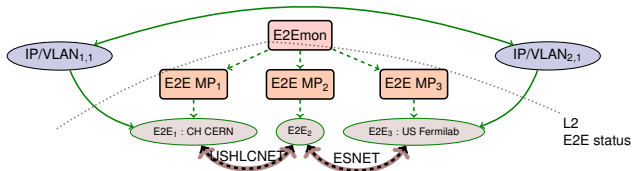
Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

- Messarchiv M
- Messpunkt M
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- ↔ E2E Domän Segment

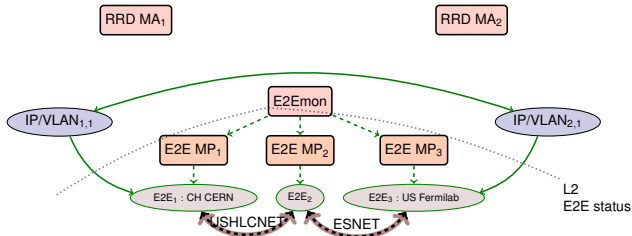
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick





# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- ↔ E2E Domän Segment

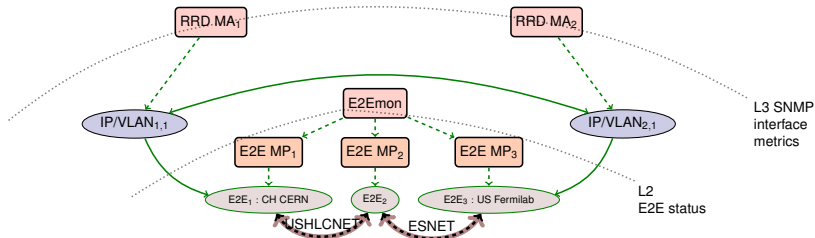
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- ↔ E2E Domän Segment

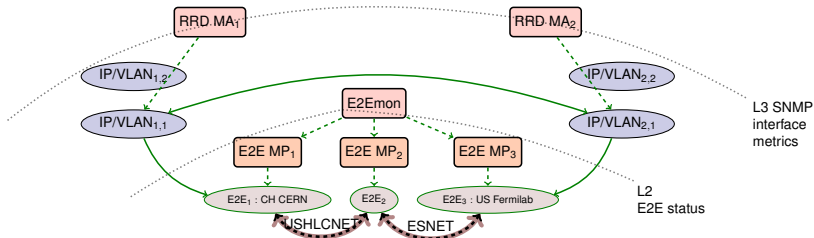
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment

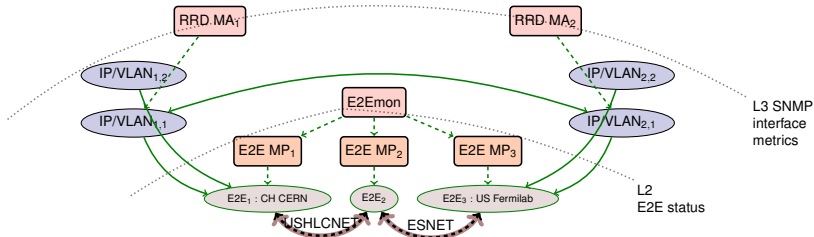
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment

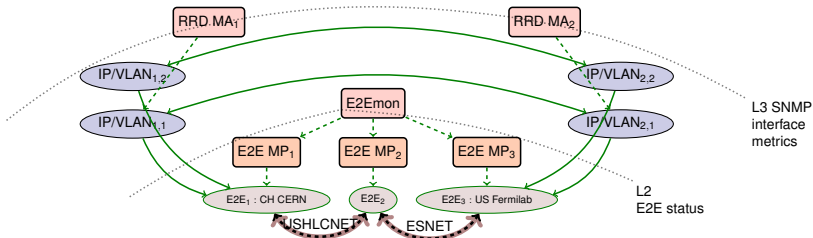
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment
- ↔

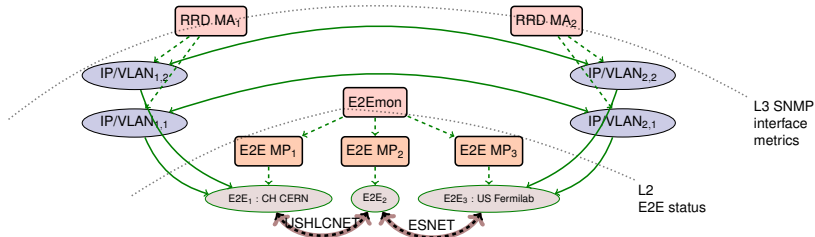
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment

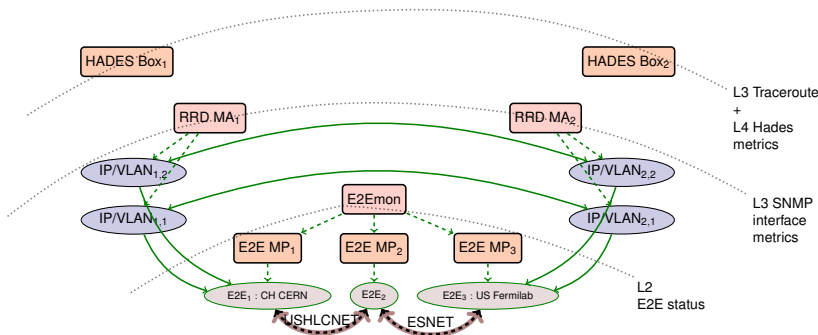
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- ⋯→ Vis. Datenzugriff
- - - - - Metrik-Abholung
- ⋯→ BWCTL-Messung
- ⋯→ Hades-Messung
- Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment
- ↔

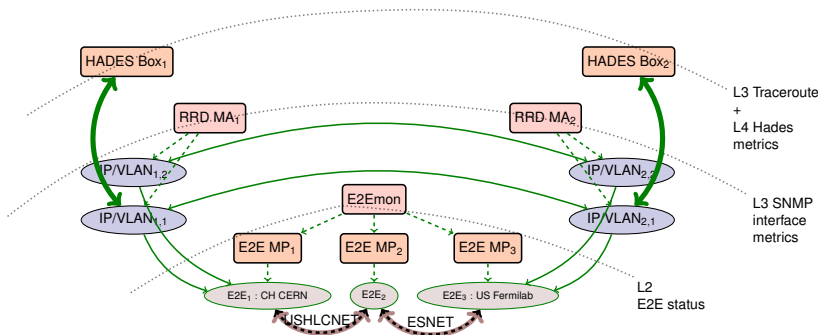
- Messarchiv M
- Messpunkt M
- IP-Interface IP
- L2 E2E-Punkt L2

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis.Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment

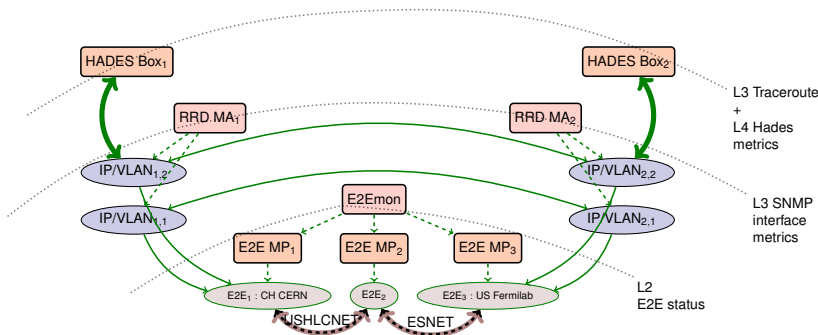
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick





# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

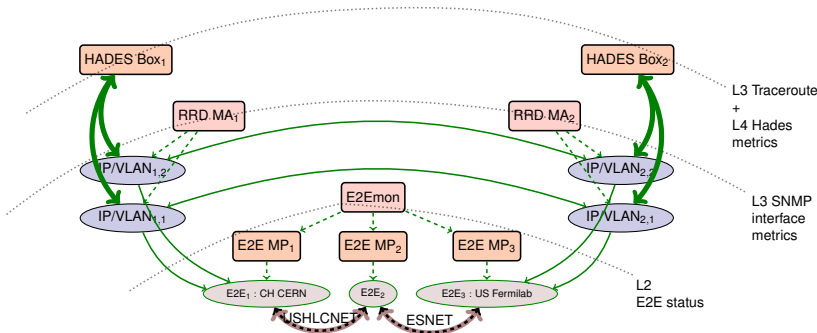
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- ⋯→ Vis. Datenzugriff
- - -> Metrik-Abholung
- ⋯→ BWCTL-Messung
- ⋯→ Hades-Messung
- Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment
- ↔

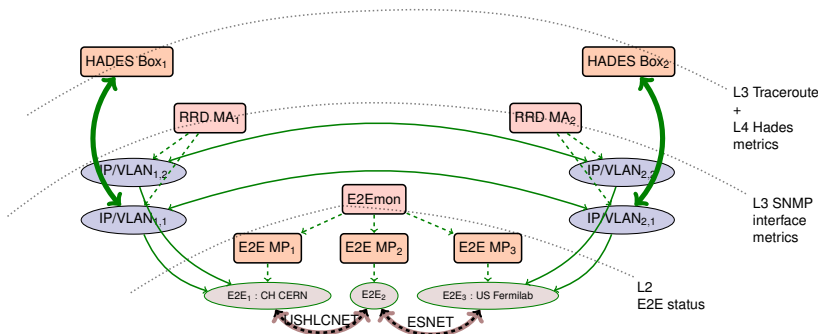
- Messarchiv M
- Messpunkt M
- IP-Interface IP
- L2 E2E-Punkt L2

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment

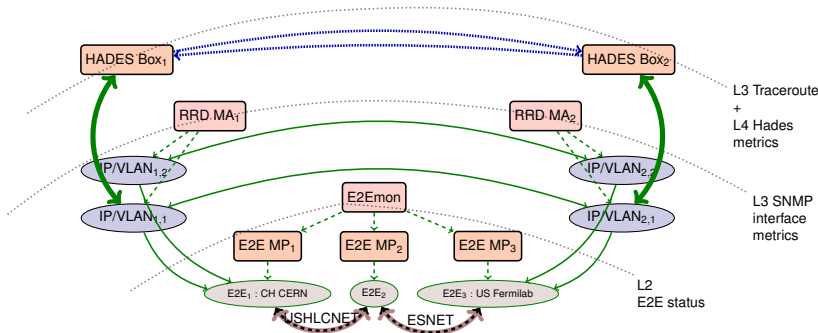
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- E2E Domän Segment

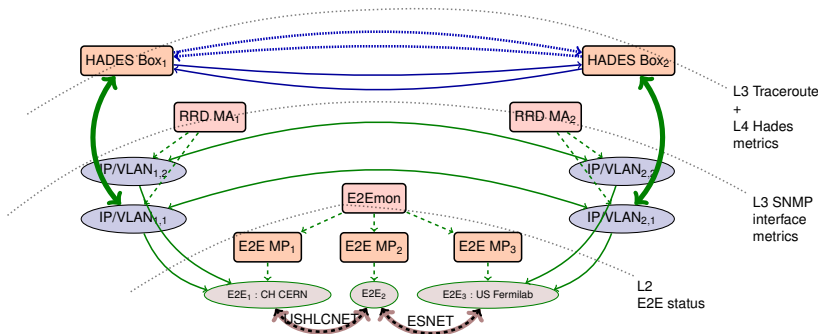
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

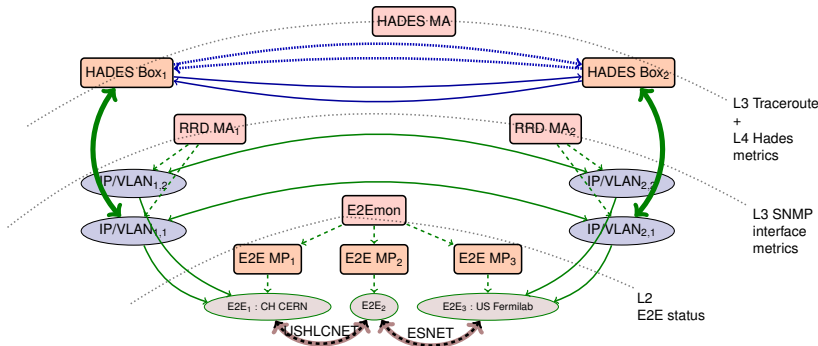
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung



- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

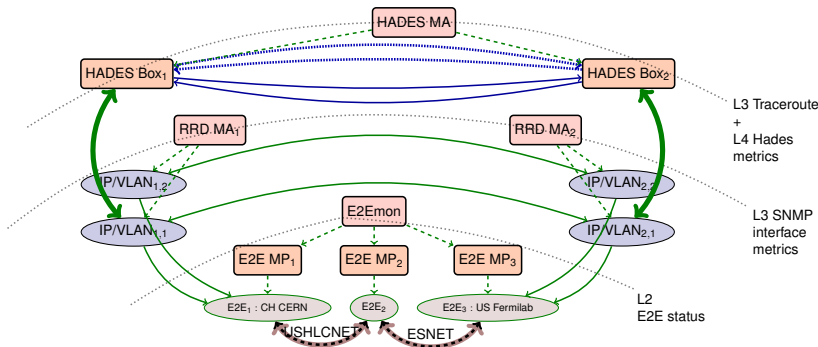
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

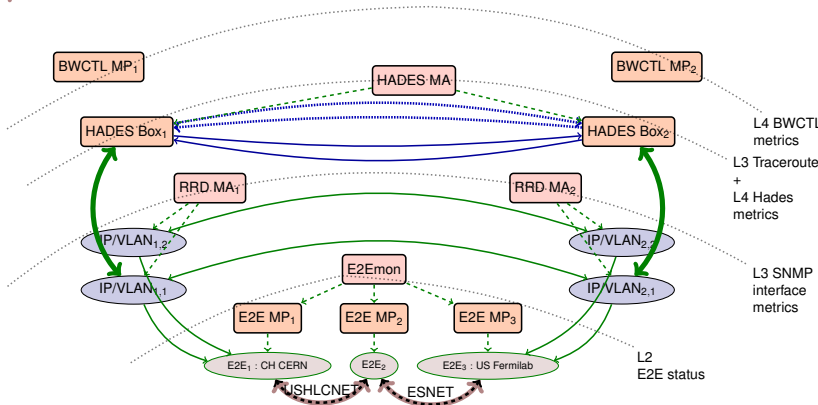
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

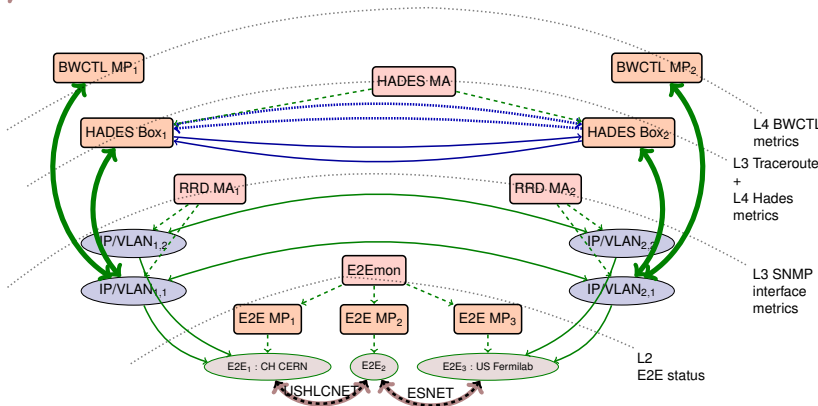
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick





# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

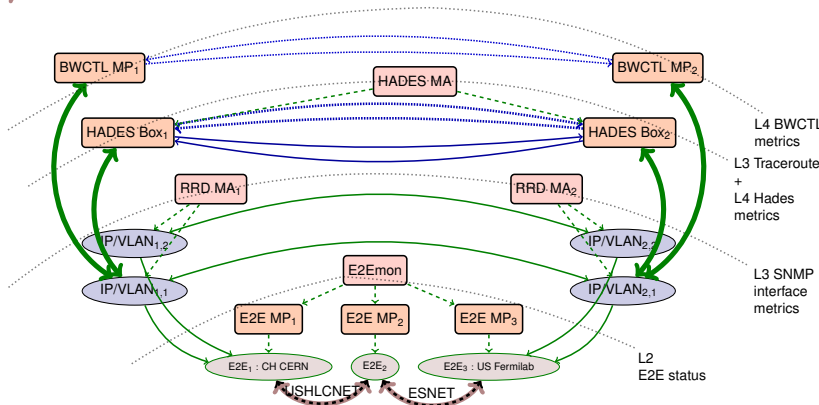
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

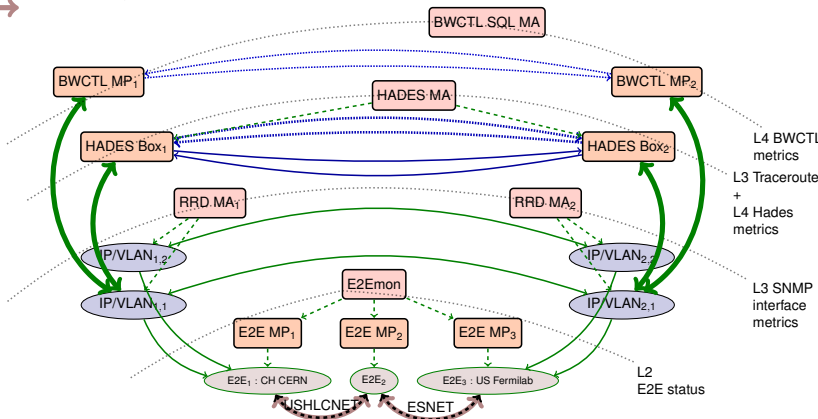
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

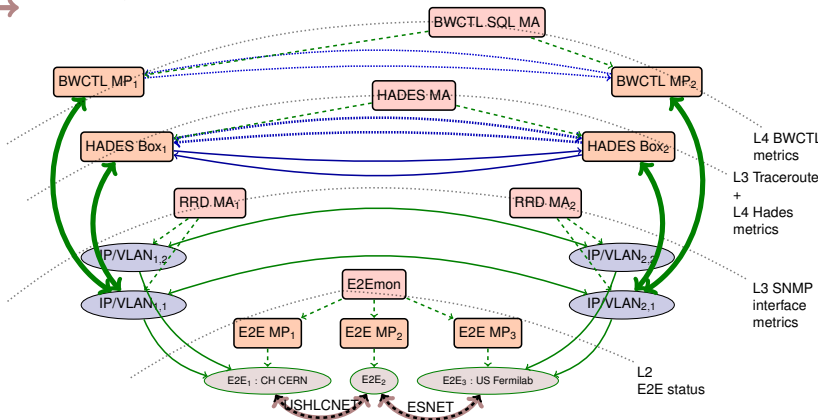
- Messarchiv MA
- Messpunkt MP
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment
- .....>



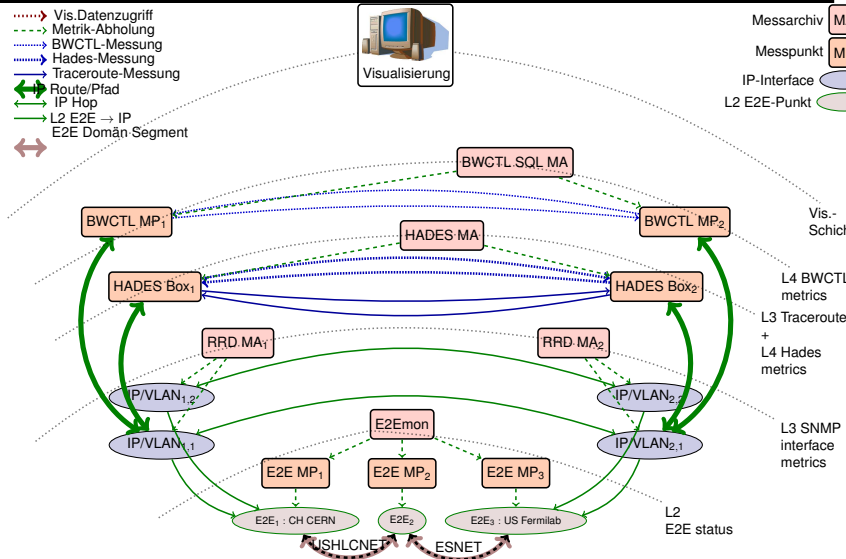
- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

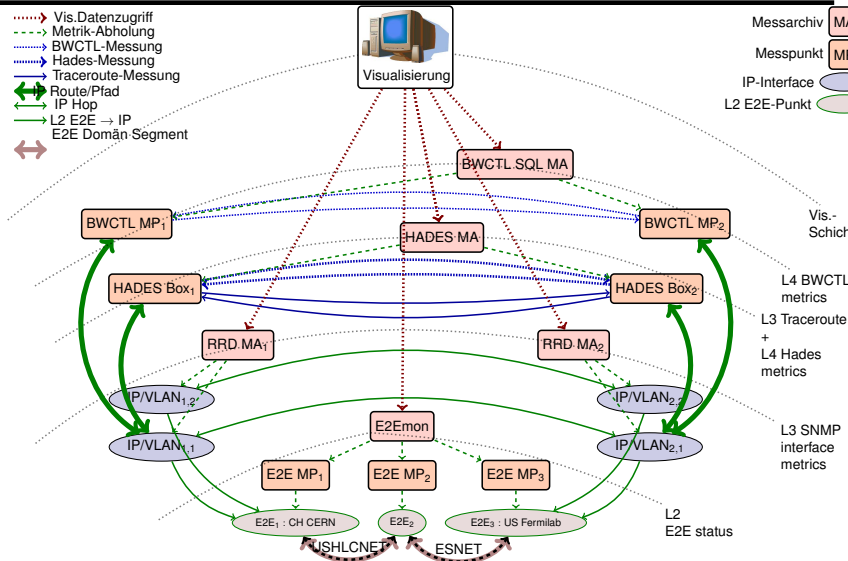
Ausblick



# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment
- .....>

- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt



Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

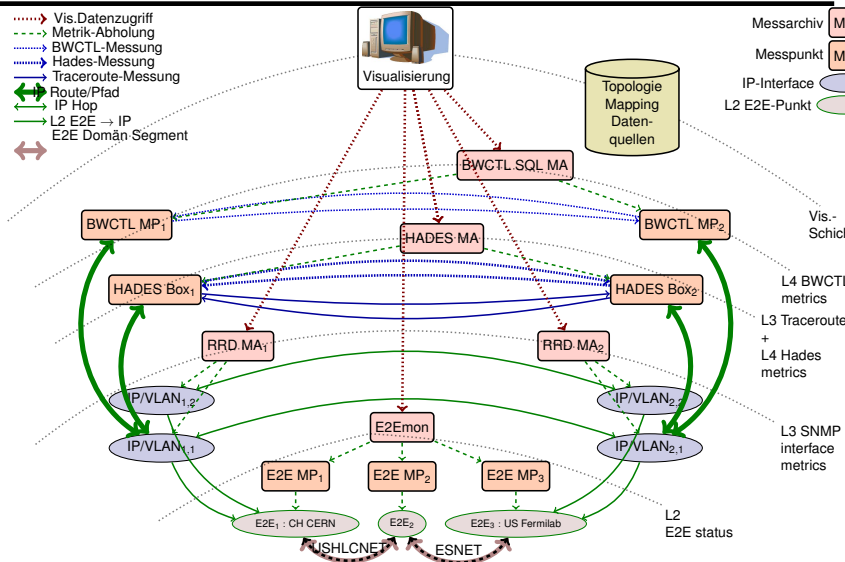
- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick



Messarchiv

Messpunkt

IP-Interface

L2 E2E-Punkt

Vis.-  
Schicht

L4 BWCTL  
metrics

L3 Traceroute  
+  
L4 Hades  
metrics

L3 SNMP  
interface  
metrics

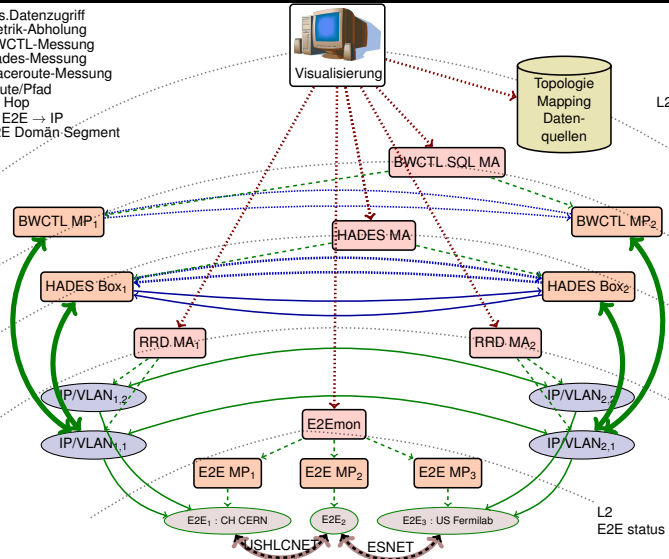
L2  
E2E status

# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- - - -> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- .....> Route/Pfad
- .....> IP Hop
- .....> L2 E2E → IP
- .....> E2E Domän Segment

- Messarchiv
- Messpunkt
- IP-Interface
- L2 E2E-Punkt

- Motivation: LHCOPN Wetterkarte
- Problem-Dimensionen
- Neue Topologie-Abbildungs-Notation
- Ausblick



- Vis.-Schicht
- L4 BWCTL metrics
- L3 Traceroute + L4 Hades metrics
- L3 SNMP interface metrics
- L2 E2E status

# Topologie und Metrik-Daten-Quellen für eine LHCOPN-Verbindung

- .....> Vis. Datenzugriff
- .-.-> Metrik-Abholung
- .....> BWCTL-Messung
- .....> Hades-Messung
- .....> Traceroute-Messung
- ↔ Route/Pfad
- ↔ IP Hop
- L2 E2E → IP
- ↔ E2E Domän Segment

Motivation:  
LHCOPN  
Wetterkarte

Problem-  
Dimensionen

Neue  
Topologie-  
Abbildungs-  
Notation

Ausblick

