

# Auswahl von Netzwerktransportangeboten in einer Future-Internet-Architektur basierend auf funktionalen Blöcken

*5. DFN-Forum Kommunikationstechnologien*

*Regensburg, 21.05.2012*

**Daniel Günther, Nathan Kerr and Paul Müller**

University of Kaiserslautern

Department of Computer Science

Integrated Communication Systems ICSY

<http://www.icsy.de>

- ▶ **Einleitung**
  - Situationsbeschreibung
- ▶ **Stand der Forschung und Technik**
  - Ansatz zur Realisierung flexibler Netzwerke
- ▶ **Analyse und Eingrenzung**
  - Identifizierte Forschungsfragen
- ▶ **Problemstellung**
  - Statement
  - Modellierung
- ▶ **Lösungsansatz**
  - Methode
  - Beispielszenario
- ▶ **Evaluation**
  - Kriterienanalyse
  - Komplexitätsbetrachtung
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

## Situationsbeschreibung

- ▶ In den letzten Jahren veränderte sich das Internet sowohl durch technische Entwicklungen
  - In den 60er/70er Jahren ein einfaches Datennetzwerk
  - Heute eine hochkomplexe Kommunikationsinfrastruktur mit unterschiedlicher technischer Kommunikationsbasis
- ▶ Als auch durch geänderte Anforderungscharakteristiken
  - Ursprüngliche Nutzung hauptsächlich durch Universitäten
  - Heute in jedem Lebensbereich eine Anwendung denkbar

## Auftretende Problematik

- ▶ Eine Vielzahl der heute zur Verfügung stehenden Anwendungen und Methoden wurde in den 70er und 80er Jahren konzipiert, jedoch nicht oder kaum weiterentwickelt
  - Entwicklungen sind nicht mehr zeitgemäß
  - Methodenkompositionen folgen einem starren anforderungsunabhängigen Modell (ISO/OSI)

## Situationsbeschreibung

- ▶ In den letzten Jahren veränderte sich das Internet sowohl durch technische Entwicklungen
  - In den 60er/70er Jahren ein einfaches Datennetzwerk
  - Heute eine hochkomplexe Kommunikationsinfrastruktur mit unterschiedlicher technischer Kommunikationsbasis
- ▶ Als auch durch geänderte Anforderungscharakteristiken
  - Ursprüngliche Nutzung hauptsächlich durch Universitäten
  - Heute in jedem Lebensbereich eine Anwendung denkbar

## Auftretende Problematik

- ▶ Eine Vielzahl der heute zur Verfügung stehenden Anwendungen und Methoden wurde in den 70er und 80er Jahren konzipiert, jedoch nicht oder kaum weiterentwickelt
  - **Entwicklungen sind nicht mehr zeitgemäß**
  - **Methodenkompositionen folgen einem starren anforderungsunabhängigen Modell (ISO/OSI)**

## Situationsbeschreibung

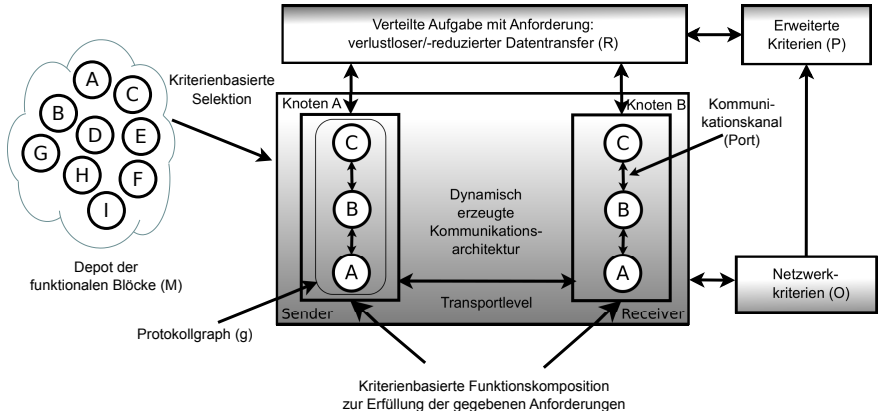
- ▶ In den letzten Jahren veränderte sich das Internet sowohl durch technische Entwicklungen
  - In den 60er/70er Jahren ein einfaches Datennetzwerk
  - Heute eine hochkomplexe Kommunikationsinfrastruktur mit unterschiedlicher technischer Kommunikationsbasis
- ▶ Als auch durch geänderte Anforderungscharakteristiken
  - Ursprüngliche Nutzung hauptsächlich durch Universitäten
  - Heute in jedem Lebensbereich eine Anwendung denkbar

## Forschungsansätze

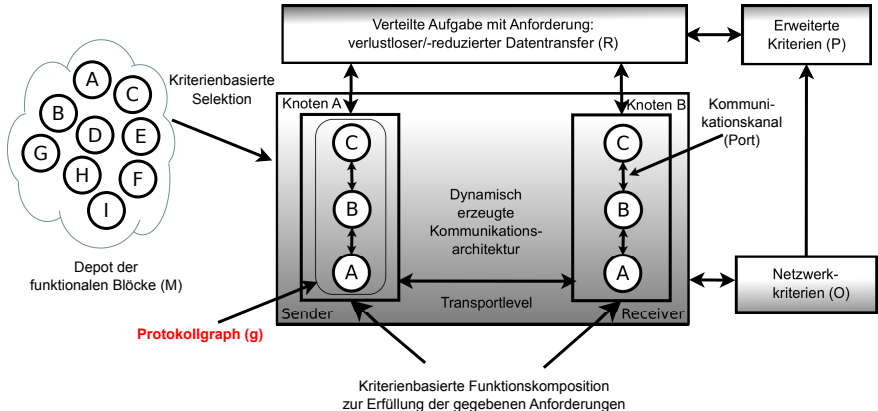
- ▶ Future-Internet-Forschung
  - Initiative interdisziplinärer Forschergruppen → Datentransfer
- ▶ Ansätze
  - Funktionale Komposition (speziell Netzwerkfunktionalitäten, wie Verlustreduktion oder CRC), austauschbare Netzwerkstapel, virtuelle Netzwerke

- ▶ **Einleitung**
  - Situationsbeschreibung
- ▶ **Stand der Forschung und Technik**
  - Ansatz zur Realisierung flexibler Netzwerke
- ▶ **Analyse und Eingrenzung**
  - Identifizierte Forschungsfragen
- ▶ **Problemstellung**
  - Statement
  - Modellierung
- ▶ **Lösungsansatz**
  - Methode
  - Beispielszenario
- ▶ **Evaluation**
  - Kriterienanalyse
  - Komplexitätsbetrachtung
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

## Generelles Modell einer flexiblen Netzwerkarchitektur basierend auf funktionalen Blöcken

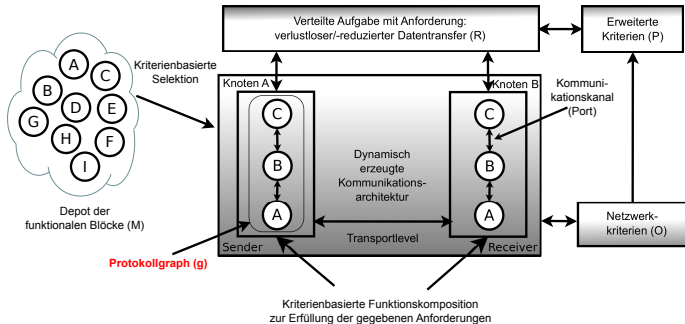


## Generelles Modell einer flexiblen Netzwerkarchitektur basierend auf funktionalen Blöcken





## Identifizierte erkenntnisleitende Fragestellung



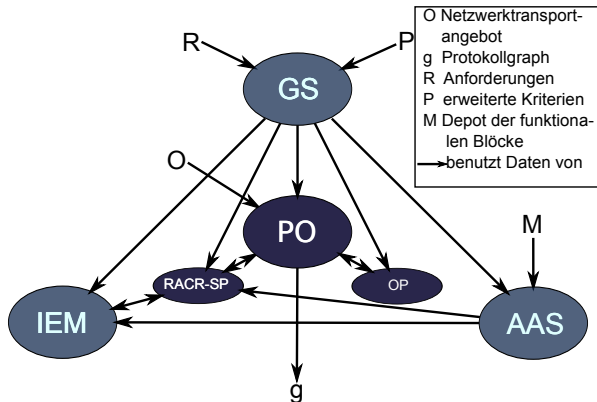
Gegeben seien eine Menge von funktionalen Blöcken ( $M$ ), eine Menge von Anforderungen ( $R$ ), eine Menge von erweiterten Kriterien ( $P$ ) sowie eine Menge von Netzwerktransportangeboten ( $O$ ). Gesucht ist der Protokollgraph ( $g$ ) aus Elementen von  $O$  und  $M$ , welcher die Kriterien von  $R$  und  $P$  am besten erfüllt.

→ Wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesem Problem führt zu neuen Forschungsfragen

- ▶ **Einleitung**
  - Situationsbeschreibung
- ▶ **Stand der Forschung und Technik**
  - Ansatz zur Realisierung flexibler Netzwerke
- ▶ **Analyse und Eingrenzung**
  - Identifizierte Forschungsfragen
- ▶ **Problemstellung**
  - Statement
  - Modellierung
- ▶ **Lösungsansatz**
  - Methode
  - Beispielszenario
- ▶ **Evaluation**
  - Kriterienanalyse
  - Komplexitätsbetrachtung
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

## Systematisches mehrstufiges Vorgehensmodell – MPM

Gegeben seien eine Menge von funktionalen Blöcken ( $M$ ), eine Menge von Anforderungen ( $R$ ), eine Menge von erweiterten Kriterien ( $P$ ) sowie eine Menge von Netzwerktransportangeboten ( $O$ ). Gesucht ist der Protokollgraph ( $g$ ) aus Elementen von  $O$  und  $M$ , welcher die Kriterien von  $R$  und  $P$  am besten erfüllt.



## Wissenschaftliche Forschungsfragen

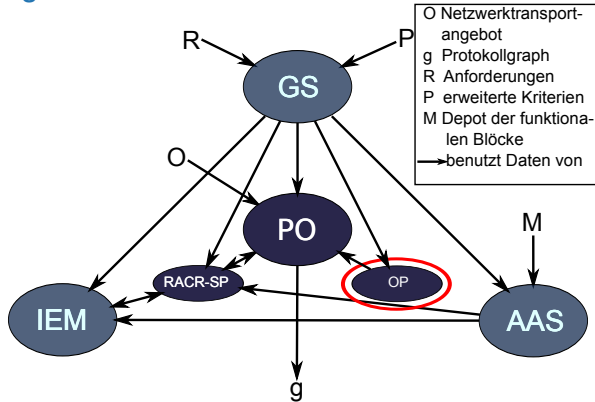
- ▶ Sind Anforderungen, Kriterien und Angebot vereinbar (GS)?
- ▶ Welche Auswirkung hat ein möglicher funktionaler Block (AAS) [1]?
- ▶ Welche Auswirkung hat die Komposition unterschiedlicher funktionaler Blöcke (IEM) [2]?
- ▶ Wie kann evaluiert werden, ob funktionale Kompositionen gestellte Anforderungen erfüllen (IEM)?
- ▶ Wie können funktionale Kompositionen gefunden werden, die die Anforderungen erfüllen (PO, RACR-SP [3], IEM, OP) ?
- ▶ Wie können Funktionskompositionen (Netzwerktransportangebote) ausgewählt werden (OP)?
- ▶ ...

## Wissenschaftliche Forschungsfragen

- ▶ Sind Anforderungen, Kriterien und Angebot vereinbar (GS)?
- ▶ Welche Auswirkung hat ein möglicher funktionaler Block (AAS) [1]?
- ▶ Welche Auswirkung hat die Komposition unterschiedlicher funktionaler Blöcke (IEM) [2]?
- ▶ Wie kann evaluiert werden, ob funktionale Kompositionen gestellte Anforderungen erfüllen (IEM)?
- ▶ Wie können funktionale Kompositionen gefunden werden, die die Anforderungen erfüllen (PO, RACR-SP [3], IEM, OP) ?
- ▶ **Wie können Funktionskompositionen (Netzwerktransportangebote) ausgewählt werden (OP)?**
- ▶ ...

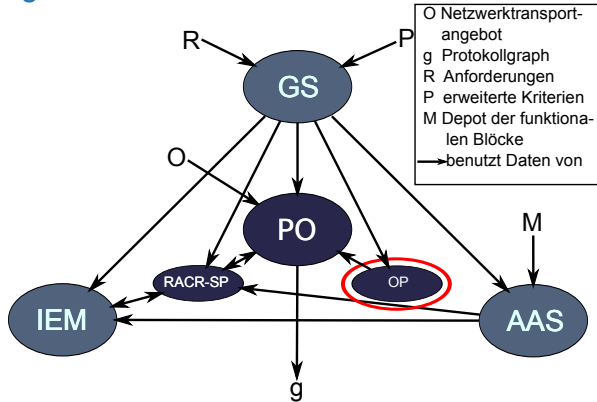
- ▶ **Einleitung**
  - Situationsbeschreibung
- ▶ **Stand der Forschung und Technik**
  - Ansatz zur Realisierung flexibler Netzwerke
- ▶ **Analyse und Eingrenzung**
  - Identifizierte Forschungsfragen
- ▶ **Problemstellung**
  - Statement
  - Modellierung
- ▶ **Lösungsansatz**
  - Methode
  - Beispielszenario
- ▶ **Evaluation**
  - Kriterienanalyse
  - Komplexitätsbetrachtung
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

## Abgrenzung des Problems



- ▶ **Problem:** Wie können Netzwerktransportangebote ausgewählt werden?
- ▶ *Barriere:* Mehrere Eigenschaften sind zu beachten
- ▶ **Lösung:** Eine sequentielle Eliminierungsmethode

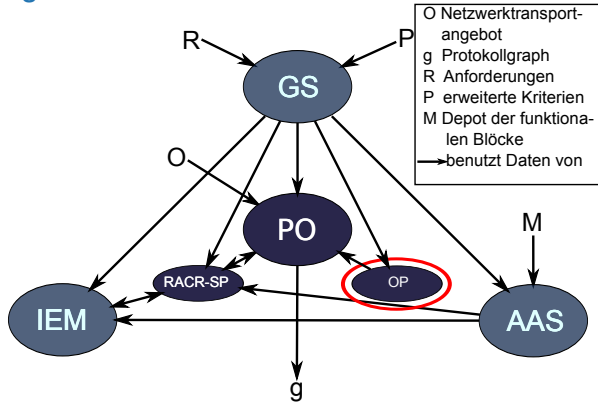
## Abgrenzung des Problems



- ▶ **Problem: Wie können Netzwerktransportangebote ausgewählt werden?**
- ▶ *Barriere: Mehrere Eigenschaften sind zu beachten*
- ▶ **Lösung: Eine sequentielle Eliminierungsmethode**

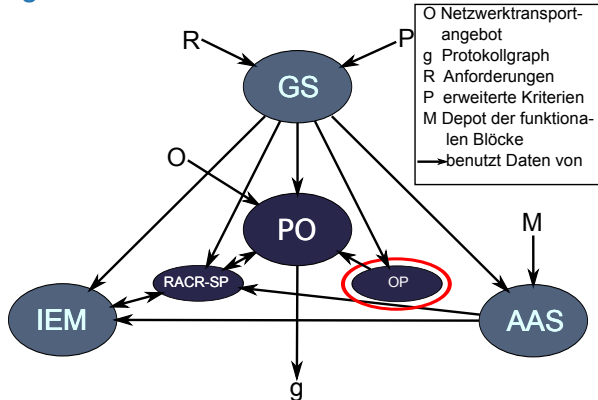


## Abgrenzung des Problems



- ▶ **Problem:** Wie können Netzwerktransportangebote ausgewählt werden?
- ▶ **Barriere:** *Mehrere Eigenschaften sind zu beachten*
- ▶ **Lösung:** Eine sequentielle Eliminierungsmethode

## Abgrenzung des Problems



- ▶ **Problem: Wie können Netzwerktransportangebote ausgewählt werden?**
- ▶ **Barriere: Mehrere Eigenschaften sind zu beachten**
- ▶ **Lösung: Eine sequentielle Eliminierungsmethode**

## Strukturierung und Identifikation des Problems

- ▶ Alternativen sind unabhängig
- ▶ Eigenschaften bilden konjunktive Bedingungen
- ▶ Konkurrierende Ziele möglich
- ▶ Entscheidung unter Sicherheit

→ **Multikriterielles Problem**

## Generelle Problemmodellierung I

- ▶ Ein MCDM ist ein Tupel  $(A, f)$
- ▶  $A =$  Menge der zur Verfügung stehenden Alternativen ( $a$ )
  - $n$  ist die Anzahl der Alternativen
- ▶  $f =$  Bewertungsfunktion ( $f : A \rightarrow \mathbb{R}^q, q \geq 2$ )
  - $f$  weist allen Alternativen Eigenschaftswerte ( $e_j$ ) zu
- ▶  $q =$  Anzahl der Eigenschaften einer Alternative

## Generelle Problemmodellierung II

- ▶ Für alle  $a \in A$  wird  $f(a)$  dargestellt als
  - $f(a) = (f_1(a), \dots, f_q(a))$

→ Entscheidungsmatrix  $Z$

$f$	$e_1$	$\dots$	$e_q$
$a_1$	$f_1(a_1)$	$\dots$	$f_q(a_1)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$a_n$	$f_1(a_n)$	$\dots$	$f_q(a_n)$

Entscheidungsmatrix  $Z$

- ▶ Optimierungsparameter
  - $O = \{\leq, \geq\}$ ,  $K = \{k_1, \dots, k_m \mid k_i \in O\}$ 
    - $O$  = Ordnungsrelationen,  $K$  = Optimierungskriterien
    - Jedem  $e_j$  wird ein  $k_j$  zugeordnet
    - $P$  = Prioritäten =  $\{1, \dots, n\}$

- ▶ **Einleitung**
  - Situationsbeschreibung
- ▶ **Stand der Forschung und Technik**
  - Ansatz zur Realisierung flexibler Netzwerke
- ▶ **Analyse und Eingrenzung**
  - Identifizierte Forschungsfragen
- ▶ **Problemstellung**
  - Statement
  - Modellierung
- ▶ **Lösungsansatz**
  - Methode
  - Beispielszenario
- ▶ **Evaluation**
  - Kriterienanalyse
  - Komplexitätsbetrachtung
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

## Optimierungsprozess (OP)

---

Methode: Sequenzielle Eliminierung

---

- 1: Rangfolgebildung der Eigenschaften  $e_1 \dots e_q$
  - 2: **while** Es gibt noch nicht betrachtete Eigenschaften **do**
  - 3:   **if**  $|A| = 1$  **then**
  - 4:     **return** Alternative a
  - 5:   **else**
  - 6:     e = nächste Eigenschaft
  - 7:     k = Ordnung von e
  - 8:     Sortierung der Alternativen in e bezüglich k
  - 9:     Eliminiere in Z die nicht in e optimalen Alternativen
  - 10:   **end if**
  - 11: **end while**
- 

→ **Vorteil:** Immer optimales Ergebnis hinsichtlich erster Priorität

## Beispielszenario - Definition Optimierungskriterien - VoIP-Transfer

	Eigenschaft	$k_j$	$P$
$e_4$	Framegröße in Byte	$\geq$ (maximieren)	4
$e_3$	Datenrate in Kbit/s	$\geq$ (maximieren)	3
$e_1$	Paketverlustwahrscheinlichkeit	$\leq$ (minimieren)	1
$e_2$	Verzögerung in ms	$\leq$ (minimieren)	2

- ▶  $e_j$  = Eigenschaft einer Alternative
- ▶  $P$  = Priorität (1  $\equiv$  "höchste Priorität")
- ▶  $k_j$  = Ordnungsrelation

## Beispielszenario

	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$		$e_1$	$e_2$	...	
$a_1$	0.0025	204	99733.3	1496	→	$a_4$	0.000125	208	...
$a_2$	0.000125	206	66488.9	1496		$a_2$	0.000125	206	...
$a_3$	0.0025	206	99466.7	1492		$a_1$	0.0025	204	...
$a_4$	0.000125	208	66311.1	1492		$a_3$	0.0025	206	...
$a_5$	0.0025	206	99466.7	1492		$a_5$	0.0025	206	...

- ▶ Eigenschaftswerte durch MPM berechnet
- ▶ Rangfolgebildung der Eigenschaften
- ▶ Permutation der Zeilen in  $Z$



## Beispielszenario

	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$a_4$	0.000125	208	66311.1	1492
$a_2$	0.000125	206	66488.9	1496
$a_1$	0.0025	204	99733.3	1496
$a_3$	0.0025	206	99466.7	1492
$a_5$	0.0025	206	99466.7	1492

→

	$e_1$	$e_2$	...
$a_4$	0.000125	208	...
$a_2$	0.000125	206	...
$a_1$	0.0025	204	...
$a_3$	0.0025	206	...
$a_5$	0.0025	206	...

- ▶ Eliminierung der nicht optimalen Alternativen
- ▶ Eliminierung in  $Z$  erfolgt zeilenweise
- ▶  $a_1$ ,  $a_3$  und  $a_5$  werden aus  $Z$  entfernt

## Beispielszenario

	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$		$e_1$	$e_2$	...	
$a_2$	0.000125	206	66488.9	1496	→	$a_2$	0.000125	206	...
$a_4$	0.000125	208	66311.1	1492		$a_4$	0.000125	208	...

- ▶ Ordnung der Alternativen in  $Z$  nach  $e_2$
- ▶ Eliminierung der nicht in  $e_2$  optimalen Alternativen in  $Z$
- ▶  $Z$  verfügt nun nur noch über eine Alternative

→ Die Alternative  $a_2$  ist hier das Resultat der Auswahl

## ▶ **Einleitung**

- Situationsbeschreibung

## ▶ **Stand der Forschung und Technik**

- Ansatz zur Realisierung flexibler Netzwerke

## ▶ **Analyse und Eingrenzung**

- Identifizierte Forschungsfragen

## ▶ **Problemstellung**

- Statement
- Modellierung

## ▶ **Lösungsansatz**

- Methode
- Beispielszenario

## ▶ **Evaluation**

- Kriterienanalyse
- Komplexitätsbetrachtung

## ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

## Kriterienanalyse - Simulationsszenarios

→ **Zielstellung 1:** Einfluss der Priorisierung der Kriterien auf Resultat und Methode

$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$a$	$E_o$	$E_b$
1	2	3	4	$a_2$	$e_1, e_4$	$e_1, e_2$
2	1	3	4	$a_1$	$e_2, e_3, e_4$	$e_2$
2	3	1	4	$a_1$	$e_2, e_3, e_4$	$e_3$
2	3	4	1	$a_2$	$e_1, e_4$	$e_1, e_4$
...	...	...	...	...	...	...

▶  $E_o$  = Optimale Eigenschaften ( $e_i$ )

▶  $E_b$  = Betrachtete Eigenschaften ( $e_i$ )

→ **Resultat 1:** Es wird immer ein optimales Ergebnis hinsichtlich der höchsten Priorität erreicht

→ **Resultat 2:** Es werden nicht in jedem Fall niederpriorisierte Eigenschaften im Entscheidungsprozess verwendet

## Kriterienanalyse - Simulationsszenarios

→ **Zielstellung 1:** Einfluss der Priorisierung der Kriterien auf Resultat und Methode

$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$a$	$E_o$	$E_b$
1	2	3	4	$a_2$	$e_1, e_4$	$e_1, e_2$
2	1	3	4	$a_1$	$e_2, e_3, e_4$	$e_2$
2	3	1	4	$a_1$	$e_2, e_3, e_4$	$e_3$
2	3	4	1	$a_2$	$e_1, e_4$	$e_1, e_4$
...	...	...	...	...	...	...

▶  $E_o$  = Optimale Eigenschaften ( $e_i$ )

▶  $E_b$  = Betrachtete Eigenschaften ( $e_i$ )

→ **Resultat 1:** Es wird immer ein optimales Ergebnis hinsichtlich der höchsten Priorität erreicht

→ **Resultat 2:** Es werden nicht in jedem Fall niederpriorisierte Eigenschaften im Entscheidungsprozess verwendet

## Kriterienanalyse - Simulationsszenarios

→ **Zielstellung 1**: Einfluss der Priorisierung der Kriterien auf Resultat und Methode

$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$a$	$E_o$	$E_b$
1	2	3	4	$a_2$	$e_1, e_4$	$e_1, e_2, e_3, e_4$
2	1	3	4	$a_1$	$e_2, e_3, e_4$	$e_1, e_2, e_3, e_4$
2	3	1	4	$a_1$	$e_2, e_3, e_4$	$e_1, e_2, e_3, e_4$
2	3	4	1	$a_2$	$e_1, e_4$	$e_1, e_2, e_3, e_4$
...	...	...	...	...	...	...

▶  $E_o$  = Optimale Eigenschaften ( $e_i$ )

▶  $E_b$  = Betrachtete Eigenschaften ( $e_i$ )

→ **Resultat 1**: Es wird immer ein optimales Ergebnis hinsichtlich der höchsten Priorität erreicht

→ **Resultat 2**: Es werden nicht in jedem Fall niederpriorisierte Eigenschaften im Entscheidungsprozess verwendet

## Komplexitätsbetrachtung

→ **Zielstellung:** Überprüfung der Vermutung, dass der Intuition: *„die Lösung eines multikriteriellen Entscheidungsproblems benötigt hohen Rechenaufwand“* oft tatsächlich nur ein geringer Rechenaufwand entgegen steht

→ **Evaluationsmethode:** Simulation (innerhalb des Prototypen zur Realisierung des MPM [4])

→ **Resultat 3:** Komplexität der Entscheidungsfindung

- ▶ Sortieralgorithmus =  $O(n \cdot \log n)$  [5]

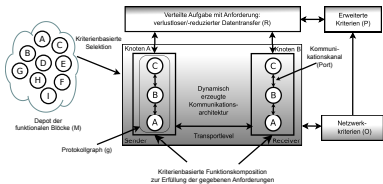
- ▶ Sortieralgorithmus wird  $q$ -mal ausgeführt

  - $O(n \cdot \log n \cdot q)$

- ▶ **Einleitung**
  - Situationsbeschreibung
- ▶ **Stand der Forschung und Technik**
  - Ansatz zur Realisierung flexibler Netzwerke
- ▶ **Analyse und Eingrenzung**
  - Identifizierte Forschungsfragen
- ▶ **Problemstellung**
  - Statement
  - Modellierung
- ▶ **Lösungsansatz**
  - Methode
  - Beispielszenario
- ▶ **Evaluation**
  - Kriterienanalyse
  - Komplexitätsbetrachtung
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**



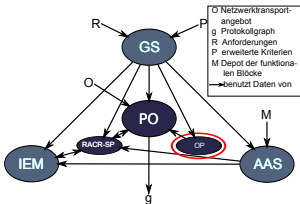
## Motivation Forschungsgebiet



## Definition erkenntnisleitender Fragestellung

Gegeben seien  $M$ ,  $R$ ,  $P$  und  $O$ .  
Gesucht ist der Protokollgraph ( $g$ ) aus  $O$  und  $M$ , der die Kriterien von  $R$  und  $P$  am besten erfüllt.

## Wissenschaftlicher Lösungsansatz: MPM



## Identifizierte Forschungsfragen (Fokus)

- ▶ ...
- ▶ Wie können Netzwerktransportangebote ausgewählt werden?
- ▶ ...

## Fokussierte Betrachtung

### Problemmodellierung

#### ► Identifikation (MCDM)

$f$	$e_1$	...	$e_q$
$a_1$	$f_1(a_1)$	...	$f_q(a_1)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$a_n$	$f_1(a_n)$	...	$f_q(a_n)$

Entscheidungsmatrix  $Z$

### Evaluation - Resultate

- Lösungsansatz liefert immer optimales Ergebnis
- Lineare Laufzeitkomplexität

### Lösungsbeitrag

#### ► Methode & Beispiel

- 1: Rangfolgebildung der Eigenschaften  $e_1 \dots e_q$
- 2: **while** Es gibt noch nicht betrachtete Eigenschaften **do**
- 3:     **if**  $|A| = 1$  **then**
- 4:         **return** Alternative  $a$
- 5:     **else**
- 6:          $e =$  nächste Eigenschaft
- 7:         ...
- 8:     **end if**
- 9: **end while**

### Ausblick

- Automatische Auswahl von Entscheidungsmethoden oder -kriterien
- Beitrag zur Schaffung neuen Wissens im Forschungsgebiet Future Internet

## Auszug:

- [1] GÜNTHER, D. ; VEITH, E. MSP ; MÜLLER, P.: Extracting Decision Criteria by Modeling Retransmission and Forward Error Correction in a Future Internet Architecture. In: *37th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA2011), Oulu, Finland, 30.08.-02.09.2011*, 2011. – ISBN 978-3-902457-30-1
- [2] GÜNTHER, D. ; KERR, N. ; MÜLLER, P.: A Simulation Model for Evaluating the Impact of Communication Services in a Functional-block-based Network Protocol Graph. In: *15th Communications and Networking Symposium (CNS'2012) at SpringSim'12, Orlando, USA, 2012*
- [3] GÜNTHER, D. ; KERR, N. ; MÜLLER, P.: A Requirement Aware Method to Reduce Complexity in Selecting and Composing Functional-block-based Protocol Graphs. In: *4th International Conference on Networked Digital Technologies (NDT 2012), Dubai, VAE, 2012*
- [4] GÜNTHER, D. ; KERR, N. ; MÜLLER, P.: A Multistep Process Model for Selecting and Composing Functional Blocks in a Future Internet Architecture. In: *The Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS-2012), Palermo, Italy, 2012*
- [5] NETWORK, The C++ R.: *STL Algorithms*.  
<http://www.cplusplus.com/reference/algorithm/sort/>. Version:2011

Danke!

*Fragen?*



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
KAISERSLAUTERN



## Dipl.-Inf. Daniel Günther

Integrierte Kommunikationssysteme ICSY

Technische Universität Kaiserslautern

Fachbereich Informatik

Postfach 3049

67653 Kaiserslautern

Telefon: +49 (0)631 205-25 91

Telefax: +49 (0)631 205-30 56

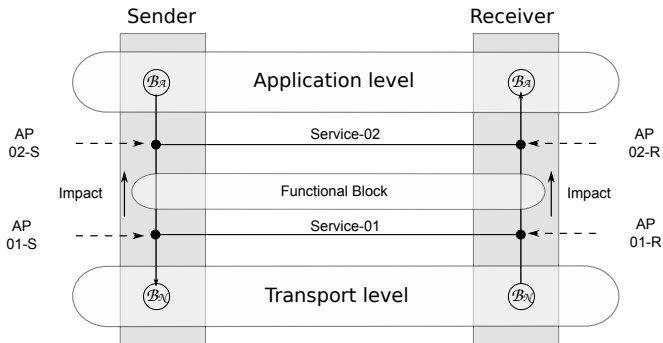
E-Mail: [guenther@informatik.uni-kl.de](mailto:guenther@informatik.uni-kl.de)

Internet: <http://www.icsy.de>



## Backup Slides

## A typical impact evaluation model (IEM)



Model for evaluating the impact of communication services in a functional-block-based network architecture

## Simulation Results (RACR-SP)

