

# Netzsimulation mit OPNET IT Guru

## Bachelorarbeit

Abteilung Informatik  
Hochschule für Technik Rapperswil

Frühlingssemester 2011

Autor: Marc Kubli  
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Rinkel  
Experte: Dr. Andreas Jarosch  
Gegenleser: Prof. Peter Sommerlad

# 1 Inhalt

<b>1 Inhalt .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Projektübersicht.....</b>	<b>5</b>
2.1 Aufgabenstellung.....	5
<b>3 Abstract .....</b>	<b>6</b>
3.1 Ausgangslage.....	6
3.2 Vorgehen/Technologien.....	6
3.3 Ergebnis.....	6
<b>Technischer Bericht.....</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>8</b>
1.1 Simulation.....	8
1.2 Simulation vs. Emulation .....	8
1.3 Simulation von Computernetzen.....	8
1.4 Anforderungen an Simulationssoftware von Computernetzen .....	9
1.4.1 <i>In der Ausbildung</i> .....	9
1.4.2 <i>Im professionellen Bereich</i> .....	9
1.4.3 <i>Forschung und Entwicklung</i> .....	10
1.5 Was der Markt anbietet .....	11
1.5.1 <i>NS-3</i> .....	11
1.5.2 <i>Packet Tracer</i> .....	11
1.5.3 <i>NetSim</i> .....	11
1.5.4 <i>GNS3</i> .....	12
1.5.5 <i>OMNEST</i> .....	12
1.5.6 <i>OPNET IT Guru</i> .....	12
1.6 Wieso OPNET IT Guru ? .....	13
<b>2 Einführung in OPNET IT Guru.....</b>	<b>14</b>
2.1 Entstehung von OPNET.....	14
2.2 Einsatzgebiete für OPNET IT .....	14
2.3 Klassifikation von OPNET IT Guru als Simulationssoftware .....	15
2.4 Aufbau von OPNET IT Guru .....	15
2.4.1 <i>Szenario</i> .....	15
2.4.2 <i>Projekt vs. Szenario</i> .....	15
2.4.3 <i>Benutzeroberfläche</i> .....	16
2.4.4 <i>Model</i> .....	17
2.4.5 <i>Unterschiedliche Arten von Datenverkehrstypen</i> .....	20
2.4.6 <i>Modellierung des application layers</i> .....	20
2.4.7 <i>Auswahl und Auswertung von Statistiken</i> .....	20
2.4.8 <i>Graph interpretieren</i> .....	21
2.4.9 <i>Efficiency modes für Protokolle</i> .....	22
2.5 Einstieg mit OPNET IT Guru .....	23
2.5.1 <i>Leitfragen zum lab</i> .....	23
2.5.2 <i>Involvierte Labszenarien</i> .....	23
2.5.3 <i>Projekt erstellen</i> .....	24
2.5.4 <i>Szenario erstellen oder verändern</i> .....	24
2.5.5 <i>Statistik auswählen</i> .....	27
2.5.6 <i>Szenario duplizieren</i> .....	27
2.5.7 <i>Simulation ausführen</i> .....	27
2.5.8 <i>Simulationslog überprüfen</i> .....	27
2.5.9 <i>Resultate analysieren und vergleichen</i> .....	28
2.5.10 <i>Zusätzliche Fragestellung untersuchen</i> .....	29
2.5.11 <i>Erkenntnis überprüfen</i> .....	32

<b>3</b>	<b>Protokollanalyse mit OPNET IT Guru .....</b>	<b>35</b>
3.1	<i>Spanning tree</i> .....	35
3.2	Konvergenzzeit.....	36
3.2.1	<i>Konvergenzzeit messen</i> .....	36
3.2.2	<i>Physikalische Topologie</i> .....	36
3.3	Protokollunterschiede zwischen STP und RSTP.....	36
3.4	Leitfragen zu diesem <i>lab</i> .....	37
3.5	Involvierte <i>Labszenarien</i> .....	37
3.6	<i>Labaufbau</i> .....	38
3.7	<i>Labauswertung</i> .....	41
3.7.1	<i>Antwort auf Leitfrage 1</i> .....	42
3.7.2	<i>Antwort auf Leitfrage 2</i> .....	43
3.7.3	<i>Antwort auf Leitfrage 3</i> .....	43
3.7.4	<i>Antwort auf Leitfrage 4</i> .....	44
3.7.5	<i>Antwort auf Leitfrage 5</i> .....	45
3.7.6	<i>Antwort auf Leitfrage 6</i> .....	45
3.8	Weiterführende Fragestellungen .....	45
<b>4</b>	<b>Designanalyse mit OPNET IT Guru .....</b>	<b>46</b>
4.1	Ziel eines Netzwerkdesigns .....	46
4.2	Topologieübersicht.....	46
4.3	<i>Load balancing</i> .....	46
4.4	Datenverkehr generieren.....	47
4.5	Leitfragen zu diesem <i>lab</i> .....	47
4.6	Involvierte <i>Labszenarien</i> .....	47
4.7	<i>Labaufbau</i> .....	48
4.8	<i>Labauswertung</i> .....	51
4.8.1	<i>Statistiken zur Analyse der Leitfragen 1 und 2 erstellen</i> .....	51
4.8.2	<i>Antwort auf Leitfrage 1</i> .....	53
4.8.3	<i>Antwort auf Leitfrage 2</i> .....	53
4.8.4	<i>Statistiken zur Analyse der Leitfrage 3 erstellen</i> .....	54
4.8.5	<i>Antwort auf Leitfrage 3</i> .....	55
4.8.6	<i>Statistiken zur Analyse der Leitfrage 4 erstellen</i> .....	55
4.8.7	<i>Antwort auf Leitfrage 4</i> .....	56
4.9	Weiterführende Fragestellungen .....	57
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>58</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>59</b>
<b>I</b>	<b>Management Summary.....</b>	<b>60</b>
I.1	Ausgangslage .....	60
I.2	Vorgehen .....	60
I.3	Ergebnisse .....	60
<b>II</b>	<b> Projektdokumentation .....</b>	<b>61</b>
II.1	Projektübersicht.....	61
II.1.1	<i>Aufgabenstellung</i> .....	61
II.1.2	<i>Annahmen und Einschränkungen</i> .....	61
II.2	Projektorganisation .....	62
II.3	Management Abläufe.....	62
II.3.1	<i>Projekt Kostenvoranschlag</i> .....	62
II.3.2	<i>Zeitplan</i> .....	62
II.3.3	<i>Besprechungen</i> .....	62
II.4	<i>Risikomanagement</i> .....	62
II.5	Arbeitspakete.....	63
II.6	Meilensteine .....	63
II.7	Infrastruktur .....	63

---

II.8	Auswertung .....	64
II.9	Selbstreflexion.....	64
<b>III</b>	<b>Sitzungsprotokoll .....</b>	<b>65</b>
<b>IV</b>	<b>Glossar.....</b>	<b>68</b>
<b>V</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
<b>VI</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
<b>VII</b>	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>70</b>
<b>VIII</b>	<b>Dokumente des Projektes .....</b>	<b>71</b>
<b>IX</b>	<b>OPNET Model Library .....</b>	<b>71</b>

## 2 Projektübersicht

Die Planung der Computernetze von morgen stellt eine immer schwierigere Aufgabe dar. Die stetig wachsende Anzahl an *hosts* und der klare Trend zu *ALL IP* Netzen bei Telekommunikations-, Multimedia- und Geschäfts-Dienstleistungen stellt immer höhere Anforderungen in Bezug auf Leistung und Qualität von Computernetzen. Um solch komplexe Netze warten, ausbauen oder neu entwerfen zu können, reichen Berechnungsmethoden oder der Rückgriff auf Erfahrungswerte vielfach nicht aus. Der Nachbau eines physischen Modells ist bei grossen Systemen aus Kostengründen meist nicht realisierbar. Der Einsatz von *Netzwerksimulationssoftware* bietet hier eine flexible Möglichkeit, detaillierte Modelle zu entwickeln, um deren Verhalten anhand unterschiedlicher Kriterien zu untersuchen und Modellvariationen miteinander zu vergleichen.

In der Ausbildung kann *Netzwerksimulationssoftware* dazu eingesetzt werden, die Theorie mittels simulationsbasierten *Übungslabs* zu vertiefen. Der grösste Vorteil gegenüber einem physischen *Netzwerklab*, wie es die HSR besitzt, liegt darin, dass der Studierende sich besser auf den zu lernenden Inhalt fokussieren kann, da er sich nicht mit den vielen Konfigurationsdetails eines physischen *Labaufbaus* auseinandersetzen muss.

Um die Vorteile von *Netzwerksimulationssoftware* nutzen zu können, hat man sich an der HSR entschieden, für zukünftige Netzwerkmodule die *Netzwerksimulationssoftware* OPNET IT Guru einzusetzen. Bei IT Guru handelt es sich um ein kommerzielles *Softwareprodukt* mit *academic licencing* der Firma OPNET. Der Kern dieser Arbeit bildet die Erstellung von zusätzlichen *Übungslabs*, um Studierende und interessierte IT-Fachkräfte im Umgang mit OPNET IT Guru zu schulen.

### 2.1 Aufgabenstellung

- Es ist ein Dokument zu erstellen, das Studierenden und interessierten IT-Fachkräften den Einstieg für den Umgang mit der Simulationssoftware OPNET IT Guru erleichtert. Das Dokument soll in sich geschlossen lesbar sein, die Möglichkeit zur späteren Erweiterbarkeit bieten und inhaltlich folgende Punkte abdecken:
  - Einführendes Kapitel zur Simulation
  - Vergleich von OPNET IT Guru mit aktuellen Konkurrenzprodukten
  - Einführendes Kapitel zu OPNET IT Guru mit einem *Einführungslab*
  - Vertiefte Analyse eines Netzwerkprotokolls anhand eines umfangreichen *Übungslabs*
  - Vertiefte Analyse eines Netzwerkdesigns anhand eines umfangreichen *Übungslabs*
- Zur Unterstützung der Module *design and performance evaluation* (Teil Rinkel) und Computernetze 1 (Teil Rinkel), sind *Übungslabs* mit relevanten Fragestellungen zu erstellen.

## 3 Abstract

### 3.1 Ausgangslage

*Netzwerksimulationssoftware* bietet eine flexible Möglichkeit detaillierte Modelle zu entwickeln, um das Verhalten komplexer Netzwerke anhand unterschiedlicher Kriterien zu untersuchen. In der Ausbildung kann *Netzwerksimulationssoftware* dazu genutzt werden, Theorie mittels simulationsbasierten *Übungslabs* zu vertiefen. Der grösste Vorteil gegenüber einem physischen *Netzwerklab*, wie es die HSR besitzt, liegt darin, dass der Studierende sich besser auf den zu lernenden Inhalt fokussieren kann, da er sich nicht mit den vielen Konfigurationsdetails eines physischen *Labaufbaus* auseinandersetzen muss. Um die Vorteile von *Netzwerksimulationssoftware* nutzen zu können, hat man sich an der HSR entschieden, für zukünftige Netzwerkmodule die *Netzwerksimulationssoftware* OPNET IT Guru einzusetzen. Der Kern dieser Arbeit bildet die Erstellung von zusätzlichen *Übungslabs*, um Studierende und interessierte IT-Fachkräfte im Umgang mit OPNET IT Guru zu schulen.

### 3.2 Vorgehen/Technologien

Als Einstieg werden die generellen Anforderungen an *Netzwerksimulationssoftware* in verschiedenen Bereichen analysiert. Darauf folgt ein Vergleich von OPNET IT Guru mit aktuellen Konkurrenzprodukten. Basierend auf einer detaillierten Analyse von OPNET IT Guru wird ein einführendes Theoriekapitel erarbeitet, das die wichtigsten Konzepte und Funktionen von OPNET IT Guru erläutert. Die *Übungslabs* werden jeweils wie folgt erarbeitet:

- Schritt 1: Mittels Aufbau von *Testlabs* werden interessante Fragestellungen gesucht.
- Schritt 2: Der *Labaufbau* wird so dokumentiert, dass möglichst viele Elemente von OPNET IT Guru benutzt werden müssen.
- Schritt 3: Die zu Beginn gestellten Fragen werden anhand der erhaltenen Statistiken beantwortet.

### 3.3 Ergebnis

Es wird ein Dokument erstellt, das Studierenden und interessierten IT-Fachkräften einen geführten Einstieg in den Umgang mit der Simulationssoftware OPNET IT Guru bietet. Das Dokument deckt folgende Themen ab:

- Einführendes Kapitel zu Simulation
- Vergleich von OPNET IT Guru mit aktuellen Konkurrenzprodukten
- Einführendes Theoriekapitel zu OPNET IT Guru mit einem zusätzlichen *Einführungslab*
- Analyse der Konvergenzzeiten der Netzwerkprotokolle *Spanning Tree Protocol (STP)* und *Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)* anhand eines umfangreichen *Übungslabs*
- Analyse des Datenflusses in unterschiedlichen Netzwerkdesigns anhand eines umfangreichen *Übungslabs*

## Technischer Bericht

# 1 Einleitung

## 1.1 Simulation

Der Begründer der Informationstheorie, Claude Elwood Shannon hat, den Begriff Simulation folgendermassen definiert: „*Simulation is the process of designing a model of a concrete system and conducting experiments with this model in order to understand the behaviour of a concrete system and/or to evaluate various strategies for the operation of the system*“ (Shannon 1975).

Diese Aussage macht deutlich, dass es sich bei der Simulation um eine experimentelle Methode handelt. Simulation lässt sich in vielen Bereichen sinnvoll einsetzen und stellt ein leistungsfähiges Hilfsmittel bei der Analyse von kybernetischen Systemen dar. Unter einem kybernetischen System versteht man ein vielschichtiges System, das sich selbst regelt (Flussregelung, adaptive Wegwahl) und sich nur schwer vereinfachen lässt.

Die folgende Aufzählung zeigt exemplarisch einige Bereiche, in denen Simulation intensiv eingesetzt wird:

- Meteorologische Simulation zur Wettervorhersage
- Flugsimulation zur Ausbildung von Piloten
- Wirtschaftssimulation zur Abschätzung von wirtschaftlichen Konsequenzen
- Netzwerksimulation
  - Auf dieses Einsatzgebiet wird in den weiterführenden Abschnitten detailliert eingegangen.

Generell kann gesagt werden, dass es ratsam ist, Simulation einzusetzen, wenn Untersuchungen am realen System nicht möglich oder zu teuer sind.

## 1.2 Simulation vs. Emulation

Bei der Emulation imitiert ein System ein anderes täuschungsecht. D.h. das emulierte System verhält sich genau gleich wie das Originalsystem. Bei der Simulation hingegen bestimmt der gewählte Detailgrad für das Modell, wie sich das System in der Simulation verhalten wird. Das Modell wird in der Regel so gewählt, dass die zu eruiierenden Fragestellungen beantwortet werden können. Folgender Leitsatz ist dabei zu beachten: „Nur so genau wie nötig und nicht so genau wie möglich!“.

## 1.3 Simulation von Computernetzen

Ein Computernetz ist, wie die meisten realen Systeme, ein kybernetisches System, denn es regelt sich in weiten Teilen selbst und die Ereignisse, die die Regelung auslösen, sind stochastischer Natur. So kann man z.B. nicht zum Voraus wissen, wann und ob eine Komponente ausfällt oder wann genau ein Benutzer auf eine bestimmte Ressource zugreift. Um ein solches System mit vielen unbekanntenen Variablen möglichst gründlich untersuchen zu können, bietet sich der Einsatz von Simulationssoftware an.

Folgende Methoden können ebenfalls für die Analyse von Computernetzen eingesetzt werden, sie weisen jedoch gegenüber der Simulation einige erhebliche Nachteile auf:

- Analytische Analyse, basierend auf Erfahrungswerten und mathematischen Verfahren, welche auf der *queueing theory* beruhen:
  - Deckt nur einen kleinen Teil der möglichen Szenarien ab
  - Benötigt Personen mit sehr viel Erfahrung
  - Grössere Systeme sind schwer zu erfassen
  - Innovationshemmend, da weniger flexibel
- Physische Analyse eines 1:1-Nachbaus
  - Erheblicher Aufwand und hohe Kosten



## 1.4 Anforderungen an Simulationssoftware von Computernetzen

Die Anforderungen an die Simulationssoftware von Computernetzen werden hauptsächlich durch ihr Einsatzgebiet definiert. In den folgenden drei Abschnitten 1.4.1 bis 1.4.3 wird auf die unterschiedlichen Anforderungen eingegangen. Falls eine Anforderung auf mehrere Bereiche zutrifft, wird sie demjenigen zugewiesen, für den sie am meisten Relevanz besitzt.

### 1.4.1 In der Ausbildung

Das Verständnis für das Funktionieren von Computernetzen nur anhand von theoretischen Grundlagen zu erlernen, ist schwer, was auch schon durch Studien belegt wurde (Cameron&Wijekumar 2003).

Es wird als hilfreich erachtet, das Verständnis und die Motivation des Lernenden mit *hands on experience* zu fördern.

Um diese *hands on experience* zu erreichen, sind folgende zwei Methoden weit verbreitet:

- Übungen mit physischen Geräten in einem dedizierten *Netzwerklab*, wie es die HSR besitzt.
- Übungen mit virtuellen Geräten in einer Simulationssoftware, diese Methode wird in dieser Bachelorarbeit genauer untersucht. Der Einsatz von Simulationssoftware bietet gegenüber einem *Netzwerklab* folgende Vorteile:
  - Der Lernende ist nicht an das physische *Netzwerklab* gebunden, sondern er kann die Simulationssoftware auf einem beliebigen Computer installieren. Dies ermöglicht eine freiere Gestaltung der Lerneinheiten.
  - Dadurch, dass weniger systemabhängige Einstellungen nötig sind, kann die Zeit des Lernenden effizienter genutzt werden und der Fokus mehr auf das eigentliche Lernziel gelegt werden.
  - Der Aufwand für die Instandhaltung des *Netzwerklabs* und die Anschaffungskosten für die Geräte fallen weg.

Um eine Simulationssoftware für Computernetze im Ausbildungsbereich sinnvoll einsetzen zu können, sollte sie die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Einheitliches Konfigurationsprinzip für alle virtuellen Geräte, damit der Fokus auf den zu lernenden Inhalt gelegt werden kann
- Modellbetrachtung auf verschiedenen Abstraktionsebenen, um Unwesentliches ausblenden zu können
- Simulationsszenarien können gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt weiter bearbeitet werden
- Visuelle Analysemöglichkeiten, um gemessene Werte aussagekräftig auswerten zu können
- Intuitive Bedienung der grafischen Benutzeroberfläche, damit die Einarbeitungszeit für den Umgang mit der Simulationssoftware möglichst wenig Zeit einnimmt
- Generische Modellpalette, damit Lernende nicht durch herstellerspezifische Einstellungen verwirrt werden
- Modelle der wichtigsten Netzwerkprotokolle und Geräte, damit diese nicht selbst modelliert werden müssen

### 1.4.2 Im professionellen Bereich

Im professionellen Umfeld steht man oft vor dem Problem, dass ein bestehendes System erweitert, verändert oder optimiert werden muss. Denn produktive Netze sind wegen steigenden Bandbreiten und *Quality of Service (QoS)* Anforderungen oder neuen Technologien stetigem Wandel unterworfen. Arbeiten an einem bestehenden Netz sind im Vergleich zur Planung eines neuen Netzes wesentlich anspruchsvoller, da die bestehende Netzwerkarchitektur berücksichtigt werden muss. Die häufigste Aufgabe im professionellen Umfeld ist die Analyse von bestehenden Netzen, die vielfach eine grosse Anzahl an Geräten aufweisen.

Um eine Simulationssoftware für Computernetze im professionellen Bereich sinnvoll einsetzen zu können, sollte sie die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Performante Simulation auch bei einer grossen Anzahl an Geräten
- Automatisiertes Einlesen von bestehenden Netzwerktopologien und Gerätekonfigurationen, um den manuellen Modellierungsaufwand auf ein Minimum zu reduzieren
- Detaillierte Analysemöglichkeiten von Fehlerszenarien, um Auswirkungen von fehlerhaften Komponenten auf das Netzwerk analysieren zu können
- Möglichkeit zur Überprüfung, ob *Service Level Agreements (SLAs)* eingehalten werden, um SLAs bereits bei der Netzwerkplanung besser berücksichtigen zu können
- Möglichst grosse Auswahl an Modellen von herstellerspezifischen Produkten, damit die virtuellen Netze so authentisch wie möglich modelliert werden können

### 1.4.3 Forschung und Entwicklung

In der Forschung und Entwicklung geht es mehrheitlich darum, neue Netzwerkprotokolle und Netzwerkgeräte zu entwickeln oder bestehende zu optimieren. Dabei ist es im Vergleich zu den vorherigen beiden Bereichen unerlässlich, vorhandene Protokoll- und *Nodemodelle* verändern oder komplett neue modellieren zu können.

Um eine Simulationssoftware für Computernetze im Forschungsbereich sinnvoll einsetzen zu können, sollte sie die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Möglichkeit, eigene *nodes* zu modellieren
- Möglichkeit, eigene Protokolle zu modellieren
- Detaillierte Analysemöglichkeiten mit sehr hoher Genauigkeit, um auch sehr kleine Veränderungen feststellen zu können
- Möglichkeit, durch plattformunabhängige *tools* wie z.B. Wireshark, die Analysemöglichkeiten zu erweitern

## 1.5 Was der Markt anbietet

Der Markt bietet eine überschaubare Anzahl an Simulatoren für den Bereich Computernetze an. Meist haben sich die Hersteller auf einen bestimmten Nischenbereich wie z.B. mobile Netze, Forschung oder herstellerspezifische Lernkursunterstützung spezialisiert. Einigen wichtigen Vertretern ist ein kurzer Abschnitt gewidmet, der erklärt, wo deren Stärken und Schwächen liegen.

Die Übersicht über die momentan auf dem Markt verfügbaren Netzwerksimulatoren wird durch eine Analyse der Webseite der *International Computer Science Institute Networking Group* gewonnen (ICSI NG 2010).

### 1.5.1 NS-3

<b>Häufigstes Einsatzgebiet:</b>	Forschung
<b>Beschreibung:</b>	<p>Pascal Kesseli beschreibt NS-3 in seiner Arbeit wie folgt (Kesseli 2009, 12):</p> <p><i>Der Netzwerksimulator NS-3 ist eine eventbasierte Simulationsumgebung, ausgelegt für Internetsysteme. Das Programm wird als Open Source-Projekt unter der Leitung des Georgia Institute of Technology entwickelt und betreut. NS-3 bietet grundsätzliche Netzwerkabstraktionen wie Pakete, Netzwerkknoten und Kanäle, wurde aber auch mit dem Fokus auf gängige Internettechnologien wie Transport Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP) oder Internet Protocol (IP) um spezifischere Komponenten wie Router, Wireless Local Area Network (WLAN) und Sockets erweitert.</i></p> <p>NS-3 ist der von Grund auf überarbeitete Nachfolger von NS-2.</p>
<b>Stärke:</b>	Es fallen keine Lizenzgebühren für die Software an und NS-3 ist gut dokumentiert.
<b>Schwäche:</b>	NS-3 besitzt keine Benutzeroberfläche, sämtliche Modelle müssen in der Hochsprache C++ durch die Nutzung des NS-3 <i>frameworks</i> erstellt werden.
<b>Hersteller/Entwickler URL:</b>	<a href="http://www.nsnam.org/">http://www.nsnam.org/</a>

### 1.5.2 Packet Tracer

<b>Häufigstes Einsatzgebiet:</b>	Ausbildung (Cisco Certified Network Associate (CCNA))
<b>Beschreibung:</b>	<p>Der Netzwerksimulator Packet Tracer ist eine Entwicklung von Cisco mit dem Ziel, Lernenden auf der Fähigkeitsstufe CCNA ein virtuelles <i>Netzwerklab</i> zur Verfügung zu stellen. Packet Tracer bietet spezielle Kollaborationsfunktionen, um die Zusammenarbeit zwischen Studenten und auch mit dem Dozenten zu vereinfachen. Der Fokus ist klar darauf ausgelegt, die Konfiguration von Cisco Equipment zu erlernen und die verwendeten Netzwerkprotokolle zu verstehen. Packet Tracer ist nicht darauf ausgelegt, ein reales Netzwerk so genau wie möglich modellieren zu können, um dieses z.B. einer virtuellen Leistungs- oder Fehleranalyse zu unterziehen.</p>
<b>Stärke:</b>	Packet Tracer visualisiert den Paketfluss sehr ansehnlich, so dass gut nachvollzogen werden kann, welche <i>nodes</i> ein Paket passiert und wo es z.B. verworfen wird.
<b>Schwäche:</b>	Keine statistischen Analysemöglichkeiten vorhanden, um z.B. den am meisten ausgelasteten <i>link</i> zu eruieren.
<b>Hersteller/Entwickler URL:</b>	<a href="http://www.cisco.com/web/learning/netacad/course_catalog/PacketTracer.html">http://www.cisco.com/web/learning/netacad/course_catalog/PacketTracer.html</a>

### 1.5.3 NetSim

<b>Häufigstes Einsatzgebiet:</b>	Ausbildung (CCNA, Cisco Certified Network Professional (CCNP))
<b>Beschreibung:</b>	<p>Der Netzwerksimulator NetSim ist eine Entwicklung der Firma Boson. Das Ziel von NetSim ist wie bei Packet Tracer, Lernenden in der Vorbereitung für Cisco Zertifikate eine virtuelle Lernumgebung zur Verfügung zu stellen. NetSim bietet eine grosse Anzahl an <i>Übungslabs</i>, die automatisiert kontrolliert werden können. Dies und das Fehlen von Kollaborationsfunktionen und einer vergünstigten <i>academic version</i> machen NetSim vor allem für Einzelpersonen als Selbststudiumshilfe geeignet. NetSim stellt viele der Spezialfunktionen wie z.B. das Cisco spezifische <i>Hot Standby Router Protocol (HSRP)</i> zur Verfügung, wodurch sich NetSim im Gegensatz zu Packet Tracer auch für die Ausbildungsstufe CCNP eignet.</p>
<b>Stärke:</b>	Deckt einen grossen Teil der Cisco Modellpalette ab und beinhaltet Übungsaufgaben, die automatisiert kontrolliert werden können.
<b>Schwäche:</b>	Keine statistischen Analysemöglichkeiten vorhanden, um z.B. den am meisten ausgelasteten <i>link</i> zu eruieren.
<b>Hersteller/Entwickler URL:</b>	<a href="http://www.boson.com/AboutNetSim.html">http://www.boson.com/AboutNetSim.html</a>

1.5.4 GNS3

<b>Häufigstes Einsatzgebiet:</b>	Ausbildung (Cisco und Juniper Zertifizierungen), professionelles Umfeld
<b>Beschreibung:</b>	Das <i>open source</i> Projekt <i>Graphical Network Simulator 3 (GNS3)</i> ist, wie der Name bereits sagt, ein grafischer Netzwerksimulator. GNS3 verwendet im Vergleich zu den bereits vorgestellten Simulationsumgebungen einen etwas anderen Ansatz. Durch die Verwendung von Dynamips und Qemu ist es möglich, diverse <i>Routing-</i> und <i>Firewallplattformen</i> von Cisco und Juniper zu emulieren. Zur Emulation der <i>router</i> werden die originalen <i>Betriebssystemimages</i> der entsprechenden <i>Routermodelle</i> verwendet. Die Emulation von Cisco Catalyst <i>switches</i> ist momentan mit Dynamips noch nicht möglich, da in diesen Geräten <i>Application Specific Integrated Circuit (ASIC)</i> Prozessoren verwendet werden, die Dynamips noch nicht emulieren kann. Es sind einige Ethernet, <i>Asynchronous Transfer Mode (ATM)</i> und <i>Frame Relay switches</i> vorhanden, diese sind aber nur spärlich konfigurierbar. Hinweis: GNS3 steht nicht im Zusammenhang mit NS-3.
<b>Stärke:</b>	Dadurch, dass die <i>hardware</i> emuliert wird, entsprechen die von den GNS3 <i>nodes</i> ausgetauschten Netzwerkpakete 1:1 den Paketen, die auch über einen physikalischen <i>link</i> geschickt würden. Diese Pakete können in GNS3 mit dem bekannten Netzwerkanalysewerkzeug Wireshark analysiert werden.
<b>Schwäche:</b>	Die originalen <i>Betriebssystemimages</i> werden nicht mit der Simulationsumgebung mitgeliefert, sondern müssen selbst besorgt werden. Dies ist, ausser wenn man im Besitz einer <i>Cisco Internetworking Operating System (Cisco IOS)</i> oder <i>Juniper Operating System (JunOS)</i> Lizenz ist, nur auf illegalem Weg möglich.
<b>Hersteller/Entwickler URL:</b>	<a href="http://www.gns3.net">http://www.gns3.net</a>

1.5.5 OMNEST

<b>Häufigstes Einsatzgebiet:</b>	Forschung und Entwicklung
<b>Beschreibung:</b>	OMNEST ist die kommerzielle Version von OMNet++, die beide von der Firma Simulcraft Inc. entwickelt werden. Es handelt sich bei beiden um diskrete, eventbasierte <i>Simulationsframeworks</i> , welche die Eclipse Entwicklungsumgebung als Benutzeroberfläche nutzen. Das <i>framework</i> besitzt eine sehr generische Struktur, wodurch es für viele Problemstellungen wie z.B. Protokollmodellierung, Validierung von <i>Hardwarearchitekturen</i> und die Modellierung von Kommunikationsnetzwerken einsetzbar ist.
<b>Stärke:</b>	Ermöglicht zusätzlich zur Simulation auch die Emulation von Modellen, wodurch z.B. auch die Zusammenarbeit eines Modellentwurfs mit richtiger <i>hardware</i> getestet werden kann.
<b>Schwäche:</b>	Dadurch, dass die Entwicklungsumgebung Eclipse als Benutzeroberfläche verwendet wird, gestaltet sich die Bedienung weniger intuitiv als bei den anderen Simulationslösungen.
<b>Hersteller/Entwickler URL:</b>	<a href="http://omnest.com/overview.php">http://omnest.com/overview.php</a> <a href="http://www.omnetpp.org/home/what-is-omnet">http://www.omnetpp.org/home/what-is-omnet</a>

1.5.6 OPNET IT Guru

<b>Häufigstes Einsatzgebiet:</b>	Ausbildung, professionelles Umfeld, Entwicklung und Forschung Das breite Einsatzspektrum von OPNET IT Guru ist auf den grossen Funktionsumfang zurückzuführen.
<b>Beschreibung:</b>	Eine detaillierte Beschreibung zu OPNET IT Guru folgt im Abschnitt 2, Einführung in OPNET IT Guru.
<b>Stärke:</b>	OPNET IT Guru bietet viele integrierte Analysewerkzeuge, die z.B. das Finden von Konfigurationsfehlern oder <i>bottlenecks</i> vereinfachen. Zusätzlich ist es mit OPNET IT Guru möglich, automatisiert ganze Topologien einzulesen, um diese dann virtuell analysieren zu können.
<b>Schwäche:</b>	Es gibt keine Möglichkeit, den Netzwerkverkehr auf der Ebene von einzelnen Paketen anzuschauen.
<b>Hersteller/Entwickler URL:</b>	<a href="http://www.opnet.com/solutions/network_performance/itguru_network_planner/index.html">http://www.opnet.com/solutions/network_performance/itguru_network_planner/index.html</a>

## 1.6 Wieso OPNET IT Guru ?

OPNET IT Guru bietet gegenüber Konkurrenzprodukten folgende Vorteile:

- Die Möglichkeit, Netzwerktopologien und Gerätekonfigurationen automatisiert einzulesen
  - Dies bringt Zeitersparnis, wenn es um die Analyse von bestehenden Netzen geht
- Bietet den grössten Funktionsumfang von allen betrachteten Simulatoren, der durch zusätzlich erhältliche Module noch erweitert werden kann
- Die weite Verbreitung in der Industrie und an Universitäten bestätigt das Potential des Simulators
- Für Lernende und Berufsleute ist es ein Wettbewerbsvorteil, mit dem am meisten verbreiteten „Werkzeug“ vertraut zu sein
- Bietet die grösste vorgefertigte *model library* aller betrachteten Simulatoren, was den Modellierungsaufwand minimiert, falls auf ein bestehendes Modell zurückgegriffen werden kann
- Protokoll und *Nodemodelle* können von Grund auf selbst entworfen werden
- Bietet eine grosse Vielfalt an Analysemöglichkeiten, um Fehlerszenarien und Leistungsoptimierung durchführen zu können
- Bietet eine *academic licence* an, so dass eine eingeschränkte Version von OPNET IT Guru für Ausbildungszwecke kostenlos genutzt werden kann

## 2 Einführung in OPNET IT Guru

In diesem Abschnitt wird auf die Entstehung und die wichtigsten Komponenten von OPNET IT Guru eingegangen. Es wird auch erklärt, für welche Einsatzbereiche sich OPNET IT Guru eignet und wie man damit ein erstes kleines Beispielprojekt erstellt. Für die Installation der *academic* oder *professional version* wird auf die Webseite des Herstellers OPNET verwiesen.

### 2.1 Entstehung von OPNET

Im Jahr 1986 entwickelten zwei Studenten des *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* einen Prototypen einer Netzwerkmodellierungs- und Simulationssoftware, die sie *Optimized Network Engineering Tools (OPNET)* nannten. Noch im selben Jahr gründeten sie zusammen mit dem Bruder des einen Studenten die Firma *MIL 3*, welche im Jahr 2000 in *OPNET Technologies* umbenannt wurde.

Folgende Bereiche werden durch die Produktpalette von OPNET abgedeckt:

- Leistungsmessung von Applikationen
- Netzwerkplanung
- Netzwerkforschung- und Entwicklung

Viele namhafte Firmen wie z.B. die Deutsche Telekom, Microsoft, Walmart, Ernst & Jung, Oracle etc. machen von dieser breit gefächerten Produktpalette Gebrauch. In dieser Arbeit wird ausschliesslich die Netzwerksimulationssoftware OPNET IT Guru in der *academic version* betrachtet. Die *academic version* unterliegt folgenden Restriktionen:

- Limitierte Import- und Exportfähigkeiten
- Limitierte *wireless* Funktionalität
- Keine Unterstützung für andere Produktmodule
- Die maximale Anzahl von Simulationsereignissen ist auf 50 Millionen limitiert
- Es sind maximal 20 intermediäre *nodes* möglich

(Dunaytsev 2010)

### 2.2 Einsatzgebiete für OPNET IT

Durch den enormen Funktionsumfang von OPNET IT Guru eignet sich die Software nicht nur für die Ausbildung im Bereich Netzwerk, sondern auch für den professionellen Einsatz. Es wäre auch möglich, OPNET IT Guru in der Forschung und Entwicklung einzusetzen, um z.B. ein neues Netzwerkprotokoll zu entwickeln. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Einsatz von OPNET IT Guru im Ausbildungsbereich, auf die anderen beiden Bereiche wird im weiteren Verlauf der Arbeit nicht weiter eingegangen.

Die folgende Aufzählung soll nur eine Vorstellung des Funktionsumfangs von OPNET IT Guru vermitteln.

- Ausbildung:
  - Entwerfen von kompletten Netzwerktopologien und deren Verifizierung.
  - Analyse von Netzwerkprotokollen
  - Analyse von Problemszenarien aus der Praxis
- Professioneller Einsatz (OPNET Tech. 2008):
  - Kostenoptimiertes Planen und Ausrollen von neuen Applikationen und Netzwerktechnologien.
  - Kapazitätsplanung für das Netzwerk
  - Minimierung der Risiken bei Änderungen oder Migrationen am Netzwerk durch die Möglichkeit, verschiedene Szenarien virtuell durchzuspielen
  - Optimierung des Einsatzes von QoS und *Traffic Engineering (TE)* zur Einhaltung von SLAs
  - Sicherstellung der Überwachbarkeit und Sicherheit von Netzwerken

## 2.3 Klassifikation von OPNET IT Guru als Simulationssoftware

Bei OPNET IT Guru handelt es sich um eine Simulationssoftware mit folgenden Eigenschaften:

- Dynamisch: Denn die Zeit spielt eine wichtige Rolle.
- Diskret: Die Zustandswechsel finden zu diskreten Zeitpunkten statt.
- Ereignisorientiert: Jedes Ereignis besitzt einen Ereigniszeitpunkt. Beim Eintritt bewirkt das Ereignis einen Zustandsübergang und die Erzeugung neuer Ereignisse.

## 2.4 Aufbau von OPNET IT Guru

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Bausteine von OPNET IT Guru erklärt, so dass bereits ein gewisses Verständnis für die Software vorhanden ist, bevor mit dem *Einführungslab* begonnen wird. Die Informationen für diesen Abschnitt basieren auf OPNET Schulungsdokumenten (OPNET Tech. 2004) (OPNET Tech. 2009).

### 2.4.1 Szenario

Ein Szenario in OPNET IT Guru entspricht einem *Virtual Network Environment (VNE)*. Das VNE kann die Abbildung eines physischen Netzwerks sein oder einem frei erdachten Entwurf entsprechen. Ein VNE besteht typischerweise aus einer beliebigen Kombination von Objekten, welche einer der drei unten aufgeführten Kategorien angehören. Die Liste der Objekte innerhalb der Kategorien ist nicht abschliessend.

- Topologie
  - Router
  - Firewall
  - Switch
  - Load balancer
  - Link
- Datenverkehr
  - Flow
  - Load
  - Packet
- Konfiguration
  - Protokoll Einstellungen
  - QoS Einstellungen

### 2.4.2 Projekt vs. Szenario

Ein Projekt ist eine Sammlung von zusammengehörenden Netzwerkszenarien, bestehend aus mindestens einem oder mehreren Szenarien. Ein Szenario entspricht, wie oben erwähnt, einem einzelnen VNE. Der Unterschied wird anhand der Abbildung 1 verdeutlicht.

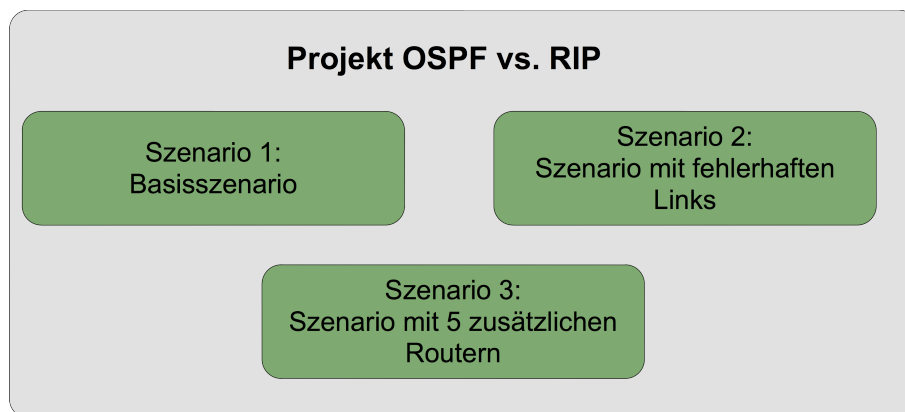


Abbildung 1: Projekt vs. Szenario

Durch die Aufteilung in Szenarien ist es möglich, Modellvariationen miteinander zu vergleichen. [Praxisbeispiel: 2.5.3 Schritt 1-2]

### 2.4.3 Benutzeroberfläche

Der *project editor* stellt das zentrale Werkzeug im Umgang mit OPNET IT Guru dar. Der blau umrandete *workspace* kann per *drag and drop* mit Objekten bestückt werden (1, Abbildung 2), die von der *object palette* geholt werden müssen. [Praxisbeispiel: 2.5.4.1 Schritt 3]

Über den Auswahlsektor (2, Abbildung 2) kann die *object palette* aufgerufen werden. Alle in den *object palettes* auswählbaren Objekte basieren auf der *model library*, die im Abschnitt 2.4.4.1 genauer beschrieben wird. Eine einzelne *object palette*, wie hier z.B. die *internet\_toolbox palette*, stellt dabei eine nach einem bestimmten Kriterium, z.B. Protokoll oder Hersteller vorsortierte Auswahl an Objekten dar. Über das *drop down* Menü kann zu jeder Zeit zwischen den vorgefertigten *object palettes* gewechselt werden. Mittels *configure palette* könnte auch eine massgeschneiderte *palette* erstellt werden. [Praxisbeispiel: 2.5.4.1 Schritt 3]

Der Auswahlsektor (3, Abbildung 2) führt zu den allgemeinen Simulationseinstellungen, wo z.B. die Simulationsdauer und *global attributes* verändert oder noch nicht gesetzte *object attributes* gesetzt werden können. Mehr Informationen zu noch nicht gesetzten Attributen, sind im Abschnitt 2.4.4.2.1 zu finden. [Praxisbeispiel: 2.5.10 Schritt 23]

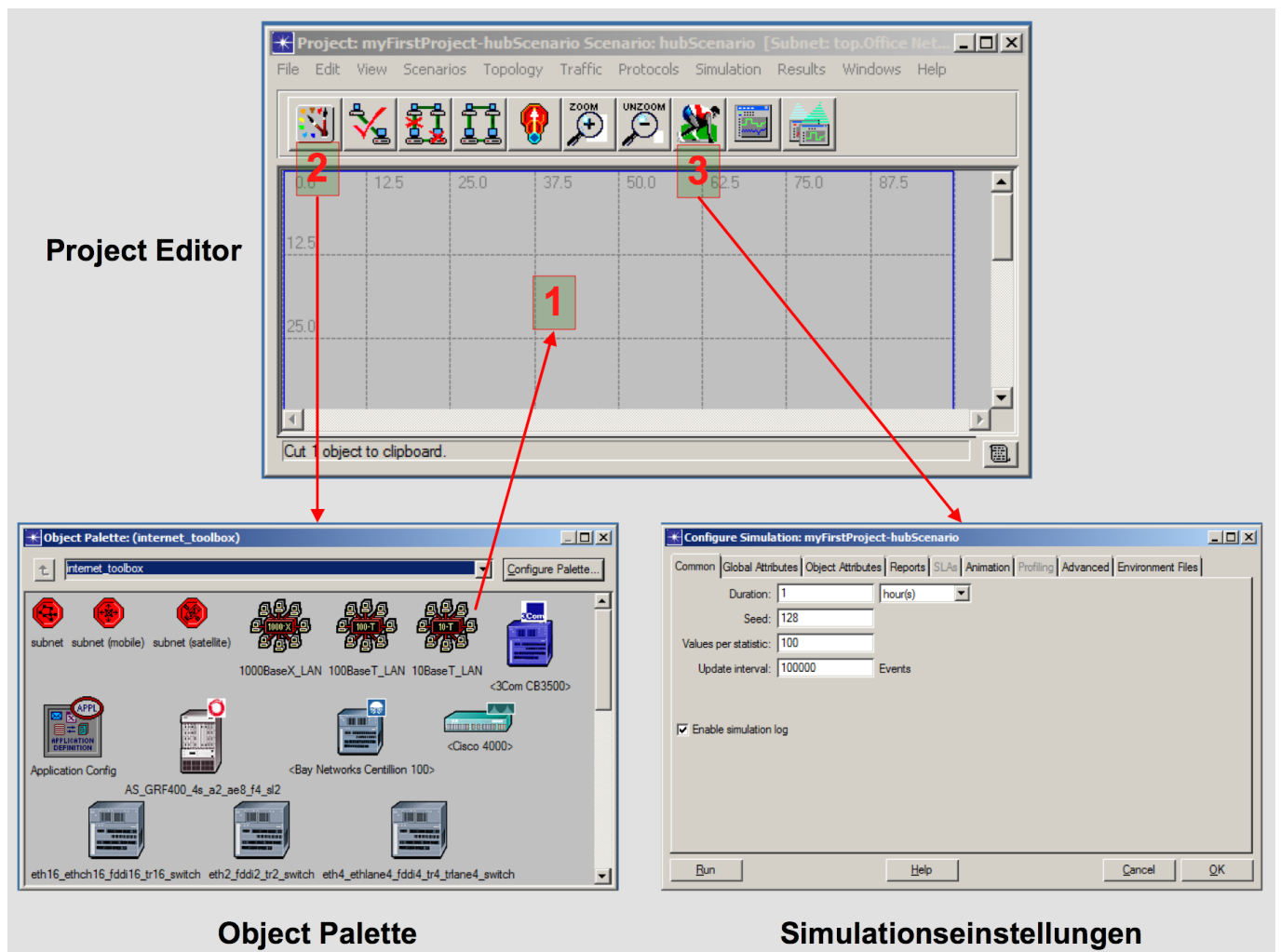


Abbildung 2: Benutzeroberfläche



2.4.4 Model

Um OPNET IT Guru als Werkzeug einsetzen zu können, ist keine genauere Kenntnis darüber nötig, wie die Modelle aufgebaut sind, da die Modelle nicht selbst erstellt werden müssen. Darum wird hier nur darauf hingewiesen, dass es mit OPNET IT Guru möglich ist, Modelle von Grund auf selbst zu entwerfen, womit die im Abschnitt 2.4.4.1 gezeigte *model library* beliebig erweitert werden kann. Details zum Thema „Modellentwurf für OPNET IT Guru“ sind den entsprechenden OPNET Kursunterlagen zu entnehmen. Eine detaillierte Liste, für welche Geräte und Standards bereits Modelle existieren, ist im Anhang im Abschnitt IX OPNET Model Library enthalten.

2.4.4.1 Model Library

Um Netzwerke einfach modellieren zu können, stellt OPNET auf Basis der vorhandenen Standards und proprietären Systemeigenschaften eine reichhaltige Sammlung an dedizierten Objektmodellen in der *model library* zur Verfügung.

Folgende Objekttypen können in der *model library* unterschieden werden:


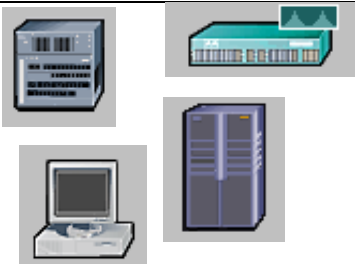


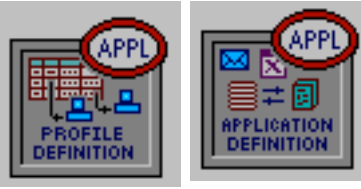
Objektgruppe	Abbildungen	Beschreibung
Subnetwork		Ein <i>subnetwork</i> hat keine verhaltensbeeinflussende Funktion, sondern dient nur der Vereinfachung des Netzwerks. Es ist ein Behälter, der die enthaltenen Objekte in ein einzelnes Objekt abstrahiert und selbst wieder weitere <i>subnetworks</i> enthalten kann. Auch wenn man selbst kein <i>subnetwork</i> erstellt hat, das <i>top level subnetwork</i> ist immer vorhanden. [Praxisbeispiel: 2.5.4.1 Schritt 8]
Node		Ein <i>node</i> repräsentiert ein Netzwerkgerät, dessen Eigenschaften durch das verwendete <i>node model</i> definiert sind. Zu diesem Typ gehören unter anderem <i>router, switch, hub, workstation, server, firewall, etc.</i> Es werden neben generischen <i>nodes</i> auch spezielle <i>nodes</i> verschiedener Hersteller und Typen angeboten. [Praxisbeispiel: 2.5.4.1 Schritt 8]
LAN und cloud		Ein <i>Local Area Network (LAN)</i> abstrahiert eine LAN Infrastruktur, welche eine beliebig wählbare Anzahl an <i>workstations</i> enthalten kann. [Praxisbeispiel: 2.5.6 Schritt 15]  Eine <i>cloud</i> Abstrahiert eine <i>Wide Area Network (WAN)</i> Infrastruktur in ein einzelnes Objekt und ermöglicht Einstellungen wie z.B. Paketverzögerung und Paketverlustrate, die benötigt werden, um das Verhalten von ATM, <i>Frame Relay</i> und IP WANs zu simulieren.  LAN und <i>cloud</i> Objekte reduzieren den Konfigurationsaufwand beim modellieren des Netzwerks und den Speicherverbrauch während der Simulation.
Link		Ein <i>link</i> repräsentiert das physische Medium und dessen Eigenschaften wie z.B. Datenrate in <i>bits</i> pro Sekunde, Wahrscheinlichkeit von Datenkorruption oder <i>delay</i> . [Praxisbeispiel: 2.5.4.1 Schritt 8]
Utility object		Ein <i>utility object</i> entspricht nicht physischer Infrastruktur, sondern ist für logische Funktionen wie z.B. die Konfiguration von QoS oder die Planung von Fehlerereignissen verantwortlich. Es ist zu beachten, dass der Namen im <i>icon</i> des <i>utility objects</i> vielfach nicht mit dem darunter aufgeführten Namen übereinstimmt. [Praxisbeispiel: 2.5.4.1 Schritt 8]

Tabelle 1: Model library

2.4.4.2 Objekt Attribute

Alle Objekte aus der *model library* besitzen Attribute. Diese bestimmen das Verhalten der Objekte. Die beiden Attribute *name* und *model* sind bei allen Objekten vorhanden und haben folgende Bedeutung:

- *Name*: Definiert den eindeutigen Namen des Objektes innerhalb desselben *subnetworks*. Die Eindeutigkeit bei Verwendung des gleichen Namens in unterschiedlichen Subnetzten ist durch den folgenden hierarchischen Namensaufbau gewährleistet:
  - top\_level\_subnet.subnet\_A.subnet\_B.Objektname
- *Model*: Definiert den Namen des Modelltypen, der für dieses Objekt verwendet wird

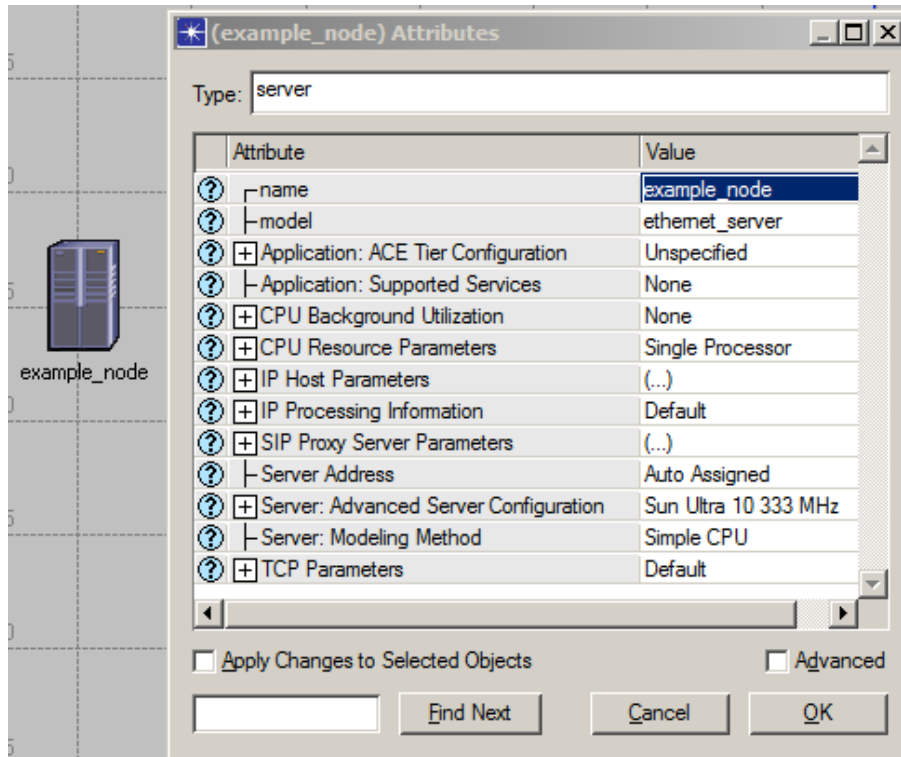


Abbildung 3: Attribute

In Bezug auf Attribute ist Folgendes zu beachten:

- Die Attribute von zwei unterschiedlichen Modelltypen können sich unterscheiden.
- Zwei Objekte desselben Modelltypen besitzen immer dieselben Attribute und können sich nur anhand der Attributwerte unterscheiden. Unterschiedliche Attributwerte ermöglichen ein differenziertes Verhalten von Objekten desselben Modelltypen.

[Praxisbeispiel: 2.5.4.2 Schritt 9]

2.4.4.2.1 Promoting eines Attributes

Es ist möglich, Attribute zu *promoten*, d.h der Attributwert wird erst auf einer hierarchisch höheren Stufe zugewiesen. Das Attribut wird so lange die Hierarchiestufe hinaufgereicht, bis es auf einer Stufe definiert wird. Spätestens zur Simulationslaufzeit muss das Attribut zugewiesen sein. Dies kann dazu genutzt werden, um ein Simulationsszenario mehrmals automatisiert mit unterschiedlichen Attributwerten zu simulieren. So könnten z.B. für das in der Abbildung 4 gezeigte Attribut *hello interval*, die Simulationseinstellungen so angepasst werden, dass fünf Simulationsläufe mit unterschiedlichen *hello interval* Attributwerten durchgeführt werden.

Die Abbildung 4 zeigt eine einfach gehaltene *subnetwork* Hierarchie. Die roten Pfeile zeigen den Pfad, den das noch undefinierte Attribut hinaufgereicht wird. [Praxisbeispiel: 2.5.10 Schritt 22-23]

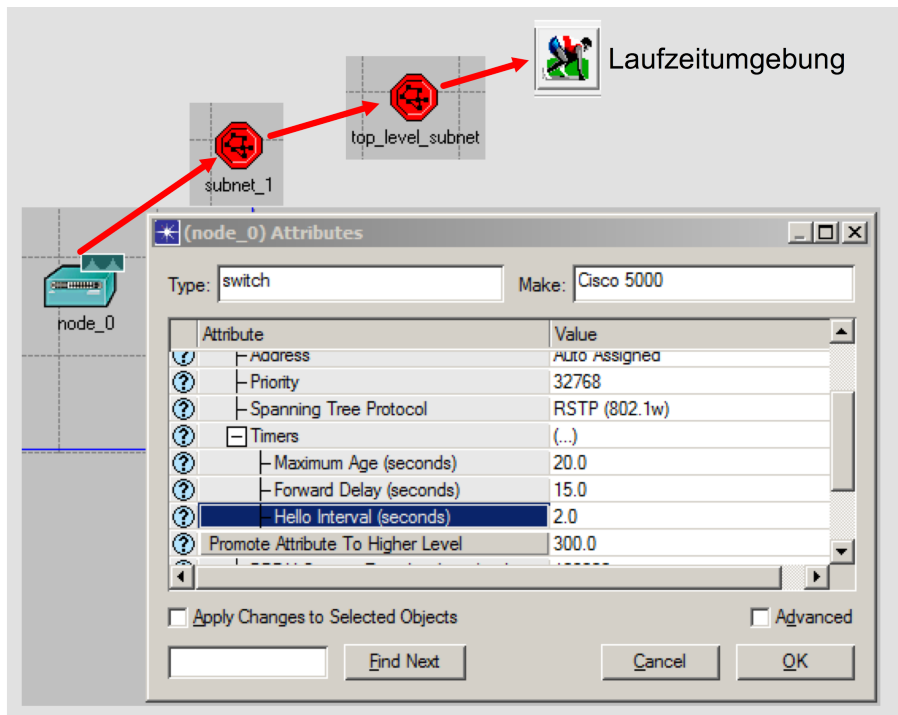


Abbildung 4: Attribute promoten

**2.4.5 Unterschiedliche Arten von Datenverkehrstypen**

In OPNET IT Guru gibt es folgende drei unterschiedliche Arten, wie Datenverkehr modelliert werden kann:

- *Flow*: Repräsentiert Datenverkehr von einer Quelle zu einem Ziel. *Flowinformationen* können von verschiedenen *Managementplattformen* wie z.B. Cisco Netflow importiert oder manuell hinzugefügt werden. Ein *flow* stellt in OPNET IT Guru eine *IP demand* dar und wird deshalb als gepunktete Linie zwischen Quelle und Ziel dargestellt.
- *Load*: Repräsentiert die prozentuale Auslastung eines individuellen *links*. Die Auslastung kann jeweils für beide Richtungen  $A \rightarrow B$  und  $B \rightarrow A$  separat angegeben werden. *Loadinformationen* können von *Managementplattformen* wie z.B. *Multi Router Traffic Grapher (MRTG)* importiert oder manuell hinzugefügt werden.
- *Packet*: Repräsentiert den Datenverkehr in Form individueller Pakete. Für diese Variante muss der *application layer*, so wie es im Abschnitt 2.4.6 gezeigt wird, modelliert werden.

Die angesprochenen Importfunktionen sind jeweils nur in der *professional version* von OPNET IT Guru vorhanden.

In der folgenden Tabelle sind die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Datenverkehrstypen aufgezeigt, damit ihr Einsatzgebiet besser abgeschätzt werden kann.

Datenverkehrstyp	Vorteil	Nachteil
<i>Load</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenmaterial ist einfach zu erheben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kann in Fehlerszenario nicht <i>rerouted</i> werden</li> <li>• Gibt keine genauere Auskunft darüber, welche Quelle den Datenverkehr verursacht oder zu welcher Quelle dieser fließt.</li> </ul>
<i>Flow</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Flowdaten</i> können korrekt anhand der <i>Routingprotokollinformationen geroutet</i> werden, womit <i>flows</i> gut für Fehleranalysen geeignet sind.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manchmal ist es schwer, die <i>Flowinformationen</i> für ein ganzes Netzwerk zu sammeln.</li> </ul>
<i>Packet</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermöglicht die Auswertung von detaillierten Statistiken wie z.B. :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Konvergenzzeit</li> <li>○ Paketverlust</li> <li>○ <i>Delay</i></li> <li>○ <i>Jitter</i></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöht die Simulationsdauer</li> </ul>

Tabelle 2: Datenverkehrstypen

**2.4.6 Modellierung des application layers**

Zur Modellierung des *application layers* in OPNET IT Guru braucht es folgende Objekte:

- *Application definition*: Definiert global, welche Applikationen im VNE verfügbar sind. Dies könnte z.B. *email*, *File Transfer Protocol (FTP)*, *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)*, etc. sein.
- *Profile definition*: Definiert die Benutzerprofile, welche bestimmen, wie, wann und wie oft eine Applikation genutzt werden soll. Ein einzelnes Benutzerprofil repräsentiert somit das Verhalten einer Benutzergruppe. Es können nur die Applikationen genutzt werden, welche in der *application definition* definiert wurden.
- *Workstation*: Der Workstation muss ein Profil aus der *profile definition* zugewiesen werden.
- *Server*: Es muss im VNE ein Server existieren, welcher die in der *application definition* definierten Applikationen anbietet.

[Praxisbeispiel: 2.5.4.2 Schritt 9-12]

**2.4.7 Auswahl und Auswertung von Statistiken**

Um später Daten auswerten zu können, ist es nötig, Daten zu sammeln. Welche Daten gesammelt werden, muss immer explizit angegeben werden.

Es gibt folgende drei Statistiktypen:

- *Global*: Beziehen sich auf das gesamte Netzwerk, z.B. *application response time*
- *Node*: Werden auf individuellen *nodes* gemessen, z.B. *delay*, *jitter*
- *Link*: Werden auf individuellen *links* gemessen, z.B. *utilization*, *throughput*, *queuing delay*

[Praxisbeispiel: 2.5.5 Schritt 13]

**2.4.7.1 Collection mode**

Für jede Statistik kann ausgewählt werden, wie die Werte gesammelt werden sollen. Es kann zwischen den unten aufgeführten Modi ausgewählt werden, wobei standardmässig der *bucket mode* ausgewählt ist:


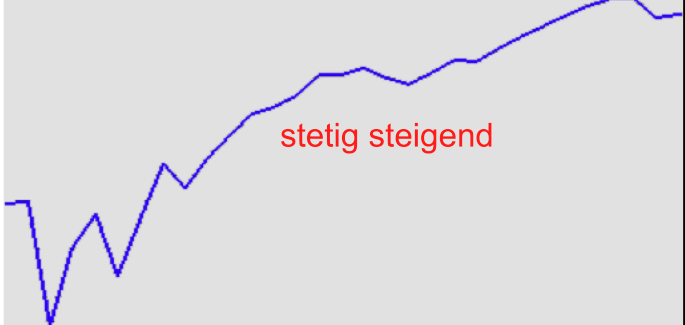
- *All values mode*: Alle Datenwerte werden gesammelt.
- *Sample mode*: Der Benutzer kann zwischen einem Zeitintervall und einem *sample count* auswählen. So kann z.B. definiert werden, dass ein Datenwert jede zehnte Simulationssekunde oder jeder zehnte Datenwert gesammelt wird.
- *Bucket mode*: Alle Datenwerte über einem bestimmten Zeitintervall oder *sample count* werden gesammelt und anhand einer wählbaren Funktion (*max, min, sum, count, sample average* oder *time average*) zu einem Datenwert verarbeitet.

Zu wissen, wie die Datenwerte gesammelt werden, ist wichtig, um selbst die Granularität der zu sammelnden Daten bestimmen zu können. Wollte man z.B. den FTP Datenverkehr zwischen einem *server* und einer *workstation* über den Zeitraum von 10 Stunden messen und würde die Standardeinstellungen nicht verändern, hätte man alle  $(10 * 3600) / 100 = 360s$  6 Minuten einen Messwert. So wäre es wahrscheinlich, dass kurzfristige Spitzen im resultierenden Graphen nicht klar erkannt werden können.

**2.4.8 Graph interpretieren**

Ein häufiges Ziel bei der Betrachtung eines Graphen ist es, herauszufinden, ob das System während der Simulation einen stabilen Zustand erreicht. In der unten folgenden Tabelle 3 ist ein Vergleich zwischen zwei typischen Stellvertretern für je ein stabiles und ein instabiles System zu sehen.

Häufig sind am Anfang des Graphen grössere Schwankungen zu beobachten. Diesen Verlauf bezeichnet man als Einschwingen des Systems. Verläuft ein Graph nach dem Einschwingvorgang auf ähnlichem oder sogar leicht sinkendem Niveau, kann von einem stabilen System ausgegangen werden. Ist der Graph jedoch stetig steigend oder weist er über weite Bereiche grosse Schwankungen auf, so deutet dies auf ein instabiles System hin.

Graph eines stabilen Systems	Graph eines instabilen Systems
 <p>The graph shows a blue line that starts with high-frequency oscillations and then settles into a relatively flat, stable pattern. A red box labeled 'Einschwingen' covers the initial oscillatory part, and another red box labeled 'Stabilisierung' covers the subsequent stable part.</p>	 <p>The graph shows a blue line that starts with a dip and then trends upwards with some fluctuations, indicating a continuous increase over time.</p>
<p>Abbildung 5: Graph eines stabilen Systems</p>	<p>Abbildung 6: Graph eines instabilen Systems</p>
<p>Die Abbildung 5 zeigt den Graphen eines stabilen Systems, erkennbar durch den Einschwingvorgang und den darauf folgenden stabilen Verlauf des Graphen.</p>	<p>In der Abbildung 6 sind kein Einschwingvorgang und auch keine stabilen Bereiche auf ähnlichem Niveau erkennbar. Der Graph ist über beinahe den gesamten Beobachtungszeitraum stetig steigend, was ein instabiles System vermuten lässt.</p>

**Tabelle 3: Graphenvergleich**

Es ist anzufügen, dass sich durch die Interpretation eines einzelnen Graphen nur schwer eine absolute Aussage über die Stabilität eines Systems machen lässt. Es sollten dazu noch weitere Graphen oder andere statistische Mittel zu Hilfe genommen werden. Zudem stellt ein Graph nur eine Beobachtung des Systems über einen bestimmten Zeitraum dar. Eventuell muss der Beobachtungszeitraum verlängert werden, um die Stabilisierung des Systems erkennen zu können. [Praxisbeispiel: 2.5.11 Schritt 34-35]

### 2.4.9 Efficiency modes für Protokolle

Es ist wichtig zu wissen, dass von OPNET IT Guru standardmässig so genannte *efficiency modes* eingesetzt werden, um die Anzahl an Simulationsereignissen zu reduzieren und so die Simulationseffizienz zu steigern. Als Beispiel wird bei aktiviertem *Address Resolution Protocol (ARP) efficiency mode* kein ARP Verkehr simuliert, sondern für das ganze VNE zu Beginn der Simulation eine globale *Media Access Control (MAC)* Adresstabelle erstellt. Somit muss für Beobachtungen, für welche der ARP Verkehr selbst relevant ist, der *ARP efficiency mode* ausgeschaltet werden.

Welche *efficiency modes* gerade aktiviert oder deaktiviert sind, kann in den Simulationseinstellungen unter *global attributes* (1, Abbildung 7) nachgeschaut werden. Über *details* (2, Abbildung 7) kann eine detaillierte Beschreibung (3, Abbildung 7) für den jeweiligen *efficiency mode* aufgerufen werden. [Praxisbeispiel: 3.6 Schritt 6]

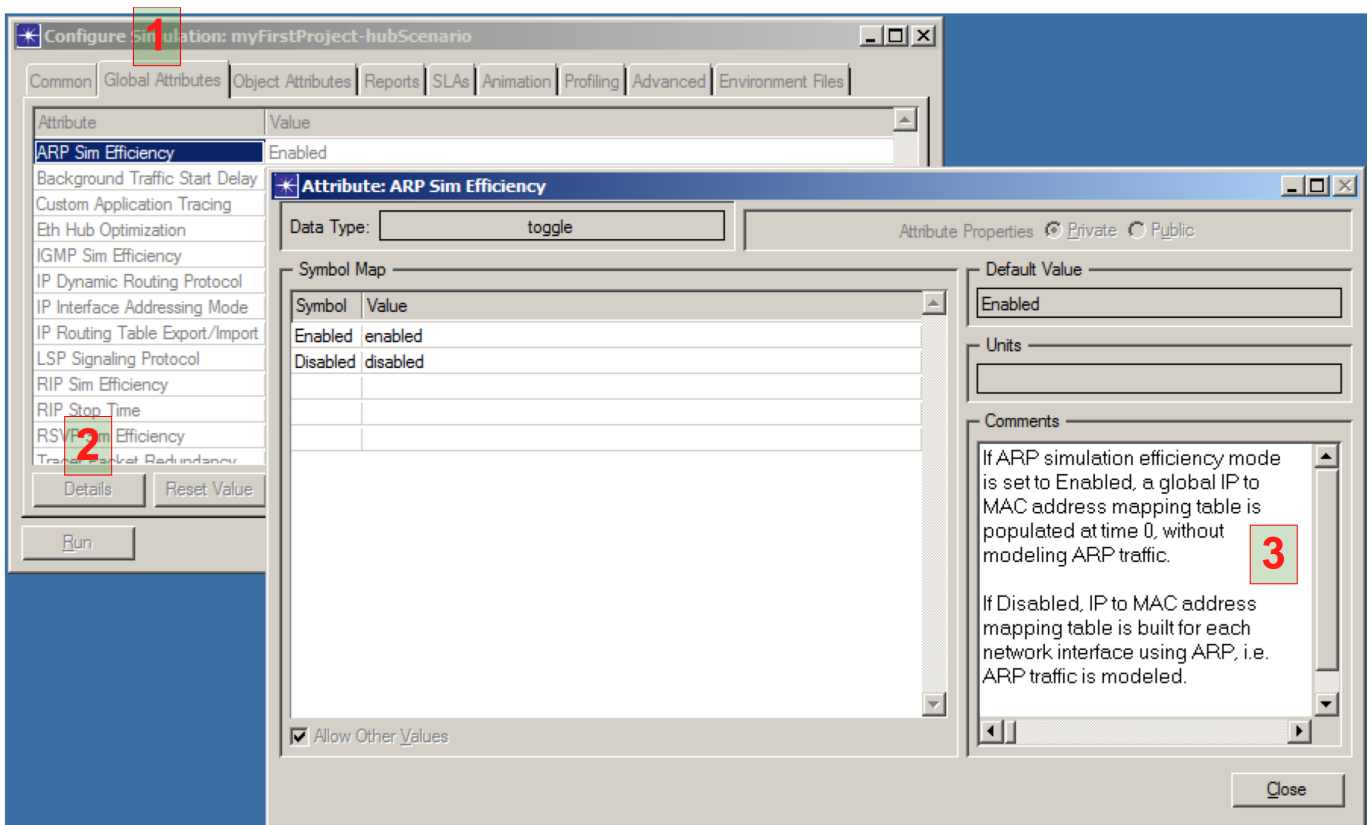


Abbildung 7: Efficiency modes

## 2.5 Einstieg mit OPNET IT Guru

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wie mit OPNET IT Guru ein Beispielprojekt erstellt werden kann. Ziel dieses *Einführungslabs* ist es, möglichst viele der in Abschnitt 2.4 vorgestellten Komponenten praktisch einzusetzen. Die grundlegendsten Schritte bei der Arbeit mit OPNET IT Guru und ihre Reihenfolge sind in der Abbildung 8 dargestellt. Der weitere Verlauf des Abschnittes 2.5 richtet sich nach der Struktur der Abbildung 8.

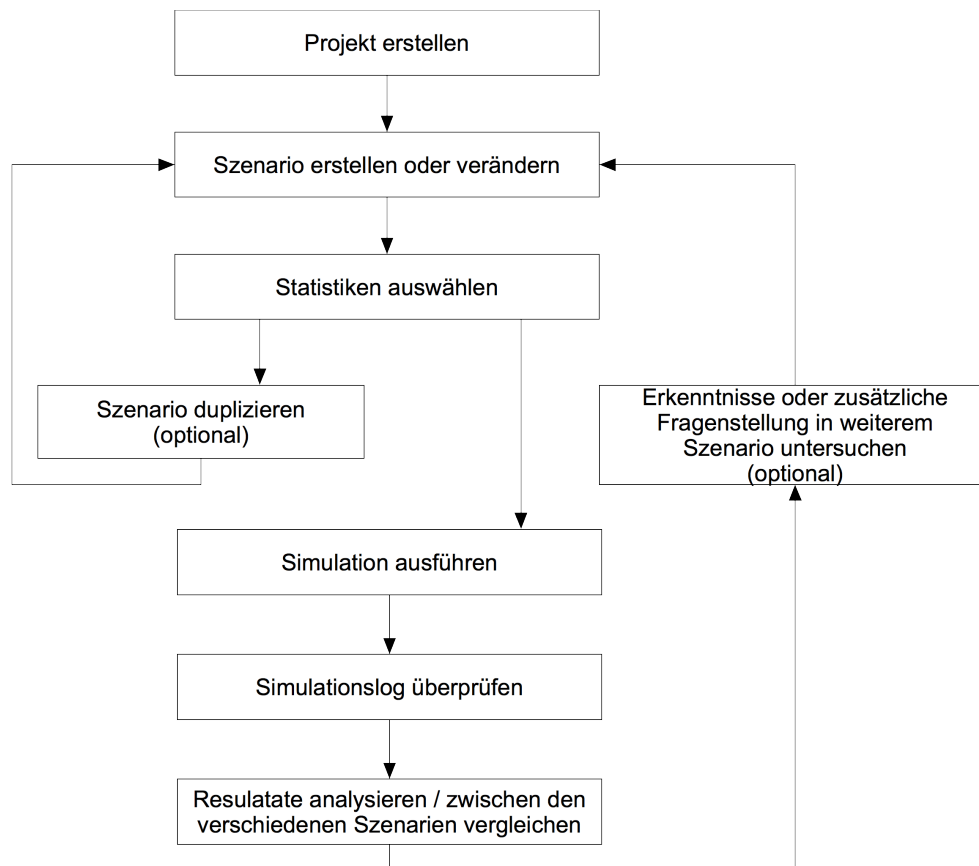


Abbildung 8: Lab Arbeitsablauf mit OPNET IT Guru

### 2.5.1 Leitfragen zum lab

In diesem lab sollen folgende Sachverhalte/Fragen untersucht werden:

1. Wie verhält sich ein einzelnes LAN Objekt im Vergleich zu einem *subnet*, welches die gleiche Anzahl an *workstations* aufweist?
2. Wie verhalten sich ein FTP server und das Netzwerk, wenn die Anzahl an FTP Benutzern erhöht wird?
3. Wie wirkt sich ein zusätzlicher FTP server auf Sachverhalt 2 aus?

Alle Sachverhalte werden anhand von Veränderungen bei FTP Leistungsmerkmalen wie z.B. *download response time*, *task processing time*, *traffic received* und dem *throughput* eines links untersucht.

### 2.5.2 Involvierte Labszenarien

Die folgende Aufzählung soll einen Überblick darstellen, welche Szenarien in diesem lab erstellt werden, woraus diese bestehen und um welchen Sachverhalt sich diese kümmern:

- *Subnet\_Architektur*: Besteht aus: 1 FTP server, 3 switches, 60 workstations
- *LAN\_Architektur*: Besteht aus: 1 FTP server, 1 switch, 1 LAN Objekt (repräsentiert 60 workstations)
  - Wird mit dem Szenario *Subnet\_Architektur* verglichen, um Sachverhalt 1 zu zeigen. Der Vergleich basiert auf einem Simulationsdurchlauf pro Szenario.
- *LAN\_single\_FTP*: Besteht aus: 1 FTP server, 1 switch, 1 LAN Objekt (repräsentiert variable Anzahl an workstations)
  - Es werden mehrere Simulationsläufe mit unterschiedlichen Werten für das *number of workstations* Attribut durchgeführt, um Sachverhalt 2 zu untersuchen.
- *LAN\_dual\_FTP*: Besteht aus: 2 FTP servers, 1 switch, 1 LAN Objekt (repräsentiert variable Anzahl an workstations)
  - Das Szenario *LAN\_dual\_FTP* erweitert das Szenario *LAN\_single\_FTP* um einen zusätzlichen FTP server, um Sachverhalt 3 zu untersuchen.

### 2.5.3 Projekt erstellen

Schritt 1: Starte die Applikation OPNET IT Guru und erstelle ein neues Projekt inklusive des ersten Szenarios über die Menüauswahl **file** → **new**.

- *Project name: Erstes\_Projekt*
- *Szenario name: Subnet\_Architektur*

Schritt 2: Verwende für den darauf folgenden *startup wizard* folgende Einstellungen:

- *Initial topology: Create empty scenario*
- *Network scale: Office*
- *Size: Meters X: 100 Y: 100*
- *Model family: Nichts verändern*

### 2.5.4 Szenario erstellen oder verändern

Die Randbedingungen wie Szenarionamen und Flächenangabe wurden bereits im vorherigen Abschnitt festgelegt. Jetzt geht es darum, das *Subnet\_Architektur* Szenario zu modellieren.

#### 2.5.4.1 Topologie erstellen

Schritt 3: Ziehe folgende fünf Objekte aus der *object palette* auf den *workspace*:

- *Ethernet\_server*
- *Ethernet16\_switch*
- *Subnet*
- *Profile config*
- *Application config*

Schritt 4: Wechsle durch einen **Doppelklick auf das subnet\_0 Symbol** zur Ansicht dieses *subnetworks*. Benutze zur Beschleunigung des Modellierungsvorganges den *rapid configuration* Assistenten, welcher unter dem Menüpunkt **topology** → **rapid configuration** zu finden ist. Wähle die Einstellung *configuration star* im ersten *drop down* Menü, da eine Sterntopologie erstellt werden soll. Ändere die *model list* über die Schaltfläche (1, Abbildung 9) **select models** → **model list** auf *ethernet*. Verwende die im Bereich (2, Abbildung 9) zu findenden Informationen für die Konfiguration.

Schritt 5: Benenne den *switch* (3, Abbildung 9) durch einen **Rechtsklick auf Objekt** → **set name** in *switch* um und wechsle über die Schaltfläche (4, Abbildung 9) wieder zur Ansicht des übergeordneten *subnetworks*.

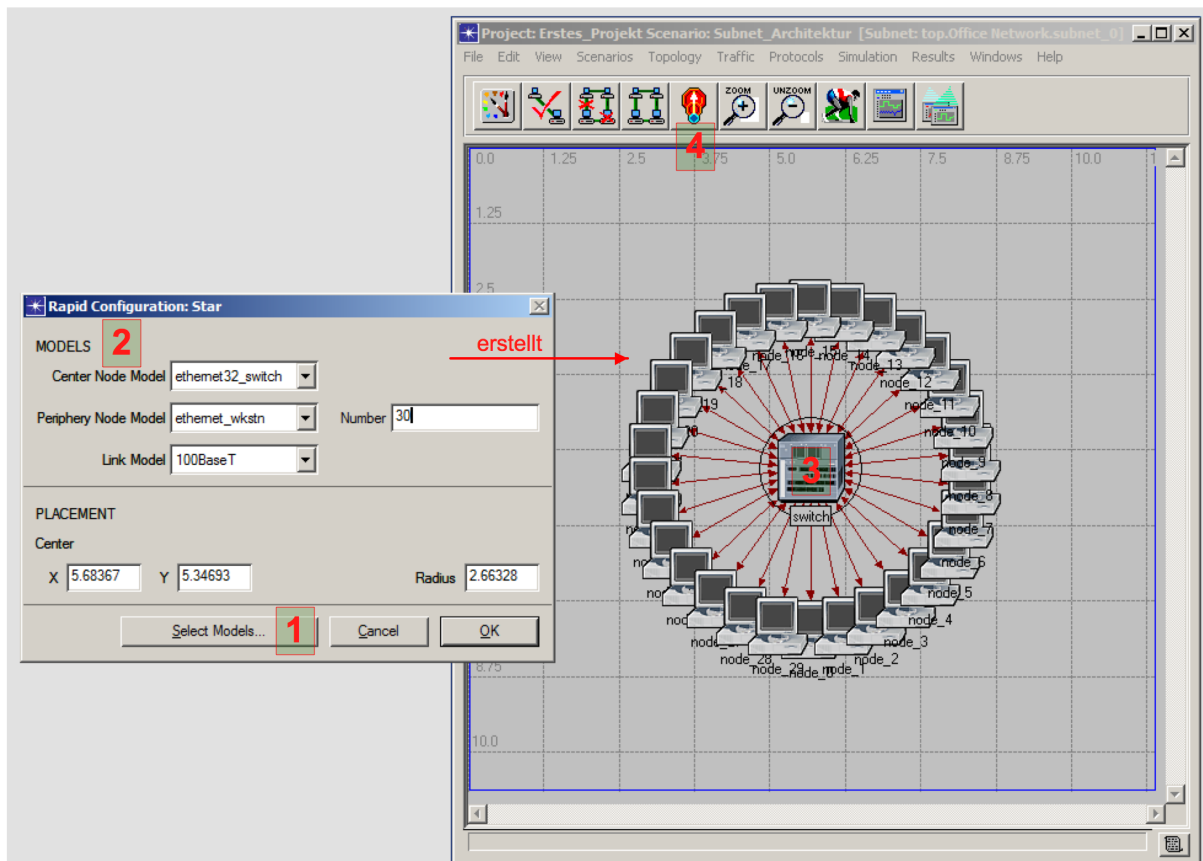


Abbildung 9: Rapid configuration Assistent



Schritt 6: Kopiere das *subnet\_0* einmal und platziere die Kopie leicht unterhalb.

Schritt 7: Benenne das *server* und *switch* Objekt der Abbildung 10 entsprechend.

Schritt 8: Verbinde alle Objekte über *100BaseT links* aus der *object palette* miteinander, so dass der *workspace* der Abbildung 10 entspricht. Als *Verbindungsknoten* zwischen dem *main\_switch* und den beiden *subnetnetworks* ist jeweils der *subnet\_XY.switch* auszuwählen (1, Abbildung 10).

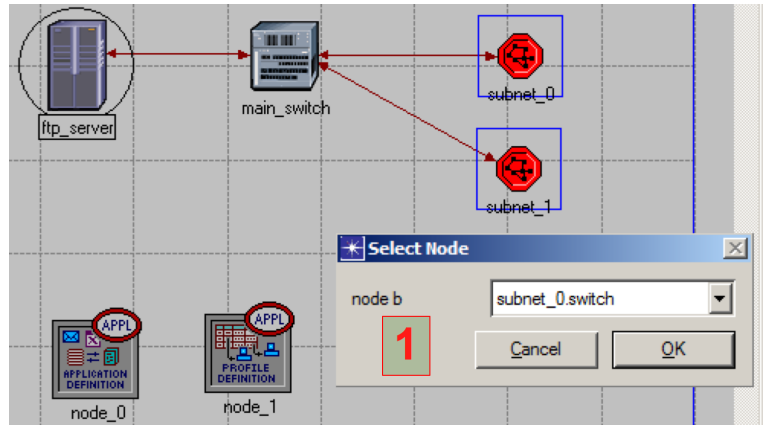


Abbildung 10: Subnet modellieren

### 2.5.4.2 Application layer modellieren

Im momentanen Netzwerk existiert noch kein Datenverkehr. Dies wird jetzt durch die Modellierung des *application layers* geändert. Dazu müssen die Attribute der Objekte *application definition*, *profile definition*, *FTP\_server* und *workstation nodes* angepasst werden.

Schritt 9: Editiere die Attributwerte des *application definition* Objektes über einen **Rechtsklick auf das Objekt** → **edit attributes** wie folgt:

- (1, Abbildung 11) Setze den Attributwert von *rows* auf 1, damit eine neue Applikation hinzugefügt werden kann.
- (2, Abbildung 11) Setze *FTP* als Applikationsnamen.
- (3, Abbildung 11) Ändere den *FTP* Attributwert auf *high load*.
- (4, Abbildung 11) Expandiere das *drop down* Menü ein zweites Mal und wähle *edit*, worauf das Fenster auf der rechten Seite erscheint.
- (5, Abbildung 11) Ändere den *inter-request time* Attributwert auf *exponential(10)*.

Abbildung 11: Applikationsattribute setzen

Schritt 10: Editiere die Attributwerte des *profile definition* Objektes wie folgt:

- (1, Abbildung 12) Setze den Attributwert von *rows* auf 1, damit ein neues Benutzerprofil hinzugefügt werden kann.
- (2, Abbildung 12) Setze den Attributwert von *profile name* auf *FTP user*.
- (3, Abbildung 12) Setze den Attributwert von *rows* auf 1, um dem Benutzerprofil *FTP user* die in Schritt 9 definierte FTP Applikation hinzuzufügen zu können.
- (4, Abbildung 12) Wähle FTP als Wert für das Attribut *name* aus.
- (5, Abbildung 12) Ändere den Attributwert von *start time* auf *constant (0)*, somit wird das Benutzerprofil bereits ab Simulationssekunde 0 aktiv.

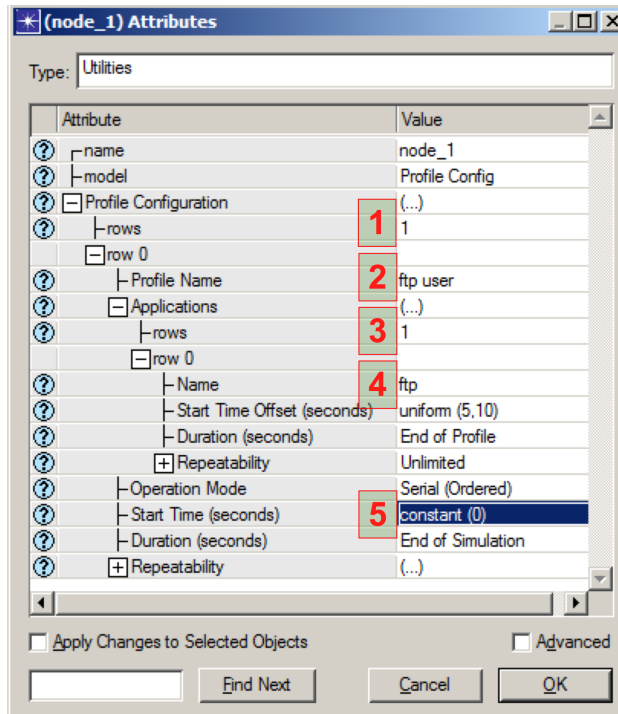


Abbildung 12: Profilattribute setzen

Schritt 11: Ändere den Wert des *supported services* Attribut des Objektes *server* auf *all*.

Schritt 12: Wechsle zur Ansicht des *subnet\_0*. Selektiere sämtliche *workstation nodes* durch einen **Rechtsklick auf eine beliebige workstation** → **select similiar nodes**, womit sämtliche *workstations* inklusive jener aus dem benachbarten *subnet\_1* selektiert werden. Editiere nun die Attribute eines *workstation* Objektes wie folgt:

- (1, Abbildung 13) Setze den Attributwert von *rows* auf 1, um der *workstation* ein Benutzerprofil zuweisen zu können.
- (2, Abbildung 13) Wähle für das Attribut *profile name* den Wert *FTP user*, womit das Verhalten der *workstation* festgelegt wird.
- (3, Abbildung 13) Aktiviere die Option *apply changes to selected objects*, um sicherzustellen, dass die Änderungen für alle 60 *workstations* übernommen werden.

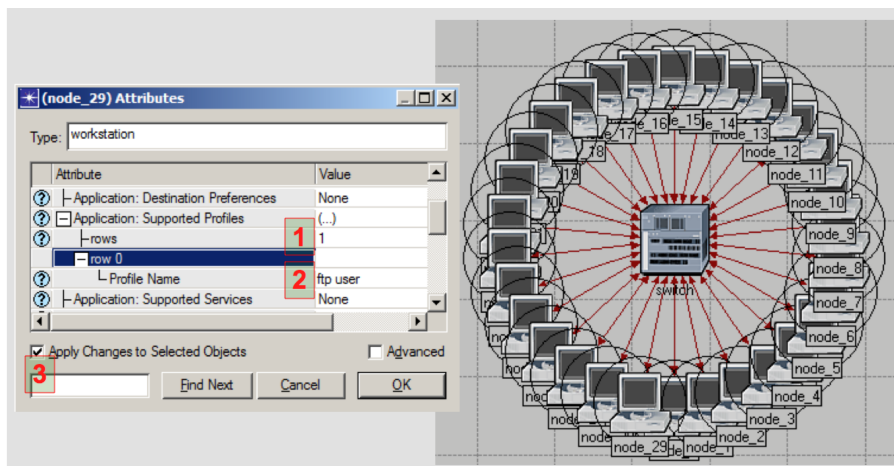


Abbildung 13: Workstationattribute setzen

**2.5.5 Statistik auswählen**

Schritt 13: Aktiviere folgende drei Statistiken durch einen **Rechtsklick auf einen leeren Bereich des workspaces** → **choose individual statistics**:

- *Global statistics*
  - *FTP*
    - *Download response time (sec)*
    - *Traffic received (bytes/sec)*
- *Node statistics*
  - *Server FTP*
    - *Task processing time (sec)*

**2.5.6 Szenario duplizieren**

Schritt 14: Erstelle über das Menü **scenario** → **duplicate scenario** das zweite Szenario mit dem Namen *LAN\_Architektur*.

Schritt 15: Lösche die beiden Objekte *subnet\_0* und *subnet\_1* und platziere ein *100BaseT\_LAN* Objekt an ihre Stelle. Verbinde das Objekt über einen *100BaseT link* mit dem *main\_switch* und ändere seine Attribute folgendermassen:

- *Name: LAN*
- *Supported profiles: FTP user*
- *Number of workstations: 60*

Das Resultat sollte der Abbildung 14 entsprechen.

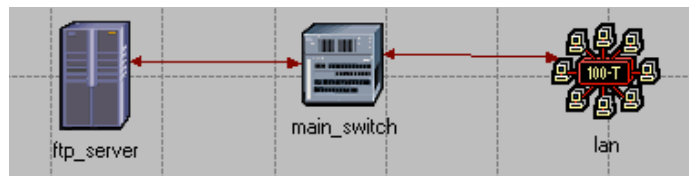


Abbildung 14: Szenario LAN\_Architektur modellieren

**2.5.7 Simulation ausführen**

Schritt 16: Öffne über das Menü **scenarios** → **manage scenarios** den *Szenariomanager* und passe die Spalten *results*, *sim duration* und *time units* entsprechend der Abbildung 15 an. Starte den Simulationsvorgang über die Schaltfläche OK und warte, bis die Simulation für beide Szenarien durchgelaufen ist.

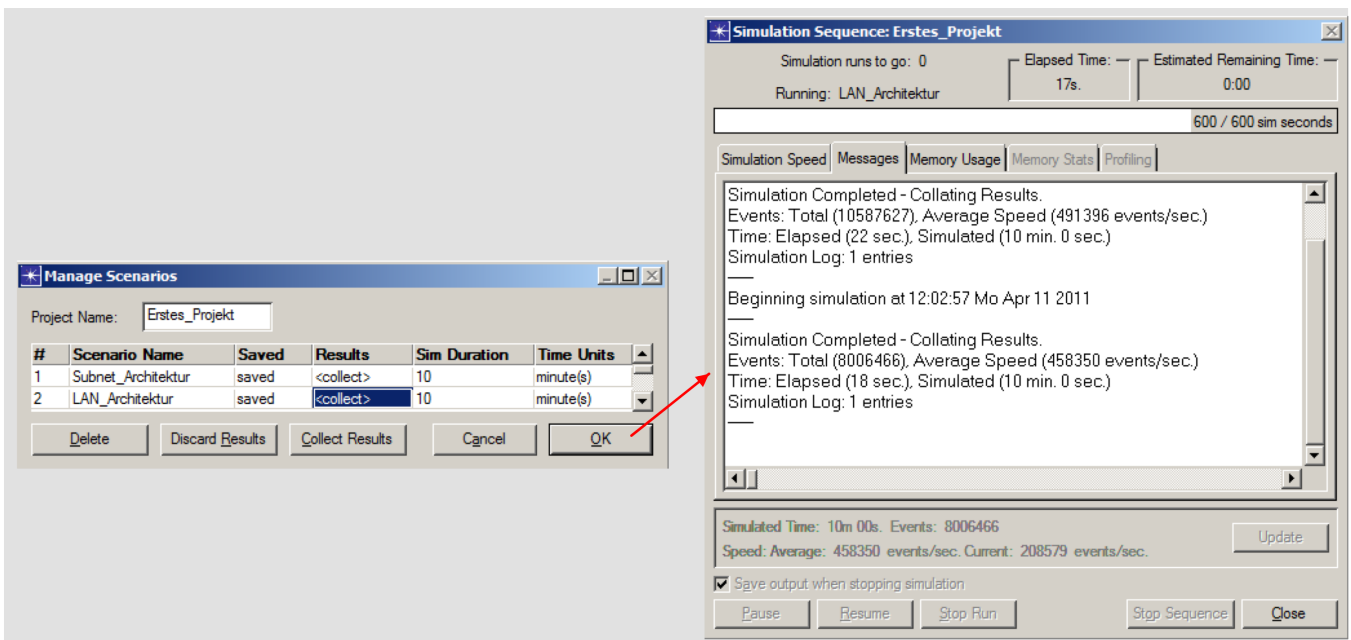


Abbildung 15: Szenariomanager

**2.5.8 Simulationslog überprüfen**

Schritt 17: Öffne über das Menü **results** → **open simulation log** das *Simulationslogfile* und gewinne einen Überblick über die vorhandenen Meldungen. Falls ausser der Meldung „*try setting the event\_speed\_parameter*“ keine weiteren vorhanden sind, kann davon ausgegangen werden, dass der Simulationsvorgang erfolgreich war. Wechsle über das Menü **scenarios** → **switch to scenario** → **LAN\_Architektur** zum ersten Szenario zurück, um diesen Schritt dort zu wiederholen, denn das *Simulationslog* bezieht sich jeweils nur auf das gerade im *workspace* angezeigte Szenario.

2.5.9 Resultate analysieren und vergleichen

2.5.9.1 Erstellung der Graphen

Schritt 18: Öffne über einen **Rechtsklick auf einen leeren Bereich des workspaces** → **compare results** das in Abbildung 16 gezeigte *compare results* Fenster und führe folgende Aktionen aus:

- (1, Abbildung 16) **Selektiere die checkbox des download response time Graphen.**
- (2, Abbildung 16) **Ändere die Einstellungen der Abbildung entsprechend.**
- (3, Abbildung 16) **Drücke show, um den Graphen in einem separaten Fenster darzustellen.**
- Wiederhole die Schritte (1)-(3) für den *traffic received* und *task processing time* Graphen.

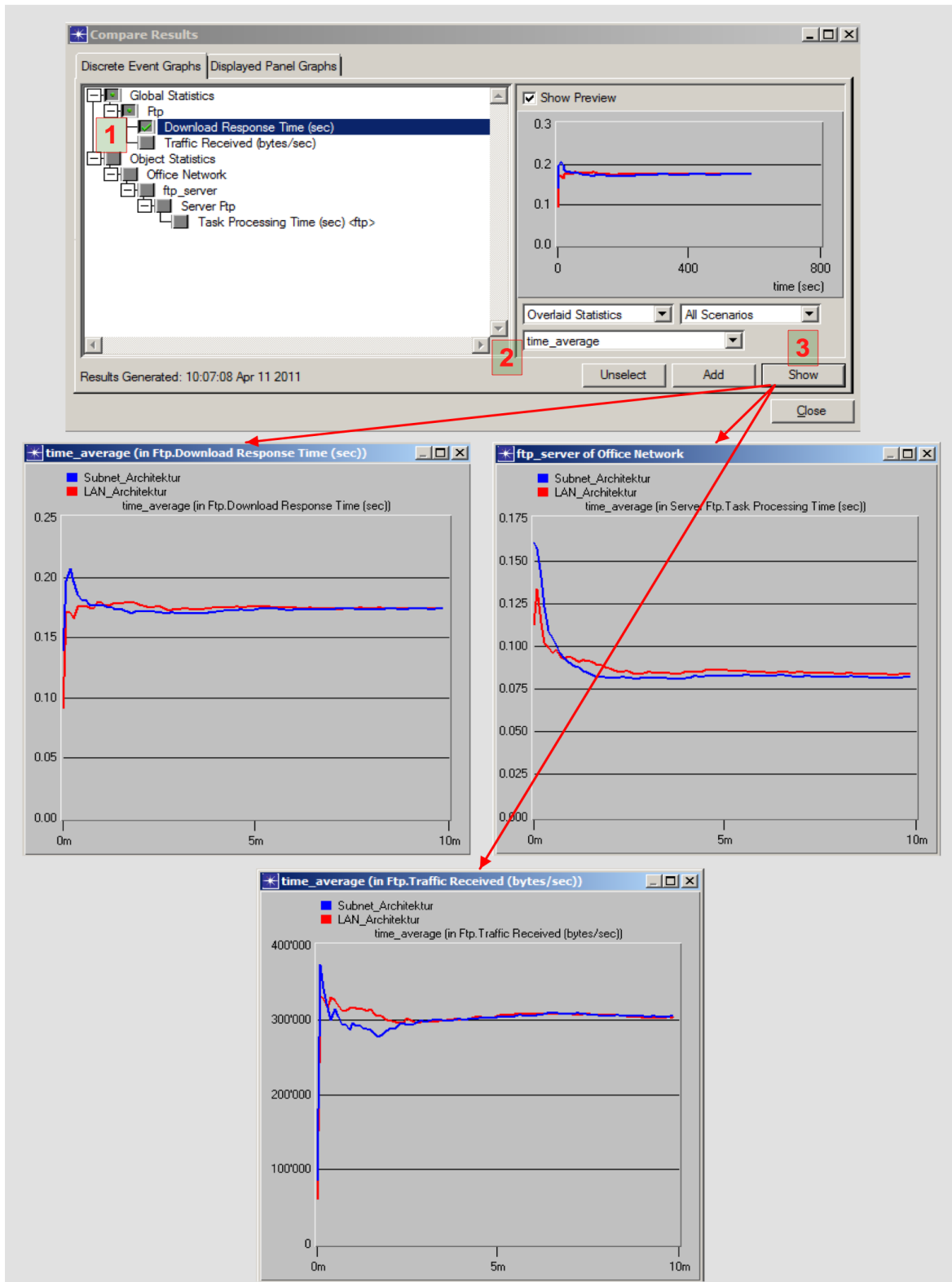


Abbildung 16: Statistiken vergleichen

**2.5.9.2 Auswerten der Graphen**

Schritt 19: Vergleiche die Graphen miteinander.

**2.5.9.3 Antwort auf Leitfrage 1**

Wie verhält sich ein einzelnes LAN Objekt im Vergleich zu einem *subnetwork*, welches die gleiche Anzahl an *workstations* aufweist?

Anhand der drei Graphen kann erfolgreich gezeigt werden, dass die beiden modellierten Szenarien gleichwertig sind, da ihre Graphen nur marginale Abweichungen aufweisen. Somit wird ersichtlich, dass ein einziges LAN Objekt mit entsprechend gesetztem *number of workstations* Attribut ein oder mehrere *subnetworks* mit derselben Anzahl an *workstations* repräsentieren kann. Das LAN Objekt verhält sich also analog zum *subnetwork*.

**2.5.10 Zusätzliche Fragestellung untersuchen**

Ein Objekt, welches durch eine Attributveränderung eine unterschiedliche Anzahl an *workstations* repräsentieren kann, ermöglicht auf einfache Weise, den Einfluss der Anzahl an *workstations* auf ein Netzwerk zu überprüfen. Würde derselbe Sachverhalt mit einzelnen *workstations* wie im *Subnet\_Architektur* Szenario modelliert, so müsste für jede zu testende Anzahl an *workstations* ein eigenes Szenario erstellt werden. Mit dem LAN Objekt kann jedoch über *attribut promoting* ein Szenario erstellt werden, welches mehrfach mit unterschiedlichen Werten für das *number of workstations* Attribut simuliert wird.

Schritt 20: Dupliziere das Szenario *LAN\_Architektur* und nenne das neue Szenario *LAN\_single\_FTP*.

Schritt 21: Führe einen **Rechtsklick auf den link zwischen dem main\_switch und dem LAN Objekt aus** → **choose individual statistics** und aktiviere die folgende Statistik:

- Point-to-point
  - Throughput (bits/sec) →

Schritt 22: Promote das Attribut *number of workstations* des LAN Objektes durch einen **Rechtsklick auf das Attribut** → **promote attribute to higher level**.

Schritt 23: Öffne die Simulationseinstellung über das Menü **simulation** → **configure discrete event simulation** → **Register object attributes** und führe folgende Schritte aus:

- (1, Abbildung 17) Füge das noch undefinierte Attribut *number of workstations* der Liste hinzu, um spezifisch Attributwerte definieren zu können.
- (2, Abbildung 17) Selektiere das soeben hinzugefügte Attribut und definiere durch einen **Klick auf die Schaltfläche value** → **Doppelklick in das value Feld** die abgebildeten Werte für das Attribut.
- (3, Abbildung 17) Kontrolliere, ob die Einstellungen mit den gezeigten übereinstimmen.
- (4, Abbildung 17) Wechsle zum Register *advanced* und definiere für das *scalar file* den Namen *LAN\_single\_FTP*.

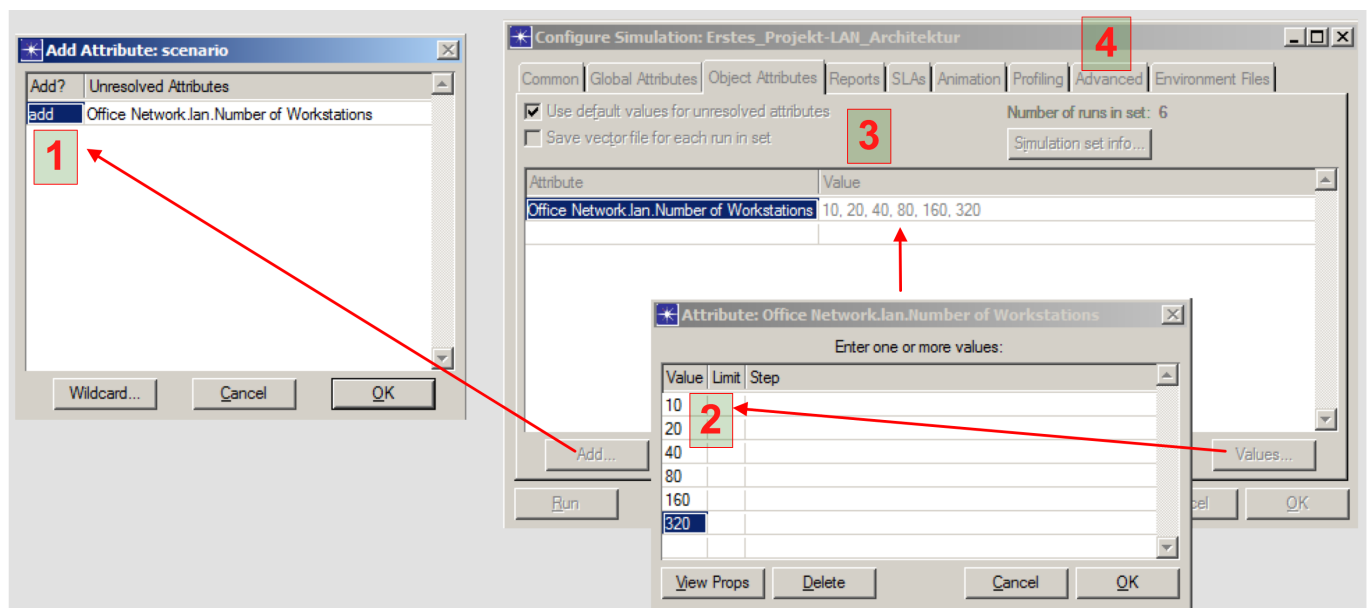


Abbildung 17: Definiere promotetes Attribut

Schritt 24: Öffne das Menü **simulation** → **choose statistics (advanced)** und führe folgende Schritte aus:

- (1, Abbildung 18) Editiere die Attributwerte *scalar data* und *scalar type* der probes *pb0* – *pb4* gemäss Abbildung.
- Erstelle über das Menü **objects** → **create attribute probe** eine neue Attribut *probe*. Dies ist nötig, um den Einfluss des Attributes *number of workstations* auf die gemessenen Werte sichtbar zu machen.
- Führe einen **Rechtsklick auf die neu erstellte probe aus** → **choose attributed object** → **selektiere das LAN Objekt**.
- (2, Abbildung 18) Editiere die Attributwerte der zuvor erstellten *probe* so, dass sie der Abbildung entsprechen.
- Speichere die Einstellung über das Menü **file** → **save**.

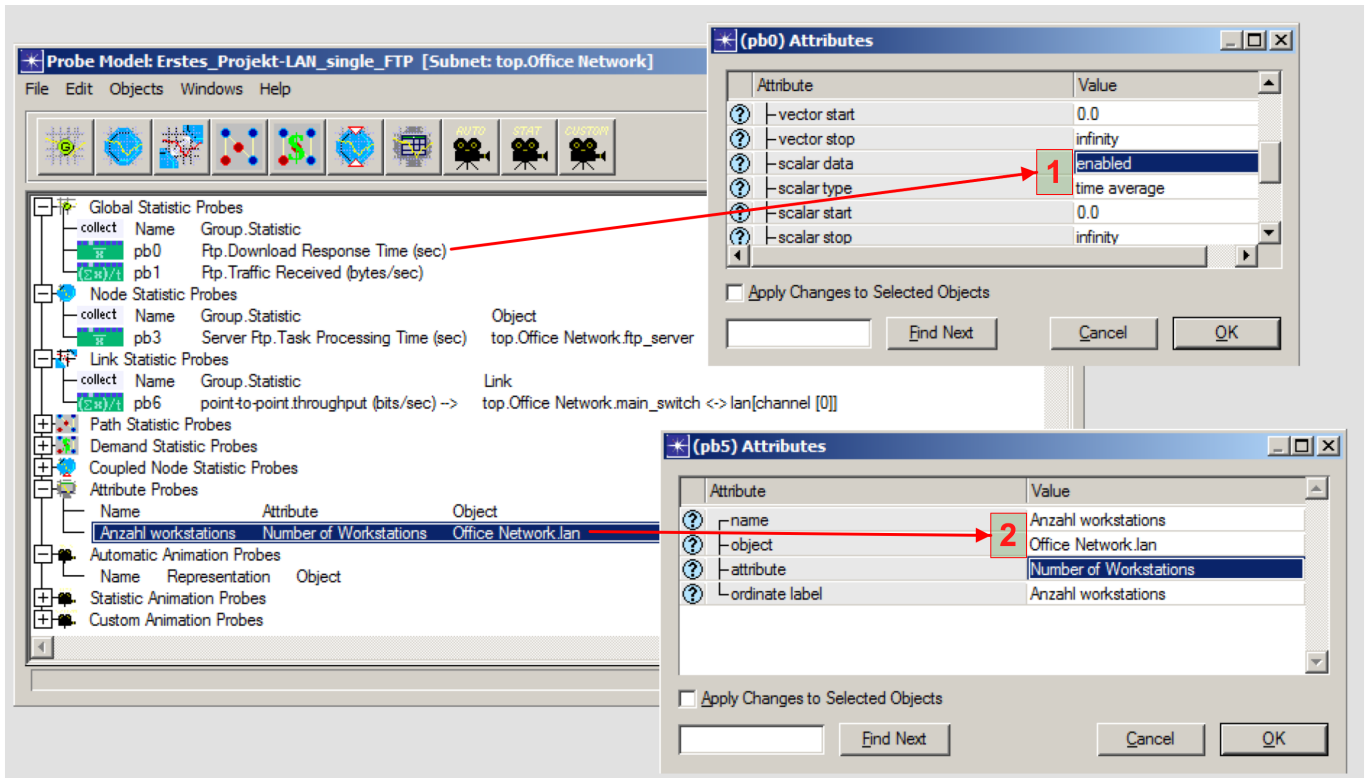


Abbildung 18: Advanced Statistik

Schritt 25: Lass das Simulationsszenario *LAN\_single\_FTP* laufen. Das Simulieren aller 6 Durchgänge kann einige Minuten in Anspruch nehmen.

Schritt 26: Öffne den fortgeschrittenen Analysemodus über das Menü **results** → **view results (advanced)** und führe folgende Schritte aus:

- (1, Abbildung 19) Lade das durch den vorherigen Simulationsvorgang erstellte *file* über **file** → **load output scalar file** → **LAN\_single\_FTP**.
- (2, Abbildung 19) Erstelle die in der Abbildung gezeigten Graphen mittels *scalar panels*, wobei jeweils nur der *vertical* Wert auf einen der im *drop down* Menü gezeigten Vergleichswerte gesetzt werden muss. Führe diesen Schritt für alle *drop down* Einträge ausser für Anzahl *workstations* selbst aus.
- (3, Abbildung 19) Ändere den Namen aller Graphen über **Rechtsklick auf den Graphen** → **edit graph properties** → **(single) als Namenspräfix hinzufügen**. Dieser Schritt dient der späteren Identifikation der Graphen.

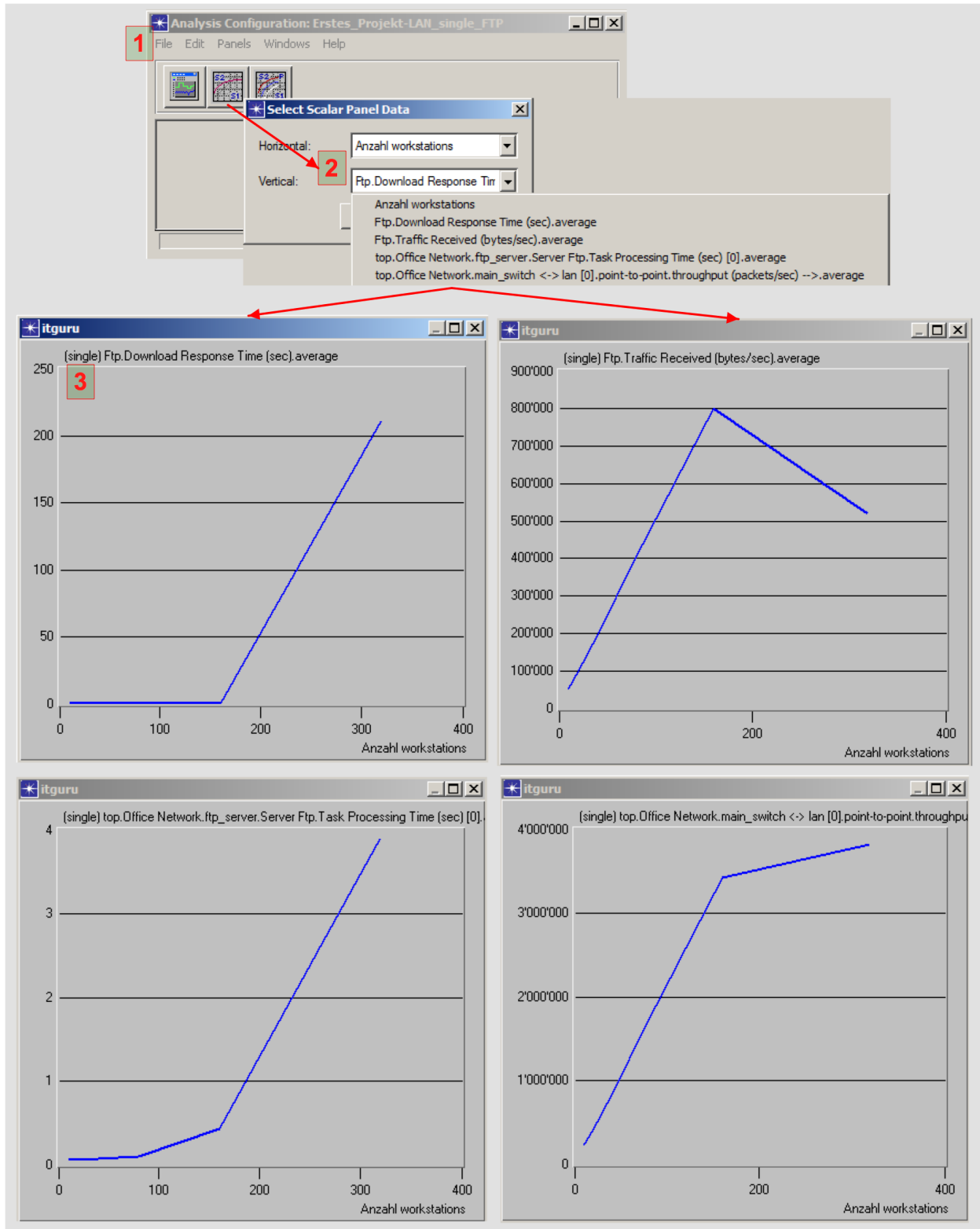


Abbildung 19: Fortgeschrittene Analyse

Schritt 27: Analysiere die vier Graphen und überlege, was sie aussagen.

#### 2.5.10.1 Antwort auf Leitfrage 2

Wie verhalten sich ein FTP *server* und das Netzwerk, wenn die Anzahl an FTP Benutzern erhöht wird? Die Anzahl an *workstations* entspricht der Anzahl von Benutzern. Bei allen vier Graphen in Abbildung 19 sind ab ca. 160 *workstations* Auffälligkeiten erkennbar. Die *response time* wie auch die *task processing time* steigen in diesem Bereich rasant an. Die abfallenden *FTP traffic received* Werte lassen sich gut mit den stark wachsenden *task processing times* begründen. Wichtig ist aber vor allem die Aussage, welche aus dem *point-to-point throughput* Graphen abgeleitet werden kann. Diese zeigt klar, dass der *link* zwischen dem *main\_switch* und dem *LAN* mit knapp 4Mbit/s Auslastung weit von seiner maximalen Kapazitätsgrenze von 100Mbit/s entfernt ist. Dies lässt vermuten, dass der momentane Flaschenhals der FTP *server* und nicht der *link* ist. Um diese Vermutung zu beweisen, wird ein letztes Szenario mit 2 FTP *servern* erstellt.

#### 2.5.11 Erkenntnis überprüfen

Schritt 28: Lasse alle Fenster offen und dupliziere das Szenario und gib ihm den Namen *LAN\_dual\_FTP*.

Schritt 29: Kopiere das *FTP\_server* Objekt und platziere es leicht unterhalb. Verbinde das neue *FTP\_server\_0* Objekt ebenfalls mit dem *main\_switch*.

Schritt 30: Öffne die Simulationseinstellungen und ändere den Namen des *scalar files* auf *LAN\_dual\_FTP*, somit wird das zuvor erstellte *scalar file* nicht überschrieben.

Schritt 31: Lasse das Simulationsszenario *LAN\_dual\_FTP* laufen.

Schritt 32: Kehre nach dem Abschluss der Simulation zum Fenster *analysis configuration* der Abbildung 19 zurück und wiederhole die Aktionen (1)-(3) aus Schritt 26 für das neue *scalar file* *LAN\_dual\_FTP*. Einzige Änderung: Verwende (*dual*) als Namenspräfix für die Graphen.



Schritt 33: Öffne das *view results* Fenster über das Menü *panels* → *create vector panel* → *wechsle zum Register display panel graphs* und führe folgende Schritte aus:

- (1, Abbildung 20) Selektiere die jeweils zusammengehörenden Graphen, die miteinander verglichen werden sollen.
- (2, Abbildung 20) Ändere die Einstellungen gemäss der Abbildung und erstelle mit *show* ein separates Graphenfenster.
- Wiederhole die Schritte (1) und (2) für alle vier Graphenpaare, so dass die Graphen den in der Abbildung 20 gezeigten entsprechen.

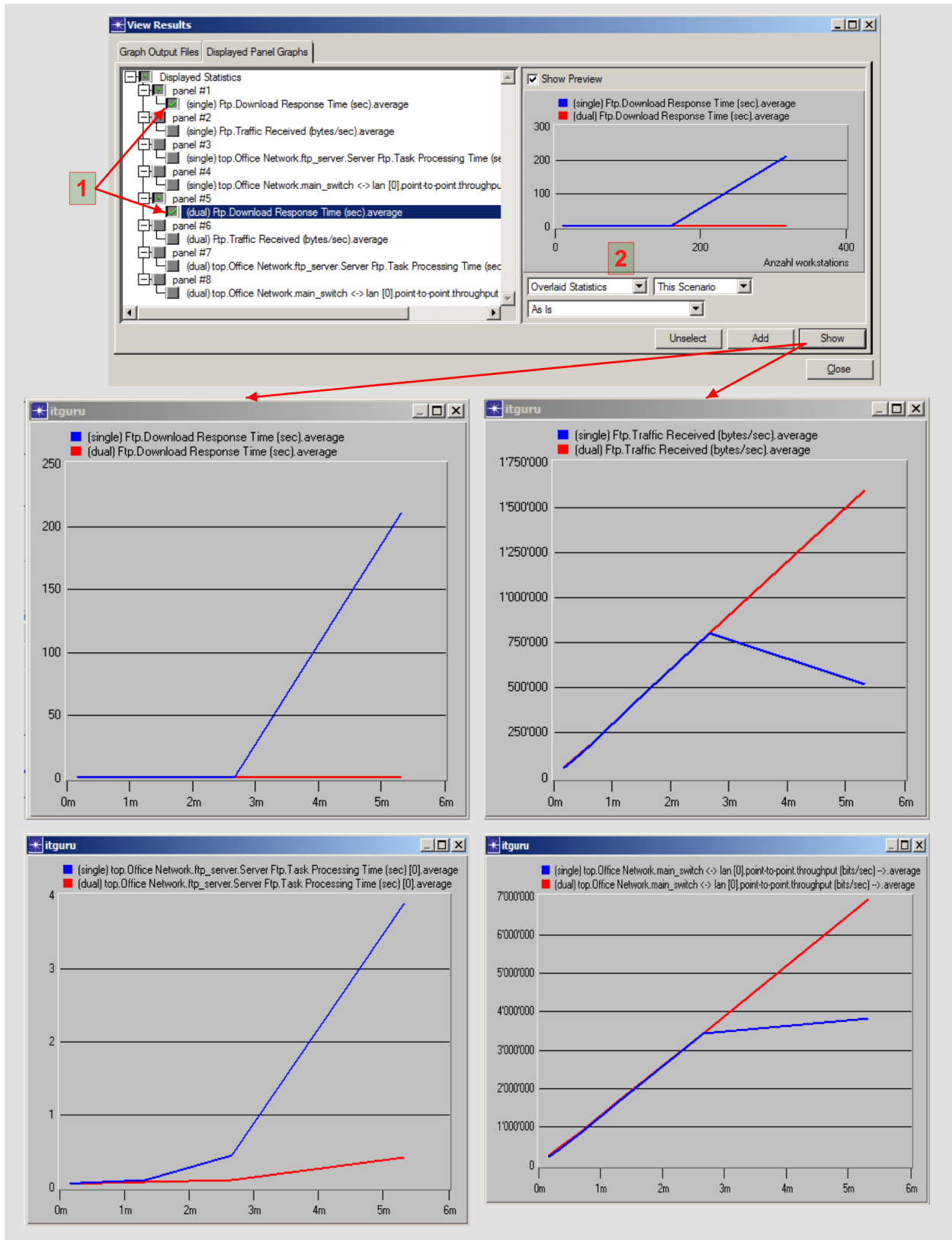


Abbildung 20: Single FTP vs. dual FTP

Schritt 34:        Analysiere und interpretiere die Graphen aus Abbildung 20.

#### 2.5.11.1 Antwort auf Leitfage 3

Wie verhalten sich zwei FTP *server* und das Netzwerk, wenn die Anzahl an FTP Benutzern erhöht wird?

Die zuvor aufgestellte Vermutung, dass der Flaschenhals der FTP *server* und nicht der *link* sei, konnten bestätigt werden. Es ist anhand der vier Graphen der Abbildung 20 klar ersichtlich, dass durch den Einsatz des zweiten *servers* bei den *FTP download response times* und den *FTP task processing times* keine abrupten Anstiege mehr zu verzeichnen sind. Damit kann auch der lineare Verlauf des *FTP traffic received* erklärt werden.

### 3 Protokollanalyse mit OPNET IT Guru

In diesem Abschnitt geht es darum, mit OPNET IT Guru die Netzwerkprotokolle *Spanning Tree Protocol (STP)* und *Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)* genauer zu analysieren. Der Fokus wird dabei hauptsächlich auf die Konvergenzzeit gelegt, da sie messbar und gleichzeitig von zentralster Bedeutung für diese beiden Protokolle ist. Das Verständnis für die Funktionsweise von STP und RSTP wird als bekannt vorausgesetzt. Es wird lediglich auf einzelne wichtige Funktionsprinzipien eingegangen. Die Ausdrücke *bridge* und *switch* werden in diesem Abschnitt als Synonyme verwendet, wie dies in *spanning tree* bezogener Fachliteratur üblich ist. Die theoretischen Grundlagen für diesen Abschnitt wurden anhand folgender drei Dokumente erarbeitet und zusammengefasst (Abuguba&Moldovan 2006), (Cisco 2006), (Lapukhov 2010).

#### 3.1 Spanning tree

Bridges können so miteinander verbunden werden, dass die physikalische Topologie einen *loop* aufweist. Dies kann durch Redundanzanforderungen oder Fehlverkabelung begründet sein. Die Protokolle STP und RSTP verhindern einen solchen *loop*, indem sie zwischen allen verbundenen *bridges* einen *spanning tree* aufbauen, so dass es zwischen zwei *bridges* immer nur einen aktiven Pfad gibt. Dazu ist es nötig, an den passenden Stellen *ports* zu blockieren. In Abbildung 21 ist diese Auftrennung durch den *blocked port* zwischen *bridge C* und *bridge D* erkennbar. Das Resultat ist der initiale *spanning tree* auf der rechten Seite der Abbildung, wo ersichtlich ist, dass *bridge C* und *D* Daten nicht direkt austauschen können, sondern den Umweg über die *root* machen müssen.

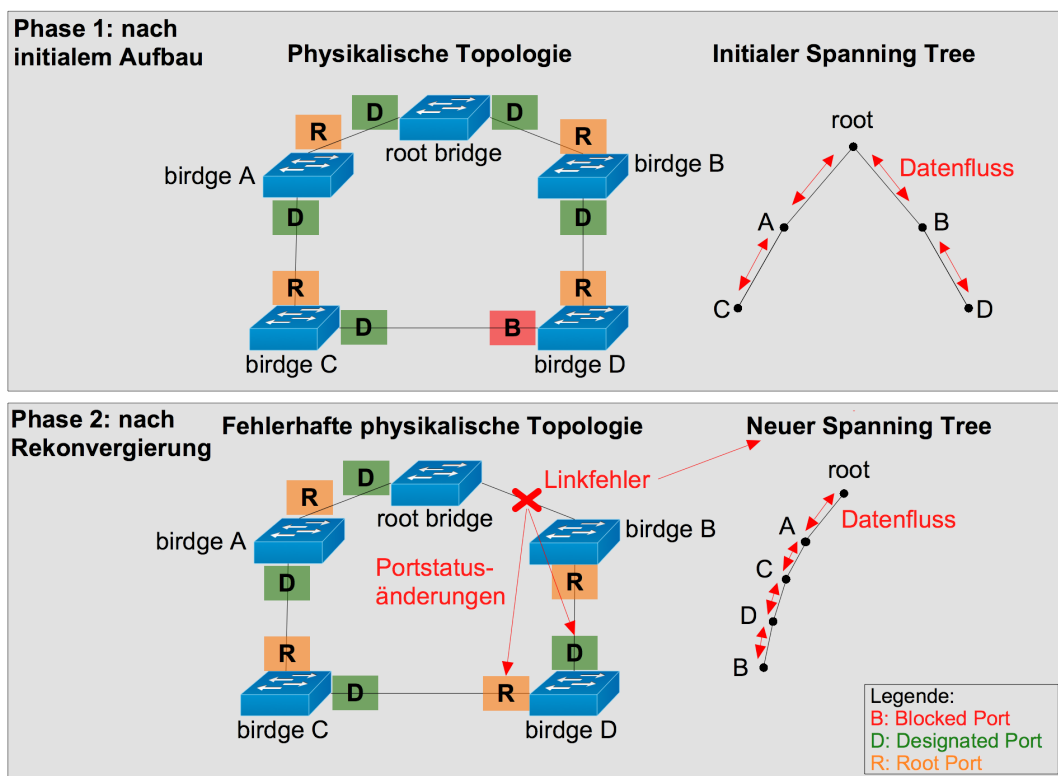


Abbildung 21: Spanning tree

Folgende Ereignisse bewirken einen erneuten Konvergenzprozess, wobei die Liste als nicht abschliessend zu betrachten ist:

- *Linkfehler*
- *Bridgefehler*
- *Pfadkostenänderungen*

Betrifft ein Ereignis den aktiven *spanning tree*, führt dies je nach Ort und Art des Ereignisses zu einer unterschiedlich langen Konvergenzzeit. In Abbildung 21 ist exemplarisch dargestellt, wie sich ein *Linkfehler* zwischen der *root bridge* und *bridge B* auf den *spanning tree* auswirkt. In OPNET IT Guru kann ein Fehlerereignis durch ein *failure recovery* Objekt herbeigeführt werden. In diesem *lab* wird immer ein *Linkfehler* zum Ereigniszeitpunkt 60s verwendet, um den Rekonvergenzprozess einzuleiten. Der momentane *spanning tree*, welcher für eine Topologie eines Szenarios gilt, kann über *protocols* → *STP* → *visualize spanning tree* betrachtet werden. Dazu muss das Szenario zuerst simuliert werden. Der angezeigte *spanning tree* richtet sich nach dem Zustand, welchen die Topologie am Schluss der Simulationsdauer hat.

### 3.2 Konvergenzzeit

Unter der Konvergenzzeit im Zusammenhang mit *spanning tree* versteht man die Zeit, welche benötigt wird, bis der *spanning tree* für eine physikalische Topologie aufgebaut ist und sich sämtliche *root* und *designated ports* im *forwarding* Status befinden und somit Datenverkehr weiterleiten.

#### 3.2.1 Konvergenzzeit messen

OPNET IT Guru bietet keine vorgefertigte Lösung zur Messung der Konvergenzzeit. Eine Möglichkeit, die Konvergenzzeit zu messen, ist zwischen einem *client* und einem *server video conferencing* Daten auszutauschen und die Auslastung eines dazwischenliegenden *links* zu betrachten. *Video conferencing* eignet sich als „Paketgenerator“, da ein konstanter UDP basierter Datenstrom generiert wird, welcher bei Paketverlusten nicht zu *retransmission* führt. Ist in der Auslastungsstatistik ein Unterbruch wie z.B. in Abbildung 22 zu erkennen, kann während dieser Zeit von einem nicht vollständig konvergierten *spanning tree* ausgegangen werden. Das genaue Ende des Unterbruchzeitpunktes kann ermittelt werden, indem mit dem Mauszeiger an die entsprechende Stelle im Graphen gefahren wird, worauf der in der Abbildung 22 gezeigte gelbe Kasten erscheint. Der Anfang des Unterbruchs ist durch den für das Fehlerereignis gewählten Zeitpunkt von 60s gegeben. Die Zeitdauer für den Unterbruch ergibt sich aus Endzeitpunkt des Unterbruchs minus geplanter Zeitpunkt für das Fehlerereignis. Es ist darauf zu achten, dass der *client* und der *server* mit den *bridges* verbunden werden, welche die tiefstgelegenen Blattknoten im *spanning tree* darstellen. So kann sichergestellt werden, dass der Datenverkehr den ganzen *spanning tree* traversieren muss.

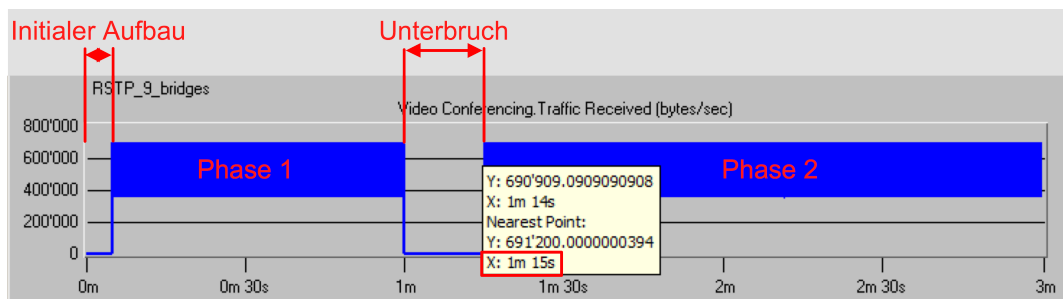


Abbildung 22: Konvergenzzeit messen

#### 3.2.2 Physikalische Topologie

Aus Gründen der linearen Skalierbarkeit bei einer unterschiedlichen Anzahl an *bridges* wurde als physikalische Topologie eine Ringtopologie gewählt. Der Topologieaufbau kann in Abbildung 23 und 24 betrachtet werden.

### 3.3 Protokollunterschiede zwischen STP und RSTP

RSTP ist die Weiterentwicklung von STP und zeichnet sich vor allem durch schnellere Konvergenzzeiten aus. Der resultierende *spanning tree* ist bei beiden Protokollen der gleiche, d.h. es werden exakt die gleichen *ports* blockiert. Der Hauptunterschied liegt darin, wie die beiden Protokolle den *spanning tree* aufbauen und wie auf Topologieänderungen reagiert wird.

Wichtige Unterschiede:

- STP
  - In einer stabilen Topologie sendet nur die *root bridge* *Bridge Protocol Data Units (BPDUs)*
  - Arbeitet stark mit *timern*
- RSTP
  - Jede *bridge* sendet fortwährend BPDUs zu allen direkt angrenzenden *bridges (keep alives)*
  - Arbeitet mit Synchronisation zwischen den *bridges*

### 3.4 Leitfragen zu diesem lab

In diesem lab sollen folgende Sachverhalte/Fragen untersucht werden:

1. Wie beeinflusst der Ort des *Linkfehlers* die Konvergenzzeit von STP?
2. Wie beeinflusst die Anzahl *bridges* die Konvergenzzeit von STP?
3. Wie viel Zeit vergeht bis zum initialen Aufbau des *spanning tree* bei STP?
4. Wie beeinflusst der Ort des *Linkfehlers* die Konvergenzzeit von RSTP?
5. Wie beeinflusst die Anzahl *bridges* die Konvergenzzeit von RSTP?
6. Wie viel Zeit vergeht bis zum initialen Aufbau des *spanning tree* bei RSTP?

Alle Sachverhalte werden anhand des in Abschnitt 3.2.1 vorgestellten Messverfahrens analysiert.

### 3.5 Involvierte Labszenarien

Die folgende Aufzählung soll einen Überblick darstellen, welche Szenarien in diesem lab erstellt werden, woraus diese bestehen und um welchen Sachverhalt sich diese kümmern:

- *STP\_3\_bridges\_worst\_case: 3 switches, 1 client, 1 server*
- *STP\_3\_bridges\_best\_case: 3 switches, 1 client, 1 server*
  - Wird mit *STP\_3\_bridges\_worst\_case* verglichen, um Sachverhalt 1 zu zeigen
- *STP\_13\_bridges: 13 switches, 1 client, 1 server*
  - Untersucht Sachverhalt 2
- *RSTP\_3\_bridges\_worst\_case: 3 switches, 1 client, 1 server*
- *RSTP\_3\_bridges\_best\_case: 3 switches, 1 client, 1 server*
  - Wird mit *RSTP\_3\_bridges\_worst\_case* verglichen, um Sachverhalt 4 zu zeigen
- *RSTP\_5\_bridges: 5 switches, 1 client, 1 server*
- *RSTP\_7\_bridges: 7 switches, 1 client, 1 server*
- *RSTP\_9\_bridges: 9 switches, 1 client, 1 server*
  - Wird mit *RSTP\_(3 bis 9)\_bridges* verglichen, um Sachverhalt 5 zu zeigen
- *RSTP\_9\_bridges\_different\_failure\_placement: 9 switches, 1 client, 1 server*
  - Wird mit *RSTP\_3\_bridges\_worst\_case* verglichen, um eine Erkenntnis für Sachverhalt 5 zu beweisen

### 3.6 Labaufbau

Schritt 1: Erstelle ein neues Projekt inklusive des ersten Szenarios.

- *Project name: Spanning\_Tree*
- *Szenario name: RSTP\_3\_bridges\_worst\_case*

Schritt 2: Verwende für den darauf folgenden *startup wizard* folgende Einstellungen:

- *Initial topology: Create empty scenario*
- *Network scale: Office*
- *Size: Meters X: 100 Y: 100*
- *Model family: Nichts verändern*

Schritt 3: Ziehe folgende sieben Objekte aus der *object palette* auf den *workspace*:

- *Ethernet\_server*
- *Ethernet\_wkstn*
- *(3x) ethernet16\_switch*
- *Profile config*
- *Application config*
- *Failure recovery* aus der *object palette utilities*

Verbinde die Objekte über *100BaseT links* und benenne die Objekte so, dass der *workspace* der Abbildung 23 entspricht.

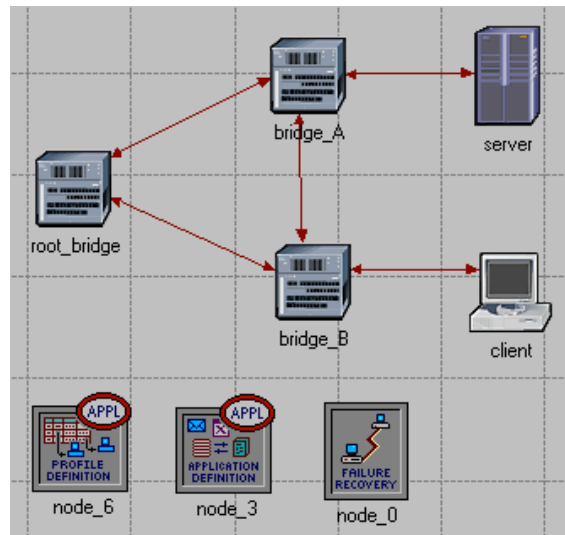


Abbildung 23: Topologie mit drei bridges

Schritt 4: Ändere den Wert des Attributes *bridge parameters* → *priority* für die *root\_bridge* auf 10 und für *bridge\_A* auf 20.

Schritt 5: Konfiguriere den *application layer* für die Applikation *video conferencing*. Gehe dazu analog vor, wie es für die Applikation FTP im Abschnitt 2.5.4.2 beschrieben ist. Hier werden nur die Abweichungen zu Schritt 9 und 10 beschrieben:

- Schritt 9:
  - *Name: video conferencing*
  - *Video conferencing: High resolution video*, es sind keine Applikationsanpassungen nötig.
- Schritt 10:
  - *Profile name: video conf user*
  - *Start time offset (seconds): constant (0.1)*

Ändere den Wert des *supported services* Attributes des Objektes *server* auf *all* und füge dem *client* das Benutzerprofil *video conf user* hinzu.

Schritt 6: Öffne die Simulationseinstellungen und nimm folgende Änderungen vor:

- Im *common* Register:
  - *Duration: 3 minutes*
  - *Values per statistic: 1800*
- Im *global attributes* Register:
  - *ARP sim efficiency: disabled*
  - *Switch sim efficiency: disabled*

Schritt 7: Ändere die Attribute des *failure recovery* Objektes folgendermassen:

- *Link failure/recovery specification*
  - Name: *Office network.root\_bridge <-> bridge\_A*
  - Time: *60*

Schritt 8: Aktiviere die folgende Statistik:

- *Node statistics*
  - *Video conferencing*
    - *Traffic received (bytes/sec)*

Schritt 9: Dupliziere das Szenario und gib ihm den Namen *STP\_3\_bridges\_worst\_case*.

Schritt 10: Ändere den Wert des Attributes *bridge parameters* → *spanning tree protocol* für alle *bridges* auf STP. (Hinweis: Falls mit *select similar nodes* gearbeitet wird, muss Schritt 4 wiederholt werden, da die *priority* Einstellungen überschrieben werden.)

Schritt 11: Setze den Wert des Attributes *profile configuration* → *applications* → *start time offset (seconds)* des Objektes *profile definition* auf 15. Dies ist nötig, da in OPNET IT Gruru unter Verwendung von STP kein Datenverkehr erzeugt werden darf, bevor nicht mindestens einmal die *forwarding delay* Zeit (standardmässig 15s) verstrichen ist. Dies spielt für die Messungen jedoch keine Rolle, da bei STP mindestens zweimal die *forwarding delay* Zeit benötigt wird, um den *spanning tree* aufzubauen.

Schritt 12: Dupliziere das Szenario und gib ihm den Namen *STP\_3\_bridges\_best\_case*.

Schritt 13: Ändere den Wert des Attributes *bridge parameters* → *priority* für die *bridge\_A* auf 32768 und für *bridge\_B* auf 20.

Schritt 14: Wechsle zum Szenario *RSTP\_3\_bridges\_worst\_case*. Dupliziere das Szenario und gib ihm den Namen *RSTP\_3\_bridges\_best\_case*.

Schritt 15: Wiederhole Schritt 13.

Schritt 16: Wechsle zum Szenario *STP\_3\_bridges\_best\_case*. Dupliziere das Szenario und gib ihm den Namen *STP\_13\_bridges*.

Schritt 17: Passe das Szenario der Abbildung 24 entsprechend an. Ziehe dazu einen zusätzlichen *ethernet16\_switch* auf den *workspace*, ändere dessen *spanning tree protocol* Attributwert auf STP und kopiere ihn weitere zehnmal. Verbinde die Objekte der Abbildung entsprechend mit *100BaseT links*.

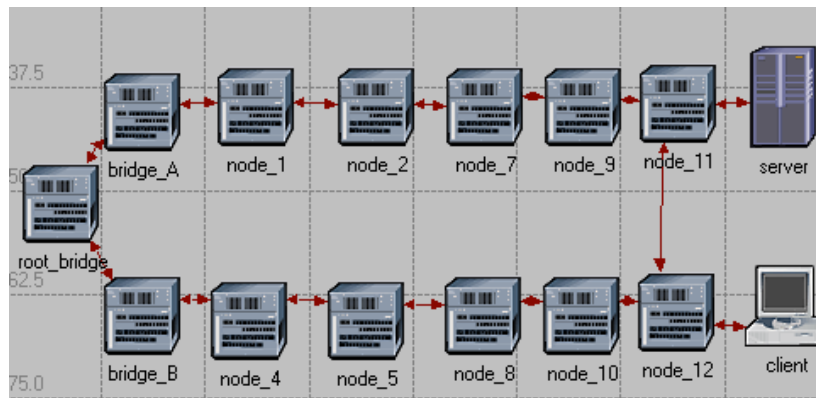


Abbildung 24: STP Szenario mit 13 bridges

Schritt 18: Wechsle zum Szenario *RSTP\_3\_bridges\_best\_case*. Dupliziere das Szenario und gib ihm den Namen *RSTP\_5\_bridges*. Das Vorgehen bleibt analog zu Schritt 17, mit dem Unterschied, dass nur 2 *bridges* dazukommen und auf sämtlichen *bridges* das RSTP Protokoll verwendet wird.

Schritt 19: Erstelle durch Duplizierung des *RSTP\_5\_bridges* Szenarios noch die zwei weiteren Szenarien *RSTP\_7\_bridges* und *RSTP\_9\_bridges*. Die Zahl im Szenarionamen entspricht der Anzahl an *bridges*, aus welchen die Ringtopologie besteht.

Schritt 20: Erstelle durch Duplizierung des *RSTP\_9\_bridges* Szenarios das neue *RSTP\_9\_bridges\_different\_failure\_placement* Szenario. Editiere das *failure recovery* Objekt so, dass der *Linkfehler* zwischen den in der Abbildung 25 rot umrahmten *bridges* stattfindet.

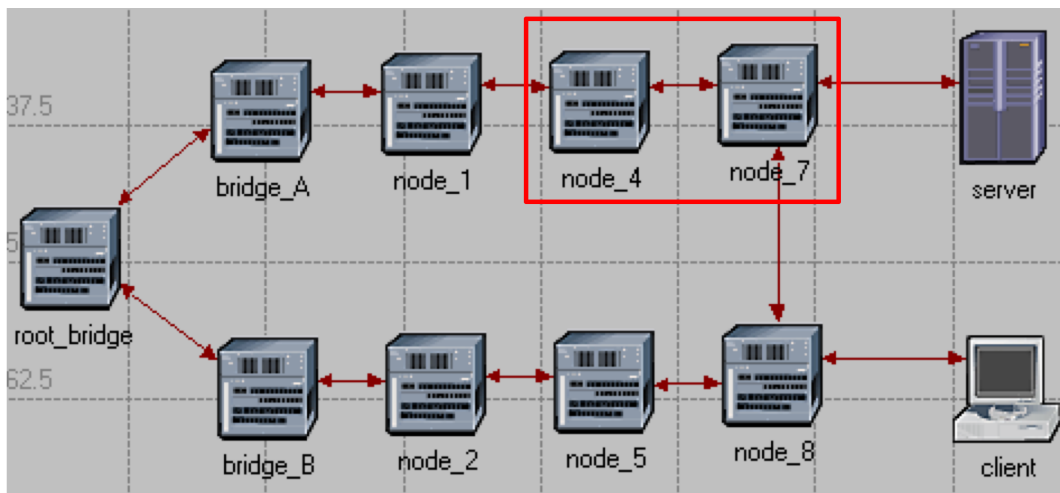


Abbildung 25: Linkfehler umplatzieren

Schritt 21: Ändere im *scenario manager* über die # Spalte die Reihenfolge der Szenarien, damit sie der folgenden entspricht:

1. *STP\_3\_bridges\_worst\_case*
2. *STP\_3\_bridges\_best\_case*
3. *STP\_13\_bridges*
4. *RSTP\_3\_bridges\_best\_case*
5. *RSTP\_3\_bridges\_worst\_case*
6. *RSTP\_5\_bridges*
7. *RSTP\_7\_bridges*
8. *RSTP\_9\_bridges*
9. *RSTP\_9\_bridges\_different\_failure\_placement*

Diese Reihenfolge definiert unter anderem, in welcher Abfolge die Statistiken der Szenarien angezeigt werden, wenn diese mit *compare results* als *stacked statistics* angezeigt werden.

Schritt 22: Lass alle Szenarios mit dem *Szenariomanager* durchlaufen.



### 3.7 Labauswertung

Schritt 23: Vergleiche die Resultate aller Szenarien mit *compare results* als *stacked statistics*. Das Resultat sollte der Abbildung 26 entsprechen.

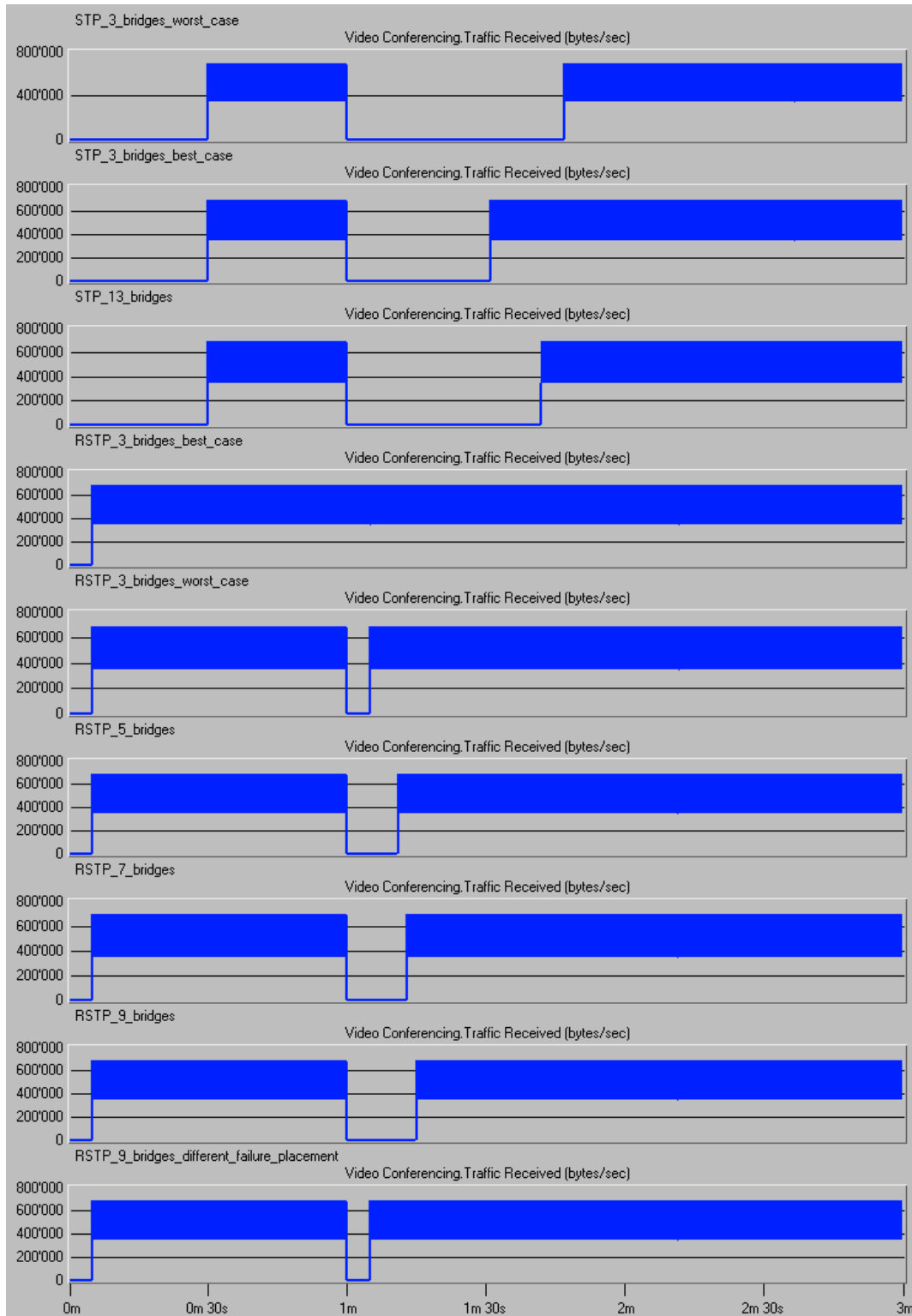


Abbildung 26: STP Konvergenzzeitstatistik

3.7.1 Antwort auf Leitfrage 1

Wie beeinflusst der Ort des *Linkfehlers* die Konvergenzzeit von STP?

Um diese Frage verständlich beantworten zu können, muss etwas weiter ausgeholt werden. Die alleinige Erkenntnis ist in Abschnitt 3.7.1.1 als Fazit zusammengefasst.

Es wurde bewusst nicht der Ort des *Linkfehlers* verschoben, sondern mit einer Prioritätenverschiebung zwischen *bridge A* und *B* gearbeitet. Diese Methode kann mit einer Verschiebung des Linkfehlers auf den gegenüberliegenden *link* gleichgesetzt werden. Würde jedoch der *Linkfehler* vorschoben, müssten die MAC Adressen der *bridges* betrachtet werden, um den genauen Aufbau des *spanning trees* nachvollziehen zu können. Wenn aber bekannt ist, welche *bridge* welche Priorität hat, müssen die MAC Adressen der *bridges* nicht betrachtet werden.

Der *best case* unterscheidet sich vom *worst case* durch den Ort, an dem sich der *blocked port* befindet. Es folgt eine kurze Ablaufbeschreibung für beide *cases*:

- *Best case*
  - (~0s) *Bridge A* erkennt den Verlust des *root links*.
  - (~0s) *Bridge A* erhält über *bridge B* auf dem *blocked port* weiterhin BPDUs und weiss somit, dass die *root bridge* noch existiert und diese über *bridge B* erreichbar ist.
  - (~0s) *Bridge A* macht den Richtung *bridge B* zeigenden *port* zum *root port*.
  - (0s) Das zweifache *forwarding delay* muss abgewartet werden, bis der *port* den *listening* und *learning* Status durchlaufen hat.
  - (+30s) Der *spanning tree* ist konvergiert.
- *Worst case*
  - (~0s) *Bridge A* erkennt den Verlust des *root links*.
  - (~0s) *Bridge A* erhält keine BPDUs mehr, da über den *blocked port* der *bridge B* keine BPDUs weitergeleitet werden. Somit geht *bridge A* davon aus, sie sei die neue *root* und beginnt selbst BPDUs, mit sich selbst als *root* eingetragen, zu versenden. *Bridge B* ignoriert die BPDUs von *bridge A* für die Zeitdauer des *max age timers*.
  - (+20s) Da *bridge B* weiterhin BPDUs von der richtigen *root bridge* erhält, wird der Status des *blocked ports* auf *designated* geändert, womit *bridge A* wieder mit BPDUs der *root bridge* versorgt wird.
  - (+20s) *Bridge A* akzeptiert die originale *root bridge* als *root* und hört auf, selbst BPDUs zu versenden.
  - (+20s) *Bridge A* macht den Richtung *bridge B* zeigenden *port* zum neuen *root port*, wodurch zusätzlich das zweifache *forwarding delay* abgewartet werden muss.
  - (+50s) Der *spanning tree* ist konvergiert.

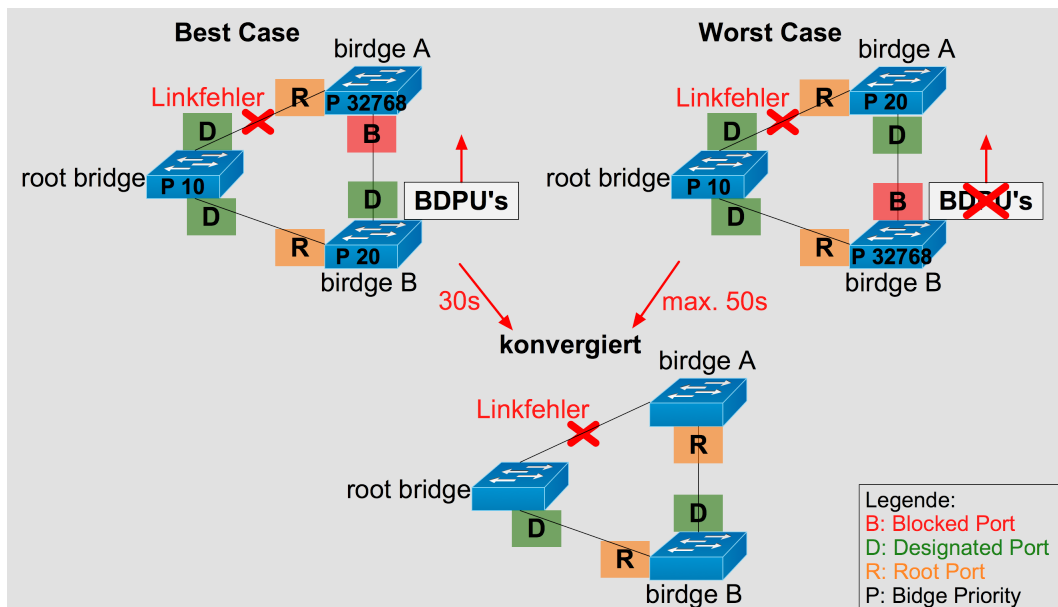


Abbildung 27: Best vs. worst case STP

3.7.1.1 Fazit

Es spielt eine Rolle, wo der *Linkfehler* auftritt. Im *best case* konvergiert der *spanning tree* unter Verwendung von STP in 30s, denn bei einem Statuswechsel eines *ports* muss immer das zweifache *forwarding delay* abgewartet werden, bevor der *port* in den *forwarding* Status kommt. Im *worst case* muss zusätzlich der *max age timer* von 20s abgewartet werden, was zu einer totalen Konvergenzzeit von 50s führt. Diese theoretische Erkenntnis kann durch den Vergleich der Graphen der Szenarien *STP\_3\_bridges\_best\_case* und *STP\_3\_bridges\_worst\_case* in Abbildung 26 verifiziert werden.

### 3.7.2 Antwort auf Leitfrage 2

Wie beeinflusst die Anzahl *bridges* die Konvergenzzeit von STP?

Anhand des Vergleiches der Graphen der Szenarien *STP\_3\_bridges\_worst\_case* und *STP\_13\_bridges* in Abbildung 26 ist ersichtlich, dass das *STP\_13\_bridges* Szenario weniger Zeit zur Konvergierung benötigt. Dieser widersprüchliche Effekt, mit mehr *bridges* weniger Konvergenzzeit zu erreichen, kann durch folgenden, beispielhaften Ablauf in Kombination mit Abbildung 28 erklärt werden:

- Vor dem *Linkfehler* erhält *bridge A* die weissen BPDUs über den einen und die braunen BPDUs über den andern *spanning tree* Ast. *Bridge A* kennt also zwei Pfade zur *root* und um den *loop* aufzutrennen, wird der *port* zum schlechteren Pfad blockiert.
- Nach dem *Linkfehler* erhält *bridge A* weiterhin weisse BPDUs, jedoch keine neuen braunen BPDUs mehr. Dies führt dazu, dass die BPDU Informationen, um den *port* blockiert zu halten, nicht mehr erneuert werden. Nach Ablauf der Zeitdauer von  $(max\ age - message\ age)$  gelten die Information aus den braunen BPDUs als veraltet, womit der Status des *blocked ports* auf *designated* geändert wird. D.h. je grösser der *message age* Wert ist, umso weniger Zeit vergeht, bis *bridge A* die Information aus den braunen BPDUs als veraltet betrachtet. Dies alleine genügt jedoch nicht, um eine grössere Verkürzung der Konvergenzzeit zu erhalten. Denn entspräche der *message age* Wert, wie vom Protokoll vorgesehen, dem Alter der BPDU in Sekunden, ergibt die Formel  $(max\ age - message\ age)$  immer dieselbe effektive Wartezeit, bis die Information als veraltet gilt, da die Zeit, welche vom *max age timer* abgezogen wird, bereits verstrichen ist. Der *message age* Wert entspricht aber in Wirklichkeit einem *hop count* der *bridges* und wächst somit viel schneller als die benötigte Zeit, um die BPDUs zu den *bridges* zu transportieren. Im untenstehenden Beispiel ist zu sehen, dass der *message age* Wert bei *bridge A* bereits 6 beträgt, obwohl die nötige Übertragungszeit im Millisekundenbereich liegt. *Bridge A* wird die braunen BPDU Informationen nach 14s als veraltet erklären, was gegenüber einem Ring mit 3 *bridges* einer Reduktion der Konvergenzzeit von 4s entspricht.
- Der neue *designated port* muss den *listening* und *learning* Status durchlaufen, bevor der abgeschnittene Teil der Topologie wieder durch *bridge A* die *root* erreichen kann.

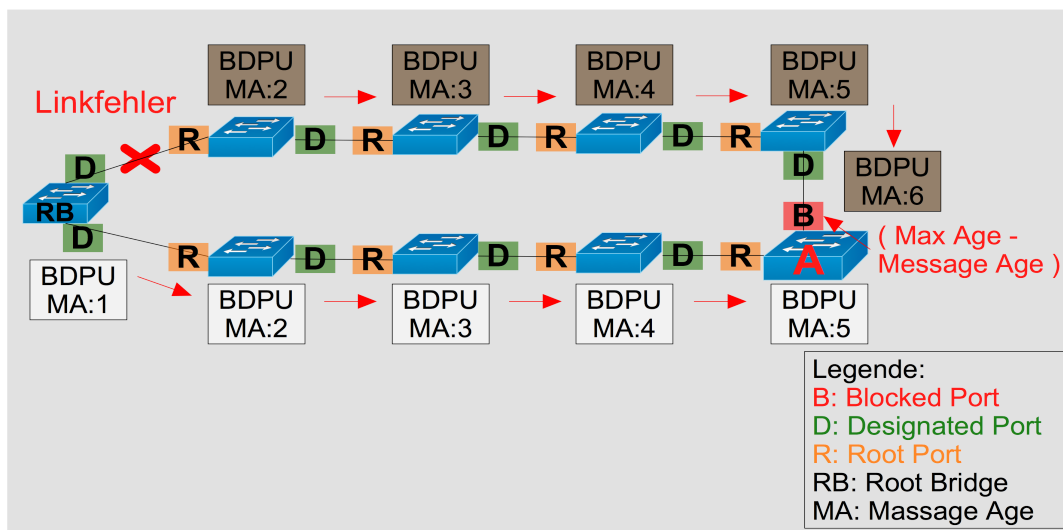


Abbildung 28: STP mehr *bridges*

### 3.7.3 Antwort auf Leitfrage 3

Wieviel Zeit vergeht bis zum initialen Aufbau des *spanning tree* bei STP?

Bei der Betrachtung aller STP Graphen in Abbildung 26 fällt auf, dass es unabhängig vom Szenario immer 30s dauert, bis der *spanning tree* konvergiert ist und somit der Datenverkehr fliesst. Dies lässt sich dadurch erklären, dass jeder *bridge port* die beiden Statusse *listening* und *learning* durchlaufen muss, wodurch das zweifache *forwarding delay* von je 15s anfällt.

3.7.4 Antwort auf Leitfrage 4

Wie beeinflusst der Ort des *Linkfehlers* die Konvergenzzeit von RSTP?

Der Vergleich zwischen den Graphen des *RSTP\_3\_bridges\_best\_case* und *RSTP\_3\_bridges\_worst\_case* Szenarios zeigt einen Unterschied von 4s. Wie dieser Unterschied zustande kommt, wird nachfolgend anhand einer Ablaufbeschreibung und der Abbildung 29 gezeigt. Der Grund, wieso mit Prioritäten gearbeitet wurde, bleibt derselbe wie im Abschnitt 3.7.1.

Der *best case* unterscheidet sich vom *worst case* durch den Ort, an dem sich der *blocked port* befindet. Es folgt eine kurze Ablaufbeschreibung für beide *cases*:

- *Best case*
  - *Bridge A* erkennt den *Linkfehler* physikalisch und realisiert somit den Verlust des *root ports*, worauf unverzüglich der *blocked port* zum neuen *root port* gemacht wird.
  - Der *spanning tree* ist neu konvergiert.
- *Worst case*
  - *Bridge A* erkennt den *Linkfehler* physikalisch und realisiert somit den Verlust des *root ports*, worauf diese Information via BPDUs mit *bridge B* synchronisiert wird.
  - *Bridge B* ändert den *Portstatus* des *blocked ports* auf *designated* und synchronisiert diese Information mit *bridge A*.
  - *Bridge A* macht den alten *designated port* zum neuen *root port*.
  - Der *spanning tree* ist neu konvergiert.

Der Unterschied in der Konvergenzzeit ist auf den Synchronisationsprozess zwischen *bridge A* und *bridge B* zurückzuführen. Wenn sich der *blocked port* bei *bridge A* befindet, kann diese selbst den *Portstatus* ändern. Falls der *blocked port* aber bei *bridge B* liegt, muss die Information über den Verlust des *root ports* zuerst synchronisiert werden.

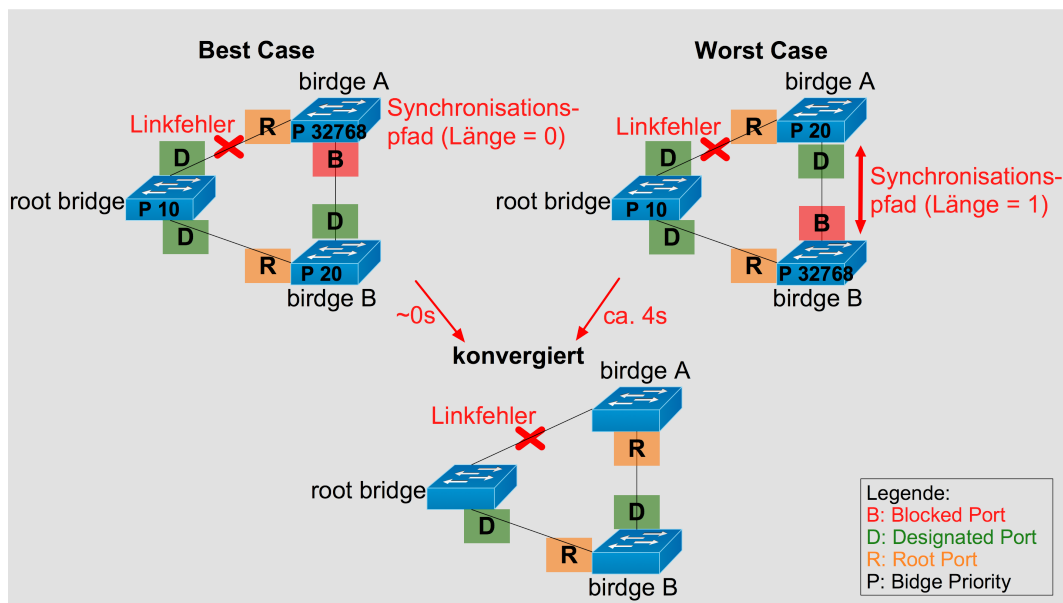


Abbildung 29: Best vs. worst case RSTP

### 3.7.5 Antwort auf Leitfrage 5

Wie beeinflusst die Anzahl *bridges* die Konvergenzzeit von RSTP?

Anhand der RSTP Szenario Graphen in Abbildung 26 ist klar ersichtlich, dass mit einer zunehmenden Anzahl an *bridges* auch die Konvergenzzeit linear steigt. Dies kann durch die wachsende Pfadlänge zwischen dem *Linkfehler* und der *bridge* mit dem *blocked port* begründet werden. Denn die Information über den *Linkfehler* muss zwischen sämtlichen, sich auf diesem Pfad befindenden *bridges* synchronisiert werden. Diese Erkenntnis wird durch die Aussage *RSTP\_9\_bridges\_different\_link* Graphen zusätzlich gestützt. Denn dort ist erkennbar, dass auch mit 9 *bridges* die gleiche Konvergenzzeit erreicht werden kann wie mit 3, wenn der Synchronisationspfad gleich lang bleibt. In Abbildung 30 ist der Zusammenhang zwischen der Position des *Linkfehlers* und der Länge des Synchronisationspfades dargestellt.

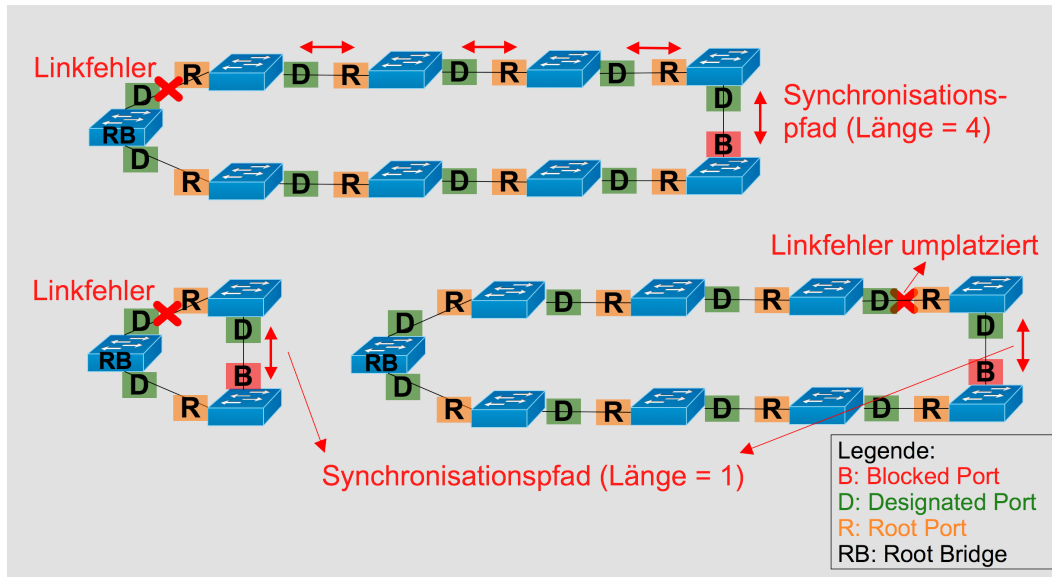


Abbildung 30: Synchronisationspfadlänge

### 3.7.6 Antwort auf Leitfrage 6

Wieviel Zeit vergeht bis zum initialen Aufbau des *spanning tree* bei RSTP?

Die Zeit für den initialen Aufbau ist durch das RSTP *proposal and agreement* Verfahren bestimmt, welches in den getesteten RSTP Szenarien immer 4s in Anspruch genommen hat.

## 3.8 Weiterführende Fragestellungen

Die nachfolgenden Fragestellungen sollen dazu anregen, eigene Ideen für zusätzliche Szenarien zu entwickeln:

- Wie wirkt sich ein *Nodefehler* einer normalen *bridge* auf die Konvergenzzeit aus?
- Wie wirkt sich ein *Nodefehler* der *root bridge* auf die Konvergenzzeit aus?
- Wie kann ein separater *spanning tree* pro *Virtual Local Area Network (VLAN)* dafür verwendet werden, um den Gesamtdurchsatz für die Topologie zu verbessern?
- Wie wirken sich andere physikalische Topologien wie z.B. eine Vollvermaschung auf die Konvergenzzeit aus?
- Gibt es Unterschiede zwischen herstellereigenen und generischen *Bridgemoellen*?
- Was kann festgestellt werden, wenn in einer Topologie RSTP und STP gemischt eingesetzt werden?
- Hat die Verwendung von *hubs* Auswirkungen im Zusammenhang mit RSTP?
- Was passiert, wenn nach dem initialen Aufbau des *spanning trees* die Pfadkosten zur *root bridge* verändert werden?

## 4 Designanalyse mit OPNET IT Guru

In diesem Abschnitt geht es darum, anhand eines *Übungslabs* aufzuzeigen, wie die für ein Netzwerkdesign wichtigen Ziele mit OPNET IT Guru überprüft werden können.

### 4.1 Ziel eines Netzwerkdesigns

Die folgende Aufzählung beschreibt mögliche Anforderungen an ein Netzwerk. Das Ziel eines Netzwerkdesigns ist es, diese Anforderungen situationsspezifisch zu berücksichtigen und mit entsprechenden Planungsmassnahmen für deren Einhaltung zu sorgen:

- Transport von Datenverkehr von *source* zu *destination*
- Robuster Datentransport, welcher auch nach Ausfall von ein bis mehreren *links* oder *routern* noch gewährleistet sein soll
- Nutzung redundanter *links* zur gleichmässigen Verteilung des Datenverkehrs (*load balancing*)
- Wenig *delay*
- Wenig *jitter*

### 4.2 Topologieübersicht

Die Abbildung 31 bietet einen Überblick über einige grundlegende Designs für Netzwerktopologien.

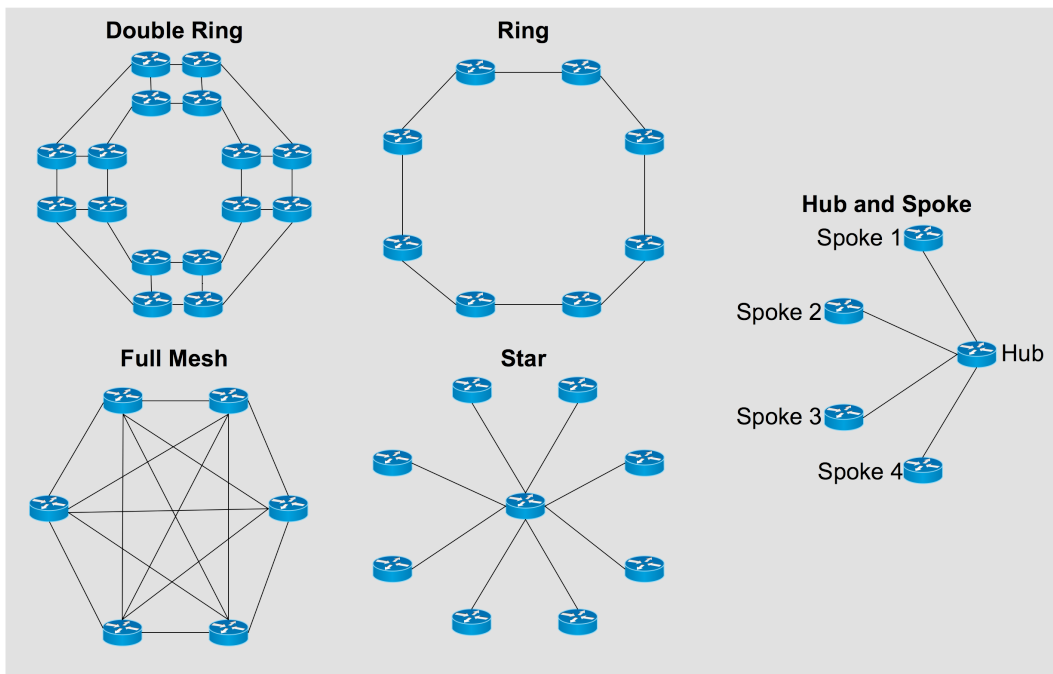


Abbildung 31: Verschiedene Netzwerktopologien im Überblick

### 4.3 Load balancing

Dieser Abschnitt bildet eine kurze Zusammenfassung der beiden folgenden Dokumente (Cisco 2005), (Lapukhov 2009).

Das *load balancing* sorgt aufgrund der *layer 3 destination* Information dafür, dass der Datenverkehr gleichmässig auf die in der *Routingtable* vorhanden redundanten Pfadvariationen verteilt wird. Dabei sind folgende Unterschiede zu beachten:

- **Equal Cost Load Balancing (ECLB):** Lastenverteilung zwischen *Routingtabelleneinträgen*, welche dieselbe Metrik zu einer *destination* aufweisen.
- **Unequal Cost Load Balancing (UCLB):** Lastenverteilung zwischen *Routingtabelleneinträgen*, welche eine unterschiedliche Metrik zu einer *destination* aufweisen. Das *Boarder Gateway Protocol (BGP)* und das *Enhanced Interior Gateway Protocol (EIGRP)* sind die einzigen *Routingprotokolle*, welche diese Art von *load balancing* unterstützen. UCLB sei hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt, bei den später gezeigten Beispielen kommt ausschliesslich ECLB zum Einsatz.
- **Destination based:** Alle Pakete, welche für dieselbe *destination* bestimmt sind, werden über denselben *link* versendet, welcher anhand der *Routingtablleneinträge* bestimmt wird.
- **Packet based:** Pakete werden gleichmässig auf die *links* verteilt, welche für die entsprechende *destination* in der *Routingtable* eingetragen sind.

## 4.4 Datenverkehr generieren

Damit das Verhalten des Netzwerkdesigns untersucht und verschiedene Designs miteinander verglichen werden können, müssen diese einer reproduzierbaren Belastung ausgesetzt werden. In diesem *lab* wird dies wie folgt gemacht:

- *Video conferencing*: Mittels *video conferencing* wird ein konstanter UDP basierter Datenstrom generiert.
- *Client server* Prinzip mit maximaler Topologiedistanz: Die 3 LAN Objekte werden so konfiguriert, dass ihre 15 *clients* die *video conferencing* Daten ausschliesslich mit dem *server* austauschen, welcher ihnen im Ring gegenüberliegt. In Abbildung 32 tauschen somit die *clients* des *LAN\_genf* die Daten mit dem *server\_chur* aus. So ist sichergestellt, dass der Verkehr die maximale Distanz im Ring zurücklegen muss, um zum Ziel zu gelangen. Zusätzlich wird die Interpretation der Resultate erleichtert, wenn *source* und *destination* des Datenverkehrs im Voraus bekannt sind.
- Gleiche Datenmenge: Jedes LAN Objekt beinhaltet 15 *workstations*. Somit ist sichergestellt, dass die LAN Objekte die *links* gleich stark auslasten. Wie später noch mit gemessenen Werten festgestellt wird, lasten 15 *video conferencing sessions* einen *Point to Point Protocol Digital Signal 3 (PPP DS3) link*, welcher eine Kapazität von 44.736 Mbps besitzt, zu ca. 43% pro Richtung aus. Dies zu wissen erleichtert ebenfalls die Interpretation der Resultate.

## 4.5 Leitfragen zu diesem lab

In diesem *lab* sollen folgende Sachverhalte/Fragen untersucht werden:

1. Wie unterscheidet sich der *destination based* vom *packet based load balancing* Algorithmus in Bezug auf die Datenverkehrsverteilung und das *delay* innerhalb eines Rings?
2. Wie wirkt sich ein zusätzlicher, direkter *link* zwischen dem *router\_lugano* und *router\_basel* auf die Auslastung der *Ringlinks* und das *delay* aus?
3. Wie sind die Auswirkungen auf die Datenverkehrsverteilung und das *delay*, wenn der *link* zwischen *router\_basel* und *router\_lugano* ausfällt? Entsteht ein Unterbruch?
4. Wie verhält sich ein Netzwerkdesignvorschlag mit zentralem Rechenzentrum (*hub and spoke* Design) in Zürich im Vergleich zu den durch einen Ring verbundenen Einzelstandorten?

## 4.6 Involvierte Labszenarien

Die folgende Aufzählung soll einen Überblick darstellen, welche Szenarien in diesem *lab* erstellt werden, woraus diese bestehen und um welchen Sachverhalt sich diese kümmern:

- *Ring\_EIGRP\_destination\_based*: 6 router, 3 server, 3 LANs
- *Ring\_EIGRP\_packet\_based*: 6 router, 3 server, 3 LANs
  - Wird mit dem Szenario *Ring\_EIGRP\_destination\_based* verglichen, um Sachverhalt 1 zu zeigen
- *Ring\_extended\_EIGRP\_packet\_based*: 6 router, 3 server, 3 LANs
  - Wird mit dem Szenario *Ring\_EIGRP\_packet\_based* verglichen, um Sachverhalt 2 zu zeigen
- *Ring\_extended\_failure*: 6 router, 3 server, 3 LANs
  - Wird verwendet, um Sachverhalt 3 zu zeigen
- *Datacenter\_zürich*: 4 router, 3 server, 3 LANs
  - Wird mit dem Szenario *Ring\_EIGRP\_packet\_based* verglichen, um Sachverhalt 4 zu zeigen

### 4.7 Labaufbau

Schritt 1: Erstelle ein neues Projekt inklusive des ersten Szenarios.

- *Project name: Network\_Design*
- *Szenario name: Ring\_EIGRP\_destination\_based*

Schritt 2: Verwende für den darauffolgenden *startup wizard* folgende Einstellungen:

- *Initial topology: Create empty scenario*
- *Network scale: World → Europe*
- *Size: Meters X: - Y: -*
- *Model family: Nichts verändern*

Schritt 3: Vergrößere so, dass der *workspace* die Schweiz wie in Abbildung 32 darstellt.

Schritt 4: Ziehe folgende Objekte aus der *object palette* auf den *workspace* und ordne sie der Abbildung 32 entsprechend an:

- (3x) *ethernet\_server*
- (3x) *1000BaseX\_LAN*
- (6x) *Cisco 7204 (CS\_7204\_4s\_a1\_e8\_f1\_sl8)* aus der *Cisco object palette*
- *Profile config*
- *Application config*

Schritt 5: Verbinde die *router* untereinander mit *PPP DS3 links* zu einem Ring. Verbinde die *LAN* Objekte und die *server* mit dem jeweils entsprechenden *router* über einen *1000BaseX link*.

Schritt 6: Benenne die Objekte entsprechend der Abbildung 32. Die geografische Genauigkeit ist für dieses *lab* irrelevant.

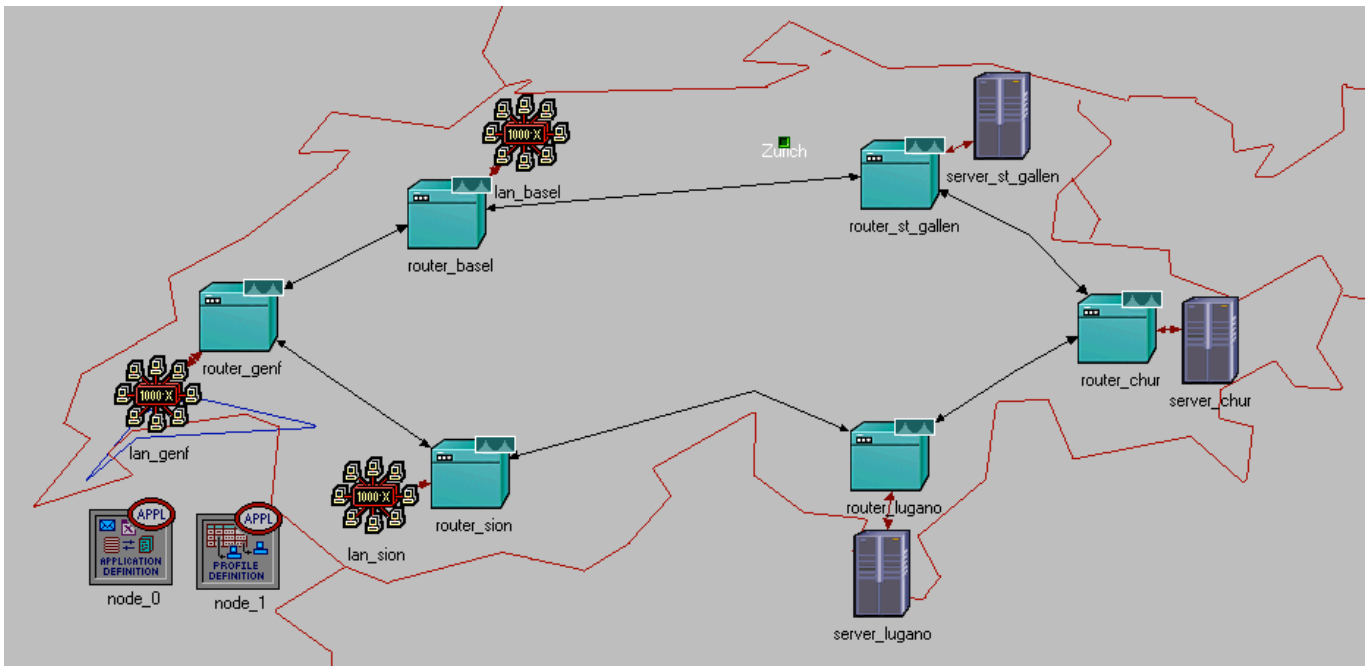


Abbildung 32: Ringdesign des Basisszenarios

Schritt 7: Konfiguriere den *application layer* für die Applikation *video conferencing*. Gehe dazu analog vor, wie es für die Applikation FTP im Abschnitt 2.5.4.2 beschrieben ist. Hier werden nur die Abweichungen zu Schritt 9 und 10 beschrieben:

- Schritt 9:
  - *Name: video conferencing*
  - *Video conferencing: Low resolution video*, es sind keine Applikationsanpassungen nötig.
- Schritt 10:
  - *Profile name: video conf user*
  - *Start time offset (seconds): uniform (0, 10)*
  - *Start time (seconds): constant (10)*



Schritt 8: Ändere das *supported services* Attribut für alle drei *server* Objekte auf *all* und setze den Wert des Attributes *server address* so, dass es mit dem Namen des jeweiligen Objektes übereinstimmt.

Schritt 9: Füge den 3 *LAN* Objekten als erstes das *video conf user* Profil hinzu und passe dann die beiden Attribute *number of workstations* und *destination preference* folgendermassen an:

- *Lan\_basel*
  - *Destination preference: Video destination* → *server\_lugano*
  - *Number of workstations: 15*
- *Lan\_genf*
  - *Destination preference: Video destination* → *server\_chur*
  - *Number of workstations: 15*
- *Lan\_sion*
  - *Destination preference: Video destination* → *server\_st\_gallen*
  - *Number of workstations: 15*

Schritt 10: Aktiviere folgende Statistiken:

- *Global statistics*
  - *Video conferencing*
    - *Packet end-to-end delay (sec)*
    - *Traffic received (bytes/sec)*
    - *Traffic sent (bytes/sec)*
- *Node statistics*
  - *UDP*
    - *Traffic received (bytes/sec)*
    - *Traffic sent (bytes/sec)*
  - *Video conferencing*
    - *Packet end-to-end delay (sec)*
- *Link statistics*
  - *Point-to-point*
    - *Throughput (bits/sec)* →
    - *Throughput (bits/sec)* ←
    - *Utilization (bits/sec)* →
    - *Utilization (bits/sec)* ←

Schritt 11: Öffne über das Menü **simulation** → **choose statistics (advanced)** den *probe editor* und ändere den *vector start* Attributwert der vier *link statistic probes* auf 10.

Schritt 12: Öffne die Simulationseinstellungen und ändere Folgendes:

- Im *common* Register:
  - *Duration: 60 seconds*
  - *Values per statistic: 600*
- Im *global attributes* Register:
  - *EIGRP sim efficiency: disabled*
  - *IP dynamic routing protocol: EIGRP*

Schritt 13: Dupliziere das Szenario *Ring\_EIGRP\_destination\_based* und nenne das neue Szenario *Ring\_EIGRP\_packet\_based*.

Schritt 14: Ändere über das Menü **protocols** → **IP** → **routing** → **configure load balancing options** den *load balancing* Algorithmus für alle *router* auf *packet based*.

Schritt 15: Dupliziere das Szenario *Ring\_EIGRP\_packet\_based* und nenne das neue Szenario *Ring\_extended\_EIGRP\_packet\_based*.

Schritt 16: Ziehe zwischen dem *router\_basel* und dem *router\_lugano* einen zusätzlichen *PPP DS3 link*.

Schritt 17: Dupliziere das Szenario *Ring\_extended\_EIGRP\_packet\_based* und nenne das neue Szenario *Ring\_extended\_failure*.

Schritt 18: Füge dem *workspace* ein *failure recovery* Objekt hinzu und ändere dessen Attributewerte folgendermassen:

- *Link failure/recovery specification*
  - Name: *router\_lugano <-> router\_basel*
  - Time: 30

Schritt 19: Dupliziere das Szenario *Ring\_extended\_failure* und nenne das neue Szenario *Datacenter\_zürich*.

Schritt 20: Benenne den *router\_chur* in *router\_datacenter* um und lösche die beiden Objekte *router\_st\_gallen* und *router\_lugano*. Lösche ebenfalls alle bestehenden *PPP DS3 links*.

Schritt 21: Ziehe ein neues *subnet* auf den *workspace* und ändere dessen Namensattribut auf *datacenter\_zürich*. Markiere die vier Objekte *router\_datacenter*, *server\_st\_gallen*, *server\_chur* und *server\_lugano* und schneide diese aus, um sie ins *subnet* (1, Abbildung 33) verschieben zu können. Mit dieser Methode bleibt die Konfiguration der Objekte erhalten.

Schritt 22: Verbinde die drei Objekte *server\_st\_gallen*, *server\_chur* und *server\_lugano* über *1000BaseX links* mit dem *router\_datacenter*. Verbinde die Objekte *router\_basel*, *router\_genf* und *router\_sion* über *PPP DS3 links* mit dem *router\_datacenter*.

Schritt 23: Lösche bereits vergebene IP Adressen über das Menü **protocols** → **IP** → **addressing** → **clear IP addresses of all interfaces**. (Hinweis: Falls das *log file* nach einer Topologieänderung viele Fehler mit Bezug auf IP und das verwendete *Routingprotokoll* aufweist, ist eine fehlerhafte IP Adressvergabe die mögliche Ursache.)

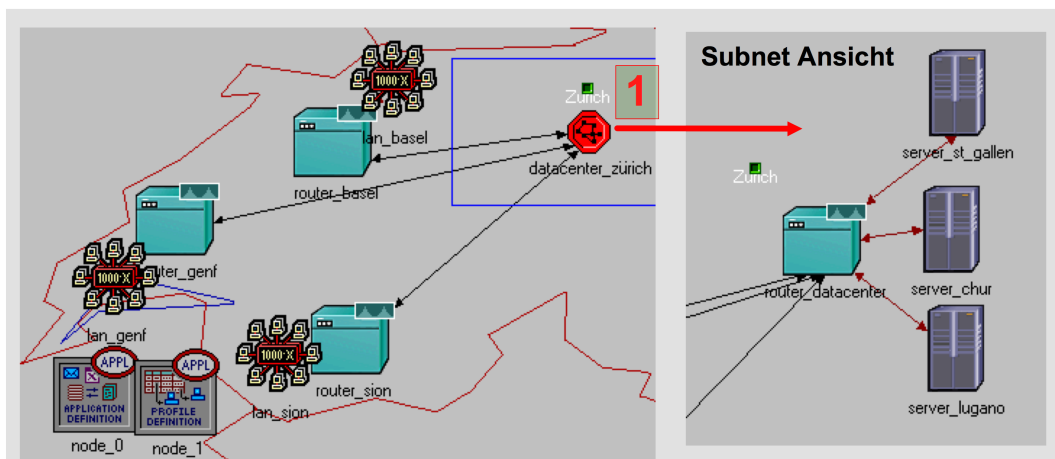


Abbildung 33: Design Rechenzentrum Zürich

Schritt 24: Lass alle Szenarios mit dem *Szenariomanager* durchlaufen.

## 4.8 Labauswertung

### 4.8.1 Statistiken zur Analyse der Leitfragen 1 und 2 erstellen

Schritt 25: Wechsle zum Szenario *Ring\_EIGRP\_destination\_based*.

Schritt 26: Öffne das Menü **results** → **visualize link statistics** und ändere die Einstellungen des Assistenten folgendermassen, um die im Bereich (1, Abbildung 34) gezeigte Auslastungstabelle zu erhalten:

- Setze beide *radio buttons* auf *average*
- Ändere unter *throughput* das *lower limit* wie folgt:
  - 2: 5
  - 3: 10
  - 4: 20
  - 5: 40

Schritt 27: Öffne das Menü **results** → **find top results** und selektiere beim Assistenten *link statistics* → *point-to-point* → *utilisation*, um die im Bereich (2, Abbildung 34) gezeigte Auslastungsvisualisierung der *links* zu erhalten.

Schritt 28: Wiederhole Schritt 26 für die beiden Szenarien:

- (3, Abbildung 34) *Ring\_EIGRP\_packet\_based*
- (4, Abbildung 34) *Ring\_extended\_EIGRP\_packet\_based*

Schritt 29: Erstelle über *compare results* die im Bereich (5-7, Abbildung 34) gezeigten Statistiken mit folgenden Angaben:

- Gleichbleibende Einstellungen für alle drei Statistiken:
  - *Overlaid statistics*
  - *Selected scenarios*
    - *Ring\_EIGRP\_destination\_based*
    - *Ring\_EIGRP\_packet\_based*
    - *Ring\_extended\_EIGRP\_packet\_based*
  - *As is*
- Zu selektierende Graphen:
  - (5, Abbildung 34) *Object statistics* → *router\_genf* <-> *router\_basel* → *point-to-point* → *utilization* ←
  - (6, Abbildung 34) *Global statistics* → *video conferencing* → *packet end-to-end delay (sec)*
  - (7, Abbildung 34) *Object statistics* → *LAN basel* → *video conferencing* → *packet end-to-end delay (sec)*

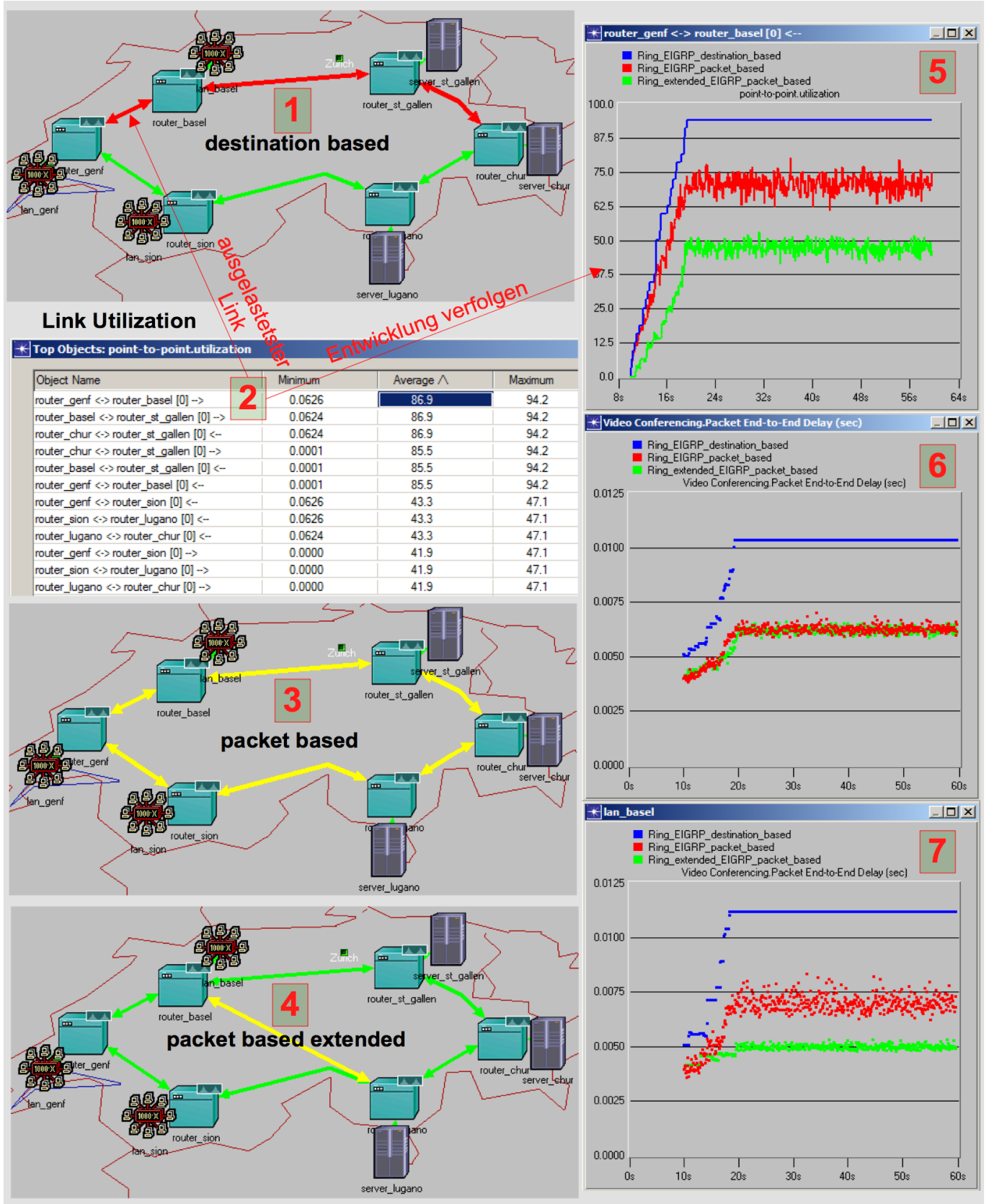


Abbildung 34: Statistiken zur Analyse der Leitfragen 1 und 2

4.8.2 Antwort auf Leitfrage 1

Wie unterscheidet sich der *destination based* vom *packet based load balancing* Algorithmus in Bezug auf die Datenverkehrsverteilung und das *delay* innerhalb eines Rings?

Wie in der Auslastungsvisualisierung (1, Abbildung 34) zu sehen ist, wird beim *destination based load balancing* der Datenverkehr nicht gleichmässig auf alle *links* verteilt, sondern der obere Teil des Rings wird stärker ausgelastet als der untere. Anhand der Auslastungstabelle (2, Abbildung 34) kann eine Aufteilung in zwei Gruppen von *links* erkannt werden, welche jeweils gleich stark ausgelastet sind. Die erste Gruppe wird mit ~86% und die zweite mit ~43% pro Richtung ausgelastet. Die Abbildung 35 stellt eine Visualisierung der Auslastungstabelle (2, Abbildung 34) dar, in der ersichtlich wird, wie die für dieses Beispiel ungleichmässige Verteilung zustande kommt.

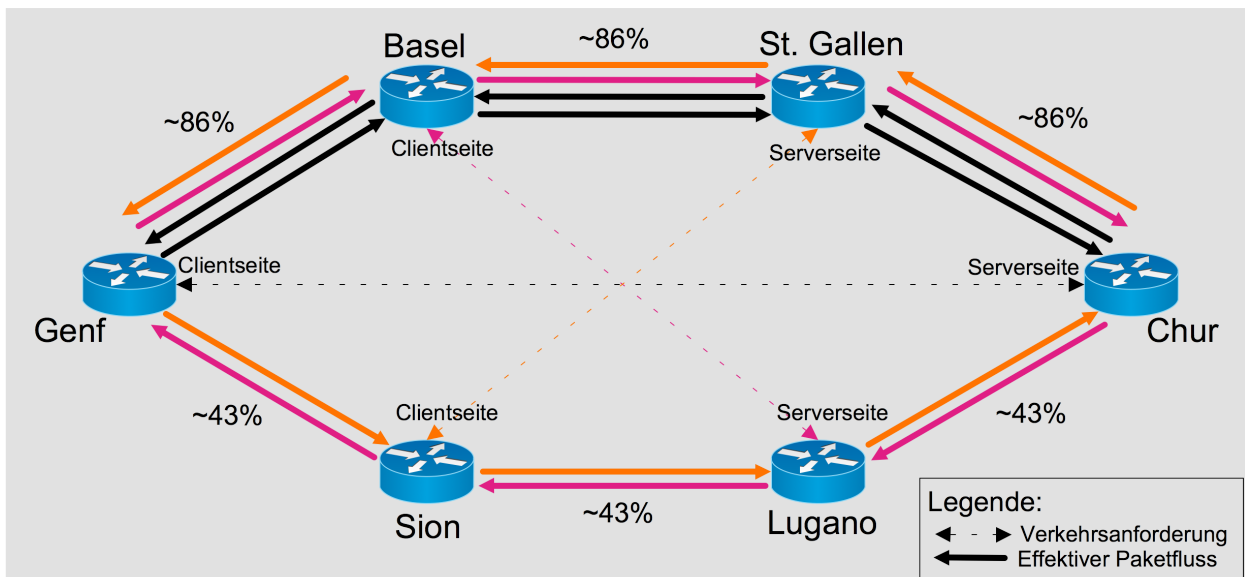


Abbildung 35: Verkehrsflussanalyse eines Rings (*destination based*)

Für das *packet based load balancing* zeigt die Auslastungsvisualisierung (3, Abbildung 34) eine gleichmässige Verteilung des Datenverkehrs auf beide Hälften des Rings. Eine Visualisierung der Verkehrszusammensetzung ist in Abbildung 38 zu finden. Die dort verwendeten doppelseitigen Pfeile kommen daher, dass beim *packet based load balancing* für den Hin- und Rückweg einer Verkehrsanforderung beide Ringseiten gleich oft verwendet werden.

Durch die bessere Ausnutzung der vorhandenen *Linkkapazität* kann für das getestete Szenario mit dem *packet based load balancing* Algorithmus eine *Delaysenkung* von ca. 40-50% erreicht werden (6, Abbildung 34).

4.8.3 Antwort auf Leitfrage 2

Wie wirkt sich ein zusätzlicher, direkter *link* zwischen dem *router\_lugano* und *router\_basel* auf die Auslastung der *Ringlinks* und das *delay* aus?

Anhand der Auslastungsvisualisierung (4, Abbildung 34) ist ersichtlich, dass der zusätzliche *link* den gesamten Ring vom Datenverkehr entlastet, welcher zwischen dem *router\_basel* und *router\_lugano* fliesst, da der zusätzliche *link* die kleinere Metrik besitzt als die beiden anderen Varianten via *router\_genf* <-> *router\_sion* oder *router\_chur* <-> *router\_st\_gallen*.

Bei der Betrachtung des *delays* sind die beiden folgenden *delays* differenziert zu betrachten:

- *Delay* zwischen *router\_lugano* und *router\_basel*: Wie zu erwarten, zeigt die *Delaystatistik* (7, Abbildung 34), dass das Szenario *Ring\_expanded\_EIGRP\_packet\_based* gegenüber dem Szenario *Ring\_EIGRP\_packet\_based*, wegen des direkten *links*, ein tieferes *delay* aufweist. Zusätzlich ist beim *expanded* Szenario weniger *jitter* (Varianz des *delay*) zu erkennen, was darauf zurückzuführen ist, dass weniger *hops* involviert sind und immer derselbe Weg genommen wird.
- *Durchschnittliches delay* innerhalb der gesamten Topologie zwischen zwei gegenüberliegenden *routern*: Das durchschnittliche *delay* für die gesamte Topologie verbessert sich gemäss *Delaystatistik* (6, Abbildung 34) nur marginal, was darauf zurückzuführen ist, dass *LAN\_genf* und *LAN\_sion* weiterhin gleich viele *hops* auf dem Weg zum Ziel überwinden müssen und somit die gesamthafte *Delaysenkung* marginal bleibt.

4.8.4 Statistiken zur Analyse der Leitfrage 3 erstellen

Schritt 30: Wechsle zu Szenario *Ring\_extended\_failure* und erstelle über *view results* die in Abbildung 36 gezeigten Statistiken mit folgenden Angaben:

- Gleichbleibende Einstellungen für beide Statistiken:
  - *Overlaid statistics*
  - *This scenario*
  - *As is*
- (1, Abbildung 36) Selektiere die folgenden Graphen aus dem zu expandierenden Bereich *object statistics*:
  - *router\_basel <-> router\_st\_gallen*
    - *point-to-point*
      - *utilization* →
  - *router\_genf <-> router\_basel*
    - *point-to-point*
      - *utilization* ←
  - *router\_lugano <-> router\_basel*
    - *point-to-point*
      - *utilization* ←
- (2, Abbildung 36) *Object statistics* → *LAN\_basel* → *video conferencing* → *packet end-to-end delay (sec)*

Schritt 31: Öffne das *Simulationslogfile* und expandiere *classes* → *EIGRP* → *performance*, um die automatisch gemessenen Konvergenzzeiten für das *EIGRP Routingprotokoll* zu sehen (3, Abbildung 36).

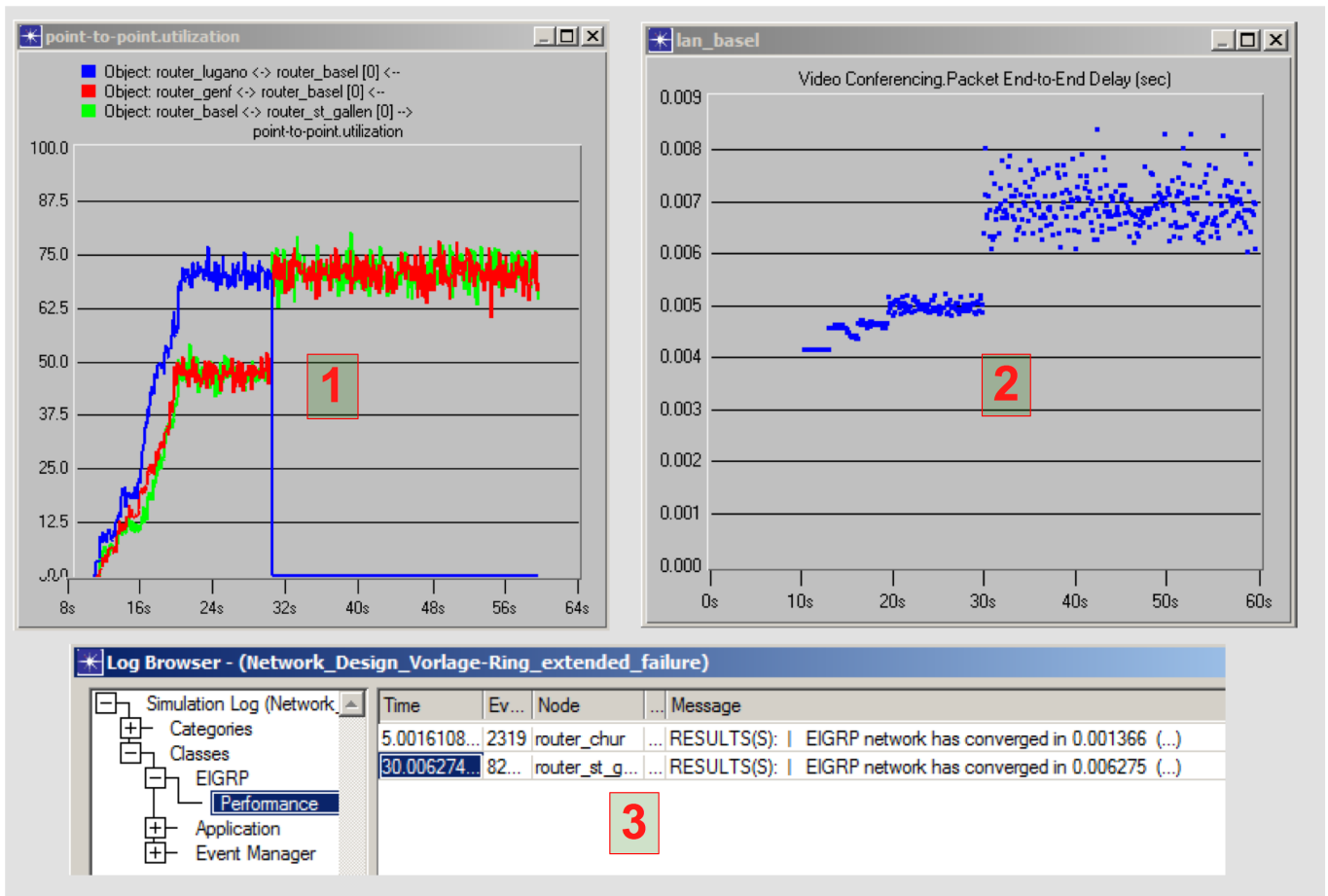


Abbildung 36: Statistiken zur Analyse der Leitfrage 3

4.8.5 Antwort auf Leitfrage 3

Wie sind die Auswirkungen auf die Datenverkehrsverteilung und das *delay*, wenn der link zwischen *router\_basel* und *router\_lugano* ausfällt? Entsteht ein Unterbruch?

In der Auslastungsstatistik (1, Abbildung 36) kann beobachtet werden, wie der Datenverkehr, welcher über den *link router\_lugano <-> router\_basel* ausgetauscht wird, ab Simulationssekunde 30 wegen des *Linkfehlers* wieder auf die beiden alternativen Pfade, via *router\_genf <-> router\_sion* und *router\_chur <-> router\_lugano* verteilt wird. Diese zwei zusätzlichen *hops* führen wiederum zu mehr *jitter* und einem grösseren *delay*, wie in der *Delaystatistik* (2, Abbildung 36) zu erkennen ist.

Die sehr kurzen, im 6 Millisekundenbereich liegenden EIGRP Konvergenzzeiten (3, Abbildung 36) erklären, wieso in der Auslastungsstatistik (1, Abbildung 36) kein Unterbruch des Datenflusses zu erkennen ist.

4.8.6 Statistiken zur Analyse der Leitfrage 4 erstellen

Schritt 33: Wechsle zu Szenario *Datacenter\_zürich* und erstelle die Auslastungstabelle (1, Abbildung 37) analog zu Schritt 27.

Schritt 32: Wechsle zu Szenario *Ring\_extended\_packet\_based* und erstelle die Auslastungstabelle (2, Abbildung 37) analog zu Schritt 27.

Schritt 34: Erstelle über *compare results* eine *Delaystatistik* (3, Abbildung 37) mit folgenden Angaben:

- *Overlaid statistics*
- *Select scenarios*
  - *Ring\_extended\_packet\_based*
  - *Datacenter\_zürich*
- *As is*
- *Global statistics* → *video conferencing* → *packet end-to-end delay (sec)*

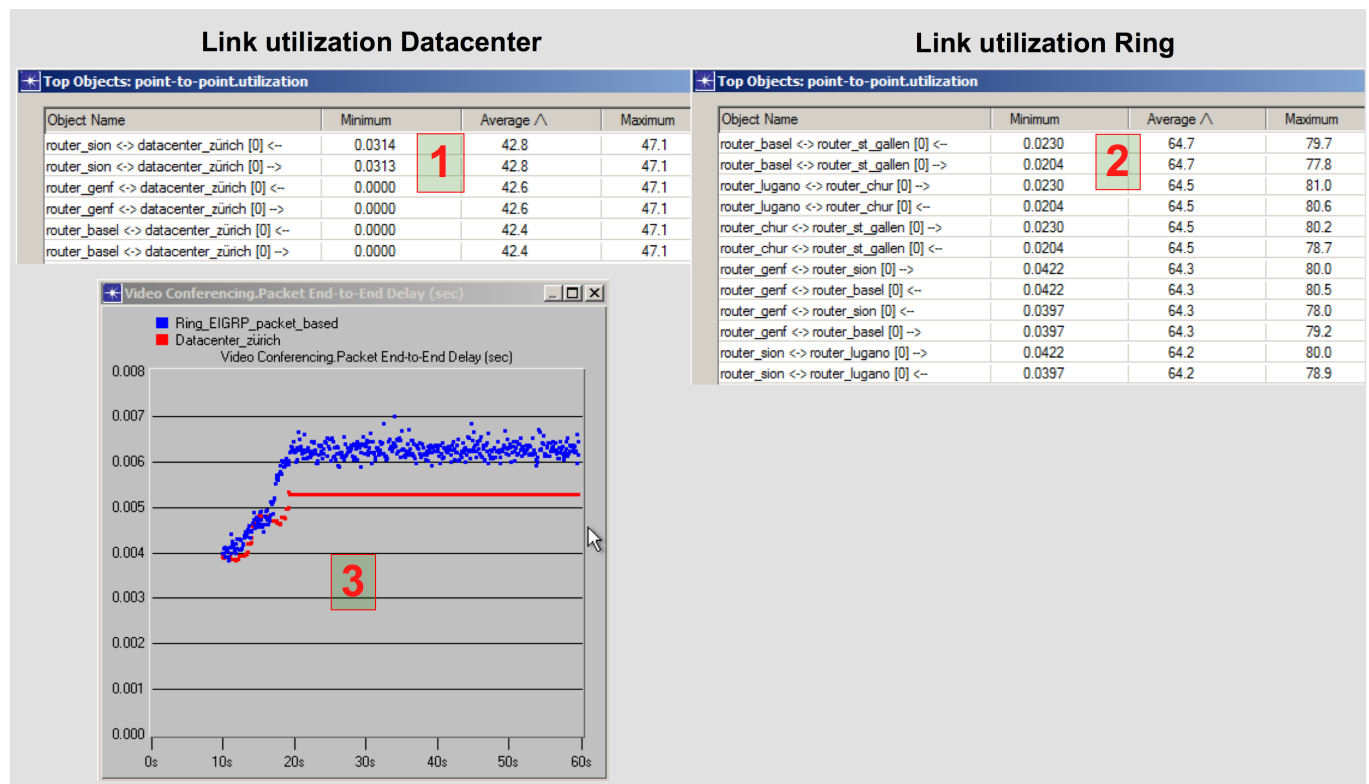


Abbildung 37: Statistiken zur Analyse der Leitfrage 4

4.8.7 Antwort auf Leitfrage 4

Wie verhält sich ein *Netzwerkdesignvorschlag* mit zentralem Rechenzentrum (*hub and spoke Design*) in Zürich, im Vergleich zu den durch einen Ring verbundenen Einzelstandorten?

Die Abbildung 38 stellt dar, wie sich der Datenverkehr in einem Ring und einem *hub and spoke Design* verteilt, die beide *packet based load balancing* einsetzen. Das spezielle am Ring ist dabei, dass für einen Datenstrom zum gegenüberliegenden Knoten jeder einzelne *Ringlink* mitbenutzt wird, was anhand der farblich getrennten Datenflüsse erkennbar ist. Beim *hub and spoke Design* hingegen wird der Verkehr nur zwischen den Knoten ausgetauscht, welche am Datenverkehr interessiert sind. Dies gilt, sofern kein Datenverkehr von *spoke* zu *spoke* über den *hub* fließt. Mit diesem theoretischen Hintergrund lassen sich die unterschiedlichen *link utilization* Werte zwischen den zwei Szenarien erklären. In der Auslastungstabelle (1, Abbildung 37) ist zu sehen, dass die Auslastung des *links* zwischen dem *router\_sion* und dem *router\_datacenter (datacenter\_zürich [0])* ~42.8% beträgt. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die *video conferencing* Kommunikation von 15 *workstations* einen *PPP DS3 link* zu ~42.8% pro Richtung auslasten. Somit kann die Auslastung für einen einzelnen *Ringlink* folgendermassen berechnet werden:

- Teil 1:  $(42.8\% \times 3)$ , da im Ring 3 LANs mit jeweils 15 *workstations* vorhanden sind
- Teil 2:  $((\text{Teil 1})/2)$ , da sich der Datenverkehr auf beide Pfadvarianten des Rings verteilt
- $(42.8 \times 3)/2 = 64.2 \%$ , was ziemlich genau mit der gemessenen Auslastung (2, Abbildung 37) übereinstimmt

Das kleinere *delay* für das *hub and spoke Design* kann einerseits durch die kürzere Distanz zwischen *server* und *client* und andererseits durch die kleinere Anzahl an *hops* begründet werden. Da im *hub and spoke Design* nur ein Weg über einen einzigen *hop* vom *client* zum *server* führt, fällt infolge auch der *jitter* kleiner aus.

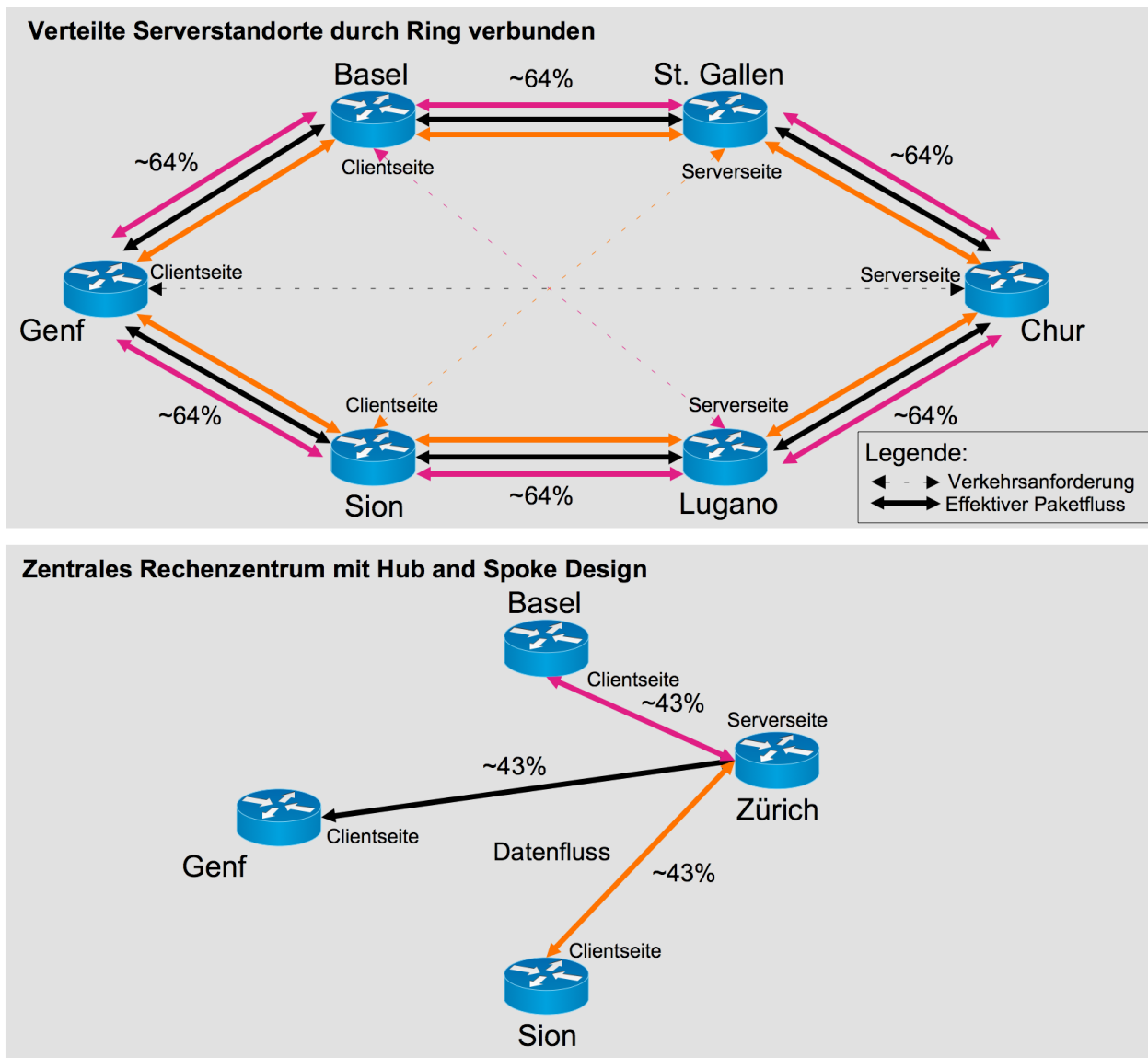


Abbildung 38: Verkehrsflussanalyse eines Rings (*packet based*) und eines *hub and spoke Design*s (*packet based*)



## 4.9 Weiterführende Fragestellungen

- Hat die Auswahl des Routingprotokolls einen Einfluss auf die Datenverkehrsverteilung und das *delay*?
- Hat die Auswahl des Routingprotokolls einen Einfluss auf die Konvergenzzeit bei einem *Node- oder Linkfehler*?
- Möglich Fragen zu den in Abbildung 31 gezeigten Designs:
  - Welches Design bietet die grösste Robustheit in Bezug auf *Linkfehler*?
  - Welches Design bietet die grösste Robustheit in Bezug auf *Nodefehler*?
  - Welches Design ermöglicht den grössten Datendurchsatz zwischen zwei Knoten?

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Das aus dieser Arbeit resultierende Dokument bietet eine Grundlage, um Studierenden und interessierten IT-Fachkräften einen geführten Einstieg in den Umgang mit der Simulationssoftware OPNET IT Guru zu ermöglichen. Wie anhand der folgenden Zusammenfassung der Hauptabschnitte zu erkennen ist, können mit dieser Arbeit sämtliche in der Aufgabenstellung geforderten Anforderungen erfüllt werden:

- Einleitung
  - Dieser Abschnitt erklärt kurz, was Simulation ist und wozu diese eingesetzt werden kann, bevor spezifischer auf die Anforderungen an Netzwerksimulatoren in verschiedenen Bereichen eingegangen wird. Anhand einer kleinen Marktübersicht wird gezeigt, was der Markt momentan an Netzwerksimulatoren zu bieten hat.
- Einführung in OPNET IT Guru
  - In diesem Abschnitt wird zu Beginn auf die Entstehung von OPNET IT Guru und mögliche Einsatzgebiete eingegangen. Es folgen detaillierte Erklärungen von Konzepten und Funktionen, welche für den Umgang mit OPNET IT Guru wichtig sind. Anhand eines ersten *Einführungslabs*, bei dem es um die *Performanceanalyse* eines FTP servers geht, wird versucht, möglichst viele der zuvor vorgestellten Konzepte und Funktionen praktisch anzuwenden.
- Protokollanalyse mit OPNET IT Guru
  - In diesem Abschnitt wird kurz auf wichtige Protokollkonzepte von STP eingegangen, bevor erklärt wird, was Konvergenzzeit ist und wie man diese mit OPNET IT Guru messen kann. Es folgt ein umfangreiches *Übungslab*, in welchem die Konvergenzzeit von STP mit jener von RSTP verglichen wird.
- Designanalyse mit OPNET IT Guru
  - In diesem Abschnitt werden kurz die wichtigsten Ziele eines Netzwerkdesigns erläutert. Um später die Verkehrsverteilung besser verstehen zu können, wird auch auf das Thema *load balancing* eingegangen. Im *Übungslab* werden ausgehend von einer Ringtopologie die Unterschiede zwischen *destination based* und *packet based load balancing* untersucht, worauf einige designbezogene Vergleiche folgen.

Mit dieser Arbeit können das Potential und der Funktionsumfang von OPNET IT Guru nur ansatzweise gezeigt werden, da die verwendete *academic version* einigen Einschränkungen unterliegt. Insbesondere durch den Erwerb der *professional version* von OPNET IT Guru bieten sich viele neue Möglichkeiten. Z.B. könnte durch den Einsatz der zusätzlichen Importfunktionalität produktive Netze automatisiert modelliert und mittels OPNET IT Guru untersucht und optimiert werden. Generell können durch die Aufhebung der Einschränkungen grössere und realitätsnähere *labs* erstellt werden.

## Anhang

## I Management Summary

### I.1 Ausgangslage

Die Planung der Computernetze von morgen stellt eine immer schwierigere Aufgabe dar. Die stetig wachsende Anzahl an *hosts* und der klare Trend zu *ALL IP* Netzen bei Telekommunikations-, Multimedia- und Geschäfts-Dienstleistungen stellt immer höhere Anforderungen in Bezug auf Leistung und Qualität von Computernetzen. Um solch komplexe Netze warten, ausbauen oder neu entwerfen zu können, reichen Berechnungsmethoden oder der Rückgriff auf Erfahrungswerte vielfach nicht aus. Der Nachbau eines physischen Modells ist bei grossen Systemen aus Kostengründen meist nicht realisierbar. Der Einsatz von *Netzwerksimulationssoftware* bietet hier eine flexible Möglichkeit, detaillierte Modelle zu entwickeln, um deren Verhalten anhand unterschiedlicher Kriterien zu untersuchen und Modellvariationen miteinander zu vergleichen.

In der Ausbildung kann *Netzwerksimulationssoftware* dazu eingesetzt werden, die Theorie mittels simulationsbasierten *Übungslabs* zu vertiefen. Der grösste Vorteil gegenüber einem physischen *Netzwerklab*, wie es die HSR besitzt, liegt darin, dass der Studierende sich besser auf den zu lernenden Inhalt fokussieren kann, da er sich nicht mit den vielen Konfigurationsdetails eines physischen *Labaufbaus* auseinandersetzen muss.

Um die Vorteile von *Netzwerksimulationssoftware* nutzen zu können, hat man sich an der HSR entschieden, für zukünftige Netzwerkmodule die *Netzwerksimulationssoftware* OPNET IT Guru einzusetzen. Bei IT Guru handelt es sich um ein kommerzielles *Softwareprodukt* mit *academic licencing* der Firma OPNET. Der Kern dieser Arbeit bildet die Erstellung von zusätzlichen *Übungslabs*, um Studierende und interessierte IT-Fachkräfte im Umgang mit OPNET IT Guru zu schulen.

### I.2 Vorgehen

Als Einstieg wurden die generellen Anforderungen an *Netzwerksimulationssoftware* in verschiedenen Bereichen analysiert. Darauf folgte ein Vergleich von OPNET IT Guru mit aktuellen Konkurrenzprodukten. Basierend auf einer detaillierten Analyse von OPNET IT Guru wurde ein einführendes Theoriekapitel erarbeitet, das die wichtigsten Konzepte und Funktionen von OPNET IT Guru erläutert. Die *labs* wurden jeweils wie folgt erarbeitet:

- Schritt 1: Mittels Aufbau von *Testlabs* wurden interessante Fragestellungen gesucht.
- Schritt 2: Der Labaufbau wurde so dokumentiert, dass möglichst viele Elemente von OPNET IT Guru benutzt werden müssen.
- Schritt 3: Die zu Beginn gestellten Fragen wurden anhand der erhaltenen Statistiken beantwortet.

### I.3 Ergebnisse

Mit dieser Arbeit kann erfolgreich gezeigt werden, dass sich die *Netzwerksimulationssoftware* OPNET IT Guru besser für den Einsatz bei Computernetzmodulen an der HSR eignet als Konkurrenzprodukte. Die erarbeitete Dokumentation und die *labs* gewähren einen Einblick in den grossen Funktionsumfang von OPNET IT Guru und bieten einen geführten Einstieg für Studenten und interessierte IT-Fachkräfte. Mit OPNET IT Guru lassen sich gut theoretische Konzepte anhand simulationsbasierter *labs* vertiefen. Die gewonnene Erfahrung im Umgang mit einem Netzwerksimulator wird den Studierenden oder IT-Fachkräften auch beim Lösen zukünftiger Netzwerkprobleme behilflich sein. Zusätzlich kann OPNET IT Guru in der *professional version* für den Einsatz im ITA Team empfohlen werden, um professionelle Netzwerke zu analysieren und die Kompetenzen im Bereich Simulation weiter zu stärken.

## II Projektdokumentation

### II.1 Projektübersicht

Die Planung der Computernetze von morgen stellt eine immer schwierigere Aufgabe dar. Die stetig wachsende Anzahl an *hosts* und der klare Trend zu *ALL IP* Netzen bei Telekommunikations-, Multimedia- und Geschäfts-Dienstleistungen stellt immer höhere Anforderungen in Bezug auf Leistung und Qualität von Computernetzen. Um solch komplexe Netze warten, ausbauen oder neu entwerfen zu können, reichen Berechnungsmethoden oder der Rückgriff auf Erfahrungswerte vielfach nicht aus. Der Nachbau eines physischen Modells ist bei grossen Systemen aus Kostengründen meist nicht realisierbar. Der Einsatz von *Netzwerksimulationssoftware* bietet hier eine flexible Möglichkeit, detaillierte Modelle zu entwickeln, um deren Verhalten anhand unterschiedlicher Kriterien zu untersuchen und Modellvariationen miteinander zu vergleichen.

In der Ausbildung kann *Netzwerksimulationssoftware* dazu eingesetzt werden, die Theorie mittels simulationsbasierten *Übungslabs* zu vertiefen. Der grösste Vorteil gegenüber einem physischen *Netzwerklab*, wie es die HSR besitzt, liegt darin, dass der Studierende sich besser auf den zu lernenden Inhalt fokussieren kann, da er sich nicht mit den vielen Konfigurationsdetails eines physischen *Labaufbaus* auseinandersetzen muss.

Um die Vorteile von *Netzwerksimulationssoftware* nutzen zu können, hat man sich an der HSR entschieden, für zukünftige Netzwerkmodule die *Netzwerksimulationssoftware* OPNET IT Guru einzusetzen. Bei IT Guru handelt es sich um ein kommerzielles *Softwareprodukt* mit *academic licencing* der Firma OPNET. Der Kern dieser Arbeit bildet die Erstellung von zusätzlichen *Übungslabs*, um Studierende und interessierte IT-Fachkräfte im Umgang mit OPNET IT Guru zu schulen.

#### II.1.1 Aufgabenstellung

- Es ist ein Dokument zu erstellen, das Studierenden und interessierten IT-Fachkräften den Einstieg für den Umgang mit der Simulationssoftware OPNET IT Guru erleichtert. Das Dokument soll in sich geschlossen lesbar sein, die Möglichkeit zur späteren Erweiterbarkeit bieten und inhaltlich folgende Punkte abdecken:
  - Einführendes Kapitel zur Simulation
  - Vergleich von OPNET IT Guru mit aktuellen Konkurrenzprodukten
  - Einführendes Kapitel zu OPNET IT Guru mit einem *Einführungslab*
  - Vertiefte Analyse eines Netzwerkprotokolls anhand eines umfangreichen *Übungslabs*
  - Vertiefte Analyse eines Netzwerkdesigns anhand eines umfangreichen *Übungslabs*
- Zur Unterstützung der Module *design and performance evaluation* (Teil Rinkel) und Computernetze 1 (Teil Rinkel), sind *Übungslabs* mit relevanten Fragestellungen zu erstellen.

#### II.1.2 Annahmen und Einschränkungen

Es wird nur auf allgemeine Simulationskonzepte und *queueing theory* eingegangen, wo es für das Verständnis eines Sachverhaltes notwendig ist.

Für den Lesefluss sind folgende Punkte zu beachten:

- Die zitierten Bereiche sind wie folgt gekennzeichnet: Es gibt einen kurzen einleitenden Satz mit der Referenzangabe, gefolgt vom Text, der *kursiv* dargestellt wird.
- Um eine klare Abgrenzung von deutschen zu englischen Wörtern zu machen, werden sämtliche Wörter und Wortkombinationen, welche einen englischen Teil haben, *kursiv* geschrieben. Abbildungen sind von dieser Regelung ausgenommen. Die Gross- und Kleinschreibung der englischen Wörter richtet sich nach der englischen Grammatik, ausser wenn mit der expliziten Verwendung von Grossbuchstaben gezeigt werden soll, wie eine Abkürzung zusammengesetzt ist.
- Die roten Nummerierungen in Bildern werden dazu verwendet, um im Text einfacher auf einzelne Bildinhalte referenzieren zu können.

## II.2 Projektorganisation

Das Projekt wird von einem Studenten als Bachelorarbeit durchgeführt. Folgende Personen sind am Projekt beteiligt:

Funktion	Wer	Kürzel
Student	Marc Kubli	km
Betreuer	Andreas Rinkel	ar

## II.3 Management Abläufe

### II.3.1 Projekt Kostenvoranschlag

Start und Endtermin des Projekts sind fix vorgegeben.

Projektstart: 21.02.2011

Projektende: 17.06.2011

Für eine erfolgreich abgeschlossene Bachelorarbeit erwirbt man 12 ETCS Punkte, wofür laut Bologna System ein Arbeitsaufwand von 360 (12 x 30) Stunden zu leisten sind. Wird das Zeitbudget von 360 Stunden überschritten, entstehen keine Mehrkosten.

### II.3.2 Zeitplan

Die genaue Zeitplanung und Arbeits-Rapportierung wird in einem separaten MS Projects Dokument erstellt und nachgeführt.

In diesem Dokument werden lediglich die grösseren Arbeitspakete und die Meilensteine aufgelistet.

### II.3.3 Besprechungen

Die Besprechungen mit dem Betreuer finden wöchentlich am Donnerstag um 13.30 Uhr statt.

## II.4 Risikomanagement

Es werden keine allgemeinen Risiken, wie Krankheit oder ähnliches, betrachtet, sondern nur projektspezifische.

Projektspezifisches Risiko	Auswirkung	Massnahme	Eintretens-Wahrscheinlichkeit
Offene Formulierung des Projektauftrages	Projekt stellt ar nicht vollends zufrieden.	Anhand der Rückmeldungen prüfen, ob der eingeschlagene Weg zufriedenstellend ist.	50%
Ar hat noch keine praktische Erfahrung mit OPNET IT Guru.	Ar kann keine, oder nur begrenzt Hilfestellung bei Fragen zu OPNET IT Guru leisten.	Bei Fragen die nicht durch Literatur oder Internetrecherche geklärt werden können, den OPNET Support kontaktieren.	40%
Fehlende Erfahrung im Bereich Statistik.	Schwierigkeiten mit der Interpretation des Zahlenmaterials von Simulationsläufen.	Rücksprache mit ar zur Aufklärung des Problems.	30%
Begrenzte Leistungsfähigkeit von OPNET IT Guru in der <i>academic version</i> .	Fragestellungen im Bereich der Protokoll- oder Designanalyse können nicht befriedigend beantwortet werden.	Die ursprüngliche Idee soweit anpassen, dass sie mit der <i>academic version</i> realisierbar wird.	80%
Registrationsprozess für die <i>professional version</i> von OPNET IT Guru dauert länger als geplant.	Weniger effizientes Arbeiten, da die Informationen aus dem Internet anstatt der <i>know ledge base</i> von OPNET zusammengesucht werden müssen.	Mehr Zeit zur Informationsbeschaffung einplanen.	70%

## II.5 Arbeitspakete

Nr.	Beschreibung	Verantwortlich	Zu erledigen bis
1	Einrichten einer VMware mit Windows 7 mit OPNET IT Guru	km	06.03.2011
2	Erstellen eines groben Projektplanes und der Dokumentvorlagen	km	20.03.2011
3	Einarbeitung anhand des <i>network simulation experiments manuals</i>	km	27.03.2011
4	Einleitung für TB erstellen	km	27.03.2011
5	Abschnitt „Einführung“ analysieren	km	03.04.2011
6	Abschnitt „Einführung“ dokumentieren	km	17.04.2011
7	Abschnitt „Protokollanalyse“ analysieren	km	24.04.2011
8	Abschnitt „Protokollanalyse“ dokumentieren	km	08.05.2011
9	Abschnitt „Designanalyse“ analysieren	km	15.05.2011
10	Abschnitt „Designanalyse“ dokumentieren	km	29.05.2010
11	Abstract, Management Summary und A0 Poster erstellen	km	12.06.2011
12	Gesamtdokumentation erstellen	km	12.06.2011

## II.6 Meilensteine

Meilenstein	Beschreibung	Zeitpunkt
MS1	Einarbeitungsphase ist abgeschlossen und die Einleitung ist erstellt	27.03.2011
MS2	Abschnitt „Einführung“ ist analysiert und dokumentiert	17.04.2011
MS3	Themenbereich „Protokollanalyse“ ist analysiert und dokumentiert	08.05.2011
MS4	Themenbereich „Designanalyse“ ist analysiert und dokumentiert	29.05.2010
MS5	Alle zur BA gehörenden Dokumente sind zur Abgabe bereit	12.06.2011

## II.7 Infrastruktur

Als Arbeitsumgebung wird Windows 7 Professional zusammen mit OPNET IT Guru Academic Edition 9.1 eingesetzt. Die Arbeitsumgebung wurde als virtuelle Maschine mit VMware Fusion 3.0.2 realisiert.

## II.8 Auswertung

Gegenüber der vorgesehenen Zeit von 360 Stunden wurden für dieses Projekt 445 Stunden aufgewendet, was einem Mehraufwand von ca. 24% entspricht. Es wurde für fast alle Aufgaben mehr Zeit benötigt als ursprünglich angenommen, was auf die fehlende Erfahrung im Umgang mit OPNET IT Guru zurückzuführen ist.

Aus der folgenden Abbildung 40 ist ersichtlich, welche Teilbereiche des Projektes wie viel Prozent der aufgewendeten Zeit in Anspruch nahmen.

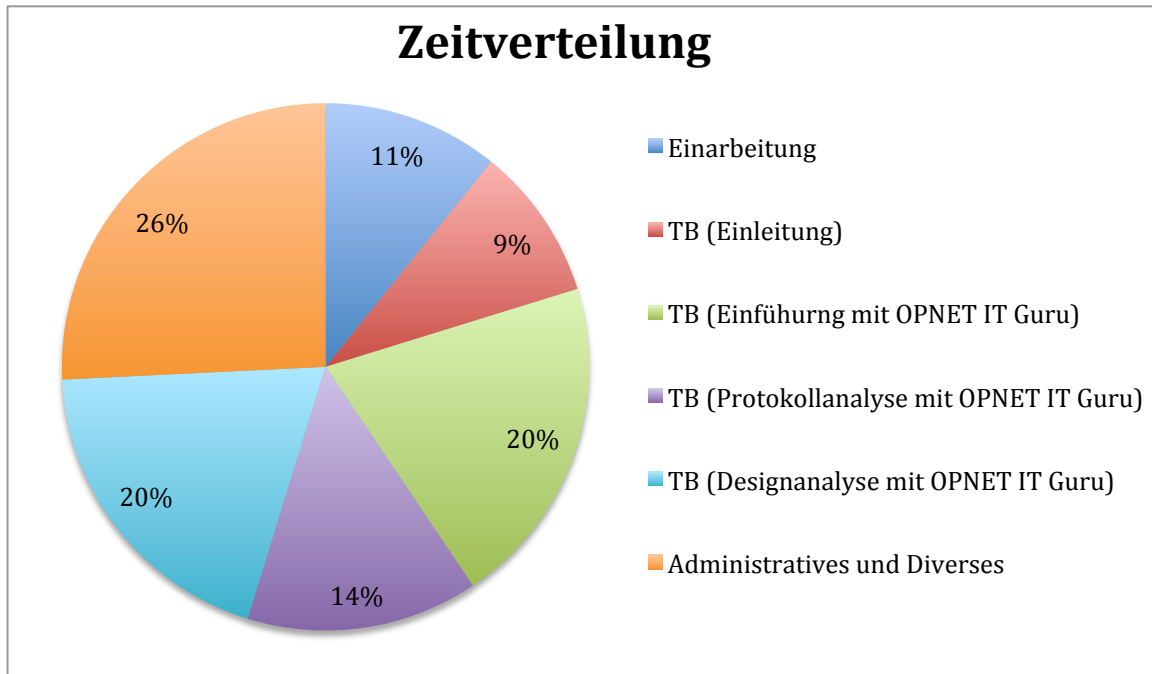


Abbildung 39: Zeitverteilung

## II.9 Selbstreflexion

Nach der Semesterarbeit stellt dies meine zweite Arbeit grösseren Umfangs dar. Im Gegensatz zur Semesterarbeit habe ich zu Beginn wesentlich weniger Zeit verloren, da ich auf die erarbeiteten Dokumentationsstrukturen und Dokumentationsstandards der Semesterarbeit zurückgreifen konnte.

Das aus den Modulen Computernetze 1-2, Mobilkommunikation, Netzwerkarchitektur&Design und aus privaten Interessen an Computernetzen mitgebrachte Vorwissen hat mir sehr geholfen, während der Arbeit auftretende Probleme analysieren und lösen zu können.

Der Umgang mit der *Netzwerksimulationssoftware* OPNET IT Guru stellte für mich Neuland dar. Die Schwierigkeit zu Beginn war, dass einem mit der *academic licence* nur eine sehr eingeschränkte Dokumentation zu OPNET IT Guru zur Verfügung steht. Detailliertere Informationen mussten mühsam aus verschiedenen Quellen zusammengesucht werden.

Die Planung gestaltete sich bei dieser Arbeit eher schwierig, da ich auf keinerlei Vergleichswerte zurückgreifen konnte. Oft musste ich Ideen für *labs* abändern oder komplett überarbeiten, da sich eine Realisierung mit OPNET IT Guru nach meinen Vorstellungen als nicht möglich herausstellte. Das grösste Hindernis stellten dabei die Restriktionen der *academic version* von OPNET IT Guru dar. Ich musste z.B. merken, dass 50'000'000 *events* schneller aufgebraucht sind, als es die grosse Zahl vermuten liess. Dennoch konnte ich den Planungsschwierigkeiten gut begegnen, indem ich von Beginn weg wöchentlich mehr Zeit für die Arbeit investiert habe, um gegen Ende genügend Zeitreserven für allfällige Probleme zu haben. Dieses Vorgehen hatte sich bereits bei der Semesterarbeit bewährt.

Das in der Semesterarbeit festgelegte Ziel, die Dokumentationsrichtlinien früh festzulegen, hat mir dabei geholfen, den Aufwand für nachträgliche Umformatierungen zu reduzieren.

Abschliessend möchte ich anfügen, dass ich dank dem sehr interessanten und lehrreichen Themengebiet, dem erfolgreichen Projektabschluss und der angenehmen Zusammenarbeit sehr positiv auf diese Arbeit zurückblicken kann.



### III Sitzungsprotokoll

Datum	Ort	Anwesende	Besprochene Punkte	Konkrete Arbeitspakete
17.02.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kick Off Meeting:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Grobes Ziel der Arbeit                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 3 Hauptabschnitte, abklären der Eignung von IT Guru für die Stufen (Anfänger, Fortgeschritten, Professionell)</li> <li>▪ Eventuell ein kleines Handbuch schreiben → Zusammenfassung vom Übungsbuch</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Kurze Einführung in die <i>queueing theory</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beurteilung des Buches Computer Networks. A Systems Approach im Bezug auf CN1 Tauglichkeit.</li> <li>• Abklären der CN1 Tauglichkeit des Übungsbuches Network Simulation Experiments Manual</li> </ul>
24.02.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besprechung der SA Bewertung</li> <li>• Besprechungen der Buchbeurteilung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laufende IT Guru Umgebung</li> <li>• Abklären ob es Importmöglichkeiten von Netzwerktopologien für IT Guru gibt.</li> </ul>
08.03.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	Der Sitzungstermin musste wegen Krankheit von Marc Kubli auf den 08.03.11 verlegt werden.	
08.03.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herr Rinkel den groben Funktionsumfang von OPNET IT Guru vorgestellt.</li> <li>• Den strukturellen Aufbau der Arbeit Besprochen:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Der Technische Bericht soll in die 3 Hauptbereiche Beginner, Fortgeschrittene und Professionelle aufgeteilt sein.</li> <li>○ Jeder Bereich soll aufzeigen was man sich auf dieser Stufe für Fragen stellt und wie man diese Fragen mit OPNET IT Guru beantworten kann.</li> <li>○ Die Einführung soll 2 wesentliche Bereiche abdecken:                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Was ist OPNET IT Guru</li> <li>▪ Kurzeinstieg durch Erklärung des Zusammenhangs der wichtigsten Komponenten.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Der Bericht soll in sich geschlossen sein, aber die Möglichkeit zur Erweiterung bieten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grober Projektplan</li> <li>• Grobe Strukturierung des Dokumentes</li> <li>• Abklären interessanter Fragestellungen für den Bereich Beginner aus dem CN1 Vorlesungsteil Rinkel (Vorlesung 1-7).</li> </ul>

15.03.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besprechung der Kapitel Inhalte:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Das Kapitel Einleitung soll generell aufzeigen wozu man Simulation im Netzwerkbereich einsetzen kann. Es soll auch ein kleiner Vergleich bezüglich Funktionsumfang mit anderen Simulationslösungen gemacht werden.</li> <li>○ Die detailliertere Beschreibung und der Einstieg mit OPNET soll erst im Kapitel 2 erfolgen.</li> <li>○ Die Dokumentation soll so geschrieben werden, dass sie als Einstiegshilfe für OPNET auf den 3 behandelten Stufen eingesetzt werden kann.</li> <li>○ Die Inhalte von Kapitel 3 „Netzwerktechnologie und Protokollanalyse mit OPNET IT Guru“ sind nicht nur auf die Inhalte der CN1 (Vorlesung 1-7) beschränkt, es können auch andere sinnvolle Beispiele verwendet werden.</li> </ul> </li> <li>• In einem Ersten Schritt soll pro Stufe nur 1 bis 2 Beispielszenarien mit OPNET gezeigt werden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapitel Einleitung Umschreiben</li> </ul>
24.03.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Inhalt der Abschnitte 1 und 2 wurde besprochen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Es sollen auch die Anforderungen beschrieben werden die der Forschungsbereich an eine Computersimulation hat.</li> </ul> </li> <li>• Generelle Einschränkung:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Der Aufbau und die Hintergründe von OPNET IT Guru sollen jeweils nur soweit erklärt werden, so dass der Leser sich bewusst ist was er macht. Der Fokus soll klar auf der praktischen Anwendung von OPNET IT Guru liegen.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kapitel Forschung ergänzen</li> </ul>
31.03.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrekturen von Kapitel 1 und 2 besprochen             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Englisch Deutsch Disput soll gleich gelöst werden in der BA (Englischer Text klein und kursiv schreiben)</li> </ul> </li> </ul>	
07.04.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilder sollen nach Möglichkeit gruppiert werden damit der Text zwischen den Bildern nicht so zerpfückt werden muss.</li> <li>• Referenzangaben müssen in Unterabschnitten nicht wiederholt werden.</li> <li>• Weitere Korrekturen für Kapitel 2 besprochen</li> </ul>	
14.04.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Themen des Einleitenden Kapitels sollen Referenzen auf das Einführungsbeispiel haben.</li> <li>• Für Aktionsbeschreibungen ist die Befehlsform zu verwenden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herr Sommerlad zu einer Sitzung am 25.04.11 einladen</li> <li>• Kleine Präsentation für Herrn Sommerlad vorbereiten, um im groben zu erklären worum es bei der Arbeit geht (Probleme, Ziele, Herausforderungen)</li> </ul>

21.04.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauptsächlich Fragen zur Themenaufbereitung von Kapitel 3 besprochen.</li> <li>• Funktionsweise von STP und RSTP muss nicht erklärt werden.</li> <li>• Beschreibungsweise für Aktionen welche bereits einmal erklärt wurden kann stark abgekürzt werden.</li> <li>• Am Ende der <i>labs</i> sollen jeweils noch weiterführende Fragen zur Gedankenanstregung aufgeworfen werden.</li> </ul>	
28.04.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli P.Sommerlad	Dem Gegenleser P.Sommerlad anhand einer kleinen Präsentation und Demo das BA Thema vorgestellt.	
12.05.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Abschnitt Designanalyse soll mehr auf Designentscheidungen eingegangen werden, als verschiedene Topologien miteinander zu vergleichen.</li> <li>• Der Abschnitt „OPNET IT Guru im professionellen Einsatz“ wird mangels <i>professional licence</i> und Zeit weggelassen.</li> </ul>	
6.06.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den Inhalt für folgende Dinge besprochen: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Abstract</li> <li>○ A0 Poster <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die eigentliche Arbeit soll besser ersichtlich sein, kein reines Verkaufsplakat für OPNET IT Guru erstellen.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis zum 13.06.2011 Herr Rinkel die letzte Korrekturversion einreichen.</li> </ul>
15.06.11	Zimmer 6.110	A.Rinkel M.Kubli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A0 Poster absegnet</li> <li>• Ablauf der mündlichen Prüfung besprochen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der TB soll um den Abschnitt Zusammenfassung und Ausblick ergänzt werden</li> </ul>

## IV Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Erklärung</b>
<b>ARP</b>	<i>Address Resolution Protocol</i>
<b>ASIC</b>	application specific integrated circuit
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode
<b>BGP</b>	<i>Border Gateway Protocol</i>
<b>BPDU</b>	<i>Bridge Protocol Data Unit</i>
<b>CCNA</b>	Cisco Certified Network Associate
<b>CCNP</b>	Cisco Certified Network Professional
<b>Cisco IOS</b>	<i>Cisco Internetworking Operating System (Cisco IOS)</i>
<b>ECLB</b>	<i>Equal Cost Load Balancing</i>
<b>EIGRP</b>	<i>Enhanced Interior Gateway Routing Protocol</i>
<b>FTP</b>	<i>File Transfer Protocol</i>
<b>GNS3</b>	<i>Graphical Network Simulator 3</i>
<b>HSRP</b>	<i>Hot Standby Router Protocol</i>
<b>HTTP</b>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
<b>ICSI NG</b>	<i>International Computer Science Institute Networking Group</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>
<b>JunOS</b>	<i>Juniper Operating System</i>
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i>
<b>MAC</b>	<i>Media Access Control</i>
<b>MIT</b>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<b>MRTG</b>	<i>Multi Router Traffic Grapher</i>
<b>OPNET</b>	<i>Optimized Network Engineering Tools</i>
<b>PPP DS3</b>	<i>Point to Point Protocol Digital Signal 3</i>
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RSTP</b>	<i>Rapid Spanning Tree Protocol</i>
<b>SLA</b>	<i>Service Level Agreement</i>
<b>STP</b>	<i>Spanning Tree Protocol</i>
<b>TCP</b>	<i>Transport Control Protocol</i>
<b>TE</b>	<i>Traffic Engineering</i>
<b>UCLB</b>	<i>Unequal Cost Load Balancing</i>
<b>UDP</b>	<i>User Datagram Protocol</i>
<b>VLAN</b>	<i>Virtual Local Area Network</i>
<b>VNE</b>	<i>Virtual Network Environment</i>
<b>WAN</b>	<i>Wide Area Network</i>
<b>WLAN</b>	<i>Wireless Local Area Network</i>

## V Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projekt vs. Szenario.....	15
Abbildung 2: Benutzeroberfläche.....	16
Abbildung 3: Attribute.....	18
Abbildung 4: Attribute <i>promoten</i> .....	19
Abbildung 5: Graph eines stabilen Systems.....	21
Abbildung 6: Graph eines instabilen Systems.....	21
Abbildung 7: <i>Efficiency modes</i> .....	22
Abbildung 8: <i>Lab</i> Arbeitsablauf mit OPNET IT Guru.....	23
Abbildung 9: <i>Rapid configuration</i> Assistent.....	24
Abbildung 10: <i>Subnet</i> modellieren.....	25
Abbildung 11: Applikationsattribute setzen.....	25
Abbildung 12: Profilattribute setzen.....	26
Abbildung 13: <i>Workstationattribute</i> setzen.....	26
Abbildung 14: Szenario LAN_Architektur modellieren.....	27
Abbildung 15: <i>Szenariomanager</i> .....	27
Abbildung 16: Statistiken vergleichen.....	28
Abbildung 17: Definiere <i>promotetes</i> Attribut.....	29
Abbildung 18: <i>Advanced</i> Statistik.....	30
Abbildung 19: Fortgeschrittene Analyse.....	31
Abbildung 20: <i>Single FTP vs. dual FTP</i> .....	33
Abbildung 21: <i>Spanning tree</i> .....	35
Abbildung 22: Konvergenzzeit messen.....	36
Abbildung 23: Topologie mit drei <i>bridges</i> .....	38
Abbildung 24: STP Szenario mit 13 <i>bridges</i> .....	39
Abbildung 25: <i>Linkfehler</i> umplatzen.....	40
Abbildung 26: STP Konvergenzzeitstatistik.....	41
Abbildung 27: <i>Best vs. worst case STP</i> .....	42
Abbildung 28: STP mehr <i>bridges</i> .....	43
Abbildung 29: <i>Best vs. worst case RSTP</i> .....	44
Abbildung 30: Synchronisationspfadlänge.....	45
Abbildung 31: Verschiedene Netzwerktopologien im Überblick.....	46
Abbildung 32: Ringdesign des Basisszenarios.....	48
Abbildung 33: <i>Design</i> Rechenzentrum Zürich.....	50
Abbildung 34: Statistiken zur Analyse der Leitfragen 1 und 2.....	52
Abbildung 35: Verkehrsflussanalyse eines Rings ( <i>destination based</i> ).....	53
Abbildung 36: Statistiken zur Analyse der Leitfrage 3.....	54
Abbildung 37: Statistiken zur Analyse der Leitfrage 4.....	55
Abbildung 38: Verkehrsflussanalyse eines Rings ( <i>packet based</i> ) und eines <i>hub and spoke</i> Designs ( <i>packet based</i> ).....	56

## VI Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: <i>Model library</i> .....	17
Tabelle 2: <i>Datenverkehrstypen</i> .....	20
Tabelle 3: Graphenvergleich.....	21

## VII Quellenverzeichnis

- (Cameron&Wijekumar 2003) Brian H. Cameron & Kay Wijekumar, "The Effectiveness of Simulation in a Hybrid and On-line Networking Course", 02 2003, Seiten 117-119
- (Rinkel 2010) Rinkel Andreas, Integrated Network Management, 10 2010
- (Dunaytsev 2010) Dunaytsev Roman, OPNET Overview and Examples, 11 2010
- (OPNET Tech. 2008) OPNET Technologies, IT Guru Network Planner, 06 2008
- (OPNET Tech. 2004) OPNET Technologies, Introduction to Modeler, 07 2004
- (OPNET Tech. 2009) OPNET Technologies, Introduction to Using IT Guru Network Planner, 11 2009
- (ICSI NG 2010) International Computer Science Institute Networking Group,  
<http://www.icir.org/models/simulators.html>, Zugriff am 24.03.2011
- (Abuguba&Moldovan 2006) Saad Abuguba & Istvan Moldovan, Verification of RSTP convergence and scalability by measurements and simulations, <http://miau.gau.hu/miau/94/rstp.pdf>, Zugriff am 10.04.2011
- (Cisco 2006) Cisco Systems ,Understanding Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w),  
[http://www.cisco.com/en/US/tech/tk389/tk621/technologies\\_white\\_paper09186a0080094cfa.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk389/tk621/technologies_white_paper09186a0080094cfa.shtml), Zugriff am 11.04.2011
- (Lapukhov 2010) Petr Lapukhov, Understanding STP and RSTP convergence, <http://blog.ine.com/wp-content/uploads/2010/04/understanding-stp-rstp-convergence.pdf>, Zugriff am 11.04.2011
- (Cisco 2005) Cisco Systems, How Does Load Balancing Work,  
<http://www.cisco.com/image/gif/paws/5212/46.pdf>, Zugriff am 27.05.2011
- (Lapukhov 2009) Petr Lapukhov, Understanding Unequal-Cost Load-Balancing,  
<http://blog.ine.com/2009/05/01/understanding-unequal-cost-load-balancing/>,  
Zugriff am 27.05.2011

## VIII Dokumente des Projektes

- Abstract
- A0 Poster
- Projekt und Arbeitsplan als Excel Datei









## IX OPNET Model Library

OPNET provides the largest, most comprehensive library of open source, discrete event simulation models for the information technology industry. Most modeling capabilities in the tables below are included in OPNET's Standard Model Library, which is included with OPNET's Network R&D and network planning solutions.



















The capabilities of the model library are not limited to the listing below as it is possible to develop any type of protocol or device model with OPNET process and node editors.




































Certain features/models listed below require a separate purchase or have special availability. These features/models are annotated appropriately ([JCSS \(formerly NETWARS\) models](#), specialized models, GOTS models). There is also a column for free models that have been contributed by OPNET's user community, which consists of thousands of users from government agencies, systems integrators, network equipment manufacturers, universities, telecommunication service providers, and R&D organizations. Please contact OPNET Sales at [info@opnet.com](mailto:info@opnet.com) for more information.

## Protocols / Technologies


	Standard / Specialized Models	Contributed**
<b>APPLICATION</b>	CBR Custom Database Email FTP HTTP MOS Dejitter Buffer  Print Remote Login / TELNET Self-Similar Traffic (RPG) VBR Voice VoIP – SIP, RTP, H.323, AS-SIP  Video	<a href="#">Megaco (H.248)</a> cRTP MPEG-2 SIP in the 3GPP <a href="#">IMS</a> Snoop Video On Demand SIP & MIP integration within IMS
<b>TRANSPORT</b>	TCP (ECN, Reno, New Reno, SACK, Tahoe) UDP Performance Enhancing Proxy (PEP)  Accelerator 4000  SCPS-TP (TAO)	Stop-N-Wait
<b>ROUTING</b>	BGP EIGRP Distance Vector (for ATM Networks) IGRP ISIS OSPF <a href="#">OSPFv3</a> PNNI  (for ATM Networks) RIP RIPng Static Routes	DSBM Dynamic Distributed OBG+ Static Distributed
<b>MULTICASTING</b>	IGMP PIM-SM Static RP / Auto RP	
<b>NETWORK</b>	IPv4 <a href="#">IPv6</a>  Juniper DiffServ WRED Mobile IPv4 <a href="#">Mobile IPv6</a>  HSRP RSVP	ASI Multistage Interconnection Network Network Network Initiated Handover (NIHO) REAP
<b>MPLS</b> 	CSPF Fast Reroute IGP Extensions (OSPF-TE / ISIS-TE) Signaling (LDP / RSVP-TE) Tunneling Over MPLS (6PE) VPN	




<p><b>QUALITY of SERVICE</b></p>	<p>802.1p                  CAR / Policing                  CQ                  DWFQ / CBWFQ                  DWRR / MDRR/ MWRR                  FIFO                  LLQ with Rate Limit                  PQ                  TOS / DSCP - based classification                  WRED/ RED</p>	
<p><b>MAC</b></p>	<p>ATM (including IMA)                  ATM Hierarchical PVP                   CSMA, CSMA/CA, CSMA/CD                  DPT / SRP                  Ethernet (coax, 10baseT, 100baseT, 1000baseX, 10 Gbps)                  FDDI                  Fiber Channel                  Frame Relay                  LANE                  LAPB                  Link Aggregation (including EtherChannel)                  SNA                  Spanning Tree                  Token Ring                  VLAN Port-based (PVSTP, MSTP, RSTP)                  X.25</p>	<p>Banyan Multistage Cell Switch                  CAN                  CFDAMA-PB                  DCCP                  Delay-Sensitive Polling Scheme                  DQDB WAN (802.6)                  Ethernet OAM                  Firewire IEEE 1394b  <a href="#">RPR (802.17)</a>                  Slotted ALOHA  <a href="#">DOCSIS</a>  <a href="#">Media Redundancy Protocol (MRP)</a></p>
<p><b>TDM</b></p>	<p>AN/TTC-39A(V)3                   AN/TTC-39A(V)4                   AN/TTC-39D                   AN/TTC-39E (CDS)                   AN/TTC-42                   AN/TTC-46 (LENS)                   AN/TTC-47 (NCS)                   AN/TTC-48 (SENS)                   DNVT                   DSVT                   ISDN VTC                   Media Gateway (PSTN to VoIP, VoATM)                   REDCOM HDX                   REDCOM IGX                   SB-3865                   SMU                   STU-III </p>	<p><a href="#">Circuit Switching</a>                  SS7</p>
<p><b>PHYSICAL</b></p>	<p>Custom Link Models (OPNET Pipeline Stages)                  DSL                  ISDN                  PPP                  SLIP                  SONET</p>	<p>DVB-DAVIC  <a href="#">DVB-T</a>  <a href="#">Infiniband</a>                  IrDA                  J1850                  Linear Lightwave                  UPnP</p>

<p><b>MULTIPLEXERS</b></p>	<p>AN/FCC-100(V)7                   AN/FCC-100(V)9                   IDNX-20, IDNX-90                   Promina 100                   Promina 200                   Promina 400                   Promina 800                   Promina Device Creator                   Promina (Ethernet/ATM)                   Timeplex CX-1500                   Timeplex Link/2+*** </p>	
<p><b>ENCRYPTION</b></p>	<p>HAIPE                  KG-82                   KG-84                   KG-84A                   KG-84C                   KG-94                   KG-94A                   KG-175-E10                   KG-175-E100                   KG-194                   KG-194A                   KIV-7                   KIV-7HS                   KIV-7HSA                   KIV-7HSB                   KIV-19                   KIV-19A                   KIV-19M                   KG-75                   KG-95-2                   KG-175 (TACLANE)                   KY-57                   Motorola NES                   Red Eagle INE 100                   Thales SONET Datacryptor </p>	

 Implies optional model to be purchased separately.

 [ICSS \(formerly NETWARS\)](#) model- Restricted availability. Authorization from the US Dept. of Defense is required to obtain this model. Please contact OPNET Sales for more information.




























 Government-Off-The-Shelf (GOTS) model. Restricted availability. Authorization from the US Dept. of Defense is required to obtain this model. Please contact OPNET Sales for more information.



























\*\* Support and advice provided by OPNET user community.




\*\*\*Developed by Service Organization (SPAWAR, AFCA).

## Wireless




	Standard / Specialized Models	Contributed**
<b>MAC</b> ■	<a href="#">Wireless LAN (802.11a, b, e, g)</a> <a href="#">WiMAX (802.16-2004 and 802.16e-2005)</a> ■ <a href="#">LTE (model development consortium)</a> ■ <a href="#">UMTS</a> ■ SMART MAC TDMA ZigBee (802.15.4)	<a href="#">Wireless LAN (802.11n)</a> <a href="#">WiMAX (802.16) Mesh Mode</a> <a href="#">WiMedia (802.15.3b)</a> GPRS GSM Bluetooth Ad hoc SMART MAC AMPS CDPD Gilbert-Elliot BER Interworked WLAN_UMTS LSMF MBMS-enabled UMTS network
<b>MANET/ROUTING</b>	<a href="#">AODV</a> <a href="#">DSR</a> <a href="#">GRP</a> <a href="#">OLSR</a> <a href="#">OSPFv3</a> <a href="#">TORA</a>	Mobile Mesh Routing M-TCP TDMA v2 <a href="#">TETRAPOL</a> Wireless MAN WLAN handover model
<b>MODULATION</b> ■	BPSK CCK DPSK FSK GMSK MSK PSK QAM QPSK	
<b>MOBILITY</b> ■	Arbitrary trajectories HLA mobility updates Random Waypoint	Mobility Pattern Generators Random Direction
<b>PROPAGATION</b> ■	CCIR Free Space Hata Longley-Rice TIREM ■ Walfish-Ikegami	Rayleigh Ricean Two-Ray
<b>TERRAIN</b> ■	DEM DTED OpenFlight™	
<b>ANTENNA PATTERNS</b> ■	Antenna Pattern – 9 vendor specific with pattern viewer and editor Antenna conversion from 2D definitions to 3D Antenna APIs for complex antenna patterns Isotropic <a href="#">UMTS Cell</a> ■ <a href="#">UMTS Sector</a> ■	

<p><b>TACTICAL RADIOS</b></p>	<p>AN/ARC-114***                   AN/ARC-190***                   AN/ARC-204***                   AN/ARC-230***                   AN/PSC-5 (A,C,D)                   EPLRS (Discrete Event)                   EPLRS                   Falcon II                   Generic UHF/VHF/HF Radios                  (Long range HF communication)                   Harris Megastar 155                   Harris RF 7800w                   HaveQuick  INC  JTIDs***  JREAP                   Link 11  Link 16 (Discrete Event)  Link                  16 &amp; JRE Gateway ***  MBITR                   SINGGARS  Waveform Translation                  Gateway </p>	
<p><b>MULTIPLEXERS</b></p>	<p>AN/GRC-226                   AN/GRC-239                   AN/MRC-142                   AN/TRC-170(V)2***                   AN/TRC-170(V)3***                   SRC-57 </p>	


<p><b>SATELLITE CAPABILITY</b> </p>	<p>Amplifier Bandwidth                      Amplifier Gain                      Amplifier Noise Figure                      Antenna APIs for complex antenna patterns                      Antenna conversion from 2D definitions to 3D                      Antenna Pattern – 9 standard vendor models, with pattern viewer and editor                      Channel Characteristics (Bandwidth, Data Rate, Frequency, Unlimited Partitions, Signal Power, Spreading Code)                      Modulation Schemes – 19 standard with editor for customization                      Orbital Trajectory – 6 degrees                      Orbital Viewing                      Satellite Phase                      Satellite Start / Stop time                      STK Integration – Orbital Data                      AN/FSC-78                       AN/GSC-39                       AN/GSC-52                       AN/TSC-85B                       AN/TSC-85C                       AN/TSC-93B                       AN/TSC-93C                       AN/TSC-94A                       AN/TSC-100A                       AN/TSC-152                       AN/USC-59                       AN/USC-60A                       AN/WSC-6(V)***                       Bent Pipe Satellite Links                       CSCO Satellite node model (TSSP partial, TDM and FDMA)                       DSCS, CSCI                       DSCS Satellite node model (TSSP partial, TDMA and FDMA)                       FDMA Satellite (no longer partial)                       GBS                       GBS Satellite node                       GBS Satellite Links                       GBS Satellite Terminal node                       Generic Terminal and Space Segment                       JIPM (Joint IP Modem)                       Low Earth Orbit Satellite**                      Standard Tactical Entry Point                       Satellite IP Backbone**                      TCP Protocol Enhancing Proxy (PEP)                       Teleport                       TSC-94 Satellite Terminal node                       TSC-85 Satellite Terminal node                       TSSP, ETSSP, ETSSP3G (TDMA and FDMA)                       TSR-4 GBS                       UHF DAMA***                       UHF DAMA Satellite System***                       UHF DAMA with SRAP                       UHF Satellite node model (TSSP partial, TDMA and FDMA) </p>
--	--


-  Implies optional model to be purchased separately.
  -  [ICSS \(formerly NETWARS\)](#) model. Restricted availability. Authorization from the US Dept. of Defense is required to obtain this model. Please contact OPNET Sales for more information.
  -  Government-Off-The-Shelf (GOTS) model. Restricted availability. Authorization from the US Dept. of Defense is required to obtain this model. Please contact OPNET Sales for more information.
- \*\* Support and advice provided by OPNET user community.  
 \*\*\* Developed by Service Organization (SPAWAR, AFCA).

## Vendor Devices

Standard / Specialized Models	
<b>ROUTERS &amp; SWITCHES</b>	3Com ADC Alcatel-Lucent (Including Newbridge, Ascend) Alteon Avici Bay Networks (Nortel) Brocade Cabletron Cisco Coyote Point Equipe Extreme F5 Fore (Marconi) Foundry HP Juniper Lucent McData Motorola NEC NET Nortel Radware Any custom model using Device Creator
<b>wSERVERS</b> 	AMD Compaq Dell HP IBM Intel Sun
<b>ANTENNA</b> 	Antel Dapa Ems
<b>FIREWALLS</b>	Cisco PIX Checkpoint SideWinder G2 Firewall 

 Implies optional model to be purchased separately.

 [JCSS \(formerly NETWARS\)](#) model. Restricted availability. Authorization from the US Dept. of Defense is required to obtain this model. Please contact OPNET Sales for more information.

 Government-Off-The-Shelf (GOTS) model. Restricted availability. Authorization from the US Dept. of Defense is required to obtain this model. Please contact OPNET Sales for more information.

\*\* Support and advice provided by OPNET user community.

\*\*\* Developed by Service Organization (SPAWAR, AFCA).

## Integration with 3rd Party Products

Standard / Specialized Models	
<b>TOPOLOGY / CONFIGURATION</b> ■	AlterPoint Device Authority ATM ASCII Files CiscoWorks Network Automation Systems (NAS) CiscoWorks LMS Cisco WAN Manager Device Configuration Files HP Network Node Manager Lucent Naviscore  Opware Network Automation Systems SMARTS In-Charge XML
<b>TRAFFIC</b> ■	ASCII file Cisco NetFlow Collector CFlowd Fluke Networks OptiView Console NavisXtend NetScout nGenius Spreadsheet
<b>LOADS</b> ■	ASCII file Concord eHealth (CA) HP Openview Performance Insight InfoVista Server MRTG Statseeker XML ( <i>with topology import</i> )
<b>SERVERS</b> ■	BMC Patrol Perform BMC Patrol Visualizer CA Unicenter NSM HP Openview Performance Agent HP Openview Performance Manager NetIQ AppManager Microsoft Perfmon XML
<b>SATELLITE</b> ■	AGI STK
<b>EXTERNAL INTERFACES</b> ■	Co-sim System-in-the-Loop ETS API (External Tool Support) HLA