



**School of
Engineering**

InES Institute of
Embedded Systems

Projektarbeit Informatik

PA14 wlan 1

Performance-Evaluation

Ethernet für Echtzeit-Datenerfassung

Autoren	Mauro Guadagnini (guadamau@students.zhaw.ch) Prosper Leibundgut (leibupro@students.zhaw.ch)
Hauptbetreuung	Hans Weibel (wlan@zhaw.ch)
Datum	19.12.2014

Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Projektarbeit an der School of Engineering

Mit der Abgabe dieser Projektarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat. (Bei Gruppenarbeiten gelten die Leistungen der übrigen Gruppenmitglieder nicht als fremde Hilfe.)

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle zitierten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt nachgewiesen sind, d.h. dass die Projektarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten die Paragraphen 39 und 40 (Unredlichkeit und Verfahren bei Unredlichkeit) der ZHAW Prüfungsordnung sowie die Bestimmungen der Disziplinar massnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Unterschriften:

.....

.....

.....

.....

Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Projektarbeiten zu Beginn der Dokumentation nach dem Titelblatt mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.

Zusammenfassung

In Deutsch

Abstract

In Englisch

Vorwort

Stellt den persönlichen Bezug zur Arbeit dar und spricht Dank aus.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract	4
Vorwort	5
I. Einführung und Grundlagen	8
1. Einleitung	9
1.1. Ausgangslage	9
1.1.1. Bestehende Arbeiten	9
1.1.2. Stand der Technik	9
1.2. Zielsetzung / Aufgabenstellung / Anforderungen	9
1.2.1. Modell für HSR-Knoten erweitern	10
1.2.1.1. Anforderung #1.1	10
1.2.1.2. Anforderung #1.2	10
1.2.1.3. Anforderung #1.3	10
1.2.1.4. Anforderung #1.4	10
1.2.1.5. Anforderung #1.5	10
1.2.2. Lastmodell beschreiben und implementieren	11
1.2.2.1. Anforderung #2.1	11
1.2.2.2. Anforderung #2.2	11
1.2.2.3. Anforderung #2.3	11
1.2.3. Simulationen durchführen und Resultate interpretieren	11
1.2.3.1. Anforderung #3.1	11
1.2.4. Erwartetes Resultat	11
1.2.5. Vorausgesetztes Wissen	12
2. Theoretische Grundlagen	13
2.1. OMNeT++	13
2.2. High-availability Seamless Redundancy (HSR)	13
2.2.1. Funktionsweise	13
2.2.1.1. Duplikat Erkennung	14

2.2.2. Gerätetypen	14
2.2.2.1. DANH (Doubly Attached Node HSR)	14
2.2.2.2. RedBox (Redundancy Box)	15
2.2.2.3. QuadBox	15
2.2.2.4. VDAN (Virtual Doubly Attached Node)	15
2.2.2.5. DANP (Double Attached Node PRP)	15
2.3. Interspersing Express Traffic (IET)	15
2.4. M-Frame	15
 II. Engineering	 16
3. Vorgehen / Methoden	17
3.1. Konzeptpapier	17
3.1.1. Einleitung	17
3.1.2. Projekt-Risikoanalyse	18
 4. Resultate	 19
 5. Diskussion und Ausblick	 20
 III. Verzeichnisse	 21
6. Literaturverzeichnis	22
7. Glossar	24
8. Abbildungsverzeichnis	26
9. Tabellenverzeichnis	28
10. Listingverzeichnis	30
 IV. Anhang	 32
11. Projektmanagement	33
11.1. Offizielle Aufgabenstellung	33
11.2. Besprechungsprotokolle	35
 12. Weiteres	 36

Teil I.

Einführung und Grundlagen

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

1.1.1. Bestehende Arbeiten

Die bestehende Vertiefungsarbeit [1] behandelt das Simulieren von Frames in einem HSR-Netzwerk, jedoch ohne Priorisierung und IET-Implementation.

- Nennt bestehende Arbeiten/Literatur zum Thema → Literaturrecherche

1.1.2. Stand der Technik

- Stand der Technik: Bisherige Lösungen des Problems und deren Grenzen

Das Unterbrechen der Übertragung von Frames durch Express-Frames (IET) sowie das dadurch zu verwendende Mframe-Format sind noch nicht in Hardware implementiert. Es ist ein Entwurf in Entwicklung [2], der voraussichtlich Ende 2015 zum Standard werden soll und seit Mai 2014 keine weiteren Features mehr erhält, technische Änderungen jedoch noch bis März 2015 eingeführt werden können [3].

1.2. Zielsetzung / Aufgabenstellung / Anforderungen

- Formuliert das Ziel der Arbeit
- Verweist auf die offizielle Aufgabenstellung des/der Dozierenden im Anhang
- (Pflichtenheft, Spezifikation)
- (Spezifiziert die Anforderungen an das Resultat der Arbeit)
- (Übersicht über die Arbeit: stellt die folgenden Teile der Arbeit kurz vor)

- (Angaben zum Zielpublikum: nennt das für die Arbeit vorausgesetzte Wissen)
- (Terminologie: Definiert die in der Arbeit verwendeten Begriffe)

Durch das Institute of Embedded Systems der ZHAW wurde den Autoren am 24. September 2014 eine Aufgabenstellung[6] (siehe Kapitel 11.1 auf Seite 33) zugestellt, welche die nachfolgenden Hauptanforderungen umfasst:

1.2.1. Modell für HSR-Knoten erweitern

Das betrachtete Netzwerk ist ein HSR-Ring. Die bestehende Simulationsumgebung [1] soll so erweitert bzw. angepasst werden, dass folgende Funktionen/Mechanismen simuliert werden können:

1.2.1.1. Anforderung #1.1

Der Knoten soll zwei Prioritäten unterstützen, d.h. zwei Warteschlangen pro Interface bewirtschaften.

1.2.1.2. Anforderung #1.2

Der Knoten soll Interspersing Express Traffic (IET) unterstützen, d.h. Express Frames können die aktuell ablaufende Übertragung eines Frames unterbrechen.

1.2.1.3. Anforderung #1.3

Der in den Ring einfließende Traffic kann limitiert werden.

1.2.1.4. Anforderung #1.4

Die Vortrittsregeln bezüglich der im Ring zirkulierenden Frames und den Frames, die in den Ring einfließen, können variiert werden (z.B. «zirkulierende Frames haben immer Vortritt» oder «minimaler Zufluss wird garantiert»).

1.2.1.5. Anforderung #1.5

Der Knoten implementiert ein Zeitschlitzverfahren, welches dem zeitkritischen Traffic und dem Bulk Traffic je eine Phase zuordnet.

1.2.2. Lastmodell beschreiben und implementieren

Das durch die Anwendung generierte Verkehrsaufkommen ist zu studieren und zu beschreiben. Lastgeneratoren sollen implementiert werden, die das Verkehrsaufkommen für die Simulation generieren durch die Überlagerung von Strömen mit folgender Charakteristik:

1.2.2.1. Anforderung #2.1

Lastgenerator mit konstanter Framerate.

1.2.2.2. Anforderung #2.2

Lastgenerator mit zufälliger zeitlicher Verteilung der Frames.

1.2.2.3. Anforderung #2.3

Lastgenerator, der spontane Einzelmeldungen erzeugt.

1.2.3. Simulationen durchführen und Resultate interpretieren

Das Zeitverhalten der verschiedenen Weiterleitungsvarianten soll durch entsprechende Simulationen ermittelt werden. Die Resultate sind zu vergleichen und zu interpretieren.

1.2.3.1. Anforderung #3.1

Simulationsergebnisse vergleichen und interpretieren.

1.2.4. Erwartetes Resultat

Das Resultat der Arbeit soll verschiedene Verhaltensweisen von Frames in einem HSR-Ring bei unterschiedlichen Bedingungen aufzeigen. Durch eine Interpretation der Verhaltensweisen ist dann die bestmögliche Konfiguration des HSR-Rings zu ermitteln, mit welcher zeitkritische Frames am schnellsten übermittelt werden.

1.2.5. Vorausgesetztes Wissen

In den theoretischen Grundlagen (siehe Kapitel 2 auf der nächsten Seite) werden unter anderem OMNeT++, das HSR-Protokoll und der Aufbau eines HSR-Netzwerks inklusive dessen Gerätetypen behandelt.

Zum Verständnis dieser Projektarbeit ist ein Vorwissen über die allgemeine Netzwerkkommunikation nötig. Dieses Vorwissen umfasst folgende Bereiche:

- Allgemeine Netzwerk- und Hardware-Begriffe wie z.B. MAC-Adresse, Ethernet-Port oder Ethernet-Frame
- Funktionsweise eines Netzwerks inklusive der Übertragung eines Ethernet-Frames und dem Aufbau dessen Headers

2. Theoretische Grundlagen

2.1. OMNeT++

OMNeT++ ist ein C++-Framework, welches es erleichtert, Netzwerke und all deren Komponenten mit einem sehr hohen Detaillierungsgrad zu modellieren und den Netzwerk-Datenverkehr zu simulieren. Die Simulationen können grafisch dargestellt werden. Zur Auswertung der Simulationen steht eine grosse Auswahl an verschiedenen Diagrammtypen zur Verfügung. In dieser Projektarbeit wird die Version 4.5 verwendet.

2.2. High-availability Seamless Redundancy (HSR)

Die Grundlagen zum Beschrieb und zur Funktionsweise des HSR-Protokolls wurden alle der bestehenden Vertiefungsarbeit [1] entnommen.

HSR ist ein Redundanzprotokoll für Ethernet basierte Netzwerke. Im Vergleich zu weit verbreiteten Redundanzprotokollen wie z.B. Rapid Spanning Tree, zeichnet sich HSR dadurch aus, dass auch im Fehlerfall keine Pakete verloren gehen. Im Gegensatz zu HSR braucht Rapid Spanning Tree im Fehlerfall einige Millisekunden bis zu mehreren Sekunden, bis das Netzwerk wieder Daten übermitteln kann. Für gewisse industrielle Anwendungen wie beispielsweise in der Automatisierung sind solche Unterbrüche nicht tolerierbar.

2.2.1. Funktionsweise

In einem HSR Netzwerk besitzen alle Geräte mindestens zwei Ethernet Ports. Eine Quelle sendet jedes Paket auf beide Ports. Im fehlerfreien Zustand kommen immer zwei oder mehr Pakete beim Ziel an. Anhand einer Sequenznummer und der Quelladresse werden Duplikate erkannt und verworfen. Falls ein Link ausfällt, geht nur eines der Pakete verloren und die anderen erreichen trotzdem noch das Ziel. Auf diese Weise wird verhindert, dass es im Fehlerfall zu einem Paketverlust kommt.

2.2.1.1. Duplikat Erkennung

Die Duplikat Erkennung ist ein zentrales Element von HSR. Sie sorgt einerseits dafür, dass jedes Frame nur einmal zu den höheren Protokollschichten weitergegeben wird und andererseits sorgt sie dafür, dass die Frames von den Netzknoten nur einmal über jeden Netzknotenport versendet werden.

Die zweite Aufgabe ist kritisch. Versagt die Duplikat Erkennung, werden Frames unendlich lange im Netzwerk weitergeleitet. Je nach Anzahl solcher Frames kann das Netzwerk dadurch völlig ausgelastet werden, so dass keine Nutzdaten mehr übertragen werden können. Die Duplikat Erkennung benutzt die Absender-MAC-Adresse und eine 16-Bit-Sequenznummer, welche vom Sender für jedes Frame um eins inkrementiert wird. Ein Knoten muss für jedes Frame 64 Bit Informationen speichern, solange sich das Frame im HSR Netzwerk befindet, um Duplikate erkennen zu können.

2.2.2. Gerätetypen

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispielnetzwerk mit allen Gerätetypen, die mit einem HSR Netzwerk verbunden werden können.

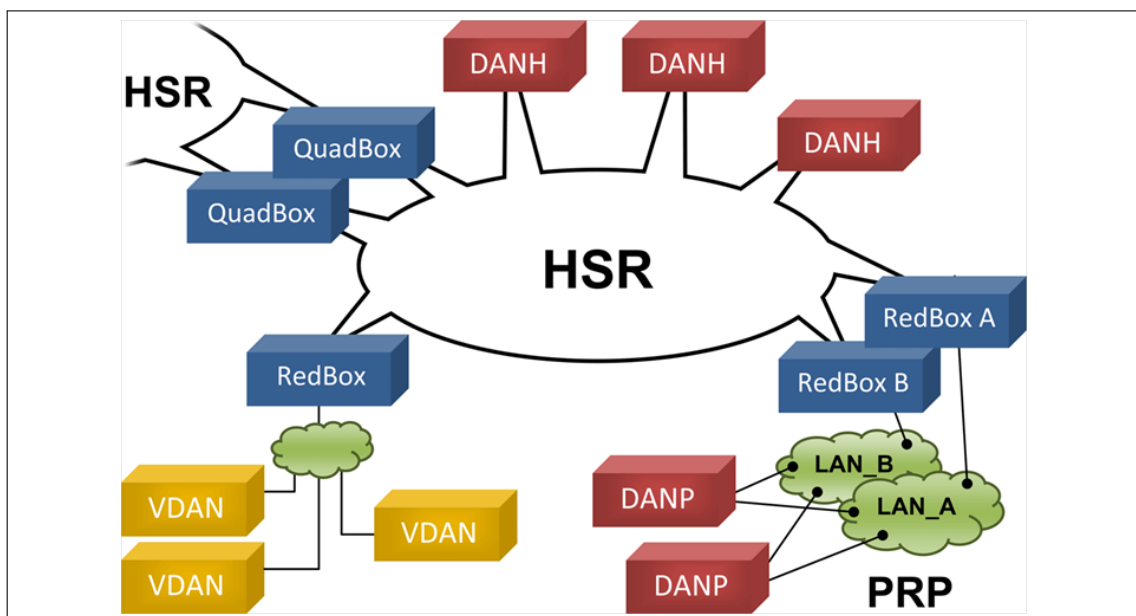


Abbildung 2.1.: HSR-Ring mit allen möglichen Gerätetypen[4]

2.2.2.1. DANH (Doubly Attached Node HSR)

Ein DANH ist ein direkt und redundant an das HSR Netzwerk angeschlossener Netzknoten mit zwei Ethernet Ports. Die beiden Ports teilen sich dabei die MAC- und IP-Adresse. [5]

2.2.2.2. RedBox (Redundancy Box)

Eine RedBox wird benötigt, um das HSR Netzwerk mit anderen Netzwerken zu verbinden. Mit RedBoxen können entweder Standard-Ethernet, PRP oder andere HSR Netzwerke an ein HSR Netzwerk gekoppelt werden.

2.2.2.3. QuadBox

Quadboxen sind Geräte mit vier Ethernet Ports. Sie werden benötigt, um zwei HSR Netzwerke miteinander zu verbinden. Es sind mindestens zwei Quadboxen nötig, um zwei Netze redundant zu verbinden, da sonst ein Single Point of Failure entsteht.

2.2.2.4. VDAN (Virtual Doubly Attached Node)

VDAN sind Knoten, die über eine Redbox mit dem redundanten Netzwerk verbunden sind. VDAN kennen das HSR Protokoll nicht und sind auch nicht redundant ans Netzwerk angeschlossen, können aber trotzdem transparent mit jedem redundanten Gerät im HSR Netzwerk kommunizieren.

2.2.2.5. DANP (Double Attached Node PRP)

DANP sind redundant angeschlossen Knoten, welche das PRP Protokoll verwenden. Das PRP Protokoll arbeitet grundsätzlich mit dem gleichen Funktionsprinzip wie HSR, es gibt aber einige Unterschiede, wie beispielsweise das Frameformat. Durch die Ähnlichkeit können PRP Netzwerke über RedBoxen mit HSR Netzwerken gekoppelt werden. Die Kommunikation zwischen DANP und DANH ist transparent und redundant. Ein DANP muss das HSR Protokoll für die Kommunikation mit einem DANH nicht kennen.

2.3. Interspersing Express Traffic (IET)

2.4. M-Frame

Teil II.

Engineering

3. Vorgehen / Methoden

- (Beschreibt die Grundüberlegungen der realisierten Lösung (Konstruktion/Entwurf) und die Realisierung als Simulation, als Prototyp oder als Software-Komponente)
- (Definiert Messgrößen, beschreibt Mess- oder Versuchsaufbau, beschreibt und dokumentiert Durchführung der Messungen/Versuche)
- (Experimente)
- (Lösungsweg)
- (Modell)
- (Tests und Validierung)
- (Theoretische Herleitung der Lösung)

3.1. Konzeptpapier

3.1.1. Einleitung

Dieses Dokument geht konkret auf die funktionalen Anforderungen, welche im Pflichtenheft gestellt werden ein und versucht anhand von verschiedenen Varianten die geeignete Lösung für deren Umsetzung herauszufiltern. Zunächst werden mögliche Projektrisiken aufgezeigt.

3.1.2. Projekt-Risikoanalyse

Risikoidentifikation

Risiko	Mögliche Massnahmen
wenn die Polizei vorbei fährt ...	<ul style="list-style-type: none">• ... halt ich erst mal an• ja• ... nimm ne Ziese aus der Schachtel• ja

Tabelle 3.1.: Projekt-Risikoanalyse

4. Resultate

(Zusammenfassung der Resultate)

5. Diskussion und Ausblick

- Bespricht die erzielten Ergebnisse bezüglich ihrer Erwartbarkeit, Aussagekraft und Relevanz
- Interpretation und Validierung der Resultate
- Rückblick auf Aufgabenstellung, erreicht bzw. nicht erreicht
- Legt dar, wie an die Resultate (konkret vom Industriepartner oder weiteren Forschungsarbeiten; allgemein) angeschlossen werden kann; legt dar, welche Chancen die Resultate bieten

Teil III.

Verzeichnisse

6. Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [1] GEMPERLI, ALFRED: *Vertiefungsarbeit: HSR Simulation mit OMNeT++*. Technischer Bericht, Institute of Embedded Systems, ZHAW School of Engineering, Juli 2011.
- [2] IEEE 802.3BR IET TF: *Interspersing Express Traffic (IET) Baseline* @http://www.ieee802.org/3/br/Baseline/8023-IET-TF-1405_Winkel-iet-Baseline-r3.pdf, Juni 2014.
- [3] IEEE 802.3BR IET TF: *Interspersing Express Traffic (IET) Schedule* @http://www.ieee802.org/3/br/8023-IET-TF-1401_IET_schedule.pdf, Januar 2014.
- [4] INSTITUTE OF EMBEDDED SYSTEMS: *HSR-Konzept* @<http://ines.zhaw.ch/de/engineering/institute-zentren/ines/forschung-und-entwicklung/high-availability/hsr.html>, September 2014.
- [5] NETMODULE AG: *Applying PRP and HSR Protocol for Redundant Industrial Ethernet* @http://www.netmodule.com/en/technologies/interfaces_networks/IEC62439, September 2014.
- [6] WEIBEL, HANS: *PA14_wlan_1: Projektarbeit im Fachgebiet Kommunikation*. Aufgabenstellung, September 2014.

7. Glossar

Nomenclature

HSR High-availability Seamless Redundancy. Redundanzprotokoll für Ethernet basierte Netzwerke. HSR ist für redundant gekoppelte Ringtopologien ausgelegt. Die Datenübermittlung innerhalb eines HSR-Rings ist im Fehlerfall gewährleistet, wenn eine Netzwerkschnittstelle ausfallen sollte.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

2.1. HSR-Ring mit allen möglichen Gerätetypen[4]	14
--	----

9. Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

3.1. Projekt-Risikoanalyse	18
--------------------------------------	----

10. Listingverzeichnis

Listingverzeichnis

Teil IV.

Anhang

11. Projektmanagement

11.1. Offizielle Aufgabenstellung

1 Ausgangslage In Anlagen für die Automatisierung der elektrischen Energieversorgung hat sich Ethernet gut etabliert. Ein Anwendungsfeld ist jedoch noch mit Unsicherheiten behaftet: der Prozessbus von Unterstationen. Bei dieser Anwendung werden extrem viele Messdaten erfasst und übertragen. Gleichzeitig soll das Netzwerk Steuerbefehle (z.B. für Notabschaltung) mit sehr geringer Verzögerung übertragen können.

Um höchste Verfügbarkeit zu garantieren wird das Ethernet in einer Ringtopologie betrieben. Das Redundanzverfahren heisst HSR (High-availability Seamless Redundancy) und arbeitet verlustfrei, d.h. es übersteht den Ausfall einer Komponente oder eines Links, ohne dass Frames verloren gehen.

Es gibt verschiedene Ansätze, die Verzögerung kritischer Frames zu garantieren.

- a) Die Erhöhung der Datenrate (in diesem Fall von 100 MBit/s auf 1 GBit/s) ist naheliegend. Damit kann das Problem aber nicht prinzipiell gelöst, sondern lediglich auf ein anderes Niveau verschoben werden. Diesen "Brute Force"-Ansatz möchte man wegen den damit verbundenen sehr viel höheren Anforderungen an die Hardware wenn möglich vermeiden und stattdessen lieber einen effizienten Algorithmus verwenden.
- b) Wenn es um sehr zeitsensitive Anwendungen geht, hat Ethernet generell das Problem, dass ein langes Frame, dessen Aussendung schon begonnen hat, die Aussendung eines hoch priorisierten Frames verzögert. Das Zeitverhalten könnte mit einem Pre-Emption-Mechanismus verzögert werden, welcher es erlaubt, das Versenden eines langen Frames zu unterbrechen und später wieder aufzunehmen. In der Standardisierung gibt es Bestrebungen, einen solchen Mechanismus einzuführen.
- c) Durch ein zeitgesteuertes Scheduling kann man Zeitfenster für kritische Kommunikation reservieren und somit Verzögerungszeiten garantieren.

2 Aufgabenstellung In der Arbeit soll untersucht werden, welchen Effekt die zur Diskussion stehenden Massnahmen für einen konkreten Anwendungsfall bringen. Das umfasst folgende Tätigkeiten:

2.1 Modell für HSR-Knoten erweitern Das betrachtete Netzwerk ist ein HSR-Ring. Die bestehende Simulationsumgebung soll so erweitert bzw. angepasst werden, dass folgende Funktionen/Mechanismen simuliert werden können:

- a) Der Knoten soll zwei Prioritäten unterstützen, d.h. zwei Warteschlangen pro Interface bewirtschaften.
- b) Der Knoten soll Interspersing Express Traffic (IET) unterstützen, d.h. Express Frames können die aktuell ablaufende Übertragung eines Frames unterbrechen.
- c) Der in den Ring einfließende Traffic kann limitiert werden.
- d) Die Vortrittsregeln bezüglich der im Ring zirkulierenden Frames und den Frames, die in den Ring einfließen, können variiert werden (z.B. „zirkulierende Frames haben immer Vortritt“ oder „minimaler Zufluss wird garantiert“).
- e) Der Knoten implementiert ein Zeitschlitzverfahren, welches dem zeitkritischen Traffic und dem Bulk Traffic je eine Phase zuordnet.

2.2 Lastmodell beschreiben und implementieren

Das durch die Anwendung generierte Verkehrsaufkommen ist zu studieren und zu beschreiben. Lastgeneratoren sollen implementiert werden, die das Verkehrsaufkommen für die Simulation generieren durch die Überlagerung von Strömen mit folgender Charakteristik:

- a) konstante Framerate
- b) zufällige zeitliche Verteilung der Frames
- c) spontane Einzelmeldungen

2.3 Simulationen durchführen und Resultate interpretieren

Das Zeitverhalten der verschiedenen Weiterleitungsvarianten soll durch entsprechende Simulationsläufe ermittelt werden. Die Resultate sind zu vergleichen und zu interpretieren.

3 Ziele

- Es liegt eine lauffähige und ausreichend dokumentierte Simulationsumgebung vor, welche
 - die verschiedenen Weiterleitungsvarianten implementiert,
 - Traffic unterschiedlicher Charakteristik generieren kann,

- die Laufzeit der einzelnen Frames misst und geeignet visualisiert.
- Das zeitliche Verhalten einiger Konfigurationen ist für verschiedene Lastprofile simuliert. Die Resultate sind visualisiert, interpretiert und kommentiert.

11.2. Besprechungsprotokolle

- Offizielle Aufgabenstellung, Projektauftrag
- (Zeitplan)
- (Besprechungsprotokolle oder Journals)

12. Weiteres

- CD mit dem vollständigen Bericht als pdf-File inklusive Film- und Fotomaterial
- (Schaltpläne und Ablaufschemata)
- (Spezifikationen u. Datenblätter der verwendeten Messgeräte und/oder Komponenten)
- (Berechnungen, Messwerte, Simulationsresultate)
- (Stoffdaten)
- (Fehlerrechnungen mit Messunsicherheiten)
- (Grafische Darstellungen, Fotos)
- (Datenträger mit weiteren Daten (z. B. Software-Komponenten) inkl. Verzeichnis der auf diesem Datenträger abgelegten Dateien)
- (Softwarecode)