



**School of
Engineering**

InES Institute of
Embedded Systems

Bachelorarbeit Informatik

BA15 wlan 1

Ermittlung der Performance von
Netzwerkfunktionen am Beispiel von PRP

Autoren

Mauro Guadagnini (guadamau@students.zhaw.ch)
Prosper Leibundgut (leibupro@students.zhaw.ch)

Hauptbetreuung

Hans Weibel (wlan@zhaw.ch)

Datum

05.06.2015

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

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit 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 Bachelorarbeit 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 Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

.....

Unterschriften:

.....

.....

.....

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

Zusammenfassung

Lorem ipsum

Abstract

Lorem ipsum.

Vorwort

Arbeit «Ermittlung der Performance von Netzwerkfunktionen am Beispiel von PRP»

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract	4
Vorwort	5
I. Einführung und Grundlagen	8
1. Einleitung	9
1.1. Ausgangslage	9
1.1.1. Stand der Technik	9
1.1.2. Bestehende Arbeiten	9
1.2. Zielsetzung / Aufgabenstellung / Anforderungen	9
1.2.1. Anforderungen	9
1.2.2. Erwartetes Resultat	9
1.2.3. Vorausgesetztes Wissen	10
2. Theoretische Grundlagen	11
2.1. Parallel Redundancy Protocol (PRP)	11
2.1.1. Handhabung von Frame-Duplikaten	13
2.1.2. Software Implementation	13
II. Engineering	14
3. Vorgehen / Methoden	15
3.1. Aufbau der Testumgebung	15
3.1.1. Hardware	15
3.1.1.1. Server	15
3.1.1.2. Switches	15
3.1.2. Netzwerke	16
3.1.2.1. Physische Netzwerke	16
3.1.2.2. PRP-Netzwerk	17
3.1.3. Standorte	18
3.2. Evaluierung der Tools	19
3.2.1. Verwendete Tools	19
3.3. Ermittlung der Performance	19
4. Resultate und Interpretation	20

5. Diskussion und Ausblick	21
5.1. Besprechung der Ergebnisse	21
5.2. Erfüllung der Aufgabenstellung	21
5.3. Rückblick	21
5.4. Ausblick	21
III. Verzeichnisse	22
6. Literaturverzeichnis	23
7. Glossar	24
8. Abbildungsverzeichnis	26
9. Tabellenverzeichnis	27
10. Listingverzeichnis	28
IV. Anhang	29
11. Offizielle Aufgabenstellung	30
12. Projektmanagement	31
12.1. Präzisierung der Aufgabenstellung	31
12.2. Besprechungsprotokolle	31
12.2.1. Kalenderwoche xx: xx.xx.2015	31

Teil I.

Einführung und Grundlagen

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

1.1.1. Stand der Technik

Der Standard zu PRP Version 1 (oder PRP-1) wurde unter dem Namen IEC 62439-3 am 05.07.2012 veröffentlicht, welcher eine technische Revision des ursprünglichen Standards (PRP Version 0 oder PRP-0) vom 25.02.2010 darstellt und diesen für ungültig erklärt. PRP-1 wurde unter anderem entwickelt, damit es mit einem weiteren Protokoll für redundante Netzwerkkommunikation, HSR (High-availability Seamless Redundancy) kompatibel ist, jedoch ging dabei die Kompatibilität zu PRP-0 verloren. [8, 9]

PRP ist bereits bei einigen Firmen implementiert und wird unter anderem für Substation Automation verwendet. [1, 4]

In dieser Arbeit, welche die Performance-Ermittlung von Netzwerkfunktionen umfasst, wird lediglich PRP Version 1 behandelt.

1.1.2. Bestehende Arbeiten

Zu PRP-1

1.2. Zielsetzung / Aufgabenstellung / Anforderungen

1.2.1. Anforderungen

Durch das Institute of Embedded Systems der ZHAW wurde den Autoren am 10. Februar 2015 eine Aufgabenstellung [10] (siehe Kapitel 11 auf Seite 30) zugestellt, welche die nachfolgenden Hauptanforderungen umfasst:

1.2.2. Erwartetes Resultat

Lorem ipsum

1.2.3. Vorausgesetztes Wissen

In den theoretischen Grundlagen (siehe Kapitel 2 auf der nächsten Seite) werden unter anderem das PRP-Protokoll und dessen Software-Implementation 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. Parallel Redundancy Protocol (PRP)

Bei PRP handelt es sich um ein Kommunikationsprotokoll auf Layer 2, welches eine Redundanz im Netzwerk gewährleistet. Dies wird erreicht, indem ein Netzwerkknoten mit 2 Netzwerkinterfaces an zwei disjunkten, parallel betriebenen LANs (LAN A und LAN B) angeschlossen wird, die unabhängig von einander sind. Diese beiden LANs ergeben zusammen ein PRP-Netzwerk. Ein solcher Knoten im PRP-Netzwerk wird «Dual Attached Node» (oder auch u.a. «Double Attached Node»), kurz DAN, genannt. [2]

Wenn ein DAN etwas an einen anderen Netzwerkteilnehmer sendet, dupliziert er das Frame und übermittelt es über beide LANs. Beim Empfänger wird das Frame, das als Erstes ankommt, an die oberen Schichten weitergeleitet und das Duplikat je nach Methode akzeptiert oder verworfen. Auf die Duplikat-Handhabung wird genauer im Kapitel 2.1.1 auf Seite 13 eingegangen. Für die Duplikaterzeugung und -erkennung ist die Link Redundancy Entity (LRE) zuständig, welche sich zwischen den beiden Netzwerkinterfaces und den oberen Netzwerkschichten in einem DAN befindet. Um diese Frame-Redundanz handhaben zu können, wird vom LRE beim Versand dem Frame am Ende ein Redundancy Control Trailer (RCT) angehängt, der beim Empfänger von dessen LRE wieder entfernt wird. [2]

Dieser RCT hat eine Grösse von 6 Bytes und beinhaltet folgende Parameter [6, 7]:

- Sequenznummer (16 Bit)
Jede Quelle hat lediglich einen Sequenznummernraum [5]
- LAN-Identifikator (4 Bit)
Dieser Parameter lautet entweder 0xA für LAN_A oder 0xB für LAN_B
- Frame-Grösse (12 Bit)
Umfasst die Grösse des Payloads des Ethernet-Frames in Bytes zuzüglich der Grösse vom RCT
- PRP-Suffix (16 Bit)
Damit ein Frame als PRP-1-Frame erkannt wird, wird der Suffix auf 0x88FB gesetzt [7]
Die Länge des Suffix hat den Grund, dass so mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit durch Zufall ein Nicht-PRP-Frame diesen Wert am Schluss des Frames (vor der Frame Check Sequence) hat und es als PRP-Frame erkannt wird, obwohl es keines wäre.

Des Weiteren gibt es auch Netzwerkkomponenten, die nur über ein Netzwerkinterface verfügen und lediglich an einem LAN des PRP-Netzwerks angeschlossen sind. Solche Geräte werden

«Single Attached Node», kurz SAN, genannt. Diese können zwar mit allen Netzwerkteilnehmern kommunizieren, die sich in beiden LANs befinden, jedoch können nur andere SANs erreicht werden, die am selben LAN angeschlossen sind. SANs, die mit dem anderen LAN verbunden sind, können nicht erreicht werden. Daher erzeugen SANs beim Frameversand keine Duplikate und hängen somit auch kein RCT an die Frames. Erhält ein SAN ein Frame mit einem RCT wird dies als zusätzliches Padding ohne Bedeutung wahrgenommen. [4]

Eine zusätzliche Möglichkeit, um Geräte mit nur einem Netzwerkinterface an einem PRP-Netzwerk anzuschliessen, wäre über eine Redundancy Box (RedBox). Eine RedBox ist wie ein DAN über beide LANs im PRP-Netzwerk eingebunden und bietet weitere Anschlüsse für Geräte mit nur einem Interface. Ein solches Gerät, das über eine RedBox am PRP-Netzwerk teilnimmt, erscheint für die anderen Teilnehmer wie ein DAN und wird «Virtual Dual Attached Node» (VDAN) genannt. Somit fungiert die RedBox als Proxy für VDANs und hat aus Management-Gründen eine eigene IP-Adresse. [2, 4]

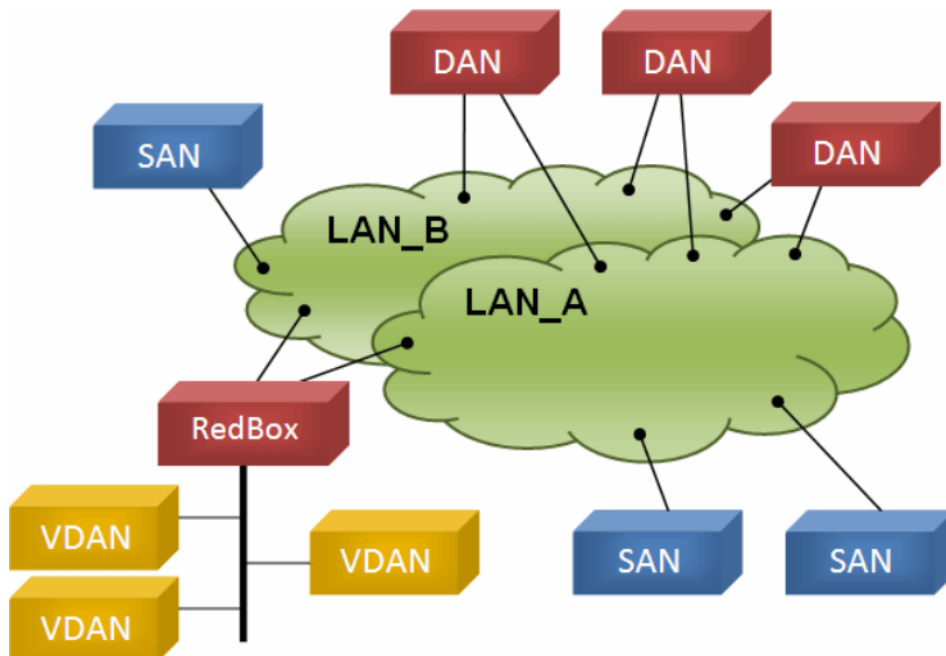


Abbildung 2.1.: Beispielaufbau eines PRP-Netzwerks [2]

Durch diesen Ablauf und Aufbau wird garantiert, dass die Kommunikation bei dem Ausfall eines LANs trotzdem bestehen bleibt, ohne Zeit für eine Umschaltung zu benötigen. Aufgrund dieser Eigenschaft wird PRP unter anderem als «seamless» oder «bumpless» bezeichnet. [2, 3]

Da es sich bei PRP um ein Protokoll handelt, das von den MAC-Adressen der Netzwerkteilnehmer abhängig ist, wird kein IP-Routing unterstützt. Dies hat den Grund, weil ein IP-Router die Quell-MAC-Adresse im Ethernet-Frame ändert und ein Empfänger im PRP-Netzwerk die ursprüngliche Adresse benötigt, um Duplikate feststellen zu können. [7]

2.1.1. Handhabung von Frame-Duplikaten

2.1.2. Software Implementation

Teil II.

Engineering

3. Vorgehen / Methoden

3.1. Aufbau der Testumgebung

3.1.1. Hardware

3.1.1.1. Server

————— Bild Server —————

Die Testumgebung besteht aus 3 Servern mit je 3 Netzwerkanschlüssen. Davon werden je 2 für die PRP-Umgebung verwendet, wobei der dritte Anschluss lediglich für administrative Zwecke verwendet wird. So ist es möglich, von Aussen auf die Server zugreifen zu können, ohne dass der Datenverkehr, der über die PRP-Schnittstellen transportiert wird, durch administrative Netzwerkprotokolle beeinflusst wird. Dies soll einer Verfälschung der Messergebnisse vorbeugen.

Alle 3 Server sind mit identischer Hardware ausgestattet. Die Server verfügen über die nachfolgend gelisteten technischen Merkmale:

Eigenschaft	
Hersteller / Name	HP ProLiant DL140
CPU	Intel(R) Xeon(TM) CPU 2.40GHz
L1- / L2- / L3-Cache	8KiB / 512KiB / –
Wortbreite	32 Bit
Arbeitsspeicher (gesamt)	2 GiB
Architektur	i686
Festplatte	80 GiB (Software-RAID-1)
Netzwerkanschluss «eth0»	1 GBit/s
Netzwerkanschluss «eth1»	1 GBit/s
Netzwerkanschluss «eth2»	100 MBit/s
Betriebssystem	Debian 7.8.0 32bit (i686 CPU) Version mit Non-Free-Firmware inklusive

Tabelle 3.1.: Hardware-Eigenschaften der Server

3.1.1.2. Switches

————— Bild Switch —————

Um die Server miteinander zu verbinden, werden 3 8-Port-HP-Switches verwendet, die über eine Kapazität von 1 GBit/s verfügen. 2 der Switches bilden die physischen Netzwerke A und B. Diese werden dafür verwendet, um das virtuelle PRP-Netzwerk zu bilden. Der 3. Switch dient dazu, ein autonomes Netzwerk zu bilden, das für administrative Zwecke verwendet werden kann, und es ermöglicht, via Gateway eine Verbindung zu einem anderen LAN herzustellen.

3.1.2. Netzwerke

Um ein PRP-Netzwerk mit den 3 Servern aufzubauen, sind 2 physische Netzwerke nötig, die dann ein virtuelles PRP-Netzwerk bilden. Im Folgenden wird grafisch aufgezeigt, wie die Testumgebung aufgebaut ist.

3.1.2.1. Physische Netzwerke

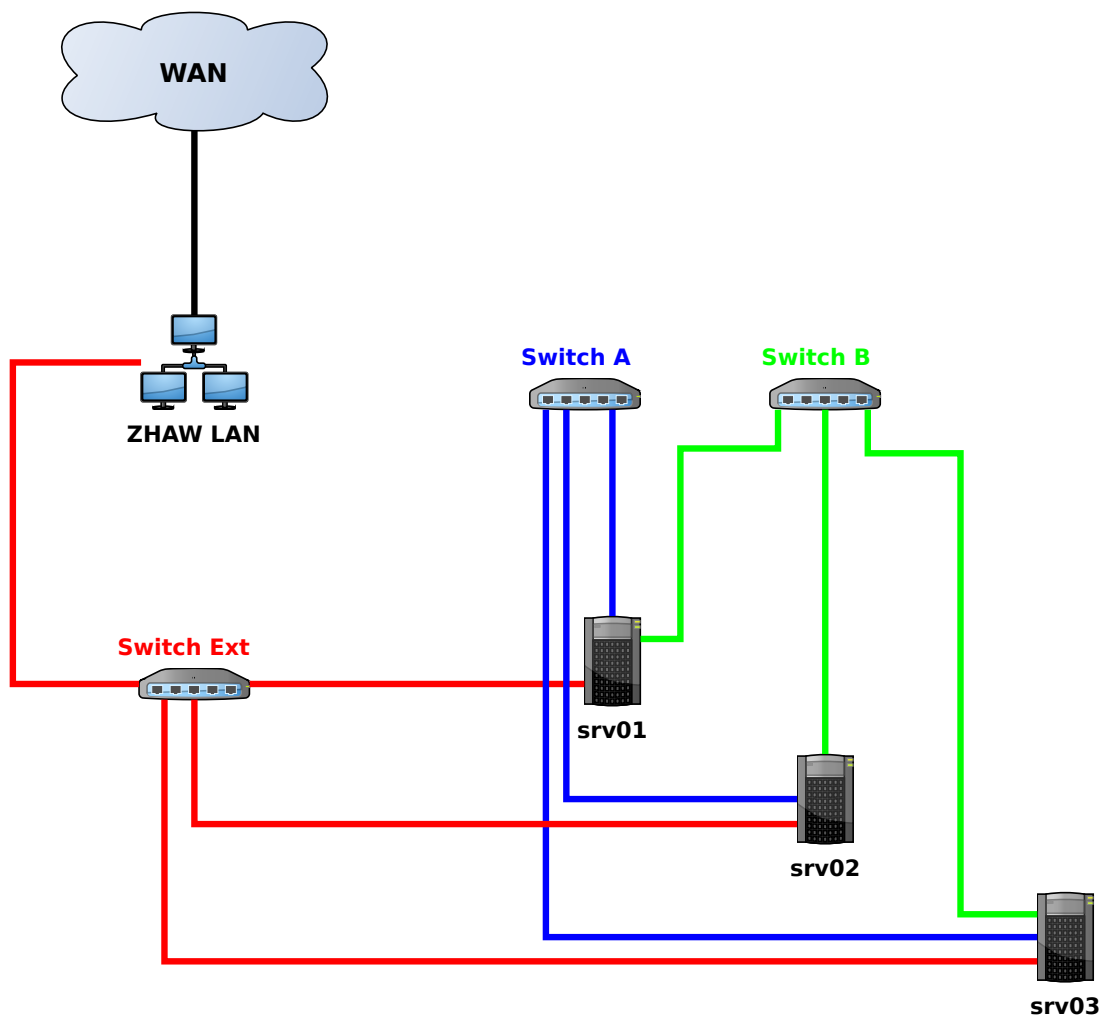


Abbildung 3.1.: Aufbau der Testumgebung - Physisches Netzwerk

	Netzwerk A	Netzwerk B	Netzwerk Ext
Netzwerk	192.168.1.0	192.168.2.0	192.168.99.0
srv01	192.168.1.1	192.168.2.1	192.168.99.1
srv02	192.168.1.2	192.168.2.2	192.168.99.2
srv03	192.168.1.3	192.168.2.3	192.168.99.3

Tabelle 3.2.: Konfigurationsdaten - Physisches Netzwerk

IPv4-Konfiguration: Für das Administrationsnetzwerk (192.168.99.0) wird der Gateway mit der IP-Adresse 192.168.99.100 verwendet. Damit wird ein Zugang von einem anderen LAN aus auf die Server ermöglicht.

3.1.2.2. PRP-Netzwerk

Ein PRP-Netzwerk basiert grundsätzlich auf dem Konzept, dass aus zwei physischen Netzwerken ein virtuelles Netzwerk gebildet wird, um die gewünschte Redundanz zu erreichen. Beispielsweise wird aus zwei physischen Netzwerk-Interfaces ein Virtuelles. Die folgende Abbildung zeigt, wie die physischen Verbindungen zweier Netze zu einer virtuellen Verbindung eines PRP-Netzwerks werden.

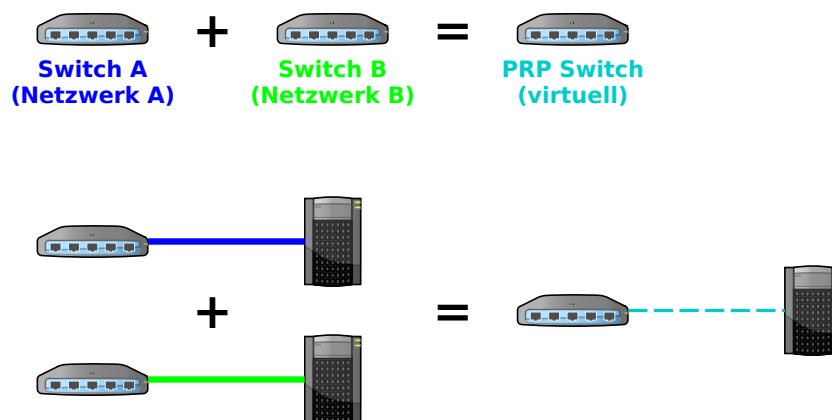


Abbildung 3.2.: Zusammenhang physische und virtuelle Verbindung

Daraus lässt sich der Aufbau des virtuellen PRP-Netzwerks ableiten und folgendermassen aufzeigen:

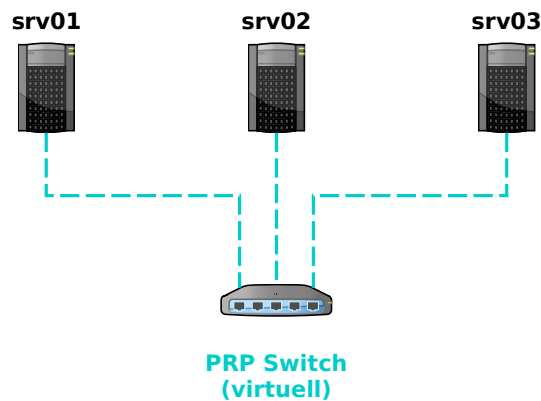


Abbildung 3.3.: Aufbau der Testumgebung - PRP-Netzwerk

	PRP
Netzwerk	192.168.0.0
srv01	192.168.0.1
srv02	192.168.0.2
srv03	192.168.0.3

Tabelle 3.3.: Konfigurationsdaten - PRP-Netzwerk

IPv4-Konfiguration:

3.1.3. Standorte

Die Testumgebung wurde in den Räumlichkeiten des Gebäudes TE der ZHAW in Winterthur aufgebaut. Die Server wurden in einem nicht öffentlichen Raum (TE524) platziert. Die beiden Switches (A und B) befinden sich im Arbeitsraum (TE523). Dies ermöglicht es, Messgeräte sowie simulierte Verzögerungen einzubauen. Ebenfalls können so weitere Geräte an die Netzwerke A oder B angeschlossen werden.

Das nachfolgende Schema zeigt die detaillierte, physische Verkabelung der gesamten Testumgebung:

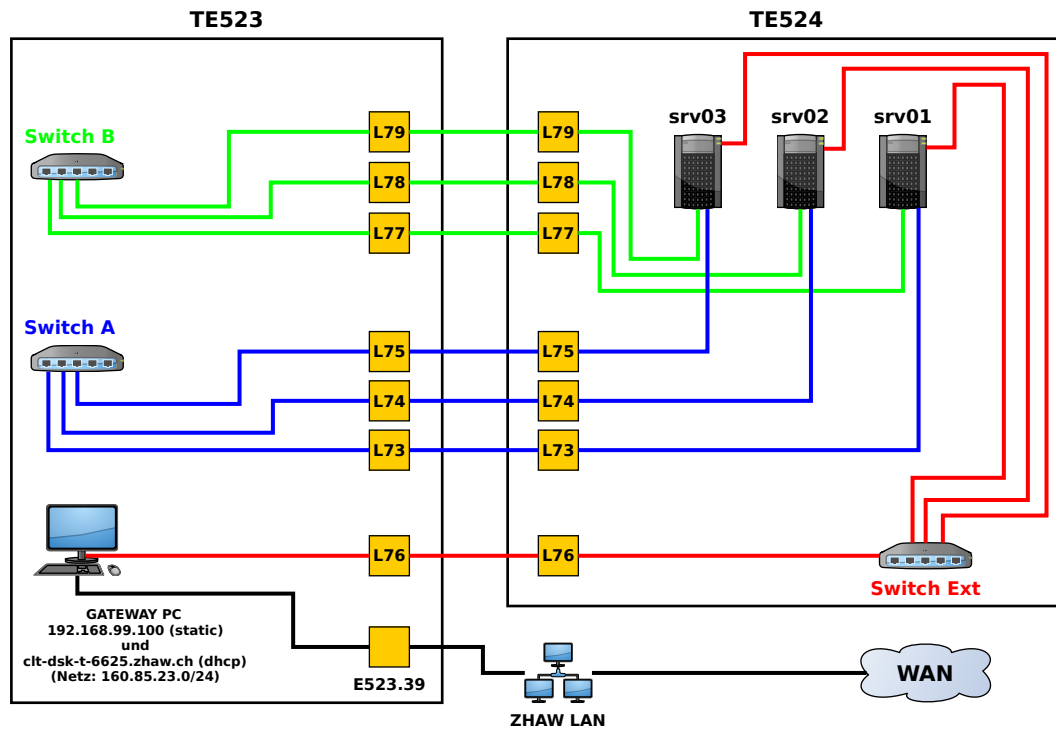


Abbildung 3.4.: Aufbau der Testumgebung - Detaillierte Verkabelung

3.2. Evaluierung der Tools

Für die Performance-Messungen werden auch bereits bestehende Tools verwendet. Da bereits eine Vielzahl solcher Tools existiert, wird in diesem Abschnitt versucht, die Auswahl zu verwendender Tools einzugrenzen. Für diese Selektierung werden die Aspekte berücksichtigt, welchen gemäss der Aufgabenstellung [10] besondere Beachtung beigemessen werden soll.

Es sind dies:

3.2.1. Verwendete Tools

3.3. Ermittlung der Performance

4. Resultate und Interpretation

Lorem ipsum

5. Diskussion und Ausblick

5.1. Besprechung der Ergebnisse

Lorem ipsum

5.2. Erfüllung der Aufgabenstellung

Soll
Ist
Nachweis

Tabelle 5.1.: Nachweis:

5.3. Rückblick

Lorem ipsum

5.4. Ausblick

Lorem ipsum

Teil III.

Verzeichnisse

6. Literaturverzeichnis

- [1] A. DARBY ET AL.: *Experience using PRP Ethernet redundancy for Substation Automation Systems* @http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6822815&sortType%3Dasc_p_Sequence%26filter%3DAND%28p_IS_Number%3A6809516%29.
- [2] H. WEIBEL: *Ethernet Redundancy with zero Switchover Time* @http://engineering.zhaw.ch/fileadmin/user_upload/engineering/_Institute_und_Zentren/INES/PRP/PRP_Tutorial.pdf.
- [3] H. WEIBEL, F. REICHERT: *Ethernet Redundancy with zero Switchover Time* @www.swisstmeeting.ch/tl_files/images/Communication%20Conference/Unterbrechungsfreie_Redundanz_slides_ZHAW_Reichert.pdf.
- [4] HIRSCHMANN GMBH: *PRP - Parallel Redundancy Protocol* @http://www.hirschmann.com/en/Hirschmann_Produkte/Industrial_Ethernet/Technologies/PRP_-_Parallel_Redundancy_Protocol/index.phtml.
- [5] INSTITUTE OF EMBEDDED SYSTEMS: *PRP* @<http://ines.zhaw.ch/de/engineering/institute-zentren/ines/forschung-und-entwicklung/praezise-zeitsynchronisation-und-hochverfuegbare-netze/technologien/prp-technologie.html>.
- [6] M. RENDOLD ET AL.: *Parallel Redundancy Protocol (PRP)* @<http://wiki.wireshark.org/PRP>.
- [7] M. RENTSCHLER: *The Parallel Redundancy Protocol for Industrial IP Networks* @<http://ieeexplore.ieee.org/iel7/6495638/6505636/06505877.pdf>.
- [8] NETWORKS, TECHNICAL COMMITTEE 65C INDUSTRIAL: *Industrial communication networks - High availability automation networks - Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)*, Februar 2010.
- [9] NETWORKS, TECHNICAL COMMITTEE 65C INDUSTRIAL: *Industrial communication networks - High availability automation networks - Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)*, Juli 2012.
- [10] WEIBEL, H.: *BA15_wlan_1: Projektarbeit im Fachgebiet Kommunikation. Aufgabenstellung*, Februar 2015.

7. Glossar

DAN **Dual Attached Node oder Double Attached Node.** Netzwerkteilnehmer eines PRP-Netzwerks, der über zwei Netzwerkinterfaces verfügt, die je direkt an einem LAN des PRP-Netzwerks angeschlossen sind.

Gateway Netzwerkkomponente, die es ermöglicht, Computern in einem lokalen Netzwerk, den Zugriff in andere Netzwerke zu ermöglichen. Als bekanntestes Beispiel, kann an dieser Stelle die Verbindung von Computern in einem lokalen Netzwerk über einen Router als Gateway mit dem Internet erwähnt werden.

LRE **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.

LRE **Link Redundancy Entity.** Einheit, die beide Netzwerkinterfaces eines DANs oder einer RedBox verbindet. Ist zuständig für die Frameduplikation und Duplikaterkennung.

Non-Free-Firmware Bei Non-Free-Firmware handelt es sich um Gerätetreiber-Software, die nicht als komplett freie Software vertrieben wird. Das heisst, die Software ist proprietär und basiert auf herstellerbasierten Standards, die nicht veröffentlicht wurden.

PRP **Parallel Redundancy Protocol.** Hochverfügbarkeitsnetzwerk, bei dem Netzwerkkomponenten über zwei voneinander unabhängige LANs kommunizieren. Beim Versand wird das Frame dupliziert und über beide LANs versandt. Das Duplikat wird vom Empfänger erkannt und verworfen.

RCT **Redundancy Control Trailer.** 4 Bytes langes Framefeld, um Frames, die über beide LANs eines PRP-Netzwerks verschickt werden, zu kennzeichnen.

RedBox **Redundancy Box.** Ist mit beiden LANs des PRP-Netzwerks verbunden und bietet Anschlüsse für mehrere Hosts, damit diese über je 1 Netzwerkanschluss am PRP-Netzwerk teilnehmen können. Solche Hosts werden dann VDAN genannt.

SAN **Single Attached Node.** Host, der nur an einem LAN des PRP-Netzwerks angeschlossen ist. Dieser kann mit allen DANs, VDANs und RedBoxen kommunizieren, jedoch nur mit anderen SANs, die am selben LAN angeschlossen sind. Ist zum Beispiel ein SAN nur am LAN A angeschlossen, kann dieser nur andere SANs erreichen, die auch am LAN A angeschlossen sind.

VDAN Virtual Dual Attached Node oder Virtual Double Attached Node. Host, der über ein Netzwerkinterface an einer RedBox angeschlossen ist und somit darüber am PRP-Netzwerk teilnimmt. Für andere Netzwerkteilnehmer wird dieser Host wie ein DAN wahrgenommen.

8. Abbildungsverzeichnis

2.1. Beispielaufbau eines PRP-Netzwerks [2]	12
3.1. Aufbau der Testumgebung - Physisches Netzwerk	16
3.2. Zusammenhang physische und virtuelle Verbindung	17
3.3. Aufbau der Testumgebung - PRP-Netzwerk	18
3.4. Aufbau der Testumgebung - Detaillierte Verkabelung	19

9. Tabellenverzeichnis

3.1. Hardware-Eigenschaften der Server	15
3.2. Konfigurationsdaten - Physisches Netzwerk	17
3.3. Konfigurationsdaten - PRP-Netzwerk	18
5.1. Nachweis:	21

10. Listingverzeichnis

Teil IV.

Anhang

11. Offizielle Aufgabenstellung

Lorem ipsum

12. Projektmanagement

12.1. Präzisierung der Aufgabenstellung

12.2. Besprechungsprotokolle

Die Besprechungsprotokolle wurden Stichwortartig in einem eigenen Wiki festgehalten. Der Inhalt dieser Protokolle lautet wie folgt:

12.2.1. Kalenderwoche xx: xx.xx.2015

- Lorem ipsum