

Ausarbeitung Masterseminar -
WiSe 10/11
Hermann Dieumo Kenfack

`hermand.dieumo@informatik.haw-hamburg.de`

Designmigrationsstrategien von FlexRay zu
TTEthernet

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
1 Einführung	3
1.1 Ziel	4
1.2 Abgrenzung	4
1.3 Motivation	5
2 Vorarbeiten	7
2.1 Anwendungen 1	7
2.2 Anwendungen 2	8
2.3 Projekt 1	8
2.4 Projekt 2	9
3 Masterarbeit	10
3.1 Verwandte Arbeit: Vergleich von FlexRay und TTEthernet	10
3.2 Anforderungen an die Migrationstrategien	10
3.3 Architektur	11
3.4 Vorgehen	13
3.5 Risiken	14
4 Zusammenfassung und Ausblick	15
4.1 Zusammenfassung	15
4.2 Ausblick	15
Literatur	16

Abbildungsverzeichnis

1	Beispiel-Ausschnitt eines Automobilnetzwerks a) mit FlexRay b) mit TTEthernet	6
2	Vorarbeiten	7
3	TTEthernet-Netzwerk Protokollstack	9
4	Architektur	12

1 Einführung

Die Anzahl der eingesetzten elektrischen und elektronischen Systeme im Automobil steigen immer weiter an. Es gibt immer mehr Sensoren/Aktoren, Steuereinheiten, Sicherheits-, Hilfs- und Multimediasysteme. Da die Funktionen der verschiedenen Systeme systemübergreifend benötigt werden, ist ein umfangreicher Datenaustausch in Echtzeit zwischen diesen unabdingbar. So wird beispielsweise die Fahrgeschwindigkeit im ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm) für die Fahrdynamikregelung, im Motormanagement für die automatische Geschwindigkeitsregelung und im Navigationssystem benötigt (vgl. [Reif, 2011](#), S. 82).

Die Heterogenität der Anwendungen führt zu verschiedenen Anforderungen (Echtzeitanforderung, Sicherheitsanforderungen, verschiedene Datenraten, etc.). Um diese zu erfüllen, wird momentan die Vernetzung von Kraftfahrzeugkomponenten in Domänen (Funktionsbereiche) unterteilt. Für jede Domäne wird ein spezielles Bussystem eingesetzt, wie LIN (Local Interconnect Network (vgl. [LIN-Administration](#))), CAN (Controller Area Network (vgl. [Robert Bosch GmbH](#))) und MOST (Media Oriented Systems Transport (vgl. [MOST Cooperation](#))) (vgl. [Abbildung 1 a](#)). Eine Anwendung wird einer Domäne zugeordnet, die am besten ihren Anforderungen entspricht. Die verschiedenen Bussysteme machen das Fahrzeugnetzwerk kompliziert und damit in der Entwicklung teuer. Außerdem können sie die an zukünftigen Automobilnetzwerken gestellten Anforderungen nicht erfüllen. Beispiele für diese Anforderungen sind: zuverlässige Datenübertragung, Fehlertoleranz, hohe Bandbreite. Das Letztere wird z. B. für videobasierte Fahrerassistenzsysteme benötigt. Aus diesen Gründen werden neue Lösungen für die Vernetzung von Kraftfahrzeug-Komponenten benötigt.

Momentan gibt es zwei vielversprechende, konkurrierende Lösungen. Einerseits FlexRay andererseits TTEthernet (Time Triggered Ethernet). FlexRay ist ein vom FlexRay Consortium (vgl. [FlexRay Consortium](#)) entwickeltes Kommunikationsprotokoll für Fahrzeugnetzwerke. Es soll für zeitkritische Anwendung, wie die Motor- und Fahrwerk-Steuerung verwendet werden. Zu den Eigenschaften von FlexRay gehören: eine deterministische Datenübertragung, Flexibilität und Fehlertoleranz (vgl. [Rausch, 2008](#), S. 8). TTEthernet (vgl. [Steiner, 2008](#)) ist eine Echtzeit-Variante des Standard-Switched-Ethernet. Die Echtzeitfähigkeit wird wie bei FlexRay durch die Synchronisation aller Teilnehmer und das Aufstellen eines Zeitplans gewährleistet, welcher das simultane Senden zweier Echtzeit-Nachrichten über denselben Link ausschließt.

TTEthernet hat einige Vorteile gegenüber FlexRay. Es hat eine deutlich höhere Bandbreite (100/1000Mbit/s). Darüber hinaus hat sich Ethernet im Computernetze durchgesetzt und sich bereits in der Automatisierungsindustrie erfolgreich etabliert (vgl. [Schwager, 2010](#)). Durch diese weite Verbreitung sind die Preise für Ethernet-Komponenten gesunken. So ist ein Wechsel von FlexRay zu TTEthernet lohnenswert.

FlexRay ist dabei, sich in der Automobilindustrie zu etablieren. Es gibt bereits Serienfahrzeuge mit FlexRay. Beispiele hierfür sind die BMW 7er Reihe (vgl. [BMW Deutschland](#)) und der

Audi A8 (vgl. [AUDI AG, TTTech Automotive GmbH, 2009](#)). Daraus kann man schließen, dass Ingenieure der Automobilindustrie bereits FlexRay Projekte geführt haben und Designentscheidungen bezüglich der Vernetzung von Kraftfahrzeug-Komponenten über FlexRay getroffen haben. Aufgrund dessen, dass FlexRay und TTEthernet konzeptionell ähnlich aufgebaut sind (vgl. [FlexRay Consortium, 2005b](#); [Steiner, 2008](#); [Steinbach u. a., 2010](#)), können bei einer Migration von FlexRay zu TTEthernet oder bei der Entwicklung eines neuen TTEthernet-Systems viele konzeptionelle Arbeiten eines FlexRay-Systems übernommen (und angepasst) werden. Somit kristallisieren sich folgende Fragen heraus.

- Wie können Designentscheidungen eines FlexRay-Systems in einem TTEthernet-System wiederverwendet werden?
- Wie können Erfahrungen aus vergangenen FlexRay-Projekten für TTEthernet-Projekte genutzt werden?

Die Klärung auf dieser Fragen ist das Ziel der Abschlussarbeit.

1.1 Ziel

Das Ziel der Masterarbeit ist die Entwicklung von Designmigrationsstrategien von FlexRay zu TTEthernet. Dabei soll der Fokus auf folgenden Punkten liegen.

- Herausarbeitung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten von FlexRay und TTEthernet.
- Festlegung der Übersetzungsmethoden. Dabei ist es wichtig, dass die getroffenen Entscheidungen argumentiert werden.
- Verifizierung und Validierung der Übersetzungsmethoden durch z. B. simulationsbasierte empirische Untersuchungen ausgewählter Fallstudien, wie Adaptive Geschwindigkeitsregelung und Elektronisches Stabilitätsprogramm.

1.2 Abgrenzung

In der Abschlussarbeit sollen ausschließlich Migrationsstrategien bezüglich des Designs des Netzwerks entwickelt werden. Es geht also nicht darum, Software oder Hardware zu migrieren. In diesem Kontext wird unter Designen, der Entwurf eines Architektur-Modells eines Netzwerks verstanden. Dabei werden alle Teilnehmer eines Netzwerks (ECUs -Electronic Control Units-, Endsysteme, Switches, etc.) mit deren physikalischen und logischen Verbindungen festgelegt. Ferner werden alle Nachrichten sowie deren Sender und Empfänger definiert. Zu jeder Echtzeit-Nachricht sind auch die zugehörigen Zeitanforderungen (maximale Übertragungszeit, maximaler Jitter, etc.) festzulegen. Analog zu der Definition von Design, sind

Designmigrationsstrategien Methoden, um Entitäten (Komponenten, Verbindungen, Nachrichten, etc.) eines Quell-Netzwerks auf die eines Zielnetzwerkes abzubilden. Erwähnenswert ist, dass das Quell- und Zielnetzwerk auf unterschiedlichen aber konzeptionell ähnlichen Protokollen basieren soll. Zusammengefasst, ist eine Designmigration die Abbildung eines Quell-Netzwerkmodells auf ein Ziel-Netzwerkmodell auf der Architekturebene. Abbildung 1 zeigt eine mögliche Komponenten-Abbildung eines Ausschnitts aus einem Automobilnetzwerk mit FlexRay auf TTEthernet. Abbildung 1 a) Stellt das Automobilnetzwerk mit FlexRay dar. Hier werden Steuergeräte des Antriebsstranges sowie Fahrwerksbereichs über jeweils zwei FlexRay-Busse miteinander vernetzt. Bei der Abbildung auf TTEthernet (siehe Abbildung 1 b)) wurden die beiden FlexRay-Busse durch TTEthernet-Switches ersetzt, weil es kein Bus in TTEthernet gibt. Zudem kann man sehen, dass MOST durch TTEthernet bzw. Ethernet ersetzt wurde. Die Migration von MOST zu TTEthernet/Ethernet soll jedoch nicht in Rahmen dieser Arbeit erfolgen. Siehe hierzu [Fraunhofer ESK \(2010\)](#).

1.3 Motivation

Das Designen ist eine der wichtigsten Phasen bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugnetzwerken. Dabei ist es wichtig dieses modellbasiert durchzuführen. Durch modellbasierte Ansätze ist es möglich abstrakte hardware- bzw. plattformunabhängige Systeme zu designen. Aus dem abstrakten Modell kann dann der Middleware-Code für die gewünschte Zielplattform (Simulation, Target-System) erstellt werden (vgl. [Wolfgang Pree, 2007](#), Kapitel 2). Dieses stellt außerdem die Grundlage für die Entwicklung der Steuergeräte dar. Weiterhin wird durch modellbasierte Ansätze eine hohe Flexibilität bei der Entwicklung des Netzwerks geschaffen. So können Änderungen mit minimalem Aufwand vorgenommen werden. Darüber hinaus können verschiedene Konstellationen bezüglich der Kabel-, Kommunikationspfade-, Nachrichten- und Synchronisations-Planung analysiert werden, sodass das Gewicht des Fahrzeugs, die Latenzen und benötigte Bandbreite im Fahrzeugnetzwerk minimiert werden können und somit die Performance und die Zuverlässigkeit des Systems steigen.

Die Designmigrationsstrategien sollen das Erlernen von TTEthernet sowie die Entwicklung eines neuen TTEthernet-Systems mit vorhandenen FlexRay-Kenntnissen vereinfachen. Außerdem können viele Designentscheidungen aus vergangenen bzw. vorhandenen FlexRay-Systemen bei der Entwicklung von TTEthernet-Systemen wiederverwendet werden. Durch die einfache Erlernbarkeit und die hohe Wiederverwendbarkeit können TTEthernet-Systeme besser, schneller und kostengünstiger entwickelt werden.

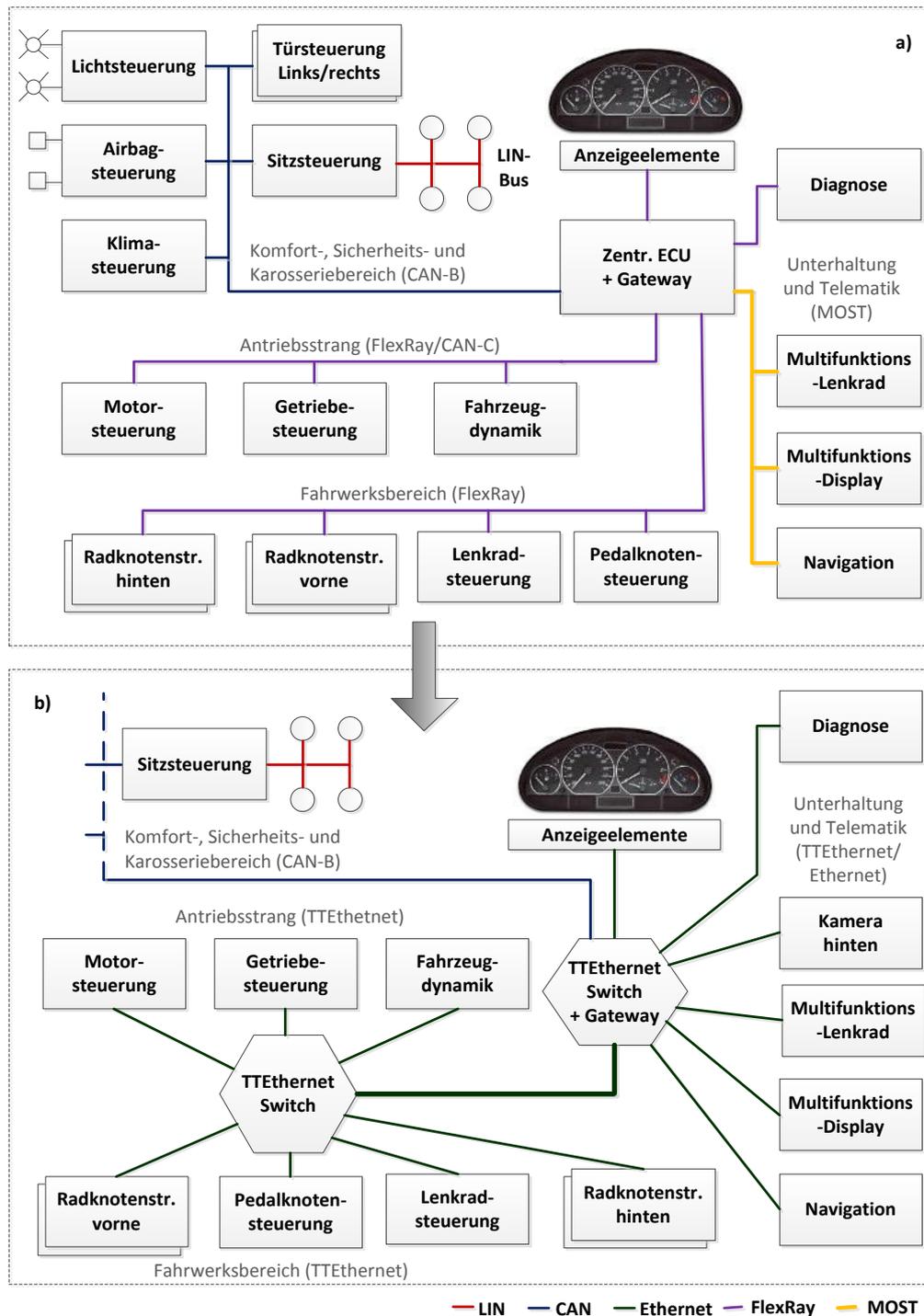


Abbildung 1: Beispiel Ausschnitt eines Automobilnetzwerks a) mit FlexRay (vgl. Rausch, 2008, S. 14) (b mit TTEthernet)

2 Vorarbeiten

In diesem Kapitel werden die Zusammenfassungen und Ergebnisse der bis jetzt geleisteten Vorarbeiten für die Abschlussarbeit dargelegt. Abbildung 2 zeigt alle Arbeiten zusammen mit deren zeitlichen Realisierung.

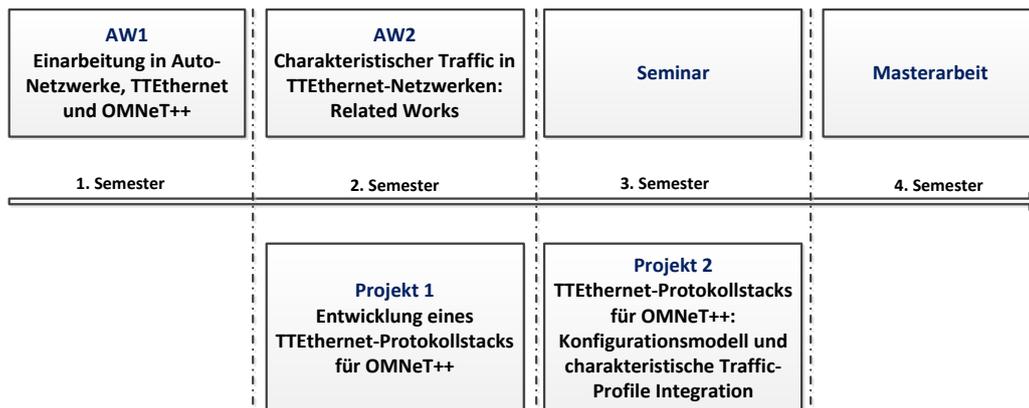


Abbildung 2: Vorarbeiten

2.1 Anwendungen 1

In AW 1 (Anwendungen 1) ging es um die allgemeine Einarbeitung in die Thematik Simulation und Evaluation von TTEthernet im Automobilkontext (vgl. [Dieumo Kenfack, 2010b](#)). Dafür wurde zuerst ein Überblick über die momentan eingesetzten Techniken zur Vernetzung von Kfz-Komponenten und deren Einschränkungen (viele Bussysteme, keine deterministische Datenübertragung, zu schmale Bandbreite, etc.) gegeben. Danach folgte die Motivation für den Einsatz von Ethernet. Anschließend wurden die Anforderungen vorgestellt, die an (zukünftige) Kraftfahrzeug-Netzwerke gestellt werden. Dann wurde auf vorhandene Echtzeit-Ethernet Ansätze insbesondere die TTEthernet-Technik eingegangen. Schließlich wurden die Umgebung (OMNeT++(vgl. [OMNeT++ Community, b](#))) und das Framework (INET-Framework (vgl. [OMNeT++ Community, a](#))) zur Entwicklung des TTEthernet-Simulators vorgestellt. Man konnte aus AW 1 herausstellen, dass neue Ansätze zur Vernetzung von Kraftfahrzeug-Komponenten benötigt werden. TTEthernet stellt einen guten Kandidaten dar. Es gab allerdings noch keine Arbeiten, die den Einsatz dieser Technik im Automobilkontext demonstrierte. So wurde festgelegt, dass zur Analyse und Bewerten dieser neuen Technik eine realistische Simulationsumgebung unerlässlich ist.

2.2 Anwendungen 2

Die Planung, Generierung und Analyse von charakteristischem bzw. realistischem Traffic ist für die Ermittlung von charakteristischen Merkmalen (Nachrichtenlaufzeiten, Variabilität der Nachrichtenlaufzeiten, noch zur Verfügung stehende Bandbreite, etc.) eines Netzwerks von großer Bedeutung. So wurde in AW 2 (Anwendungen 2) (vgl. [Dieumo Kenfack, 2010a](#)) verwandte Methoden in diesem Zusammenhang vorgestellt. Zwei sich ergänzende Methoden wurden dargestellt. Die Benchmarking-Methodik nach [Bradner und McQuaid \(1999\)](#), womit Traffic generiert und charakteristische Merkmale eines Netzwerks ermittelt werden können. Diese definiert aber kein Verfahren, womit realistische bzw. spezifische Traffics (wie Video-, WWW-Traffics, etc.) in der Simulation generiert werden können. Diese Lücke kann mit mathematischen analytischen Traffic-Modellen gefüllt werden. Ein Beispiel hierfür sind sogenannte selbstähnliche Traffic-Modelle (vgl. [LELAND u. a., 1994](#)), welche das dynamische Verhalten des Ethernet-Traffics gut widerspiegeln können.

2.3 Projekt 1

Im Rahmen des Projekts 1 wurde der TTEthernet Protokollstack (siehe [Abbildung 3](#)) für OMNeT++ entwickelt (vgl. [Dieumo Kenfack, 2010c](#)). Dabei konnte man aufgrund des modularen und objektorientierten Einsatzes von OMNeT++/INET-Framework Teile des vorhandenen Ethernet-Modells wiederverwenden bzw. erweitern. Die physikalische Schicht und die MAC-Subschicht wurden ohne Änderung übernommen. Die LLC-Subschicht (Logical Link Control) wurde auf den TTEthernet-Dienst erweitert. Dieser besteht aus einer Nachrichten-Planung, einem Scheduler, einem Klassifikations-Modul und einem Synchronisations-Modul. Diese Module stellen den wesentlichen Unterschied zum Standard-Ethernet dar. Weiterhin wurde eine Auswahl der TTEthernet-API-Funktionen (vgl. [TTTech Computertechnik AG, 2008](#)) implementiert. Dies ermöglicht es, echte Applikationen in der Simulationsumgebung vor ihren Einsatz in echten Systemen zu entwickeln bzw. zu testen. Zum rudimentären Testen des TTEthernet-Protokollstacks wurde ein Beispielnetzwerk mit vier Endsystemen und einem Switch eingerichtet. Das Ergebnis zeigte dass, um ein verlustfreies Empfangen und eine minimale Verzögerung von Time-Triggered-Nachrichten zu erreichen, die Applikationen mit dem Scheduling bzw. der LLC-Subschicht synchronisiert werden sollen. Dies wurde anhand sogenannter Applikations-Tasks realisiert, die kurz vor den entsprechenden Nachrichten aufgerufen werden. Weiterhin konnte man feststellen, dass mit einer durchdachten Nachrichten-Planung genug Best-Effort-Nachrichten weitergeleitet werden können. Das Projekt 1 förderte die Entwicklung des TTEthernet-Simulators (vgl. [CoRE RG, b](#)), welcher in der Abschlussarbeit verwendet wird. Es wurde ein Paper (vgl. [Steinbach u. a., 2011](#)) zu den in OMNeT++ durchgeführten Erweiterungen bei der Entwicklung des TTEthernet-Simulators eingereicht und angenommen.

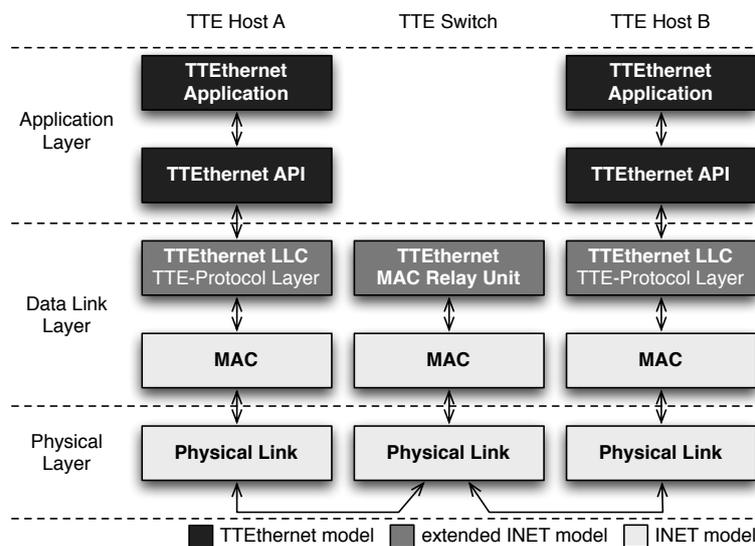


Abbildung 3: TTEthernet-Netzwerk Protokollstack

2.4 Projekt 2

Die Hauptziele des Projekt 2 sind, die Integration des TTEthernet-Konfigurations-Metamodells und von charakteristischen Traffic-Profilen im TTEthernet Protokollstack für OMNeT++. Das Letztere soll es ermöglichen realistische Szenarien in der Simulation durchführen zu können. Bei der Realisierung soll auf die in AW 2 (siehe Abschnitt 2.2) untersuchten Methoden gestützt werden. Das TTEthernet-Konfigurations- oder Netzwerk-Metamodell ist ein von TT-Tech entwickeltes XSD (XML Schema) (vgl. [TTTech Computertechnik AG](#)) basierend auf dem Ecore-Format des Eclipse Modeling Framework Project (EMF) (vgl. [Eclipse Foundation, a](#)) zur Modellierung bzw. Beschreibung von TTEthernet-Netzwerken. Dieses ist vergleichbar mit dem FIBEX-XSD (Field Bus Exchange Format), welches zur Modellieren bzw. Beschreibung von LIN-, CAN- und FlexRay-Netzwerken dient und von ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) entwickelt wurde (vgl. [FIBEX Expert Group, 2009](#)). Die Integration des TTEthernet Konfigurationsmodells soll es möglich machen, die für echte Systeme entworfenen Konfigurationen in der Simulation einzusetzen und umgekehrt. Ein weiteres Ziel des Projekt 2, welches auch für die Abschlussarbeit wichtig ist, ist das Studieren und Implementieren systematischer Analysemethoden der Simulationsergebnisse auf der Applikationsschicht. Mit diesen Zielen soll das Fundament (die Simulationsumgebung) für die Bewertung und Analyse von TTEthernet Netzwerken gestärkt werden. Die Ergebnisse des Projekts 2 können noch nicht vorgestellt werden, da dieses parallel zum Seminar stattfindet und die Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind.

3 Masterarbeit

In diesem Kapitel werden die Architektur, das Vorgehen und die Risiken der Masterarbeit dargestellt.

3.1 Verwandte Arbeit: Vergleich von FlexRay und TTEthernet

In [Steinbach u. a. \(2010\)](#), wurde FlexRay und Time-Triggered Ethernet auf Basis eines mathematischen Modells zum Vergleich herangezogen. Die Arbeit demonstriert, dass es möglich ist, mindestens die gleiche Menge an Daten mit TTEthernet übertragen zu können, die ein voll ausgelastetes FlexRay-System bewältigen kann. Weiterhin wurde dabei Gemeinsamkeiten der beiden Protokolle, Unterschiede der Komponenten und Nachrichten-Übertragungstechnik herausgearbeitet sowie Metriken wie Latenz und Jitter in Betracht gezogen. Tabelle 1 gibt hierüber einen Überblick. Zudem ist diese Arbeit ([Steinbach u. a. \(2010\)](#)) ein Indiz für die Machbarkeit der Abschlussarbeit.

Tabelle 1: Übersicht Vergleich TTEthernet und FlexRay

	FlexRay	TTEthernet
Protokoll	Time-Triggered- und Event-Triggered-Traffic, Zyklen, Zeitslots, Synchronisation, Scheduling	
Komponenten	Bus, Sternkopplern	Switches
Latenz	Abhängig von Signallaufzeit	Abhängig von Signallaufzeit + Verzögerungen im Switch
Jitter	Fast Konstant	< 10 μ s
Kommunikation	Broadcast	Unicast-, Multi und Broadcast
Bandbreite	10/20Mbit/s	100/1000Mbit/s
Kommunikations-Richtung	Halb-Duplex	Full-Duplex

3.2 Anforderungen an die Migrationstrategien

Bei der Abbildung des Quell-Netzwerkmodells (FlexRay) auf das Ziel-Netzwerkmodell (TTEthernet) sollen folgende Entitäten beibehalten werden: Alle physikalischen Verbindungen (jedoch nicht die Topologie), logische Verbindungen, Einstellungsparameter (sofern möglich), Nachrichten- und Task-Planung. Weiterhin soll die Einhaltung der Zeitanforderungen, insbesondere der Nachrichtenlaufzeiten (Latenz) und der Variabilität dieser (Jitter), überprüft werden.

3.3 Architektur

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Komponenten (Module, Spezifikationen, Dateien, etc.) für die Entwicklung der Migrationsstrategien dargelegt (siehe Abbildung 4).

3.3.1 Komponenten der FlexRay-Designs- und Simulations-Umgebung

Das Beherrschen von vorhandenen FlexRay-Systemen ist für den Erfolg der Entwicklung der Migrationsstrategien unabdingbar. Dies kann erreicht werden, indem FlexRay-Netzwerke entworfen, simuliert und analysiert werden. Der Entwurf von Automobil-Netzwerken bzw. FlexRay-Netzwerken wird in der Regel über einen Systemdesigner (GUI-Tool) durchgeführt. Dieser benötigt ein Metamodell (.FIBEX-XSD (vgl. [FIBEX Expert Group, 2009](#))) des Netzwerks, um zu überprüfen, ob der Ingenieur das System konform zum Metamodell designed. Der Systemdesigner generiert aus dem graphischen Modell ein zum Metamodell (.FIBEX-XSD) konformes XML-Netzwerkmodell. Weiterhin werden über den Systemdesigner die textuelle Beschreibung der Systemanforderungen eingeben, sodass eine entsprechende Systemanforderungs-XML-Datei generiert werden kann.

In der Netzwerkmodell-XML-Datei wird das gesamte Netzwerk abgebildet. Diese beinhaltet alle Teilnehmer des Netzwerks, alle physikalischen und logischen Verbindungen, alle Nachrichten inklusive Synchronisations-Nachrichten und die zugehörigen Sender und Empfänger, Traffic-Profile und alle Routinginformationen. Die Simulationsumgebung liest das Netzwerkmodell ein und generiert aus den in ihm enthaltenen Informationen den Code für die Simulation. Bei der Analyse der Simulationsergebnisse werden die Systemanforderungen (.XML) in Betracht gezogen, um zu überprüfen, ob das Netzwerkmodell diese erfüllt.

3.3.2 Komponenten der Migrationstrategien

Die Migrationsstrategieumgebung besteht aus zwei wesentlichen Komponenten. Die Übersetzungsregeln und der FlexRay zu TTEthernet Übersetzer (oder nur Übersetzer). Das Erstere definiert, welche Quellelemente auf welche Zielelemente abgebildet werden können. Das Festlegen der Übersetzungsregeln ist der interessante und wissenschaftliche Teil der Arbeit. Um dies zu realisieren, ist die Beherrschung der FlexRay und der TTEthernet-Spezifikation sowie Erfahrungen bei der Modellierung beider Protokolle gefordert. Es ist wichtig, dass die getroffenen Entscheidungen beim Festlegen der Übersetzungsregeln argumentiert werden. Der Übersetzer erzeugt aus dem FlexRay-Netzwerkmodell das TTEthernet-Netzwerkmodell anhand einer Elemente-Mappingstabelle, welche anhand der festgelegten Übersetzungsregeln erstellt wird. Darüber hinaus benötigt der Übersetzer das TTEthernet-Netzwerkmetamodell (.ecore

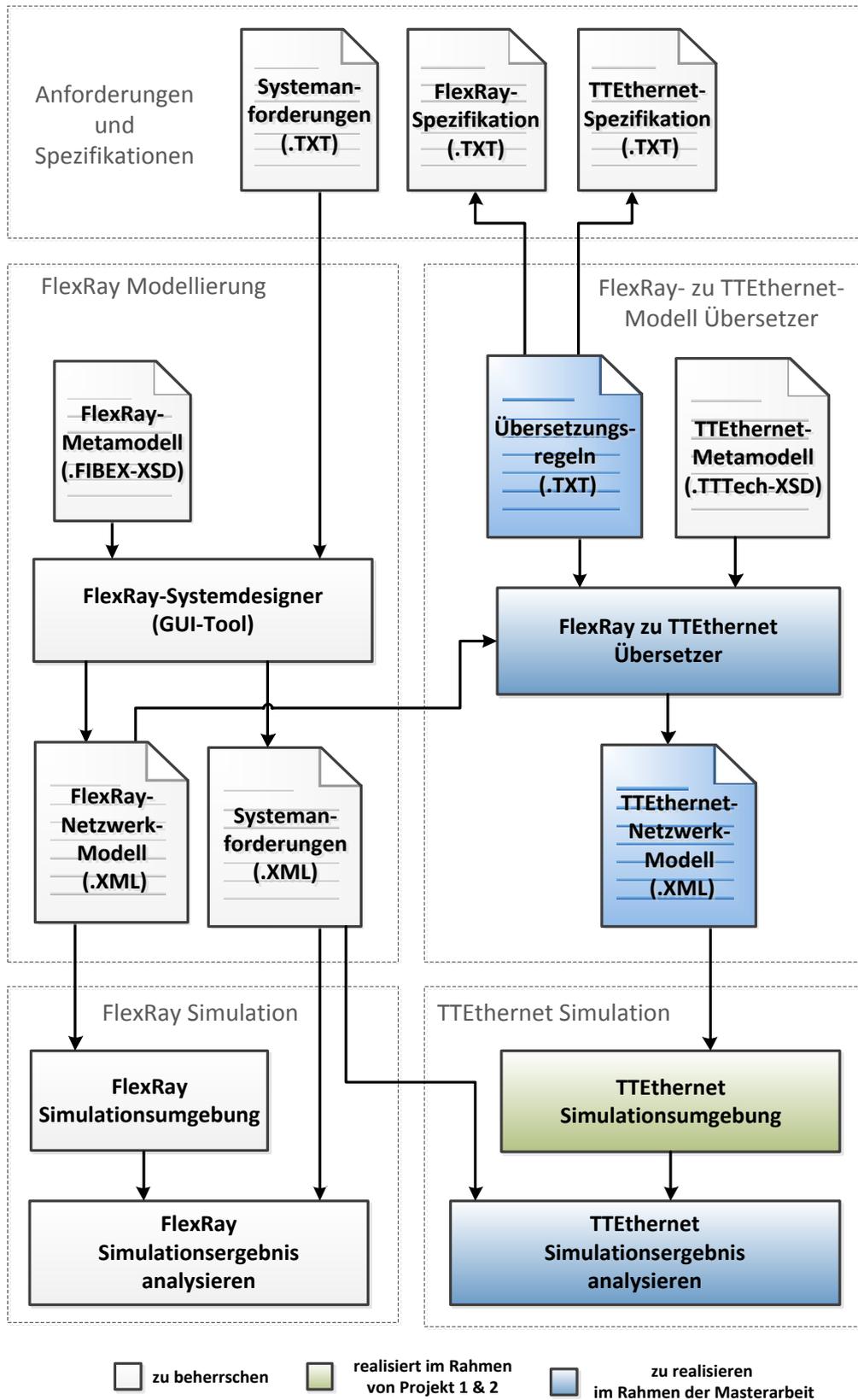


Abbildung 4: Architektur

(vgl. [Eclipse Foundation, b](#))), um ein konformes TTEthernet-Netzwerkmodell (.XML) herzustellen. Dieses wird in der TTEthernet-Simulationsumgebung eingegeben, sodass diese den Code für die Simulation generieren kann. Bei der Analyse der Simulationsergebnisse werden die für das FlexRay-System verwendete Systemanforderungen (.XML) in Betracht gezogen. Somit wird überprüft, ob das Ziel-Netzwerkmodell die ursprünglichen Systemanforderungen erfüllt.

3.4 Vorgehen

Dieser Abschnitt beschreibt das anvisierte Vorgehen und die Aufgaben während der Abschlussarbeit.

„Durchforsten“ von FlexRay: Die Beherrschung von FlexRay ist für die Entwicklung der Migrationsstrategien unbedingt notwendig. Hierfür müssen die FlexRay-Spezifikationen durchgearbeitet werden. Die für die Arbeit wichtigen FlexRay-Spezifikationen sind: die „FlexRay Communications System Protocol Specification Version 2.1 Revision A“ (vgl. [FlexRay Consortium, 2005b](#)) und „FlexRay Communications System Electrical Physical Layer Specification, v2.1 Revision A“ (vgl. [FlexRay Consortium, 2005a](#)).

Design und Simulation von FlexRay-Netzwerken: Dadurch werden nicht nur weitere tief gehende FlexRay-Kenntnisse sondern auch Praxiserfahrungen im Bereich Modellierung, Simulation und Analyse von Automobilkommunikationssystemen gewonnen. In dieser Phase sollen typische Kraftfahrzeugmodelle erstellt werden. Man könnte sich auch auf vorhandene getestete Automobil-Netzwerkmodelle stützen. Dafür wird auf eine Zusammenarbeit mit Partnern aus der Automobilindustrie gesetzt. Die FlexRay-Werkzeugkette (Designer und Simulator) soll nicht im Rahmen der Arbeit entwickelt werden. Allerdings eine Bestehende ausgewählt werden. Beispiel Kandidaten hierfür sind: der FlexRay Network Designer (vgl. [Vector Informatik, b](#)) und das CANoe.FlexRay-Tool (Simulator) (vgl. [Vector Informatik, a](#)) von Vector Informatik und der EB tresos Designer (vgl. [Elektrobit, b](#)) und EB tresos Busmirror (Emulator) (vgl. [Elektrobit, a](#)) von Elektrobit.

„Durchforsten“ von TTEthernet: (In Rahmen der Vorarbeiten Realisiert)

Design und Simulation von TTEthernet-Netzwerken: (In Rahmen der Vorarbeiten Realisiert)

Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen TTEthernet und FlexRay herausarbeiten: In [Steinbach u. a. \(2010\)](#) wurde auf dieses Thema bereits eingegangen, dieses soll in Hinsicht auf das Designen komplettiert werden. Es wurde zum Beispiel Themen wie Parametereinstellung, Nachrichten-Klassen, Synchronisation-Komponenten und -Nachrichten, etc. nicht tief gehend behandelt.

Übersetzungsregeln festlegen: In diesem Teil der Abschlussarbeit sollen die FlexRay zu TTEthernet Übersetzungsregeln festgelegt werden. Die dabei getroffenen Entscheidungen sollen argumentiert werden. Grundlage hierfür sind die Spezifikation der beiden Protokolle und deren erarbeitete Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Entwicklung des FlexRay zu TTEthernet Übersetzers: Nachdem die Übersetzungsregeln festgelegt worden sind, soll der FlexRay zu TTEthernet Übersetzer entwickelt werden. Hierfür soll eine FlexRay zu TTEthernet Elemente-Mappingtabelle und ein Parser, welcher basierend auf der Mappingtabelle und einem FlexRay-Netzwerkmodell das TTEthernet-Netzwerkmodell erstellt. Erwähnenswert ist, dass es mehrere vergleichbare TTEthernet-Netzwerkmodelle geben kann. In diesem Fall soll anhand geeigneter Methoden, wie Best-Practice, Design-Pattern, Modell-Netzwerke ein passendes Modell gewählt werden. Das erstellte TTEthernet-Netzwerkmodell soll konform zum TTEthernet-Netzwerkmetamodell sein.

Simulation des erstellten TTEthernet-Netzwerkmodells: Das erstellte TTEthernet-Netzwerkmodell soll in die Simulationsumgebung eingegeben werden. Diese generiert daraufhin den Code für die Simulation (Simulationsmodule, Konfigurationsobjekte, etc.). Dies ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe und wird nicht im Rahmen der Abschlussarbeit realisiert sondern des Projekts 2 (siehe Abschnitt 2.4) und der Masterarbeit von Till Steinbach (vgl. [Steinbach, 2011](#)).

Analyse und Bewertung der Simulationsergebnisse: Nur durch eine gründlich Analyse der Simulationsergebnisse können Schlüsse auf die festgelegten Übersetzungsmethoden gezogen werden. Eine wesentliche Aufgabe ist hierbei zu überprüfen, ob das TTEthernet-Netzwerkmodell die Zeitanforderungen (Latenz, Jitter) eingehalten hat. Ist es nicht der Fall, sollen die Gründe genannt und wenn möglich Gegenmaßnahmen angegeben werden. Weiterhin sollen die Simulationsergebnisse beider Systeme gegenübergestellt werden. So kann z. B. jeweils benutzte bzw. noch zur Verfügung stehende Bandbreite verglichen werden.

3.5 Risiken

Zu den Risiken gehören die Beherrschung der Komplexität von FlexRay in kurzer Zeit. Die Energie wurde bei den Vorarbeiten überwiegend auf TTEthernet konzentriert, da noch nicht bewusst war, dass FlexRay in die Abschlussarbeit einbezogen würde. Bei TTEthernet besteht die Gefahr, dass sich die Spezifikation noch ändert, da diese noch entworfen bzw. standardisiert wird. Dies würde dazu führen, dass die Arbeit nicht mehr standardkonform ist, jedoch bleiben die entwickelten und evaluierten Konzepte weiterhin verwertbar. Aufgrund dessen, dass ausschließlich im Rahmen der Simulation gearbeitet wird, besteht die Gefahr, dass die evaluierten Modelle von realen Systemen stark abweichen. Ein weiteres Risiko besteht darin, dass sich einige FlexRay-Elemente nicht abbilden lassen könnten. Alle genannten Risiken können jedoch als gering eingestuft werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Zusammenfassung und der Ausblick der Arbeit gegeben.

4.1 Zusammenfassung

Durch den kontinuierlichen Anstieg eingesetzter elektrischer und elektronischer Systeme, steigen die Anforderungen an Automobil-Kommunikationssysteme immer weiter an. Von zukünftiger Automobil-Kommunikationssysteme werden zuverlässige Datenübertragung, geringere Latenzen und Jitter, Fehlertoleranz, hohe Bandbreite, etc. gefordert. Die momentan eingesetzten Techniken werden diesen Anforderungen nicht gerecht. So werden neue Ansätze benötigt. Es gibt momentan zwei vielversprechende vergleichbare, konkurrierende Techniken. FlexRay und TTEthernet. TTEthernet hat aufgrund dessen, dass es auf Ethernet basiert weitere Vorteile gegenüber FlexRay. Beispiel hierfür sind: mehr Bandbreite, preiswert, seit über 30 Jahren auf dem Markt, bessere Übertragungstechnik (Full-Duplex, Multicast, etc.). So ist der Wechsel von FlexRay zu TTEthernet lohnenswert. Da FlexRay und TTEthernet auf den gleichen Prinzipien beruhen kann viel aus vorhandenen FlexRay-Projekten bzw. -Designentscheidungen im neuen TTEthernet-Systemen wiederverwendet werden. Hierfür sind Migrationsstrategien bezüglich des Designs unerlässlich. Diese sollen im Rahmen der Abschlussarbeit entwickelt werden. Die wesentlichen Aufgaben dabei sind: das Herausarbeiten der Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen FlexRay und TTEthernet, das Festlegen der Übersetzungsregeln und die Implementierung des FlexRay zu TTEthernet Übersetzers. Schließlich sollen die Ergebnisse der Simulation des vom Übersetzer erzeugten TTEthernet-Netzwerkmodells analysiert und bewertet werden.

4.2 Ausblick

Die Migrationsstrategien werden ausschließlich in einer Simulationsumgebung evaluiert. Eine sicherlich spanende und interessante Arbeit wäre diese in einem echten System zu validieren. Durch Software-Migration kann die Entwicklungskosten und Zeit minimiert werden. Der Einsatz von einheitlichen Schnittstellen basierend auf einer Middleware wie AUTOSAR (vgl. [AUTOSAR Development Cooperation](#)) würde dieses erheblich erleichtern.

Eines der Hauptziele der CoRE Research Gruppe ([CoRE RG, a](#)) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg ist die allmähliche Konsolidierung der Bussysteme im Automobil durch Echtzeit-Ethernet basierende Vermittlungsinfrastrukturen. So sind sicherlich Themen wie Migration von CAN, MOST zu TTEthernet sowie LIN, CAN, MOST, FlexRay over TTEthernet von Interesse.

Literatur

- [AUDI AG, TTTech Automotive GmbH 2009] AUDI AG, TTTECH AUTOMOTIVE GMBH: *FlexRay-Based Optimization of Data Communication: Audi A8 - The Sportiest Sedan in the Luxury Class*. Dezember 2009. – URL <http://www.tttech-automotive.com/fileadmin/content/pdf/Audi-Casestudy/TTTech-Audi-Casestudy-A8.pdf>. – Zugriffsdatum: 2011-01-18
- [AUTOSAR Development Cooperation] AUTOSAR DEVELOPMENT COOPERATION: *AUTomotive Open System ARchitecture*. – URL <http://www.autosar.org>
- [BMW Deutschland] BMW DEUTSCHLAND: . – URL <http://www.bmw.de/de/de/index.html>. – Zugriffsdatum: 2011-02
- [Bradner und McQuaid 1999] BRADNER, S. ; MCQUAID, J.: *Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices / IETF*. März 1999 (2544). – RFC
- [CoRE RG a] CoRE RG: *Communication over Real-time Ethernet*. – URL <http://www.informatik.haw-hamburg.de/core.html>
- [CoRE RG b] CoRE RG: *TTE for INET*. – URL <http://www.informatik.haw-hamburg.de/tte4inet.html>
- [Dieumo Kenfack 2010a] DIEUMO KENFACK, Hermand: *Erzeugung von charakteristischen Last-Profilen zur simulationsgestützten Analyse von TTEthernet*. August 2010. – Anwendungen 1 Ausarbeitung
- [Dieumo Kenfack 2010b] DIEUMO KENFACK, Hermand: *Simulation von Time-Triggered Ethernet im Automobilkontext mit OMNeT++: Einführung*. Februar 2010. – Anwendungen 1 Ausarbeitung
- [Dieumo Kenfack 2010c] DIEUMO KENFACK, Hermand: *TTEthernet Protokollstack für OMNeT++*. November 2010. – Projekt 1 Bericht
- [Eclipse Foundation a] ECLIPSE FOUNDATION: *Eclipse Modeling Framework*. – URL <http://www.eclipse.org/modeling/emf/>. – Zugriffsdatum: 2011-02
- [Eclipse Foundation b] ECLIPSE FOUNDATION: *Eclipse Modeling Framework*. – URL <http://www.eclipse.org/modeling/emf/>. – Zugriffsdatum: 2011-01-29
- [Elektrobit a] ELEKTROBIT: *EB tresos Busmirror*. Elektrobit. – URL <http://www.eb-tresos-blog.com/solutions/tresos/flexray-can-cluster-emulation/>. – Zugriffsdatum: 2011-02

- [Elektrobit b] ELEKTROBIT: *EB tresos Designer*. Elektrobit. – URL <http://www.eb-tresos-blog.com/solutions/tresos/eb-tresos-designer/>. – Zugriffsdatum: 2011-02
- [FIBEX Expert Group 2009] FIBEX EXPERT GROUP: *Data Model for ECU Network Systems (Field Bus Data Exchange Format) / ASAM*. Januar 2009 (3.1). – Specification
- [FlexRay Consortium] FLEXRAY CONSORTIUM: *FlexRay*. – URL <http://flexray.com/>. – Zugriffsdatum: 2011-02-07
- [FlexRay Consortium 2005a] FLEXRAY CONSORTIUM: *FlexRay Communications System Electrical Physical Layer Specification / FlexRay Consortium*. Stuttgart, Dezember 2005 (2.1 Revision A). – Specification
- [FlexRay Consortium 2005b] FLEXRAY CONSORTIUM: *FlexRay Communications System Protocol Specification / FlexRay Consortium*. Stuttgart, Dezember 2005 (2.1 Revision A). – Specification
- [Fraunhofer ESK 2010] FRAUNHOFER ESK: *Mit Ethernet in die vernetzte Fahrzeugzukunft*. Fraunhofer ESK. März 2010. – URL http://www.esk.fraunhofer.de/content/dam/esk/de/documents/PDB_RTE_dt.pdf. – Zugriffsdatum: 2011-02
- [LELAND u. a. 1994] LELAND ; E., WILL ; S., MURAD ; TAQQU ; WILLINGER, WALTER ; WILSON, DANIEL V.: *On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version)*. In: *IEEE/ACM Transactions on Networking*. Piscataway, New Jersey : IEEE Press, Januar 1994
- [LIN-Administration] LIN-ADMINISTRATION: *Local Interconnect Network*. – URL <http://www.lin-subbus.org/>. – Zugriffsdatum: 2011-01-06
- [MOST Cooperation] MOST COOPERATION: *Media Oriented Systems Transport*. – URL <http://www.mostcooperation.com/>. – Zugriffsdatum: 2011-01-06
- [OMNeT++ Community a] OMNET++ COMMUNITY: *INET Framework for OMNeT++ 4.0*. – URL <http://inet.omnetpp.org/>
- [OMNeT++ Community b] OMNET++ COMMUNITY: *OMNeT++ 4.0*. – URL <http://www.omnetpp.org>
- [Rausch 2008] RAUSCH, Mathias: *FlexRay: Grundlagen, Funktionsweise, Anwendung*. München : Carl Hanser Verlag, 2008. – ISBN 978-3-446-41249-1
- [Reif 2011] REIF, Konrad: *Bosch Autoelektrik und Autoelektronik: Bordnetze, Sensoren und elektronische Systeme*. Wiesbaden : Vieweg und Teubner, 2011. – ISBN 978-3-8348-1274-2
- [Robert Bosch GmbH] ROBERT BOSCH GMBH: *Controller Area Network*. – URL <http://www.semiconductors.bosch.de/>. – Zugriffsdatum: 2011-02-03

- [Schwager 2010] SCHWAGER, Jürgen: *Informationsportal für Echtzeit-Ethernet in der Industrieautomation*. Hochschule Reutlingen. März 2010. – URL <http://www.pdv.reutlingen-university.de/rte/>
- [Steinbach 2011] STEINBACH, Till: *Echtzeit-Ethernet für Anwendungen im Automobil: Metriken und deren simulationsbasierte Evaluierung am Beispiel von TTEthernet*. Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Masterthesis, Februar 2011. – Eingereicht zur Erlangung des Master-Grades
- [Steinbach u. a. 2011] STEINBACH, Till ; DIEUMO KENFACK, Hermand ; KORF, Franz ; SCHMIDT, Thomas: An Extension of the OMNeT++ INET Framework for Simulating Real-time Ethernet with High Accuracy. In: *Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, 2011. – to appear
- [Steinbach u. a. 2010] STEINBACH, Till ; KORF, Franz ; SCHMIDT, Thomas C.: Comparing Time-Triggered Ethernet with FlexRay: An Evaluation of Competing Approaches to Real-time for In-Vehicle Networks. In: *8th IEEE Intern. Workshop on Factory Communication Systems*. Piscataway, New Jersey : IEEE Press, Mai 2010, S. 199–202
- [Steiner 2008] STEINER, Wilfried: *TTEthernet Specification*. TTTech Computertechnik AG. November 2008. – URL <http://www.tttech.com>
- [TTTech Computertechnik AG] TTTECH COMPUTERTECHNIK AG: *TTEthernet Network Configuration Documentation*. TTTech Computertechnik AG. – URL <http://www.tttech.com>
- [TTTech Computertechnik AG 2008] TTTECH COMPUTERTECHNIK AG: *TTEthernet Application Programming Interface*. TTTech Computertechnik AG. Dezember 2008. – URL <http://www.tttech.com>
- [Vector Informatik a] VECTOR INFORMATIK: *CANoe.FlexRay*. Vektor Informatik. – URL http://www.vector.com/vi_canoe_flexray_de,,2816.html. – Zugriffsdatum: 2011-02
- [Vector Informatik b] VECTOR INFORMATIK: *FlexRay Network Designer* . Vektor Informatik. – URL http://www.vector.com/vi_networkdesigner_flexray_de.html. – Zugriffsdatum: 2011-02
- [Wolfgang Pree 2007] WOLFGANG PREE: *Softwareentwicklung für verteilte Systeme im Automobil*. Universität Salzburg: Embedded Software and Systems Research Center. 2007. – URL http://www.softwareresearch.net/fileadmin/src/docs/teaching/SS07/VS/SW_Entwicklung_fuer_verteilte_Systeme_im_Automobil.pdf. – Zugriffsdatum: 2011-02-20