



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Ausarbeitung - Anwendungen 1 - WS 11/12**

Fabian Kempf

Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im  
Automobil

**Fabian Kempf**

**Thema der Ausarbeitung - Anwendungen 1 - WS 11/12**

Evaluation von intelligenten Backbonesystemen im Automobil

**Stichworte**

Echtzeit Ethernet, TTEthernet, Bussysteme, Automotive Anwendungen, Evaluation

**Kurzzusammenfassung**

Backbonesysteme im Automobil werden immer komplexer. Um die immer größer werdende Anzahl von elektronischen Steuereinheiten miteinander zu verknüpfen, ist eine Evaluierung von neuen Designentscheidungen notwendig. Dies kann in Form einer Simulation geschehen, in der verschiedene Modelle getestet und verglichen werden. Diese Arbeit erklärt die Motivation für den Einsatz einer Echtzeitethernet-Technologie im Automobil und die grundlegenden Bussysteme, mit denen derzeit ein Backbone realisiert wird. Dazu zeigt ein Beispieldesign einen Ansatz, um Ethernet im Fahrzeug zu platzieren.

**Betreuende Prüfer**

Prof. Dr. Kai von Luck, Prof. Dr. Gunter Klemke

**Betreuer**

Prof. Dr. Franz Korf

**Title of the paper**

Evaluation of intelligent Backbonesystems in automobiles

**Keywords**

Real-time Ethernet, TTEthernet, Bussystems, Automotive Applications, Evaluation

**Abstract**

Backbonesystems in automobiles become more and more complex. An evaluation of new design decisions is essential to link the growing number of electrical control moduls. This can be done with a simulation in which different kinds of models will be tested and compared. Moreover this paper explains the motivation to use real-time ethernet in automobiles and basic bussystems. Currently a backbone is realized with this systems. An example of a design shows an approach to place ethernet into a vehicle.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Problemstellung und Zielsetzung . . . . .	3
1.3	Struktur und Schwerpunkte dieser Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Technologieübersicht Bussysteme</b>	<b>4</b>
2.1	CAN-Bus . . . . .	4
2.2	FlexRay . . . . .	5
2.3	Time-triggered Ethernet . . . . .	6
2.3.1	Time-Triggered-Traffic (TT) . . . . .	6
2.3.2	Rate-Constrained-Traffic (RC) . . . . .	6
2.3.3	Best-Effort-Traffic (BE) . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Backbone-Architektur</b>	<b>8</b>
3.1	Netzübergänge . . . . .	8
3.2	Beispielhaftes Backbone . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>11</b>
4.1	Ausblick und Risikoabschätzung . . . . .	11
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>12</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Der Leistungszuwachs der IT in einem Automobil ist durch einen ständig wachsenden Prozess gekennzeichnet. Bis zu 70 dedizierte Kleincomputer, auch Steuergeräte genannt, überwachen Funktionen des Fahrzeugs und unterstützen durch Fahrerassistenzsysteme (vgl. Saad (2003), S.03). Diese Informationssysteme werden in Zukunft die Umgebung noch genauer wahrnehmen, analysieren und in ansprechender Form der fahrzeugführenden Person darstellen, um die Fahrt angenehmer und vor allem sicherer zu gestalten. Somit werden immer weiterreichende Anforderungen an das dahinterliegende Bordnetz gestellt, das die unterschiedlichen Sensoren, Aktoren und Systeme miteinander verbindet und um die Daten zuverlässig weiterzuleiten. Im Automobil haben sich für unterschiedliche Anforderungen verschiedene Bussysteme bezüglich Kosten, Leistungsfähigkeit und Echtzeitfähigkeit durchgesetzt. Tabelle 1.1 gibt über verschiedene Bussysteme einen Überblick. Hierbei findet eine Unterscheidung von LIN, CAN und FlexRay, die als Regel- und Steuerungsnetzwerke eingesetzt werden und Multimedianezwerken, die durch ein MOST-Bussystem verbunden werden, statt (vgl. Reimann u. a. (2010)).

Bussystem	Anwendungsfeld	Datenrate
Local Interconnect Network(LIN)	Lokale Komponenten und Sensoren	20 Kbit/s
Controller Area Network (CAN)	Antrieb, Komfort und Diagnose	500Kbit/s
FlexRay	Backbone für andere Bussysteme	10 Mbit/s
Media Oriented Systems Transport (MOST)	Entertainment	22.5Mbit/s

**Tabelle 1.1:** Verschiedene Bussysteme im Automobil und deren Anwendungsgebiete

Dabei gilt es, unterschiedliche Güteklassen für einzelne Steuergeräte bereitzuhalten. In Zukunft wird der Bandbreite im Automobil eine wesentlich größere Rolle zugesprochen. Während zum einen die Übertragungsgeschwindigkeit bei Entertainmentsystemen wie Videostreams eine Rolle spielt, gibt es auf der anderen Seite Anforderungen an die Aktualität der Daten. Insbesondere bei sicherheitskritischen Technologien müssen harte Echtzeitanforderungen eingehalten werden. Als Beispiel lässt sich "X-by-Wire" nennen. Hierbei handelt es sich um eine

Technologie, bei der Steuerbefehle über Datenleitungen übertragen werden und somit die mechanische Übertragung ersetzt wird. Hierbei ist zu gewährleisten, dass die Kommunikation verzögerungsfrei und garantierbar ist.

Durch die große Komplexität von Netzwerken ist es schwierig, von außen zu verstehen, was in den einzelnen Komponenten vorgeht. Meistens weisen die Komponenten ein sogenanntes Blackboxverhalten auf, das eine Überprüfung von Konfigurations- und Hardwareeinstellungen schwierig gestaltet. Um eine Sicht in die Komponenten zu erlangen, versucht man das Verhalten in einer Simulation realitätsnah abzubilden, damit Rückschlüsse gezogen werden können. Außerdem bietet die Simulation eine Möglichkeit, Netzwerke kostengünstig zu erstellen, Designalternativen zu bilden und zu analysieren.

## Warum Ethernet als Backbone im Automobil

Aufgrund der erwähnten Steigerung der Anzahl von Anwendungen im Automobil werden neue Anforderungen an das Fahrzeugnetzwerk deutlich. Die Kommunikationsbeziehungen zwischen den einzelnen Systemen werden komplexer, so dass von außen betrachtet ein einzelnes verteiltes System entsteht (vgl. Tanenbaum und van Steen (2007)). Deshalb sucht man nach neuen Bussystemen, die als sichere Alternative im Automobilbackbone eingesetzt werden können und die ein garantiertes, deterministisches Nachrichtenverhalten tragen. Ethernet bezeichnet den am weitest verbreiteten Standard für lokale Netze (vgl. Institute of Electrical and Electronics Engineers (2005)), denn sowohl die technische Planung, als auch die Instandhaltung sind vergleichsweise kostengünstig im Gegensatz zu anderen Bussystemen (vgl. GE Fanuc Intelligent Platforms (2009)). In der modernen Avionik, also den modernen elektronischen Flugzeugsystemen, wird ein ethernetbasierter Ansatz gewählt, um die digitale Flugsteuerung "Fly-By-Wire" zu realisieren. Dieses wird über das Avionics Full-Duplex Switched Ethernet (AFDX) Protokoll geregelt, das ein geschlossenes Computernetzwerk und eine Erweiterung zum klassischen Datenbus darstellt (Bob Pickles (2006)).

Um eine Echtzeit-Kommunikation im Automobil zu ermöglichen, die vorbestimmte Zeiten einhält und eine Datenkontrolle besitzt, bietet Time-triggered Ethernet (TTE) (vgl. Steiner (2008)) eine Erweiterung zum Standard-Ethernet. TTE definiert drei verschiedene Nachrichtenklassen, die über das gleiche Netzwerk mit unterschiedlicher Priorität laufen (vgl. Mikolasek u. a. (2008)). Um die Skalierbarkeit nach außen hin zu gewähren, dürfen neben normalen Ethernetframes auch zeit- beziehungsweise bandbreitengesteuerte Nachrichten versendet werden. Eine Besonderheit hierbei ist, dass das Protokoll in einem AFDX-Netzwerk laufen kann, weil es zu diesem konform ist.

## 1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Um ein Backbonenetzwerk im Automobil mit Hilfe eines ethernetbasierten Ansatzes zu wählen, ist es notwendig zu verstehen, wie das Bordnetz derzeit realisiert wird. Dazu sind verschiedene realistische Designs mit bisherigen Bussystemen notwendig, die zunächst analysiert und anschließend miteinander verglichen werden. Dabei wird als erstes auf ein Design mit CAN- und FlexRay-Bussystemen zurückgegriffen. Designalternativen mit TTEthernet finden daraufhin einen Vergleich. Dabei ist es nicht notwendig alle vorhandenen Bussysteme auszutauschen, sondern ein Backbone durch TTEthernet zu schaffen, das eine Ergänzung darstellt. Um ein geeignetes Backbonesystem zu evaluieren, ist es notwendig, zunächst eine parallele Simulation der CAN-, FlexRay- und TTEthernet-Protokolle zu ermöglichen. Gateways stellen dabei Netzübergänge zwischen den einzelnen Protokollen dar. Somit können verschiedene Designalternativen veranschaulicht und evaluiert werden. Zudem soll eine flache Netzstruktur mit reinem Ethernetverkehr den Designarchitekturen gegenübergestellt werden.

## 1.3 Struktur und Schwerpunkte dieser Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Einstieg in das Thema Backbonesystem im Automobil zu geben. Dazu ist es wichtig, die verschiedenen Technologien, die als Bussysteme eingesetzt werden, zu erarbeiten und mit einer Realtime-Ethernet-Lösung zu ergänzen.

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Technologien verschiedener Bussysteme, die in der Simulation eingesetzt werden sollen.

Kapitel 3 betrachtet Anforderungen an ein Backbonesystem im Automobil. Dazu wird ein beispielhaftes Netzwerk mit und ohne Ethernetbackbone gezeigt.

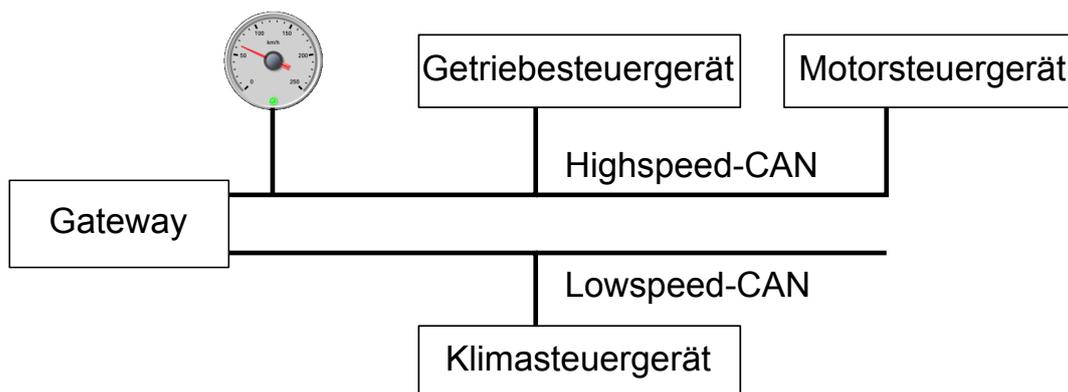
Kapitel 4 zieht ein Fazit und gibt eine Risikoabschätzung sowie einen Ausblick auf die nächsten Schritte, um eine Evaluierung eines intelligenten Backbones durchzuführen.

## 2 Technologieübersicht Bussysteme

Im folgenden Kapitel werden die verbreiteten Busarchitekturen im Automobil vorgestellt, mit denen ein Backbonesystem in der Simulation umgesetzt werden soll. Elektronische Steuergeräte (ECU), die nach dem Eingabe-Verarbeitungs-Ausgabe Prinzip arbeiten, werden über die verschiedenen Bussysteme angesteuert.

### 2.1 CAN-Bus

Der "Controller Area Network - Bus" (CAN-Bus) ist das verbreitetste Bussystem im Automobil. Das seit 1981 von Bosch und Intel entwickelte Kommunikationsprotokoll dient zur Datenkommunikation zwischen Steuergeräten im Fahrzeug. Es haben sich drei verschiedene CAN-Bussysteme entwickelt. Der Highspeed-CAN überträgt mit einer Brutto-Datenrate von 500 kBit/s und wird zur Vernetzung von Steuergeräten des Antriebsstranges genutzt. Eine langsamere Variante, der Lowspeed-CAN, verbindet mit 125 KBit/s verschiedene Komfortfunktionen wie die Klimaanlage. Abbildung 2.1 zeigt ein Beispiel, wie die Kommunikation mit diesen beiden Bussystemen funktionieren kann.



**Abbildung 2.1:** Die verschiedenen Steuergeräte sind mit Highspeed-CAN und Lowspeed-CAN miteinander verbunden. Ein Gateway verbindet die beiden Bussysteme. (Marscholik und Subke (2007), 39)

Das Getriebesteuergerät, das Motorsteuergerät und die Anzeige kommunizieren mit dem Gateway zusammen über den Highspeed-CAN. Auf der Anzeige wird beispielsweise die Geschwindigkeit dargestellt. Über das Gateway können Informationen wie die Kühlmitteltemperatur an den Lowspeed-CAN weitergegeben werden, wodurch das Klimasteuergerät benötigte Informationen erhält.

Neben den beiden genannten Busvarianten gibt es noch einen Single-Wire CAN, der für Steuergeräte mit niedriger Sicherheitsrelevanz und einer Datenrate von 16 kBit/s entwickelt wurde (vgl. Marscholik und Subke (2007)).

Um dem CAN-Bus ein deterministisches Verhalten zu verleihen, wurde der Time-triggered CAN-Bus (TTCAN) entwickelt. Der CAN-Bus setzt auf einem Arbitrationsprinzip auf. Das heißt, ein hoch priorisierter Sender kann angeschlossene Steuergeräte mit niedrigeren Prioritäten blockieren. Um dies zu verhindern, gibt es beim TTCAN Zeitslots, die jeweils einem Master zugeteilt werden. Dazu findet eine Uhrensynchronisation zwischen den teilnehmenden Systemen statt, wodurch auf einer höheren Protokollebene eine Echtzeitsteuerung erreicht wird.

## 2.2 FlexRay

Die wesentlichen Anforderungen an die Technologien der Datenkommunikation bei X-By-Wire-Systemen sind Determinismus, Fehlertoleranz, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und hohe Datenraten (vgl. Marscholik und Subke (2011), S. 60). Um diese Anforderungen zu erfüllen wurde das FlexRay-Konsortium (FlexRay Consortium) von BMW, DaimlerChrysler, Motorola und Philips Semiconductor im Jahr 2000 gegründet. Die Funktionsweise des Protokolls besteht im Wesentlichen aus einer Kombination von ByteFlight und dem Time-triggered Protocol (TU Wien (1997)).

FlexRay bietet Bitraten mit bis zu 10 Mbit/s auf zwei physikalisch getrennten Kanälen und garantierten Latenzzeiten. Die Nachrichten werden in festen Zeitfenstern nach dem Time Division Multiple Access Multiplexverfahren (TDMA) übertragen. Hierbei wird jedem Busteilnehmer ein exklusiver, zyklisch auftretender Buszugang zugeteilt. Ein Zyklus wird dabei in einen statischen und einen dynamischen Abschnitt unterteilt. Im statischen Teil steht jeder Nachricht ein festes Zeitfenster zu. Stehen keine Daten zum Versenden an, wird ein sogenanntes "Nullframe" übertragen. Im dynamischen Teil steht jedem Busteilnehmer der Bus für eine kurze Zeit zur Verfügung ("Minislot"). Benötigen Frames mehr Zeit zur Übertragung, erweitert sich der Zeitslot, so dass darauf folgende Nachrichten nach hinten verschoben werden (vgl. Rausch (2007)).

## 2.3 Time-triggered Ethernet

Time-Triggered Ethernet (TTE) wird derzeit von TTEch weiterentwickelt. Ursprünglich entstand es in der Real-Time Systems Group (vgl. Real Time Systems Group (RTS)) an der TU Wien im Jahr 2004. TTEch übernahm die Konzepte von TTEthernet und bietet diese in erweiterter Form kommerziell in der Automobilindustrie an. Das Besondere an TTE ist, dass unterschiedliche Kommunikationsarten über den gleichen Nachrichtenkanal transportiert werden. Niedrig priorisierte Nachrichten können dabei neben sicherheitskritischem Frames übertragen werden, ohne die Echtzeitfähigkeit einzuschränken. Applikationen haben vordefinierte Zeitfenster. Switche leiten in diesen Zeitfenstern nur registrierte Frames weiter, um ein sicheres Übertragen zu gewährleisten. Nicht registrierte Anwendungen dürfen über das Ethernetprotokoll ebenfalls an Konversationen teilnehmen, was zu einer Skalierbarkeit nach außen hin führt. (vgl. Steiner (2008))

Im TTEthernet-Protokoll sind drei verschiedene Nachrichtenklassen definiert, die je nach Bedarf für verschiedene Aufgaben genutzt werden können.

### 2.3.1 Time-Triggered-Traffic (TT)

Time-Triggered Nachrichten haben die höchste Priorität im Netzwerk und werden nur zu vordefinierten Zeitpunkten weitergeleitet. Dazu ist es notwendig, die Uhren der teilnehmenden Systeme über Protocol Control Frames (PCF) zu synchronisieren. Hierdurch kann eine Genauigkeit von unter einer Mikrosekunde (vgl. Steiner (2008)) erreicht werden. Die Zeiten der einzelnen Kommunikationsstränge müssen offline konfiguriert werden, wodurch ein deterministisches System entsteht. Somit können TT-Nachrichten in zeitkritischen Systemen, die eine hohe Zuverlässigkeit erfordern, wie Brake- oder Steer-by Wire Systemen, eingesetzt werden.

### 2.3.2 Rate-Constrained-Traffic (RC)

Nachrichten aus der Rate-Constrained-Traffic Klasse sind an eine Traffic Shaping Funktion gebunden. Diese sorgt für Verzögerungen zwischen RC-Nachrichten mit selber Identifikationsnummer. In den TT-Ethernet Switchs findet eine Überprüfung der Verzögerung statt, sodass Nachrichten, die zu schnell nacheinander eintreffen, verworfen werden. In dieser Klasse steht somit jedem Endsystem eine gewisse Bandbreite zur Verfügung.

Der Rate-Constrained-Traffic-Modus unterstützt zu großen Teilen die Konzepte des AFDX-Protokolls. Das TTEthernet-Netzwerk leitet AFDX-Nachrichten der Spezifikation entsprechend weiter, wodurch diese beiden Bussysteme miteinander verbunden werden können.

### **2.3.3 Best-Effort-Traffic (BE)**

Nachrichten aus der Best-Effort-Traffic Klasse entsprechen den normalen Standard Ethernet-frames. Sie sind die am geringsten priorisierten Nachrichten von TTEthernet und nutzen die Restbandbreite des Busses. Nur wenn keine TT- oder RC-Nachrichten zum Versenden anstehen, werden BE-Frames transferiert. Zudem ist nicht gewährleistet, ob die Pakete das Zielsystem erreichen, weil Nachrichten nicht mit Sicherheit weitergeleitet werden. Durch die Abbildung von Ethernetverkehr auf Best-Effort Nachrichten ist ein fest konfiguriertes TTEthernet Netzwerk nach außen hin skalierbar, unter Beibehaltung der Echtzeitfähigkeit.

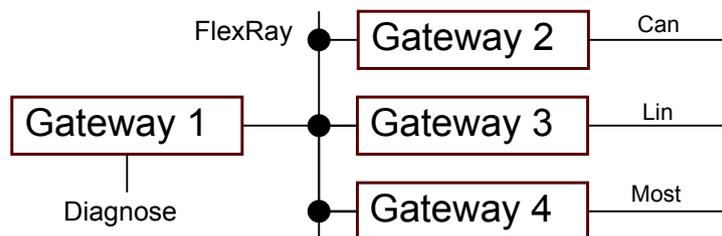
## 3 Backbone-Architektur

Um ein Backbone beschreiben, analysieren und bewerten zu können, ist es notwendig, einen netzübergreifenden Datenaustausch zwischen den Bussystemen zu gewährleisten. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, um unterschiedliche Systeme zu verbinden. Bei dem ersten Ansatz entsteht in Form eines einzelnen Gateways ein zentraler Zugriffspunkt. Hierbei gilt es jedoch, mehrere Probleme zu lösen. Ist das Gateway beschädigt, wird der gesamte Netzverkehr nicht mehr weitergeleitet, und das Netzwerk wird nutzlos. Außerdem entsteht ein komplexes System, das schwierige Wartbarkeit aufweist.

Ein besserer Ansatz ist die modulare Vernetzung von Bussystemen. Dies ist ein dezentralisierter Ansatz, bei dem es mehrere Zugriffspunkte zwischen den Bussystemen gibt. Durch diese Netzübergänge, auch Gateways genannt, entsteht eine Backbone-Architektur. Dabei ist die Skalierbarkeit des Netzwerkes von Vorteil. Außerdem bleibt die Variantenvielfalt gewahrt, weil Module unterschiedlich zusammengeschlossen werden können. Um die Ausfallsicherheit zu erhöhen, ist es möglich, wichtige Netzübergänge redundant zu gestalten. Um eine Backbone-Architektur zu realisieren, können verschiedene Netztopologien eingesetzt werden.

### 3.1 Netzübergänge

Gateways stellen Verbindungen zwischen verschiedenen Datenbussen dar. Somit ist es mög-

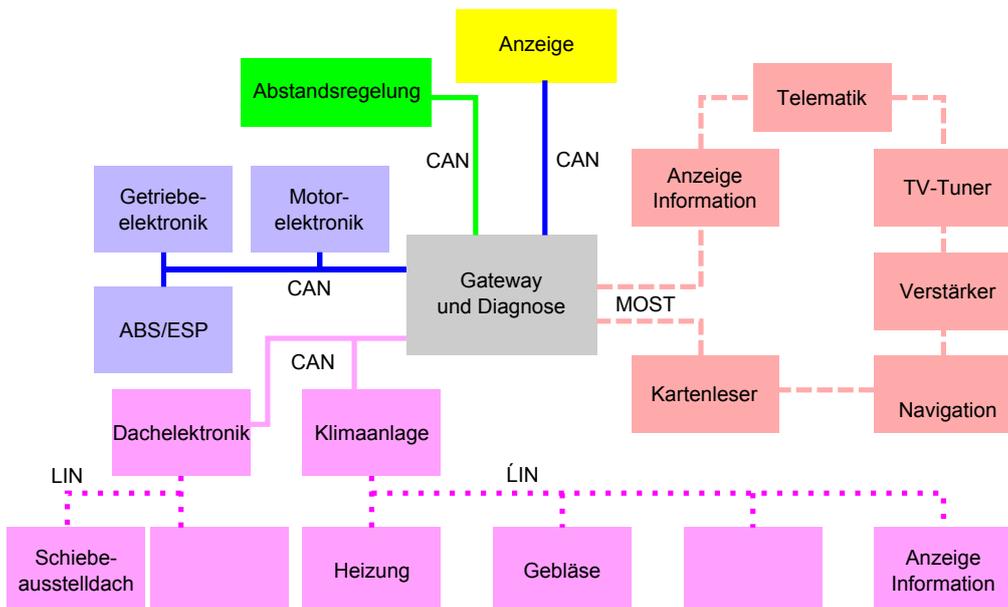


**Abbildung 3.1:** Gateways stellen Netzübergänge zwischen verschiedenartigen Bussystemen dar. Somit können unterschiedliche Netzwerke miteinander kommunizieren.

lich, dass Netzwerke, die auf unterschiedlichen Protokollen basieren, miteinander kommunizieren. Dabei kopiert das Gateway die Nutzdaten von einem Datenbus auf einen zweiten. Abbildung 3.1 zeigt vier Gateways, die verschiedene Bussysteme verbinden. Über Gateway 1 erhält die Diagnoseanlage von dem FlexRay-Bussystem Informationen. Über den FlexRay-Bus können dabei Daten von drei verschiedenen Gateways eintreffen. Dabei übersetzt jedes Gateway ein anderes Bus-Protokoll. Für die Simulation sind Netzübergänge von CAN zu TT-Ethernet und FlexRay zu TT-Ethernet notwendig, um ein Backbone mit diesen drei Protokollen zu realisieren.

## 3.2 Beispielhaftes Backbone

Ein Fahrzeug besteht aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten. Damit diese miteinander interagieren können, werden unterschiedliche Bussysteme benötigt. Abbildung 3.2 zeigt, wie heutzutage ein Backbone im Automobil realisiert sein könnte. Dabei gibt es ein einzelnes Gateway, an das jedes Bussystem angeschlossen ist und das die Übersetzung der Protokolle übernimmt. Der MOST-Bus übernimmt in diesem Netzwerk die Entertainment Funktionalitäten wie Informationsanzeigen, den Verstärker oder die Navigationskontrolle.

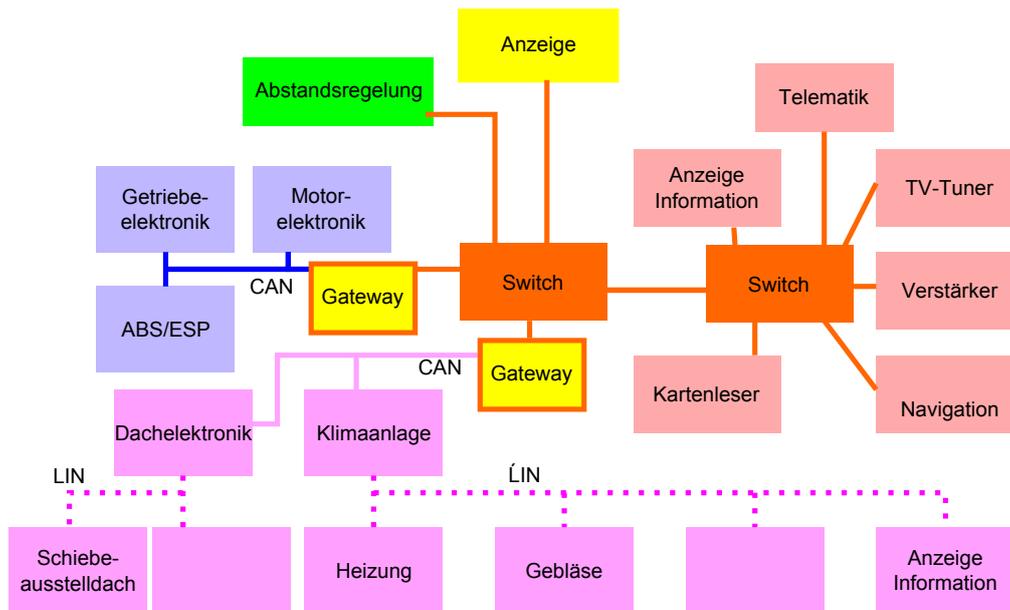


**Abbildung 3.2:** Backbone im Automobil, das unterschiedliche Steuergeräte miteinander verbindet Johannes Wiesinger (2012)

An einen CAN-Bus sind Steuergeräte der Getriebeelektronik, Motorelektronik und das Antiblockiersystem beziehungsweise die Fahrdynamikregelung angeschlossen. Außerdem läuft die

Abstandsregelung und die Anzeige über zwei gesonderte CAN-Bussysteme. Ein weiterer CAN regelt die Dachelektronik und die Klimaanlage. Hinter diesen beiden "Electronic Control Units" befinden sich gesteuerte Aktoren, die über den LIN-Bus Daten empfangen.

Ziel von einer Architektur mit Time-triggered Ethernet ist es nicht, die anderen Bussysteme komplett zu verdrängen, sondern ein Backbone zu schaffen, das den Anforderungen genügt. Abbildung 3.3 zeigt einen Ansatz mit einem TTEthernet-Bussystem.



**Abbildung 3.3:** Ein TTEthernet-Backbone ersetzt den MOST-Bus und das zentrale Gateway, an dem zuvor alle Bussysteme angeschlossen waren.

Das Zentrum des Systems besteht nun aus einem ethernetbasierten Ansatz, der über zwei Gateways an unterschiedliche CAN-Bussysteme angeschlossen ist. Die Ringtopologie des MOST-Busses und der Bus an sich wurden entfernt und durch einen TTEthernet-Switch ersetzt. Dieser verbindet die einzelnen Komponenten über eine weniger fehleranfällige Sterntopologie. Zudem sind zwei CAN's weggefallen, die zuvor die Abstandsregelung und das Anzeigegerät mit Daten versorgt haben. Auch hier sind die Ethernetkabel direkt mit den Komponenten verbunden. Die sicherheitskritischen Anwendungen, wie die Abstandsregelung, werden durch die Echtzeitfähigkeit des Backbones mit vordefinierten Latenzzeiten betrieben. Außerdem kann der CAN-Bus von der Motor- beziehungsweise Getriebelektronik Daten über ein Gateway an das Ethernet-Backbone weiterleiten. Auch die weniger zeitkritische Dachelektronik und Klimaanlagesteuerung werden über ein Gateway angesteuert.

## 4 Fazit

In dieser Arbeit wurden drei Protokolle, mit denen ein zukünftiges Backbonesystem im Automobil realisiert werden kann, vorgestellt. Dazu gehört neben dem echtzeitfähigen Time-triggered Ethernet Protokoll, das als Hauptrückgrat wirken soll, der etablierte CAN-Bus und das FlexRay-Bussystem. Darüber hinaus wird ein beispielhaftes Netzwerk dargestellt, das die Veränderung des Backbones zeigt. Dazu werden andere Bussysteme durch TTEthernet ersetzt oder über Gateways an das TTEthernetnetzwerk angeschlossen. Somit wurde ein Grundstein für die Anforderungen zur Evaluierung gesetzt.

### 4.1 Ausblick und Risikoabschätzung

Um ein intelligentes Bussystem evaluieren zu können, müssen zunächst Anforderungen an ein Backbonesystem gestellt werden. Hieraus gilt es, Funktionen zu erstellen, die in einem realistischen Design eingesetzt werden. Um diesen Prozess möglichst nah an den Anforderungen der Automobilindustrie durchzuführen, wären Daten aus der Fahrzeugindustrie erstrebenswert. Anschließend können in verschiedenen Modellen, die unterschiedliche Topologien widerspiegeln, verschiedene Eigenschaften überprüft werden. Beispielsweise kann ein Vergleich eines flachen Designs mit reinem Ethernetverkehr und einer komplizierteren Netzstruktur stattfinden. In der Simulation muss dazu neben dem TT-Ethernetprotokoll der CAN-Bus und das FlexRay-Bussystem mit dazugehörigen Gateways umgesetzt werden. Anschließend dient die Simulation zum Test und der Evaluation von Designvarianten unter Last. Um realistische Leistungsanalysen und Verhaltensprognosen zu erstellen, müssen Lastgeneratoren entworfen werden.

Um das Backbone evaluieren zu können, ist eine einwandfreie Funktionalität in den Protokollen zu gewährleisten. Dazu müssen die Bussysteme konform der Protokolle in der Simulation implementiert werden. Hierbei ist der Aufwand schwer abschätzbar, inwieweit die Simulation funktional einwandfrei die Realität widerspiegelt. Ein weiteres Risiko liegt in fehlenden realistischen Daten, die über ein Fahrzeugnetzwerk laufen. Diese Anforderungen sind essenziell, um keine falschen Annahmen über zukünftige Verkehrsflüsse zu erschließen. Insgesamt kann das Risiko als gering eingestuft werden. Kontakt zu Automobilherstellern wurde bereits geknüpft.

# Literaturverzeichnis

- [Bob Pickles 2006] BOB PICKLES: Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) / SBS Technologies. URL [http://www.sierrasales.com/pdfs/AFDX\\_Overview.pdf](http://www.sierrasales.com/pdfs/AFDX_Overview.pdf). – Zugriffsdatum: 2012-01-20, 2006. – Forschungsbericht
- [FlexRay Consortium ] FLEXRAY CONSORTIUM: *FlexRay*. – URL <http://flexray.com/>. – Zugriffsdatum: 2012-02-26
- [GE Fanuc Intelligent Platforms 2009] GE FANUC INTELLIGENT PLATFORMS: *TTEthernet - A Powerful Network Solution for Advanced Integrated Systems*. August 2009. – URL <http://www.ge-ip.com/library/detail/12014>. – Zugriffsdatum: 2011-01-18. – GFT-751
- [Institute of Electrical and Electronics Engineers 2005] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (Hrsg.): *IEEE 802.3: LAN/MAN CSMA/CD Access Method*. Bd. IEEE 802.3-2005. IEEE, 2005
- [Johannes Wiesinger 2012] JOHANNES WIESINGER: *Der CAN Bus - Grundlagen*. 2012. – URL <http://www.kfztech.de/kfztechnik/elo/can/bussysteme.jpg>. – Zugriffsdatum: 2012-02-27
- [Marscholik und Subke 2007] MARSCHOLIK, Christoph ; SUBKE, Peter: *Datenkommunikation im Automobil: Grundlagen, Bussysteme, Protokolle und Anwendungen*. Heidelberg : Hüthig, 2007 (Hüthig Praxis). – ISBN 3-7785-2969-2
- [Marscholik und Subke 2011] MARSCHOLIK, Christoph ; SUBKE, Peter: *Datenkommunikation im Automobil: Grundlagen, Bussysteme, Protokolle und Anwendungen*. Heidelberg : Vde Verlag GmbH, 2011. – ISBN 978-3-800-73275-3
- [Mikolasek u. a. 2008] MIKOLASEK, V. ; ADEMAJ, A. ; RACEK, S.: Segmentation of standard Ethernet messages in the Time-Triggered Ethernet. In: *Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008. IEEE International Conference on*, September 2008, S. 392–399
- [Rausch 2007] RAUSCH, M.: *FlexRay: Grundlagen, Funktionsweise, Anwendung*. Hanser Fachbuchverlag, 2007. – ISBN 9783446412491

- [Real Time Systems Group (RTS) ] REAL TIME SYSTEMS GROUP (RTS): *TTEthernet*. – URL <http://ti.tuwien.ac.at/rts>. – Zugriffsdatum: 2012-02-15
- [Reimann u. a. 2010] REIMANN, Felix ; KERN, Andreas ; HAUBELT, Christian ; STREICHERT, Thilo ; TEICH, Jürgen: Echtzeitanalyse Ethernet-basierter E/E-Architekturen im Automobil. In: *GMM-Fachbericht - Automotive meets Electronics, (Automotive meets Electronics (AmE'10), Dortmund, Germany, Apr. 15-16, 2010)*. Berlin : VDE Verlag, 2010, S. 9–14. – ISBN 978-3-8007-3236-4
- [Saad 2003] SAAD, Alexandre: *Das Automobil als Anwendungsgebiet der Informatik - ein Auto ohne Informatik geht das?* 2003. – URL <http://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings32/GI-Proceedings.32-4.pdf>. – Zugriffsdatum: 2012-02-27
- [Steiner 2008] STEINER, Wilfried: *TTEthernet Specification*. TTEch Computertechnik AG. November 2008. – URL <http://www.tttech.com>
- [Tanenbaum und van Steen 2007] TANENBAUM, Andrew S. ; STEEN, Maarten van: *Verteilte Systeme: Prinzipien und Paradigmen*. 2. Person Studium, 2007. – ISBN 9783827372932
- [TU Wien 1997] TU WIEN: *The TTP Protocols*. 1997. – URL <http://www.vmars.tuwien.ac.at/projects/ttp/ttpmain.html>