



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

AW1-Ausarbeitung

Jan Depke

jan.depke@haw-hamburg.de

Konsolidierungsstrategien für heutige automotiv
Bussysteme

Jan Depke

jan.depke@haw-hamburg.de

Thema der AW1-Ausarbeitung

Konsolidierungsstrategien für heutige automotiv Bussysteme

Stichworte

Automotive Bussysteme, Realtime Ethernet, TTEthernet, Konsolidierung

Kurzzusammenfassung

Gegenstand dieser Ausarbeitung ist die anfängliche Evaluierung der Vorgehensmöglichkeiten zur Entwicklung von Konsolidierungsstrategien für heutige automotiv Bussysteme im Rahmen der Master Thesis an der HAW Hamburg.

Title of the paper

Consolidation strategies for present automotive busses

Keywords

automotive busses, Realtime Ethernet, TTEthernet, consolidation

Abstract

Subject of this paper is an initial approach to develop consolidation strategies for present automotive busses as a master thesis at HAW Hamburg.

1.1 Einleitung

In heutigen Automobilen wird eine stetig wachsende Anzahl an Komponenten auf Basis von Mikrocontrollern eingesetzt[nssw-tacs-05]. Anwendungsgebiete reichen von der Fahrzeugssteuerung bis hin zur Unterhaltungselektronik, in den kommenden Jahren wird verstärkt das sogenannte X-by-wire bei Automobilneuentwicklungen weiterentwickelt werden[m-ivnaftngv-01].

Der heutige Stand der Entwicklung ist, daß viele unterschiedlich aktuelle und leistungsfähige Bussysteme in Automobilen anzufinden sind, da das vernetzte Umfeld aus Controllern, Sensoren und Aktoren sich über Jahre hinweg entwickelt hat [t-ftiia-01].

Zukünftige und zukunftsichere Bussysteme müssen den zeitkritischen Aspekten der Fahrzeugsteuerung, ebenso wie den durch Unterhaltungselektronik gestiegenen Anforderungen an die nutzbare Bandbreite, gewachsen sein.

Die Entwicklung eines neuen Bussystems geht mit der Herausforderung einher, das heterogene Umfeld der etablierten Automobilbussysteme bestmöglich anzubinden. Die Core Gruppe der HAW Hamburg[core] sieht diese Herausforderung durch Realtime Ethernet, insbesondere durch TTEthernet der TTEch Computertechnik AG, unterstützt und erforscht ein backbone-Bussystem für Automobilanwendungen auf Basis von TTEthernet.

Diese Ausarbeitung befaßt sich in Vorbereitung einer Masterthesis mit der Strategiefindung zur Anbindung heutiger Automobilbussysteme an TTEthernet.

1.1.1 Motivation

Unter der Zielsetzung, einen automotive backbone-Bussystemsstandard auf Basis von TTEthernet zu etablieren, gewinnen folgende Aspekte des Automobilentwicklungsprozesses an Bedeutung:

Die mehrjährige Entwicklungszeit eines Automobils ist kostenintensiv. Jeder Faktor der zu einer maßgeblichen Verlängerung der Entwicklungszeit führt, muß vermieden werden [b-a-07]. Daraus folgt, daß überdurchschnittlich komplexe Standards Akzeptanzhürden zu nehmen hätten und wenn überhaupt nur sehr zögerlich genutzt würden[hf-icip-09]. Um dem entgegen zu wirken, kann den Entwicklern ein Satz von Vorgehensweisen an die Hand gegeben werden, die den Entwicklungsprozess transparent und zeitsparend werden lassen.

Funktionale Gruppen der Automobilelektronik werden modular unter Verwendung eines gruppenintern gemeinsamen Bussystems entwickelt, eine Wiederverwertbarkeit einzelner

funktionaler Gruppen ohne tiefgreifende Anpassungen ist zweckmäßig. Ein backbone-Bussystem muß sich freundlich in dieses Umfeld einpassen, also die Wiederverwertung bestehenden funktionaler Gruppen begünstigen.

Da die Hardwarekomponenten der funktionalen Gruppen, wie zum Beispiel Aktoren, Sensoren und Steuergeräte sehr lange Entwicklungszyklen aufweisen, müssen diese und ihre Busschnittstellen über mehrere Automobilgenerationen hinweg eingesetzt werden. Somit bedeutet die Wiederverwendung funktionaler Gruppen im Entwicklungsprozess, daß ebenso Hardwarekomponenten und die bisherigen Bussysteme wiederverwendet werden müssen.

Aufgrund dieser Randbedingungen ist die Sicherstellung der Anbindbarkeit etablierter Bussysteme an ein TTEthernet backbone zwingend erforderlich und es müssen Konsolidierungsstrategien erarbeitet werden, um den letztlich wirtschaftlichen Anforderungen des Automobilentwicklungsprozesses zu genügen.

1.1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Die bisherigen Bussysteme im Automobilbereich unterscheiden sich mindestens in Bezug auf physikalische Übertragungsmethode, Protokoll und Mechanismus zur Auslösung der Datenübertragung voneinander.

Um eine Konsolidierungsstrategie entwickeln zu können, müssen systemübergreifend vorhandene Buscharakteristika auf ihre Relevanz untersucht werden. Darüber hinaus muß eine Vorgehensweise zur Behandlung von relevanten, vereinzelt auftretenden Busmerkmalen gefunden werden.

Da es die Strategie der Motivation widersprechend überproportional komplex gestalten könnte, eine in jedem Detail konfigurierbare und flexible Strategie aufzustellen, kann es notwendig sein, das Einsatzszenario der Strategie sinnerhaltend einzuschränken.

Als relevante Aspekte des Einsatzszenarios werden die anzubindenden Bussysteme selbst sowie die zu realisierenden Bustopologien angesehen:

Die Menge der anzubindenden Bussysteme wurde auf Flexray(Flexray, ein vom FlexRay-Konsortium spezifiziertes Feldbussystem.), AFDX(Avionics Full Duplex Switched Ethernet, Computernetzwerk spezifiziert nach ARINC-Standard 664), CAN(Controller Area Network, ein 1993 von Bosch entwickeltes Bussystem) und LIN(Local Interconnect Network, Industriestandard, kostengünstiges Bussystem für Steuergeräte) definiert, die Fragestellung der Bustopologie wird in Kapitel 1.2.1 untersucht.

1.1.3 Themenverwandte Projekte

Im Kontext der Core-Gruppe der HAW Hamburg existieren folgende, themenverwandte Projekte:

- Restbussimulation (Florian Bartols)
- Substitution Flexray/RTE, Simulation (Hermand Dieumo Kenfack)
- Demonstrator, CAN over TTEthernet (Jan Kamieth)

Nach Kenntnisstand des Authors gibt es zum Anfertigungszeitpunkt dieser Arbeit keine Forschungen oder Arbeiten, welche sich ebenfalls mit der strukturierten und schematischen Verbindung unterschiedlicher Bussysteme befassen.

Dennoch können einzelne, dokumentierte Insellösungen genutzt werden, um daraus Erkenntnisse für spätere, konkrete Implementierungsfragen zu gewinnen, siehe [oes-diclb-05], [I-rbeb-01] und [I-uu-07].

1.1.4 Struktur und Schwerpunkte dieser Arbeit

Die folgenden Kapitel sind wie folgt strukturiert:

Kapitel 1.2 bietet einen Überblick über ausgewählte Aspekte der relevanten Technologien.

Kapitel 1.3 zeigt Problemfelder auf, Einfluß auf die Ausgestaltung der Konsolidierungsstrategie haben können.

Kapitel 1.4 enthält eine Aufstellung von Lösungsansätzen und Risiken, welche im Masterprojekt 1 untersucht werden müssen.

Kapitel 1.5 besteht aus einem Fazit.

1.2 Technologieüberblick

Das folgende Kapitel listet die im Kontext dieser Arbeit relevanten Bussysteme und technischen Rahmenbedingungen auf. Zu jedem Bussystem sind potentiell interessante technische oder softwaretechnische Details aufgeführt, die auf ihre Auswirkung auf den TTEthernet backbone hin untersucht werden müssen.

1.2.1 Topologien

Prinzipiell kann ein backbone auf diverse Arten mit Netzwerken verbunden sein, folgende drei Varianten sind im Rahmen dieser Ausarbeitung relevant:

- 'Teilbus zu Teilbus'-Verbindung über backbone
- 'Bus zu Bus'-Verbindung über backbone
- 'Gerät zu Bus'-Verbindung über backbone

Hauptaugenmerk liegt auf den erstgenannten drei Varianten. Dennoch sind diese drei Varianten nicht nur zwischen Bussen oder Knoten desselben Bussystemstyps denkbar, theoretisch kann es auch wünschenswert sein z.B. einen LIN-Sensor über den backbone mit einem Flexray-Loggingknoten zu verbinden.

1.2.2 TTEthernet

TTEthernet ist eine Erweiterung des durch IEEE 802.3 [ieee-8023-05] spezifizierten Ethernets. Diese Erweiterung besteht hauptsächlich aus der Bereitstellung von Diensten und Methoden zur Gewährleistung eines zeitlichen Determinismus der Datenübertragung [s-ttes-10]. Das Merkmal der Unabhängigkeit von der physikalischen Übertragungsschicht des IEEE 802.3 findet sich ebenso bei TTEthernet, somit stellt TTEthernet eine Basis für zeitlich deterministische und steigenden Anforderungen an die Bandbreite gewachsene Datenübertragung dar.

Durch TTEthernet werden drei Nachrichtenklassen für die Datenübertragung zur Verfügung gestellt; hier mit absteigender Priorität aufgelistet:

- *time triggered*: Diese Nachrichten verhalten sich deterministisch hinsichtlich Zeitpunkt, Verzögerung und Standardabweichung der Übertragung.
- *rate constrained*: Diesen Nachrichten sind eine Bandbreite und Grenzen der Übertragungsverzögerung garantiert.
- *best effort*: Diese Nachrichten entsprechen IEEE 802.3 und erhalten somit keine Garantien hinsichtlich Zustellung, Verzögerung und Erfolg der Datenübertragung.

1.2.3 Flexray

Das Flexray Bussystem wurde von einem Konsortium diverser Größen der Automobilbranche entwickelt und standardisiert [flexray], [flexray-ps21-05]. Im BMW E70 wurde Flexray im Jahr 2006 weltweit erstmalig eingesetzt.

Flexray benutzt time triggered messaging und synchronisiert die Buszeit mit einer systemweiten Uhr. Die Busteilnehmer teilen sich den Bus im TDMA (Time Division Multiple

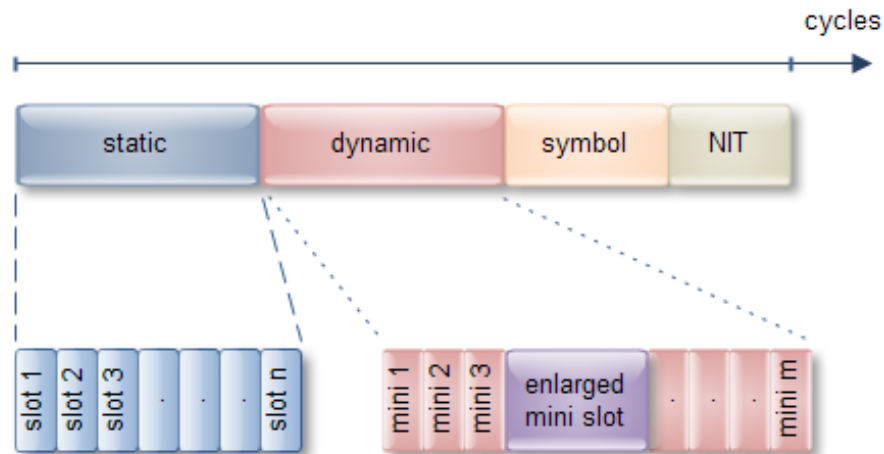


Abbildung 1.1: Flexray data frame

Access, ein Verfahren, welches Sendern den Zugriff auf ein Medium anhand statisch zugewiesener Zeitabschnitte erlaubt.)-Verfahren. Zusätzlich zum statischen TDMA-Zeitabschnitt können Busteilnehmer noch einen dynamisch zugewiesenen Zeitabschnitt nutzen. Die Bandbreite des Flexray Bus beträgt 10 MBit/s [d-bacfm-02]

Die Topologie eines Flexray Busses läßt Linien- und Sterntopologien zu, ebenso wie Rekombinationen dieser beiden Formen. Die Flexray-Spezifikation erlaubt die Nutzung einer Hardwareredundanz um das Gesamtausfallrisiko zu senken.

1.2.4 AFDX

Der AFDX-Bus ist ethernetbasierter und wird hauptsächlich in der Luftfahrt von Boing und Airbus eingesetzt. Spezifiziert ist AFDX als Standard 664 der US-Firma ARINC [afdx],[c-apt-01].

AFDX verbindet Computersysteme, die jeweils auf mehreren Aktoren, Sensoren und Controllern bestehen können. Die Computersysteme sind full duplex direkt mit einer Switcharchitektur verbunden, was Übertragungskollisionen verhindert. Die switches routen die Daten entweder zu genau einem Empfänger oder benutzen VL(Virtual Link, fasst Gruppen von Sender und Empfängern unter einem Bezeichner zusammen), um Mehrpunktverbindungen zu realisieren.

AFDX garantiert den Busteilnehmern nur eine feste Bandbreite welche zur Entwicklungszeit definiert wird.

1.2.5 CAN

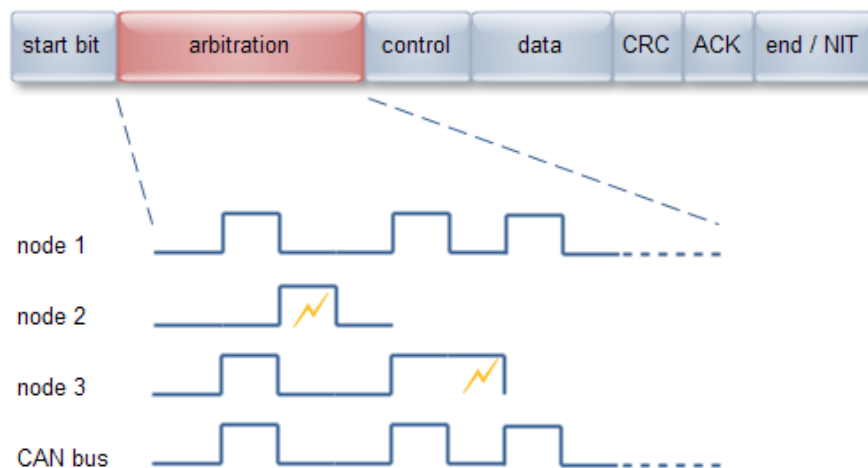


Abbildung 1.2: CAN bus data frame and bus arbitration

Der CAN-Bus wurde 1983 von Bosch entwickelt und ab 2003 durch ISO 11898 standardisiert [**can**]. CAN ist in vielen Gebieten wie Automatisierungstechnik, Medizintechnik und Fahrzeugtechnik etabliert und kann durch Erweiterungen z.B. Echtzeitfähigkeit erhalten.

Nachrichten auf dem CAN-Bus werden ereignisgesteuert gesendet und tragen eine numerische ID, die ihren Inhalt kennzeichnet. Diese ID wird gleichzeitig als Priorität der Nachricht verwendet und zur Busarbitrierung genutzt. Bei der Arbitrierung werden die IDs bitweise auf das Übertragungsmedium geschaltet. Durch passende elektronische Pegel dominiert die höchstpriorisierte ID den Bus, was den verbleibenden Busteilnehmern anzeigt, daß sie die Arbitrierung verloren haben [**d-bacfm-02**].

Alle Teilnehmer des CAN Bus erhalten jede Nachricht, entscheiden aber selbstständig, ob sie die eingehenden Nachrichtinhalte verarbeiten. Jede Nachrichten-ID ist einem Sender eindeutig, aber nicht umkehrbar, zugeordnet.

1.2.6 LIN

LIN-Bus bezeichnet einen Industriestandard, der vom LIN-Konsortium gepflegt wird [lin]. Das unaufwändig zu implementierende LIN-Protokoll ermöglichte preiswerte vernetzte Aktoren und Sensoren und ist zur Lösung von Aufgaben wie z.B. Tür- und Sitzsteuerung weit verbreitet.

In einem LIN-Bus gibt einen Master, der den Nachrichtenverkehr initiiert und dadurch Nachrichtenkollisionsfreiheit sicherstellt. Eine Nachricht auf dem LIN-Bus besteht aus einer Anfrage des Masters und der Antwort genau eines Busteilnehmers. Nachrichten-IDs kennzeichnen in diesem empfängerselektiven System die 'Master/Antwortknoten'-Tupel.

Die Busteilnehmer sind in einer Linientopologie angeordnet und unterstützen in neuen Versionen des Standards zwei weitere Modi, diagnostic mode und sleep mode.

1.3 Problemfelder

Die im vorherigen Kapitel genannten Eigenschaften der Bussysteme und das Einsatzszenario selbst lassen es zu mehreren Fragestellungen zu entwickeln und Problemfelder zu benennen:

1.3.1 Tunnel/Gateway

Zwei Busse können über einen Tunnelknoten oder per Gateway verbunden werden: Ein Gateway, welches wie ein regulärer Busteilnehmer implementiert ist, kann über protocol layer oder data layer angewiesen werden, die Kommunikation mit dem entfernten Bus aufzunehmen. Ein Tunnelknoten hingegen paßt sich transparent in ein Bussystem ein und muß alle Signale des physical layer geschickt an den entfernten Bus weiterreichen.

1.3.2 Bustopologie

Die genannten drei in Kapitel 1.2.1 genannten Topologievarianten können hinsichtlich der 'Tunnel/Gateway'-Fragestellung unterschiedlich behandelt werden. Im Gegensatz zur 'Gerät zu Bus'- oder 'Teilbus zu Teilbus'-Verbindung sind bei einer 'Bus zu Bus'-Verbindung Schwierigkeiten absehbar, einen transparenten Tunnelknoten verwenden zu können:

1.3.3 CAN-ID, 'Bus zu Bus'-Verbindung

Sobald zwei zur Entwicklungszeit separat entworfene CAN-Busse miteinander verbunden werden sollen, kann eine Kollision der Nachrichten-IDs stattfinden, da Nachrichten-IDs nur

genau einem Sender zugewiesen werden dürfen.

Eine Mehrfachzuweisung würde auf dem protocol layer stören, da CAN ein empfangerselektives Bussystem auf Basis der Nachrichten-IDs ist. Auf dem physical layer hingegen könnte sogar die Busarbitrierung und somit jegliche Kommunikation gestört werden.

1.3.4 Flexray Backup-Bus

Die Auswirkungen der Möglichkeit, unter Nutzung von Flexray einen Backup-Bus definieren zu können, sind insbesondere in Hinblick auf die Fragestellungen 'Tunnel/Gateway' und 'Busstopologien' nicht ohne Weiteres abschätzbar.

Das Konzept des Backup-Bus wirft natürlich die Fragestellung auf, ob und wie das backbone-Netz Redundanz bezogen auf Tunnelknoten und Gateways implementieren kann.

1.3.5 Event triggered vs time triggered

Sollte es wünschenswert sein, zwei unterschiedliche Bussysteme miteinander zu verbinden, muß gegebenenfalls ein Mechanismus zum Einfügen von event triggered Nachrichten in ein time triggered Zielbussystem gefunden werden.

1.3.6 Dynamische slots in Flexray

Die dynamischen slots werden unter Flexray wie folgt vergeben: Ein sendewilliger Knoten wertet den Bus aus und kann zu einem festen Zeitpunkt einen Teil des dynamischen slots anfordern. Dies läßt sich nur problembehaftet über ein backbone-Netz hinweg nutzen, da hierfür ein latenzloser Zugriff auf das physical layer mindestens zweier verbundener Busse notwendig wäre.

1.3.7 Unbekannte Hardware

Es ist noch nicht bekannt, welche Hardware für eine letztendliche Implementierung genutzt werden kann. Somit ist nicht abschließend einschätzbar, ob gefundene Lösungsansätze technisch umsetzbar sind.

1.3.8 Fremdbusse und Echtzeitkommunikation

Sollten echtzeitfähige Bussysteme an ein backbone-Netz angebunden werden, so sind deren spezifizierte Grenzwerte hinsichtlich Latenz und Jitter einzuhalten. Sollte die Einhaltung nicht möglich sein, so muß zumindest dieser Bruch mit der Spezifikation eingeplant und die praktischen Auswirkungen untersucht werden.

1.3.9 Sicherheit

Im Zusammenspiel mehrerer Bussysteme unterschiedlicher Sicherheitsanforderungen wie z.B. Motorsteuerung und Unterhaltungselektronik darf ein Konzept zur Sicherung der Busse gegeneinander nicht fehlen. Dieser Thematik wird anschaulich in [pw-siab-04] behandelt, wo auch Inspiration für Lösungsansätze gefunden werden kann.

1.4 Lösungsansätze und Risiken

Das folgende Kapitel soll Lösungsansätze und Risiken zu den im vorherigen Kapitel genannten Problemfeldern aufzeigen.

1.4.1 Risiken

Die Aufgabenstellung ist mit folgenden Risiken behaftet:

Zum jetzigen Zeitpunkt ist es noch nicht absehbar, ob eine strukturierte und schematische Behandlung der Anbindung von Bussystemen an ein backbone-Netz möglich ist.

Darüber hinaus ist unsicher, ob sich jede Teilproblemstellung des Aufgabenbereiches praxisrelevant, sinnvoll lösen läßt.

Es konnten keine Risiken ausgemacht werden, welche aufgrund technischer Aspekte zu einem Mißerfolg im Sinne der Aufgabenstellung führen könnten.

1.4.2 CAN-ID, 'Bus zu Bus'-Verbindung

Das beschriebene Problem der Mehrfachvergabe von Nachrichten-IDs im Zusammenhang mit 'Bus zu Bus'-Verbindungen kann auf Protokollebene gelöst werden, indem z.B. das Verfahren der VL aus dem AFDX-Protokoll auf diese Problemstellung hin angepaßt wird.

Dazu müßten die CAN-Daten in ein VL-Protokoll eingekapselt werden und es könnte ein dem multicast ähnliches Verfahren genutzt werden um das empfangerselektive Busverhalten nachzuempfinden. Ähnlichkeiten mit dem Schutzrecht [zqcl-vdptebd-10] müssen vermieden werden.

1.4.3 Tunnel/Gateway und Topologie

Die Fragestellung, ob ein backbone-Gateway im Fremdbus transparent oder als sichtbarer Busteilnehmer implementiert werden kann, ist von busspezifischen Merkmalen und der Topologie abhängig. So müssten z.B. bei zwei verbundenen CAN-Bussen Maßnahmen ergriffen werden, um die bitweise Arbitrierung über das backbone-Netz hinweg zu propagieren. Darüber hinaus müßte auch sichergestellt sein, daß auch in zwei verbundenen Bussen die

CAN-Nachrichten-IDs ausschließlich einem Sender zugeordnet sind.

Es bleibt zu erörtern, ob transparente Gateways wünschenswert sind oder ob die Zielsetzung auf für die Busteilnehmer sichtbare Gateways beschränkt werden soll.

1.4.4 Sicherheit

Die Problem der Sicherheit in und unter den Bussystemen kann wie in [pw-siab-04] gezeigt durch zertifikatbasierte Steuergeräuthentifizierung, verschlüsselte Kommunikationsstrecken gelöst werden, denkbar sind aber auch Firewall-Gateways, die Filterregeln anwenden.

1.4.5 Abgrenzung

Nicht jedes ausgemachte Problemfeld kann sofort gelöst werden, teilweise sind dazu wie im Fall des Problemfelds 'Backup-Bus, Redundanz' noch keine hinreichenden Anforderungen bekannt. Teil der Arbeit des Master Projekt 1 muß somit auch eine abgrenzende Definition des Aufgabenbereichs im Rahmen der Master Thesis sein. Eine Möglichkeit zur strukturierten Identifizierung und Bearbeitung von Teilaufgabenbereichen wird unter 'Permutationsmatrix' vorgestellt.

1.4.6 Permutationsmatrix

Um die Machbarkeit einer Bussystem-Anbindung bewerten zu können, ist es hilfreich, eine Permutationsmatrix aus den drei Topologievarianten, der Tunnel/Gateway-Eigenschaft und der Charakteristik 'time/event triggered' der Nachrichten zu bilden. Die Permutationen, die dann einen speziellen Anwendungsfall darstellen, können dann um bussystemspezifische Eigenschaften erweitert werden, wie z.B. die beteiligten Busse selbst und z.B. die CAN-ID-Problematik.

Jeder daraus resultierende Anwendungsfall muß dann darauf untersucht werden, ob er sinnvoll und realisierbar ist. Die daraus resultierende Liste der erforderten und machbaren Anwendungsfälle kann dabei helfen, Strukturen und Prioritäten bei der Entwicklung einer Anbindungsstrategie zu finden und zu definieren.

1.5 Fazit und Ausblick

Die aufgezeigten Problemfelder ergeben zusammen mit den teilweise vorhandenen Lösungsansätzen einen ersten Arbeitsplan und zeigen auf, an welchen Punkten die Anforderungen an das Gesamtsystem noch weiter spezifiziert werden müssen.

Darüber hinaus lassen sich nun Aufgabenteilbereiche in soweit erkennen, daß z.B. ein Konzept zur Kapselung und Virtualisierung einzelner Busse notwendig sein wird (siehe Problemfeld und Lösungsansatz 'CAN-ID') und z.B. ein Konzept zu Behandlung der Topologievarianten entwickelt werden muß.

Primär sollte im Master Projekt 1 eine Machbarkeitsuntersuchung durchgeführt werden, um die Anforderungsfestschreibung zu unterstützen, dazu ist geplant, den Lösungsansatz 'Permutationsmatrix' als unmittelbar nächsten Schritt zu verfolgen.

Abkürzungsverzeichnis

AFDX	Avionics Full Duplex Switched Ethernet, Computernetzwerk spezifiziert nach ARINC-Standard 664, page 4
CAN	Controller Area Network, ein 1993 von Bosch entwickeltes Bussystem, page 4
Flexray	Flexray, ein vom FlexRay-Konsortium spezifiziertes Feldbussystem., page 4
LIN	Local Interconnect Network, Industriestandard, kostengünstiges Bussystem für Steuergeräte, page 4
TDMA	Time Division Multiple Access, ein Verfahren, welches Sendern den Zugriff auf ein Medium anhand statisch zugewiesener Zeitabschnitte erlaubt., page 6
VL	Virtual Link, fasst Gruppen von Sender und Empfängern unter einem Bezeichner zusammen, page 7

Abbildungsverzeichnis

1.1 Flexray data frame	7
1.2 CAN bus data frame and bus arbitration	8