



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

# **AW1 Ausarbeitung**

**Kai-Uwe von Deylen**

**Strukturierung Ethernet basierter Kommunikation in  
Fahrzeugnetzen**

*Fakultät Technik und Informatik  
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Computer Science*

Kai-Uwe von Deylen

**Strukturierung Ethernet basierter Kommunikation in  
Fahrzeugnetzen**

AW1 Ausarbeitung eingereicht im Rahmen der Veranstaltung AW1

im Studiengang Master of Science Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Eingereicht am: 23. Juli 2013

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Herkömmliche Automobile Vernetzung</b>	<b>2</b>
2.1	Steigende Komplexität . . . . .	2
2.2	Bandbreite als Kostenfaktor . . . . .	4
2.3	Kompatibilität zur Aussenwelt . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Ethernet im Automotiven Kontext</b>	<b>5</b>
3.1	Kosten pro Bandbreite . . . . .	5
3.2	Reduzierung der Komplexität . . . . .	6
3.3	Vorteile der Verbreitung von Ethernet . . . . .	6
3.4	Echtzeitfähigkeit von Ethernet . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Ansätze zur Strukturierung Ethernet basierter Kommunikation</b>	<b>7</b>
4.1	IEEE 1722 - Layer 2 Transport Protocol . . . . .	8
4.2	Internet Protocol als konsistenter Layer . . . . .	8
4.3	IEEE 1733 - Layer 3 Transport Protocol . . . . .	9
4.4	Vergleich der Ansätze . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und persönlicher Ausblick</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Bisher wurden im automobilen Kontext primär industrielle bzw. automotivespezifische Netzwerke mit geringer Bandbreite, wie z.B. Controller Area Network (CAN) oder Local Interconnect Network (LIN), zur Verbindung von Steuergeräten (External Control Units, ECUs) verwendet. Ausnahmen stellen hier seltenere Anwendungen dar, welche höhere Bandbreiten erfordern. Hier werden meistens dedizierte Verbindungen mit Technologien wie FlexRay, Media Oriented System Transport (MOST) oder Low Voltage Differential Signaling (LVDS) verbaut. Dabei besteht der Nachteil, dass diese Technologien vergleichsweise teuer sind. Aufgrund der aktuellen Entwicklung der Bandbreitenanforderungen sowie der stetig steigenden Anzahl der in PKWs verbauten ECUs und damit der Komplexität der Netzwerkstruktur wächst der Bedarf nach einer leistungsfähigeren und skalierbaren aber kostengünstigen Technologie.

Ein vieldiskutierter Ansatz ist die Verwendung von IEEE 802 Ethernet. Eine Übersicht über Tendenzen im Bereich der Automotiven Netzwerke ist in dem Keynote-Paper von Lucia Lo Bello [1] gegeben. Hier werden Gründe für die Einführung von Ethernet, geeignete Ethernet Technologien, spezielle Anwendungsbereiche, welche von Ethernet profitieren, und Vergleiche zwischen der herkömmlichen Vernetzung und Ethernet in diesen Anwendungsbereichen angeführt.

Im Forschungsprojekt *Sicherheit in eingebetteten IP-basierten Systemen* (SEIS) wurde der Ansatz untersucht, das Internet Protocol (IP) als konsistenten Layer in der gesamten Kommunikation einzusetzen [2]. Ein Kernaspekt in diesem Projekt war die Verwendung von Ethernet für Anwendungen mit Echtzeitanforderungen. In den Arbeiten von Rainer Steffen u.a. [3] und Alexander Camek u.a. [4] wird jeweils ein In-Car Netzwerk, welches auf Ethernet und IP basiert, beschrieben und analysiert. Die Verwendung von Ethernet speziell für die Übertragung von Audio- und Videodaten im Auto wird in einer Arbeit von Mehrnoush Rahmani u.a. [5] behandelt. Hierbei wird insbesondere auf die Quality-of-Service Anforderungen eingegangen.

Die Verwendung von Ethernet im Auto wird inkrementell erfolgen. Das bedeutet, dass Ethernet anfangs nicht die gesamte Infrastruktur ersetzen wird sondern zunächst beispielsweise als eine Art Backbone für die Bus-Systeme fungieren könnte. Somit muss für die erfolgreiche Einführung die Möglichkeit bestehen, Daten und Nachrichten anderer Bussysteme über Ethernet

zu transportieren, wobei die jeweilige Struktur der Daten und Nachrichten zu beachten ist. Beispielsweise sei hier der Konflikt zu nennen, dass im Gegensatz zu Ethernet-Netzwerken im CAN die Adressen nicht teilnehmer- sondern nachrichtenbezogen sind.

Diese Arbeit gibt eine Übersicht über die Gründe für und wider die Verwendung von Ethernet in Automobilen und stellt drei Ansätze zur Strukturierung der Ethernet basierten Kommunikation vor. Im **2.** Kapitel werden hierzu die Eigenschaften herkömmlicher Automobilernetze in Bezug auf die aktuellen und zukünftigen Anforderungen diskutiert. Kapitel **3** beschreibt, ob die Anforderungen durch die Verwendung von Ethernet erfüllt werden können. Die Strukturierung von Ethernetbasierter Kommunikation wird in Kapitel **4** behandelt. Hierzu wird der Ansatz des Projektes SEIS, IP als konsistenten Layer einzuführen, sowie die Verwendung der Protokolle IEEE 1733 und IEEE1722 vorgestellt. Zuletzt wird im **5.** Kapitel diese Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftige weiterführende Arbeiten gegeben.

## 2 Herkömmliche Automobile Vernetzung

Die bisherige Netzwerktopologie in Autos ist die Folge aus ständiger Anpassung an neue Anforderungen sowie der Integration von weiteren Teilnehmern und somit ein über die Zeit gewachsenes System. Mit Hinblick auf aktuelle sowie zukünftige Anforderungen und Use Cases ergeben sich drei Hauptprobleme (vgl. [1, 4]): In Abschnitt **2.1** wird die steigende Komplexität dieser Netze begründet; Die Abhängigkeit der Kosten von der benötigten Bandbreite wird in Abschnitt **2.2** erläutert; Die Notwendigkeit von Kompatibilität zu mobilen oder anderen externen Geräten wird in Abschnitt **2.3** beschrieben.

### 2.1 Steigende Komplexität

In einem aktuellen Premiumklasse Wagen sind heutzutage bereits ca. 70 ECUs verbaut. Um ihre Aufgaben zu erfüllen müssen diese miteinander kommunizieren und sind daher miteinander vernetzt. Wie einleitend erwähnt wurde, findet diese Vernetzung i.d.R. über Automotive spezifische Bussysteme wie LIN, CAN, FlexRay u.a. statt. In Abbildung **2.1** ist eine solche Vernetzung exemplarisch dargestellt.

Die Funktionen der ECUs lassen sich in Domänen für Antrieb, Chassis etc. unterteilen, wobei jede Domäne für sich typische Anforderungen an die Kommunikation hat. Die wichtigsten



Abbildung 2.1: Beispielnetzwerk von ECUs in einem herkömmlichen Automobilnetzwerk [6]

Differenzen bestehen in den Anforderungen an Bandbreite sowie Echtzeitfähigkeit, also Latenz, Jitter und Paketverlust. Entsprechend der Anforderungen wird also für eine Domäne das passende Bussystem verwendet. Eine Ausnahme sind Videoübertragungen: Aufgrund der sehr hohen benötigten Bandbreite werden hier in erster Linie Punkt zu Punkt Verbindungen über teure Technologien wie MOST oder LVDS realisiert.

Da sich bereits innerhalb einer Domäne die Anforderungen an die Kommunikation stark unterscheiden können, ist nicht auszuschließen, dass in dieser Domäne verschiedene Bussysteme eingesetzt werden müssen. Zusätzlich erfordern domänenübergreifende Funktionen, dass Daten zwischen verschiedenen Netzen übertragen werden. Da die in Fahrzeugen verwendeten Bustypen nicht direkt kompatibel sind und insbesondere die Anforderungen an Bandbreite und Echtzeit Eigenschaften unterschiedlich gut erfüllt werden, müssen für die Kommunikation komplexe Gateways verwendet werden.

Durch diese Eigenschaften wird die Netzwerktopologie in Fahrzeugen beliebig komplex. Für die Integration neuer Funktionen und somit ggf. neuer ECUs ist der Aufwand, die gesamte Topologie und somit die gesamte Architektur des Systems zu erneuern, nicht vertretbar. Daher wird das Netzwerk in der Regel lediglich erweitert, wodurch die Komplexität insgesamt weiter gesteigert wird.

## 2.2 Bandbreite als Kostenfaktor

Neben der Komplexität sind auch steigende Anforderungen durch neue Anwendungsarten ein Problem im typischen Autonetz. Viele Anwendungen benötigen höhere Bandbreiten bei sehr geringer Latenz und Jitter. Dazu zählen beispielsweise Videoverarbeitende Anwendungen aus dem Bereich Fahrerassistenzsysteme wie Fahrspurerkennung, Kollisionsvermeidung oder die Videoanzeige für Fahrer (vgl. *An Automotive Side-View System Based on Ethernet and IP* [4]) bzw. Mitfahrern aber auch Anwendungen zur Produktion oder Diagnose. So ist der Download der Software auf die ECUs während der Fahrzeug Herstellung mittlerweile ein wichtiger Kostenfaktor, was in der Arbeit von Lucia Lo Bello [1] deutlich wird: Seit 2008 verwendet BMW bei bestimmten Fahrzeugmodellen nicht mehr CAN zum Programmieren der ECUs sondern Ethernet, wodurch die Dauer der Programmierung von ca. 10 Stunden für 81 MB Daten auf 20 Minuten für 1 GB Daten reduziert wurde.

In Abbildung 2.2 sind die benötigten Bandbreiten der verschiedenen Domänen und die herkömmlichen Bustechnologien im Auto gegenübergestellt. Während für Anwendungen mit geringer Bandbreite die günstigen Technologien wie LIN und CAN ausreichen, wachsen insbesondere im Bereich Entertainment aber auch im Infotainment die Anforderungen, so dass teure Lösungen verwendet werden müssen. Hierbei ist eindeutig der Zusammenhang zwischen Bandbreite und Kosten erkennbar.

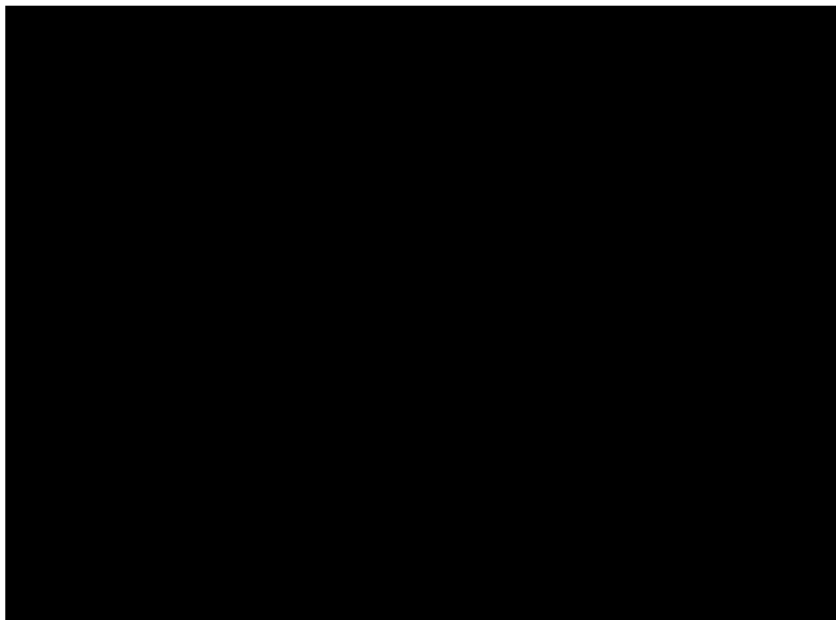


Abbildung 2.2: Bandbreiten automobiler Bussysteme [5]

## 2.3 Kompatibilität zur Aussenwelt

Eine weitere Eigenschaft, welche bei den derzeit genutzten Bussystemen nicht gegeben ist, stellt die Kompatibilität zu externen Geräten dar. In der Arbeit von Lucia Lo Bello [1] wird darauf hingewiesen, dass die Verbindung mit mobilen Geräten oder Internet basierte Funktionen im Auto, wie z.B. Verkehrsinformationen für Navigationsgeräte, einen höheren Stellenwert einnehmen werden. Da solche Geräte einen wesentlich kürzeren Produkt Life-Cycle haben ist es besonders wichtig im Auto zukünftig langlebige Standards, wie z.B. IP, zu verwenden bzw. die Möglichkeit deren Verwendung offen zu halten.

# 3 Ethernet im Automotiven Kontext

In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass die bisher verwendeten Bustechnologien im Auto den zukünftigen Anforderungen nicht mehr gewachsen sind. Im Folgenden wird der Ansatz, Ethernet zur Lösung dieser Probleme einzusetzen, beschrieben. Dabei werden sowohl die drei genannten Hauptprobleme als auch einige andere, im Auto relevante Eigenschaften beachtet.

## 3.1 Kosten pro Bandbreite

In den Arbeiten [1, 4, 7] wird beschrieben, dass Ethernet im Allgemeinen ausreichende Bandbreite bietet. Eine für den Einsatz im Automobil grundlegende Voraussetzung ist, dass alle Komponenten bestimmte Grenzen bezüglich der elektromagnetischen Kompatibilität einhalten. Dabei sind zwei Aspekte zu beachten: Zum Einen müssen Grenzen bezüglich statischer Entladung eingehalten werden, was bei Ethernet kein Problem darstellt; Zum Anderen dürfen elektrische Interferenzen, also das Nahnebensprechen, gegebene Grenzwerte nicht überschreiten.

Es hat sich herausgestellt, dass standardmäßige ungeschirmte Ethernetkabel diesbezüglich nicht ausreichend sind. Geschirmte Kabel sowie optische Verbindungen überschreiten die Grenzen zwar nicht, sind allerdings zu kostenintensiv. Eine Möglichkeit die Kosten gering zu halten und dennoch ausreichend elektromagnetische Kompatibilität zu gewährleisten ist die Verwendung von *Unshielded Twisted Single Pair* Kabeln. Dabei handelt es sich um eine Verbindung, die aus zwei verdrehten Drähten besteht [1, 8]. Somit erfüllt Ethernet die elektro-



magnetische Kompatibilität und kann das in Abschnitt 2.2 genannte Problem „Bandbreite als Kostenfaktor“ lösen.

### 3.2 Reduzierung der Komplexität

Durch die weite Verbreitung von Ethernet und insbesondere durch das Internet hat sich gezeigt, dass Ethernet, abhängig von der Topologie, gut skaliert. Wie einleitend erwähnt wurde, wird Ethernet nicht kurzfristig die bisherigen Technologien im Auto ablösen sondern zunächst Teilsysteme ersetzen. Hier ist z.B. der Standard *Diagnose over IP* (DoIP) zu nennen, welcher ein Diagnoseinterface über das Internetprotokoll und Ethernet definiert und bereits vereinzelt eingesetzt wird. Der Einsatz als Backbone ist exemplarisch in Abbildung 3.1 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass das gesamte Netzwerk strukturierter und weniger komplex ist als eine herkömmliche Vernetzung (vgl. Abbildung 2.1).

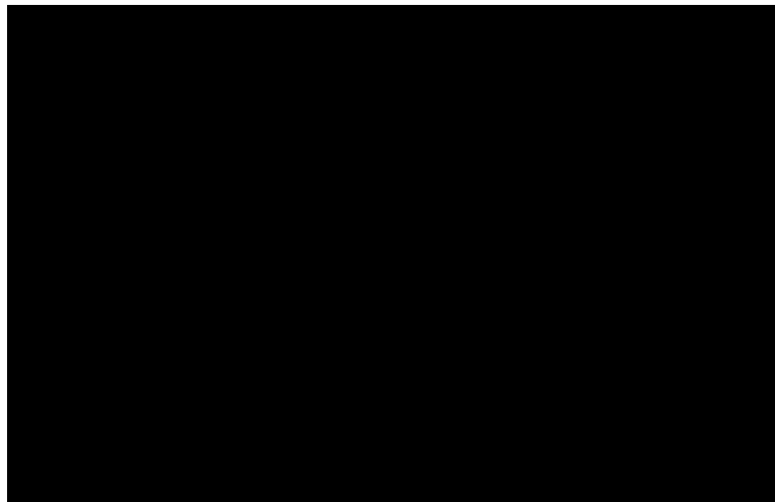


Abbildung 3.1: Beispielvernetzung von ECUs mit Ethernet als Backbone [9]

### 3.3 Vorteile der Verbreitung von Ethernet

Ethernet wird bereits in vielen Bereichen wie z.B. in privaten oder Firmennetzwerken, im Internet oder im industriellen Kontext verwendet. Diese weite Verbreitung impliziert, dass sich relativ viele Personen mit der Technologie auskennen, also viel vorhandenes Wissen und viele Erfahrungen existieren. Außerdem werden Ethernet Komponenten von verschiedenen Herstellern angeboten, so dass auf Grund der Konkurrenz unter den Herstellern die Hardware

kostengünstig angeboten wird. Insbesondere bei Automotive spezifischen Netzwerkkomponenten ist dieses bisher nicht der Fall.

Ein weiterer Vorteil im Auto, welchen die weite Verbreitung von Ethernet ermöglicht, ist die Kompatibilität zur Umwelt. Anders als proprietäre Lösungen von Automobilherstellern oder Zulieferern gibt es viele Anwendungen sowie Standards, welche über Ethernet realisiert werden können. Zumindest ist die Verwendung eines weit verbreiteten Standards eine Erleichterung um Kompatibilität mit anderen Geräten zu schaffen.

### **3.4 Echtzeitfähigkeit von Ethernet**

Die größte Hürde bei der Einführung von Ethernet stellt die Echtzeitfähigkeit dar. Ethernet alleine kann keinerlei Einhaltung von Echtzeitanforderungen garantieren. Verschiedene Ansätze dieses Problem zu lösen, z.B. Time Triggered Ethernet (TTE) oder die Verwendung der Audio/Video Bridging (AVB) Standards, sind jedoch vielversprechend, so dass angenommen werden kann, dass die Verwendung von Ethernet im Auto nicht an dieser Anforderung scheitern wird [1, 10].

Abschließend kann gefolgert werden, dass IEEE 802 Ethernet die angeführten Probleme der bisherigen Vernetzung lösen könnte und damit ein geeigneter Kandidat für zukünftige In-Car Vernetzungen ist.

## **4 Ansätze zur Strukturierung Ethernet basierter Kommunikation**

Es gibt verschiedene Themen die bei der Verwendung von Ethernet im Auto beachtet werden müssen. Da die Einführung inkrementell geschieht, ist ein wichtiger Aspekt die Übertragung von Nachrichten aus anderen Netzwerken wie CAN oder FlexRay, also die Strukturierung der über Ethernet übertragenen Daten. In diesem Kapitel werden verschiedene Ansätze für diese Strukturierung behandelt.

## 4.1 IEEE 1722 - Layer 2 Transport Protocol

Wie in Abschnitt 3.4 beschrieben ist, muss ein automotives Netzwerk echtzeitfähig sein. Ein Ansatz um dieses zu erreichen ist die Verwendung der AVB Standards, welche im Grundsatz auf der Verwendung von sog. Streams basieren. IEEE 1722 [11] ist ein Layer 2 Transport Protokoll, welches auf AVB-Streams basiert. In diesem Protokoll ist u.a. definiert, welche Nachrichten es gibt und wie die Nutzdaten strukturiert sind, also wie bestimmte Arten von Daten übertragen werden [12, 13].

Die Entwicklung des Protokolls liegt in der Zuständigkeit der IEEE 1722 Working Group [14]. Diese definiert das Protokoll für alle IEEE 802 Technologien (Ethernet, Wireless LAN, Bluetooth etc.) und beschränkt sich nicht auf die Anforderungen im Auto. Die Untergruppe IEEE 1722A nimmt Einfluss auf die Entwicklung des Standards und ist auf die Verwendung im Auto spezialisiert. Es werden insbesondere Themen wie die Übertragung von Steuernachrichten im CAN, LIN, FlexRay Format aber auch Signing und Encryption behandelt.

## 4.2 Internet Protocol als konsistenter Layer

In dem Forschungsprojekt *Sicherheit in eingebetteten IP basierten Systemen* (SEIS [2]) wurde der Einsatz des Internet Protocol als konsistenter Layer für die gesamte Kommunikation in Fahrzeugnetzen untersucht. Als Vorteile davon beschreiben Rainer Steffen u.a. in ihrer Arbeit [3], dass durch diese Abstraktionsebene zwischen Anwendung und Hardware beispielsweise der Physikalische Layer getauscht werden könne, ohne dass die Anwendungsebene davon betroffen ist, oder physikalisch heterogene Netze zu einem IP Netz vereinigt werden könnten. Des Weiteren werden durch die Verwendung von IP bereits viele Lösungen für neue Use Cases mit auf IP basierenden Protokollen abgedeckt.

Durch die bestehenden standardisierten Interfaces und den modularen Aufbau wird zum Einen die Integration autofremder Geräte vereinfacht; Dem Problem der unterschiedlichen Life-Cycles von Autos und anderen Geräten (vgl. Abschnitt 2.3) wird durch IP ebenfalls Abhilfe verschafft. Auch die Verbindung mit dem Internet wird durch IP als konsistenten Layer vereinfacht. Dadurch wären viele im Internet existierende Dienste wie z.B. Voice over IP oder Internet TV / Radio verfügbar. Die Fülle an verschiedenen Anwendungs- und Kommunikationsszenarien im Internet birgt jedoch auch Gefahren bezüglich der Systemsicherheit und Stabilität. Insbesondere im Auto gehört die Sicherheit allerdings zu den wichtigsten Aspekten.

Rainer Steffen u.a. beschreiben in ihrer Arbeit außerdem, wie die Echtzeitfähigkeit in einem IP basierten Autonetz umgesetzt werden kann. Dazu werden die entsprechenden Quality-of-Service Anforderungen auf Ethernet Ebene (Layer 2) realisiert und über eine separate API

konfiguriert, so dass die Kommunikation aus Software Sicht über herkömmliche APIs (z.B. Sockets) erfolgen kann.

Als Proof-of-Concept wurde im Rahmen der Arbeit ein Auto mit einem Ethernet/IP Netzwerk ausgestattet. Über dieses Netzwerk wurden verschiedenste Anwendungen aus dem automotiv Bereich realisiert, welche auch Anwendungen mit hohen Bandbreitenanforderungen für Videoübertragungen und Anwendungen mit Echtzeitanforderungen (ESP-Steuerdaten) einschließen. Das Ergebnis dieser Arbeit zeigt, dass alle Anforderungen der sicherheitsrelevanten Anwendungen eingehalten wurden.

### 4.3 IEEE 1733 - Layer 3 Transport Protocol

Die grundsätzliche Idee des IEEE 1733 Protokolls [15] ist, dass mit dem *Realtime Protocol* (RTP) bereits ein Echtzeit Streaming Protokoll existiert, aber IEEE 802 Ethernet im Allgemeinen nicht echtzeitfähig ist. Durch die Verwendung von AVB soll diese Echtzeitfähigkeit erreicht werden. Dabei soll ausgenutzt werden, dass AVB auf Streams basiert und diese Streams durch RTP definiert werden, also Informationen die AVB benötigt durch RTP ausgetauscht werden bzw. gegeben sind. Der IEEE 1733 Standard regelt die Zusammenarbeit von RTP und AVB, ohne auf Automotive spezifische Belange einzugehen. Die Entwicklung und Definition des Standards erfolgt in der *AVB Layer 3 Transport Working Group (P1733)* [16].

### 4.4 Vergleich der Ansätze

IEEE 1722 bietet die Vorteile, dass es sich um einen offenen Standard handelt, durch IEEE 1722A explizit auch Anforderungen im Automobil Beachtung finden und dass es ein Protokoll mit relativ geringem Overhead (i.d.R. 24 Byte Header) ist. Da es sich um einen neu definierten Standard handelt an dem zudem noch gearbeitet wird, existiert bislang jedoch wenig Know-How ausserhalb der IEEE 1722 Working Group.

Bei dem Internet Protocol handelt es sich ebenfalls um einen offenen Standard, der hingegen weit verbreitet ist, so dass relativ viel Wissen und Erfahrung mit dieser Technologie existieren. Des Weiteren existieren bereits verschiedene Security Konzepte für IP Kommunikation, die bereits in der Praxis angewendet werden. Die Nachteile des Internet Protocol sind der vergleichsweise hohe Protokoll Overhead sowie das ausser Acht lassen von Automotive spezifischen Anforderungen wie der Transport von Steuernachrichten aber auch die Echtzeitfähigkeit.

Bei IEEE 1733 handelt es sich auch um einen offenen Standard, so dass auch hier keine proprietäre Lösung der Automobil Hersteller bzw. Zulieferer eingesetzt wird. Außerdem werden in erster Linie vorhandene Protokolle (RTP, AVB) miteinander verknüpft, so dass auch hier ein gewisses Maß an Wissen und Erfahrungen verbreitet ist. Wie auch bei IP werden hier Automotive spezifische Anforderungen nicht beachtet und die Verwendung von RTP geht ebenfalls mit einem recht hohen Protokoll Overhead einher.

## 5 Zusammenfassung und persönlicher Ausblick

Im Kapitel 2 sind die Hauptgründe, warum die herkömmliche Vernetzung in Automobilen zukünftigen Anforderungen nicht gewachsen ist, erläutert. Die Gründe sind die steigende Komplexität der Netze, die hohen Kosten für Verbindungen mit hoher Bandbreite sowie die Kompatibilität zur Umwelt. Anschließend wurde im 3. Kapitel aufgezeigt, dass Ethernet ein guter Kandidat ist um die steigenden Anforderungen einzuhalten. Dabei wurde neben den genannten Problemen der herkömmlichen Vernetzung weitere relevante Aspekte wie z.B. die elektromagnetische Kompatibilität berücksichtigt.

Insbesondere bei der schrittweisen Integration von Ethernet im Auto ist die Strukturierung der via Ethernet übertragenen Daten ein zu beachtender Aspekt. Hierzu wurden in Kapitel 4 die drei Ansätze der Verwendung von IEEE 1722, des Internet Protocol und von IEEE 1733 beschrieben.

Letztendlich sind alle drei Ansätze in gewisser Weise vielversprechend. In folgenden Arbeiten werden das Protokoll IEEE 1722 sowie die Verwendung von IP im Auto näher untersucht. Dabei wird insbesondere auf die Erfüllung Automotive spezifischer Anforderungen sowie Konzepte zur konkreten Strukturierung der über Ethernet vermittelten Daten eingegangen.

## Literatur

- [1] Lucia Lo Bello. “The case for ethernet in automotive communications”. In: *SIGBED Rev.* 8.4 (Dez. 2011), S. 7–15. ISSN: 1551-3688. DOI: [10.1145/2095256.2095257](https://doi.org/10.1145/2095256.2095257). URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2095256.2095257>.
- [2] SEIS. *IP als Kommunikationsbasis*. URL: <http://strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/projekte/seis/ip-als-kommunikationsbasis> (besucht am 01. 05. 2013).
- [3] Rainer Steffen u. a. “Design and Realization of an IP-based In-car Network Architecture”. In: *1st International ICST Symposium on Vehicular Computing Systems*. Mai 2010. DOI: [10.4108/ICST.ISVCS2008.3543](https://doi.org/10.4108/ICST.ISVCS2008.3543).
- [4] Alexander Camek u. a. “An Automotive Side-View System Based on Ethernet and IP”. In: *2012 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. IEEE, März 2012, S. 238–243. ISBN: 978-1-4673-0867-0. DOI: [10.1109/WAINA.2012.66](https://doi.org/10.1109/WAINA.2012.66).
- [5] Mehrnoush Rahmani u. a. “A Novel Network Architecture for In-Vehicle Audio and Video Communication”. In: *2007 2nd IEEE/IFIP International Workshop on Broadband Convergence Networks*. IEEE, Mai 2007, S. 1–12. ISBN: 1-4244-1297-8. DOI: [10.1109/BCN.2007.372741](https://doi.org/10.1109/BCN.2007.372741).
- [6] John Leslie. *Ethernet Activities at Jaguar Land Rover*. Sep. 2011. URL: [http://strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/projekte/seis/das-sichere-ip-basierte-fahrzeugbordnetz/pdfs/3\\_SEIS\\_Ueberblick.pdf](http://strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/projekte/seis/das-sichere-ip-basierte-fahrzeugbordnetz/pdfs/3_SEIS_Ueberblick.pdf) (besucht am 22. 07. 2013).
- [7] Till Steinbach, Franz Korf und Thomas C. Schmidt. “Real-time Ethernet for automotive applications: A solution for future in-car networks”. In: *2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics -Berlin (ICCE-Berlin)*. IEEE, Sep. 2011, S. 216–220. ISBN: 978-1-4577-0233-4. DOI: [10.1109/ICCE-Berlin.2011.6031843](https://doi.org/10.1109/ICCE-Berlin.2011.6031843).
- [8] Dr. Kirsten Matheus. “OPEN Alliance - Stepping Stone to Standardized Automotive Ethernet”. Sep. 2012.

- [9] Elmar Frickenstein. *SEIS Statusseminar. Das IP-basierte Bordnetz kommt*. Sep. 2011. URL: [http://strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/projekte/seis/das-sichere-ip-basierte-fahrzeughordnetz/pdfs/1\\_Keynote\\_Frickenstein.pdf](http://strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/projekte/seis/das-sichere-ip-basierte-fahrzeughordnetz/pdfs/1_Keynote_Frickenstein.pdf) (besucht am 22. 07. 2013).
- [10] Dr. Thilo Streichert. *IP-basierte Netze für eingebettete Systeme*. Sep. 2011. URL: [http://strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/projekte/seis/das-sichere-ip-basierte-fahrzeughordnetz/pdfs/4\\_TP2\\_Ueberblicksvortrag.pdf](http://strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/projekte/seis/das-sichere-ip-basierte-fahrzeughordnetz/pdfs/4_TP2_Ueberblicksvortrag.pdf) (besucht am 22. 07. 2013).
- [11] “IEEE Standard for Layer 2 Transport Protocol for Time Sensitive Applications in a Bridged Local Area Network”. In: *IEEE Std 1722-2011* (2011), S. 1–57.
- [12] IEEE 1722A. “AVTP Control Streams”. März 2012. URL: [http://grouper.ieee.org/groups/1722/contributions/2012/review\\_HelgeZinner\\_P1722a\\_control\\_streams\\_3.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/1722/contributions/2012/review_HelgeZinner_P1722a_control_streams_3.pdf) (besucht am 22. 07. 2013).
- [13] Dave Olsen. “Control Message Update v5”. Juni 2012. URL: [http://grouper.ieee.org/groups/1722/contributions/2012/1722a\\_control\\_message\\_formats\\_v5.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/1722/contributions/2012/1722a_control_message_formats_v5.pdf) (besucht am 22. 07. 2013).
- [14] IEEE. *IEEE 1722 - Layer 2 Transport Protocol Working Group for Time-Sensitive Streams*. Juli 2013. URL: [grouper.ieee.org/groups/1722/](http://grouper.ieee.org/groups/1722/) (besucht am 22. 07. 2013).
- [15] Microprocessor Standards und Computer Society. “IEEE Standard for Layer 3 Transport Protocol for Time-Sensitive Applications in Local Area Networks”. In: *IEEE Std 1733-2011* (2011), S. 1–21.
- [16] AVB L3 Transport WG (P1733). URL: <http://grouper.ieee.org/groups/1733/> (besucht am 22. 07. 2013).