

# Visualisierung von Kommunikationsdaten im Automotive Echtzeit-Ethernet Netzwerk

Benjamin Burchard

Wintersemester 2014/15

In zukünftigen automobilen Netzwerken wird vermehrt Ethernet zum Einsatz kommen. Nicht nur die zunehmende Bandbreitenanforderung, durch mehr bandbreitenintensive Geräte im Fahrzeug (Kameras, Laserscanner etc.), verlangt nach einem neuen Übertragungsmedium. Auch die bestehende Diversität der verbauten Bustechnologien und die damit einhergehende Vielschichtigkeit des Fahrzeugnetzes, spricht für eine einheitliche und weniger komplexe Lösung wie sie mit Echtzeit Ethernet gegeben wäre. Diese Umstrukturierung bringt neue Metriken für die Daten des Fahrzeugnetzes mit sich. Um diese für das automobilen Echtzeit-Ethernet zu analysieren, benötigt man eine hinreichende visuelle Aufbereitung dieser Kommunikationsdaten. In dieser Arbeit wird auf die damit verbundenen Probleme eingegangen, die zugehörigen Metriken erörtert, Möglichkeiten und Formen der Visualisierung vorgestellt sowie auf den Fortschritt der Projektarbeit verwiesen.

## 1 Einleitung

Kommunikationsdaten sind im Grunde alle Daten welche über das Netzwerk transportiert, also kommuniziert werden. Um Kommunikationsdaten zu visualisieren gibt es viele verschiedene Möglichkeiten und Techniken. Um die richtige Darstellungsform zu wählen muss das Ziel bekannt sein. Also für wen sollen die Daten aufbereitet werden und welche Daten sollen dafür Verwendung finden. Unter anderem diesen Fragestellungen wendet sich die Arbeit in den folgenden Kapiteln zu.

In aktuellen Fahrzeugsystemen kommunizieren bereits über 70 ECUs (Electronic Control Units) miteinander [16]. Diese stellen dem Fahrer verschiedenste Fahrerassistenzsysteme zur Verfügung. Darüber hinaus überwachen und steuern sie, mit Hilfe von Sensoren sowie Aktoren, Funktionen aller Domänen im Fahrzeug. Durch die kommende Portierung der aktuellen Funktionalität hin zum neuen Übertragungsmedium Ethernet entstehen für den Fahrzeugbereich neue Metriken die eine Untersuchung dieser Netzwerke notwendig macht. Die für das Fahrzeugnetz relevanten Metriken wurden bereits identifiziert [7] und sind beispielsweise die verfügbare Bandbreite, Linkauslastung oder auch die Paketverlustrate.

Es entstehen viele neue Informationen, welche zusammengefasst und aufbereitet werden müssen um möglichen gewonnenen Daten Bedeutung zu verleihen und sie in Kontext zu setzen. Erst durch den Bezug der Metriken auf echte Daten und deren Kontext können tatsächlich neue Erkenntnisse gewonnen werden. Ein weiterer wichtiger Punkt der Aufbereitung der realen Fahrzeugdaten ist die Verifikation von Simulationsdaten. Eine solche Verifizierung ermöglicht die abschließende Beurteilung und Evaluation der Simulation gegenüber der Wirklichkeit.

In Kapitel 2 wird die Problemstellung erläutert. Mittels eines Beispielhaften Fahrzeugnetzes werden die Probleme herausgestellt. Kapitel 3 behandelt drei verschiedene Arbeitsfelder bezüglich der Visualisierung von Netzwerkdaten und nimmt Bezug auf verwandte Arbeiten in den verschiedenen Bereichen. Im 4. Kapitel entsteht ein Bezug zu Projekt 1. Es wird der Fortschritt des entwickelten Prototypen thematisiert und dessen Bindung an diese Ausarbeitung wird deutlich. Im abschließenden Kapitel 5 wird ein Fazit gezogen und die Arbeit zusammengefasst. Außerdem wird auf Risiken und Ziele zukünftiger Arbeiten eingegangen.

## 2 Problemstellung

Der erste Schritt zur Integration von Ethernet in automobilen Netzwerken ist die Installation eines Ethernet Backbones. Im klassischem Netzwerk eines Automobils kommunizieren Steuergeräte verschiedener Bereiche überwiegend innerhalb ihrer Domänen. Modernere Anwendungen benötigen vermehrt Informationen aus verschiedenen Systemen. Das setzt eine domänenübergreifende Kommunikation zwischen Netzwerken voraus. Derzeit werden zur Kommunikation zwischen verschiedenen Domänen und somit auch verschiedenen Bussystemen (bspw. CAN [15], LIN [9] oder MOST [11]) Gateways verwendet. Diese übersetzen die Daten von Bussystem zu Bussystem, es existiert also kein Zentraler „Übersetzer“, wie ihn beispielsweise ein Backbone realisieren kann. In Abbildung 1 ist ein beispielhafter Aufbau eines solchen Fahrzeugspezifischen Ethernet Backbone Netzes dargestellt.

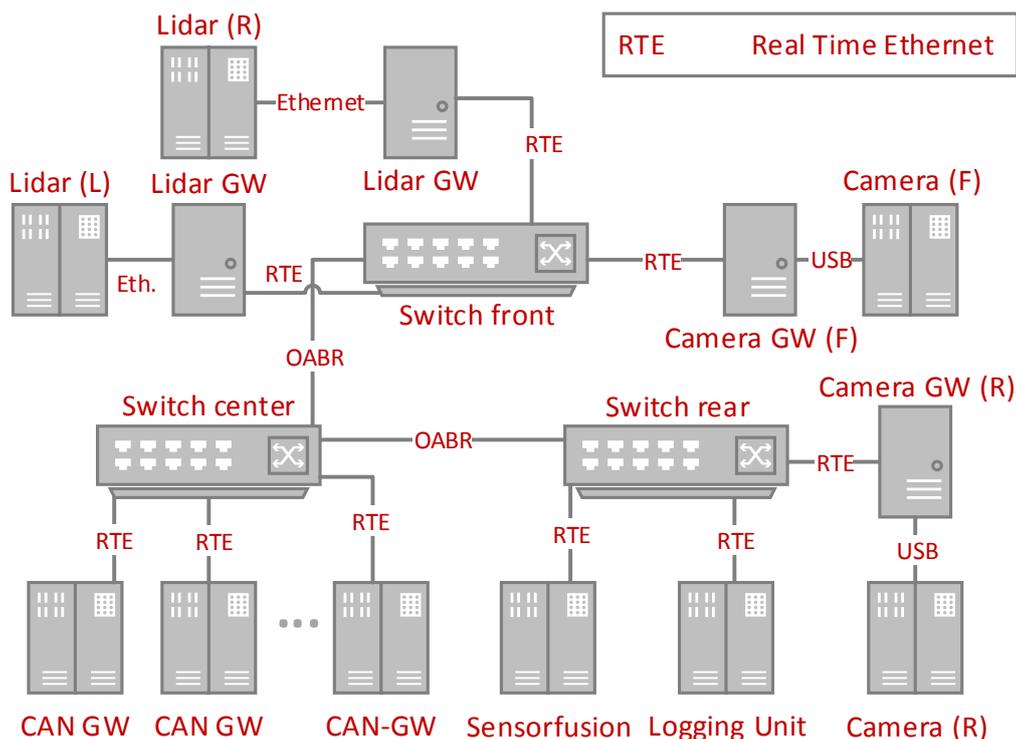


Abbildung 1: Ethernet Backbone Fahrzeugnetz

Für diesen neuen Fahrzeugnetzansatz muss die veränderte Kommunikationsstruktur zunächst überprüft und validiert werden. Mit Hilfe der bereits erwähnten Metriken können verschiedenste Daten aus einem derartigen Netz in Kontext gesetzt werden, um einen ersten Evaluationsansatz aufzuzeigen. In einem rohen und unbearbeiteten Zustand haben diese Daten kaum Bedeutung. Um aussagekräftige und vollständige Daten erfassen zu können müssen diese von jeder Steuereinheit und jedem Gerät gesammelt werden. Eine technische Möglichkeit für eine vollständige und zeitlich korrekte Messung der Daten, wäre an alle Endpunkte des Netzes Oszilloskope anzuschließen. Dadurch könnten exakte Sende- und Empfangszeitpunkte oder auch Jitter ermittelt sowie alle Daten geloggt werden. Da sich ein solcher Aufbau als zu umfangreich, kaum umsetzbar und daher als nicht realistisch erweist, ist eine Filterung der Daten an anderer Stelle und auf andere Weise erstrebenswert. Eine gängige Praxis ist in diesem Fall die Nutzung eines Daten-Loggers [2][3]. Dieser fungiert als Auffangbecken für alle über das Netzwerk gesendeten Daten. In Abbildung 1 ist am *Switch rear* auch ein solcher Logger angeschlossen. Das dort gezeigte Netzwerk ist in dieser Form auch im Projektfahrzeug der CoRE Gruppe [18] (bzw. des RECBAR Projekts) verbaut. In Testläufen entstanden bereits bei nur einer Stunde Testzeit enorme Datenmengen. Ungefähr 41,6 Millionen Datensätze entstehen in dieser Zeitspanne, die die Datenbank auf eine Größe von etwa 11,2 Gigabyte anwachsen lassen. Gerade um dieser Vielzahl an Daten Herr zu werden ist eine

grafische Aufarbeitung nötig. Ohne einen Kontext und auf die Daten, bzw. den jeweiligen Anwendungsfall, zugeschnittene Visualisierungsformen sind diese schwer zu interpretieren. Derzeit wird vieles in der Automobilbranche, aufgrund Jahrzehnte langer Praxis, anhand von Erfahrungswerten bestimmt. Für Echtzeit-Ethernet im Fahrzeugbereich gibt es noch kaum bis gar keine Erfahrungswerte. Diese entstehen erst mit der Zeit, allerdings können Datenvisualisierungen erste Anhaltspunkte bieten. Beispielsweise durch die Abbildung der Ethernet Netzwerkdaten in Diagrammen und weiteren grafischen Darstellungen. Eine Visualisierung kann des Weiteren den Aufbau und die Struktur der neu entstehenden Datenpakete verständlich machen. In einem Ethernet Backbone Netzwerk werden Daten aus herkömmlichen Bussystemen (CAN, FlexRay, etc.) über Gateways in Ethernet-Pakete gehüllt. Dadurch entsteht ein neuer Datenaufbau sowie weitere Attribute die den Daten beigelegt werden müssen, wie Zeitstempel oder IP-Header. Zu diesen Problemen soll in den folgenden Kapiteln Bezug genommen werden.

### 3 Teilbereiche der Visualisierung von Kommunikationsdaten im Echtzeit Ethernet

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den identifizierten Teilbereichen Performance, Datenanalyse und der Darstellung. Die Bereiche wurden in dieser Form gewählt, da sie sich während der Recherche als besonders relevant erwiesen haben. Der Unterabschnitt Performance behandelt hauptsächlich die Leistungsfähigkeit die benötigt wird um Daten in Echtzeit zu erfassen. Im zweiten Abschnitt wird detailliert auf die Metriken und Daten im Echtzeit Ethernet eingegangen sowie mögliche Anwendungsfälle zu diesen vorgestellt. Der abschließende Abschnitt des Kapitels beschäftigt sich mit verschiedenen Visualisierungsformen als auch mögliche Nutzung dieser für bestimmte Metriken.

#### 3.1 Performance

Um Daten in einem Fahrzeuggebundenen Ethernet Netzwerk zu erfassen müssen einige Anforderungen erfüllt werden. Flexibilität ist ein wichtiges Stichwort, die Daten des Netzwerks sind für viele verschiedene Applikationen von Nutzen und sollten unabhängig vom Typ des zugreifenden Systems verfügbar sein. Im Fahrzeugnetz wächst die Zahl der aufgezeichneten Pakete um mehrere hundert Megabyte pro Minute. Damit die Daten erfasst werden können, müssen also große Datenmengen in kurzer Zeit zu erfassen sein ohne das dabei Pakete verloren gehen. Auch die Anzahl der übermittelten Pakete in einem Ethernet Netzwerk ist sehr groß, so dass viel Prozessorzeit aufgewendet werden muss um die Pakete verlustfrei aufzuzeichnen [8]. Eine detailliertere Beschreibung der Umsetzung dieser Vorgaben bezüglich der Projektarbeit befindet sich im Abschnitt 4.2.

#### 3.2 Datenanalyse

Die Daten zur Analyse eines Automotive Ethernet Netzwerks ergeben sich aus verschiedenen Metriken der Netzwerktechnik. Hier stehen diejenigen Metriken, oder auch Kennzahlen, im Vordergrund die hauptsächlich für die Qualität der Verbindung zwischen einem Sender und den Empfängern von Nachrichten genutzt werden. Des Weiteren gibt es Systemmetriken, welche versuchen das System abstrahierter darzustellen und Informationen zu einzelnen Netzknoten bieten. Somit können sie beispielsweise zur Entwicklung einer besseren Topologie eingesetzt werden.

Nimmt man Metriken als Analysegrundlage für IP gesteuerte Netzwerke, ist die Qualität der Kommunikation hauptsächlich auf die drei Metriken Latenzzeit, Jitter und Paketverlustrate zurück zu führen [7] [19]. Man nennt diese Art der Metriken auch **Quality of Service Parameter**. QoS Parameter beschreiben die Güte eines Kommunikationsdienstes aus Sicht des Anwenders. Im Folgenden sollen die aufgeführten Kennzahlen kurz beschrieben werden.

**Latenzzeit** Der Definition nach, ist die Latenz die Verzögerung welche Botschaften von Beginn der Sendung bis zum tatsächlichen Beginn des Empfangs benötigen [14]. Dieser Parameter dient zur Beschreibung der Performance eines Netzes, denn die Latenzzeit schließt alle Verzögerungen die auf dem Übertragungsweg entstehen können ein und kann gut als Zeitfolge dargestellt werden. Die Formel zur Berechnung der Latenz ist

$$T_{Receive} - T_{Send} \quad (1)$$

Die Latenz ist eine wichtige Metrik im Automobilnetzwerk, denn eine Latenz die konstant und vor allem niedrig ist trägt zur einwandfreien Funktion des Netzes bei.

**Jitter** Wie in [10] beschrieben, ist Jitter die Variabilität der Verzögerung von Paketen in Netzwerken. In einem optimalen Netzwerk wären also die Verzögerungszeiten bei identischen Nachrichten immer gleich und die Latenz dadurch immer konstant. Im Echtzeit-Ethernet Netzwerk welches im Fahrzeugnetz nach Abbildung 1 integriert wurde, werden bei bestimmten Nachrichten maximale Verzögerungen von unter  $1\mu s$  erlaubt. Das zeigt wie wichtig dieser Parameter für ein Fahrzeugnetz ist. Jitter wird bestimmt über die Laufzeiten zweier Pakete im Bezug zueinander. Zur Berechnung werden die Sende- und Empfangszeitpunkte (Latenzen) beider Pakete benötigt. In einer Formel ausgedrückt:

$$|(T_{Receive1} - T_{Send1}) - (T_{Receive2} - T_{Send2})| \quad (2)$$

**Paketverlustrate** Die Paketverlustrate beschreibt das Verhältnis von gesendeten zu empfangenen Paketen. Paketverluste entstehen durch Übertragungsfehler oder zum Beispiel einem überlaufenden Buffer in einem Switch oder Endgerät. Im Echtzeit Ethernet Netzwerk ist die Paketverlustrate abhängig von der Konfiguration, betrifft aber in erster Linie die Pakete welche keine Echtzeit Anforderungen erfüllen müssen. Gemessen wird diese Metrik wenn beim Empfänger weniger Pakete ankommen, als ursprünglich gesendet wurden. Die Kennzahl ergibt sich demnach aus

$$PLR = \frac{P_{lost}}{P_{send}} \quad (3)$$

wobei  $P$  die Anzahl der Pakete darstellt. Im Messaufbau mit einem Logger ist die PLR kaum zu erfassen, da es keine Informationen darüber gibt ob ein Paket beim eigentlichen Empfänger angekommen ist oder wie viele Pakete ursprünglich gesendet worden sind.

Die zu Beginn des Kapitels erwähnten **Systemmetriken** beeinflussen das Netzwerk nicht direkt. Eine schlechte Systemmetrik macht keine Aussage über die Qualität eines Dienstes, sondern eher über die damit verbundenen Quality of Service Parameter. Mit diesen Metriken lassen sich Topologien, Routing-Algorithmen und Konfigurationen einzelner Netzelemente bewerten. Relevante Systemmetriken zur Analyse eines Netzwerkes sind beispielsweise die Kapazität, die verfügbare Bandbreite sowie die Linkauslastung. Auch diese sollen in den nächsten drei Passagen beschrieben werden.

**Kapazität** Die maximal mögliche Bandbreite wird als Kapazität beschrieben. Dabei bezieht sich das auf die maximale Bandbreite die auf einem Link oder einem Pfad erreicht werden kann [13]. Betrachtet werden die Pakete abzüglich ihrer Header die auf dem gemessenen Layer hinzugefügt werden. Das spielt in IP-Netzen eine große Rolle, da hier der Header bei minimaler Paketgröße relativ groß ist im Verhältnis zum Gesamtpaket. Dadurch ist die Kapazität eines Links bei kleinen Paketen, auf Grund des großen Overheads, geringer. Die Kapazität wird in MB/s angegeben und wird berechnet über die Formel:

$$C_{L_3} = C_{L_2} \frac{1}{1 + \frac{H_{L_2}}{L_{L_3}}} \quad (4)$$

Wobei  $C_{L_x}$  die Kapazität auf dem jeweiligen Layer bestimmt.  $H_{L_2}$  ist der Layer-2 Overhead und  $L_{L_3}$  bezeichnet die Größe eines Layer-3 IP-Paketes.

**Linkauslastung** In einem Netzwerk wird die Linkauslastung für jeden Link einzeln gemessen. Sie beschreibt die Auslastung des Links im Verhältnis zur maximalen Bandbreite die pro Zeitintervall zur Verfügung steht. Auch die Linkauslastung wird in MB/s angegeben, kann aber auch in Prozent verdeutlicht werden. Das Intervall beträgt in der Regel eine Sekunde. Wenn innerhalb des Intervalls 0.7 Sekunden lang übertragen wird, beträgt die Linkauslastung 70%. Je kleiner das Intervall gewählt ist, desto besser kann man mögliche Auslastungsspitzen erkennen. Dieser Vorteil bei kleinen Intervallen entsteht, da nur wenige Pakete übertragen werden können und diese dementsprechend eine größere Auswirkung auf die Auslastung haben. Berechnet wird die Linkauslastung wie folgt:

$$\frac{Sendedauer}{Intervallzeit} \text{ oder } \frac{GesendeteDaten}{Intervallzeit} \quad (5)$$

In Echtzeit-Ethernet Netzen ist besonders die Linkauslastung bezüglich Virtueller Links interessant. Virtuelle Links sind Multicastverbindungen innerhalb des Fahrzeugnetzes, von einem Sender zu mehreren Empfängern. Bei einem guten Netzdesign, müsste jeder einzelne Link, der sich auf dem Pfad des Virtuellen Links befindet, der Link mit der geringsten Linkauslastung sein.

**Verfügbare Bandbreite** Diese bestimmt die, während der Übertragung von Daten, auf einem Link noch zur Verfügung stehende Bandbreite. Somit ist die verfügbare Bandbreite das Gegenstück zur Linkauslastung. Wie beschrieben, misst die Linkauslastung die tatsächlich übertragene Bandbreite, im Gegensatz dazu zeigt die verfügbare Bandbreite die Spanne an welche noch für weitere Anwendungen zur Verfügung steht. Die verfügbare Bandbreite wird in den gleichen Einheiten wie die Linkauslastung angegeben (MB/s oder in Prozent). Wird in einem einsekündigen Intervall die Hälfte der Zeit lang übertragen, ergibt sich eine verfügbare Bandbreite von 50% in dem gewählten Zeitraum. Die verfügbare Bandbreite muss im Bezug auf die maximale Bandbreite gesehen werden, sie berechnet sich also über:

$$\text{Max. Bandbreite des Links} - \text{Linkauslastung} \quad (6)$$

Zu beachten ist dabei, dass jeder Pfad vom Sender zum Empfänger einen *tight link* besitzt, wessen ungenutzte Bandbreite immer die verfügbare Bandbreite des Pfades (im Fahrzeugnetz bspw. ein Virtueller Link) definiert [5].

Tabelle 1 zeigt alle in diesem Abschnitt behandelten Metriken und fasst ihre Eigenschaften zusammen.

Metrik	Einheit	Formel
Latenzzeit	Sekunden (S)	$T_{Receive} - T_{Send}$
Jitter	Sekunden (S)	$ (T_{Receive1} - T_{Send1}) - (T_{Receive2} - T_{Send2}) $
Paketverlustrate	Prozent (%)	$PLR = \frac{P_{lost}}{P_{send}}$
Kapazität	MB/s	$C_{L3} = C_{L2} \frac{1}{1 + \frac{H_{L2}}{L_3}}$
Linkauslastung	MB/s oder Prozent (%)	$\frac{Sendedauer}{Intervallzeit}$ oder $\frac{GesendeteDaten}{Intervallzeit}$
Verfügbare Bandbreite	MB/s oder Prozent (%)	Max. Bandbreite des Links – Linkauslastung

Tabelle 1: Zusammenfassung relevanter Netzwerk Metriken

### 3.3 Darstellung

Bei der Wahl einer Visualisierung für Metriken, Kennzahlen und Daten kommt es immer auf den jeweiligen Anwendungsfall an. Die Möglichkeiten zur Visualisierung sind sehr vielfältig, weshalb die Wahl eines geeigneten Darstellungsformats entscheidend ist. Die Visualisierung von Netzwerkdaten, Zeitfolgen, Large scale-/Big data, multiple Ansichten sowie die Bedeutungsbestimmung von Daten, sind zentrale Themen die für viele Forschungsbereiche relevant sind jedoch noch weiterer Entwicklung bedürfen [6]. Dies sind genau die Themen, welche auch in dieser Arbeit von Interesse sind und ebenso in der begleitenden Projektarbeit vorangetrieben wurden.

Die eingangs der Arbeit erwähnte steigende Komplexität des Fahrzeugnetzes veranlasste Sedlmair et al. zu einer Studie über die nötige Visualisierung von Kommunikation innerhalb eines herkömmlichen Fahrzeugnetzwerks [17]. Durch die steigende Komplexität, wird es auch für Ingenieure immer schwerer Störungen zu analysieren und Diagnosen zu fehlerhaftem Verhalten zu stellen. Es entsteht durchgehend neuer Datenverkehr im Fahrzeug, welcher von speziellen Werkzeugen aufgefangen wird um die Experten zu unterstützen. Jedoch beschreiben diese Tools die Daten hauptsächlich in textueller Form, in dieser Art der Visualisierung fehlt allerdings die Beziehung zwischen Ursache und Wirkung. Um ein tieferes Verständnis der Netzwerkkommunikation in einem Fahrzeug zu erhalten, ist aber zumindest ein zeitliches Verhältnis zwischen den Nachrichten notwendig.

Damit eine Visualisierung für eine solch spezifische Nutzergruppe gelingen kann, ist es nötig die derzeitigen praxisbezogenen Bedürfnisse der Nutzer eindeutig zu identifizieren. Im Bezug auf Fahrzeugingenieure konnten diese wie in Tabelle 2 dargestellt ermittelt werden. Im zu dieser Arbeit parallel laufenden Projekt wurde der Fokus zunächst auf die klassischen Visualisierungsmethoden gelegt, da diese eine breites Anwendungsgebiet bedienen und vom Anwender akzeptiert sind. Des Weiteren sind diese klassischen Formen, etwa Balken- und Tortendiagramme, für Metriken wie die Linkauslastung oder der verfügbaren Bandbreite vollkommen ausreichend.

Visualisierung	Nachfrage	Gründe	Anwendungsfall
Textuelle Liste	stark	Die Listenansicht ist unersetzbar um detaillierte Daten in tabellarischer Form darzustellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Präzise und detaillierte Informationen anzeigen</li> <li>• Daten untersuchen</li> <li>• Daten analysieren</li> <li>• Daten überwachen</li> </ul>
Klassische Visualisierungsmethoden	optional	Diese Visualisierungsformen sind bekannt und leicht zu verstehen. Mit mehr Interaktivität, noch bessere Nutzung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komponentenstatus anzeigen</li> <li>• Aktivitätsentwicklung von Komponenten anzeigen</li> <li>• Datenverkehr anzeigen</li> <li>• Übergangszustände finden</li> </ul>
Themenfluss (Themeriver)	keine	Ein zu hohes Abstraktionslevel ohne erhöhten Detailgrad wurde als nicht verwendbar für die Fahrzeugkommunikation bewertet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzeige einer Kombination von Trends</li> </ul>
Blasendarstellung (Bubble view)	optional	Auch wenn ohne gefundenen Anwendungsfall, wurde diese Darstellung positiv bewertet wegen des innovativen Charakters	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Anwendungsfall gefunden</li> </ul>
Autobahn	stark	Diese neu entwickelte Visualisierung erfuhr großen Zuspruch, weil es ein verständliches Modell mit einem einfachen und angenehmen visuellem Vokabular verbindet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehler entdecken</li> <li>• Zyklischen Datenverkehr beobachten</li> <li>• Beobachten gesamter Fahrzeugkommunikation</li> <li>• Fahrzeugnetzwerke verstehen lernen</li> <li>• Ursache-Wirkungs Relationen untersuchen</li> </ul>

Tabelle 2: Evaluationsergebnisse nach Sedlmair et. al, Visualisierungsformen und ihr Nutzen für den Anwender [17]. Darstellungen der hier Aufgeführten Visualisierungsarten sind in der referenzierten Arbeit zu finden.

## 4 Projektfortschritt und Ausblick

In diesem Abschnitt der Ausarbeitung wird auf den derzeitigen Fortschritt der Einbindung der oben genannten Bereiche in Bezug auf Projekt 1 eingegangen. Das Kapitel ist unterteilt in die Erfassung der Daten, den Datenzugriff und die Visualisierung dieser. In den Unterkapiteln werden die jeweiligen Hürden und Meilensteine der Bereiche erläutert. Wie bereits im Kapitel **Problemstellung** beschrieben geschieht die Datenbeschaffung über einen Logger. Auf diesem ist eine *postgreSQL* [12] Datenbank integriert, welche die Daten aufnimmt. Die Visualisierung ist über einen nginx-Web Server [20], der auf dem Logger läuft, realisiert und mit JavaScript/PHP programmiert.

### 4.1 Datenerfassung

Um ein gesamtheitliches Bild der Netzwerkkommunikation zu erhalten müssen alle im Fahrzeugnetz versendeten Datenpakete erfasst werden. Damit dies gelingt leiten die Switches alle Daten die sie passieren an den Logger weiter. Somit ist es möglich die Daten von nahezu allen Geräten zu erfassen. Derzeit sind nicht alle ECUs an das Netz angeschlossen, weshalb nur drei CAN Busse erfasst sind. Auf dem Logger ist eine *postgreSQL* Datenbank installiert, in welcher die Daten gespeichert sind. Um der Geschwindigkeit des Netzes vom 100 MBit/s zu bewältigen, ist eine Blockweise Speicherung der Daten in der Datenbank implementiert. Das bedeutet anstatt jedes neue Datum per INSERT-Befehl direkt hinzuzufügen, werden diese INSERTs gesammelt und mit nur einer Transaktion ausgeführt. Zusätzlich wird die Datenbank parallel von mehreren Prozessen beschrieben, von denen jeder eine Verbindung zur Datenbank hält. Eine schnelle Speicherung ermöglicht eine SSD-Festplatte. Ein technisches Problem welches derzeit noch besteht ist, dass das Netzwerkinterface des Loggers nicht synchron zum restlichen Fahrzeugnetz läuft. Damit fallen Quality of Service Parameter wie Jitter oder Latenzzeit gegenwärtig noch aus dem Rahmen des Möglichen.

### 4.2 Datenzugriff

Der Zugriff auf die Daten ist mit PHP als Backend realisiert. Im Backend werden ankommende Requests an die *postgreSQL* Datenbank per SQL-Statement weitergeleitet. Derzeit sind alle Requests zu den verfügbaren Virtuellen Links implementiert. Eine Funktion gibt die von der Datenbank erhaltenen Daten zurück und codiert diese im standardisierten JSON Format [1]. Die weitergeleiteten Daten werden im Frontend per Javascript/jquery aufgenommen und an verschiedene Highcharts Diagramme übergeben [4]. Für den Anwender erscheinen daraufhin die Visualisierungen wie in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. In Abbildung 2 wird ein vereinfachter Architektur des im Zuge von Projekt 1 entwickelten Prototypen gezeigt.

Der Zugriff für den Anwender ist sehr transparent gehalten. Er wählt einen Virtuellen Link, also eine Multicastverbindung, beispielsweise Lidar (Laserscanner). Dazu wählt er ein Datum sowie eine Uhrzeit zu welchen die Daten angezeigt werden sollen. Nach absenden der Eingabe erscheinen mehrere Diagramme zu den gewünschten Daten, im nächsten Abschnitt wird näher auf die verschiedenen Visualisierungsformen eingegangen.

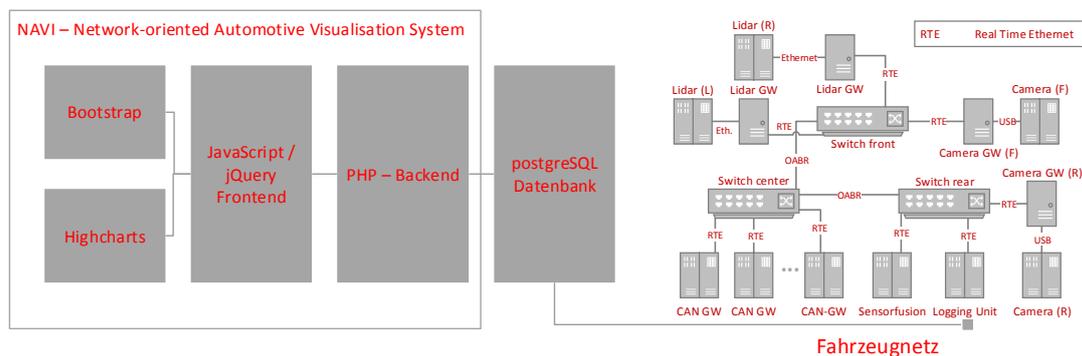


Abbildung 2: Architektur des Prototypen NAVI

### 4.3 Visualisierung

Bei dem ersten Prototypen der Projektarbeit lag der Fokus auf dem Informationsgewinn und der Bedeutungsbestimmung mit Hilfe von traditionellen Visualisierungsformen. Abbildung 3 zeigt ein Balkendiagramm, welches die Linkauslastung von den drei Virtuellen CAN Links in MB/s angibt. Zu sehen sind die Felder zur Eingabe des Datums und der Zeit sowie die Auswahlmöglichkeiten zu den Virtuellen Links (CAN, Lidar, Camera). Per Reset-Button werden alle Diagramme zurückgesetzt.

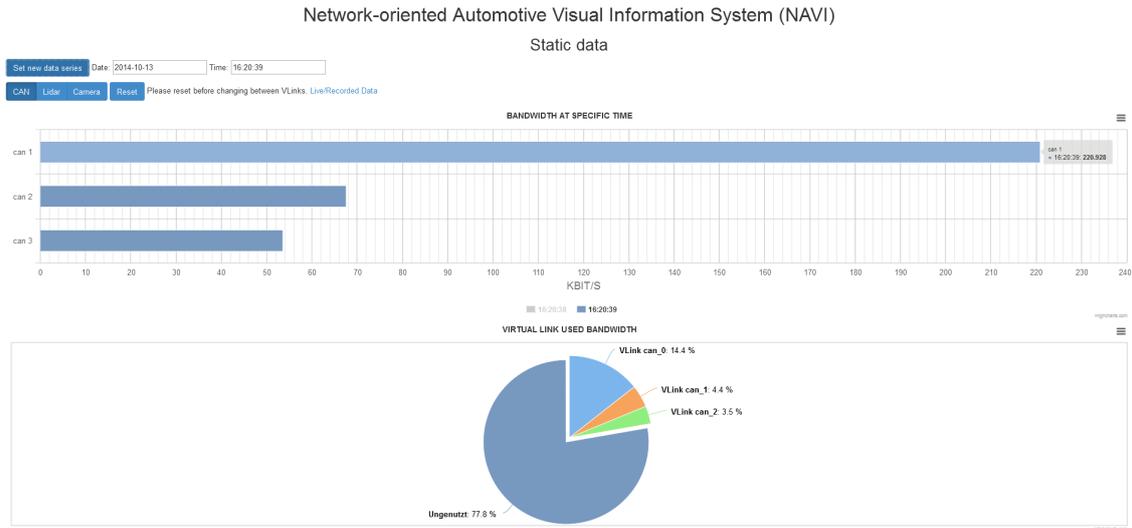


Abbildung 3: Projekt 1 Prototyp zur Visualisierung von Kommunikationsdaten im Fahrzeug, statische Ansicht

Im unteren Teil der Abbildung 3 ist ein Tortendiagramm zu sehen. Dieses gibt die Kombinierte Linkauslastung aller drei Links in Prozent wieder. Des Weiteren lässt sich die verfügbare Bandbreite ablesen. Per Tooltip wird hier auch eine Umrechnung in MB/s angezeigt. Diese beiden Visualisierungsformen bieten einen eindeutigen Informationsgewinn gegenüber den vorhandenen roh- und tabellarischen Daten, welche nur die Ansicht einzelner Pakete ermöglichen. Durch die Berechnung der Linkauslastung und der verfügbaren Bandbreite sowie einer einfachen und verständlichen visuellen Darstellung können Rückschlüsse auf den Netzzustand gezogen werden. Ein weiterer Vorteil dieser Darstellungen ist die unmittelbare Information wie viel Bandbreite noch für weitere Anwendungen verfügbar ist, auf einzelnen Links sowie auch insgesamt.

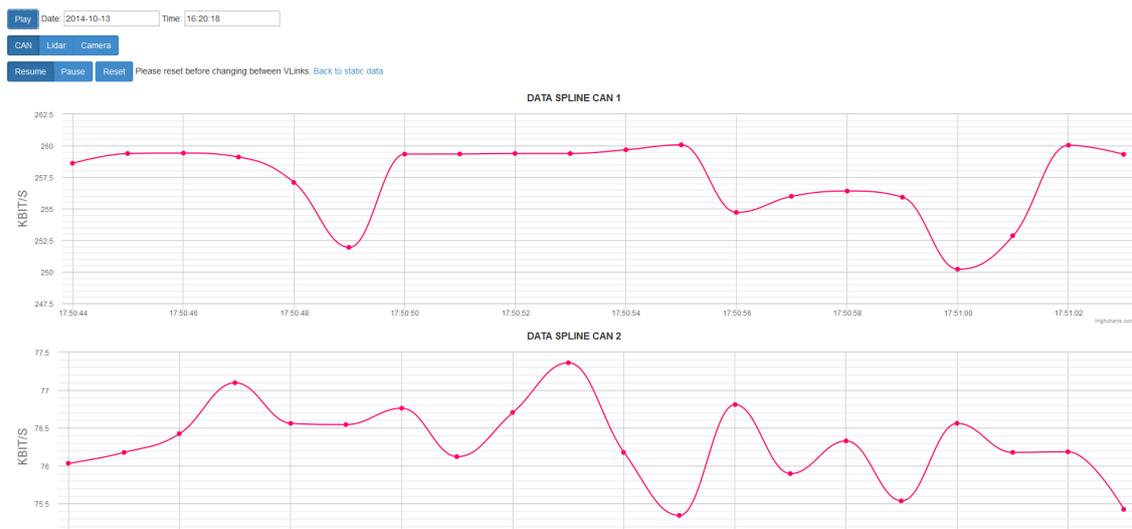


Abbildung 4: Dynamische Ansicht der Prototypensoftware aus Projekt 1

Die zweite entwickelte Ansicht (Abbildung 4) zeigt in einer Zeitfolge, fortlaufend die Linkauslastung der Virtuellen Links. Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Bedienelementen der statischen

Ansicht, gibt es hier die Play-, Pause- und Resumefunktionen zur Steuerung der Datensplines. Das Diagramm verfügt über eine automatische Skalierung und kann Daten nahezu Live darstellen (getestet mit im besten Fall 2-3 Sekunden Verzögerung), als auch gespeicherte Daten Abspielen. Die Verzögerung bei der Live-Ansicht entsteht durch das im Abschnitt 4.1 beschriebene Blockweise speichern der Daten. Durch die fortlaufende Abbildung der Linkauslastung in einem konstant kurzem einsekündigen Intervall, lassen sich sehr gut Auslastungsspitzen auf den jeweiligen Links erkennen. Die gesamte dargestellte Zeitspanne beträgt 10 Sekunden. Bei zyklischem Datenverkehr lassen sich so relativ leicht Abweichungen vom Normalfall identifizieren. Durch diese Vorteile der entwickelten Ansicht lässt sich auch hier zusammenfassend sagen, dass sie den Daten mehr Bedeutung verleihen. Was beiden Ansichten fehlt ist der direkte Bezug zu den Daten. Es lässt sich beim derzeitigen Stand der Software nicht erkennen welche Daten Auslastungsspitzen oder Abweichungen verursachen. Mit Aussicht auf Projekt 2 wäre das eine wünschenswerte Erweiterung.

## 5 Fazit und Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Arbeit wurden die Probleme die derzeit bei der Visualisierung von Kommunikationsdaten im Fahrzeug bestehen herausgearbeitet. Zur Erarbeitung der zentralen Forschungslandschaft um dieses Thema wurden die drei Bereiche Performance, Datenanalyse und Darstellung identifiziert. Ein klarer Fokus liegt auf der Datenanalyse und der Datenvisualisierung. Im Bereich der Performance wurden grundlegende technische Voraussetzungen an das Daten aufzeichnende Gerät benannt. Bezüglich der Datenanalyse konnten mehrere Metriken ausgemacht werden, welche für ein Echtzeit-Ethernet Netzwerk relevant sind. Es wurden mögliche Einsatzarten der Metriken beschrieben und ihre Mathematischen sowie Netzwerktechnischen Grundlagen erläutert. Es konnte ein Bezug dieser Metriken zu verschiedenen, im Bereich der Fahrzeugvernetzung, wichtigen Visualisierungsformen aufgezeigt werden. Die in diesem Bereich entscheidenden Darstellungsarten wurden mit einer anwenderzentrierten Studie untermauert und als ebenso relevant für zukünftige Fahrzeugnetze befunden. Basierend auf diesen Ergebnissen und im Zuge vom begleitenden Projekt wurde ein Prototyp erstellt. Dieser greift zwei der vorgestellten Metriken auf und lässt Raum für Weiterentwicklung bezüglich des nächsten Projektes. Der Prototyp wurde bereits einem breiterem Publikum im Rahmen einer Messe demonstriert und erfuhr eine positive Resonanz.

**Risiken** Beim praktischen Anteil dieser Ausarbeitung besteht immer eine Abhängigkeit zu dem zum Projekt gehörigem Fahrzeug. Dieses steht, auf Grund von Messepräsentationen, Fahrzeughalensperrung oder Technischen Defekten, nicht zu jeder Zeit zur Verfügung. Mit allen genannten Schwierigkeiten wurden bereits Erfahrungen gemacht. Ein weiteres Risiko besteht darin, dass der derzeitig zum Netz asynchrone Logger im Laufe der nächsten Arbeiten und auch der Masterarbeit nicht synchronisiert werden kann. Einige Metriken hätten dadurch nur ungenügende Darstellungs- und Bearbeitungsmöglichkeiten. Hier besteht also eine Abhängigkeit zu anderen Projekten.

**Ziele** Die Ziele im Projekt 2 beziehen sich auf die Weiterentwicklung des bisherigen Prototypen. Es sollen weitere Ansichten zu den bereits vorhandenen hinzukommen. Diese würden natürlich weitere Metriken enthalten, wie Jitter, Latenzzeit und Kapazität. Passende Visualisierungsformen sollen diese unterstützen und einige Metriken vereinigen, falls aus einer solchen Abstraktion ein Informations- oder Bedeutungsgewinn erkennbar ist. Eine Idee, infolge der Wichtigkeit einer Listendarstellung, ist eine Liste welche über verschiedene interaktive Diagramme erreicht werden kann. So ist ein Bezug der bisherigen Darstellungen und der daraus gezogenen Schlüsse zu den expliziten Daten realisierbar. Weitere zukünftige Elemente können eine geografische Karte sein um leichter feststellen zu können wo und wann das Fahrzeug bewegt wurde. Zugehörig dazu wäre eine Zeitleiste über den gesamten Datenbestand erstrebenswert um einen Überblick darüber zu haben zu welchen Zeitpunkten sinnvolle Daten in der Datenbank vorhanden sind. Passend dazu wäre die Autobahn-View von Sedlmaier et al. [17].

Die Ziele bezüglich der Masterarbeit decken sich teilweise mit den Projektzielen, da sicher nicht alle Ziele in der gegebenen Projektzeit erreichbar sind. Des Weiteren soll ein spezialisierterer Wissensschatz im Bezug auf Visualisierungsformen und ihre Anwendung aufgebaut werden. Die Masterarbeit soll eine softwaretechnische sowie empirische Komponente besitzen. Auf Basis der Erkenntnisse und erarbeiteten Methoden aus AW1 und AW2 sowie den Projektarbeiten wird eine noch umfassendere Literaturrecherche angestrebt. Dazu gehört die eigens erarbeiteten Ergebnisse in einen aktuellen Kontext zu setzen und weitere sowie zukünftige Entwicklungen in dem gewählten Bereich der Informatik zu betrachten.

## Literatur

- [1] D. Crockford. json, 2013. <http://www.json.org/>, Zugriffsdatum: 19.02.2015.
- [2] P. Ferrari, A. Flammini, D. Marioli, and A. Taroni. A distributed instrument for performance analysis of real-time ethernet networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 4(1):16–25, Feb. 2008.
- [3] T. Herpel, B. Kloiber, R. German, and S. Fey. Assessing the CAN communication startup behavior of automotive ECUs by prototype measurements. In *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009. I2MTC '09*, pages 928–932, May 2009.
- [4] Highsoft AS. Highcharts, 2015. <http://www.highcharts.com/>, Zugriffsdatum: 19.02.2015.
- [5] N. Hu and P. Steenkiste. Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 21(6):879–894, Aug. 2003.
- [6] P. Isenberg, T. Isenberg, M. Sedlmair, J. Chen, and T. Moeller. Toward a deeper understanding of Visualization through keyword analysis. *arXiv:1408.3297 [cs]*, Aug. 2014. arXiv: 1408.3297.
- [7] F. Kempf. *Simulationsbasierte Analyse heterogener Fahrzeugnetzwerke: Generierung, Simulation und Evaluation*. Hochschule fuer Angewandte Wissenschaften, Hamburg, 2014.
- [8] H. Lajmi and A. Alimi. HP-EMAA: high performance ethernet traffic monitoring and analysis system in the automotive field. In *2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSyN)*, pages 348–351, July 2011.
- [9] LIN Administration. Local Interconnect Network, July 2014. <http://www.lin-subbus.org/>, Zugriffsdatum: 25.07.14.
- [10] Y. Mansour and B. Patt-Shamir. Jitter Control in QoS Networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 9(4):492–502, Aug. 2001.
- [11] MOST Cooperation. Media Oriented Ssystems Transport, 2014. <http://www.mostcooperation.com/>, Zugriffsdatum: 25.07.14.
- [12] PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL, 2015. <http://www.postgresql.org/>, Zugriffsdatum: 16.02.2015.
- [13] R. Prasad, C. Dovrolis, M. Murray, and K. Claffy. Bandwidth estimation: metrics, measurement techniques, and tools. *IEEE Network*, 17(6):27–35, Nov. 2003.
- [14] K. Reif. *Automobilelektronik: eine Einfuehrung fuer Ingenieure ; 36 Tabellen*. Studium ATZ/MTZ-Fachbuch. Vieweg Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, Wiesbaden, 3., ueberarbeitete auflage. edition, 2009.
- [15] Robert Bosch GmbH. Controller Area Network, 2014. [http://www.bosch-semiconductors.de/en/ubk\\_semiconductors/homepage/homepage\\_1.html](http://www.bosch-semiconductors.de/en/ubk_semiconductors/homepage/homepage_1.html), Zugriffsdatum: 25.07.14.
- [16] A. Saad. Das automobil als anwendungsgebiet der informatik - ein auto ohne informatik, geht das? In *Informatische Fachkonzepte im Unterricht, INFOS 2003, 10. GI-Fachtagung Informatik und Schule, 17.-19. September 2003 in Garching bei Muenchen*, pages 37–40, 2003.
- [17] M. Sedlmair, B. Kunze, W. Hintermaier, and A. Butz. User-centered development of a visual exploration system for in-car communication. *Lecture Notes in Computer Science*, pages 105–116. Jan. 2009.
- [18] T. Steinbach, F. Korf, and T. Schmidt. CoRE Group, 2015. <http://core.informatik.haw-hamburg.de/en/>, Zugriffsdatum: 16.02.2015.
- [19] T. Steinbach, F. Korf, and T. C. Schmidt. Simulationsbasierte Evaluierung von Metriken in Echtzeit-Ethernet basierten Fahrzeugnetzen. In B. E. Wolfinger and K.-D. Heidtmann, editors, *6ter GI/ITG-Workshop Leistungs-, Zuverlaessigkeits- und Verlaesslichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systeme (MMBnet 2011)*, Hamburg, 2011. Universität Hamburg.
- [20] I. Sysoev and Nginx, Inc. nginx, 2014. <http://www.nginx.org/>, Zugriffsdatum: 17.02.2015.