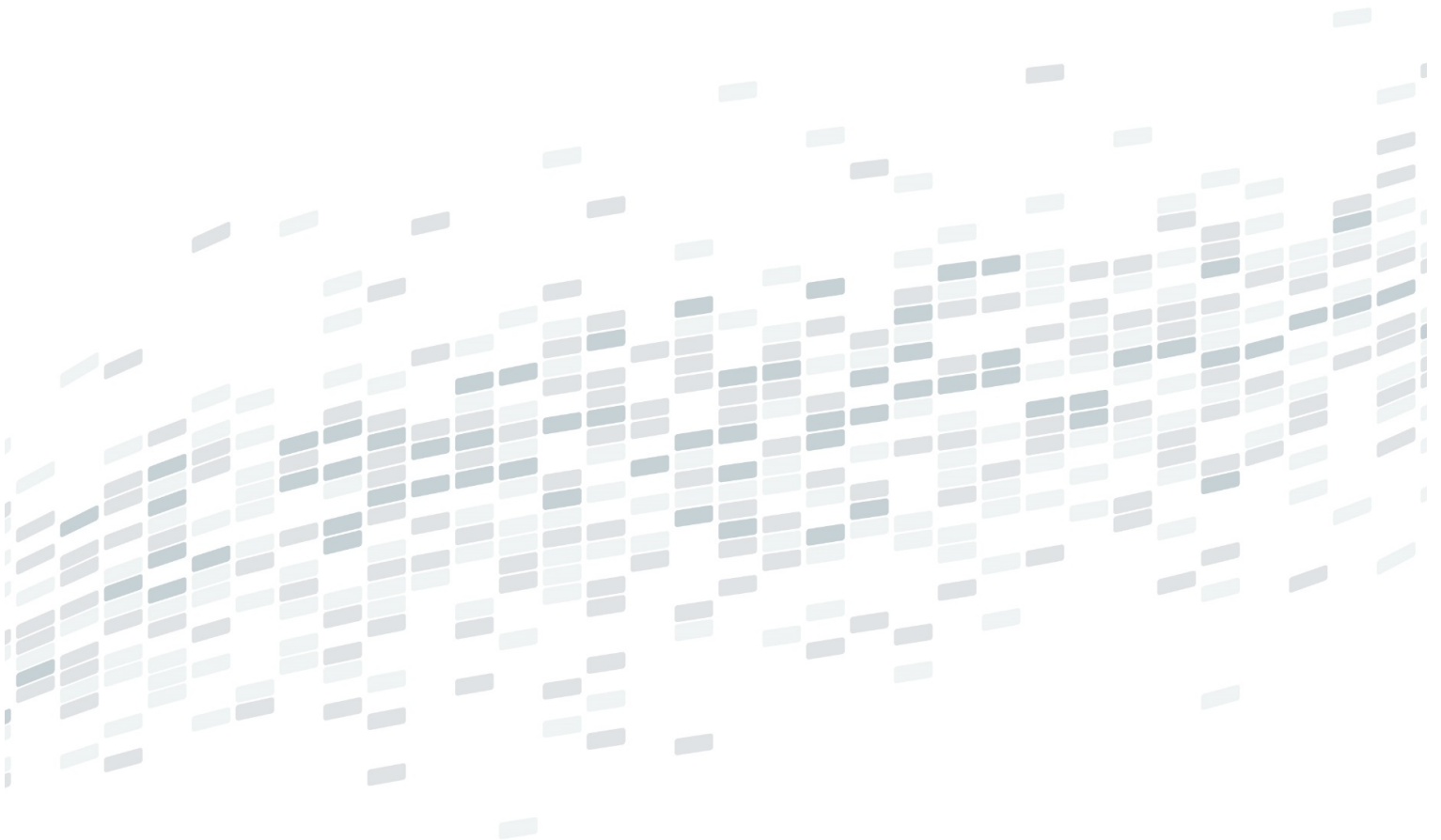


Visteon®

Zonale Gateways:
Optimierung Automotive
Ethernet basierter EE
Architekturen



Zonale Gateways: Optimierung Automotive Ethernet basierter EE Architekturen

Christian Müller-Tomfelde, Visteon Electronics Germany GmbH

Zusammenfassung: Derzeitige Fahrzeug EE Architekturen bestehen aus einer Vielzahl von elektronischen Steuereinheiten, deren elektrische Verbindungen mit der Zeit sehr komplex geworden sind. Der Kabelbaum eines Fahrzeugs ist zu einem entscheidenden integralen Bestandteil geworden, welcher schwer und teuer und zudem auch noch besonderer Herstellung bedarf. Heutige Trends wie z. B. automatisiertes Fahren erhöhen durch eine große Anzahl zusätzlicher Sensoren und Aktuatoren weiter die Anforderungen an den Kabelbaum des Fahrzeugs. Darüber hinaus steigen damit auch die Anforderungen hinsichtlich der Sensorik zur Erfassung des Innenraums des Fahrzeuges (z. B. Driver und Passenger Monitoring). In der Vergangenheit vollzog sich in der Automobilindustrie eine Konsolidierung von Steuereinheiten, was u. A. die Anzahl elektrischer Verbindungen reduzierte. In Zukunft könnte die Netzwerktechnologie Automotive Ethernet und die Protokollerweiterung TSN (Time Sensitive Networking) weiter deutliche Veränderungen erwirken, wenn das Fahrzeugnetzwerk in Subnetzwerke räumlicher Zonen zergliedert wird, in denen spezielle Steuereinheiten, sog. Gateways die Anbindung von lokalen Steuereinheiten über existierenden Kommunikationstechnologien wie z. B. CAN und Lin realisieren. Diese speziellen Steuereinheiten sind einerseits mit ihren jeweils nächsten lokalen Steuereinheiten verbunden und andererseits über eine Basisnetzwerkstruktur (Backbone) mit Automotive Ethernet vernetzt und können somit ähnlich wie bei der gängigen Computervernetzung in Verbindung mit einer zentralen Verarbeitung stehen. Diese speziellen Steuereinheiten in den Zonen stellt eine neue Gattung von Steuereinheiten im Fahrzeug dar und können am sinnvollsten als *zonale Gateways* bezeichnet werden. Es kann gezeigt werden, dass eine EE Architektur basierend auf zonalen Gateways das Potential bietet, die Gesamtlänge des Kabelbaums um bis zu 50% zu reduzieren. Um bei der Einsparung in Länge und Gewicht und dem gleichzeitigen Einsatz von zusätzlichen Steuereinheiten weiterhin kostengünstig zu bleiben, wird ein uniformes zonales Gateway vorgeschlagen, dass über Fahrzeugvarianten und -modelle hinweg eingesetzt werden kann. Damit wird es möglich sein, die Gesamtsystemkosten und das Gewicht der Fahrzeuge nachhaltig zu senken.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: Nach einer knappen Einführung in die Thematik werden die Datenmodelle und Randbedingungen einer Optimierung zonaler EE Architektur definiert. Danach werden die Methoden und Verfahren diskutiert mit denen beispielhafte zonale EE Architekturen mit einer Automotive Ethernet Basisstruktur betrachtet und optimiert werden.

1 EINFÜHRUNG

Der Kabelbaum eines modernen Fahrzeugs mit ADAS Level L2+ kann bis zu 5 km lang und 80 kg schwer werden. Damit gehört dieses Bauteil zu den größten und schwersten und auch kostenintensivsten im Fahrzeug. Die Anforderungen an den Kabelbaum werden in Zukunft durch weitergehende Elektrifizierung von Bauteilen und die Ausstattung mit Sensoren und Aktuatoren für das automatisierte

Fahren jenseits des Levels 2+ noch zusätzlich weiter steigen. Sind die Steuereinheiten des Fahrzeugs und deren Verbindungen vorgegeben, kann der Kabelbaum dafür optimal entwickelt und hergestellt werden. Sollen aber weiterreichende Einsparungen erzielt werden, so müssen bei der Entwicklung der EE Architektur Maßnahmen ergriffen werden, welche die Architektur strukturell verändern und damit neue Möglichkeiten zur Optimierung schaffen. Beispielsweise hat die Konsolidierung von Steuereinheiten unterschiedlicher Domänen in einer sog. Multidomänen-Steuereinheit den Effekt, dass Signalleitungen zwischen ehemaligen diskreten Steuereinheiten entfallen und auch weniger Leitungen zur Energieverteilung benötigt werden. Mit derartigen Maßnahme können jedoch nur begrenzt Einsparungen erzielt werden, wenn z. B. in Zukunft für das automatisierte Fahren verschiedenste Sensoren vornehmlich an der Außengrenze des Fahrzeugs verbaut sein müssen. Hier kann z. B. eine Umstrukturierung der Signalführung helfen, einerseits den erhöhten Kommunikationsbedarf zu decken und andererseits Aufwände auf der Leitungsebene deutlich zu senken. Mit Automotive Ethernet steht eine Technologie für die Automobilindustrie zur Verfügung, welche auch schon seit langem in der Computervernetzung und in der Industrieautomatisierung etabliert ist. Mit der Protokollerweiterung Time Sensitive Networking (TSN) werden zusätzlich Mechanismen angeboten mit denen zeitkritische Information bevorzugt und mit determinierten Laufzeiten übertragen werden können. Darüber hinaus können Informationspakete redundant übertragen werden und damit die Sicherheit im Fehlerfall erhöht werden. Ohne weiter auf die Details einzugehen, soll in diesem Beitrag von einer Automotive Ethernet TSN Basisstruktur (Backbone) ausgegangen werden, die zusätzlich als ein oder in mehrere Ringe ausgelegt ist, um physische Redundanz in Netzwerk herzustellen. Damit ist eine hierarchische Netzwerkstruktur geschaffen, die das bis dahin zentral-strukturierte Netzwerk im Fahrzeug ersetzen kann. In der ersten Netzwerkebene liegt die Automotive Ethernet TSN Ringstruktur von der aus in der zweiten Ebene Subnetze die regionalen Steuereinheiten typischerweise mit CAN, Lin, etc. verbinden. Dazu werden spezielle Steuereinheiten benötigt, die als Ethernet Switch einerseits mit dem Ring und andererseits als Gateway über CAN, LIN, etc. mit den Steuergeräten verbunden sind. Diese Steuereinheiten sollen im Weiteren Verlaufs des Beitrags als *zonale Gateways* bezeichnet werden. Die Einsparungen auf der Kabelebene der EE Architektur sollten die zusätzlichen Aufwendungen für die zonalen Gateways übertreffen und die technologischen Konsequenzen einer derartigen Netzwerkstruktur basierend auf Automotive Ethernet TSN, wie z. B. Aufstartzeit, Stromverbrauch, Latenzen, etc. müssen berücksichtigt werden.

Die vorgeschlagene Netzwerkstruktur hat Einfluss auf weitere Bereiche der EE Architektur, deren Quantifizierung im Weiteren aber unberücksichtigt bleiben sollen. Drei besondere Bereiche sollen kurz angesprochen werden, deren Beförderung durch eine zonale EE Architektur möglich wird:

1. Eine weiterführende Konsolidierung der Steuereinheiten in einem Zentralrechner wird durch die zonale Architektur begünstigt, da über die breitbandige Ethernet Datenverbindung die Signalverarbeitung örtlich getrennt von der Signaleingabe und -ausgabe möglich wird. Weiterhin kann die Partitionierung von Signalverarbeitung nahe der Ein- und Ausgabe notwendig bleiben, wenn eine sicherheitsrelevante und zeitkritische Verarbeitung erfolgen muss.
2. Die Software Architektur kann nach dem Paradigma der Service Orientierten Architektur (SOA) zur Realisierung von Fahrzeugfunktionen entworfen werden. Dabei sind die Services über das Ethernet Protokoll ansprechbar und damit abstrahiert von Ihrem Ort in der Topologie des Fahrzeugs.
3. Zusätzlich zur Signalverteilung im Fahrzeug kann die Energieverteilung von der bzw. den Batterien und Generator zu den Verbrauchern betrachtet werden. Es kann angenommen

werden, dass ähnliche wenn nicht sogar die gleichen Einsparungspotentiale wie bei den Signalleitungen durch eine zonale Architektur entstehen.

Die Art und Weise der Aufteilung des Fahrzeugs in Regionen bzw. Zonen ist Gegenstand der Optimierung einer zonalen EE Architektur. Das Besondere ist, dass dabei ein Minimum einer Zielfunktion sowohl über die Vernetzungs- als auch über die Topologieebene der EE Architektur gefunden werden muss. Insbesondere müssen dazu die Anzahl der Zonen im Fahrzeug, die Kosten und Position der zonalen Gateways sowie die Kabellängen und deren Materialkosten betrachtet werden. Herstellungs- und Installationskosten sollen an dieser Stelle erst einmal unberücksichtigt bleiben. Im Folgenden sollen Optimierungen in drei Schritten vorgestellt werden, um eine objektive Bewertungen zonaler EE Architekturen zu erreichen und plausible Entscheidungen zu ermöglichen. Gezeigt werden soll:

- Das prinzipielle Potential der Einsparungen im Kabelbaum in Länge und Gewicht bei zentraler EE Architektur
- Die Minimierung der Gesamtkosten der zonalen Architektur mit reduziertem Kabelbaum und unter Berücksichtigung zusätzlicher zentraler Gateways
- Die Ermittlung eines optimalen uniformen zentraler Gateways über Fahrzeugvarianten und –modelle in Bezug auf die Schnittstellentypen des Gateways

2 MODELLE UND RANDBEDINGUNGEN

Die Datengrundlage dieser Untersuchung ist das Modell eines typischen Fahrzeugs der Länge 4,5 m und der Breite 2,0 m. In der Vollausstattung besitzt das Fahrzeug bis zu 139 Steuereinheiten einer typischen EE Architektur von der Verbrennungsmotorsteuerung bis zu Abstandsrads. Von dieser Ausstattung wurden Varianten als Untermengen abgeleitet, die bis zu weniger als die Hälfte der Anzahl der Steuereinheiten reichen. Den Steuereinheiten wurden in einem Expertenworkshop eine Position, eine Schnittstellentypen (Ethernet, CAN, Lin), typischer Bandbreitenbedarf, möglicher maximal Leistungsverbrauch sowie ein von drei Domänen (ADAS, Chassis & Energy, Cockpit & Interior)

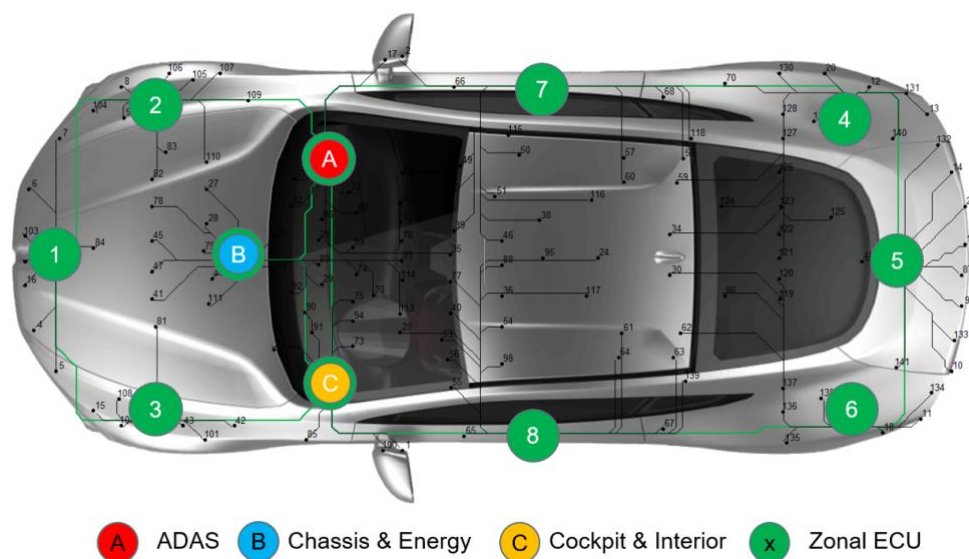


Abbildung 1: Positionierung typischer Steuereinheiten (schwarze Punkte) in der horizontalen Ebene des Fahrzeugs. Die grünen bzw. grün umrandeten 11 Kreise stellen zonale Gateways bzw. Domänensteuereinheiten mit Gateway Funktionalität dar.

zugewiesen (siehe Abbildung 1). Die Position wurde auf zwei Dimensionen beschränkt, um die Komplexität gering zu halten. Während die Steuereinheiten der ADAS-Domäne weitgehend an der Fahrzeuggrenze zur Umgebung zu finden sind, bleiben die anderen Steuergeräte um den Motorenraum und das Cockpit und den Innenraum konzentriert. Zur Bestimmung der Entfernungen zwischen zwei Steuereinheiten im Fahrzeug wurden zwar L1 und L2 Normen untersucht, aber zu Gunsten einer realistischeren Bestimmung auch auf ein beschränkungs-basiertes Verfahren zurückgegriffen. Hierbei können Gebiete im Fahrzeug, z. B. Motorblock, Sitzplätze, etc. so angelegt werden, dass sie vermieden oder so wenig wie möglich benutzt werden. Mit den damit modellierten Kabelverläufen entstehen ähnliche Verbindungsstrukturen (z. B. Bündelungen), wie sie im Fahrzeug üblich sind und die Bestimmung der Kabellängen wird realistischer. Während sich die Varianten über die Auswahl der zu verbindenden Steuereinheiten definieren, werden unterschiedliche Fahrzeugmodelle über spezifische Gebietsbeschränkungen abgebildet. Zur Gegenüberstellung der zonalen EE Architektur wird eine klassische EE Architektur mit einem Zentralsteuergerät in der Position unter dem Beifahrersitz herangezogen zu dem alle Steuereinheiten eine Verbindung haben. Alle Verbindungen von einem zonalen Gateway zu den Steuereinheiten werden als Punkt-zu-Punktverbindungen betrachtet, d.h., eventuelle Möglichkeiten einer Busverbindung mehrerer Einheiten wie z. B. mit CAN werden aus Gründen der Vereinfachung nicht berücksichtigt. Man kann jedoch annehmen, dass die Summe der Längen alle Punkt-zu-Punktverbindungen immer größer der einer Busverbindungsleitung sein wird, so dass innerhalb einer Zone ein endgültiger Kabelbaum mit Busverbindungen immer weitere Einsparungen erbringt.

3 METHODEN UND VERFAHREN

Die Modelldaten zweier Fahrzeuge und ihrer Varianten wurden in einer elektronischen Tabelle abgelegt. Die Verarbeitung der Daten erfolgt in der Skriptsprache R¹, einer freien Programmiersprache für statistische Berechnungen und Visualisierungen. Verschiedene weitere Programmpakete werden verwendet, z. B. um gebietsbeschränkte Verbindungen zu den Steuereinheiten zu bestimmen und Optimierungen der Architektur mit dem Mixed Integer Linear Programming (MILP²) Verfahren durchzuführen. Des Weiteren wurde eine Bibliothek von Objektklassen in R erstellt, um die Verwaltung und Verarbeitung der Fahrzeugmodelldaten und der Optimierungen zu systematisieren.

4 OPTIMIERUNG ZONALER EE ARCHITEKTUREN

4.1 PRINZIPIELLE EINSPARUNGSPOTENTIAL

Um eine erste Einschätzung der Möglichkeiten des Einsparungspotential zonaler EE Architekturen zu erhalten, wurde eine Fahrzeugvariante gewählt und mit einer Ad-hoc Methode die Kabellängen sowohl der Zentral- also auch der zonalen Architektur bestimmt. Als Abstandsnorm wurde die L1 und L2 Norm gewählt und bei vorgegebener Zonenanzahl mit dem k-Means-Algorithmus³ die Zuordnung der Steuereinheiten in Zonen bestimmt. Wie intuitiv zu erwarten, fällt mit Zunahme der Zonenanzahl die Gesamtlänge aller Kabelverbindungen. Bemerkenswert ist, dass mit steigender Zonenanzahl die

¹ The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

² Mixed integer linear programming in R. <https://dirkschumacher.github.io/ompr/>

³ k-Means-Algorithmus. <https://de.wikipedia.org/wiki/K-Means-Algorithmus>

Einsparungen derart gering werden, dass sie möglicherweise durch Kosten, welche linear mit der Zonenanzahl steigen, kompensiert werden (siehe Abbildung 2).

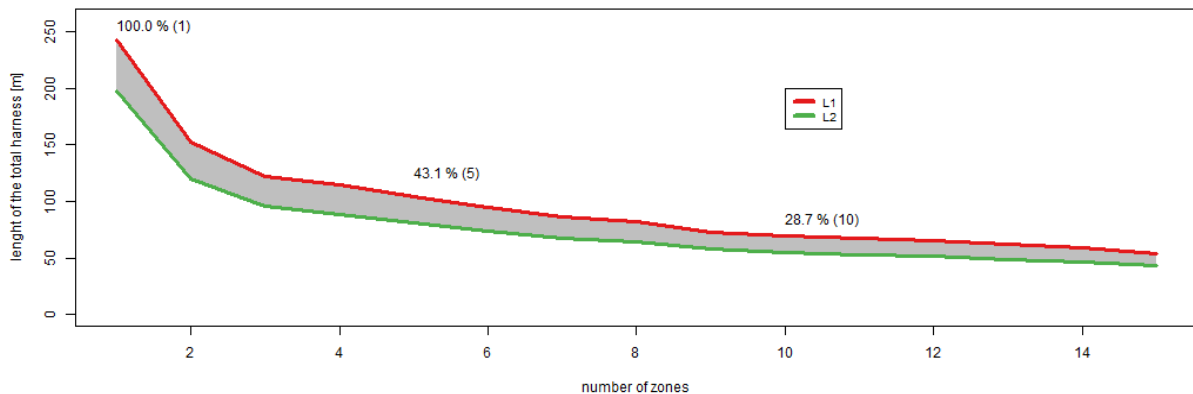


Abbildung 2: Darstellung der Kabellängen über der Zonenanzahl. Die Zuordnung der Steuereinheiten in Zonen erfolgt mit dem k-Means-Algorithmus. In Prozentwerte sind die relativen Größen in Bezug auf die Zentralarchitektur mit einer Zone an. Die L1 Norm ergibt immer einen größeren Längenwert als die L2 Norm.

4.2 MINIMIERUNG DER GESAMTKOSTEN

Basierend auf diesen Vorbetrachtungen wurde das Einsparungspotential weiter konkretisiert. Dabei wurden die Verbindungen gebietsbeschränkt und unabhängig von dem Schnittstellentyp bestimmt. Aus einer Menge von 11 vorgegebenen Positionen (siehe Abbildung 1) wurden Untermenge von zonalen Gateways definiert. Bei verschiedenen Varianten des gleichen Fahrzeugmodells wurden damit die minimalen Gesamtlängen der Kabelverbindungen bestimmt und verglichen (siehe Abbildung 3). Dabei entsprechen die Längenwerte bei der Zonenanzahl 1 jeweils einer Zentralarchitektur. Die absoluten Längenwerte liegen unterhalb der üblich angegebenen Werten für Kabelbäume von mehreren Kilometern, da bei diesen Betrachtungen nur einfache Kabel angenommen und keine Energieversorgung der Steuereinheiten berücksichtigt wird. Unter diesen Umständen beträgt also die Kabelbaumlänge zonaler Architekturen ab einer Zonenanzahl von 6, weniger als 55% der einer vergleichbaren Zentralarchitektur. Weil die Anzahl und Position von zonalen Gateways vorgegeben wurde, ist bei diesem Ansatz diese entscheidende Variable noch nicht Teil der Optimierung.

Sollen auch die Anzahl der zonalen Gateways Teil der Optimierung werden, müssen statt Längen die Kosten berücksichtigt werden, die zusätzlich entstehen, sollten zonale Gateways eingesetzt werden. Die Kosten steigen linear mit der Anzahl der Zonen. Die Optimierung auf Grund der Kabelbaumlängen in der Dimension Meter muss damit aufgegeben und die Gesamtkosten herangezogen werden. Dabei werden die Kabellängen proportional in Kosten umgerechnet, damit sie mit den Kosten für die zonalen Gateways vergleichbar werden. Die Zuordnung der Steuereinheiten in Zonen wird nun mit der MILP Methode optimiert. Das verwendete Optimierungsprinzip ist das Prinzip zur Lösung des sog. Warehouse-Problems⁴, bei dem die Gesamtkosten einer Untermenge von Warenhäusern und deren Verbindungskosten zu einer Menge von Kundenstandorten optimiert wird. Damit wird neben der Zuordnung der Steuereinheiten in Zonen nun auch gleichzeitig die Anzahl der Zonen unter minimalen Kosten bestimmt. Die Schnittstellentypen bleiben dabei weiterhin unberücksichtigt. Der optimierte Zielkonflikt besteht wie folgt: je mehr Zonen desto teurer Kosten für die zonalen Gateways und je geringer die Kosten für die Kabelverbindungen und umgekehrt.

⁴ Warehouse Location Problem. https://de.wikipedia.org/wiki/Warehouse_Location_Problem

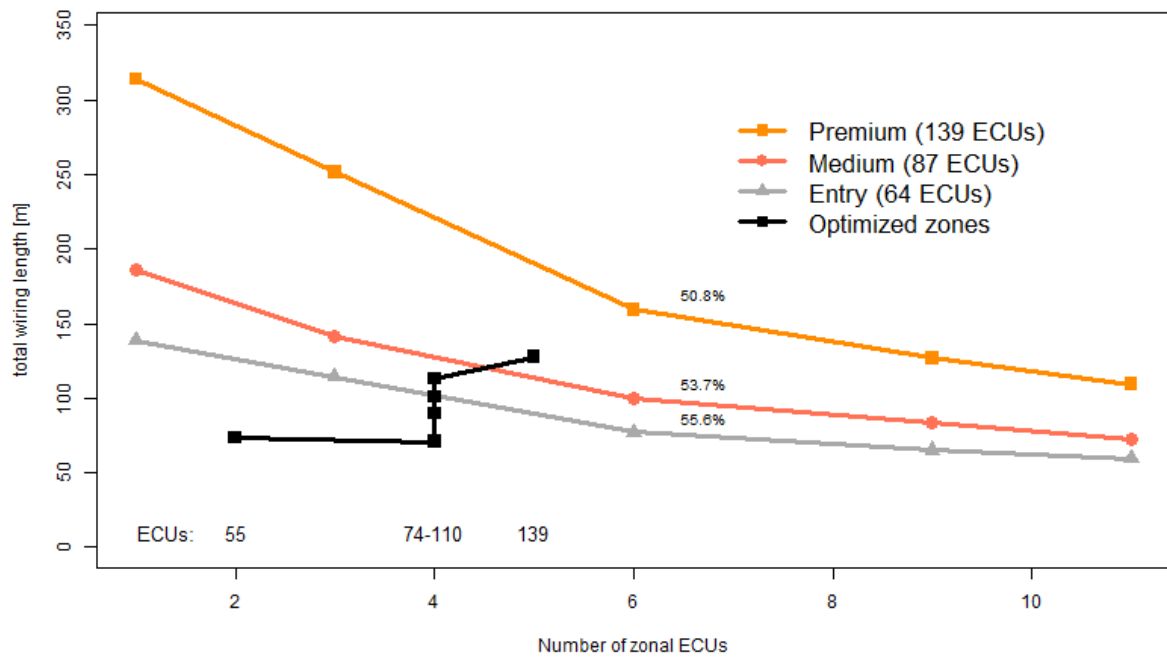


Abbildung 3: Die Summen der Längen der Kabelverbindungen bei verschiedener Anzahl und Position von zonalen Gateways in ein Fahrzeugmodell in verschiedenen Varianten. Gezeigt sind die Ergebnisse einer Optimierung ohne Kosten für drei Varianten (Premium, Medium, Entry) und einer mit Berücksichtigung der Kosten für Kabel und zonalen Gateways (schwarz).

Zur Demonstration werden verschiedene Varianten des gleichen Fahrzeugmodells bei gleicher Kostenbelegung optimiert und verglichen. Die Anzahl der Zonen wird dabei zu einer Variablen, die abhängig von der Optimierung ist. Bei jeweils optimaler Kostenbilanz steigt die Anzahl der etablierten Zonen mit der Anzahl der Steuereinheiten der Varianten (siehe schwarze Linie in Abbildung 3). Die Werte der Gesamtlängen liegen alle unterhalb der vorherigen Optimierung, die lediglich Längen optimiert. Grund dafür ist zum Teil darin zu sehen, dass die Vorauswahl der Positionen für die Gateways der kostenfreien Optimierung nicht optimal war.

4.3 OPTIMALES UNIFORMES ZONALES GATEWAY

In einem letzten Schritt wird die Optimierung noch weiter über die Schnittstellentypen konkretisiert. Daher werden die Randbedingungen der Optimierung so erweitert, dass die Schnittstellenanzahl jedes einzelnen Schnittstellentypen eines jeden zonalen Gateways einen Höchstwert nicht überschreiten darf. Dieser Wert wird in die Zielkostenfunktion so integriert, dass nun gleichzeitig auch noch nach Grund- und Schnittstellenkosten der Gateways optimiert werden kann. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein uniformes zonales Gateway, das unabhängig von seiner Position im Fahrzeug, Fahrzeugvariante und -modell gestaltet ist, kostengünstiger in der Herstellung sein wird und möglicherweise auch logistische Vorteile mit sich bringt. Beispielsweise lassen sich damit Variantenkosten einsparen. In Abbildung 4 ist eine Optimierung dargestellt, die in fünf Zonen minimale Kosten ergibt. Dabei werden die 73 Steuereinheiten (davon 31 mit CAN, 33 mit Lin und 9 mit Ethernet verbunden) in die 5 Zonen so optimal verteilt, dass das uniforme zonale Gateway 9 CAN, 7 Lin und 2 Ethernet Anschlüsse haben sollte, um insgesamt kostenminimal zu sein. Die Tabelle in Abbildung 4 rechts zeigt die konkrete Belegung der zonalen Gateways. Dabei wird deutlich, dass unter den gegebenen Randbedingungen einige Anschlüsse unbelegt bleiben. Dies ist kein Fehler der Optimierungsmethode, sondern im Gegenteil genau das Ergebnis der Minimierung der Kosten aufwände. Dieser letzte Schritt lässt die Optimierung sehr aufwendig werden. Daher wird eine Näherung vorgeschlagen, um die Optimierung besser zu kontrollieren, die auf einer näheren

Kostenbetrachtung der Schnittstellen fußt. Die Kosten für Bauteile zum Anschluss von Ethernet Verbindungen übertreffen im Moment mindestens das 10-fache der Kosten der anderen Schnittstellen, die zudem aller Wahrscheinlichkeit auch noch in einer Busstruktur angeschlossen werden können. Damit können die Randbedingungen der Optimierung auf die der Ethernet Schnittstellen reduziert werden.

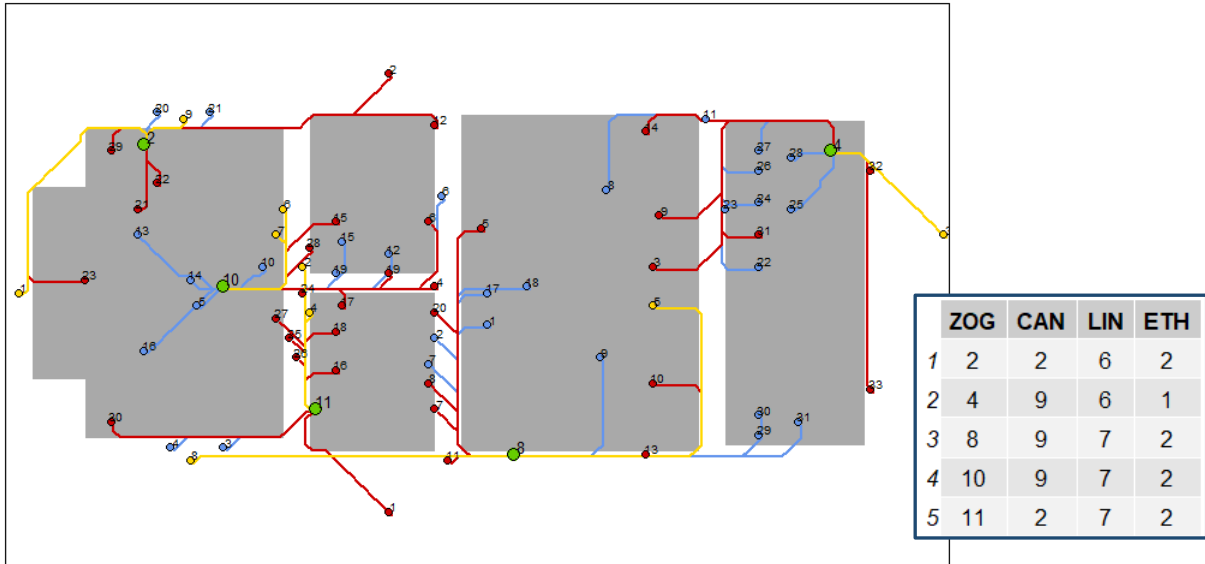


Abbildung 4: Links: Optimierung eines Kabelbaums und der Anzahl und Positionen der zonalen Gateways (grün) des Fahrzeugmodells A in Variante 5 (73 ECUs). Die Optimierung ergibt eine Aufteilung in 5 Zonen unter der Randbedingung, dass die Anzahl der Schnittstellern eine gemeinsame Obergrenze haben. Farben der Steuereinheiten bedeuten die Ethernet-Schnittstelle (gelb), CAN-Schnittstelle (blau) und die Lin-Schnittstelle (rot). Rechts: Auflistung der konkreten Belegung der Anschlüsse der drei Schnittstellentypen der 5 zonalen Gateways (ZOG).

Diese Vereinfachung ist nach Expertenmeinung auch dadurch gerechtfertigt, weil die Grundkosten der Gateways die Kosten der tatsächlichen Schnittstellen deutlich übertreffen. Damit wird abschließend eine Optimierung vorgestellt, die auf den oben beschriebenen reduzierten Randbedingungen beruht, jetzt aber über zwei Fahrzeugmodelle mit insgesamt drei Varianten erfolgt. Die Anwendbarkeit eines uniformen zonalen Gateways bei minimalen Kosten wird dadurch mit plausiblen Ansätzen belegt.

	ZOG	CAN	LIN	ETH
1	2	5	5	2
2	3	4	2	4
3	4	13	5	4
4	6	7	2	4
5	8	8	6	2
6	10	12	13	4

a)

	ZOG	CAN	LIN	ETH
1	1	5	2	1
2	5	13	7	4
3	10	12	16	4

b)

	ZOG	CAN	LIN	ETH
1	5	8	5	4
2	10	9	14	3

c)

Tabelle 1 : Auflistung der konkreten Belegung der Anschlüsse der drei Schnittstellentypen der drei Varianten. a) Modell A in Variante 4 (102 Steuereinheiten) und b) und c) Modell L in den Varianten 1 und 2 (64 und 43 Steuereinheiten). Die Optimierung erfolgte gleichzeitig über alle drei Varianten. Die Randbedingung der Optimierung der Schnittstellen konzentrierte sich auf die Ethernet Anschlüsse.

Zu Gunsten der minimalen Gesamtkosten kann z. B. eine Variantenspezifische Optimierung durchaus anders ausfallen als eine variantenübergreifende Optimierung. Man kann in dem Optimierungsergebnis in Tabelle 1 gut die ausgeglichene Verwendung der Ethernet Schnittstelle in einem uniformen

zonalen Gateway mit jeweils maximal 13 CAN, 16 Lin und 4 Ethernet Anschlüssen erkennen. Die Aufwände derartiger Optimierungen steigen jedoch derart, dass weitere sinnvolle Näherungen und alternative Optimierungsverfahren erforderlich sein werden. Darüber hinaus wird die Kostenzielfunktion durch die Abhängigkeit der Schnittstellenkosten von der Anzahl der Zonen nicht mehr linear. Die Optimierung muss dann in mehreren Schritten vollzogen werden.

5 DISKUSSION UND ERGEBNISSE

Es konnte mit Methoden der Optimierung gezeigt werden, dass die Anwendbarkeit eines uniformen zonalen Gateways für zukünftige zonale EE Fahrzeugarchitekturen plausibel und kostengünstig möglich ist. Die gemachten Vereinfachungen und Annäherungen der Optimierung sind valide, müssen aber noch weiter untersucht werden. Insbesondere müssen die Verhältnisse von Kabel- und Gateway Kosten besser verstanden werden, um die Kosteneffizienz zu untermauern. Das Problem der optimalen Postierung der zonalen Gateways wurde ausgespart, da dies den Aufwand der Optimierung gesprengt hätte. Lösungen müssen hier in der angewandten Mathematik gefunden werden. Bauliche Vorgaben, die eine Positionierung der Gateways im Fahrzeug auf diskrete Orte begrenzen, können ebenso von Nutzen sein. Da die Zerteilung des Kabelbaums in Zonen einzelne und weniger komplexe Kabelbäume hervorbringt, ermöglicht dies eine Automatisierung der Fertigung der Kabelbäume. Darüber hinaus auch kann mit einer einfachen Anweisung in den Randbedingungen der Optimierung die Länge einzelner Kabel im Kabelbaum auf eine Maximallänge begrenzt werden.

6 AUSBLICK

Da die Verkabelung zur Energieversorgung der Steuereinheiten einen erheblichen Anteil im Kabelbaum darstellt, sollten Überlegungen angestellt werden in wieweit diese Verbindungen in eine zukünftige Optimierung zonaler Architekturen aufgenommen werden können. Im Gegensatz zu den Signalverbindungen haben energieführende Verbindungen andere Anforderungen und Randbedingungen und die technischen Herausforderungen der Integration von Energieunterverteilung, -schaltung und -absicherung in eine Steuereinheit wie dem zonalen Gateway werden derzeit näher analysiert. Die Bereitstellung von Verarbeitungsleistung in einem zonalen Gateway, um einfache Funktionen wie z. B. Schaltvorgänge von Aktuatoren zu steuern und als Service im Netzwerk zur Verfügung zu stellen, ist ein weiterer Diskussionspunkt, der aber möglicherweise einer kostengünstigen Uniformität der Gateways zuwiderläuft. Die Technologie des Automotive Ethernet TSN ist der Grundpfeiler zukünftiger zonaler EE Architekturen und wird derzeit zur Marktreife geführt. Dabei muss noch die Frage abschließend beantwortet werden, inwieweit die Anforderung an die Fahrzeugsicherheit mit dieser Technologie und in einer zonalen Architektur gewährleistet werden kann. Es bleibt schließlich noch darauf hinzuweisen, dass die vorgeschlagene Restrukturierung von einer Zentralarchitektur hin zu einer Architektur in Zonen nicht nur auf der Vernetzungs- und Topologieebene Veränderungen in der EE Architektur mit sich bringt, sondern auch das Potential bietet zukünftig eine ultimative Konsolidierung von Domänencomputer in einer zentralen Recheneinheit zu ermöglichen. Dass die Restrukturierung der EE Architektur erfolgen wird, ist absehbar, jedoch in welchen Schritten sie vollzogen wird, bleibt noch zu klären.