



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Master Arbeit

Benjamin Burchard

**Evaluation und Analyse von Visualisierungstechniken für
Kommunikationsdaten im Fahrzeug**

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

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

Benjamin Burchard

**Evaluation und Analyse von Visualisierungstechniken für
Kommunikationsdaten im Fahrzeug**

Master Arbeit eingereicht im Rahmen der Master Ausarbeitung

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

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Franz Korf
Zweitgutachter: Prof. Dr. Philipp Jenke

Eingereicht am: 19. September 2017

Benjamin Burchard

Thema der Arbeit

Evaluation und Analyse von Visualisierungstechniken für Kommunikationsdaten im Fahrzeug

Stichworte

Schlüsselwort 1, Schlüsselwort 2

Kurzzusammenfassung

Dieses Dokument ...

Benjamin Burchard

Title of the paper

Evaluation and analysis of visualisation techniques for communicationdata in a vehicle

Keywords

keyword 1, keyword 2

Abstract

This document ...

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Einführung in das Umfeld | 4 |
| 2.1 | Grundlagen der Evaluation | 5 |
| 2.1.1 | Evaluationsziele | 7 |
| 2.1.2 | Evaluationstechniken basierend auf Expertenanalyse | 8 |
| 2.1.3 | Evaluationstechniken mit Nutzerbeteiligung | 15 |
| 2.2 | Einführung in grundlegende Visualisierungen und Werkzeuge | 22 |
| 3 | Anforderungsanalyse | 25 |
| 3.1 | Allgemeine Anforderungen | 26 |
| 3.1.1 | Anforderungen an Visualisierungen | 26 |
| 3.1.2 | Anforderungen an Werkzeuge | 26 |
| 3.2 | Automotive spezifische Anforderungen | 26 |
| 4 | Evaluationsbasis | 28 |
| 4.1 | Häufig verwendete Evaluationen im Bereich Visualisierung | 29 |
| 4.2 | Faktoren zur Abgrenzung der Evaluationstechniken | 29 |
| 4.3 | Entscheidung für Evaluation | 29 |
| 5 | Evaluation ausgewählter Visualisierungstechniken | 30 |
| 5.1 | Verwandte Arbeiten | 30 |
| 5.2 | Visualisierungen und Werkzeuge | 30 |
| 5.3 | Auswertung | 30 |
| 6 | Zusammenfassung und Fazit | 31 |
| | Glossar | 36 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Grober Aufbau der Arbeit | 2 |
| 2.1 | An diese Arbeit angrenzende wissenschaftliche und wirtschaftliche Bereiche . | 4 |
| 2.2 | Histogramm der Studien im Bereich der Visualisierung mit Nutzerbeteiligung von 581 Arbeiten aus einem Zeitraum von zehn Jahren. Frei nach Isenberg et. al [16] | 20 |
| 2.3 | Small Multiples der genutzten Bandbreite von drei verschiedenen CAN-Bussen | 24 |

1 Einleitung

Die Visualisierung von Daten zielt darauf ab, Daten durch eine grafische Interpretation verwertbar zu machen. Durch die Aufbereitung von Daten entsteht ein Mehrwert für den Nutzer, in unserem Fall für den Anwender der Visualisierung oder des Werkzeugs zur Darstellung von Netzwerkkommunikationsdaten im Fahrzeug-Ethernet. Visualisierungen ermöglichen es, auf mehr als nur einem Weg, rohen Daten einen Sinn zu verleihen. Das Abbilden der Datenattribute auf visuelle Eigenschaften wie Position, Form, Farbe und Größe wird eingesetzt um Nutzern die Wahrnehmung und Interpretation von Mustern innerhalb der Daten zu erleichtern [31]. Damit visuelle Analyse Tools effektiv genutzt werden können, müssen diese eine fließende und flexible Nutzung von Visualisierungen ermöglichen.

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 automobile Echtzeit-Ethernet zu analysieren, benötigt man eine hinreichende visuelle Aufbereitung dieser Kommunikationsdaten und deren Eigenschaften, wie Jitter oder Latenz. Kommunikationsdaten sind im Grunde alle Daten welche über das Netzwerk transportiert, also kommuniziert werden. Um Kommunikationsdaten, sowie die Eigenschaften dieser, zu visualisieren gibt es viele verschiedene Möglichkeiten und Techniken. Informationsvisualisierung versucht mit Hilfe von geeigneten grafischen Repräsentationen Nutzerinformationen zu optimieren. Diese bildlichen Darstellungsformen sollen bei der Interpretation und Auswertung von großen Datenmengen helfen. In dem im Projekt, in dessen Rahmen diese Arbeit geschrieben wird, vorhandenem Automobilern Fahrzeugnetz entstehen bis zu 3 Gigabyte Daten pro Stunde [32]. Viele moderne Fahrzeuge kommunizieren bereits mit mehr als 100 ECUs (Electronic Control Units) innerhalb ihrer Netze [7]. Anhand dieser Zahlen lässt sich sagen, dass einen Bedarf sowie Nutzen für Visualisierungen und Werkzeuge besteht, welche die Daten abstrahieren und dem Nutzer verständlich machen.

Um geeignete Visualisierungen und Werkzeuge für das Themenfeld der Netzwerkcommunication im Fahrzeugethernet zusammenzutragen, müssen vorhandene Visualisierungen hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im genannten Themenfeld eingeschätzt werden. Dieser Teil der Arbeit soll mit Hilfe einer Evaluation verwirklicht werden. Es gibt eine breite Auswahl an Evaluationstechniken, welche alle zum Ziel haben eine Software oder ein Softwareprodukt auf verschiedenste Eignungen hin zu untersuchen. Hier muss eine differenzierte Auswahl erfolgen welche Technik oder Techniken für diesen Themenkomplex, aber für den spezifischen Fall der Evaluation in einer Masterarbeit geeignet sind. Der grobe Aufbau und Fluss dieser Arbeit wird in Abbildung 1.1 dargestellt.



Abbildung 1.1: Grober Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit hat zum Ziel Evaluationstechniken in Hinblick auf deren Einsatzfähigkeit im Feld der Visualisierung von Fahrzeugkommunikationsdaten und deren Werkzeuge zu Analysieren. Unter Zuhilfenahme der erarbeiteten Evaluationstechniken wird spezifische Literatur ausgewertet. Damit ist gemeint das hier Literatur speziell aus dem Bereich der Netzwerkvisualisierung ausgewertet wird, mit Hauptaugenmerk auf die Darstellung von Kommunikationsdaten im Fahrzeug. Aus der Analyse der Literatur ergeben sich Anforderungen an Visualisierungen für den Automotive Bereich, welche Aufgearbeitet werden und somit eine Grundlage für die Entwicklung neuer Visualisierungssystemen und Werkzeuge bilden. Somit ergeben sich mehrere konkrete Teilziele dieser Arbeit. Es werden geeignete Evaluationstechniken für die Analyse von Werkzeugen und Visualisierungen im Bereich der Visualisierung von Fahrzeugkommunikation erarbeitet. Es werden konkrete Anforderungen für zukünftige und aktuelle Darstellungsformen und die zugehörige Software zusammengestellt.

Es soll eine Evaluation von Informationssystemen und Visualisierungen stattfinden und deren Vergleich mit dem eigenen Prototypen (sowie dessen Erweiterung zu einem Informationssystem(?)).

[TODO: Auch noch Teile aus Einleitung AW2? Soll RT Ethernet und dass Fahrzeug mit einbezogen werden]

[TODO: Revamp, makes not that much sense anymore:] In Kapitel 2 wird grob das wissenschaftliche und wirtschaftliche Umfeld umrissen. In drei Unterabschnitten werden hier die Grundlagen und angrenzenden Wissensbereiche dieser Arbeit beleuchtet. Es wird dargelegt inwiefern, nach einschlägiger Literatur, die Wahl der richtigen Evaluationsmethode die Qualität

der Ergebnisse und der möglichen Schlussfolgerungen beeinflusst. Aktuelle und bewährte Konzepte der eingesetzten Ethernet Netzwerke, sowie deren Methoden zur Visualisierung von Kommunikationsdaten in Bereichen der Flugzeugtechnik, der Automatisierungstechnik sowie der [TODO: Schiffstechnik? Bahn?] werden erörtert, als auch die Anforderungen und die Analyse dieser betrachtet. [TODO: Das vielleicht mit in Section Evaluation -> Section: Evaluation und Anforderungen

[TODO: oder: Evaluation und die Bedeutung für Schlussfolgerungen und Anforderungen] Kapitel 4 vergleicht verschiedene Evaluationstechniken und erläutert den Aufbau und die Herangehensweise dieser. Im Verlauf des Kapitels wird Aufgrund von verschiedenen Analysen anderer Wissenschaftlicher Ausarbeitungen eine Evaluationsmethode gewählt. Diese wird zur Evaluation für die im Kapitel **Evaluation ausgewählter Visualisierungstechniken** vorgestellten akademischen Abhandlungen verwendet. Das oben genannte Kapitel 5 beinhaltet die erwähnte Literaturlauswertung, mit Hilfe der erarbeiteten Evaluationstechnik werden diese Arbeiten aufgearbeitet. Das anschließende Kapitel 3 greift die in Kapitel 5 gewonnenen Erkenntnisse auf und es werden darauf basierend Anforderungen für die Darstellung von Netzwerkdaten im Fahrzeug-Ethernet erstellt. Aufgeteilt wird dieses Kapitel in drei Schritte. Zunächst werden allgemeingültige Anforderungen vorgestellt, gefolgt von Anforderungen speziell für den Visualisierungsbereich. Im Anschluss werden konkrete Anforderungen an Visualisierungen von Netzwerkdaten im Fahrzeug gestellt. Kapitel 6 schließt diese Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Fazit ab.

2 Einführung in das Umfeld

In der **Einleitung** wurde erläutert warum Visualisierungen für die Darstellung der Netzwerkkommunikationsdaten im Fahrzeug wichtig sind. Dieses Kapitel skizziert die Position dieser Arbeit im Bezug auf das wissenschaftliche Umfeld. Der Kernbereich beschäftigt sich mit Visualisierungen aus dem Automotive Bereich. Im speziellen mit Darstellungen für die Kommunikationsdaten und deren Metriken im modernen Automotive Realtime Ethernet. Neben diesem Hauptbereich gibt es mehrere weitere angrenzende Themen, die für die Arbeit von Bedeutung sind. In der folgenden Übersicht 2.1 sind diese Bereiche dargestellt. Das Umfeld ist im Wesentlichen in drei Teile gegliedert, Evaluation, Werkzeuge und Visualisierungen sowie Anforderungen und die Analyse dieser.



Abbildung 2.1: An diese Arbeit angrenzende wissenschaftliche und wirtschaftliche Bereiche

Im Abschnitt 2.1 werden die Grundlegenden Evaluationsmethoden vorgestellt. Es wird die Vorarbeit für das Kapitel **Evaluationsbasis** geleistet, welches die geeignetste Technik für die Visualisierung von Netzwerkdaten im Fahrzeugnetz herausarbeitet. Abschnitt 2.2 widmet sich

der Betrachtung von Visualisierungen und Werkzeugen, nicht nur aus dem Automotive Bereich, sondern auch aus angrenzenden Bereichen. Der Abschnitt befasst sich weiterhin damit welches diese Bereiche sind und warum diese in Frage kommen.

2.1 Grundlagen der Evaluation

Im Bereich der Evaluation beschäftigt sich die Arbeit mit der Frage welche Techniken zur Evaluation von Visualisierungen und Interfaces sinnvoll in diesem Themenkomplex einsetzbar sind. Es wird herausgearbeitet welche Evaluationsmöglichkeiten es gibt und welche, aufgrund Ihrer Ergebnisse und Anwendungsgebiete, am geeignetsten erscheinen. Dieser Abschnitt zeigt grundlegende Evaluationsmethoden und deren Anforderungen sowie nutzen. In Kapitel 4 wird dann eine der vorgestellten Methoden ausgewählt und als Grundlage für die Literaturanalyse verwendet. Die Evaluationstechnik wird zum einen nach ihrer Eignung zur Evaluation von Visualisierungen gewählt und zum anderen nach der Ausführbarkeit im Rahmen einer Masterarbeit. Bevor die Techniken zur Evaluation vorgestellt werden, folgt zunächst ein Einblick wie zwischen Evaluationen differenziert wird, weshalb Evaluation verwendet wird und was damit erreicht werden soll.

In der Literatur wird auf verschiedenste Art und Weise zwischen Evaluationen unterschieden. Im folgenden betrachten wir drei verschiedene Klassifikationsarten sowie deren Merkmale, Vorteile und mögliche Nachteile. Kitchenham [19] hat Mitte der neunziger Jahre bei Evaluierungsmethoden zwischen zwei Messmethodiken differenziert. Zum einen Quantitative Methoden und zum anderen Qualitative Methoden. Eine dritte Variante vereinigt beide Messmethoden, diese werden als Hybride Methoden beschrieben. Die folgende Auflistung beschreibt die genannten Methoden kurz.

- Quantitative Methoden, diese beschreiben Vorgehensweisen um empirische Daten numerisch auszudrücken. Daten welche numerisch festgehalten werden, können mit statistischen Methoden Aufbereitet werden und so können objektive Aussagen über die Daten getroffen werden.
- Qualitative Methoden, hierbei werden die Daten nicht numerisch festgehalten, sondern Aussagen oder Verhalten von Evaluationsteilnehmern analysiert. Diese Methoden basieren im Gegensatz zu quantitativen Methoden auf subjektiven Daten.
- Hybride Methoden, sind beispielsweise *Qualitative Effect Analysis* oder *Benchmarking*. Die erstgenannte nutzt Quantitative Methoden sowie ein oder mehrere Expertenmeinungen, welches qualitative Methoden sind. Beim Benchmarking werden ein oder mehrere

Tools einer Reihe von Standardtests unterzogen um die Performance dieser Tools vergleichbar zu machen, dabei sind die Ergebnisse der Tests quantitativ, die Wahl der geeigneten Methode jedoch subjektiv und somit eine qualitative Methode.

Die Unterscheidung zwischen quantitativen und qualitativen Methoden, ist eine Unterscheidung zwischen der Beschaffenheit der finalen Daten. Bei quantitativen Methoden handelt es sich um empirische gewonnene und numerisch aufbereitete Daten, bei qualitativen Methoden sind es subjektive Daten, welche bereits eine Bedeutung haben. Das sind in der Regel Texte, Bilder oder auch Filme. Diese Ansätze werden also hauptsächlich nach der Art der Mess- und Auswertungsmethode unterschieden.

Eine weitere grundlegende Art der Unterscheidung zwischen Evaluationsmethoden ist die zwischen formativer und summativer Evaluation. Ursprünglich kommt die Unterscheidung aus der Psychologie, es gibt für diese Möglichkeit zur Differenzierung jedoch auch Beispiele aus der Informationsvisualisierung [3]. In der folgenden Auflistung werden die beiden Ansätze kurz erläutert.

- Formative Evaluation, die formative Evaluation wird meist begleitend zur Implementierung oder zum Projekt durchgeführt. Dabei wird das Design oder die Visualisierung in Intervallen untersucht und Zwischenergebnisse festgehalten. So können laufende Prozesse angepasst werden und wiederum erneut evaluiert werden.
- Summative Evaluation, als summative Evaluation wird eine das Resultat analysierende Evaluation bezeichnet. Daraus folgt, diese Evaluationen werden nach Abschluss eines Projektes durchgeführt. So ist es möglich das Projekt, Design oder ähnliches zusammenfassend zu bewerten.

Die grundlegende Unterscheidung zwischen diesen Methoden liegt also darin ob diese während oder nach einem Projekt zum Einsatz kommen. Da in dieser Arbeit bestehende Visualisierungen auf ihre Eignung für den Einsatz in einer möglichen Automotive Ethernet Netzwerkvisualisierung hin Evaluiert werden, fallen formative Methoden bereit von vornherein aus. Summative Methoden hingegen können zum Einsatz kommen und können aus dem quantitativen oder qualitativen Bereich stammen sowie aus dem im folgenden Absatz beschriebenen Evaluationen durch Expertenanalyse oder Nutzermitwirkung. Es steht also fest das eine summative Methode verwendet werden muss.

Die letzte Differenzierung die hier betrachtet werden soll, unterscheidet grundsätzlich zwischen zwei Herangehensweisen für Evaluationen. Zum Einen aus der Sicht des Experten ohne Einwirkung von Nutzern, dies sind sogenannte Prüfmethode. Zum anderen aus Sicht

des Nutzers, namentlich Testmethoden, in welchen repräsentative Endnutzer ein oder mehrere Interfaces nutzen.

- Evaluation durch Expertenanalyse, dies basiert auf anerkannten Expertenmeinungen mit Hilfe welcher das Design bewertet wird und die Auswirkungen auf Nutzer analysiert werden.
- Evaluation durch Nutzermitwirkung, lässt den Endanwender das System auf verschiedene Art und Weisen testen. Die Usability steht im Vordergrund. Dabei werden Beobachtungen und Messungen aufgezeichnet.

Ersteres eignet sich insbesondere zur Bewertung von Design, Darstellung und Prototypen, letzteres benötigt normalerweise einen funktionierenden Prototypen oder eine bereits bestehende Implementierung. Dies ist eine sehr grobe Unterscheidung und es kann dabei zu Überschneidungen kommen. Beispielsweise können Nutzer bereits im frühen Entwicklungsprozess mit eingebunden werden oder Experten basierende Analysen werden an bestehenden Implementierungen durchgeführt um günstig und vor allem schnellere Usability Bewertungen vornehmen zu können. Der grobe Unterscheidungsgrad dieser Aufteilung eignet sich gut um ein weites Spektrum an Evaluationen zu betrachten. Bevor die wesentlichen, in diese Aufteilung passenden, Evaluationen vorgestellt werden, werden zunächst noch die allgemeinen Ziele von Evaluationen betrachtet.

2.1.1 Evaluationsziele

Für Evaluationen im Bereich der Human Computer Interaction, also Informationssystemen, Interfaces oder auch Visualisierungen können, laut Dix [2], drei Hauptziele genannt werden. Zu nächst den Umfang und die Erreichbarkeit der Funktionalitäten des Systems zu bewerten, die Bewertung der Benutzererlebnisses und spezifische Probleme des Systems oder Teilen eines Systems, wie einer Visualisierung, zu identifizieren. Die Funktionalität ist wichtig, weil sie den Erwartungen und den Anforderungen des Nutzers entsprechen muss und ihn bei seiner beabsichtigten Aufgabe zu unterstützen. Anders ausgedrückt, sollte das Design den Benutzer dazu befähigen seine Aufgabe leichter zu erledigen. Das bedeutet nicht nur, dass die passende Funktionalität vom System her oder Ausdruckskraft von Darstellungen her gegeben ist, sondern auch dass diese leicht erreichbar sind. Dies ist gemeint, im Sinne von Aktionen die ein Nutzer ausführen muss um die gewünschte Aufgabe erledigen zu können oder Visuellen Eindrücken die der Nutzer verarbeiten muss. Zusätzlich zur Analyse der Funktionalität gibt es die Analyse der Nutzererfahrung bei der Interaktion mit dem System. Das beinhaltet Aspekte wie die Zufriedenheit des Nutzers mit dem System, wie einfach es zu erlernen ist oder eben

die Usability. Weiterführende Punkte können auch den Spaßfaktor und emotionale Reaktionen umfassen, speziell bei Systemen welche zur Unterhaltung oder Entspannung gedacht sind. Das dritte Ziel von Evaluationen, ist Probleme mit dem Design zu identifizieren. Das können Ausprägungen sein wie, unvorhergesehenes Verhalten von bestimmten Funktionen des Designs oder Funktionen welche den Nutzer verwirren. Die beiden erstgenannten Ziele, Funktionalität und Usability des Designs, haben natürlich Einfluss auf dieses Ziel. Trotzdem ist dies ein eigenständiges Ziel, da es sich spezifisch auf die Identifikation von Fehlerquellen und Konflikten bezieht, welche dann korrigiert werden können.

2.1.2 Evaluationstechniken basierend auf Expertenanalyse

Idealerweise beginnt die Evaluation bei Software, Design oder Projekten bereits bevor jegliche Implementation stattfindet, also in der Design- und Entwicklungsphase. Wenn bereits das Design selbst evaluiert wird, können schwerwiegende und möglicherweise kostenintensive Fehler vermieden werden. Denn so kann das Design noch angepasst werden bevor zu viele Ressourcen auf die Entwicklung des Designs verwendet werden. Typischerweise sind Designfehler umso teurer je später im Entwicklungsprozess sie entdeckt werden und damit die Wahrscheinlichkeit geringer dass diese korrigiert werden können. Allerdings sind regelmäßige Usertests während der Entwicklungsphase teuer und es kann sich als schwierig erweisen eine akkurate Bewertung der Interaktionserfahrung der User über ein nicht vollständiges System zu bekommen. Auch aus deshalb wurden einige Methoden entwickelt um Systeme von Experten evaluieren zu lassen. Diese wiederum können nicht nur verwendet werden um während der Entwicklung bewertend einzugreifen, sondern auch nach der Veröffentlichung um eine Qualitäts- oder Eignungsbewertung vorzunehmen. Im Grunde können diese Methoden zu jedem möglichem Zeitpunkt im Entwicklungsprozess eingesetzt werden, von der Spezifikation des Designs über Prototypen sowie eben auch vollständigen Implementationen, was sie zu einem sehr flexiblen Ansatz zur Evaluation macht. Der Aspekt dass vollwertige Implementationen untersucht werden können, ist besonders relevant für diese Arbeit. Es unterstützt den Ansatz der Arbeit bestehende Visualisierungen auf ihre Eignung zur Darstellung von Netzwerkkommunikationsdaten im Automotive Ethernet Netzwerk zu präsentieren. Die Möglichkeit der Evaluation während der Entwicklung hingegen nicht weiter betrachtet, da diese nicht relevant für die Evaluation von existierenden Visualisierungen ist. Expertenanalysen hängen davon ab, dass Designer, Analysten oder Domänenexperten, Design und Darstellungen betrachten und bewerten, an Hand von zuvor festgelegten Kriterien, wie sich dieses auf den typischen User auswirkt. Die grundlegende Intension ist Teile der Software oder des Designs beziehungsweise der Visualisierungen zu identifizieren welche sich nicht an Kognitive Prinzipien halten oder

bestätigte empirische Untersuchungen ignorieren. Was diese Methoden nicht betrachten ist die tatsächliche Nutzung des Systems, es kann nur analysiert werden ob Usability Standards eingehalten werden [2]. Nachfolgend werden aus dem Bereich der Expertenanalyse vier häufig angewandte Evaluationsansätze vorgestellt:

- **Heuristische Evaluation**
- **Cognitive Walkthrough**
- **Modellbasierte Evaluation**
- **Verwendung von vorangegangenen Studien**

Heuristische Evaluation

Vorgestellt wurde die heuristische Evaluation von Nielsen und Molich [26]. Es handelt sich dabei um eine Usability Untersuchung in welcher jedes Element eines User Interfaces auf bestimmte Usability-Prinzipien, bzw. Heuristiken, hin untersucht wird. In diesem Kontext versteht man unter einer Heuristik bestimmte Vorgaben an ein System oder eine Visualisierung, welche eingehalten werden sollen. Diese Prinzipien werden im Verlauf dieses Abschnitts noch näher betrachtet. Bevor diese Prinzipien entwickelt wurden, wurde die Heuristische Evaluation, im Allgemeinen, basierend auf Intuition und gesundem Menschenverstand aufgebaut. Da Heuristische Evaluation bereits auf Design Spezifikationen angewendet werden kann eignet es sich bereits zur Auswertung von frühen Designphasen. Allerdings kann diese Art der Evaluation auch auf Prototypen, Konzepte und bereits voll funktionsfähige Systeme angewendet werden. Daher ist Heuristische Evaluation ein flexibler und günstiger Ansatz. Aufgrund dieser Attribute wird es auch häufig als Discount Usability Methode bezeichnet [17][24]. Generell gibt es bei Heuristischer Evaluation die Vorgabe dass mehrere Auswerter ein System, unabhängig von einander, beurteilen und mögliche Usabilityprobleme aufzeigen. Es ist entscheidend dass es mehrere Auswerter gibt und auch dass diese unabhängig von einander das System evaluieren. Nielsen fand in seiner Abhandlung heraus dass drei bis fünf Auswerter ausreichend sind. Bei einer Anzahl von fünf Auswertern, werden im Schnitt 75% aller Usabilityprobleme gefunden. Wohingegen einzelne Auswerter nur zwischen 20 und 51% finden konnten, bei mehr als zehn Auswertern ist keine Steigerung der gefundenen Usabilityprobleme mehr zu erkennen. Um die Auswerter bei der Evaluation zu unterstützen gibt es zehn vorgegebene Heuristiken [24]. Diese können, wenn nötig, um Domänenspezifische Heuristiken ergänzt werden. Für die Darstellung von Netzwerkdaten im Automotive Ethernet Bereich, wären beispielsweise *Erkennbarkeit einschlägiger Metriken* eine mögliche Ergänzung. Jeder Auswerter bewertet das System und

notiert jeden Verstoß gegen eine der vorgegebenen Heuristiken, welcher ein potentielles Usabilityproblem aufzeigt. Zu jedem Fund wird die Schwere des Problems oder des Verstoßes festgehalten. Diese Einschätzung basiert auf vier Faktoren.

1. Wie häufig tritt das Problem auf
2. Wie einfach ist es für den User dieses zu überwinden
3. Tritt es einmalig auf oder ist es reproduzierbar
4. Als wie schwer wird das Problem wahrgenommen

Diese werden auf einer Skala von 0 - 4 bewertet.

0 = Es ist kein Usabilityproblem

1 = Kosmetisches Problem, nicht zwingend zu bearbeiten

2 = kleines Usabilityproblem, niedrige Priorität

3 = großes Usabilityproblem, hohe Priorität

4 = kritisches Usabilityproblem, muss vor Veröffentlichung gelöst werden

Die zehn oben angesprochenen Heuristiken sind:

1. **Simple und natürliche Darstellung:** Dialoge oder Darstellungen sollten keine Informationen enthalten, welche irrelevant sind oder kaum verwendet werden. Jedes zusätzliche Informationselement in einem Dialog, konkurriert mit den relevanten Informationselementen und mindert deren relative Sichtbarkeit. Alle Informationen sollten in einer natürlichen und logischen Reihenfolge auftreten. Die Verbindung von Daten mit Grafik ist entscheidend für die Wahrnehmung der Daten.
2. **Dem User verständliches Design:** Dialoge sollten klar, in Worten, Sätzen und Konzepten die dem User bekannt sind, ausgedrückt werden, jedoch nicht in eher systemnahen Ausdrücken. Dies gilt genauso für Visuell aufbereitete Daten, hier sollten ebenfalls leicht verständliche oder dem User bekannte Darstellungen verwendet werden.
3. **Minimierung der Gedächtnisbelastung:** Der Nutzer sollte sich keine Informationen Dialogübergreifend merken müssen. Anleitungen zur Nutzung des Systems, sollten jederzeit sichtbar oder einfach aufrufbar gemacht werden, dort wo es angebracht ist.

4. **Konsistenz:** Nutzer sollten sich nicht fragen müssen ob mit einem unterschiedlichen Ausdrücken, Situationen oder Aktionen das Gleiche gemeint ist.
5. **Feedback:** Das System sollte dem Nutzer zu jeder Zeit, ausreichend und innerhalb einer angemessenen Zeitspanne, Feedback geben um den Status des Programms einschätzen zu können.
6. **Klar markierte Ausgänge:** Es kommt häufig vor das Nutzer Systemfunktionen ohne Intension auswählen. In diesen Situationen muss es ein klar markierter *Ausgang*, um den unerwünschten Status verlassen zu können, vorhanden sein.
7. **Abkürzungen:** Diese stellen Beschleunigungen für den erfahrenen Benutzer dar. Beispielsweise können Tastenkombinationen für Aktionen bereitgestellt werden, welche den Arbeitsablauf beschleunigen. Diese Funktionen für erfahrenere Nutzer, sollten nicht auf den ersten Blick sichtbar sein, um einen Anfänger nicht zu verwirren.
8. **Gute Fehlermeldungen:** Fehlermeldungen sollten klar in Sprache ausgedrückt werden, nicht in Codes. Es soll das Problem präzise beschrieben werden und konstruktive, im besten Fall, dass Problem lösende, Informationen enthalten.
9. **Fehler vermeiden:** Besser als gute Fehlermeldungen ist, wenn Fehler gar nicht erst auftreten. Ein durchdachtes Systemdesign kann eine Vielzahl an einfachen Fehlern abfangen.
10. **Hilfe und Dokumentation:** Im Idealfall benötigt ein Benutzer keine Hilfestellung für die Nutzung eines Systems. Da das nicht auf jede Person und jedes System zutreffen kann sollte es eine Hilfefunktion sowie eine Dokumentation geben. Die dort enthaltenen Informationen sollten einfach erreichbar, leicht zu durchsuchen, mit der aktuellen Nutzer-tätigkeit verbunden, konkrete Schritte zur Lösung bereithalten und nicht zu Überladen, also kompakt, sein.

Nach dem Abschluss der separaten Bewertung durch die Experten, werden alle erkannten Probleme gesammelt und die durchschnittliche Bewertung errechnet. Daraufhin wird festgelegt welches das wichtigste Problem ist und somit als erstes der Aufmerksamkeit im Sinne der Problemlösung bedarf. Zusammenfassend beinhaltet die Heuristische Evaluation als eine kleine Gruppe von Auswertern welche das Interface, Design oder Darstellungen untersuchen und diese auf ihre Tauglichkeit mit Blick auf die Usabilityprinzipien (die Heuristiken) bewerten.

Cognitive Walkthrough

Cognitive Walkthrough (CW) ist eine Methode, ursprünglich vorgestellt von Lewis et. al. [23], um systematisch Features eines Interfaces im theoretischen Kontext zu bewerten. Der Ursprung des Cognitive Walkthrough Ansatzes ist der Code Walkthrough, bekannt aus dem Software Engineering Bereich. In Walkthroughs werden detailliert Sequenzen von Aktionen betrachtet. Im Code Walkthrough ist eine Sequenz repräsentiert durch einen Teil des Programmcodes, durch welchen dann schrittweise iteriert wird. Dabei wird auf bestimmte Charakteristiken geachtet, wie beispielsweise Coding Style oder Code Conventions. Beim Cognitive Walkthrough ist die Aktionssequenz beschrieben als, die Schritte die ein Nutzer vollführen muss um im vorgegebenen Interface eine bestimmte Aufgabe zu erledigen. Die Rezensenten gehen dann die Aktionssequenz Schritt für Schritt durch und achten auf mögliche Usabilityprobleme. Hauptsächlich fokussiert sich die CW Methode darauf, festzustellen wie einfach ein System zu erlernen ist. Dabei liegt ein spezieller Fokus darauf wie leicht es ist, dass System explorativ zu erlernen. Diese Methode wird von der Mehrheit von Nutzern vorgezogen, es ist einfacher das System zu testen und dabei zu lernen, als zunächst eine Anleitung oder spezielles Training zu absolvieren [11]. Für jeden Schritt wird festgehalten warum dieser Schritt gut oder nicht gut für einen neuen Nutzer ist. Diese Rückmeldungen sind sogenannte “success stories“ beziehungsweise “failure stories“. Um einen solchen Cognitive Walkthrough durchzuführen sind vier Anforderungen zu erfüllen.

1. Eine Spezifikation oder einen Prototypen des Systems. Alle möglichen Angaben dazu sollten sehr detailliert sein. Details beim Wortlaut oder der Position eines Menüs oder Steuerelements können große Unterschiede machen.
2. Eine Beschreibung der Aufgabe die ein Nutzer in dem System ausführen soll. Diese Aufgabe sollte repräsentativ gewählt werden, also etwas das jeder Nutzer tun muss.
3. Eine komplette Auflistung aller Aktionen die ausgeführt werden müssen um die Aufgabe im vorgegebenen System zu erfüllen.
4. Eine Angabe über die Zielgruppe. Wer wird das System nutzen und wie viel Erfahrung und Vorwissen kann von diesen Nutzern erwartet werden.

Mit diesen Informationen kann der Experte, die in Punkt 3 beschriebene Aktionssequenz durchlaufen und Anhand dieser die Usability dieses Teils bewerten. Um zu eine Bewertung zu gelangen, werden vier Fragen für jede Aktion der Sequenz beantwortet.

1. Stimmt der Effekt der Aktion mit den Zielen des Nutzers zum gegebenen Zeitpunkt überein? Jede Aktion eines Nutzers hat einen bestimmten Effekt innerhalb des Systems. Trägt dieser Effekt tatsächlich dazu bei dass der Nutzer dem Ziel näher kommt? Beispielsweise wenn der Effekt der Aktion ist ein PDF einer Darstellung zu speichern, ist dass auch tatsächlich was der Nutzer in diesem Moment tun möchte?
2. Ist es dem Nutzer möglich, zu sehen dass die Aktion verfügbar ist? Können Nutzer den Button oder das Menüelement sehen welches die gewünschte Aktion ausführt? Diese Frage soll nicht beantworten ob der User erkennt dass die Funktion diejenige ist die er benötigt, sondern ob diese sichtbar ist zu dem Zeitpunkt wenn die Aktion ausgeführt werden soll. Menüelemente oder Buttons könnten sich zum Beispiel in Untermenüs befinden.
3. Wenn der Nutzer die korrekte Aktion gefunden hat, wird er in der Lage sein zu erkennen dass dies genau die Aktion ist die tatsächlich benötigt wird? Diese Frage schließt an die vorherige Frage an. Die Frage nach der Sichtbarkeit ist unabhängig davon ob der Nutzer auch erkennt dass dies auch die Aktion ist die ausgeführt werden muss um die gewünschte Aufgabe zu erfüllen. Diese Frage zielt darauf ab ob die Bedeutung und Effekt der Funktion klar sind, nicht auf die Sichtbarkeit.
4. Nachdem die Aktion ausgeführt wurde, wird dem Nutzer das gegebene Feedback verständlich sein? Wenn der Nutzer die korrekte Aktion ausgeführt hat, wird er auch darüber informiert dass dies die richtige Aktion war? Ist das Feedback ausreichend informativ?

Cognitive Walkthrough wurde auch an komplexe Interfaces angepasst, beispielsweise im Computer Aided Design (CAD) [34] oder bei der Entwicklung von Medizinischen Geräten [5]. Die Methode wurde außerdem in der Evaluation von Betriebsabläufen eingesetzt [27].

Modellbasierte Evaluation

Eine weitere Variante der Expertenanalyse ist die sogenannte Modellbasierte Evaluation [18]. Dabei wird die Evaluation durchgeführt indem ein Modell genutzt wird welches darstellt, wie ein Mensch ein bestimmtes System nutzen würde. Aus diesem Modell werden Usabilitywerte prognostiziert, entweder mit Hilfe einer Simulation oder von Berechnungen. Diese Prognosen können empirische Messungen mit Hilfe von Nutzertests ersetzen oder unterstützen. Zusätzlich enthält das Modell selbst nützliche Informationen die Beziehung zwischen der Aufgabe des Nutzers und dem Design des Systems. Dieser Ansatz basiert auf einer detaillierten Beschreibung des voraussichtlichen Designs und einer detaillierten Aufgabenanalyse. Es erklärt wie

die Nutzer Aufgaben erfüllen, wenn sie mit dem voraussichtlichem Interface interagieren. Mit Hilfe von psychologischer Theorie und parametrisierten Daten werden Usability Metriken generiert. Wenn das Modell erstellt ist können die Usability-Vorraussagen schnell und einfach mit Berechnungen oder Simulationen gewonnen werden. Es gibt drei vorherrschende Modellarten, GOMS (goals, operators, methodes and selection) Modelle, Task Network Modelle und Cognitive Architecture Modelle.

1. Das GOMS Modell berechnet die Nutzerperformance für ein bestimmtes Interface im voraus. Über das Akronym lässt sich das Modell gut beschreiben. Der Nutzer kann bestimmte Ziele (**[G]oals**) mit dem System erreichen. Eingabeoperationen (**[O]perators**) sind die Hauptaktionen mit welchen mit dem System kommuniziert wird, gemeint sind hierbei Tastendrucke oder Mausklicks. Methoden (**[M]ethods**) sind Sequenzen von Eingabeoperationen welche, wenn sie ausgeführt werden, ein Ziel erreichen. Auswahlregeln (**[S]election rules**) beschreiben welche Methode in welcher Situation genutzt werden sollte um ein Ziel zu erreichen, falls mehr als eine Methode verfügbar ist.
2. Bei Task Network Modellen wird die Performance eines Tasks mit Hilfe von Netzwerkprozessen modelliert. Jeder Prozess startet wenn seine Vorgängerprozesse beendet wurden und hat eine angenommene Verteilung von Durchlaufzeiten. Dabei müssen Tasks oder Prozesse nicht zwingend vom User ausgeführt werden sonder können auch vom System ausgelöst werden. Die Performancevoraussagen werden mit Hilfe einer Monte-Carlo Simulation der Modellaktivität getätigt. In dieser Simulation werden die Inputevents von Zufallsvariablen oder von Taskszenarios generiert. Eine Vielzahl statistischer Ergebnisse werden dabei produziert, beispielsweise die Ressourcennutzung und die Auslastung des Systems.
3. Cognitive Architecture Modelle bestehen aus hypothetischen interagierenden Komponenten, dabei wird angenommen das diese sich im Menschen befinden. Diese Computersysteme simulieren einen Menschen welcher in einer Simulierten Umgebung, Input von dieser erhält und Output für diese generiert, worauf die Umgebung wieder reagiert. Die Tasks welche von dem Kognitiven Modell ausgeführt werden sollen, werden nach einer Taskanalyse in die Kognitive Komponente integriert. Da diese Systeme versuchen die physiologischen Funktionen des Menschen abzubilden sind diese komplex aufgebaut und werden eher in Grundlegenden Forschungsprojekten eingesetzt.

Verwendung von vorangegangenen Studien

Im Bereich der Human-Computer Interaction und der Experimentellen Psychologie gibt es viele Ergebnisse aus Experimenten und empirische Beweise. Einige davon können spezifisch einer Domäne zugeordnet werden, andere haben einen etwas weiter gefassten Ansatz. Diese bereits gewonnenen Informationen gehen von der Usability von speziellen Menütypen, über die Erinnerung an spezifische Kommandonamen, bis hin zu der Wahl von Darstellungen und deren Farben. Dieser Ansatz macht sich die bereits gewonnenen Erkenntnisse zu nutze, indem vorherige Ergebnisse verwendet werden um die Wahl für ein bestimmtes Design oder eine Visualisierung zu stärken oder abzuschwächen. Es ist teurer Experimente zu wiederholen und die Rezension und Analyse bestehender Literatur kann dies obsolet machen. Es sollte dabei bedacht werden das experimentelle Ergebnisse möglicherweise nicht in beliebigen Kontext Bestand haben. Ein Rezensent muss daher die Belege sorgfältig auswählen und dabei das experimentelle Design, die Population der Teilnehmer, die ausgeführten Analysen und gemachten Annahmen beachten [2].

2.1.3 Evaluationstechniken mit Nutzerbeteiligung

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Evaluationstechniken fokussieren sich auf die Ausführung durch den Designer oder Experten und nicht auf das Testen mit tatsächlichen Nutzern. Trotz aller Ausgereiftheit dieser Methoden, können diese nicht das tatsächliche Usability-Testen mit den Nutzern ersetzen. Dieser Abschnitt beleuchtet einige Ansätze die auf der Beteiligung von Nutzern aufbauen. Diese beinhalten empirische Methoden, auf Versuchen aufgebaute Methoden, beobachtende Methoden als auch Methoden mit Befragungstechniken.

[TODO: PHYSIOLOGICAL MONITORING INCLUDEN?]

Die Beteiligung von Nutzern an Evaluationen erfolgt zumeist in späteren Phasen von Projekten, dann wenn bereits funktionierende Prototypen zur Verfügung stehen. Der Status des Prototypen kann dabei variieren und von einer Simulation der Interaktionsmöglichkeiten des Systems ohne das die darunterliegende Funktionalität gegeben ist, über einen Prototypen mit Basisfunktionen, bis hin zu einem voll implementierten System reichen. Im wesentlichen gibt es zwei verschiedene Arten wie Evaluationen mit Nutzern ausgeführt werden. Zum einen unter Laborbedingungen und zum anderen in der Arbeitsumgebung, sogenannte Feldstudien. Bei Laborstudien werden die Nutzer aus ihrem normalen Arbeitsumfeld genommen um an kontrollierten Test in spezialisierten Usability Laboren teilzunehmen. Ein Vorteil dabei ist, dass die Teilnehmer in einer Umgebung sind welche keine unnötigen Unterbrechungen, wie Emails, Kalenderbenachrichtigungen und ähnliches, herbeiführt. Der genannte Vorteil

kann ebenso als Nachteil betrachtet werden, denn in unnatürlichen Situationen können ebenso unnatürliche Ergebnisse beobachtet werden, welche möglicherweise nie am Arbeitsplatz auftreten werden. Der zweite Typ, die Feldstudien, nimmt den Auswerter der Studie mit in den gewohnten Arbeitsbereich der Teilnehmer. Die Beobachtung wird hier erschwert durch viele mögliche Unterbrechungen (Anrufe, Umgebungsgeräusche oder nicht partizipierende Mitarbeiter) der gestellten Aufgabe oder Beurteilung. Jedoch ist auch hier genau das ebenso ein Vorteil, in der Arbeitsumgebung können gerade durch diese Ablenkungen, Situationen identifiziert werden welche der Nutzer in einer Laborumgebung nicht erfahren würde. So können Interaktionen zwischen System und Nutzer ausgemacht werden welche ebenso im Alltag auftreten können. Im Allgemeinen lässt sich daraus schlussfolgern, dass Studien im Feld den Laborstudien vorgezogen werden sollten, da diese das System während der tatsächlichen Nutzung evaluieren. So können auch die angesprochenen Unterbrechungen von Vorteil sein, diese können beispielsweise unerwartetes Verhalten wie Speichern und Laden während einer Aufgabe aufdecken.

In den anschließenden Abschnitten werden folgende Evaluationsbereiche mit häufig angewandten Techniken mit Nutzerbeteiligung betrachtet:

- **Techniken auf Grundlage von Beobachtungen**
- **Empirische Techniken auf Grundlage von Experimenten**
- **Befragungstechniken**

Techniken auf Grundlage von Beobachtungen

Eine weit verbreitete Methode um Informationen über die tatsächliche Benutzung eines Systems zu sammeln ist Nutzer bei der Bedienung des Systems zu beobachten. Dabei werden die Nutzer aufgefordert bestimmte Aufgaben mit dem Programm zu erledigen. Es ist jedoch auch möglich die Untersuchung am eigentlichen Arbeitsplatz durchzuführen, wobei die Nutzer ihren normalen Tätigkeiten nachgehen. Ein Auswerter beobachtet den User und zeichnet seine Aktionen auf. Zu Aufzeichnung stehen ihm verschiedenste Möglichkeiten zur Verfügung, welche in diesem Abschnitt näher beleuchtet werden. In den meisten Fällen ist einfaches Beobachten nicht genug um die Auswirkungen der Aktionen der User nachzuvollziehen, weshalb diese dazu angehalten werden während der Arbeit mit einem System laut auszusprechen welche Gedanken sie bei den Aktionen haben. Dies nennt man die Thinking Aloud-Methode.

Thinking Aloud Diese Methode ist eine psychologische Experiment, durch welches die Benutzerfreundlichkeit eines Interfaces bestimmt werden kann. Grundsätzlich funktioniert

Thinking Aloud so, dass ein Testsubjekt das System verwendet und dabei laut sagt was es denkt [22]. Durch den Ausdruck der Gedanken während der Betätigung des System wird klar wie die User das System verstehen und somit lassen sich leicht Missverständnisse aufdecken. Es wird sehr deutlich welche Teile des Systems oder der Darstellung nicht verstanden werden, denn durch die Thinking-Aloud Methode wird jedes Element des vorliegenden Interfaces vom User interpretiert. Der Ursprung der Methode liegt bei psychologischen Studien [10], wird jedoch seit längerem und bis heute, in Praxis und Wissenschaft, für die Evaluation von Interfaces und Visualisierungen verwendet [4][9]. Thinking Aloud ist also eine weit verbreitete Methode im Bereich der Evaluation, nicht zuletzt auf Grund der einfachen Struktur und Durchführbarkeit. Es werden lediglich ein Tester sowie das zu testende System oder die Visualisierung benötigt, die ausgesprochenen können dann auf verschiedenste Art und Weise festgehalten werden. Die Nutzbarkeit von Thinking Aloud hängt wesentlich von der genutzten Technik zur Erfassung und nachfolgenden Analyse. Die anzufertigenden Aufzeichnungen der gesprochenen Gedanken der User werden in diesem Zusammenhang als Protokoll bezeichnet. In der folgenden Liste sind einige dieser Methoden beschrieben:

- Stift und Papier ist die mit Sicherheit einfachste, aber auch günstigste, Methode. Entweder wird die Methode tatsächlich mit Stift und Papier oder am Computer ausgeführt. Beide Varianten sind allerdings an die Schreib- bzw. Tippgeschwindigkeit des Analysten gebunden. Für häufig, vom User ausgeführte, Aktivitäten können daher Schlüssel eingesetzt werden welche diese Aktivitäten repräsentieren. Die Entwicklung eines solchen Schlüsselsystem erhöht wiederum den Zeitaufwand der gesamten Evaluation.
- Audioaufnahme, diese Form funktioniert am besten wenn der User tatsächlich alles ausspricht was er Denkt. Allerdings kann die alleinige Audioaufnahme schwer später mit allen Aktionen in Bezug gebracht werden, somit ist auch eine Analyse schwierig wenn nicht jede Aktion kommentiert wurde.
- Videoaufnahme hat den offensichtlichen Vorteil, dass der Analyst sieht was der User tut. Um einen guten Eindruck vom Geschehen auf dem Bildschirm sowie vom User zu bekommen werden häufig zwei Kameras verwendet, eine auf den User, welche seine Hände sowie sein Gesicht einschließen sollte, gerichtet und eine auf den Bildschirm. Letztere kann allerdings durch eine Screenshot oder logging Software ersetzt werden.
- Computer Logging, dabei werden die Tastenanschläge vom System mitgeloggt. Diese Methode nimmt nur das auf was der User am System macht, nicht seine Reaktionen und

andere äußere Einflüsse. Auch haben die Daten keine Semantik, es wird nicht festgehalten warum die Aktion ausgeführt wurde oder was zu bestimmten Aktionsfolgen führte.

- Notizen der User, bei dieser Methode Notiert der User welche Aktionen er ausführt und wieso. Dabei variiert die Verlässlichkeit der Methode mit jedem User, es sind klare Anweisungen erforderlich um festzuhalten was genau aufgezeichnet werden soll. Diese Art der Aufzeichnung kann ausschließlich für Ausergewöhnliche oder selten durchgeführte Aktionen zum Einsatz kommen um zusätzliche Informationen zu diesen unüblichen Handlungen zu erhalten.

In der Praxis werden häufig eine Kombination dieser Methoden verwendet, da diese sich ergänzen können. Beispielsweise können zusätzlich zu einem Video Aufbau, handgeschriebene Notizen verfasst werden, um auf spezielle Umstände aufmerksam zu machen. Ebenso bietet es sich an zur Aufnahme mit einem Videorecorder eine Aufnahme mit Mikrophon hinzuzufügen, das diese meist eine bessere Audioqualität bieten. Je mehr Elemente man einem Thinking Aloud Evaluationsaufbau hinzufügt desto schwieriger wird es diese Synchronisiert wiederzugeben. Es wird spezielles Equipment benötigt, welches automatisch verschiedene Ressourcen Synchronisieren kann. In speziellen Usability Laboren sind solche Aufbauten meistens verfügbar.

[TODO: cite?]

Cooperative Evaluation Eine Abwandlung der Thinking Aloud Methode befasst sich mit kooperativer Arbeit der Teilnehmer der Evaluation. Die Probanden arbeiten hier in engerer Zusammenarbeit mit den Auswertern. In dieser spezialisierten Form richtet der Auswerter auch während der Evaluation Fragen an den User, in der Form von *Warum?* oder *Was wenn?*. Der User kann ebenfalls Fragen an den Auswerter stellen um Unklarheiten zu beseitigen. Die Techniken zur Erfassung sind die gleichen wie bei der Thining Aloud Methode beschrieben, generell sind diese Methoden für alle Beobachtungstechniken verwendbar.

Empirische Techniken auf Grundlage von Experimenten

Eine der fundiertesten Methoden zur empirischen Gewinnung von Informationen, sind kontrollierte Experimente. Eine solche methodische Untersuchung kann für ein breites Spektrum an Problemen angewendet werden. Grundlegend sind Experimente ähnlich im Aufbau. Es wird eine Hypothese von demjenigen aufgestellt der die Evaluation durchführt und mit Hilfe von Messungen der Aktionen oder von Attributen des Verhaltens, von einem oder mehreren Teilnehmern, bestimmt werden kann. Für das Experiment werden bestimmte Bedingungen festgelegt welche sich nur in den Werten bestimmter Variablen ändern, jegliche Veränderung am

Verhalten oder der Ausführung der Aktionen des User werden dann diesen Parameteränderungen zugeschrieben. Für das Design eines Experimentes gibt es bestimmte Haupteigenschaften welche beachtet werden müssen, diese sind die Teilnehmer, die zu testenden Variablen und die Hypothese.

Die Wahl der Teilnehmer ist essentiell für den Erfolg eines Experiments. Bei Experimenten sollte darauf geachtet werden das die User der späteren Zielgruppe so nah wie möglich kommen. Im Idealfall sind dies die tatsächlichen zukünftigen Anwender, ist dass nicht realisierbar so sollten die Teilnehmer so nah am tatsächlichen zukünftigen User angesiedelt sein wie möglich. Das bezieht sich hauptsächlich auf die Bildung und das Alter der Teilnehmer. Ein weiter Aspekt welche bei der Wahl der Teilnehmer wichtig ist, ist die Anzahl. Nielsen und Landauer [25] schlagen in ihrer Abhandlung eine Teilnehmerzahl zwischen eins und fünf vor. Breits mit einem Teilnehmer wird etwa ein drittel der Usability-Probleme aufgedeckt. Bei einer Teilnehmerzahl höher als fünf gibt es qualitativ keinen signifikanten Mehrwert mehr. Diese Aussagen bestätigen auch den Trend in Evaluationsstudien bezüglich Visualisierungen. Abbildung 2.2 Zeigt die Anzahl der Evaluationen mit Userbeteiligung über eine Zeitspanne von Zehn Jahren. Wie in der Abbildung zu sehen werden in den meisten Studien 1 – 5 User eingebunden. Der größte Teil davon, 27 Studien, hatten eine Userbeteiligung von 1 – 2 [16].

Bei den Variablen gibt es grundlegend zwei unterschiedliche Arten, unabhängige und abhängige Variablen. Unabhängige Variablen werden gezielt verändert um die Auswirkung einer solchen Änderung, also eine Messgröße, messen zu können. Im Bereich der Visualisierung sind unabhängige variablen beispielsweise das Design bestimmter Elemente einer Darstellung oder der Eigenschaften der Legende. Abhängige Variablen weisen messbare Veränderung während der Durchführung des Experimentes auf, ihre Werte sind abhängig von den Änderungen an den unabhängigen Variablen. Solche Parameter wären beispielsweise, die Geschwindigkeit mit welcher bestimmte Aspekte eines Interfaces bedient werden können oder die Anzahl an Fehlern die vom User gemacht werden.

Die Hypothese ist die Annahme die vor dem Experiment getroffen wird und mit deren Hilfe, die im Laufe des Versuchs gewonnenen, empirischen Daten bewiesen werden soll. Mit Angabe der beiden Variablentypen wird vorhergesagt wie sich Änderungen an diesen auswirken. Der Beweis einer Hypothese erfolgt durch die Widerlegung der Nullhypothese, welche aussagt das die Änderungen an den unabhängigen Variablen eben keine Auswirkungen auf die abhängigen Variablen haben.

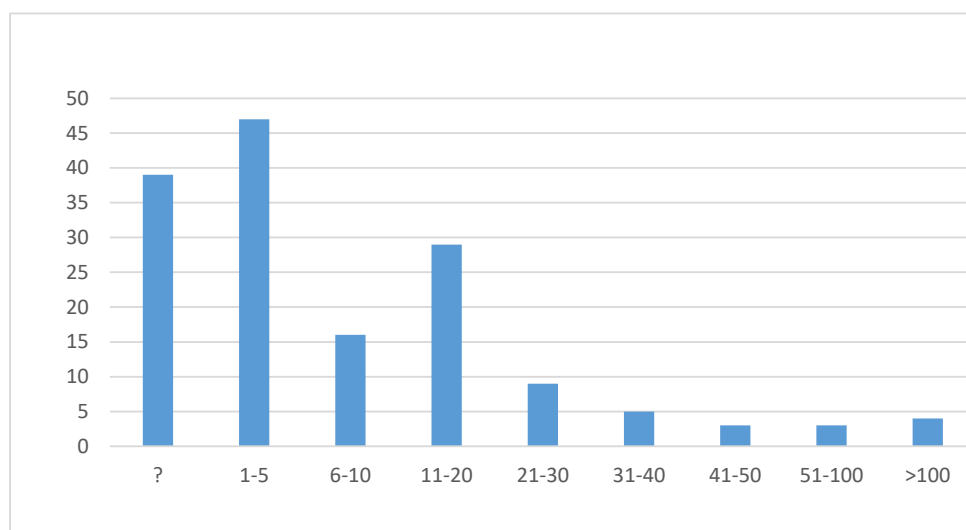


Abbildung 2.2: Histogramm der Studien im Bereich der Visualisierung mit Nutzerbeteiligung von 581 Arbeiten aus einem Zeitraum von zehn Jahren. Frei nach Isenberg et. al [16]

Befragungstechniken

Eine weitere Kategorie der Evaluationstechniken bezieht sich auf die direkte Befragung der User. Mit Hilfe solcher Techniken lassen sich Probleme bezüglich der Zufriedenheit der User oder möglicher Berührungspunkte mit neuen Interfaces, Darstellungen oder Software im allgemeinen untersuchen, welche schwer objektiv einzuschätzen sind. Des Weiteren werden diese Techniken eingesetzt um zu analysieren wie Nutzer ein System nutzen und welche Eigenschaften diese für besonders gut oder schlecht befinden [24]. Befragungstechniken sind aus der Usability-Sicht indirekte Methoden, da diese sich nicht mit dem Interface an sich, sondern mit den Meinung der User über das Interface, beschäftigen. Fragebögen und Interviews sind zwei Techniken welche häufig zum Einsatz kommen. Diese beiden Techniken ähneln sich sehr, da bei beiden den Usern Fragen gestellt werden, welche im Nachhinein ausgewertet werden.

Fragebögen Bei einem Fragebogen werden im Vorfeld Fragen festgelegt und diese dann in Papierform oder elektronisch an die User ausgeteilt. Ein Fragebogen kann zu jeder Zeit im Entwicklungsprozess eines Interfaces oder eines Teiles davon eingesetzt werden, immer mit dem Ziel, Kenntnisse über die Anforderungen, Erfahrungen und Präferenzen der User zu erlangen. Da bei dieser Technik meist kein Befrager anwesend ist, müssen die Fragebögen gut entworfen sein, da keine direkte Kommunikation für aufkommende Fragen möglich ist. Um dies zu erreichen muss zunächst der Zweck des Fragebogens festgelegt werden, anders ausgedrückt: welche Informationen sind gesucht? Ist dieser Schritt abgearbeitet, muss ebenso die Analyse und Bewertungsgrundlage für die Antworten festgelegt werden. Zum Beispiel ist eine grundlegende Entscheidung ob spezifische Werte eines Features abgefragt werden, oder ob der subjektive Eindruck des Users in Erfahrung gebracht werden soll. Es gibt eine Reihe von möglichen Frage und Antwortformaten welche in einen Fragebogen einfließen können. Generell wird zwischen zwei grundlegend verschiedenen Frageformaten unterschieden, zum Einen offene Fragen, bei welchen der Antwortende zumeist eine eigens formulierte Antwort gibt und zum Anderen geschlossene Fragen bei welchen der Befragte Antwortmöglichkeiten vorgegeben bekommt [1].

Interviews Ein Interview ist ein direkter und strukturierter Weg um Informationen zu sammeln. Interviews haben dabei den Vorteil gegenüber Fragebögen, dass bei aufkommenden Themen darauf reagiert werden kann und die Fragen entsprechend angepasst werden können. Der generelle Ablauf eines Interviews folgt dem Schema, dass zunächst mit allgemeinen Fragen eingeleitet wird und darauf folgend detailliertere Fragen gestellt werden um auf möglichst alle Aspekte der Antworten der User eingehen zu können. Interviews sind effektive Werkzeuge

um Informationen über die Eindrücke und das Verhalten der User in bestimmten Situationen bezüglich einer Visualisierung oder eines Systems zu erhalten. Ein Interview sollte, um diese Effektivität zu erreichen, im voraus geplant werden. Es sollte einen zentralen Fragenstamm geben, um welchen das Interview herum strukturiert werden sollte. Diese Vorgehensweise hilft dabei das Interview zu auf ein Ziel zu fokussieren, dass kann beispielsweise ein bestimmter Aspekt einer Darstellung sein, etwa die Farbwahl oder Anordnung von Elementen eines Diagramms. Eine Struktur bei den Fragen und eine gewisse Einheitlichkeit dieser, schafft Konsistenz bei einem späteren Vergleich der Antworten verschiedener User. Trotzdem sind Interviewer dazu angehalten auf die Antworten der User und dem entsprechend möglicherweise die Fragen darauf anzupassen, wenn zum Beispiel ein Missverständnis des Users bezüglich eines teils einer Darstellung oder eines Systems aufgedeckt wird [1].

2.2 Einführung in grundlegende Visualisierungen und Werkzeuge

Visualisierungen und Werkzeuge wie zum Beispiel Informationssysteme werden in vielen Bereichen der Wissenschaft und Wirtschaft eingesetzt. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über Methoden und Werkzeuge und dabei auch in angrenzende Wissensbereiche vorstoßen.

Um numerische Daten in konkreten Visualisierungen festzuhalten eignen sich räumliche Positionsangaben, laut graphischen Wahrnehmungsexperimenten, am besten [14]. Bereits 1786 entwickelte William Playfair die noch heute weit verbreiteten, positionskodierten, Balken- und Liniendiagramme [28]. Zur Visualisierung von, beispielsweise verfügbarer und/oder genutzter Bandbreite bieten diese Darstellungen noch immer einen angemessenen Informationsgehalt. Diese gehören weiterhin zu den Standarddarstellungsformen, nicht nur für Netzwerkdaten. Ebenso weit verbreitet ist das, ebenfalls von Playfair entwickelte, Kreisdiagramm (auch als Torten- oder Kuchendiagramm bekannt) zur Darstellung von Teilwerten eines Ganzen [29]. Ein Kreisdiagramm kann beispielsweise Verwendung finden um die genutzte Bandbreite verschiedener Links darzustellen.

Weitere naheliegende Darstellungsarten sind die der Netzwerkvisualisierungen. In diesen werden Beziehungen zwischen Daten aufgezeigt. Das kann sowohl in sozialen als auch in physischen Netzwerken sinnvoll sein, aber auch für Datenbanken oder auch Unternehmensstrukturen. Im mathematischen Sinne sind Netzwerke Graphen und bestehen im Grunde aus zwei primitiven Elementen, Knoten und Kanten, wobei die Kanten die Knoten verbinden. Ein zentraler Punkt bei der Visualisierung mit Graphen stellt die Auswahl eines effektiven Layouts sowie der gewünschte Detailgrad der Analyse dar. Typischerweise werden stark verbundene

Knoten auch im Bild nah aneinander positioniert, ebenso werden nicht verwandte Knoten weiter voneinander entfernt platziert, um die Beziehungen differenzieren zu können. Im folgenden werden einige mögliche Netzwerkvisualisierungen besprochen.

[TODO: Zwei gängigere Methoden noch.]

Force-directed Layout. Bei diesem Layout wird der Graph als physisches System modelliert. Knoten sind geladene Partikel welche sich gegenseitig abstoßen, die Verbindungen zwischen diesen fungieren als Federn und halten die Knoten zusammen. Mit Hilfe einer physischen Simulation dieser Kräfte (forces), werden die Positionen der Knoten festgestellt. Hinzu kommt das der Nutzer mittels Interaktivität das Layout ordnen kann wobei die physikalischen Eigenschaften beibehalten werden. Entwickelt wurde dieses Modell von Fruchterman und Reingold [12].

Matrix View. Ungerichtete Graphen können mathematisch als Adjazenzmatrix beschrieben werden. Für ein Netzwerk, im Grunde ein ungerichteter Graph, bietet es also an eine solche Darstellung zu verwenden. Jeder Wert in Zeile i und Spalte j in der Matrix korrespondiert zu der Anzahl der Links von Knoten i zu Knoten j . Ghoniem und Fekete beschreiben beispielsweise in Ihrer Abhandlung die Implementation dieser Technik [13].

Eine noch detaillierte Einführung in die Netzwerk-Analyse mit Hilfe von Graphen bietet die Arbeit von Brandes et. al [6]. [TODO: Details hier her?] ...

Mengen mit Werten die sich über die Zeit verändern, sind eine der häufigsten Formen von aufgezeichneten Daten. Auch im Netzwerk häufen sich Daten welche über die Zeit veränderlich sind, wie die genutzte Bandbreite, die Veränderung der Latenz oder des Jitters. Es gibt einige Visualisierungen die diese Art der Darstellung von sogenannten Time-Series Data/Zeitreihendaten unterstützen.

Small Multiples. Mehrere Zeitreihen können innerhalb von nur einem Diagramm dargestellt werden. Dadurch können allerdings Überschneidungen entstehen wodurch sich die Lesbarkeit verringern kann. Eine Alternative ist die Darstellung in Small Multiples, hier wird jede Zeitreihe Achsen-gleich in einem eigenen Diagramm dargestellt. Durch diese Darstellung können allgemeine Trends sowie individuelle Muster erkannt werden. In Abbildung 2.3 zu sehen, sind die verschiedenen Zeitreihen auf eine einheitliche Skala des höchsten Maximums und des kleinsten Minimums der ausgewählten Diagramme angepasst.

In Burch und Weiskopfs Abhandlung [8] wird diese Darstellungsform zur Verdeutlichung der Dynamik von Graphen genutzt. Im Small Multiple Aufbau werden Node-Link Diagramme verwendet, welche die Veränderung des Graphen Sequentiell vermitteln soll. Die Vorteile eines Small Multiple Aufbaus gegenüber, von den Autoren als sogenannte Large Singles bezeichnete, einfachen Darstellungen wird in van den Elzen und van Wijk's Artikel erläutert [33]. Die

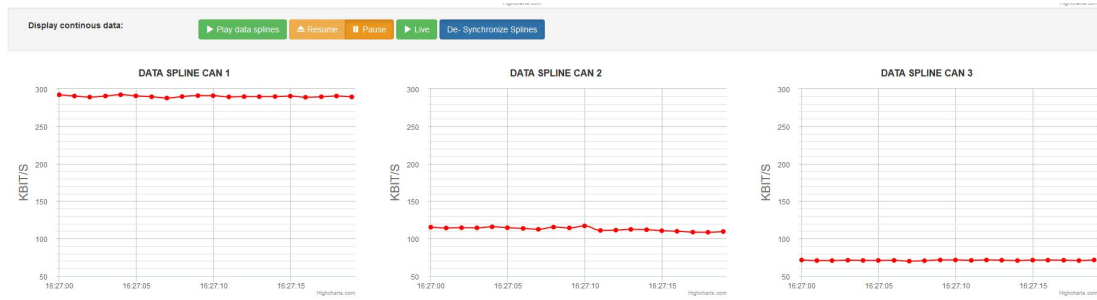


Abbildung 2.3: Small Multiples der genutzten Bandbreite von drei verschiedenen CAN-Bussen

Kernaussage besagt, dass mit Small Multiples ein breiterer Umfang an Daten aufgenommen werden kann als mit Lage Singles.

Index Charts. Für einige Zeitreihen ist die relative Veränderung ausschlaggebender als die tatsächliche Veränderung der Daten. Für diese Daten kommt ein Index Chart in Frage. Dieser Diagrammtyp zeigt die prozentuale Veränderung für eine Sammlung von Zeitreihen basierend auf einem fixen indexiertem Punkt [14]. Diese Diagrammart kann beispielsweise bei der Visualisierung von Netzwerkdaten eingesetzt werden um bei einer Verbindungen festzustellen wie sich die Last ab einem bestimmten Zeitpunkt prozentual erhöht. Als Zeitpunkt in einem Fahrzeug beispielsweise das Anlassen des Motors. So lässt sich analysieren welche Verbindungen den größten prozentualen Lastzuwachs, ab diesem Zeitpunkt, erfahren.

3 Anforderungsanalyse

...Damit visuelle Analyse Tools effektiv genutzt werden können, müssen diese eine fließende und flexible Nutzung von Visualisierungen ermöglichen. Um das zu ermöglichen wird in [15] eine *Taxonomy of interactive dynamics for visual analysis* eingeführt. Diese ist in drei Kategorien eingeteilt welche die kritischen Aufgaben der visuellen Analyse beschreiben. Die Kategorien sind *Data and View Specification*, *View Manipulation* sowie *Process and Provenance*. Die erste Kategorie beschäftigt sich mit den spezifischen Daten und Views welche für die jeweiligen Bedürfnisse der Analysten von Interesse sind. Es muss eine Steuerung der Applikation ermöglicht werden, so dass die Daten selektiv visualisiert werden können, irrelevante Daten herausgefiltert werden und ebenso müssen die Informationen sortiert werden können um mögliche Muster erkennbar zu machen. Nach der Erstellung einer Visualisierung muss es den Analysten ermöglicht werden die gestellten Views nach Bedürfnis zu manipulieren, dies beschreibt die zweite Kategorie der Taxonomy. Die Manipulation der Visualisierung ist nötig um Muster aufzeigen zu können, Hypothesen zu untersuchen und zur Navigation in den Daten bspw. via Drilldown. Analyse Tools muss es möglich sein multiple verbundene Visualisierungen zu organisieren und zu koordinieren um mehr Einsicht in Multidimensionale Daten zu bieten als es isolierte Views vermögen. Dies wird schon im häufig zitierten Mantra von Ben Shneiderman vorgegeben: "*Overview first, zoom and filter, then details-on-demand*"[30]. Die abschließende Kategorie *Process and Provenance* beschreibt den iterativen Prozess der Datenexploration sowie den der Dateninterpretation. Wenn Analysten Ihre bisher getätigten Aktionen innerhalb eines Programms nachverfolgen können kann die Arbeit überprüft und verbessert werden. Es sollte möglich sein die Ergebnisse zu dokumentieren als auch diese mit anderen zu teilen um eine Diskussion darüber zu ermöglichen. Ferner können Analysewerkzeuge auch Anfänger durch Ihre Funktionen führen um die Benutzung und den Einstieg zu erleichtern. Die vorgegebene Taxonomie bietet einen guten Einstiegs- und Orientierungspunkt in der Welt der Visualisierung und kann ebenso als Checkliste bei der Entwicklung eines neuen Analysetools verwendet werden. Sie zeigt viele Möglichkeiten auf um den Daten Herr werden zu können.

3.1 Allgemeine Anforderungen

Dieser Abschnitt soll die unterschiedlichen Anforderungen welche an Visualisierungswerkzeuge, ebenso wie an Visualisierungstechniken gestellt werden, herausarbeiten. Im folgenden werden dann die essentiellen Anforderungen hervorgehoben um in einem letzten Schritt diese auf ihre Anwendbarkeit im Automotivebereich geprüft.

3.1.1 Anforderungen an Visualisierungen

Anforderungen an Visualisierungen:

- Verständlichkeit und schneller Zugriff auf Daten
- Zeitersparnis bei der Analyse
- Kollaboratives Arbeiten
- Datenabstraktion, Überblick über Daten

3.1.2 Anforderungen an Werkzeuge

Spez. Anforderungen an Werkzeuge:

- Große Datenmengen verarbeiten/Datenexploration
- Neue Erkenntnisse schaffen
- Visuelle Analysen mit Schlussfolgerungen über Daten

3.2 Automotive spezifische Anforderungen

Visualisierungen Automotive spezifischer:

- Verbesserte temporale Struktur und Orientierung
 - schnellere Übersicht
 - bessere Navigationsmöglichkeiten als in Liste
 - grobe sowie feine Zeitinformationen nötig
- Zugriff auf Rohdaten muss gegeben sein
 - Signale, Nachrichten und deren Werte müssen abrufbar sein

- Abstraktion kann helfen, aber nicht um Werte aus Rohdaten anzuzeigen

Werkzeuge mögliche Evaluierungsrichtungen:

- Verständnis der Umgebung und Arbeitspraktiken (In welchem Kontext wird es verwendet? Welche Vis?)
- Evaluation der visuellen Datenanalyse und Schlussfolgerungen (Entscheidungsfindung, Hypothesengenerierung, Wie wird das unterstützt?)
-

4 Evaluationsbasis

In den letzten 20 Jahren beschäftigten sich über 80% der Evaluationen bezüglich der Visualisierung und ihrer Werkzeuge mit den sich ergebenden Bildern und mit der Performance der verwendeten Algorithmen. Allerdings lassen mehr und mehr Evaluationen Teilnehmer in ihren Studien partizipieren. Von den Teilnehmern wird dann die Leistungen sowie das subjektive Feedback Evaluiert oder es wird ihre (verbesserte) Performance mit der Visualisierung und in der Analyse, als auch bei der Fähigkeit zur Schlussfolgerung berücksichtigt [16].

Die Wahl der Art der Evaluation ist entscheidend, weil diese vorgibt in welcher Art und Weise die Ergebnisse genutzt werden können. Diese Entscheidung wird von mehreren Faktoren beeinträchtigt. Den Zielen welche mit der Methode erreicht werden sollen, die Umstände und Grenzen die der Evaluationsaufgabe auferlegt sind und der Charakteristik der Objekte welche evaluiert werden sollen. Diese unterschiedlichen Faktoren interagieren miteinander was die Wahl der geeignetsten Evaluationsmethode schwierig gestaltet [20].

Lam et al. haben in ihrer Ausarbeitung [21] 850 Paper hinsichtlich möglicher Evaluierungsszenarien untersucht. Sie haben sieben verschiedene Szenarien ermittelt, welche sich in zwei grundlegende Kategorien aufteilen. Zum einen gibt es Szenarien, welche mit dem Verständnis der eigentlichen Visualisierungen beschäftigen, zum anderen solche die zum Nachvollziehen der Datenanalyse dienen. Besonders das Szenario aus der Datenanalyse **evaluating visual data analysis and reasoning (VDAR)** sticht für die angestrebte Arbeit heraus. Evaluationen in diesem Bereich fokussieren sich hauptsächlich darauf ob und wie ein Visualisierungswerkzeug visuelle Analysen und Schlussfolgerungen über Daten zulässt. Mögliche Ergebnisse sind hierbei sowohl Metriken (bspw. Anzahl der Analyseerkenntnisse), als auch subjektives Feedback (bspw. Umfrage über Datenanalysequalität). Meist werden in diesem Bereich Feldstudien genutzt, häufig in der Form von Fallstudien.

[TODO: Korf: Anforderungen an diese Methoden und was kann man daraus gewinnen]

Wie Eval andere? -> Kriterien / Nutzen?

Aus verschiedenen Evaluationsmöglichkeiten ergeben sich verschiedene Anforderungen
Evaluierungsszenarien und Evaluierungspraktiken

[TODO: Evaluationstechnikwahl abgrenzen von anderen die entweder das gleiche gemacht haben oder das

4.1 Häufig verwendete Evaluationen im Bereich Visualisierung

Visualisierung/Automotive/Angrenzede

4.2 Faktoren zur Abgrenzung der Evaluationstechniken

4.3 Entscheidung für Evaluation

dieser oder die Kombi aus diesen ist für Automotive am besten weil! Und dieser wird für die Literaturanalyse bzw. Analyse von bestehenden Visualisierungen und Werkzeugen verwendet.

5 Evaluation ausgewählter Visualisierungstechniken

Dieses Kapitel beleuchtet die für diese Arbeit relevante Literatur. Das Kapitel ist in zwei Bereiche gegliedert, zum einem werden theoretische Abhandlungen betrachtet welche sich mit Anforderungen an vornehmlich Netzwerk bezogenen Visualisierungen beschäftigen. Zum Anderen...

5.1 Verwandte Arbeiten

5.2 Visualisierungen und Werkzeuge

Es wurde bereits eine große Zahl an verschiedensten Analyse-Werkzeugen entwickelt. Dieser Abschnitt geht auf die Funktion, die Nutzbarkeit und das Anwendungsgebiet der für diese Arbeit relevanten Programme ein. Die Programme kommen aus den verschiedensten Bereichen, der Automatisierungstechnik, der Flug- und Fahrzeugindustrie so wie weiteren kleineren Bereichen. Es handelt sich dabei sowohl um proprietäre, als auch um wissenschaftlich erarbeitete Anwendungen.

5.3 Auswertung

[TODO: hier soll stehen welches nun die besten und wichtigsten sind!]

6 Zusammenfassung und Fazit

Wenn man sieht wieviel fahrzeuge kommunizieren und kommunizieren werden CAR2X
CAR2CAR etc ist es wichtig geeignete darstellungen zu finden für die autos.... sowas

Literaturverzeichnis

- [1] H. J. Adèr. *Advising on Research Methods: A Consultant's Companion*. Johannes van Kessel Publishing., 2008. Google-Books-ID: LCnOj4ZFyjkC.
- [2] Alan Dix, J. Finley, G. D. Abowd, and R. Beale. Human-Computer Interaction. In *Encyclopedia of Database Systems*, pages 1327–1331. Springer US, 2004. DOI: 10.1007/978-0-387-39940-9_192.
- [3] K. Andrews. Evaluating Information Visualisations. In *Proceedings of the 2006 AVI Workshop on BEyond Time and Errors: Novel Evaluation Methods for Information Visualization*, BELIV '06, pages 1–5, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [4] T. Blascheck, M. John, S. Koch, L. Bruder, and T. Ertl. Triangulating User Behavior Using Eye Movement, Interaction, and Think Aloud Data. In *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, ETRA '16, pages 175–182, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [5] L.-O. Bligård and A.-L. Osvalder. Enhanced Cognitive Walkthrough: Development of the Cognitive Walkthrough Method to Better Predict, Identify, and Present Usability Problems. *Adv. in Hum.-Comp. Int.*, 2013:9:9–9:9, Jan. 2013.
- [6] U. Brandes and T. Erlebach. *Network analysis: methodological foundations*, volume 3418. Springer Science & Business Media, 2005.
- [7] M. Broy, S. Chakraborty, D. Goswami, S. Ramesh, M. Satpathy, S. Resmerita, and W. Pree. Cross-layer Analysis, Testing and Verification of Automotive Control Software. In *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Embedded Software*, EMSOFT '11, pages 263–272, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [8] M. Burch and D. Weiskopf. A flip-book of edge-splatted small multiples for visualizing dynamic graphs. In *Proceedings of the 7th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction*, VINCI '14, pages 29:29–29:38, New York, NY, USA, 2014. ACM.

- [9] S. Denning, D. Hoiem, M. Simpson, and K. Sullivan. The Value of Thinking-Aloud Protocols in Industry: A Case Study at Microsoft Corporation. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 34(17):1285–1289, Oct. 1990.
- [10] K. A. Ericsson and H. A. Simon. Verbal Reports as Data. *Psychological Review*, 87(3):215–51, May 1980.
- [11] M. Franzke. *Exploration and experienced performance with display-based systems*. PhD thesis, University of Colorado, 1994.
- [12] T. M. J. Fruchterman and E. M. Reingold. Graph drawing by force-directed placement, 1991.
- [13] M. Ghoniem and J.-D. Fekete. Matrix view of graphs and direct manipulation of cluster hierarchies. In *Proceedings of the 15th Conference on L'Interaction Homme-Machine, IHM '03*, pages 206–207, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [14] J. Heer, M. Bostock, and V. Ogievetsky. A Tour Through the Visualization Zoo. *Commun. ACM*, 53(6):59–67, June 2010.
- [15] J. Heer and B. Shneiderman. Interactive Dynamics for Visual Analysis. *Queue*, 10(2):30:30–30:55, Feb. 2012.
- [16] T. Isenberg, P. Isenberg, J. Chen, M. Sedlmair, and T. Möller. A Systematic Review on the Practice of Evaluating Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12):2818–2827, Dec. 2013.
- [17] D. Kane. Finding a place for discount usability engineering in agile development: throwing down the gauntlet. In *Proceedings of the Agile Development Conference, 2003. ADC 2003*, pages 40–46, June 2003.
- [18] D. Kieras. *The Human-computer Interaction Handbook*. pages 1139–1151. L. Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA, 2003.
- [19] B. A. Kitchenham. Evaluating Software Engineering Methods and Tool Part 1: The Evaluation Context and Evaluation Methods. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, 21(1):11–14, Jan. 1996.
- [20] B. A. Kitchenham. Evaluating Software Engineering Methods and Tool—Part 2: Selecting an Appropriate Evaluation Method—Technical Criteria. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, 21(2):11–15, Mar. 1996.

- [21] H. Lam, E. Bertini, P. Isenberg, C. Plaisant, and S. Carpendale. Empirical Studies in Information Visualization: Seven Scenarios. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(9):1520–1536, Sept. 2012.
- [22] C. Lewis. Using the "Thinking-aloud" Method in Cognitive Interface Design. Technical Report 40713, IBM, Yorkton Heights, NY, Feb. 1982.
- [23] C. Lewis, P. G. Polson, C. Wharton, and J. Rieman. Testing a Walkthrough Methodology for Theory-based Design of Walk-up-and-use Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '90, pages 235–242, New York, NY, USA, 1990. ACM.
- [24] J. Nielsen. *Usability Engineering*. Elsevier, Nov. 1994. Google-Books-ID: DBOowF7LqIQC.
- [25] J. Nielsen and T. K. Landauer. A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems. In *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '93, pages 206–213, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [26] J. Nielsen and R. Molich. Heuristic Evaluation of User Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '90, pages 249–256, New York, NY, USA, 1990. ACM.
- [27] D. G. Novick. Using the Cognitive Walkthrough for Operating Procedures. *interactions*, 6(3):31–37, May 1999.
- [28] W. Playfair. Playfair's Commercial and Political Atlas and Statistical Breviary, 1768.
- [29] W. Playfair. *The statistical breviary shewing, on a principle entirely new, the resources of every state and kingdom in Europe ... to which is added, a similar exhibition of the ruling powers of Hindoostan*. For J. Wallis, London, 1801.
- [30] B. Shneiderman. The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations. In *Visual Languages, 1996. Proceedings., IEEE Symposium on*, pages 336–343, Sep 1996.
- [31] B. Shneiderman and C. Plaisant. *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Pearson/Addison-Wesley, Boston [u.a.], 4 edition, 2005.
- [32] T. Steinbach, F. Korf, and T. Schmidt. CoRE Group, 2017. <http://core.informatik.haw-hamburg.de/en/>, Zugriffdatum: 17.02.2017.

- [33] S. van den Elzen and J. J. van Wijk. Small multiples, large singles: A new approach for visual data exploration. *Computer Graphics Forum*, 32(3pt2):191–200, 2013.
- [34] C. Wharton, J. Bradford, R. Jeffries, and M. Franzke. Applying Cognitive Walkthroughs to More Complex User Interfaces: Experiences, Issues, and Recommendations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '92, pages 381–388, New York, NY, USA, 1992. ACM.

Glossar

HCI Human Computer Interaction, Seite 14

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 19. September 2017

Benjamin Burchard