

# Erfahrungen mit der Messung der Wartbarkeit von Steuergeräte-Software

Amen Hamdan\*\*, Jens Heidrich\*, Thomas Stauner\*\*, Axel Wickenkamp\*

\*Fraunhofer IESE, Sauerwiesen 6, 67661 Kaiserslautern, Germany  
{jens.heidrich, axel.wickenkamp}@iese.fraunhofer.de

\*\*BMW Car IT GmbH, Petuelring 116, 80809 München, Germany  
{amen.hamdan, thomas.stauner}@bmw-carit.de

**Abstract:** Der weiter stark anwachsende Softwareumfang im automobilen Umfeld wird in Zukunft neue Methoden und Vorgehensweisen bei der Entwicklung von Steuergerätesoftware notwendig machen. So wird diese Software in Zukunft nicht mehr aus der Hand eines einzelnen Zulieferers kommen. Vielmehr wird ein Großteil aus wiederverwendbaren Komponenten einer Vielzahl unterschiedlicher Entwickler Anwendung finden. Der Integrations- und Testaufwand ist hierbei enorm und nimmt im Vergleich zum heutigen Vorgehen nochmals deutlich zu. Umso wichtiger werden eine genaue Spezifikation der Schnittstellen und eine durchgehend hohe Qualität der Software. Während erstere durch formale Methoden sichergestellt werden kann, wird die Softwarequalität im Wesentlichen durch intensive Code-Reviews und eingehende Tests gewährleistet werden müssen. Mit steigendem Gesamtumfang und der Verteilung des Entwicklungs-Know-Hows steigt der Aufwand hierfür allerdings auf ein nicht mehr praktikables Maß an. Um diesem Problem zu begegnen, wurde eine Methodik entwickelt, um den abstrakten Begriff der Softwarequalität aus der speziellen Sicht der Wartbarkeit greifbar zu machen. Hierfür wurde ein Wartbarkeitsmodell erstellt, welches verschiedene Metriken des Steuergerätescodes zusammenfasst und zu einem Wartbarkeitsindex verknüpft. Anschließend wurde das Modell auf seine Tauglichkeit hin überprüft und weiter verfeinert.

## 1 Einleitung

Software nimmt bei der Entwicklung von modernen Fahrzeugen eine immer wichtigere Rolle ein. Waren in der Vorgängerversion des aktuellen 7er BMWs nur vergleichsweise wenige, schwach vernetzte Steuergeräte verbaut, so befinden sich in der aktuellen Generation (je nach Ausstattung) weit mehr als 60 hochgradig vernetzte Steuereinheiten. Hält der Trend der Funktionsintegration weiter an, so wird sich der Softwareumfang in Fahrzeugen auch zukünftig alle zwei bis drei Jahre verdoppeln. Entsprechend werden der Vernetzungsgrad und der Entwicklungsaufwand exponentiell ansteigen. Die heutigen, gut beherrschten und verstandenen Prozesse, Architekturen und Paradigmen müssen im Hinblick auf diese Entwicklung genau untersucht und vorbereitend erweitert werden. So wird Software in Zukunft zu einem hohen Grad komponentenbasiert sein. Erst durch diese Kapselung und die Wiederverwendung von Funktionen wird die absehbare Komplexität eines solchen Bordnetzes überhaupt erst beherrschbar sein. In einem solchen

Szenario gibt es allerdings nicht mehr nur einen einzelnen Zulieferer der das komplette Steuergerät mitsamt der zugehörigen Software entwickelt. Vielmehr werden Steuergeräte lediglich eine Plattform darstellen, auf denen Softwarekomponenten unterschiedlicher Zulieferer laufen. Der Test- und Integrationsaufwand nimmt dabei freilich überproportional zur ohnehin enormen Funktionsmehrung zu. Dies erfordert zwingend eine genaue Spezifikation der Schnittstellen, um beispielsweise eine Vernetzungskompatibilität bereits im Vorfeld sicherstellen zu können. Bei allen Vorkehrungen in den frühen Phasen der Entwicklung entscheidet indes letztlich die Qualität der Implementierungen darüber, wie gut oder schlecht das Gesamtsystem über den Lebenszyklus hinweg funktioniert. Bei den heutigen Umfängen lässt sich diese hohe Qualität mit Code-Reviews und Audits sicherstellen. Bei den zukünftigen Software-Anteilen wird dies vom Aufwand her allerdings nicht mehr praktikabel sein. Von daher müssen Möglichkeiten geschaffen werden, um Qualitätsaspekte auch ohne detailliertes Code-Wissen mit vertretbarem Aufwand greifbar zu machen.

Für unsere Betrachtungen haben wir uns zunächst auf einen Teilaspekt von Softwarequalität, die Wartbarkeit, konzentriert. Hierzu wurde ein Modell entwickelt, welches verschiedene Aspekte der Wartbarkeit einer Steuergeräte-Software misst, bewertet und schließlich zu einem Wartbarkeitsindex verrechnet. Werden Grenzwerte über- oder unterschritten, können die Ursachen bis hin zu einem konkreten Aspekt der Wartbarkeit (wie z.B. Kopplungsgrad) zurückverfolgt werden. So können Hinweise auf problematische Stellen bzw. Strukturen im Code leicht identifiziert und untersucht werden, ohne den vollständigen Code durcharbeiten zu müssen.

Das Wartbarkeitsmodell für Steuergeräte-Software wurde unter Zuhilfenahme der Goal Question Metric (GQM) Methode [BDR97] hergeleitet. Anschließend wurde es im Rahmen verschiedener Fallstudien auf seine Gültigkeit hin evaluiert. Der vorliegende Artikel beschreibt die Prinzipien und die Anwendung des iterativ entstandenen Wartbarkeitsmodells und geht auf die damit gemachten Erfahrungen ein.

## **2 Wartbarkeitsmodell**

Wartbarkeit wird entsprechend der ISO-Norm 9126 [ISO91] untergliedert in die Faktoren Analysierbarkeit (Isolation von Fehlern und Identifikation von Fehlerursachen), Änderbarkeit (Einfachheit, ein System zu modifizieren), Stabilität (Reaktion auf unerwartete Ereignisse gemäß Spezifikation) und Testbarkeit (Aufwand zur Validierung). Das Wartbarkeitsmodell gliedert sich darüber hinaus in zwei Bereiche. Der erste Bereich identifiziert diejenigen Qualitätsaspekte, die direkt für die Wartbarkeit von Steuergeräte-Software stehen. Beispiele hierfür sind die Qualität der Software-Dokumentation oder die Kopplung von Software-Komponenten. Der zweite Bereich identifiziert Rahmenbedingungen, die einen positiven oder negativen Einfluss auf die Wartbarkeit der Steuergeräte-Software ausüben, aber vom Systemdesign vorgegeben sind und nicht von der Implementierung beeinflusst werden können. Dazu zählt unter anderem die physikalische Partitionierung der Funktionen auf die Steuergeräte.

Beide Bereiche des Wartbarkeitsmodells sind diesbezüglich ähnlich aufgebaut. Ausgehend von einem Wurzelknoten des Modells werden über die ISO-Wartbarkeitsfaktoren Qualitätsaspekte bzw. Einflussfaktoren für Wartbarkeit abgeleitet und schließlich eine Reihe von Metriken [FP96] zugewiesen, welche die Quantifizierung eines bestimmten Qualitätsaspektes bzw. Einflussfaktors ermöglichen. Der gesamte Metrikkatalog umfasst 25 Metriken für beide Bereiche. In Abbildung 1 wird beispielsweise die durchschnittliche McCabe-Komplexität implementierter Bordnetz-Funktionen als eine Metrik des Qualitätsaspektes „Interne Komplexität“ berechnet. Dieser Aspekt ist wiederum dem ISO-Faktor „Analysierbarkeit“ zugeordnet.

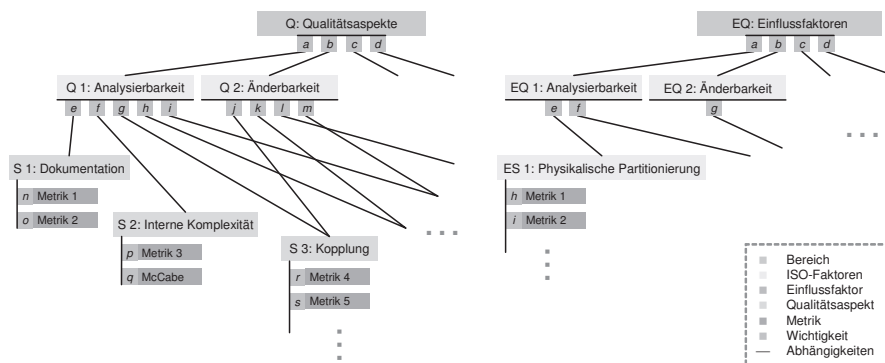


Abbildung 1: Das entwickelte Wartbarkeitsmodell

Die notwendigen Einzelmetriken sowie die Gewichtungsfaktoren wurden bei der Erstellung des Modells festgelegt. Anpassungen wurden lediglich an den Stellen durchgeführt, an welchen sich die Erhebung einer einzelnen Metrik als nicht praktikabel erwiesen hat. Idealerweise definiert man für die einzelnen Teilmetriken jeweils Grenzwerte, die als erste Indikatoren für potentielle Probleme dienen. Diese können zum einen auf Erfahrungen im Bereich der MISRA [MIS95] aufbauen, zum anderen müssen aber auch eigene Erfahrungen gesammelt werden, um im konkreten Kontext realistische Vorgaben machen zu können.

Letztlich wird eine gewichtete Summe der Einzelbewertungen aller Metrikwerte des Teilaspektes berechnet. Durch die gewichtete Summierung aller Aspekte und aller ISO-Faktoren kann schließlich ein Wartbarkeitsindex hergeleitet werden. Die Gewichtungsfaktoren wurden für jede Iteration des Modells unverändert beibehalten, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Deutet der errechnete Wartbarkeitsindex auf potentielle Probleme hin, so kann dies auf dem umgekehrten Weg bis hin zur Verletzung von Grenzwerten einer konkreten Reihe von Metriken zurückverfolgt werden. Analog erfolgt die Errechnung und Analyse eines Einflussfaktorindex für den zweiten Bereich des Modells.

### 3 Fallstudie

Um das Modell und das prinzipielle Vorgehen auf seine Tauglichkeit hin zu überprüfen, wurde Steuergeräte-Code aus drei Bereichen herangezogen: Systeme aus einem sicherheitsrelevanten Geräteverbund, solche aus dem Karosserieelektronik-Umfeld und einfache Teilsysteme aus dem Infotainment-Bereich. Für jedes dieser Geräte wurden die entsprechenden Metriken erhoben und mit Hilfe des Wartbarkeitsmodells ein Wartbarkeitsindex errechnet. Um Aussagen über das Modell treffen zu können, wurden Steuergeräte der Datenbasis paarweise miteinander verglichen. Für jede Metrik wurde dazu auf Basis der prozentualen Abweichung<sup>1</sup> der Werte zweier Steuergeräte ein relativer Vergleich der Wartbarkeit der beiden Geräte vorgenommen. Das verwendete Modell mitsamt der Einzelmetriken und Gewichtungsfaktoren wurde vor der Fallstudie hergeleitet und blieb über den kompletten Zeitraum der Evaluierung hinweg unverändert.

Bezeichner	Modell SG 1	Modell SG 2	Entw. SG 1	Entw. SG 2
Q 1: Analysierbarkeit	3,72	1,89	3,00	3,50
Q 2: Änderbarkeit	4,47	1,33	4,00	4,00
Q 3: Stabilität	3,67	2,33	5,00	4,50
Q 4: Testbarkeit	3,80	2,10	4,00	3,50
Q: Wartbarkeitsindex	3,98	1,80	4,00	3,00
EQ 1: Analysierbarkeit	1,44	4,56	-	-
EQ 2: Änderbarkeit	3,25	1,75	-	-
EQ 3: Stabilität	1,00	5,00	-	-
EQ 4: Testbarkeit	1,48	4,52	-	-
EQ: Einflussfaktorindex	2,00	3,66	2,00	3,00

Tabelle 1: Wartbarkeitsvergleich zweier Steuergeräte

Um die Ergebnisse der modellbasierten Evaluierung beurteilen zu können, wurde jedes Steuergerät von den beteiligten Prozesspartnern in Hinblick auf Qualitätsaspekte und die äußeren Einflussfaktoren mittels Bewertungs- und Fragebögen eingeschätzt. Die Bewertung wurde auf einer kontinuierlichen Skala von 1 bis 5 durchgeführt, wobei das Minimum für sehr schlechte und das Maximum für sehr gute Wartbarkeit bzw. einen sehr negativen und sehr positiven Einfluss auf Wartbarkeit steht. Auf Basis dieser subjektiven Einschätzungen wurden dann Hypothesen für die paarweisen Vergleiche formuliert, die durch das Wartbarkeitsmodell be- oder widerlegt wurden. Es wurde untersucht, inwieweit die Einschätzungen durch die aus dem Modell abgeleiteten Indikationen bestätigt wurden. Tabelle 1 illustriert beispielhaft den relativen Vergleich der Software-Wartbarkeit eines Steuergerätes aus dem Karosserieelektronik-Umfeld (SG 1) mit der einem aus dem Infotainment-Bereich (SG 2). Aufgelistet findet sich der Wartbarkeitsindex und der Einflussfaktorindex, gegliedert nach den einzelnen ISO-Faktoren. Die Spalten bezeichnen die Bewertung durch das Modell und durch die beteiligten Entwickler. Wie man erkennen kann, wird die Einschätzung der Entwickler qualitativ bestätigt, auch wenn es Einzelabweichungen im Bereich der ISO-Faktoren gibt. In Bezug auf die Einflussfaktoren zeigt die Tabelle, dass die äußeren Einflüsse für SG 1 eher negativ waren,

<sup>1</sup> Zur Berechnung der prozentualen Abweichung wird das Minimum der Metrikwerte durch das Maximum geteilt und von Eins subtrahiert. Sind beide Werte identisch, so wird die Abweichung auf Null gesetzt. Der Unterschied in der Bewertung der Software hängt von der Größe der prozentualen Abweichung ab.

während die Voraussetzungen von SG 2 eher positiv einzustufen sind.

Insgesamt wurden 7 ausgewählte Paarungen von Steuergeräten verglichen. In 6 von 7 Fällen stimmten die modellbasierten Wartbarkeitsindizes und Einschätzungen der Prozessbeteiligten qualitativ überein. In lediglich einem Fall wurden Abweichungen festgestellt. Die Analyse der Ursachen hierfür bedarf allerdings einer weiterführenden Evaluierung des Modells und einer erweiterten Datenbasis.

#### **4 Zusammenfassung**

Erste Erfahrungen zeigen, dass eine modellbasierte und eine subjektive Einschätzung der Wartbarkeit durch Prozessbeteiligte durchaus zu vergleichbaren Ergebnissen kommen. Das Vorgehen und die Herleitung des Modells und der Einzelfaktoren scheinen prinzipiell korrekt und zweckmäßig. Mit der aufgezeigten Methodik lassen sich auch große Codebasen mit zeitlich vertretbarem Aufwand – ohne Detailwissen über den Code selbst – leicht analysieren. Ein unmittelbarer, qualitativer Vergleich von Software aus unterschiedlichen Domänen scheint allerdings nicht ohne weiteres möglich. Wird in Zukunft allerdings vermehrt auf Wiederverwertbarkeit gesetzt und einzelne Komponenten über Baureihen oder sogar Herstellergrenzen hinweg eingesetzt, bietet sich ein weites Anwendungsfeld. Hier ist beispielsweise davon auszugehen, dass Erweiterungen aus einem Kontext implizit in einen anderen übertragen werden. Diese Änderungen dürfen keinen Einfluss auf Qualität des jeweiligen Gesamtsystems haben. Derartige Aspekte ließen sich durch die vorgestellte Methodik effizient überprüfen. Die explizite Trennung des Wartbarkeitsmodells in Qualitätsaspekte und Einflussfaktoren erlaubt darüber hinaus bereits in einer frühen Entwicklungsphase, ein möglichst „wartungsfreundliches“ Umfeld für die Steuergeräte-Software vorzubereiten. Bei steigender Komplexität führt das manuelle Betrachten dieser Faktoren zu einem exponentiell zunehmenden Aufwand. Automatisierbare Techniken erlauben diesbezüglich eine signifikante Vereinfachung.

Momentan befindet sich das Modell in einer weiteren Evaluierungsphase, in welcher die Wartbarkeit einer Reihe von Steuergeräten im Laufe der Entwicklung gemessen und analysiert wird. Diese Daten sollen dazu verwendet werden, das Modell weiter zu kalibrieren und auf die Verwendung als zukünftiges Hilfsmittel der Entwicklung von Steuergeräte-Software vorzubereiten.

#### **5 Literaturverzeichnis**

- [BDR97] Briand, L.; Differding, C.; Rombach, H.D.: Practical guidelines for measurement-based process improvement. In *Software Process: Improvement and Practice*, 2 (4), 1997.
- [FP96] Fenton, N.; Pfleeger, S.: *Software metrics, a rigorous & practical approach*, London, International Thomson Computer Press, 1996.
- [ISO91] ISO 9126: *Information technology – Software product evaluation – Quality characteristics and guidelines for their use*, Genève, ISO/IEC, 1991.
- [MIS95] Motor Industry Software Reliability Association: *Report 5 – Software Metrics*, Motor Industry Research Association, Februar 1995.