Quantitative und qualitative Messung von Software-Anforderungen

Bachelorarbeit

im Studiengang Informatik

von

Christian El Boustani

Prüfer: Prof. Dr. Kurt Schneider
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Gabriele von Voigt
Betreuer: M. Sc. Eric Knauss

Hannover, 28. Januar 2008
Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Hannover, 28. Januar 2008

______________________________________________
Christian El Boustani
Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.
Zusammenfassung

Bei der Vergleichbarkeit von Softwareprojekten spielt die Vergleichbarkeit der Anforderungen eine zentrale Rolle. Gängige Verfahren wie z.B. Function Points oder Use Case Points liefern zwar Kennzahlen, jedoch keine Aussagen über die Qualität der Anforderungen. Wie können also Projekte im Rahmen des Qualitätsmanagements qualitativ untereinander verglichen werden?

Im Rahmen dieser Arbeit werden mittels der GQM-Methode Metriken erstellt, um die Anforderungen von Softwareprojekten qualitativ miteinander zu vergleichen. Diese Metriken werden auf die Anforderungsdokumente von insgesamt 16 Softwareprojekten angewendet.

Auf Basis der Messergebnisse werden Einschätzungen bezüglich der Qualität der Anforderungen der jeweiligen Projekte getroffen. Die einzelnen Ergebnisse eines Projekts werden zusammengefasst, um die Softwareprojekte qualitativ miteinander vergleichen zu können.

Diese Arbeit zeigt auf, welche Qualitätsmerkmale von Anforderungen isoliert anhand des eines Anforderungsdokuments ermittelt werden können und wo die Grenzen der Messbarkeit liegen. Es wird auf die Qualität der Metriken eingegangen und dabei untersucht, welche Faktoren die Messergebnisse beeinflussen können. Es wird eine Einschätzung abgegeben, welche Verbindung zwischen der Qualität eines Anforderungsdokuments und dem Projekterfolg besteht. Ferner kann bestätigt werden, dass die Verwendung eines Formulierungsregelwerks sich positiv auf die Qualität von Anforderungen auswirken kann.
# Inhalt

1 Einleitung ................................................................. 6
   1.1 Motivation ........................................................... 6
   1.2 Aufgabenstellung .................................................. 6
   1.3 Aufbau dieser Arbeit ............................................. 7
   1.4 Ziele dieser Arbeit .............................................. 7

2 Grundlagen .............................................................. 8
   2.1 Metriken in der Softwarequalität ............................... 8
   2.2 Die GQM-Methode ................................................ 9
   2.3 Qualität von Anforderungen .................................... 9
   2.4 Metriken zur Messung der Anforderungsqualität .......... 10
   2.5 Arten von Anforderungen ...................................... 11
      2.5.1 Funktionale Anforderungen ............................. 11
      2.5.2 Nicht-funktionale Anforderungen ...................... 11

3 Erstellung eines Messplans .......................................... 12
   3.1 Vorgehensweise ................................................... 12
   3.2 Ziele (nach GQM) ................................................ 13
   3.3 Fragen (nach GQM) ............................................. 21
   3.4 Metriken und Indikatoren (nach GQM) ...................... 23
   3.5 Aufstellen des Messplans ...................................... 26
      3.5.1 Auswahl der Metriken .................................... 26
      3.5.2 Der Messplan .............................................. 29

4 Analyse von Projekten ................................................ 37
   4.1 Vorgehensweise ................................................... 37
   4.2 Messung mittels Fragebogen-Programm .................... 38
   4.3 Auswertung ....................................................... 41
      4.3.1 Messergebnisse ............................................. 41
      4.3.2 Abgleich der Ergebnisse mit den Hypothesen ......... 44
      4.3.3 Gewichtung und Vergleich der Ergebnisse .......... 46
      4.3.4 Zusammenhang zwischen Messergebnis und Projekterfolg 52

5 Bewertung der Metriken .............................................. 53
   5.1 Einschränkungen der Allgemeingültigkeit ................... 54
      5.1.1 Heuristiken / Metriken zur sprachlichen Qualität ...... 55
      5.1.2 Metriken zur inhaltlichen Qualität .................... 58
      5.1.3 Metriken für nicht-funktionale Anforderungen ....... 59
   5.2 Optimierungsmöglichkeiten .................................. 61

6 Fazit ...................................................................... 63

7 Ausblick .................................................................. 64

8 Literaturverzeichnis .................................................. 65
1 Einleitung

1.1 Motivation

Software stellt eine besondere Art von Werkstoff dar. Durch das Fehlen einer festen Struktur und der kaum vorhandenen Einschränkungen auf den Anwendungsbereich ist jede Software einzigartig.

Eine wesentliche Rolle in einem Softwareprojekt stellen die Anforderungen dar, welche die Funktionen und Leistungsmerkmale eines zu entwickelnden Programms [Bro08] darstellen. Will man zwei Softwareprojekte miteinander vergleichen, so stellt die Vergleichbarkeit von Anforderungen eine besondere Herausforderung dar.

Die Frage, wie man Anforderungen miteinander vergleichen kann, ist sowohl in der Aufwandsabschätzung für Softwareprojekte (wo man versucht, basierend auf vergleichbaren Projekten, die Dauer und die Kosten frühzeitig zu ermitteln), im Qualitätsmanagement (wo es um die Beurteilung der Qualität – auch im Vergleich zu anderen Softwareprojekten geht) und beim Projektmanagement (wo die Messung eines Softwareprojekts z.B. mittels einer Kennzahl wünschenswert wäre) von zentraler Bedeutung.

Um Anforderungen bereits in frühen Projektphasen – wie während der Anforderungsanalyse – vergleichbar zu machen, gibt es bereits verschiedene Ansätze, die z.B. im Rahmen der Aufwandsabschätzung mittels Function Points oder Use Case Points Kennzahlen liefern. Jedoch stellt die Frage nach der Qualität der Anforderungen Grenzen dieser Methoden dar, auch die Interpretation dieser Daten ist oft schwierig.

Im Rahmen der Forschung wird versucht quantitative Daten zu diesen Fragen zu ermitteln. Auch im Rahmen von verschiedenen Arbeiten am Fachgebiet Software Engineering wurden bereits Anforderungen in einer Menge von Softwareprojekten quantitativ analysiert.

1.2 Aufgabenstellung

Ausgehend von einem Datenbestand von 16 Softwareprojekten sollen die Anforderungen von verschiedenen Projekten quantitativ und qualitativ analysiert und verglichen werden. Hierzu werden mittels der GQM-Methode Metriken zur Erfassung verschiedener Qualitätsaspekte von Anforderungen erstellt, welche in einen Messplan einfließen, der auf konkrete Projekte angewendet wird.
1.3 Aufbau dieser Arbeit

Diese Arbeit ist in sieben Kapitel gegliedert: Nach der Einleitung, folgt in Kapitel 2 die Einführung in die Grundlagen, wie z.B. Software-Metriken und das GQM-Modell. Außerdem werden die Aspekte eingeführt, die für die Qualität von Anforderungen maßgeblich sind, es werden Metriken zur Messung von Softwarequalität vorgestellt, wie sie bereits in der Literatur zu finden sind.

In Kapitel 3 wird mittels der GQM-Methode ein Messplan erstellt, der die Basis für die Analyse in Kapitel 4 bildet. Hierbei wird detailliert und schrittweise die Vorgehensweise erläutert.


Kapitel 5 nimmt eine Bewertung der Metriken vor und untersucht inwiefern die Messergebnisse zwischen verschiedenen Prüfern voneinander abweichen und welche Faktoren dazu führen.

In Kapitel 6 wird ein Fazit über die Ergebnisse dieser Arbeit gezogen.

Kapitel 7 schätzt ein, welche Aspekte dieser Arbeit in zukünftigen Arbeiten vertieft und weitergehend behandelt werden könnten.

1.4 Ziele dieser Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist vor allem die Erstellung eines Messplans zur Analyse von Anforderungsdokumenten. Dieser Messplan soll auf konkrete Projekte angewendet werden; dadurch sollen Aussagen über die Qualität der Anforderungen in diesen Projekten getroffen und deren Anforderungen qualitativ vergleichbar gemacht werden.
2 Grundlagen

2.1 Metriken in der Softwarequalität

Eine Metrik ist eine „Funktion, die eine Softwareeinheit oder den Vorgang ihrer Erstellung in einen Zahlenwert oder in Zeichen (eventuell mit einer Einheit) abbildet. Dieser Wert zeigt an, wie gut ein zugehöriges Qualitätsziel erfüllt ist.“. [Sch07]

Bekannte Metriken sind z.B. die Zyklomatische Komplexität (oder auch „McCabe-Metrik“ genannt), die die Komplexität eines Programmteils anhand der Programmpfade misst, oder die LoC-Metrik (Lines of Code), welche die Anzahl der Quellcodezeilen misst.

Um die Messergebnisse einer Metrik zu interpretieren und sie vergleichen zu können, ist entscheidend, auf welcher Skala sie sich befinden. Je nach Skala sind unterschiedliche Operationen erlaubt.

Die wichtigsten Skalen sind [Sch07]:

- Nominalskala: Einzelne Werte auf dieser Skala sind unterscheidbar, es sind jedoch keinerlei mathematische Operationen oder Vergleiche erlaubt.
- Ordinalskala: Die Werte auf der Ordinalskala sind in einer Reihenfolge angeordnet, es lassen sich also Aussagen treffen, wie z.B. „Wert 1 ist besser als Wert 2“. Auf Grund der unterschiedlichen Abstände zwischen den Werten sind jedoch mathematische Operationen nicht erlaubt [Bro08].
- Intervallskala: Bei der Intervallskala sind die Abstände zwischen den Werten der Skala gleich groß und stehen für „gleiche Unterschiede im Merkmal eines Objekts“ [Bro08]. Mathematische Operationen sind bis auf die Multiplikation erlaubt, unzulässig sind jedoch numerische Vergleiche.

Die Interpretation von Messergebnissen ist jedoch nicht immer einfach, und zum Teil kann es passieren, dass man am Ende der Messung zwar viele Zahlen ermittelt hat, jedoch nicht sicher weiß, was sie aussagen, bzw. wie sie mit den Qualitätszielen zusammenhängen [Sch07].
2.2 Die GQM-Methode

Problematisch bei der Anwendung von bekannten Metriken ist, dass man dazu neigt, die Eigenschaften zu messen, die einfach zu messen sind. Was jedoch sagen diese gemessenen Werte genau aus?

Die Goal-Question-Metric-Methode (im Folgenden GQM genannt) geht nun den umgekehrten Weg. Das Prinzip ist: „Man soll nicht das messen, was leicht zu messen ist, sondern das, was man braucht, um seine Verbesserungsziele zu erreichen.“ [Sch07].

GQM dient also dazu, eigene Metriken zu erstellen, die auf die eigenen Qualitätsziele abgestimmt sind.

Das prinzipielle Vorgehen ist:
1. Ziele definieren (Goal)
2. Ziele näher beschreiben durch Zielfacetten
3. Fragen aus den Zielen ableiten (Question)
4. Metriken und Erhebungsmethoden zu den Fragen sammeln (Metric)
5. Formulare und Fragelisten erstellen, die in einen Messplan einfließen
6. Erhebung und Analyse mit Messplan

2.3 Qualität von Anforderungen

Um die Qualität von Anforderungen zu analysieren, existieren in der Literatur bereits einige Qualitätskriterien, die im Folgenden näher betrachtet werden sollen:

Folgende Qualitätskriterien zeichnen nach [Rup06] „exzellente Anforderungen“ aus:

- **Vollständig**
  Jede Anforderung muss die geforderte und zu liefernden Funktionalität vollständig beschreiben.

- **Korrekt**
  Eine Anforderung gilt als korrekt, wenn sie vollständig die Vorstellung des Stakeholders, der sie formuliert hat, wiedergibt.

- **Klassifizierbar**
  Die rechtliche Relevanz einer Anforderung muss festgelegt sein.

- **Konsistent**
  Eine Anforderung muss gegenüber allen anderen Anforderungen widerspruchsfrei sein; auch eine Anforderung in sich darf keine Widersprüche aufwerfen.

- **Prüfbar**
  Eine Anforderung muss so beschrieben sein, dass sie testbar ist, d.h. die geforderte Funktionalität muss durch Messung nachweisbar sein.

- **Eindeutig**
  Eine Anforderung darf nur auf eine Art und Weise verstanden werden; es darf nicht möglich sein, andere Sachverhalte hineinzuinterpretieren.

- **Verstehbar**
  Die Anforderungen müssen für alle Stakeholder verständlich sein.

- **Gültig und aktuell**
  Die Anforderung muss die Realität des Systems beschreiben – dies impliziert auch die Aktualität der Beschreibung.
● Realisierbar
Eine Anforderung muss bezüglich der technischen, zeitlichen und finanziellen Restriktionen umsetzbar sein.

● Notwendig
Eine Anforderung sollte nur jene Leistungen und Eigenschaften fordern, die (vom Kunden) tatsächlich gefordert werden.

● Verfolgbar
Jede Anforderung muss für sich eindeutig zu identifizieren sein.

● Bewertet
Eine Anforderung muss nach Wichtigkeit oder Priorität bewertet werden können.

2.4 Metriken zur Messung der Anforderungsqualität
Es existieren bereits Metriken, um die Qualität einer Anforderung bzw. des gesamten Anforderungsdokuments zu analysieren. [Rec+06] unterscheidet in:

● Textbasierte Metriken: Bewertung des Inhalts einer Anforderung
  ○ \( \text{Eindeutigkeit} = \frac{\sum (\text{Anforderungen ohne Defekte})}{\sum (\text{Anforderungen})} \)
  
  Die Eindeutigkeit einer Anforderung wird durch einen so genannten „sprachlichen Defekt“ herabgesetzt. Das Verhältnis der Summe von Anforderungen ohne sprachliche Defekte zu der Gesamtzahl der Anforderungen bestimmt die „Eindeutigkeit“.

  ○ \( \text{Anzahl der Passivsätze} \)
  
  Passive Formulierungen begünstigen das bewusste oder unbewusste Unterschlagen von wichtigen Informationen. Enthält eine Dokument also eine hohe Anzahl an Passivsätzen, so ist dies ein Indikator für unvollständige Anforderungen.

  ○ \( \text{Klassifizierbarkeit} = \frac{\sum (\text{Klassifizierbare Anforderungen})}{\sum (\text{Anforderungen})} \)
  
  Die Klassifizierbarkeit trifft eine Aussage über die Anzahl der Anforderungen, die eine Aussage über ihre rechtliche Verbindlichkeit treffen. Hierzu muss vorher festgelegt sein, wie eine rechtliche Verbindlichkeit gekennzeichnet ist.

● Strukturbasierte Metriken: Bewertung der Struktur von Anforderungen innerhalb eines Dokuments
  ○ \( \text{Verfolgbarkeit} = \frac{\sum (\text{Anforderungen mit ID})}{\sum (\text{Anforderungen})} \)
  
  Die Verfolgbarkeit untersucht, ob für jede Anforderung eine eindeutige Nummer (ID) vergeben worden ist, über die die Anforderung referenziert werden kann. Hierzu ist es notwendig, dass jede Anforderung klar gegen andere Textteile des Dokuments abgegrenzt ist.
Die Verfolgbarkeit bietet die Basis für die Traceability: Sie gibt an, inwieweit zu einer Anforderung zugehörige Informationen gefunden werden können (z.B. Begründungen, Testfälle, etc.). In der Praxis kommen bei der Messung der Traceability in der Regel Requirement-Tools zum Einsatz.

Die Sortierbarkeit misst, wie gut der Leser eines Anforderungsdokuments die für ihn relevanten Informationen erreichen kann. Hierzu wird eine Liste mit den geforderten Attributen erstellt (z.B. Anforderungen, Definition, Abnahmekriterien, etc.) und auf das Anforderungsdokument angewendet.

### 2.5 Arten von Anforderungen

Anforderungen lassen sich in zwei grundlegende Kategorien unterteilen: Die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen.

#### 2.5.1 Funktionale Anforderungen


#### 2.5.2 Nicht-funktionale Anforderungen

Nicht-funktionale Anforderungen sind jene Anforderungen, die nicht funktionale Anforderungen sind. Konkret: Nach [Sch-AuE07] ist eine nicht-funktionale Anforderung „eine Qualitätseigenschaft, die nicht direkt die korrekte Funktion eines Systems bestimmt“.

Gerade nicht-funktionale Anforderungen werden häufig in der Anforderungsanalyse nicht beachtet, können jedoch kritisch sein: Wenn etwa ein Vorgang nicht in einer akzeptablen Zeit mit der Software realisierbar ist, so kann es sein, dass die gesamte Software für den praktischen Einsatz de facto unbrauchbar ist – selbst wenn sie alle funktionalen Anforderungen erfüllt.

Untersucht werden folgende nicht-funktionale Anforderungen [Rup06]:

- Technische Anforderungen
- Anforderungen an die Benutzerschnittstelle
- Qualitätsanforderungen
3 Erstellung eines Messplans

3.1 Vorgehensweise

Die in Kapitel 2.3 genannten Qualitätsaspekte werden zusammengefasst und in „Sprachliche Qualität“ und „Inhaltliche Qualität“ unterteilt.


- Sprachliche Qualität
  - Vermeidung von unvollständig spezifizierten Prozesswörtern:
    - Anforderung ist im Aktiv formuliert
      (z.B. „Der Kunde gibt seine Login-Daten am Terminal ein“)
    - Prozesse sind durch Vollverben ausgedrückt
      (falsch ist z.B. „Das System soll dem Gast die Möglichkeit zur Anmeldung bieten“)
    - Existieren unvollständig spezifizierte Prozesswörter?
      (z.B. „Wichtige Informationen sollen hervorgehoben werden können“, wie wird hervorgehoben?)
  - Vermeidung von unvollständigen Vergleichen und Steigerungen
    - Existieren unvollständige Vergleiche?
      (z.B. „Alle anderen Kunden müssen sich anmelden“, welchen Kunden gibt es sonst noch?)
    - Fehlen bei einem Constraint die näheren Beschreibungen?
      (z.B. „Unter keinen Umständen darf Zugriff auf den geschützten Bereich erfolgen“, wie wird der Zugriff verhindert?)
  - Einsatz von Universalquantoren?
    (z.B. „Alle Benutzer dürfen auf die Hauptseite zugreifen“, wirklich „alle“?)
  - Substantive ohne Bezugsindex?
    (z.B. „Diese Funktion ist wichtig, weil…“, welche „Funktion“ ist gemeint?)
  - Substantive im Plural geschrieben? (Dort wo Singular nicht ausdrücklich falsch wäre) (z.B. „Die Benutzer melden sich an“, „der Benutzer“ wäre auch korrekt)
  - Nominalstil?
    (z.B. „Auf Aufforderung wird eine Dateneingabe durchgeführt“)
  - Verstehbar
  - Eindeutig
  - Konsistent, d.h. keine Widersprüche innerhalb einer Anforderung
Die inhaltliche Qualität bezieht sich auf inhaltliche Qualitätsaspekte einer Anforderung. Mittels GQM werden Metriken entwickelt, um Aussagen zu der inhaltlichen Qualität einer Anforderung treffen zu können.

- Inhaltliche Qualität:
  - Vollständig
  - Korrekt
  - Konsistent (d.h. keine Widersprüche zwischen verschiedenen Anforderungen)
  - Prüfbar
  - Notwendig
  - Gültig und aktuell
  - Realisierbar
  - Bewertet
  - (Verfolgbar)
  - Klassifizierbar


3.2 Ziele (nach GQM)

Abbildung 3.1: Zielbaum der Qualitätsziele
Das Hauptziel besteht darin, die Qualität von Anforderungen im Rahmen der Qualitätssicherung zu untersuchen. Die Teilziele, die sich daraus ergeben, bilden die unteren Ebenen des Zielbaums: Es werden zunächst die funktionalen Anforderungen auf ihre sprachliche (GF1) und inhaltliche Qualität (GF2) untersucht. Die Untersuchung der sprachlichen und inhaltlichen Qualität wird auch für nicht-funktionale Anforderungen durchgeführt, wobei sich die Ziele GN1 und GN2 jeweils in drei Unterziele aufteilen, die in der Untersuchung der technischen Anforderungen, der Anforderungen an die Benutzerschnittstelle und der Untersuchung der Qualitätsanforderung bestehen.


Es ergeben sich folgende Ziele:

<table>
<thead>
<tr>
<th>Ziel</th>
<th>Zweck</th>
<th>Qualitätsaspekt</th>
<th>Betrachtungsgegenstand</th>
<th>Perspektive</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GF1</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Sprachliche Qualität</td>
<td>Funktionale Anforderung</td>
<td>QA</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Inhaltliche Qualität</td>
<td>Funktionale Anforderung</td>
<td>QA</td>
</tr>
</tbody>
</table>

_Tabelle 3.2.1: Zielfacetten für funktionale Anforderungen_

<table>
<thead>
<tr>
<th>Ziel</th>
<th>Zweck</th>
<th>Qualitätsaspekt</th>
<th>Betrachtungsgegenstand</th>
<th>Perspektive</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GN1.1</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Sprachliche Qualität</td>
<td>Technische Anforderung</td>
<td>QA</td>
</tr>
<tr>
<td>GN1.2</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Sprachliche Qualität</td>
<td>Anforderung an die Benutzerschnittstelle</td>
<td>QA</td>
</tr>
<tr>
<td>GN1.3</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Sprachliche Qualität</td>
<td>Qualitätsanforderung</td>
<td>QA</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.1</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Inhaltliche Qualität</td>
<td>Technische Anforderung</td>
<td>QA</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Inhaltliche Qualität</td>
<td>Anforderung an die Benutzerschnittstelle</td>
<td>QA</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3</td>
<td>Untersuche</td>
<td>Inhaltliche Qualität</td>
<td>Qualitätsanforderung</td>
<td>QA</td>
</tr>
</tbody>
</table>

_Tabelle 3.2.2: Zielfacetten für nicht-funktionale Anforderungen_
Für die einzelnen Ziele werden im Folgenden so genannte Abstraction Sheets erstellt. Abstraction Sheets sind als ein (tabellarisches) Hilfsmittel anzusehen, deren strukturiertes Ausfüllen hilft, sich über Probleme und Faktoren, die das Ziel betreffen, Gedanken zu machen [Sol+99].

Beim Ausfüllen der Abstraktion Sheet geht man – wie in der Literatur beschrieben [Sch07], [Sol+99] - in U-Form vor, d.h. man fängt links oben an, indem man zunächst Qualitätsfaktoren definiert, die die Qualität des Qualitätsaspekts ausmachen. Als nächstes stellt man Ausgangshypothesen auf, wie weit der jeweilige Qualitätsfaktor zum jetzigen Zeitpunkt erfüllt ist. Der nächste Schritt besteht im Aufstellen von Einflusshypothesen: Wodurch werden die Qualitätsfaktoren auf welche Weise beeinflusst? Der letzte Schritt besteht in dem Aufstellen von Einflussfaktoren, die die Parameter darstellen, anhand derer die Qualitätsfaktoren beeinflusst werden können – oft können die Einflussfaktoren direkt aus den Einflusshypothesen extrahiert werden.

Aus einem ausgefüllten Abstraction Sheet lassen sich nun Fragen ableiten, deren Antworten angeben, inwieweit ein Ziel erfüllt ist [Sol+99]. Der letzte Schritt besteht nun in der Aufstellung von Metriken, deren Messergebnisse die gestellten Fragen (in quantifizierbarer Art und Weise) beantworten sollen [Sol+99].
<table>
<thead>
<tr>
<th>Zweck: Untersuche</th>
<th>Qualitätsaspekt: Sprachliche Qualität</th>
<th>Betrachtungsgegenstand: Funktionale Anforderung</th>
<th>Perspektive: QA</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Qualitätsfaktoren</td>
<td>Einflussfaktoren:</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1 Grad der Einhaltung von Formulierungsregeln</td>
<td>1. Anzahl der bekannten Formulierungsregeln (1)</td>
<td>1.1 Kenntnis an Formulierungsregeln beeinflusst 1.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2 Verstehbarkeit</td>
<td>2. Anzahl der erklärten Fachbegriffe im Glossar (2,3)</td>
<td>1.2 Hohe fachliche Kompetenz der Autoren führt zu 2.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>3 Eindeutigkeit</td>
<td>3. Granulat der Erklärung komplexer Zusammenhänge (2,3)</td>
<td>1.3 Mangel an Zeit führt zu 2.2, 2.3 und zu 6.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>4 Konsistenz</td>
<td>4. Anzahl der Fehler in Grammatik, Rechtschreibung und Satzbau (2,3)</td>
<td>1.4 Fehler in Rechtschreibung, Satzbau und Grammatik führen zu 2.4 und zu 4.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>5 Korrechter Satzbau / Grammatik</td>
<td>4. Quantifizierbarkeit von Begriffsbedeutungen (3)</td>
<td>1.5 Unklare Zielvorstellungen führen zu 3.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>6 Rechtschreibung</td>
<td>4. Klarstellung der zeitlichen Zusammenhänge (3)</td>
<td>1.6 Verknüpfte Anforderungen mit „oder“ führen zu 3.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>5. Länge der geschriebenen Sätze (3,4)</td>
<td>1.7 Unvollständige Erklärung von Begriffen führt zu 3.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>6. Kenntnisse der im Anforderungsdokument verwendeten Sprache (5,6)</td>
<td>1.8 Formulierung von langen Sätzen führt zu 4.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>7. Zeitdruck (2,6)</td>
<td>1.9 Ausnahmen von der Regel im selben Satz führen zu 3.1 und 4.1</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

Ausgangshypothesen

1.1 Beschreibung in natürlicher Sprache ohne Berücksichtigung von Formulierungsregeln
2.1 Fachliche Ausdrücke werden verwendet, aber nicht erläutert
2.2 Komplexe Vorgänge werden zu ungenau beschrieben
2.3 Zusammenhänge werden nur unzureichend erläutert
2.4 Zusammenhänge sind teilweise unverständlich
3.1 Ungenauer und vage Beschreibung lässt Raum für individuelle Interpretationen
3.2 Mehrdeutige Begriffe werden verwendet
4.1 Zusammenhänge innerhalb eines Satzes widersprechen sich
5.1 Teilweise grammatikalische Fehler
6.1 Rechtschreibfehler tauchen auf

Einflussfaktoren: Abhängigkeiten

- Kenntnis an Formulierungsregeln beeinflusst 1.1
- Hohe fachliche Kompetenz der Autoren führt zu 2.1
- Mangel an Zeit führt zu 2.2, 2.3 und zu 6.1
- Fehler in Rechtschreibung, Satzbau und Grammatik führen zu 2.4 und zu 4.1
- Unklare Zielvorstellungen führen zu 3.1
- Verknüpfte Anforderungen mit „oder“ führen zu 3.1
- Unvollständige Erklärung von Begriffen führt zu 3.2
- Formulierung von langen Sätzen führt zu 4.1
- Ausnahmen von der Regel im selben Satz führen zu 3.1 und 4.1
Abstraction Sheet 2 (Ziel: GF2)

### Zweck: Untersuche Qualitätsaspekt: Inhaltliche Qualität

**Betrachtungsgegenstand:** Funktionale Anforderung  
**Perspektive:** QA

<table>
<thead>
<tr>
<th>Qualitätsfaktoren</th>
<th>Einflussfaktoren:</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1 Vollständigkeit</td>
<td>Art der Ermittlungstechnik (Workshop, Einzelinterviews,...) (1,2)</td>
</tr>
<tr>
<td>2 Korrektheit</td>
<td>Erwähnung von „Selbstverständlichkeiten“ (1,2)</td>
</tr>
<tr>
<td>3 Konsistent</td>
<td>Komplexität der Geschäftsprozesse (1,2)</td>
</tr>
<tr>
<td>4 Prüfbar</td>
<td>Anzahl der Fachwörter (des Kunden) bei Kommunikation mit Entwicklern (2)</td>
</tr>
<tr>
<td>5 Notwendig</td>
<td>Anzahl der redundanten Anforderungen (3)</td>
</tr>
<tr>
<td>6 Gültig und aktuell</td>
<td>Anzahl der Veränderungen der Geschäftsprozesse (3,6)</td>
</tr>
<tr>
<td>7 Realisierbarkeit</td>
<td>Klarheit von Zielen einer Anforderung (4)</td>
</tr>
<tr>
<td>8 Bewertbarkeit</td>
<td>Anzahl der „Anforderungen“, die von Entwicklern aufgestellt wurden (5)</td>
</tr>
<tr>
<td>9 Klassifizierbarkeit</td>
<td>Häufigkeit der Kommunikation (zwischen Kunden und Entwicklern) (6)</td>
</tr>
</tbody>
</table>

### Ausgangshypothesen

<table>
<thead>
<tr>
<th>Ausgangshypothesen</th>
<th>Einflusshypothesen: Abhängigkeiten</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1 : 1.1 Anforderung beschreibt nur teilweise die Bedürfnisse des Kunden</td>
<td>Ungenaue Vorstellungen (des Kunden) führen zu 1.1</td>
</tr>
<tr>
<td>2 : 2.1 Anforderung beschreibt die vom Kunden gewünschte Funktionalität nicht korrekt</td>
<td>Unerwähnte „Selbstverständlichkeiten“ führen zu 1.1 und zu 2.1</td>
</tr>
<tr>
<td>3 : 3.1 Inhalt der Anforderung steht im Widerspruch zu einer Anforderung oder zu mehreren anderen Anforderungen</td>
<td>Ungerechte Ermittlungstechnik der Anforderung seitens der Entwickler führt zu 1.1 und zu 2.1</td>
</tr>
<tr>
<td>4 : 4.1 Vage Formulierung der Anforderung ohne nachprüfbare Kriterien zur Erfüllung</td>
<td>Komplexität der Geschäftsprozesse des Kunden führt zu 1.1 und 2.1</td>
</tr>
<tr>
<td>5 : 5.1 Entwickler erweitern Anforderung, ohne dies mit dem Kunden abzustimmen</td>
<td>Missverständnisse (zwischen Kunde und Entwickler) führen zu 2.1</td>
</tr>
<tr>
<td>6 : 6.1 Anforderung in der Realität verändert sich schnell, aber Dokument wird nicht angepasst</td>
<td>Redundanz innerhalb des Anforderungsdokuments begünstigt 3.1</td>
</tr>
<tr>
<td>7 : 7.1 Anforderungen sind zeitlich oder technisch nicht realisierbar</td>
<td>Unterschiedliche Vorstellungen bzgl. der Anforderung führt zu 3.1</td>
</tr>
<tr>
<td>8 : 8.1 Keine explizite Bewertung für die meisten Anforderungen</td>
<td>Unklare Zielvorstellungen führen zu 4.1</td>
</tr>
<tr>
<td>9 : 9.1 Keine Erwähnung der rechtlichen Verbindlichkeiten</td>
<td>Falsch verstandene Kreativität der Entwickler führt zu 5.2</td>
</tr>
</tbody>
</table>

17
In den Abstraction-Sheets für die nicht-funktionalen Anforderungen wurden bewusst nur jene Aspekte aufgenommen, die sich von den funktionalen Anforderungen unterscheiden. Aspekte, die mit jenen der funktionalen Anforderungen identisch sind, sind mit "..." gekennzeichnet und können in den Abstraction Sheet zu GF2 unter dem jeweiligen Aufzählungspunkt nachgeschlagen werden.

Die Abstraction Sheets zu den Qualitätszielen GN1.1, GN1.2 und GN1.3 sind mit Abstraction Sheet von GF1 identisch.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Abstraction Sheet 3 (Ziel: GN2.1)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Zweck: Untersuche</strong></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Qualitätsfaktoren</strong></td>
</tr>
<tr>
<td>1 Vollständigkeit</td>
</tr>
<tr>
<td>2 Korrektheit</td>
</tr>
<tr>
<td>3 Konsistent</td>
</tr>
<tr>
<td>4 Prüfbar</td>
</tr>
<tr>
<td>5 Notwendig</td>
</tr>
<tr>
<td>6 Gültig und aktuell</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Einflussfaktoren:</strong></td>
</tr>
<tr>
<td>● Anzahl der erwähnten Kategorien von technischen Anforderungen</td>
</tr>
<tr>
<td>● Erwähnung der Kategorie einer technischen Anforderung</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Ausgangshypothesen</strong></td>
</tr>
<tr>
<td>1 :</td>
</tr>
<tr>
<td>1.1 ...</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2 Beschreibung von Anforderungen ohne Nennung der Kategorie (z.B. „Es soll JavaScript verwendet werden“ ohne Benennung der Kategorie „Anforderung an Programmiersprache“)</td>
</tr>
<tr>
<td>1.3 Nur einzelne Kategorien überhaupt erwähnt (z.B. Programmiersprache)</td>
</tr>
<tr>
<td>2 :</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1 ...</td>
</tr>
<tr>
<td>3 :</td>
</tr>
<tr>
<td>3.1 ...</td>
</tr>
<tr>
<td>4 :</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1 ...</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2 ...</td>
</tr>
<tr>
<td>5 :</td>
</tr>
<tr>
<td>5.1 ...</td>
</tr>
<tr>
<td>5.2 ...</td>
</tr>
<tr>
<td>6 :</td>
</tr>
<tr>
<td>6.1 ...</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Einflusshypothesen: Abhängigkeiten</strong></td>
</tr>
<tr>
<td>● Keine Vorgaben zu den Kategorien von nicht-funktionalen Anforderungen begünstigen 1.2</td>
</tr>
<tr>
<td>● Kenntnisse der Kategorien beeinflusst 1.3</td>
</tr>
<tr>
<td>Qualitätsaspekten</td>
</tr>
<tr>
<td>-------------------</td>
</tr>
<tr>
<td>Qualitätsaspekt: Inhaltliche Qualität</td>
</tr>
<tr>
<td>Zweck: Untersuche</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Betrachtungsgegenstand: Anforderung an die Benutzerschnittstelle</td>
</tr>
<tr>
<td>Perspektive: QA</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**Ausgangshypothesen**

1. Es existiert keine visuelle Beschreibung der Benutzerschnittstelle
2. Die Bedürfnisse unterschiedlicher Benutzer-Gruppen wurden nur unzureichend berücksichtigt
3. Physikalische Aspekte (z.B. Bildschirmgröße) werden nicht genannt
4. Eingabegeräte (Maus, Tastatur, ...) werden nicht genannt

1.1 Es existiert keine visuelle Beschreibung der Benutzerschnittstelle
1.2 Die Bedürfnisse unterschiedlicher Benutzer-Gruppen wurden nur unzureichend berücksichtigt
1.3 Physikalische Aspekte (z.B. Bildschirmgröße) werden nicht genannt
1.4 Eingabegeräte (Maus, Tastatur, ...) werden nicht genannt

- Ungenaue Vorstellungen über Aussehen der Benutzerschnittstelle führen zu 1.2, 1.5
- Unkenntnis der technischen Rahmenbedingungen führt zu 1.4
- Ungenaue Vorstellungen über Benutzergruppen führen zu 1.3
Zu GN2.3 (Untersuchung der inhaltlichen Qualität einer Qualitätsanforderung) wird kein eigenes Abstraction Sheet erstellt. Der wesentliche Aspekt bei GN2.3 ist das Vorhandensein und der Inhalt eines so genannten Qualitätsmodells.

Ein Qualitätsmodell gliedert sich in drei Ebenen [Sch07]:

1. **Abstrakte Qualitätsziele**: In der ersten Ebene werden die abstrakten Qualitätsziele festgelegt, indem man Begriffe wie z.B. „Sicherheit“, „Effizienz“, etc. aus einer genormten Liste (z.B. IEEE 610.12-1990) wählt.

2. **Konkrete Qualitätsaspekte**: Hier werden die abstrakten Ziele der ersten Ebene auf das aktuelle Projekt angewendet. Es wird konkretisiert, was z.B. mit „Sicherheit“ gemeint ist – Sicherheit gegen Datenverlust? Sicherheit gegen Manipulation der Daten? usw.


![Abbildung 3.2: Ausschnitt aus einem Qualitätsmodell nach [Sch07]](image_url)
3.3 Fragen (nach GQM)

Aus den in Kapitel 3.2 erstellten Abstraction Sheets werden nun zu jedem Qualitätsaspekt eine oder mehrere Fragen abgeleitet:

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF1-Q1.1</th>
<th>Wie viele Formulierungsregeln pro Anforderung wurden eingehalten?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GF1-Q2.1</td>
<td>Wie viele Fachbegriffe werden im Glossar erklärt?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-Q2.2</td>
<td>Wie viele Fehler, die die Verstehbarkeit der Anforderung beeinflussen, enthält die Anforderung?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-Q3.1</td>
<td>Existieren pro Satz mehrere verbundene Anforderungen?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-Q3.2</td>
<td>Wie viele mehrdeutige Begriffe enthält die Anforderung?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-Q3.3</td>
<td>Wie viele Fehler, die zu Mehrdeutigkeit führen, enthält die Anforderung?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-Q4.1</td>
<td>Wie viele Aspekte einer Anforderung stehen im Widerspruch zueinander?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-Q5.1</td>
<td>Wie viele Anforderungen sind grammatikalisch korrekt formuliert?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-Q6.1</td>
<td>Wie viele Anforderungen sind frei von Rechtschreibfehlern?</td>
</tr>
</tbody>
</table>

_Tabelle 3.3.1: Fragen zu GF1 (Sprachliche Qualität einer funktionalen Anforderung)_

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF2-Q1.1</th>
<th>Wie viele Aspekte der Anforderung sind dokumentiert worden?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GF2-Q2.1</td>
<td>Wie viele inhaltliche Defekte hat die Anforderung?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q3.1</td>
<td>Wie viele Anforderungen tauchen mehrfach im Dokument auf?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q3.2</td>
<td>Wie viele Anforderungen widersprechen sich gegenseitig?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q4.1</td>
<td>Wie viele Aspekte der Anforderung sind messbar?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q5.1</td>
<td>Wie viele Anforderungen im Dokument sind vom Kunden nicht explizit genannt worden?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q6.1</td>
<td>Wie viele Anforderungen aus Geschäftsprozessen sind nicht mehr aktuell?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q7.1</td>
<td>Welche Aspekte einer Anforderung können (aus technischen, finanziellen, zeitlichen oder rechtlichen Aspekten) nicht umgesetzt werden?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q8.1</td>
<td>Wurde die Wichtigkeit einer Anforderung eingeschätzt?</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-Q9.1</td>
<td>Wurde die rechtliche Verbindlichkeit einer Anforderung eingeschätzt?</td>
</tr>
</tbody>
</table>

_Tabelle 3.3.2: Fragen zu GF2 (Inhaltliche Qualität einer funktionalen Anforderung)_

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.1-Q1.1</th>
<th>Wurde einer technischen Anforderung die Kategorie genannt?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GN2.1-Q1.2</td>
<td>Wie viele Kategorien von technischen Anforderungen tauchen im Dokument auf?</td>
</tr>
</tbody>
</table>

_Tabelle 3.3.3: Fragen zu GN2.1 (Inhaltliche Qualität einer technischen Anforderung)_
<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.2-Q1.1</th>
<th>Existiert eine visuelle Beschreibung der Benutzerschnittstelle?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GN2.2-Q1.2</td>
<td>Wird präzisiert, welche Benutzer das Programm bedienen sollen?</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-Q1.3</td>
<td>Werden bei Anforderung mit Benutzerinteraktion die Eingabegeräte benannt?</td>
</tr>
</tbody>
</table>

_Tabelle 3.3.4: Fragen zu GN2.2_  
_(Inhaltliche Qualität einer Anforderung an die Benutzerschnittstelle)_

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.3-Q1.1</th>
<th>Existiert ein Qualitätsmodell?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GN2.3-Q1.2</td>
<td>Werden konkrete Qualitätsziele genannt?</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-Q1.3</td>
<td>Wird angegeben, wann die Qualitätsziele erfüllt sind?</td>
</tr>
</tbody>
</table>

_Tabelle 3.3.5: Fragen zu GN2.3_  
_(Inhaltliche Qualität einer Qualitätsanforderung)_
3.4 Metriken und Indikatoren (nach GQM)

Nachdem zu jedem Qualitätsaspekt (mindestens) eine Frage formuliert worden ist, werden in diesem Kapitel nun konkrete Metriken zur Messung erstellt, deren Messergebnisse die Antworten auf die jeweiligen Fragen bezüglich der Qualitätsaspekte darstellen [Sol+99].

Genauere Erläuterungen zu den einzelnen Metriken finden sich in Kapitel 3.5.2.

Tabelle 3.4.1 zeigt die Metriken zum Ziel GF1 (sprachliche Qualität einer funktionalen Anforderung). Diese Metriken gelten gleichermaßen für alle nicht-funktionalen Anforderungen.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Formel</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GF1-M1.1: Formulierungsregelkonformität einer Anforderung</td>
<td>[ \frac{\text{Eingehaltenen Formulierungsregeln}}{\text{Formulierungsregeln}} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M2.1: Erläuterung von Fachbegriffen</td>
<td>[ \frac{\text{Erklärte Fachbegriffe}}{\text{Fachbegriffe im Dokument}} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M2.2: Anzahl der sprachlichen Fehler, die die \nVerstehbarkeit beeinflussen</td>
<td>[ \text{Zähle die sprachlichen Fehler, die die \nVerstehbarkeit der Anforderung beeinflussen.} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.1: Identifizierbarkeit von Anforderungen</td>
<td>[ \text{Suche pro Satz nach mehr als einer Anforderung.} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.2: Anzahl mehrdeutiger Begriffe innerhalb \n einer Anforderung</td>
<td>[ \text{Zähle die mehrdeutigen Begriffe innerhalb der \nAnforderung.} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.3: Mehrdeutigkeit durch sprachliche Fehler</td>
<td>[ \text{Zähle die sprachlichen Fehler, die zu \nMehrdeutigkeit führen.} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M4.1: Widersprüchlichkeit einer Anforderung</td>
<td>[ \frac{\text{Widersprüchliche Aspekte der Anforderung}}{\text{Aspekte einer Anforderung}} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M5.1: Grammatikalische Korrektheit</td>
<td>[ \frac{\text{Grammatikalisch korrekte Anforderungen}}{\text{Anforderungen}} ]</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M6.1: Korrektheit in Bezug auf die \nRechtschreibung</td>
<td>[ \frac{\text{Anforderungen ohne Rechtschreibfehler}}{\text{Anforderungen}} ]</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Tabelle 3.4.1: Metriken zu GF1 (sprachliche Qualität einer funktionalen Anforderung)
Tabelle 3.4.2 zeigt die Metriken zum Ziel GF2 (inhaltliche Qualität einer funktionalen Anforderung). Diese Metriken gelten gleichermaßen für alle nicht-funktionalen Anforderungen, wobei für einzelne nicht-funktionale Anforderungen noch spezielle Metriken hinzukommen.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Formel</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GF2-M1.1: Vollständigkeit einer Anforderung</td>
<td>( \sum \frac{\text{Dokumentierte Aspekte einer Anforderung}}{\text{Aspekte einer Anforderung}} )</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M2.1: Korrektheit einer Anforderung</td>
<td>( 1 - \frac{\sum \text{Fehlerhafte Aspekte einer Anforderung}}{\sum \text{Aspekte einer Anforderung}} )</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M3.1: Redundanz</td>
<td>( \sum \frac{\text{Redundante Anforderungen}}{\text{Anforderungen}} )</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M3.2: (Externe) Widersprüchlichkeit einer Anforderung</td>
<td>( \sum \frac{\text{Widersprüchliche Anforderungen}}{\text{Anforderungen}} )</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M4.1: Prüfbarkeit einer Anforderung</td>
<td>( \sum \frac{\text{Prüfbare Aspekte der Anforderung}}{\sum \text{Aspekte der Anforderung}} )</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M5.1: Notwendigkeit</td>
<td>( \sum \frac{\text{Anforderungen, die nicht vom Kunden genannt wurden}}{\sum \text{Dokumentierte Anforderungen}} )</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M6.1: Obsoleszenz</td>
<td>( \sum \frac{\text{Geänderte Geschäftsprozesse seit letzter Kommunikation mit Entwicklern}}{\sum \text{Dokumentierte Anforderungen aus Geschäftsprozessen}} )</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M7.1: Realisierbarkeit</td>
<td>Keine Metrik vorhanden</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M9.1: Klassifizierbarkeit</td>
<td>Suche nach Benennung der rechtlichen Verbindlichkeit einer Anforderung.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Tabelle 3.4.2: Metriken zu GF2 (inhaltliche Qualität einer funktionalen Anforderung)

Tabelle 3.4.3 zeigt die Metriken, die sich speziell auf technische Anforderungen beziehen; es werden für technische Anforderungen sowohl die Metriken aus Tabelle 3.4.2 wie auch aus Tabelle 3.4.3 angewendet.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Formel</th>
</tr>
</thead>
</table>

Tabelle 3.4.3: Metriken zu GN2.1 (inhaltliche Qualität einer technischen Anforderung)
Tabelle 3.4.4 zeigt die Metriken, die sich speziell auf Anforderungen an die Benutzerschnittstelle beziehen; es werden für Anforderungen an die Benutzerschnittstelle sowohl die Metriken aus Tabelle 3.4.2 wie auch aus Tabelle 3.4.4 angewendet.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Formel</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GN2.2-M1.1: Vorhandensein einer visuellen Beschreibung der Benutzerschnittstelle</td>
<td>Suche nach visueller Beschreibung der Benutzerschnittstelle.</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.2: Vorhandensein eines Benutzerprofils</td>
<td>Suche nach Beschreibung der zukünftigen Benutzer und deren Fähigkeiten.</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.3: Benennung von Eingabegeräten</td>
<td>Suche in Anforderungen mit Benutzerinteraktion nach Nennung der Eingabegeräte.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**Tabelle 3.4.4: Metriken zu GN2.2 (inhaltliche Qualität einer Anforderung an die Benutzerschnittstelle)**

Tabelle 3.4.5 zeigt die Metriken, die sich auf Qualitätsanforderungen beziehen; es werden für Qualitätsanforderungen sowohl die Metriken aus Tabelle 3.4.2 wie auch aus Tabelle 3.4.5 verwendet.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Formel</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GN2.3-M1.1: Vorhandensein eines Qualitätsmodells</td>
<td>Suche nach einem Qualitätsmodell.</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.2: Nennung von Qualitätszielen</td>
<td>Suche zu einem allgemeinen Qualitätsziel nach konkreten (!) Qualitätszielen.</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.3: Metriken für Qualitätsziele</td>
<td>Suche zu einem konkreten Qualitätsziel nach prüfbaren Kriterien für die Erfüllung.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**Tabelle 3.4.5: Metriken zu GN2.3 (inhaltliche Qualität einer Qualitätsanforderung)**
3.5 Aufstellen des Messplans

3.5.1 Auswahl der Metriken

Für die Aufstellung des Messplans wird nun eine Auswahl an Metriken getroffen, die sich für die (isolierte) Analyse eines Anforderungsdokuments eignen. Einige der aufgestellten Metriken erfordern den Kontakt zu Stakeholdern (z.B. Kunden) und eigenen sich daher nicht zur isolierten Analyse eines Anforderungsdokuments.

Folgende Metriken werden nicht in den Messplan einfließen:

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF2-M1.1: Vollständigkeit einer Anforderung</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Zur Frage:</strong> GF2-Q1.1</td>
</tr>
<tr>
<td>Wie viele Aspekte der Anforderung sind dokumentiert worden?</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Metrik:</strong> ( \frac{\sum \text{Dokumentierte Aspekte einer Anforderung}}{\sum \text{Aspekte einer Anforderung}} )</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Einheit:</strong> Prozentual [%]</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Skala:</strong> 0% – 100%</td>
</tr>
</tbody>
</table>


Um die Vollständigkeit einer Anforderung zu prüfen, sind also Verfahren wie z.B. Inspektion, Walkthrough, etc. wie sie in [Rup06] erwähnt sind, anzuwenden.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF2-M2.1: Korrektheit einer Anforderung</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Zur Frage:</strong> GF2-Q2.1</td>
</tr>
<tr>
<td>Wie viele inhaltliche Defekte hat die Anforderung?</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Metrik:</strong> ( 1 - \frac{\sum \text{Fehlerhafte Aspekte einer Anforderung}}{\sum \text{Aspekte einer Anforderung}} )</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Einheit:</strong> Prozentual [%]</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Skala:</strong> 0% – 100%</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Bei GF2-M2.1 fehlt ebenfalls eine Referenz bezüglich der Korrektheit: Auch hier müsste ggf. das Anforderungsdokument gegen andere Dokumente oder Ton- und Bildaufzeichnungen aus der Anforderungsphase geprüft werden, bzw. auch der Kunde direkt befragt werden. Auch bezüglich der Korrektheit einer Anforderung sind also Verfahren notwendig, die auch Stakeholder von Kundenseite einschließen.
GF2-M5.1: Notwendigkeit

Zur Frage: GF2-Q5.1
Wie viele Anforderungen im Dokument sind vom Kunden nicht explizit genannt worden?

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik:</th>
<th>$\frac{\sum \text{Anforderungen, die nicht vom Kunden genannt wurden}}{\sum \text{Dokumentierte Anforderungen}}$</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>Prozentual [%]</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>0% – 100%</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Die Anwendung von GF2-M5.1 setzt voraus, dass jede im Anforderungsdokument formulierte Anforderung mit einer konkreten Anforderungsquelle (z.B. Protokoll eines Kundengesprächs) verknüpft ist – diese Verknüpfungen existieren für die zu analysierenden Projekte nicht. Eine weitere Schwäche dieser Metrik ist, dass es sehr wohl Anforderungen geben kann, die faktisch notwendig sind, vom Kunden jedoch nicht explizit genannt wurden, da sie in seinen Augen „selbstverständlich“ seien (Stichwort: „Symmetry of Ignorance“).
Um die Notwendigkeit von Anforderungen zu bestimmen, sind also abermals kommunikative Verfahren notwendig.

GF2-M6.1: Obsoleszenz

Zur Frage: GF2-Q6.1
Wie viele Anforderungen aus Geschäftsprozessen sind nicht mehr aktuell?

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik:</th>
<th>$\frac{\sum \text{Geänderte Geschäftsprozesse seit letzter Kommunikation mit Entwicklern}}{\sum \text{Dokumentierte Anforderungen aus Geschäftsprozessen}}$</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>Prozentual [%]</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>0% – 100%</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Bei GF2-M6.1 ist eine Kommunikation mit dem Kunden zwingend notwendig, da aus dem Anforderungsdokument allein nicht zu erfahren ist, inwieweit sich die Geschäftsprozesse des Kunden geändert haben.

Ferner werden die Metriken GF1-M5.1 und GF1-M6.1 nicht in den Messplan einfließen, da von einem professionellen Anforderungsdokument zwar erwartet werden darf, dass es frei von Rechtschreib- und Grammatikfehlern ist, aber diese beiden Aspekte nicht direkt die Qualität von Anforderungen beeinflussen – spezielle Rechtschreib- und Grammatikfehler, die sich auf die Qualität der Anforderungen auswirken, sind schon durch andere Metriken berücksichtigt.
Obwohl die Messung von bestimmten Qualitätsaspekten wie z.B. der „Vollständigkeit einer Anforderung“ anhand des Anforderungsdocuments allein nicht möglich zu sein scheint, können jedoch hier die Formulierungsregeln helfen, Indikatoren für mögliche Defekte zu finden, d.h. es handelt sich hierbei lediglich um Heuristiken: Nicht jeder Verstoß einer Formulierungsregel muss zwangsläufig (aber kann!) einen inhaltlichen Defekt zur Folge haben.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Metriken, die nicht in den Messplan mit eingeflossen sind, für die es jedoch Formulierungsregeln gibt, die heuristische Aussagen über mögliche Defekte ergeben. In Kapitel 4.3.3 wird dieser Zusammenhang noch näher erläutert werden.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik-ID</th>
<th>Metrik</th>
<th>Formulierungsregeln</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GF2-M1.1</td>
<td>Vollständigkeit einer Anforderung</td>
<td>Anforderung enthält kein Passiv, Prozesse sind durch Vollverben ausgedrückt, Anforderung enthält keine unvollständig spezifizierte Prozesswörter, Anforderung enthält keine unvollständigen Vergleiche, Constraints sind ausreichend beschrieben, Anforderung enthält keinen Nominalstil</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M2.1</td>
<td>Korrektheit einer Anforderung</td>
<td>Anforderung enthält keine Universalquantoren</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M5.1</td>
<td>Notwendigkeit</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M6.1</td>
<td>Obsoleszenz</td>
<td>-</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Tabelle 3.5.1: Metriken, die nicht im Messplan sind mit dazugehörigen Heuristiken

Durch das Wegfallen der Metriken aus Tabelle 3.5.1 aus dem Messplan, handelt es sich bei der „inhaltlichen Qualität“ faktisch nur noch um eine „formale Qualität“. Der Ausdruck „inhaltliche Qualität“ wird im folgenden synonym zu „formale Qualität“ verwendet.
3.5.2 Der Messplan

Im Folgenden wird nun der konkrete Messplan fertiggestellt, wobei für jede Metrik auch detailliert die Vorgehensweise der Messung beschrieben wird.

Metriken zur „sprachlichen Qualität“:

Die Metrik GF1-M1.1 misst wie viele Formulierungsregeln pro Anforderung eingehalten werden. Hierzu wird zunächst eine einzelne Anforderung identifiziert und dann überprüft welche Formulierungsregeln eingehalten bzw. nicht eingehalten worden sind.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF1-M1.1: Formulierungsregelkonformität einer Anforderung</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Zur Frage: GF1-Q1.1</td>
</tr>
<tr>
<td>Wie viele Formulierungsregeln pro Anforderung wurden eingehalten?</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik: $\frac{\sum \text{Eingehaltenen Formulierungsregeln}}{\sum \text{Formulierungsregeln}}$</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit: Prozentual [%]</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala: 0% – 100%</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle: Anforderungsdokument</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung: Identifiziere eine einzelne Anforderung im Anforderungsdokument. Prüfe, welche der folgenden Formulierungsregeln sie einhält:</td>
</tr>
<tr>
<td>1. Anforderung ist im Aktiv formuliert</td>
</tr>
<tr>
<td>2. Prozesse innerhalb der Anforderung sind durch Verben ausgedrückt</td>
</tr>
<tr>
<td>3. Es gibt keine unvollständig spezifizierten Prozesswörter</td>
</tr>
<tr>
<td>4. Es gibt keine unvollständigen Vergleiche</td>
</tr>
<tr>
<td>5. Constraints sind ausreichend genau beschrieben</td>
</tr>
<tr>
<td>6. Es werden keine Universalquantoren eingesetzt</td>
</tr>
<tr>
<td>7. Keine Substantive ohne Bezugindex?</td>
</tr>
<tr>
<td>8. Substantive sind im Singular geschrieben (wo Plural nicht explizit notwendig wäre)</td>
</tr>
<tr>
<td>9. Die Anforderung ist nicht im Nominalstil formuliert</td>
</tr>
<tr>
<td>Zähle die Formulierungsregeln, die von dieser Anforderung eingehalten werden und setze sie zu der Gesamtzahl der Formulierungsregeln ins Verhältnis.</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Die Metrik GF1-M2.1 misst, wie viele der Fachbegriffe im Glossar des Dokuments erklärt worden sind.

**GF1-M2.1: Erläuterung von Fachbegriffen**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF1-Q2.1 Wie viele Fachbegriffe werden im Glossar erklärt?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>$\frac{\sum \text{Erklärte Fachbegriffe}}{\sum \text{Fachbegriffe im Dokument}}$</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>Prozental [%]</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>0% – 100%</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
<td>Zähle die Fachbegriffe im Dokument und überprüfe wie viele davon im Glossar erklärt sind. Setze die Anzahl der Fachbegriffe im Glossar zu der Gesamtzahl der Fachbegriffe im Dokument ins Verhältnis.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

GF1-M2.2 zählt die sprachlichen Fehler, die sich auf die Verstehbarkeit einer Anforderung auswirken.

**GF1-M2.2: Anzahl der sprachlichen Fehler, die die Verstehbarkeit beeinflussen**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF1-Q2.2 Wie viele Fehler, die die Verstehbarkeit der Anforderung beeinflussen, enthält die Anforderung?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>Zähle die sprachlichen Fehler, die die Verstehbarkeit der Anforderung beeinflussen.</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>Ordinalskala</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
<td>Identifiziere eine einzelne Anforderung im Anforderungsdokument. Zähle die sprachlichen Fehler, die die Verständlichkeit der Anforderung beeinflussen.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Im Idealfall enthält ein Satz nur eine einzelne Anforderung. GF1-M3.1 überprüft, ob ein Satz mehr als eine Anforderung enthält.

**GF1-M3.1: Identifizierbarkeit von Anforderungen**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF1-Q3.1 Existieren pro Satz mehrere verbundene Anforderungen?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>Suche pro Satz nach mehr als einer Anforderung.</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>Ja / Nein</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
<td>Prüfe für jeden Satz, ob er mehr als eine Anforderung enthält.</td>
</tr>
</tbody>
</table>
GF1-Q3.2 dient zur Ermittlung der Anzahl der mehrdeutigen Begriffe innerhalb einer Anforderung.

**GF1-M3.2: Anzahl mehrdeutiger Begriffe innerhalb einer Anforderung**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF1-Q3.2</th>
<th>Wie viele mehrdeutige Begriffe enthält die Anforderung?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>Zähle die mehrdeutigen Begriffe innerhalb der Anforderung.</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>-</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>Ordinalskala</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
<td>Identifiziere eine einzelne Anforderung im Anforderungsdokument. Suche in der Anforderung nach Begriffen (Substantiven, die nicht als Fachwörter im Glossar auftauchen), die mehr als eine Bedeutung haben können (z.B. „Browser“ - welcher Browser genau? MS Internet Explorer, Mozilla Firefox,...?) und zähle diese.</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

GF1-M3.3 zählt jene sprachlichen Fehler, die dazu führen, dass die Anforderung auf mehr als eine Art und Weise verstanden werden kann.

**GF1-M3.3: Mehrdeutigkeit durch sprachliche Fehler**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF1-Q3.3</th>
<th>Wie viele Fehler, die zu Mehrdeutigkeit führen, enthält die Anforderung?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>Zähle die sprachlichen Fehler, die zu Mehrdeutigkeit führen.</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>-</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>Ordinalskala</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
<td>Identifiziere eine einzelne Anforderung im Anforderungsdokument. Zähle die sprachlichen Fehler, die dazu führen, dass die Anforderung auf mehr als eine Art und Weise verstanden werden kann.</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

GF1-M4.1 ermittelt die Anzahl der sich widersprechenden Aspekte einer Anforderung und setzt sie zu der Gesamtanzahl der Aspekte ins Verhältnis.

**GF1-M4.1: Widersprüchlichkeit einer Anforderung**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF1-Q4.1</th>
<th>Wie viele Aspekte einer Anforderung stehen im Widerspruch zueinander?</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>$\sum_{\text{Widersprüchliche Aspekte der Anforderung}} \sum_{\text{Aspekte einer Anforderung}}$</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>Prozentual [%]</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>0% – 100%</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
Metriken zur „inhaltlichen Qualität“:

GF2-M3.1 dient zur Ermittlung der Redundanz von Anforderungen.

**GF2-M3.1: Redundanz**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF2-Q3.1</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Wie viele Anforderungen tauchen mehrfach im Dokument auf?</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>$\frac{\sum\text{Redundante Anforderungen}}{\sum\text{Anforderungen}}$</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>Prozental [%]</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>0% – 100%</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
</tr>
</tbody>
</table>

GF2-M3.2 misst, ob eine Anforderung im Widerspruch zu einer oder mehreren anderen Anforderungen im Dokument steht.

**GF2-M3.2: (Externe) Widersprüchlichkeit einer Anforderung**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Zur Frage:</th>
<th>GF2-Q3.2</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td>Wie viele Anforderungen widersprechen sich gegenseitig?</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik:</td>
<td>$\frac{\sum\text{Widersprüchliche Anforderungen}}{\sum\text{Anforderungen}}$</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
<td>Prozental [%]</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
<td>0% – 100%</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
<td>Anforderungsdokument</td>
</tr>
</tbody>
</table>

---

1 Es handelt sich faktisch eher um eine „formale Qualität“ - da einige Metriken zu wesentlichen inhaltlichen Aspekten nicht in den Messplan eingeflossen sind
GF2-M4.1 überprüft, wie viele Aspekte einer Anforderung sich messen bzw. objektiv auf Erfüllung prüfen lassen.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF2-M4.1: Prüfbarkeit einer Anforderung</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Zur Frage:</strong> GF2-Q4.1</td>
</tr>
<tr>
<td>Wie viele Aspekte der Anforderung sind messbar?</td>
</tr>
</tbody>
</table>
| **Metrik:** \[
\frac{\sum_{i=1}^{n} \text{Prüfbare Aspekte der Anforderung}}{\sum_{i=1}^{n} \text{Aspekte der Anforderung}}
\] |
| **Einheit:** Prozentual [%]              |
| **Skala:** 0% – 100%                    |
| **Datenquelle:** Anforderungsdocument    |
| **Beschreibung:** Identifiziere eine einzelne Anforderung im Anforderungsdocument. Zähle die Aspekte der Anforderung, die messbar (d.h. objektiv auf Erfüllung überprüfbar) sind und setze sie zu allen Aspekten der Anforderung ins Verhältnis. |

GF2-M8.1 überprüft, ob für eine Anforderung die Wichtigkeit angegeben worden ist.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF2-M8.1: Bewertbarkeit</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Zur Frage:</strong> GF2-Q.8.1</td>
</tr>
<tr>
<td>Wurde die Wichtigkeit einer Anforderung eingeschätzt?</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Metrik:</strong> Suche nach Einschätzung der Wichtigkeit einer Anforderung.</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Einheit:</strong> -</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Skala:</strong> Ja / Nein</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Datenquelle:</strong> Anforderungsdocument</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Beschreibung:</strong> Identifiziere eine einzelne Anforderung im Anforderungsdocument. Suche nach der Einschätzung der Wichtigkeit dieser Anforderung beispielsweise durch Verwendung von Ausdrücken wie „Hohe Priorität hat...“, „Am wichtigsten ist...“ etc.</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Hinweis:</strong> Die Anforderungen, die im Anforderungsdocument im Kapitel „1.2 Wünsche und Prioritäten des Kunden“ in einer nummerierten Liste auftauchen, gelten als bewertet.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

GF2-M9.1 überprüft, ob die rechtlichen Verbindlichkeiten einer Anforderung geklärt sind.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GF2-M9.1: Klassifizierbarkeit</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>Zur Frage:</strong> GF2-Q9.1</td>
</tr>
<tr>
<td>Wurde die rechtliche Verbindlichkeit einer Anforderung eingeschätzt?</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Metrik:</strong> Suche nach Benennung der rechtlichen Verbindlichkeit einer Anforderung.</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Einheit:</strong> -</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Skala:</strong> Ja / Nein</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Datenquelle:</strong> Anforderungsdocument</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Beschreibung:</strong> Identifiziere eine einzelne Anforderung im Anforderungsdocument. Suche nach der rechtlichen Verbindlichkeit dieser Anforderung.</td>
</tr>
</tbody>
</table>
GN2.1-M1.2 überprüft, ob eine technische Anforderung in eine entsprechende Kategorie eingeordnet worden ist.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.1-M1.2: Zuordnung zu einer Kategorie</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Zur Frage: GN2.1-Q1.2:</td>
</tr>
<tr>
<td>Wurde zu einer technischen Anforderung die Kategorie genannt?</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik: Suche nach Nennung der Kategorie einer technischen Anforderung.</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit: -</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala: Ja / Nein</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle: Anforderungsdokument</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung: Identifiziere eine einzelne technische Anforderung im Anforderungsdokument. Überprüfe, ob die Anforderung einer technischen Kategorie zugeordnet worden ist (z.B. „Anforderungen an die Programmiersprache“, „Anforderungen an Hard-/Software auf dem Zielsystem“, etc.).</td>
</tr>
</tbody>
</table>

GN2.1-M1.3 ermittelt die Anzahl der Kategorien von technischen Anforderungen im Anforderungsdokument.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.1-M1.3: Anzahl Kategorien von technischen Anforderungen im Dokument</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Zur Frage: GN2.1-Q1.3:</td>
</tr>
<tr>
<td>Wie viele Kategorien von technischen Anforderungen tauchen im Dokument auf?</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik: Zähle die Kategorien von technischen Anforderungen im Dokument.</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit: -</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala: Ordinalskala</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle: Anforderungsdokument</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung: Zähle die Anzahl der genannten technischen Kategorien im Anforderungsdokument.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

GN2.2-M1.1 überprüft, ob es eine visuelle Beschreibung der Benutzerschnittstelle gibt – etwa in der Form einer (handschriftlichen) Skizze o.Ä.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.2-M1.1: Vorhandensein einer visuellen Beschreibung der Benutzerschnittstelle</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Zur Frage: GN2.2-Q1.1</td>
</tr>
<tr>
<td>Existiert eine visuelle Beschreibung der Benutzerschnittstelle?</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik: Suche nach visueller Beschreibung der Benutzerschnittstelle.</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit: -</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala: Ja / Nein</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle: Anforderungsdokument</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung: Suche im Anforderungsdokument nach einer visuellen Beschreibung der Benutzerschnittstelle (z.B. Screenshots, GUI-Entwürfe, handschriftliche Skizzen, etc.).</td>
</tr>
</tbody>
</table>
GN2.2-M1.2 prüft, ob im Anforderungsdokument eine Beschreibung der zukünftigen Benutzer der Software und deren Fähigkeiten enthalten ist.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.2-M1.2: Vorhandensein eines Benutzerprofils</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Zur Frage:</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik:</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
</tr>
</tbody>
</table>

GN2.2-M1.3 überprüft, ob in den Anforderungen an die Benutzerschnittstelle, die eine Benutzerinteraktion beinhalten, die Eingabegeräte genannt werden, mit denen die Interaktion erfolgen soll.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.2-M1.3: Benennung von Eingabegeräten</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Zur Frage:</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik:</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
</tr>
</tbody>
</table>

GN2.3-M1.1 prüft, ob ein Qualitätsmodell im Anforderungsdokument existiert.

<table>
<thead>
<tr>
<th>GN2.3-M1.1: Vorhandensein eines Qualitätsmodells</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Zur Frage:</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik:</td>
</tr>
<tr>
<td>Einheit:</td>
</tr>
<tr>
<td>Skala:</td>
</tr>
<tr>
<td>Datenquelle:</td>
</tr>
<tr>
<td>Beschreibung:</td>
</tr>
</tbody>
</table>
GN2.3-M1.2 überprüft, ob allgemeine Qualitätsziele konkretisiert werden.

**GN2.3-M1.2: Nennung von Qualitätszielen**

| Zur Frage: | GN2.3-Q1.2  
Wen konkrete Qualitätsziele genannt? |
| metros: | Suche zu einem allgemeinen Qualitätsziel nach konkreten (!) Qualitätszielen |
| Skala: | Ja / Nein |
| Datenquelle: | Anforderungsdokument |
| Beschreibung: | Identifiziere ein allgemeines Qualitätsziel im Anforderungsdokument. Prüfe, ob es konkretisiert worden ist bzw. ob konkrete Qualitätsziele für das allgemeine Qualitätsziel angegeben worden sind. |

GN2.3-M1.3 überprüft, ob zu den konkreten Qualitätszielen Metriken bzw. objektiv prüfbare Erfüllbarkeitskriterien genannt werden.

**GN2.3-M1.3: Metriken für Qualitätsziele**

| Zur Frage: | GN2.3-Q1.3  
Wird angegeben, wann die Qualitätsziele erfüllt sind? |
| Metrik: | Suche zu einem konkreten Qualitätsziel nach prüfbaren Kriterien für die Erfüllung |
| Skala: | Ja / Nein |
| Datenquelle: | Anforderungsdokument |
| Beschreibung: | Identifiziere ein konkretes Qualitätsziel im Anforderungsdokument. Prüfe, ob angegeben worden ist, wann es erfüllt ist (z.B. durch eine Zeitbeschränkung). |
4 Analyse von Projekten

4.1 Vorgehensweise

Zur Analyse der Projekte werden ausschließlich Anforderungsspezifikationen untersucht, die zum ersten Quality Gate eines Softwareprojekts im FG Software Engineering eingereicht worden sind und dieses Quality Gate erfolgreich passiert haben. Die grundsätzliche Struktur dieser Dokumente ergibt sich aus einem Word-Template des FG Software Engineering und wird von daher als ideal angenommen und im Folgenden nicht weiter untersucht werden.

Im Gegensatz zu [Hor07], wo jede Anforderung zunächst identifiziert und mit Hilfe der Anforderungsschablone [Rup06] (vgl. Abbildung 4.1) umformuliert worden ist, werden im Folgenden die Anforderungen in sprachlich unverfälschter Form analysiert. Die Anforderungsschablone hat die (sonst positive) Eigenschaft, sprachliche Fehler (also Verstöße gegen die Formulierungsregeln) zu eliminieren; Ziel bei der folgenden Analyse ist es jedoch auch, gerade diese Verstöße auch zu finden.

Anforderungen aus Use-Cases werden wie folgt behandelt: Die Aktionen des Benutzers werden bis zur ersten Systemreaktion zu einem Satz zusammengefasst, die Aktionen bis zur zweiten Systemreaktion zu einem zweiten Satz etc.

Beispiel:

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>Benutzer</th>
<th>stellt Eigenschaften der Komponente ein und klickt „übernehmen“</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1</td>
<td>Programm</td>
<td>übernimmt Änderungen</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Anforderung in einem Satz: *Benutzer stellt Eigenschaften der Komponente ein und klickt „übernehmen“, Programm übernimmt Änderungen.*

Bei Anforderungen aus Use-Cases werden nur die Schritte aus dem Hauptszenario behandelt.
4.2 Messung mittels Fragebogen-Programm

Um die manuelle Analyse zu beschleunigen und die Daten der Auswertungen elektronisch zu speichern, wurde ein Fragebogen-Programm in PHP / MySQL erstellt, welches es dem Benutzer erlaubt, einzelne Metriken auf ein konkretes Anforderungsdokument anzuwenden.

Um ein Anforderungsdokument eines Projekts zu analysieren, muss der Benutzer des Programms folgende Schritte durchführen:

1. Anlegen eines neuen Projekts im Fragebogen-Programm
2. Projektdaten (Projektname, optionale Beschreibung und Anforderungen in Textform) eingeben
3. Eine Metrik auswählen und die Anforderungen satzweise abarbeiten

Neues Projekt anlegen

Abbildung 4.2: Angabe der Projektdaten beim Anlegen eines neues Projekts

Abbildung 4.3: Klassifikation von Anforderungen
Nach der Auswahl einer Metrik, zeigt das Programm dem Benutzer je einen Satz an, welchen er gegen eine angezeigte Checkliste prüft. Abbildung 4.4 veranschaulicht diesen Vorgang.

**Checklisten-Tool**

![Checkliste](image)

**Abbildung 4.4.: Anwendung einer Metrik auf eine Anforderung**

Für jede Metrik kann sich der Benutzer nach Bewertung der Anforderungen des Projekts eine Auswertung anzeigen lassen.

**Checklisten-Tools**

![Auswertungstabelle](image)

**Abbildung 4.5.: Messergebnisse einer Metrik**
4.3 **Auswertung**


### 4.3.1 Messergebnisse

In diesem Kapitel werden die jeweils besten und schlechtesten Messergebnisse zu jeder Metrik vorgestellt.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Bestes Messergebnis</th>
<th>Schlechtestes Messergebnis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GF1-M1.1: Formulierungsregelkonformität einer Anforderung</td>
<td>Sinologie in Würzburg (92,92% der Formulierungsregeln wurden im Durchschnitt eingehalten)</td>
<td>NEH-Sortieranlage – Cybertec (84,68%)</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M2.1: Erläuterung von Fachbegriffen</td>
<td>RiskQG (97,47% der Fachbegriffe sind im Glossar erklärt)</td>
<td>Sinologie in Würzburg (27,91%)</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M2.2: Anzahl der sprachlichen Fehler, die die Verständlichkeit beeinflussen (Hypothese, dass sprachliche Fehler die Verständlichkeit beeinflussen, kann nicht bestätigt werden, 0 bei allen Projekten)</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.1: Identifizierbarkeit von Anforderungen</td>
<td>Key-Sign-Org 1 (98,39% der Sätze enthalten genau eine Anforderung)</td>
<td>SOA-Me-Client (64,47%)</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.2: Anzahl mehrdeutiger Begriffe innerhalb einer Anforderung</td>
<td>• Key-Sign-Org 1 • RiskQG</td>
<td>Process Pattern Matching (0,51 - Mittelwert)</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.3: Mehrdeutigkeit durch sprachliche Fehler (Hypothese, dass sprachliche Fehler zu Mehrdeutigkeit führen, kann nicht bestätigt werden, 0 bei allen Projekten)</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M4.1: Widersprüchlichkeit einer Anforderung</td>
<td>• UML Paint 2 • Fast View &amp; Edit XML Editor • Software-Quanten-Simulation • NEH-Sortieranlage (Drehkreuz-Ritter) • SOA-Me Integrationserver 0,00 % Widersprüche pro Anforderung (Mittelwert)</td>
<td>UML Paint (3,75 % - Mittelwert)</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M3.1: Redundanz</td>
<td>KeysignOrg2 (3,64% redundante Anforderungen)</td>
<td>Key-Sign-Org 1 (32,26%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik</td>
<td>Bestes Messergebnis</td>
<td>Schlechtestes Messergebnis</td>
</tr>
<tr>
<td>--------</td>
<td>---------------------</td>
<td>-----------------------------</td>
</tr>
</tbody>
</table>
| GF2-M3.2: (Externe) Widersprüchlichkeit einer Anforderung | • UML Paint 2  
• KeysignOrg2  
• SOA-Me-Client | Fast View & Edit XML Editor (18,46%) |
| GF2-M4.1: Prüfbarkeit einer Anforderung | Goal-Question-Metric Unterstützung (89,40% aller Anforderungsaspekte sind prüfbar) | NEH-Sortieranlage (Gruppe A) (63,70%) |
| GF2-M8.1: Bewertbarkeit | UML Paint 2 (42,06% der Anforderungen sind nach ihrer Wichtigkeit bewertet worden) | NEH-Sortieranlage (Drehkreuz-Ritter) (9,23%) |
| GF2-M9.1: Klassifizierbarkeit | NEH-Sortieranlage (Cybertec) (Bei 5,41% der Anforderungen sind die rechtlichen Verbindlichkeiten angeben) | • Key-Sign-Org 1  
• Fast View & Edit XML Editor  
• UML Paint  
• KeysignOrg2  
• Goal-Question-Metric Unterstützung  
• Software-Quanten-Simulation  
• Sinologie in Würzburg  
• Process Pattern Matching  
• SOA-A3EI  
• SOA-Me Integrationsserver  
• SOA-Me-Client | (0,00%) |
| GN2.1-M1.2: Zuordnung zu einer Kategorie | RiskQG (83,33% der technischen Anforderungen sind einer Kategorie zugeordnet) | • NEH-Sortieranlage (Gruppe A)  
• UML Paint | (0,00 %) |
<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Bestes Messergebnis</th>
<th>Schlechtestes Messergebnis</th>
</tr>
</thead>
</table>
| GN2.2-M1.1: Vorhandensein einer visuellen Beschreibung der Benutzerschnittstelle | - SOA-A3EI  
- SOA-Me-Client  
- Key-Sign-Org 1  
- RiskQG  
- UML Paint 2  
- Fast View & Edit XML Editor  
- UML Paint  
- KeysignOrg2  
- Goal-Question-Metric Unterstützung  
- Software-Quanten-Simulation | - Sinologie in Würzburg  
- NEH-Sortieranlage (Cybertec)  
- NEH-Sortieranlage (Drehkreuz-Ritter)  
- NEH-Sortieranlage (Gruppe A)  
- Process Pattern Matching  
- SOA-Me Integrationserver |
| Es existiert eine visuelle Beschreibung der Benutzerschnittstelle | Es existiert **keine** visuelle Beschreibung der Benutzerschnittstelle |
| GN2.2-M1.2: Vorhandensein eines Benutzerprofils | Benutzerprofil in jedem Projekt vorhanden, Ausnahme: „NEH-Sortieranlage (Cybertec)“: Keine Benutzerprofil vorhanden |
| GN2.2-M1.3: Benennung von Eingabegeräten | - Software-Quanten-Simulation  
- Fast View & Edit XML Editor  
(33,33% der Anforderungen an die Benutzerschnittstelle enthalten die Angabe von Eingabegeräten) | - Key-Sign-Org 1  
- RiskQG  
- UML Paint 2  
- KeysignOrg2  
- Goal-Question-Metric Unterstützung  
- Software-Quanten-Simulation  
- Sinologie in Würzburg  
- NEH-Sortieranlage (Gruppe A)  
- Process Pattern Matching  
- SOA-A3EI  
- SOA-Me Integrationserver  
(0,00%) |
| In keinem Projekt wurde ein Qualitätsmodell angegeben | |
### Metrik

<table>
<thead>
<tr>
<th>METRIK</th>
<th>BESTES MESSERGEBNIS</th>
<th>SCHLECHTESTES MESSERGEBNIS</th>
</tr>
</thead>
</table>
| GN2.3-M1.2: Nennung von Qualitätszielen | • Sinologie in Würzburg  
• NEH-Sortieranlage (Drehkreuz-Ritter)  
• SOA-A3EI  
• SOA-Me Integrationserver  
• UML Paint  
• Goal-Question-Metric Unterstützung (100,00% der Qualitätsziele ist konkretisiert) | NEH-Sortieranlage (Gruppe A) (22,22%) |
| GN2.3-M1.3: Metriken für Qualitätsziele | SOA-Me Integrationserver (100,00% der konkretisierten Qualitätsziele besitzen Metriken) | • Key-Sign-Org 1  
• UML Paint 2  
• Fast View & Edit XML Editor  
• KeysignOrg2  
• Software-Quantensimulation (0,00%) |

Die detaillierten Auswertungen zu allen Projekten finden sich in tabellarischer Form auf der beigelegten CD-ROM.

### 4.3.2 Abgleich der Ergebnisse mit den Hypothesen

Im Folgenden werden nun die Messergebnisse mit den Hypothesen (s. Kapitel 3.2, Abstraction Sheets) abgeglichen und damit überprüft, inwiefern die Einschätzungen richtig waren.

Betrachtet man die Messergebnisse zum Ziel „GF1: Untersuche die sprachliche Qualität einer funktionalen Anforderung“ (Ergebnisse gelten analog auch für nicht-funktionale Anforderungen), so kann die Hypothese, dass die Anforderungen in natürlicher Sprache ohne Berücksichtigung von Formulierungsregeln formuliert worden sind, bestätigt werden (Metrik: GF1-M1.1). Obwohl die Formulierungsregeln im Durchschnitt zwar zum Großteil eingehalten worden sind, deutet die Anzahl der Verstöße gegen die Regeln im Detail darauf hin, dass die Einhaltung der Regeln eher einen Zufall darstellt und nicht durch gezielte Anwendung eines Formulierungsregelwerkes (vgl. Abbildung 4.1) zu Stande gekommen ist. Hervorzuheben ist hier das Projekt „Sinologie in Würzburg“, wo offensichtlich die Anforderungsschablone (s. Abbildung 4.1) verwendet worden ist.

Die Hypothese, dass Fachbegriffe zwar verwendet, jedoch nicht erläutert werden, kann teilweise bestätigt werden (Metrik: GF1-M2.1). Oft wurde nur ca. die Hälfte der Fachbegriffe im Glossar erläutert. Die Qualität der Erläuterung wurde nicht weiter untersucht. Die Hypothesen, dass sprachliche Fehler dazu führen können, dass eine Anforderung unverständlich bzw. mehrdeutig wird, können nicht bestätigt werden (Metriken: GF1-M2.2 und GF1-M3.3).
Die Hypothese, dass sich Zusammenhänge innerhalb eines Satzes widersprechen, kann mit den Messergebnissen widerlegt werden (Metrik: GF1-M4.1). Es ließen sich i.A. nur wenige Sätze finden, die Widersprüche enthielten.

Betrachtet man die Messergebnisse zum Ziel „GF2: Untersuche die inhaltliche Qualität einer funktionalen Anforderung“ (Ergebnisse gelten auch für nicht-funktionale Anforderungen), so kann die Hypothese, dass der Inhalt einer Anforderung in Widerspruch zu einer oder mehreren anderen Anforderungen steht (Metrik: GF2-M3.2), teilweise bestätigt werden. So war der Anteil der widersprüchlichen Anforderungen bei den meisten Projekten eher gering (0% - 10%), wobei auffällt, dass Projekte aus dem WS 2006 / 2007 öfter Werte über 10% zeigten.


Die Hypothese, dass Anforderungen nicht bewertet (also nach ihrer Priorität eingeschätzt) worden sind (Metrik: GF2-M8.1), kann bestätigt werden. Oft wurden nur ca. 20% der Anforderungen nach ihrer Priorität bewertet. Abermals fallen Projekte aus dem WS 2007 / 2008 hierbei positiv auf: Sie zeigen teilweise Werte von ca. 30% - 40%.


Betrachtet man die Messergebnisse zum Ziel „GN2.1: Untersuche die inhaltliche Qualität einer technischen Anforderung“, so kann die Hypothese, dass technische Anforderungen häufig keiner Kategorie zugeordnet sind, nicht klar bestätigt oder widerlegt werden (Metrik: GN2.1-M1.2). Die Ergebnisse schwanken hier sehr stark: Während in manchen Dokumenten keinerlei technische Anforderungen einer technischen Kategorie zugeordnet sind (0,00%), sind in anderen Projekten so gut wie alle technischen Anforderungen zugeordnet (70% - 80%). Die besten Ergebnisse finden sich abermals im WS 2007 / 2008.


Die Hypothese, dass die Bedürfnisse der unterschiedlichen Benutzer nur unzureichend berücksichtigt werden (es ist kein Benutzerprofil vorhanden – Metrik: GN2.2-M1.2), kann nicht bestätigt werden. Bis auf eine Ausnahme existierte in jedem Anforderungsdokument eine Beschreibung der zukünftigen Nutzer der Software; dies ist vor allem durch die Vorgabe im Dokumenten-Template zu erklären, welches eine Nennung der zukünftigen Nutzer der Software explizit fordert.
Die Hypothese, dass bei Anforderungen an die Benutzerschnittstelle keine Eingabegeräte genannt werden, mit denen die Benutzerinteraktion erfolgen soll (Metrik: GN2.2-M1.3), kann nicht klar bestätigt werden. Zu erwähnen ist, dass in manchen Projekten es keine Anforderungen gab, die als Anforderungen an die Benutzerschnittstelle gewertet werden konnten, da oftmals in den Anforderungen nicht nur Details zur graphischen Benutzerschnittstelle vorhanden waren, sondern auch das Systemverhalten beschrieben worden ist. Somit wurden jene Anforderungen häufig als funktionale Anforderungen gewertet.

Beim Ziel „GN2.3: Untersuche die inhaltliche Qualität einer Qualitätsanforderung“, fällt insbesondere auf, dass es in keinem Anforderungsdokument ein Qualitätsmodell gibt (Metrik: GN2.3-M1.1). Bezüglich der Frage, wie viele Qualitätsziele konkretisiert worden sind (Metrik: GN2.3-M1.2), ergibt sich ein leichter Vorteil für die Projekte aus dem WS 2006 / 2007, wo gleich in mehreren Projekten alle genannten Qualitätsziele konkretisiert worden sind (100% konkretisierte Qualitätsziele). Auch bei der Frage, für wie viele Qualitätsziele messbar Kriterien zur Erfüllung angegeben worden sind (Metrik: GN2.3-M1.3), schneiden die Projekte aus dem WS 2006 / 2007 besser ab: Es finden sich häufiger Werte um die 50% oder höher, während bei den Projekten aus dem WS 2007 / 2008 bereits 25% den Spitzenwert darstellt, wobei in der Hälfte der Projekte für keinerlei Qualitätsziele messbare Kriterien angegeben worden sind (0,00% der konkretisierten Qualitätsziele sind messbar).

4.3.3 Gewichtung und Vergleich der Ergebnisse

Wie kommt man nun von den einzelnen Messergebnissen zu der Vergleichbarkeit von Anforderungen bzw. der Vergleichbarkeit der Anforderungsdokumente der einzelnen Projekte? Um die Vergleichbarkeit zu erreichen, werden die Messergebnisses den ursprünglichen Qualitätsanforderungen von Anforderungen zuordnet. Tabelle 4.3.2 stellt die gewichteten Qualitätsfaktoren dar. Die hervorgehobenen gedruckten Einträge sind an die Prioritäten aus [Dav05] angelehnt.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Qualitätsaspekt</th>
<th>Gewicht</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Vollständigkeit</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Korrektheit</td>
<td>10</td>
</tr>
<tr>
<td>Klassifizierbarkeit</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>Konsistenz</td>
<td>10</td>
</tr>
<tr>
<td>Prüfbarkeit</td>
<td>8</td>
</tr>
<tr>
<td>Eindeutigkeit</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Verstehbarkeit</td>
<td>5</td>
</tr>
<tr>
<td>Gültig und aktuell</td>
<td>9</td>
</tr>
<tr>
<td>Realisierbarkeit</td>
<td>10</td>
</tr>
<tr>
<td>Notwendigkeit</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>Bewertbarkeit</td>
<td>1</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Tabelle 4.3.2: Gewichtete Qualitätsfaktoren

Tabelle 4.3.3 gibt einen Überblick über die Qualitätsfaktoren und die Metriken und Heuristiken, die ihnen zugeordnet sind. Heuristiken werden dabei weniger stark gewichtet als Metriken. Dies erklärt sich dadurch, dass die Befunde, die durch Heuristiken gefunden
werden, weniger zuverlässig sind als die Befunde, die durch Metriken aufgedeckt werden –
insbesondere die Überprüfung der Formulierungsregeln ergibt lediglich Hinweise auf mögliche Defekte [Rup06].

<table>
<thead>
<tr>
<th>Qualitätsaspekt</th>
<th>Gewicht</th>
<th>Metriken</th>
<th>Typ</th>
<th>Gewicht</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Vollständigkeit</td>
<td>2</td>
<td>Anforderung enthält kein Passiv?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Prozesse durch Verben?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Keine unvollständig spez. Prozesswörter?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Keine unvollständigen Vergleiche?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Constraints ausreichend beschrieben?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Kein Nominalstil?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>Korrektheit</td>
<td>10</td>
<td>Kein Einsatz von Universalquantoren?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>Klassifizierbarkeit</td>
<td>1</td>
<td>GF2-M9.1: Klassifizierbarkeit</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Konsistenz</td>
<td>10</td>
<td>GF1-M4.1: Widerspruchlichkeit einer Anforderung</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>GF2-M3.1: Redundanz</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>GF2-M3.2: (Externe) Widerspruchlichkeit einer Anforderung</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Prüfbarkeit</td>
<td>8</td>
<td>GF2-M4.1: Prüfbarkeit einer Anforderung</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Eindeutigkeit</td>
<td>2</td>
<td>GF1-M3.1: Identifizierbarkeit von Anforderungen</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Keine Substantive ohne Bezugsindex?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>Kein Plural, wo auch Singular richtig?</td>
<td>Heuristik</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>Verstehbarkeit</td>
<td>5</td>
<td>GF1-M2.1: Erläuterung von Fachbegriffen</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>GF1-M3.2: Anzahl mehrdeutiger Begriffe innerhalb einer Anforderung</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>GF1-M3.3: Mehrdeutigkeit durch sprachliche Fehler</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>GF1-M2.2: Anzahl der sprachlichen Fehler, die die Verstehbarkeit beeinflussen</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Gültig und aktuell</td>
<td>9</td>
<td>(Metrik vorhanden, jedoch nicht im Messplan)</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Realisierbarkeit</td>
<td>10</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>Notwendigkeit</td>
<td>3</td>
<td>(Metrik vorhanden, jedoch nicht im Messplan)</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>Bewertbarkeit</td>
<td>1</td>
<td>GF2-M8.1: Bewertbarkeit</td>
<td>Metrik</td>
<td>2</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Tabelle 4.3.3: Übersicht der Qualitätsaspekte mit dazugehörigen Metriken / Heuristiken und den dazugehörigen Gewichten
<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Gewicht</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>GN2.1-M1.2: Zuordnung zu einer Kategorie</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>(GN2.1-M1.3: Anzahl Kategorien von technischen Anforderungen im Dokument)</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.1: Vorhandensein einer visuellen Beschreibung der Benutzerschnittstelle</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.2: Vorhandensein eines Benutzerprofils</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.3: Benennung von Eingabegeräten</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.1: Vorhandensein eines Qualitätsmodells</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.2: Nennung von Qualitätszielen</td>
<td>2</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.3: Metriken für Qualitätsziele</td>
<td>2</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Tabelle 4.3.4: Übersicht der Metriken für nicht-funktionale Anforderungen mit Gewichten

Ziel ist es, eine Kennzahl „Gesamtqualität“ für jedes Projekt zu erhalten, die die Messergebnisse aller Metriken einschließt. Bei „positiven Metriken“ (d.h. je höher das Messergebnis, um so höher die Qualität) wird das Messergebnis mit dem Gewicht der Metrik und danach mit dem Gewicht des Qualitätsfaktors multipliziert, dem die Metrik zugeordnet ist. Bei „negativen Metriken“ (d.h. je höher das Messergebnis, umso schlechter die Qualität) wird analog verfahren, das Ergebnis jedoch noch mit „-1“ multipliziert.

Wie die Messergebnisse der einzelnen Metriken / Heuristiken berechnet bzw. gewichtet werden, geht aus Tabelle 4.3.5 hervor.
<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik</th>
<th>Formel</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Formulierungsregel</td>
<td>(100 % - [Messergebnis: Verstoß gegen Regel])* [Gewicht der Heuristik]* [Gewicht des Qualitätsfaktors]</td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Positive Metriken:</strong></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF1-M2.1: Erläuterung von Fachbegriffen</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF1-M3.1: Identifizierbarkeit von Anforderungen</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF2-M4.1: Prüfbarkeit einer Anforderung</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF2-M8.1: Bewertbarkeit</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF2-M9.1: Klassifizierbarkeit</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GN2.1-M1.2: Zuordnung zu einer Kategorie</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• (GN2.1-M1.3: Anzahl Kategorien von technischen Anforderungen im Dokument)*</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>Negative Metriken:</strong></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF1-M2.2: Anzahl der sprachlichen Fehler, die die Verstehbarkeit beeinflussen</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF1-M3.2: Anzahl mehrdeutiger Begriffe innerhalb einer Anforderung</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF1-M4.1: Widersprüchlichkeit einer Anforderung</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF2-M3.1: Redundanz</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>• GF2-M3.2: (Externe) Widersprüchlichkeit einer Anforderung</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

**Tabelle 4.3.5: Formeln zu Gewichtung der Messergebnisse**

1 Messergebnisse dieser Metrik werden nicht berücksichtigt, da sie nicht direkt mit der Qualität des Anforderungsdokuments zusammenhängen
Die Abbildungen 4.6 und 4.7 zeigen die gewichteten Messergebnisse für die Projekte. Die einzelnen Teilergebnisse addieren sich zur Gesamtqualität.

**Abbildung 4.6: Gesamtergebnisse vom WS 2006 / 2007**

**Abbildung 4.7: Gesamtergebnisse WS 2007 / 2008**


Inhaltlich sind die geringen Werte bei Redundanz (GF2-M3.1: 7,69% redundante Anforderungen) und bei (externer) Widersprüchlichkeit (GF2-M3.2: 2,56% widersprüchliche Anforderungen) sowie der sehr hohe Anteil an prüfbaren Anforderungsaspekten (GF2-M4.1: 85,21% prüfbare Anforderungsaspekte) positiv zu erwähnen.

Gute Werte ergeben sich auch für die nicht-funktionalen Anforderungen: So sind viele der technischen Anforderungen in der entsprechenden Kategorie eingeordnet (GN2.1-M1.2: 83,33% der technischen Anforderungen sind einer Kategorie zugeordnet), es existiert eine grafische Beschreibung der Benutzerschnittstelle und die Qualitätsziele sind (vergleichsweise) gut konkretisiert (GN2.3-M1.2: 66,67% konkretisierte Qualitätsziele).

Das insgesamt schlechteste Messergebnis ergibt sich für das Projekt „NEH-Sortieranlage“ der „Gruppe A“ aus dem WS 2006 / 2007: Bei der sprachlichen Qualität fällt insbesondere die vergleichsweise schlechte Einhaltung der Formulierungsregeln (hoher Passiv-Anteil [39,80%], hoher Anteil an Nominalstil [38,78%]), das unvollständige Glossar (GF1-M2.1: 36,96% der Fachbegriffe tauchen im Glossar auf) sowie die hohe Widersprüchlichkeit innerhalb einer Anforderung (GF1-M4.1: 3,5% [Mittelwert über alle Anforderungen]) auf.

Inhaltlich ist die hohe (externe) Widersprüchlichkeit (GF2-M3.2: 14,29% widersprüchliche Anforderungen) und die geringe Prüfbarkeit von Anforderungsaspekten (GF2-M4.1: 63,70% prüfbare Anforderungsaspekte) zu bemängeln.

Bei den nicht-funktionalen Anforderungen sind keinerlei technische Anforderungen einer Kategorie zugeordnet (GN2.1-M1.2: 0% der technischen Anforderung sind einer Kategorie zugeordnet), es existiert keine grafische Beschreibung der Benutzerschnittstelle, und nur wenige Qualitätsziele sind konkretisiert worden (GN2.3-M1.2: 22,22% konkretisierte Qualitätsziele).

4.3.4 Zusammenhang zwischen Messergebnis und Projekterfolg


Beim Vergleich der Messergebnisse und der Einschätzungen der Kunden, ergeben sich zwei Schwellenwerte: Projekte, die ca. 44 Punkte oder mehr haben, werden voraussichtlich auch zu ihrem geplanten Zweck eingesetzt werden, wobei in Projekten, die ca. 40 Punkte oder weniger erreicht haben, häufiger Fehlentwicklungen sichtbar sind. Auch jene Projekte, die voraussichtlich nicht zu ihrem ursprünglichen Zweck eingesetzt werden können, liegen in ihren Messergebnissen alle unterhalb der 40 Punkte-Grenze.


Um diese Hypothesen zu bestätigen, ist der Datenbestand von 16 Projekten zu klein. Hierzu müssten noch weitere Untersuchungen angestellt werden.
5 Bewertung der Metriken

In diesem Kapitel wird eine Bewertung der Metriken und Heuristiken vorgenommen, um zu beurteilen, inwieweit sie zur Beurteilung der Qualität von Anforderungen geeignet sind. In [Lig02] werden folgende Kriterien genannt, um Metriken sinnvoll nutzen zu können:

1. **Einfachheit**
   Interpretationsaufwand des Messergebnisses muss angemessen sein

2. **Eignung (Validität)**
   Ausreichende Korrelation zwischen Metrik und zu messender Eigenschaft

3. **Stabilität**
   Stabilität des Metrikwertes gegenüber Manipulationen untergeordneter Bedeutung

4. **Rechtzeitigkeit**
   Messung muss rechtzeitig genug erfolgen, um noch korrigierend (in den Prozess) eingreifen zu können

5. **Analysierbarkeit**
   Messwerte müssen in Relationen zueinander gesetzt werden können

6. **Reproduzierbarkeit**
   Es müssen objektive Kriterien existieren. Subjektive Einflussnahme durch den Messenden muss ausgeschlossen werden

Die folgende Auflistung gibt an, inwieweit die Metriken des Messplans die oben genannten Eigenschaften erfüllen:

- Einfachheit: Die Ergebnisse sind prozentualer Art oder absolute Zahlen
- Eignung (Validität): Metriken wurden konsequent nach der GQM-Methode erstellt
- Rechtzeitigkeit: Durch die Messung auf Basis des Anforderungsdokuments kann noch korrigierend in den Projektablauf eingegriffen werden
- Analysierbarkeit: Die Messwerte sind stets vergleichbar (Prozentuale Werte / absolute Zahlen)
- Stabilität: Gewährleistet durch prozentuale bzw. absolute Zahlen

Die folgenden Eigenschaften sind nur teilweise erfüllt:

- Eignung (Validität): Formulierungsregeln geben nur Hinweise auf mögliche (inhaltliche) Defekte
- Reproduzierbarkeit: Die Messergebnisse basieren teilweise auf subjektiven Kriterien und können von daher von Prüfer zu Prüfer variieren

Der potentielle Schwachpunkt der Metriken ist die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. Diese Schwäche wird im Folgenden näher untersucht werden.
5.1 Einschränkungen der Allgemeingültigkeit

Wie stark werden sich die Messergebnisse bei der Analyse eines Anforderungsdokuments je nach Prüfer voneinander unterscheiden? Um dieser Frage nachzugehen, wurde exemplarisch mit zwei Informatikstudenten (beide 7. Semester Bachelor-Studium) und dem Betreuer dieser Arbeit je eine Probemessung durchgeführt. Die Messergebnisse werden im Folgenden miteinander verglichen.

Abbildung 5.1: Vergleichswerte der Messung für Projekt "Fast View & Edit XML"

Abbildung 5.2: Vergleichswerte bei der Analyse der Formulierungsregeln


5.1.1 Heuristiken / Metriken zur sprachlichen Qualität

Prüfung, ob Anforderung Passiv enthält

Bei der Prüfung, ob eine Anforderung im Passiv geschrieben worden ist, sind die Kriterien, die die einzelnen Prüfer angelegt haben, sehr unterschiedlich: Teilweise wurde nur konsequent nach Konjugationen des Verbs „werden“ gesucht (was false-positives bei Futur-Formen zur Folge hatte wie z.B. „Genau wie der bestehende XML Editor wird auch der FVE-XML Editor die bestehenden Schnittstellen des Eclipse Frameworks nutzen“), andere Prüfer werteten Anforderungen, die keinen Akteur enthielten als Passiv – egal, ob sie grammatikalisch im Passiv formuliert waren oder nicht.

Es lässt sich festhalten, dass sowohl manche passive Formulierungen nicht entdeckt wurden, jedoch auch viele (sogar z.T. eindeutig im Aktiv geschriebene) Anforderungen fälschlicherweise als Befund markiert worden sind. Selbst die Auswertung innerhalb der Ergebnisse eines Prüfers war oft nicht konsequent.

Es liegt nahe, dass die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse bezüglich der Passiv-Überprüfung offensichtlich erheblich von der linguistischen Kompetenz des Prüfers abhängt.

Prüfung, ob Prozesswörter nicht durch Vollverben ausgedrückt worden sind

Bei der Überprüfung, ob Prozesswörter durch Vollverben ausgedrückt sind, fällt auf, dass insbesondere die wenig konkrete Definition von „Prozesswort“ eine Fehlerquelle darstellt. Somit wurden teilweise Qualitätsaspekte als Prozesswörter bewertet (z.B. „Das wesentliche Qualitätsziel des Projektes ist die Usability“) aber auch Wörter, die den Projektablauf und nicht einen Ablauf bei der Bedienung der Software beschrieben, wie z.B. „Die grundlegende Erweiterung (...) wird in dem Hinzufügen einer weiteren Ansicht (...) bestehen“.

Prüfung auf unvollständig spezifizierte Prozesswörter

Bei der Prüfung auf unvollständig spezifizierte Prozesswörter ergibt sich ebenfalls das Problem, dass nicht eindeutig definiert ist, welche Wörter zu den Prozesswörtern zählen. Ferner ist es durchaus subjektiv, wann ein Prozesswort als „unvollständig“ anzusehen ist.
Prüfung auf unvollständige Vergleiche


Prüfung, ob Constraints nicht ausreichend beschrieben worden sind

Bei der Prüfung, ob Constraints nicht ausreichend beschrieben worden sind, fällt insbesondere die hohe Anzahl an Defekten des Prüfers „Student 1“ auf: Nahezu jede Anforderung enthält seiner Wertung nach unvollständige Constraints. Diese Einschätzung ist jedoch problematisch, da nicht jede Anforderung tatsächlich auch einen Constraint enthält: Die Anforderung „Die Usability ist dabei die zentrale Anforderung“ legt beispielsweise nur die Priorität eines Qualitätsziels fest, enthält jedoch keine Einschränkung (Constraint), welche näher beschrieben werden sollte.

Prüfung, ob Anforderung Universalquantoren enthält

Bei der Prüfung, ob eine Anforderung Universalquantoren enthält, wurden teilweise auch Anforderungen als Defekt markiert, die nach [Rup06] keine Universalquantoren enthalten.

Prüfung, ob Anforderung Substantive ohne Bezugsindex enthält

Bei der Prüfung, ob eine Anforderung Substantive ohne einen Bezugsindex enthält, werteten die Prüfer teilweise auch den Namen der zu erstellenden Software („Höchste Priorität besitzt für den Kunden die Entwicklung eines Editors, (...“) als Befund.

Prüfung, ob Anforderung Plural enthält, wo auch Singular richtig wäre

Prüfung, ob Anforderung Nominalstil enthält

Bei der Prüfung, ob eine Anforderung im Nominalstil geschrieben ist, ergab sich eine Überschneidung mit der Heuristik „Prozesse durch Vollverben ausgedrückt“. War ein Prozesswort nicht als Verb benutzt worden, wurde es durch das entsprechende Substantiv ausgedrückt (z.B. „(...) soll das Produkt (...) sowohl zur **Erstellung** als auch zur **Bearbeitung** von XML-Dokumenten eingesetzt werden“). Es stellte sich für die Prüfer die Frage, ob die hervorgehoben Wörter aus dem obigen Beispiel als Befunde für die Heuristik „Prozesse nicht durch Vollverben“ oder aber als „Nominalstil“ - oder sogar beides - anzusehen sind. Ferner wurden teilweise auch Fachbegriffe (z.B. „Syntax-Highlighting“) als Nominalstil gewertet.

GF1-M2.1: Erläuterung von Fachbegriffen


GF1-M2.2: Anzahl der sprachlichen Fehler, die die Verstehbarkeit beeinflussen

Keine Abweichungen zwischen den Prüfern.¹

GF1-M3.1: Identifizierbarkeit von Anforderungen

Bei der Beurteilung der Identifizierbarkeit von Anforderung – also konkret, ob ein Satz im Anforderungsdokument mehr als eine Anforderung enthält – sind die Ergebnisse relativ konsistent. Schwachpunkt ist hier die Einschätzung, ob eine Anforderung aus mehreren Aspekten besteht oder aber, ob es sich bereits um mehrere verschiedene Anforderungen handelt.

GF1-M3.2: Anzahl mehrdeutiger Begriffe innerhalb einer Anforderung

Bei der Beurteilung, wie viele mehrdeutige Begriffe eine Anforderung enthält, fällt auf, dass in vielen Fällen die Messergebnisse von drei Prüfern identisch sind, während das Messergebnis des vierten Prüfers abweicht. Die Abweichung beträgt max. +2 mehrdeutige Begriffe pro Anforderung. Bei dieser Metrik spielt der Wissensstand des Prüfers eine Rolle: So wäre etwa der Begriff

¹ Hypothese, dass sich sprachliche Fehler auf Verstehbarkeit auswirken, hat sich nicht bestätigt – dadurch keine Befunde bei dieser Metrik

57
„Browser“ für einen Prüfer, der nur einen einzigen Browser kennt, ein (vergleichsweise) eindeutiger Begriff, ein anderer Prüfer jedoch würde einen solchen Begriff als mehrdeutig markieren.

GF1-M3.3: Mehrdeutigkeit durch sprachliche Fehler

Keine Abweichungen zwischen den Prüfern.¹

GF1-M4.1: Widersprüchlichkeit einer Anforderung

Bei der Beurteilung, wie viele widersprüchliche Aspekte ein Anforderung enthält, wurden teilweise auch allgemein schwer verständliche Anforderungen als widersprüchlich klassifiziert, wobei die Beurteilung, ob ein Widerspruch vorliegt, auch allgemein subjektiv ist. Konsistent bis auf geringe Abweichungen waren jedoch die Einschätzungen, wie viele Aspekte eine Anforderung enthält.

5.1.2 Metriken zur inhaltlichen Qualität

GF2-M3.1: Redundanz

Bei der Bewertung ob eine Anforderung redundant zu einer oder mehreren Anforderungen ist, fiel auf, dass der Grad der Übereinstimmung zwischen den Anforderung, der zur Feststellung einer Redundanz notwendig war, von Prüfer zu Prüfer variierte: Während mancher Prüfer schon bei kleinsten inhaltlichen Überschneidungen eine Redundanz feststellte, werteten andere Prüfer nur Anforderungen, die vollständig identisch waren, als redundant.

GF2-M3.2: (Externe) Widersprüchlichkeit einer Anforderung

Bei der Bewertung, welche Anforderungen sich gegenseitig widersprechen, ergeben sich signifikante Abweichungen zwischen den Prüfern. Teilweise wurde etwa bei der Beurteilung der Priorität einer Anforderung nicht zwischen funktionaler und nicht-funktionaler Anforderung unterschieden und somit ein Widerspruch erkannt wie zwischen folgenden Anforderungen „Die wesentliche funktionale Anforderung stellt die neue Sicht bzw. Seite innerhalb des Editors dar“ und „Das wesentliche Qualitätsziel des Projektes ist die Usability“, andererseits wurden z.B. die Inhalte der folgenden Anforderungen „Die Umsetzung des Produkts soll als eine Erweiterung des bestehenden Eclipse XML Editors (...) implementiert werden“ und „Der Kunde favorisiert die Realisierung des Produkts als Plug-In für die integrierte Entwicklungsumgebung 'Eclipse' (...)“ nicht von allen Prüfern als widersprüchlich gewertet.

Die Einschätzung welche Anforderungen sich widersprechen, scheint ein im besonderen Maße subjektives Maß zu sein.

¹ Hypothese, dass sich sprachliche Fehler auf die Eindeutigkeit auswirken, hat sich nicht bestätigt – dadurch keine Befunde bei dieser Metrik
GF2-M4.1: Prüfbarkeit einer Anforderung

Bei der Überprüfung, wie viele Anforderungsaspekte prüfbar sind, ergaben sich relativ konsistente Ergebnisse. Geringe Abweichungen ergaben sich bei der Beurteilung, wie viele Aspekte eine Anforderung enthält, was die Abweichungen in den Gesamtergebnissen erklärt.

GF2-M8.1: Bewertbarkeit

Bei der Überprüfung, wie viele Anforderungsaspekte auf ihre Wichtigkeit bewertet sind, ergaben sich relativ konsistente Ergebnisse.

GF2-M9.1: Klassifizierbarkeit


5.1.3 Metriken für nicht-funktionale Anforderungen

GN2.1-M1.2: Zuordnung zu einer Kategorie

Bis auf einen Fall, in dem ein Prüfer die Metrik falsch verstanden hatte, gab es keine Abweichungen zwischen den Prüfern.

GN2.1-M1.3: Anzahl Kategorien von technischen Anforderungen im Dokument

Bis auf einen Fall, in dem ein Prüfer die Metrik falsch verstanden hatte, gab es keine Abweichungen zwischen den Prüfern.

GN2.2-M1.1: Vorhandensein einer visuellen Beschreibung der Benutzerschnittstelle

Keine Abweichungen zwischen den Prüfern.

GN2.2-M1.2: Vorhandensein eines Benutzerprofils

Keine Abweichungen zwischen den Prüfern.

GN2.2-M1.3: Benennung von Eingabegeräten

Keine Abweichungen zwischen den Prüfern.
GN2.3-M1.1: Vorhandensein eines Qualitätsmodells

Keine Abweichungen zwischen den Prüfern.

GN2.3-M1.2: Nennung von Qualitätszielen

Bei der Überprüfung, wie viele der allgemeinen Qualitätsziele konkretisiert worden sind, fällt auf, dass insbesondere die beiden studentischen Prüfer deutlich weniger Qualitätsaspekte als konkret gewertet haben als die anderen Prüfer. Schwachpunkt dieser Metrik ist die Einschätzung, ab wann ein Qualitätsziel als konkretisiert anzusehen ist.

GN2.3-M1.3: Metriken für Qualitätsziele

Keine Abweichungen zwischen den Prüfern.
5.2 Optimierungsmöglichkeiten

Wie lassen sich nun die unter 5.1 beschriebenen Effekte bzgl. der Reproduzierbarkeit der Metriken reduzieren?
Tabelle 5.2.1 gibt einen Überblick über die Störfaktoren und mögliche Optimierungsmöglichkeiten bzgl. der Metriken und Heuristiken.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Metrik / Heuristik</th>
<th>Störfaktor(en)</th>
<th>Optimierungsmöglichkeiten</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Anforderung enthält kein Passiv?</td>
<td>Linguistische Kompetenz der Prüfer</td>
<td>• Grammatikkenntnisse der Prüfer schulen</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>• Schlüsselwortanalyse durchführen (z.B. nur „werden“-Formen suchen)</td>
</tr>
<tr>
<td>Prozesse durch Verben?</td>
<td>• Unterschiedliche Wertung der Wörter als Prozesswörter</td>
<td>• Schlüsselwortliste mit Prozesswörtern vorgeben</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>• Überlappung mit Heuristik „Kein Nominalstil?“</td>
<td>• Festlegung, dass Qualitätsziele nicht mitgezählt werden</td>
</tr>
<tr>
<td>Keine unvollständig spez. Prozesswörter?</td>
<td>Unterschiedliche Wertung der Wörter als Prozesswörter</td>
<td>Schlüsselwortliste mit Prozesswörtern vorgeben</td>
</tr>
<tr>
<td>Keine unvollständigen Vergleiche?</td>
<td>Unterschiedliche Wertung von sprachlichen Ausdrücken als Vergleich</td>
<td>• Beispielsätze den Prüfern zeigen</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>• Regel vorgegeben: Bezugsindex muss vorhanden sein, damit es sich um einen Vergleich handelt [Rup06]</td>
</tr>
<tr>
<td>Constraints ausreichend beschrieben?</td>
<td>Jede Art von allgemeiner Beschreibung als Defekt gewertet</td>
<td>Schlüsselwortliste vorgeben („Signalwörter“ s. [Rup06])</td>
</tr>
<tr>
<td>Kein Einsatz von Universalquantoren?</td>
<td>Unterschiedliche Wertung der Wörter als Universalquantoren</td>
<td>Schlüsselwortliste mit Universalquantoren vorgeben</td>
</tr>
<tr>
<td>Keine Substantive ohne Bezugsindex?</td>
<td>Wertung des Namens der Software als Defekt („das Programm“, „der Editor“)</td>
<td>Blacklist vorgeben: Folgende Begriffe nicht als Defekt werden</td>
</tr>
<tr>
<td>Kein Plural, wo auch Singular richtig?</td>
<td>• Linguistische Kompetenz der Prüfer</td>
<td>Grammatikkenntnisse der Prüfer schulen</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>• Jede Art von Plural wurde als Defekt erkannt</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Kein Nominalstil?</td>
<td>Überlappung mit Heuristik „Kein Nominalstil?“</td>
<td>Blacklist mit Wörtern, die nicht mitgezählt werden dürfen z.B. Prozesswörter (s. Prozesswortliste) oder Qualitätsziele</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M2.2: Anzahl der sprachlichen Fehler, die die Versteherbarkeit beeinflussen</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.1: Identifizierbarkeit von Anforderungen</td>
<td>Besteht Satz aus einer Anforderung mit mehreren Aspekten oder aus mehreren Anforderungen?</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>Metrik / Heuristik</td>
<td>Störfaktor(en)</td>
<td>Optimierungsmöglichkeiten</td>
</tr>
<tr>
<td>--------------------------------------------------------</td>
<td>-------------------------------------------------------------------------------</td>
<td>------------------------------------------------------------------------------------------</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.2: Anzahl mehrdeutiger Begriffe innerhalb einer Anforderung</td>
<td>Fachkenntnisse des Prüfers: Wie viele Bedeutungen zu einem bestimmten Begriff kennt er?</td>
<td>Prüfer mit ähnlichen Kenntnissen für die Prüfung wählen</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M3.3: Mehrdeutigkeit durch sprachliche Fehler</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GF1-M4.1: Widersprüchlichkeit einer Anforderung</td>
<td>Allgemein subjektiv</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M3.1: Redundanz</td>
<td>Größe der Schnittmenge zwischen zwei Anforderungen – ab wann gilt Redundanz?</td>
<td>Festlegung: Ab X gleichen Aspekten gilt Redundanz oder auch festlegen: Erläuterungen und Begründungen zu einer Anforderung gelten nicht als redundante Anforderungen etc.</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M3.2: (Externe) Widersprüchlichkeit einer Anforderung</td>
<td>Allgemein subjektiv</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M4.1: Prüfbarkeit einer Anforderung</td>
<td>Anzahl der Anforderungsaspekte unterschiedlich gezählt</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M8.1: Bewertbarkeit</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GF2-M9.1: Klassifizierbarkeit</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.1-M1.2: Zuordnung zu einer Kategorie</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.1-M1.3: Anzahl Kategorien von technischen Anforderungen im Dokument</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.1: Vorhandensein einer visuellen Beschreibung der Benutzerschnittstelle</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.2: Vorhandensein eines Benutzerprofils</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.2-M1.3: Benennung von Eingabegeräten</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.1: Vorhandensein eines Qualitätsmodells</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.2: Nennung von Qualitätszielen</td>
<td>Ab wann ist ein Qualitätsziel konkretisiert?</td>
<td>Festlegung: Kurze Erklärung, was Qualitätsziel in aktuellen Projekt bedeutet, reicht aus</td>
</tr>
<tr>
<td>GN2.3-M1.3: Metriken für Qualitätsziele</td>
<td>Keine Störfaktoren erkennbar</td>
<td>-</td>
</tr>
</tbody>
</table>

*Tabelle 5.2.1: Optimierungsmöglichkeiten der Metriken / Heuristiken für die Messung*
Fazit


Inwiefern ein gutes Messergebnis bzgl. eines Anforderungsdokuments mit dem Erfolg eines Projekts zusammenhängt, kann nicht abschließend geklärt werden, wobei die Vermutung nahe liegt, dass ein Projekt, dessen Anforderungsdokument einen gutes Messergebnis erhalten hat, ein höheres Potential hat, erfolgreich abgeschlossen zu werden. Allgemein ist der Zusammenhang zwischen Anforderungsqualität und Qualität des Produkts eines Projekts schwer, sicher nachzuweisen [Rec+06-2].

Die Einschätzung, dass es mittels der Anforderungsschablone (Abbildung 4.1) möglich ist, „hochwertige Anforderungen zu formulieren“ [Hor07], kann mit den Ergebnissen dieser Arbeit bestätigt werden. Auffallend war, dass jede Art von vorgegebenem Schema bezüglich der Formulierungen einer Anforderung signifikant ihre Qualität erhöhte. So waren Anforderungen aus Use-Cases, die durch die tabellarische Struktur beschränkt waren, qualitativ besser als Anforderungen im Fließtext des Anforderungsdokuments. Somit wird deutlich, dass bestimmte strukturelle Vorgaben innerhalb des Dokuments sich positiv auf die Qualität der Anforderungen auswirken können. Die Auflage, ein Qualitätsmodell anlegen zu müssen bzw. die Struktur des Qualitätsmodells bereits ins Dokumenten-Template aufzunehmen, könnte sich als sinnvolle Maßnahme herausstellen, um die Qualität der Qualitätsanforderungen zu steigern.

Die in dieser Arbeit aufgestellten Metriken geben Qualitätsbeauftragten ein Mittel an die Hand, um Stellen im Anforderungsdokument ausfindig zu machen, die in späteren Projektphasen zu Problemen führen könnten: Wenn z.B. zu einer Anforderung keine prüfbaren Erfüllbarkeitskriterien angegeben sind, so ist die Gefahr gegeben, dass Entwickler und Kunde unterschiedliche Auffassungen darüber haben, wann die Anforderung erfüllt ist. Derartige Mängel können mittels des Messplans dieser Arbeit aufgedeckt werden und gezielt im Dialog mit dem Kunden geklärt werden.

Es gibt jedoch Grenzen der Messbarkeit: So lassen sich wesentliche inhaltliche Aspekte wie die Vollständigkeit oder die Aktualität einer Anforderung nicht isoliert anhand des Anforderungsdokuments messen. Zwar können sprachliche Befunde Indikatoren für mögliche Defekte liefern, aber sie geben keine Garantie, dass tatsächlich auch ein inhaltlicher Defekt vorliegt. Jedoch waren auch die hier angewendeten Prüfverfahren nicht frei von subjektiven Einflüssen: Ob etwa eine Anforderung verständlich ist oder nicht, oder ob ein Wort bereits als Fachwort zu bewerten ist oder noch zum „alltäglichen Vokabular“ gehört,
variierst stark von Stakeholder zur Stakeholder [Lig02]. Letztendlich muss auch zur abschließenden Klärung dieser Aspekte der direkte Dialog mit den jeweiligen Stakeholdern (also v.a. den Kunden) gesucht werden. Somit scheint es also zu den zeitaufwendigen kommunikativen Prüfverfahren keine Alternativen zu geben. Der in dieser Arbeit aufgestellte Messplan kann also die inhaltliche Validierung von Anforderungen nicht ersetzen, stellt jedoch ein sinnvolle vorbereitende Maßnahme für kommunikative Prüfverfahren dar.

7 Ausblick

Optimierungspotential ergibt sich bei der Effizienz der hier angewendeten Metriken: So könnte etwa eine automatisierte Schlüsselwortanalyse die Messung einiger Aspekte beschleunigen. Interessant wäre in diesem Zusammenhang auch, welche Metriken sich überhaupt automatisieren lassen und welche Auswirkungen dies auf die Messergebnisse hätte.

Wie schon im Fazit geschrieben, erfordert die Anwendung bestimmter Metriken den Kontakt zu Stakeholdern. Jene Metriken, die nicht in den Messplan eingeflossen sind, wie z.B. Metriken zur Vollständigkeit oder zur Aktualität einer Anforderung, könnten im Rahmen zukünftiger Projekte angewendet und anhand der Messergebnisse die zu Grunde liegenden Hypothesen verifiziert werden.

8 Literaturverzeichnis

[Bro08]: Brockhaus AG, Der Brockhaus multimedia premium 2008, 2008

[Sch07]: Kurt Schneider, Abenteuer Software Qualität. dpunkt Verlag, 2007, S. 31 - 37, 51 - 58, 68 – 78


[Rec+06]: Recknagel, Rupp, Messbare Qualität in Anforderungsdokumenten, 2006, http://www.sophist.de/DownloadDB.nsf/0/e7f9468ee05bddfc125711800459ae9/$FILE/Messbare%20Qualität%3A%20Anforderungsdokumenten.pdf


[Hor07]: Nicko Horst, Quantitative und qualitative Analyse von Anforderungen in Software-Projekten, Leibniz Universität Hannover, FG Software Engineering, Studienarbeit, 2007

