

# Advanced Software Engineering

## Projektarbeitsdokumentation

im Rahmen der Prüfung zum

Bachelor of Science (B.Sc.)

des Studienganges

Informatik

an der

Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe

von

**Dominik Ochs**

Abgabedatum: XX. Mai 2023

Bearbeitungszeitraum: 01.10.2022 - XX.05.2023

Matrikelnummer, Kurs: 2847475, TINF20B2

Gutachter der Dualen Hochschule: Dr. Lars Briem

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Quellcodeverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
1.1. Übersicht über die Applikation . . . . .	1
1.2. Wie startet man die Applikation? . . . . .	2
1.3. Wie testet man die Applikation? . . . . .	3
<b>2. Clean Architecture</b>	<b>4</b>
2.1. Was ist Clean Architecture? . . . . .	4
2.2. Analyse der Dependency Rule . . . . .	4
2.3. Analyse der Schichten . . . . .	6
<b>3. SOLID</b>	<b>10</b>
3.1. Analyse Single-Responsibility-Principle (SRP) . . . . .	10
3.2. Analyse Open-Closed-Principle (OCP) . . . . .	12
3.3. Analyse . . . . .	13
<b>4. Weitere Prinzipien</b>	<b>14</b>
4.1. Basisimplementation . . . . .	14
<b>5. Unit Tests</b>	<b>15</b>
<b>6. Domain Driven Design</b>	<b>16</b>
<b>7. Refactoring</b>	<b>17</b>
7.1. Zusammenfassung . . . . .	17
7.2. Kritische Reflexion . . . . .	17
7.3. Zukunftsaussicht . . . . .	17
<b>8. Entwurfsmuster</b>	<b>18</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>IV</b>
A.1. Architekturen . . . . .	IV
A.2. Quelltext-Implementation . . . . .	V

# Abbildungsverzeichnis

1.1. Spielphasen. . . . .	2
2.1. UML-Diagramm 1 zum Einhalten der Dependency Rule von <i>Camp</i> . . . .	5
2.2. UML-Diagramm 2 zum Einhalten der Dependency Rule von <i>Game</i> . . . .	6
2.3. Beispielklasse der Plugin-Schicht: <i>ErrorBuilder</i> . . . . .	7
2.4. Beispielklasse der Domain-Schicht: <i>ResourceStash</i> . . . . .	9
3.1. UML-Diagramm von <i>ase.plugin.cli.parsers.DiceParser</i> . . . . .	10
3.2. UML-Diagramm von <i>application.RollHandler</i> . . . . .	11
3.3. Abbildung 3.2 aufgeteilt in <i>EndeavorHandler</i> und <i>EncounterHandler</i> . . .	12
3.4. UML-Klassendiagramm vom <i>RollDxCommand</i> und weiteren Commands, wovon die meisten allerdings ausgelassen wurden der Übersichtlichkeit wegen. . . . .	13

# Quellcodeverzeichnis

A.1	Implementation des Quality-Maßes in Python zur Verwendung im Training und Testen von Keras-Modellen. . . . .	V
-----	---	---

# 1. Einführung

## 1.1. Übersicht über die Applikation

Bei dieser Applikation handelt es sich um ein singleplayer Kartenspiel. Hier versucht ein Spieler auf einer einsamen Insel zu überleben und von ihr zu flüchten, indem er Karten zieht und Ressourcen (*wood, plastic, metal*) sammelt, um Gegenstände zu bauen (*Scavage*), die ihn vor seinen Feinden (*Encounter*) schützen oder ihm eine Rettung (*Endeavor*) von der Insel ermöglichen. Während des Spiels trifft der Spieler auf Tiere (*spider, tiger, snake*), die ihm gesammelte Ressourcen kosten können, oder Katastrophen, die Ressourcen zerstören. Das Spiel endet, wenn der Spieler sich retten konnte oder keine Aktionen mehr möglich sind.

Das Kartenspiel hat verschiedene Spielphasen (s. Abbildung 1.1), in denen der Spieler unter bestimmten Bedingungen Karten ziehen und Gegenstände bauen kann (*Scavage*). Wenn ein Gegenstand aus der Kategorie Rettungen (*Endeavor*) gebaut wurde, muss der Spieler würfeln, um zu entscheiden, ob die Rettung erfolgreich ist. Ein Segelboot und ein Hanggleiter stellen eine Rettung dar, wenn beim Würfeln eine bestimmte Augenzahl erzielt wird. Wenn der Rettungsversuch fehlschlägt, kann der Spieler weiter Karten ziehen und Gegenstände bauen, solange Karten im Stapel vorhanden sind. Das Bauen eines Dampfschiffs und eines Heißluftballons ist nur mit einer Feuerstelle möglich und garantiert eine erfolgreiche Rettung. Wenn ein Tier gezogen wird, muss der Spieler gegen es kämpfen (*Encounter*) und auch hier bestimmt Würfeln über Sieg oder Niederlage. Für unterschiedliche Aktionen werden unterschiedliche Würfel (*vier-, sechs-, acht-seitig*) verwendet. Das Spiel endet, wenn keine weiteren Aktionen mehr möglich sind oder wenn eine garantierte Rettung erfolgt ist. Wenn das Spiel endet (*End*), bleibt es in diesem Zustand, bis ein neues Spiel gestartet wird, bis das Spiel neu initialisiert wird oder die Anwendung beendet wird.

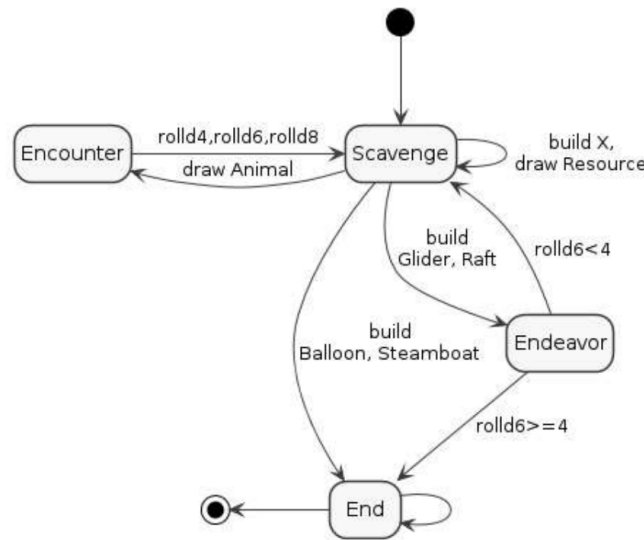


Abbildung 1.1.: Spielphasen.

## 1.2. Wie startet man die Applikation?

Vorraussetzung ist **Java 17**<sup>1</sup>.

Wahlweise wird eine gängige Java-IDE<sup>2</sup> oder eine *maven*-Installation benötigt.

### Über Maven:

Im Wurzelverzeichnis folgende Maven-Befehle ausführen:

```

mvn compile
mvn package
java -jar target/ase-1.0-SNAPSHOT.jar
  
```

<sup>1</sup>Check mit `java -version`.

<sup>2</sup>Hier wurde *Jetbrains' IntelliJ* verwendet.

## Über IDE:

Projekt mit IDE im Wurzelverzeichnis öffnen. Zu folgendem Pfad navigieren

```
./src/main/java/de/dhbw/karlsruhe/ase/plugin/cli
```

und dort die *main*-Methode der Klasse *Main* ausführen lassen.

## Erste Schritte:

Nun läuft das Command Line Interface der Applikation und es kann mit

```
help
```

eine Übersicht über die möglichen Befehle (Name, Regex, Beschreibung) aufgerufen werden, oder mit

```
start?
```

ein Spiel mit zufälligem Kartenstapel gestartet werden. Daraufhin kann mit

```
draw
```

begonnen werden Karten zu ziehen.

## 1.3. Wie testet man die Applikation?

### Über Maven:

Im Wurzelverzeichnis:

```
mvn test
```

### Über IDE:

Die Tests befinden sich unter

```
./src/test/java
```

und können dort mit einer IDE-Funktion ausgeführt werden.

Es existieren Blackbox-Integration-Tests und Unit-Tests, die aber keine besonderen Anforderungen außer eine **JUnit5**-Abhängigkeit haben.

## 2. Clean Architecture

### 2.1. Was ist Clean Architecture?

Clean Architecture ist ein allgemeines Konzept zum Design von Softwarearchitekturen, das darauf abzielt, die Struktur einer Anwendung so zu gestalten, dass sie unabhängig von ihren Benutzerschnittstellen, Datenquellen und anderen äußeren Faktoren bleibt. Dies bedeutet, dass die verschiedenen Komponenten und Funktionen einer Anwendung in abgekapselten Schichten angeordnet werden (*Onion-Architektur*), um sicherzustellen, dass Veränderungen in einer Schicht die tieferliegenden Schichten nicht beeinflussen. Äußere Schichten haben dabei Abhängigkeiten von tieferen Schichten aber niemals umgekehrt. Aufrufe von tieferen Schichten an äußere Schichten werden über Abstraktionen (*Dependency Inversion* und *Injection*) realisiert. Tiefere Schichten sind dabei langlebiger als Schichten weiter außen.

Dies führt zu einer Anwendung, die flexibler und leichter zu entwickeln und zu warten ist, da Änderungen an einem Teil der Anwendung die tieferliegenden Schichten nicht berühren.

### 2.2. Analyse der Dependency Rule

Schichten im Sinne der Dependency Rule sind hier `plugin`, `application`, `domain` und `abstraction` aufsteigend geordnet nach zunehmender Tiefe in der Onion-Architektur<sup>1</sup>. Sie werden durch gleichnamige Packages, die parallel unter `de.dhbw.karlsruhe.ase` zu finden sind, erschöpfend repräsentiert. Es sind Abhängigkeiten von äußerden Schichten in tiefere Schichten erlaubt, aber nicht umgekehrt. Diese Regel wird für die oben genannten Schichten immer eingehalten, was die folgenden beiden Beispiele illustrieren.

---

<sup>1</sup>Siehe ?? für mehr Informationen.



### Positiv-Beispiel 1:

Abbildung 2.1 zeigt das verlangte UML-Diagramm der Beispielklasse 1 *Camp* der Schicht *domain*, welches die Dependency Rule einhält. Wie im Diagramm zu sehen ist hängt *Camp* ausschließlich von Klassen in der selben Schicht (*domain*) ab. *Crafting* ist dabei keine Schicht sondern ein *Aggregat*<sup>2</sup>. Schichten sind ausschließlich die oben genannten. Weiter zu sehen ist, dass ausschließlich Klassen in *application* von *Camp* abhängen, aber keine aus höheren Schichten (was in diesem konkreten Fall nur *abstraction* sein könnte).

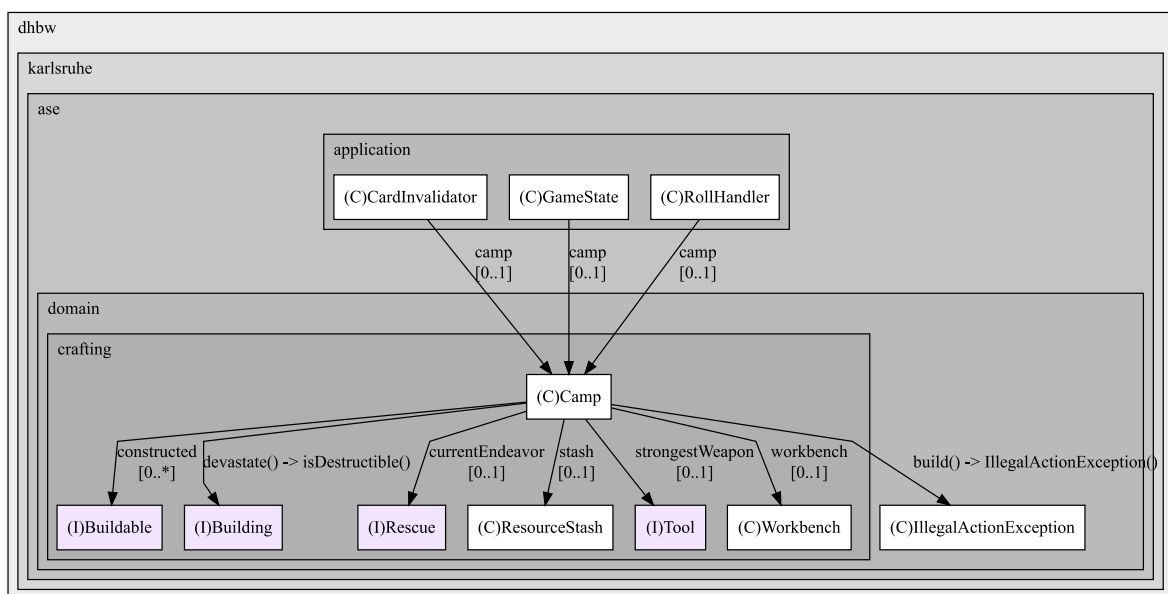


Abbildung 2.1.: UML-Diagramm 1 zum Einhalten der Dependency Rule von *Camp*.

### Positiv-Beispiel 2:

Abbildung 2.2 zeigt ein weiteres positives Beispiel für die Dependency Rule, da diese in dieser Softwarearchitektur nicht verletzt wird. Abgebildet ist die Klasse *Game*, welche lediglich von Klassen aus der eigenen Schicht (*application*) und Klassen aus der tieferen Schicht *domain* abhängt. Abhängig von *Game* sind nur Klassen aus der Schicht *plugin*, bzw. dem konkreten *cli*-Plugin.

<sup>2</sup>Siehe Kapitel 6.

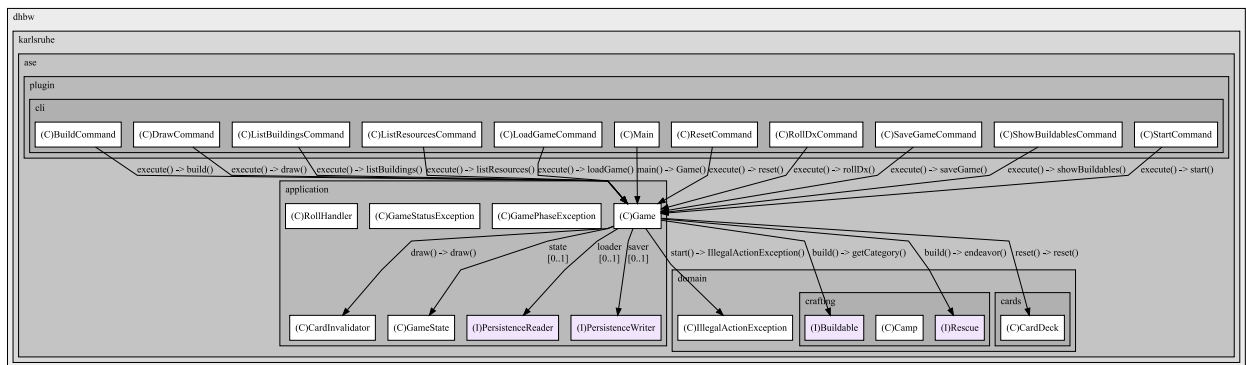


Abbildung 2.2.: UML-Diagramm 2 zum Einhalten der Dependency Rule von *Game*.

## 2.3. Analyse der Schichten

In dieser Softwarearchitektur gibt es folgende Schichten aufsteigend sortiert nach Tiefe: *plugin*, *application*, *domain* und *abstraction*. Hierbei stellt *plugin* die äußerste und *abstraction* die tiefste Schicht dar.

### Schicht Plugin:

Bei einem Refactoring der Plugin-Schicht ist aufgefallen, dass viele der (Fehler-)Hinweise, die aufgrund von falschem Befehlssyntax oder einem falschen Befehl an den User über das CLI ausgegeben werden, keine gemeinsame einheitliche Form aufwiesen, da diese direkt als String ausgegeben wurden. Um eine einheitliche Fehlermeldung zu gewährleisten wurde der *ErrorBuilder* eingefügt, dessen Aufgabe es ist, die Fehler einheitlich zu formatieren und auszugeben. Abbildung 2.3 zeigt das UML-Klassendiagramm dieser Klasse. Sie wird im gesamten CLI-Plugincode verwendet um (Fehler-)Hinweise auszugeben.

Über verschiedene Konstruktoren kann ein Grund für den (Fehler-)Hinweis und eine mögliche Abhilfeempfehlung eingegeben werden. Mit der *print*-Methode kann der erzeugte (Fehler-)Hinweis dann formatiert an den User ausgegeben werden. Hierzu wird aus Gründen der Testbarkeit an die Funktion *printError* des Proxys *Terminal* delegiert.

Diese Klasse befindet sich im Plugin-Layer (insb. im CLI-Plugin), da die konkrete Ausgabe an den User in Form von Text von dem CLI abhängt. Die high-level Fehlermeldungen die von den tieferen Schichten über Exceptions realisiert sind können von jedem Plugin

anders verarbeitet und an den User weitergegeben werden. In der CLI funktioniert dies mit dem `ErrorBuilder`, während es mit einem denkbaren GUI-Plugin über bspw. ein Popup funktionieren könnte. Der `ErrorBuilder` ist lediglich für die Ausgabe an den Nutzer zuständig und enthält keine Fehler-Logik und gehört somit in die Plugin-Schicht.

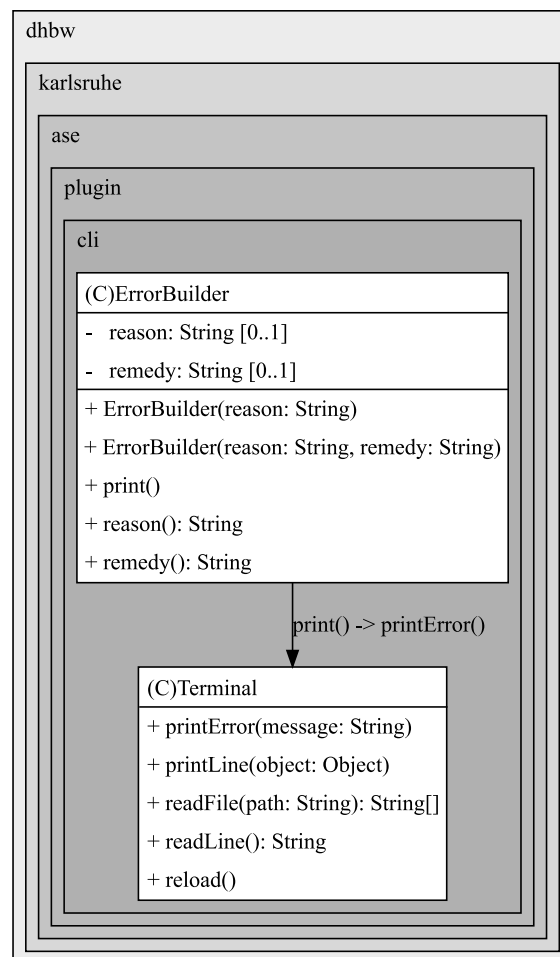


Abbildung 2.3.: Beispielklasse der Plugin-Schicht: `ErrorBuilder`.

### Schicht Domain:

Der *ResourceStash* ist fester Teil der Domain-Schicht und stellt hier ein Wrapper mit Methodennamen in Domänensprache für eine Resource-Deque dar. Abbildung 2.4 zeigt das zugehörte UML-Klassendiagramm. Der *ResourceStash* beinhaltet und verwaltet alle Ressourcen, die der Spieler im Verlauf des Spiels ansammelt. Durch eine Katastrophe

oder das Verlieren gegen ein Tier wird der ResourceStash zerstört (*devastate*) und alle ungeschützten Ressourcen gelöscht. Das Erbauen eines *Shacks*<sup>3</sup> erlaubt es die obersten  $n \in [0; \text{inf})$  Ressourcen zu schützen (*protectTopMostNResources*), sodass diese nach einem *devastate* übrig bleiben. Zusätzlich können Ressourcen hinzugefügt, konsumiert oder deren Vorhandensein überprüft werden. *Camp* und *Workbench* teilen sich eine Referenz auf denselben Stash.

Die Klasse ist als Teil des Kartenspiels (der Domäne) im Code natürlich in der Domain-Schicht angesiedelt und wird von anderen Domänenklassen genutzt. Es gibt keine Möglichkeit die Klasse in einer der anderen Schichten sinnvoll anzusiedeln.

---

<sup>3</sup>nicht in der Abb.

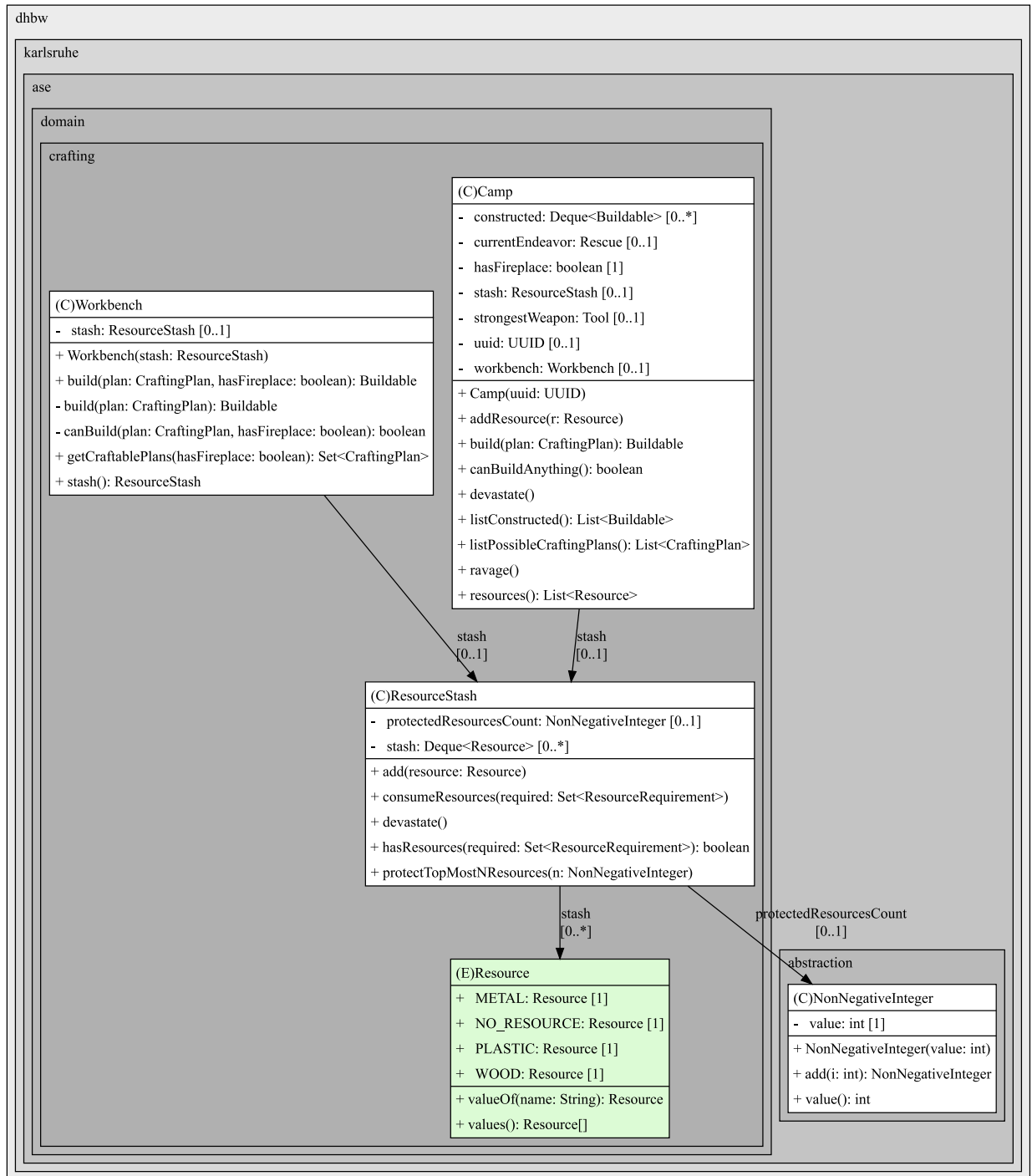


Abbildung 2.4.: Beispielklasse der Domain-Schicht: ResourceStash.

## 3. SOLID

### 3.1. Analyse Single-Responsibility-Principle (SRP)

#### Positiv-Beispiel:

Abbildung 3.1 zeigt das UML-Klassendiagramm des *DiceParser*, welcher in der Plugin-Schicht unter `plugin.cli.parsers` zu finden ist und das Positivbeispiel darstellt. Dieser implementiert das *Parser*-Interface aus `plugin.cli`. Die einzige Aufgabe des *DiceParsers* ist es die Usereingabe zum Erstellen eines Würfelwurfs aus Text zu parsen und das entsprechende Objekt zu kreieren. Hierzu wird der *Regex*-Matcher, der bereits den Syntax überprüft hat an die *parse*-Methode übergeben und daraus die Argumente extrahiert, um den *Roll* zu erstellen.

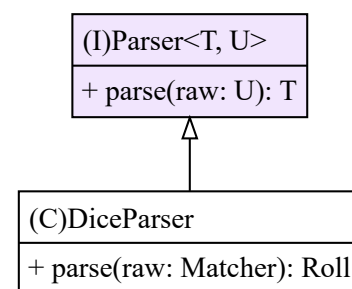
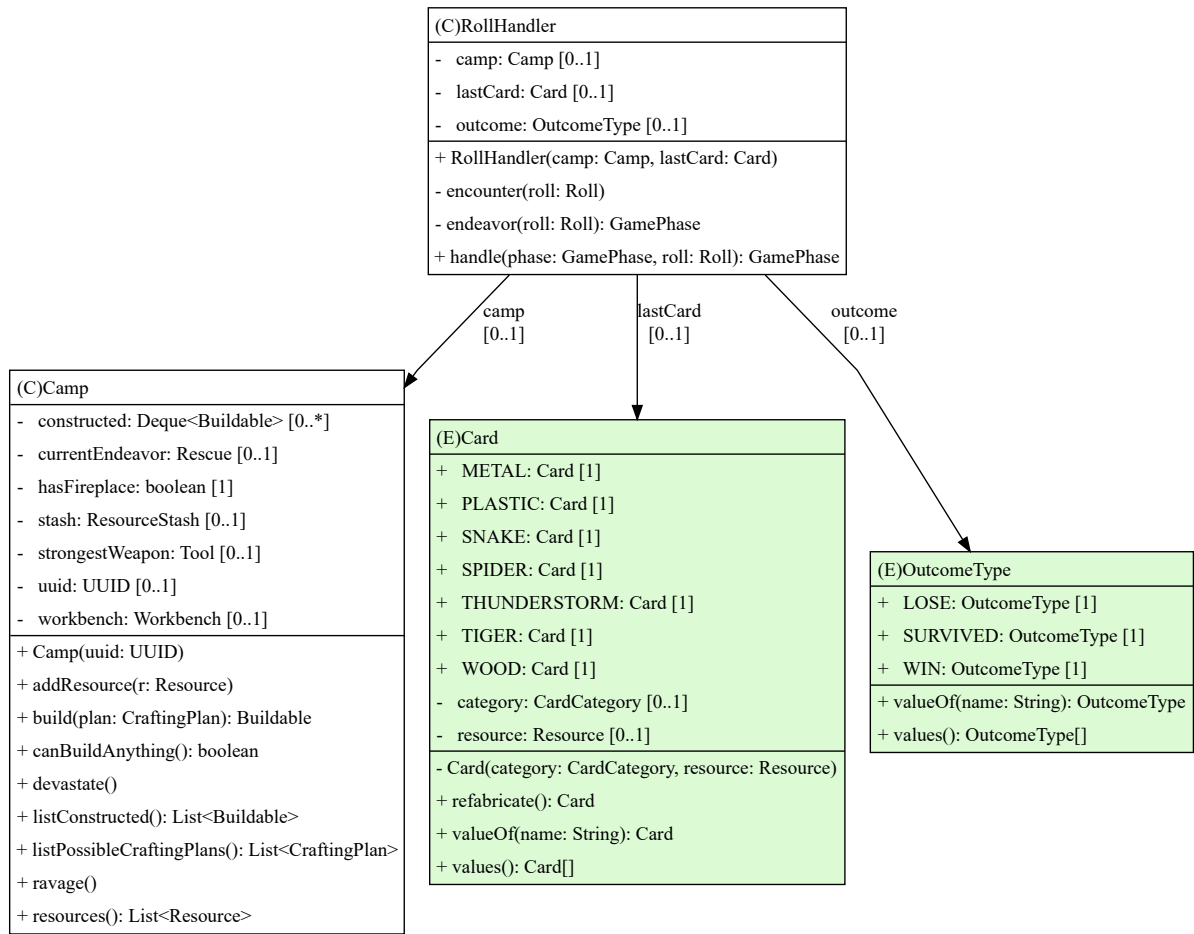


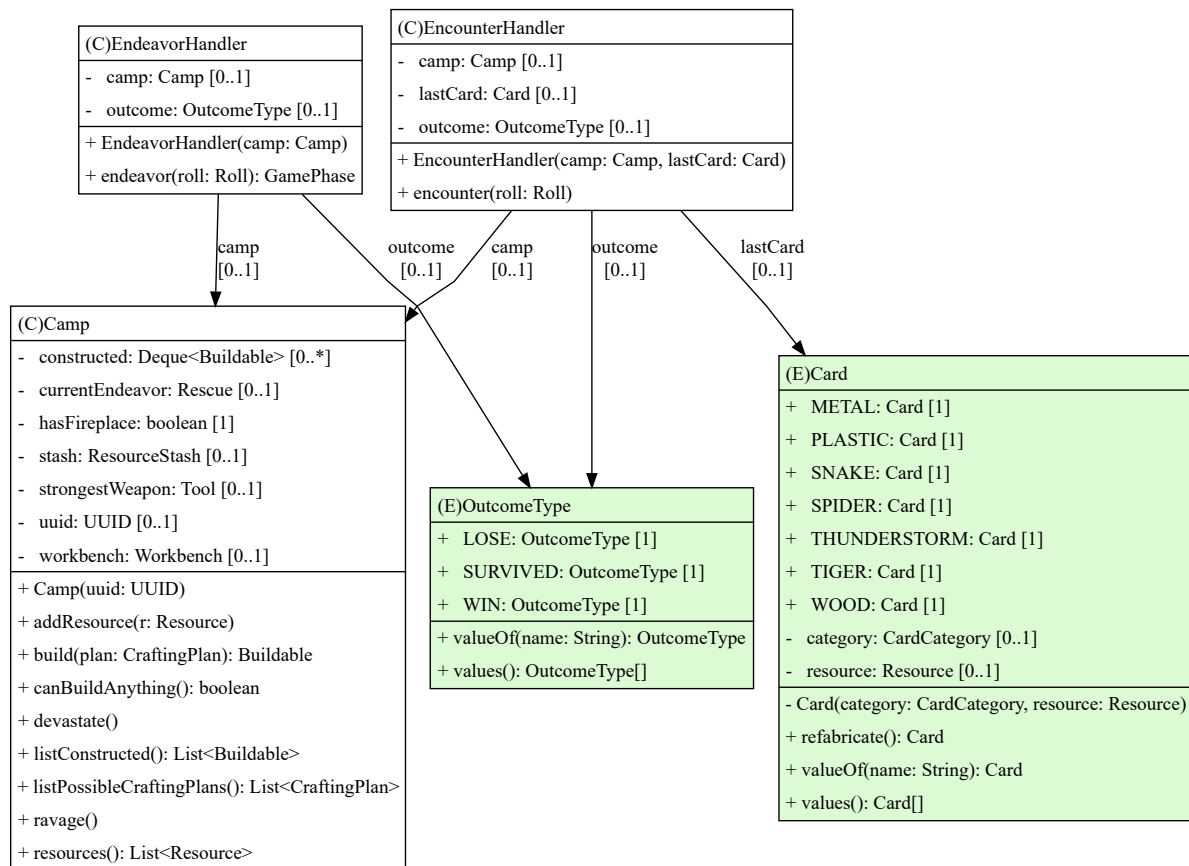
Abbildung 3.1.:  
UML-Diagramm von  
*ase.plugin.cli.parsers.DiceParser*.

#### Negativ-Beispiel:

Abbildung 3.2 zeigt das UML-Klassendiagramm des *RollHandler*, welcher in der Applikations-Schicht die Würfelwürfe für die Rettungen (*Endeavor*) und Kämpfe (*Encounter*) bearbeitet. Hierbei entscheidet die öffentliche *handle*-Methode, ob es sich um einen *Encounter* oder ein *Endeavor* handelt (dies ist allerdings eigentlich schon bei Aufruf dieser bekannt) und führt die entsprechende private Methode aus. Die Klasse hat also zwei Aufgaben (Responsibilities).

Um dies zu lösen kann einfach die Klasse *RollHandler* in zwei Klassen aufgeteilt werden - den *EncounterHandler* und *EndeavorHandler* - die nun jeweils nur noch genau eine Aufgabe haben und somit das SRP einhalten, wie Abbildung 3.3 zeigt.

Abbildung 3.2.: UML-Diagramm von *application.RollHandler*.

Abbildung 3.3.: Abbildung 3.2 aufgeteilt in *EndeavorHandler* und *EncounterHandler*.

## 3.2. Analyse Open-Closed-Principle (OCP)

### Positiv-Beispiel:

Das Positiv-Beispiel zum OCP wird konstituiert durch das *Command*-Interface aus `ase.plugin.cli` und dessen Implementationen (z.B. *RollDxCommand*) aus `ase.plugin.cli.com` wie gezeigt in Abbildung 3.4. Die Main-Klasse kennt nur das Command-Interface und ruft darauf die *execute*-Methode auf, die dann in den unterschiedlichen Command-Implementationen verschiedene Wirkungen auf das übergebene *Game* haben. Dies ist auch die Begründung, wieso das OCP hier erfüllt wird: Um einen neuen Befehl zu implementieren muss lediglich eine weitere Klasse hinzugefügt werden, die das Command-Interface



implementiert. Es muss dazu keine der bestehenden Command-Klassen angepasst oder geändert werden.

Das OCP ist hier sehr sinnvoll, da für neue Features sehr wahrscheinlich regelmäßig neue Commands hinzugefügt werden müssen und dies soll somit möglichst einfach umsetzbar sein und keinen bestehenden Code breaken. Zuvor wurden die unterschiedlichen Befehle über zahlreiche `switch`-Blöcke realisiert (siehe z.B. Commit 034a5c28), was Änderungen des Programmcodes an vielen Stellen nötig machte, um einen neuen Befehl hinzuzufügen. Außerdem wurden Runtime-Exceptions geworfen, wenn vergessen wurde den Code an einer Stelle anzupassen. Durch das neue System müssen keine Änderungen (geschlossen für Änderungen) an vielen Stellen mehr durchgeführt werden, sondern nur noch Additions durchgeführt werden (offen für Erweiterung).

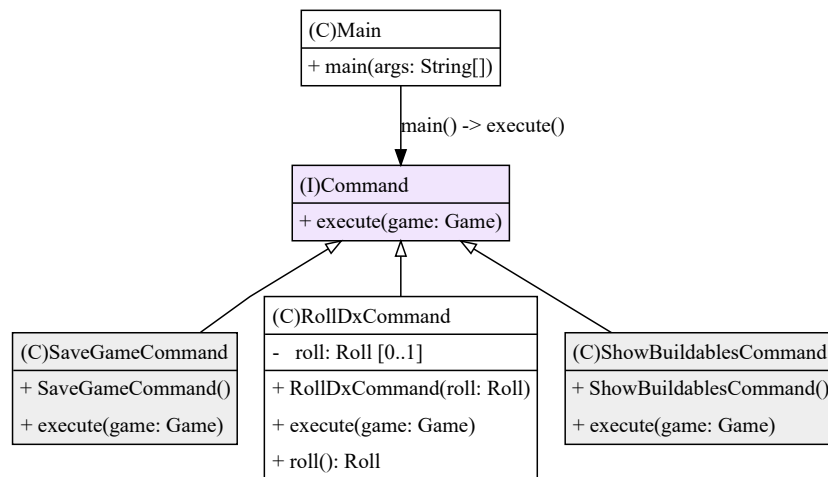


Abbildung 3.4.: UML-Klassendiagramm vom *RollDxCommand* und weiteren Commands, wovon die meisten allerdings ausgelassen wurden der Übersichtlichkeit wegen.

**Negativ-Beispiel:**

### 3.3. Analyse

## 4. Weitere Prinzipien

Zunächst wird eine Basisimplementation gegeben, die den Algorithmus zur Subproblemerzeugung und Similarity-Berechnung aus ?? umsetzt und diesen dann auf Geschwindigkeit optimiert.

### 4.1. Basisimplementation

---

**Algorithmus 1** Vereinfachter Algorithmus zum Erstellen der Subprobleme aus den Submodellen

---

```

1: procedure CREATE SUBPROBLEMS( $F$ )
2:   for  $S \in \text{atomicSubmodels}$  do
3:      $S.\text{graph} \leftarrow \text{calculateGraph}(S)$ 
4:      $S.\text{graph} \leftarrow \text{reduceGraph}(S.\text{graph}, F)$ 
5:   end for
6:   while  $|\text{atomicSubmodels}| \neq 0$  do
7:      $M \leftarrow \text{selectOne}(\text{atomicSubmodels})$ 
8:      $M.\text{set} \leftarrow \emptyset$ 
9:     while  $\text{complexity}(M) < \text{minSubproblemComplexity}$  do
10:       $\text{highestSim} \leftarrow -1$ 
11:      for  $S \in \text{atomicSubmodels}$  do
12:         $\text{sim} \leftarrow \text{computeSim}(M, S)$ 
13:        if  $\text{sim} > \text{highestSim}$  then
14:           $\text{mostSimilar} \leftarrow S$ 
15:           $\text{highestSim} \leftarrow \text{sim}$ 
16:        end if
17:      end for
18:       $M \leftarrow M \cup \text{mostSimilar}$ 
19:       $M.\text{set} \leftarrow M.\text{set} \cup \text{mostSimilar.set}$ 
20:       $\text{atomicSubmodels} \leftarrow \text{atomicSubmodels} \setminus \text{mostSimilar}$ 
21:    end while
22:     $\text{subproblems} \leftarrow \text{subproblems} \cup \{M\}$ 
23:  end while
24: end procedure

```

---

$$\triangleright n := |\text{atomicSubmodels}|$$

$$\triangleright O\left(\frac{n(n+1)}{2}\right) \cdot O(t_{\text{sim}}) = O(n^2 \cdot t_{\text{sim}})$$

## 5. Unit Tests

### Mittlere Szenarien

Die Messungen haben ergeben, dass für alle mittelgroßen Szenarien  $s \in S_{Anon_M}$  gilt, dass  $t_{sub_{MatFlowG}}(s) < t_{sub_{IdObj}}(s)$ . Hierbei haben sich für Identical Objects die Laufzeiten über die 13 Szenarien von  $S_{Anon_M}$  zwischen 11s und 1min 39s bewegt, während die Laufzeiten von Material Flow Graph zwischen 1s und 9s lagen. Mit  $p = 2,744 \cdot 10^{-9}$  ist Material Flow Graph *statistisch signifikant* schneller<sup>1</sup>.

Szenario	$t_{sub_{IdObj}}$	$t_{sub_{IdMat}}$	$t_{sub_{MatFlowG}}$	$f_{IdObj \rightarrow MatFlowG}$
$s_{Krit}$	9h 41min 20s	14min 47s	3min 31s	168,15
$s_{Ult}$	21h	2h 45min	15min	83,3

Tabelle 5.1.: Ergebnisse der Laufzeitmessungen von  $S_L$  nach verschiedenen Methoden. Außerdem der Beschleunigungsfaktor  $f$  von Identical Objects zu Material Flow Graph. Szenario  $s_{Ult}$  wurde auf einem Server durchgeführt (Speicherbedarf zu hoch),  $s_{Krit}$  auf dem in ?? beschriebenen Rechner.

$S_X$	$\bar{m}_{pre}$	$\bar{m}_{post}$	$f$
small	45,11	5,94	7,6
medium	395,82	120,3	3,29
large	4711,24	50,01	94,19

Tabelle 5.2.: Durchschnittliche Knotenanzahl vor der Graphenreduktion  $\bar{m}_{pre}$ , nach der Graphenreduktion  $\bar{m}_{post}$  und deren mittlerer Reduktionsfaktor  $f$  nach Szenario-Klassen.

Abschließend zur Untersuchung der praktischen Tests lässt sich also festhalten, dass die erwarteten Ergebnisse erzielt, sowie die theoretischen Überlegungen praktisch bestätigt werden konnten.

<sup>1</sup>Einseitiger Zwei-Stichproben-t-Test mit unterschiedlicher Varianz; Normalverteilung angenommen;  $n = 12$ ; Szenario  $z$  mit  $t_{sub_{IdObj}}(z) = 1min39s$  und  $t_{sub_{MatFlowG}}(z) = 9s$  als Ausreißer von Test exkludiert.

## **6. Domain Driven Design**

## **7. Refactoring**

In diesem Kapitel wird das Vorgehen in dieser Arbeit zusammengefasst, eine kritische Reflexion vorgenommen, in der unter Anderem die Schwierigkeiten des Projekts aufgeführt werden, sowie eine Aussicht auf die Zukunft des Projekts gegeben.

### **7.1. Zusammenfassung**

### **7.2. Kritische Reflexion**

### **7.3. Zukunftsaussicht**

## 8. Entwurfsmuster

# **A. Anhang**

## **A.1. Architekturen**

## A.2. Quelltext-Implementation

```
1 import cv2
2
3 import numpy as np
4
5
6 def quality(buffer:int = 15, threshold:float = 0.1) -> any:
7     r"""Returns the quality metric function for keras's compile.
8     Implementation following this paper ↗
9         ↘ https://www.researchgate.net/publication/2671242\_Empirical\_Evaluation
10
11     Args:
12         buffer: size of buffer, i.e. max euclidean distance ↗
13             ↘ between point x and y so that x and y are still ↗
14             ↘ considered to be in each other's buffer area.
15         threshold: number from which on an input will be ↗
16             ↘ considered as activated (1; else 0).
17
18     Returns:
19         function taking tensor y_true and y_pred
20     """
21
22     diameter = 2 * buffer + 1
23     kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE, ↗
24         ↘ (diameter, diameter))
25     dilate_i = 1
26
27     def quality(y_true_batch, y_pred_batch):
28         y_true_batch_numpy = y_true_batch.numpy()
29         y_pred_batch_numpy = y_pred_batch.numpy()
30         batch_size = y_true_batch_numpy.shape[0]
31         width, height = (y_true_batch_numpy.shape[1], ↗
32             ↘ y_pred_batch_numpy.shape[2])
33
34         qual_sum = 0
```



```

29     for i in range(0, batch_size):
30         y_true = y_true_batch_numpy[i][:, :, 0]
31
32         y_pred_binary = np.copy(y_pred_batch_numpy[i])
33         y_pred_binary[y_pred_binary < threshold] = 0.
34         y_pred_binary[y_pred_binary >= threshold] = 1.
35         y_pred_binary = y_pred_binary.reshape((width, height))
36
37         y_true_buffered = cv2.dilate(y_true, kernel, ↵
            ↵ iterations=dilate_i)
38         y_pred_binary_buffered = cv2.dilate(y_pred_binary, ↵
            ↵ kernel, iterations=dilate_i)
39
40         tp = np.sum(np.multiply(y_true_buffered, ↵
            ↵ y_pred_binary))
41         fp = np.sum(y_pred_binary) - tp
42         fn = np.sum(y_true - np.multiply(y_true, ↵
            ↵ y_pred_binary_buffered))
43
44         denom = tp + fp + fn
45         qual = tp / denom if denom > 0.0001 or denom < ↵
            ↵ -0.0001 else 1
46         qual_sum += qual
47
48     qual_avg = qual_sum / batch_size
49     return qual_avg
50 return quality

```

Code-Ausschnitt A.1: Implementation des Quality-Maßes in Python zur Verwendung im Training und Testen von Keras-Modellen.