



Technische Hochschule  
Ingolstadt

# **Aggregationsschnitt einer Checkout-Software auf Basis einer Hexagonalen Architektur mit Domain-Driven Design**

## **Bachelor-Arbeit**

Simon Thalmaier

**Erstprüfer** -

**Zweitprüfer** -

**Betreuer** Sebastian Apel

**Ausgabedatum** -

**Abgabedatum** -

Angaben zum Autor oder Vergleichbares.

Dokumenteninformation, Veröffentlichung, Rahmen, bibliographisches Angaben

---

## Abstract

Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like “Huardest gefburn”? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language.

---

## Zusammenfassung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

---

## Danksagung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung . . . . .	1
1.2	Projektfeld . . . . .	2
1.2.1	Das Unternehmen MediaMarktSaturn . . . . .	2
1.2.2	Benachbarte Systeme der Checkout-Software . . . . .	2
1.3	Motivation . . . . .	2
1.4	Ziele . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	SOLID-Prinzipien . . . . .	4
2.2	Architekturmuster . . . . .	5
2.2.1	Schichtenarchitektur . . . . .	5
2.2.2	Hexagonale Architektur . . . . .	6
2.3	Domain-Driven Design . . . . .	8
2.3.1	Value Object . . . . .	11
2.3.2	Entity . . . . .	11
2.3.3	Aggregate . . . . .	11
2.3.4	ApplicationService . . . . .	12
2.3.5	Domainservice . . . . .	12
2.3.6	Factory . . . . .	12
2.3.7	Repository . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Planungs- und Analysephase</b>	<b>13</b>
3.1	Ausschlaggebende Anwendungsfallbeschreibungen . . . . .	13
3.1.1	Erstellung eines neuen leeren Baskets . . . . .	13
3.1.2	Abruf eines Warenkorbs anhand dessen ID . . . . .	14
3.1.3	Stornierung eines offenen Baskets . . . . .	15
3.1.4	Aktualisieren der Checkout Daten des Baskets . . . . .	15
3.1.5	Hinzufügen eines Produktes anhand einer Produkt-ID . . . . .	15
3.1.6	Hinzufügen einer Bezahlungsmethode . . . . .	16
3.1.7	Initiierung des Bezahlprozesses und einfrieren des Baskets . . . . .	16
3.1.8	Ausführung des Bezahlprozesses und Finalisierung des Warenkorbs . . . . .	18
3.2	Projektfeld und technologische Vorschläge . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Festlegung des Datenmodells durch Domain-Driven Design</b>	<b>21</b>
4.1	Abgrenzung der Domain und Bounded Contexts mithilfe der Planungsphase . . . . .	21
4.2	Festlegen einer Ubiquitous Language . . . . .	22
4.3	Definition der Value Objects . . . . .	23
4.4	Bestimmung der Entities anhand ihrer Identität und Lebenszyklus . . . . .	29

<b>5</b>	<b>Design der Aggregates anhand der Anwendungsfälle</b>	<b>31</b>
5.1	Initiales Design als ein großes Basket-Aggregate . . . . .	31
5.1.1	Performance von großen Aggregates im Vergleich . . . . .	31
5.1.2	Parallele Bearbeitung eines großen Aggregates . . . . .	33
5.1.3	Bewertung des großen Aggregationsschnitts . . . . .	34
5.2	Trennung der Zahlungsinformationen von dem Basket-Aggregate . . . . .	34
5.2.1	Eventuelle Konsistenz zwischen Aggregates . . . . .	34
5.2.2	Atomare Transaktionen über mehrere Aggregates . . . . .	36
5.3	Verkleinerung der Aggregates durch Anpassung existierender Businessanforderungen .	36
5.4	Maximale Unterteilung des Models mithilfe asynchroner Verarbeitung . . . . .	37
<b>6</b>	<b>Implementierung des Proof-of-Concepts</b>	<b>38</b>
6.1	Design der Primären Adapter . . . . .	38
6.2	Umsetzen des Applikationskern . . . . .	39
6.3	Auslagerung von Funktionen in Applicationsservices . . . . .	39
6.4	Erstellen der Primären und Sekundären Adapter . . . . .	39
<b>7</b>	<b>Fazit und Empfehlungen</b>	<b>41</b>
	<b>Akronyme</b>	<b>i</b>
	<b>Glossar</b>	<b>i</b>
	<b>Literatur</b>	<b>ii</b>





# 1 Einleitung

Der Schwerpunkt dieses Projekts und somit zugleich dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung eines Proof-of-Concept (POC) einer Checkout-Software mithilfe von Domain-Driven Design und Hexagonaler Architektur. In den folgenden Kapiteln wird diese Problemstellung detaillierter beschrieben, das vorliegende Projektumfeld aufgezeigt, sowie die dahinterliegende Motivation und Ziele erläutert. Hierdurch soll ein grundlegendes Verständnis der Hintergründe dieser Arbeit geschaffen werden.

## 1.1 Problemstellung

In einem Onlineshop ist ein elementarer Bestandteil der sogenannte Warenkorb. In diesem können unter anderem Waren abgelegt werden, um sie eventuell zu einem späteren Zeitpunkt zu erwerben. Die Kernfunktionen eines Warenkorbs umfasst demnach das Hinzufügen bzw. Löschen von Artikeln und das Abändern ihrer Stückzahl. Im verlaufe des Kaufprozess sollte es weiterhin möglich sein eine Versandart einzustellen, Kundendaten zu hinterlegen und eine Zahlungsart auszuwählen. Nach erfolgreicher Überprüfung von Sicherheitsrichtlinien findet die Kaufabwicklung statt, der sogenannte 'Checkout'. Um die hier beschriebenen Anwendungsfälle zu verwirklichen, wird eine dafür designierte Software benötigt. In diesem Projekt wird diese realisiert und als eine 'Checkout-Software' bezeichnet.

Eine solche Anwendung stellt das Rückgrat des Onlineshops dar. Sie erfährt stetige Änderungen, besitzt eine Vielzahl von Businessanforderungen und ihre Einbindung in das Frontend beeinflusst weitergehend auch das Kundenerlebnis. Dadurch liegt ein hoher Fokus auf Qualitätsmerkmale, wie Stabilität, Wartbarkeit und Testbarkeit. Der Checkout-Prozess, welcher durch die Software abgewickelt wird, muss für alle relevanten Länder und ihre individuellen gesetzlichen Voraussetzungen fiskalisch korrekt ausgeführt werden. Jederzeit können Länder und dadurch eventuell neue Richtlinien hinzugefügt werden, wodurch umso mehr ein Fokus auf Flexibilität des Systems gelegt wird. Weiterhin können hinzukommende Businessprozesse eine Anpassung des Modells erfordern, dadurch wird ein anpassbares Datenkonstrukt benötigt, welches zugleich performant und wartbar bleibt. Das Datenmodell bestimmt weitestgehend wie die internen Softwarekomponenten und die externen Systeme mit der Anwendung interagieren. Daher hat eine Umfeldanalyse und klare Definition von Anwendungsfällen hohen Einfluss auf die resultierende Qualität des Entwicklungsprozesses. Die verwendete Architektur und das Softwaredesign muss somit Entwicklern dabei unterstützen diese Kriterien zu erfüllen.

Durch welche Entwurfsmuster und Vorgehensweise eine solche Software realisiert werden kann stellt die initiale Problemstellung des Projektes dar. Hierbei wurde aufgrund der im nachfolgenden Kapitel stattfindenden Analyse eine Hexagonale Architektur und ein Domain-Driven Ansatz ausgewählt. Weitergehend liegt der Hauptfokus hierbei darauf, wie ein konkreten Aggregationsschnitt des Datenmodells, basierend auf die vorliegende Systemumgebung und erforderlichen Anwendungsfällen des Proof-of-Concepts, die vorher genannten Bedingungen erfüllt.

### 1.2 Projektumfeld

- MediaMarktSaturn
- Currently Checkout-Software exist
- Vor bzw Nachgelagerte Systeme (CAR (Product Data?), Pricing API, Webshop BOS, XPay, Campaign Promotion CRM, Mirakl, Customer Order Service (COS)) [(aroma (FOM?), WCS, DMC, SAP)]

#### 1.2.1 Das Unternehmen MediaMarktSaturn

Dieses Projekt wurde in dankbarer Zusammenarbeit mit dem Unternehmen *MediaMarktSaturn Retail Group*, kurz *MediaMarktSaturn*, erarbeitet.

Als größte Elektronik-Fachmarktkette Europas bietet MediaMarktSaturn Kunden in über 1023 Märkten eine Einkaufsmöglichkeit einer Vielzahl von Waren. Die Marktzugehörigkeit ist hierbei unterteilt in den Marken *Media Markt* und *Saturn*.

Über die Jahre gewann der Onlineshop für Media Markt und Saturn an zunehmender Bedeutung, da die prozentuale Verteilung des jährlichen Gewinns in den Märkten zurückgegangen und im Onlineshop gestiegen ist. Dadurch wurden die Unternehmensziele dementsprechend auf die Entwicklung von komplexer Software zur Unterstützung des Onlineshops neu ausgelegt. Der MediaMarktSaturn Retail Group unterteilte Firma *MediaMarktSaturn Technology* ist hierbei verantwortlich für alle Entwicklungstätigkeiten und die X Mitarbeiter bündelt die technischen Kompetenzen des Unternehmens am Standort Ingolstadt.

Die Entwicklung des POCs wurde im Scrum-Team *Checkout & Payment* durchgeführt. Die sechs zugehörigen Teammitglieder sind zuständig einen unternehmensweiten universellen Checkout für alle Länder bereitzustellen, sowohl für den Onlineshops als auch im Markt oder per Handyapp.

#### 1.2.2 Benachbarte Systeme der Checkout-Software

### 1.3 Motivation

Durch den stetigen Anstieg an Komplexität von Softwareprojekten haben sich gängige Designprinzipien und Architekturstile für den Entwicklungsprozess von Software etabliert, um auch weiterhin die vielen Businessanforderungen in einem zukunftsicheren Ansatz zu realisieren. Eine Checkout-Software beinhaltet multiple Prozessabläufe, welche jederzeit angepasst und erweitert werden können. Dadurch ist eine flexible Grundstruktur entscheidend, um die Langlebigkeit der Software zu gewährleisten. Da der Checkout ein wichtiger Bestandteil eines jeden Onlineshops ist, besitzt die Software für MediaMarktSaturn eine zentraler Bedeutung. Folglich ist eine sorgfältige Projektplanung und stetige Revision der bestehenden Software relevant, um auch weiterhin einen reibungslosen Ablauf der Geschäftsprozesse zu ermöglichen. Zur Erreichung dieses Ziels verwendet die zum aktuellen Zeitpunkt bestehende Anwendung Domain-Driven Design und eine Hexagonale Architektur. Der erste Abschnitt dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Entscheidung, ob auch weiterhin bzw. warum ein solcher Aufbau verfolgt werden sollte, um die aktuelle Lösung nach Verbesserungsmöglichkeiten zu überprüfen.

Zudem existieren aufgrund des zugrundeliegenden Aggregationsschnitts Performance-Einbusen. In diesem Projekt wird analysiert, ob die Performance durch einen anderen Aufteilung des Datenmodells

und einem vertretbaren Aufwand gesteigert werden kann. Dies dient ebenfalls als nützliche Untersuchung der bestehenden Anwendung und kann als Reverenz für zukünftige Softwareprojekte verwendet werden, da viele Projekte mit ähnlichen Problemstellungen konfrontiert sind.

## **1.4 Ziele**

Aus den vorhergehenden Motivationen lassen sich folgenden Projektziele ableiten. Grundlegend stellt diese Arbeit eine Referenz für neue Softwareprojekte und Mitarbeiter dar. Dies kann zu einem erhöhten Grad an Softwarequalität im Unternehmen beitragen. Zugleich wird, durch die Analyse und Durchführung des Proof-of-Concepts, das bestehende Softwaredesign überprüft und herausgefordert. Dadurch kann ein mögliches Fazit der Arbeit sein, dass die aktuelle Architektur die erwünschten Merkmale nicht erfüllen oder womöglich sich keine Verbesserungsvorschläge ergeben. Letzteres stellt dennoch eine wichtige Erkenntnis für das Team und Unternehmen dar, da zukünftige Projekte mithilfe der verwendeten Vorgehensmodelle ähnliche Ergebnisse erzielen können. Sollten sich durch einen anderen Aggregationsschnitt Vorteile bilden, kann eine Folge dem Umbau der Software entsprechen.

## 2 Grundlagen

Zur erfolgreichen Durchführung dieses Projekts werden Kernkompetenzen der Softwareentwicklung vorausgesetzt. Diese beschäftigen sich weitestgehend mit Softwaredesign und Architekturstilen. Um zu verstehen, wie eine Architektur die Programmierer bei der Entwicklung einer Software unterstützt, muss zunächst festgelegt werden, welche Eigenschaften Quellcode erfüllen sollen, damit dieser positive Qualitätsmerkmale widerspiegelt. Hierzu wurden gängige Designprinzipien über die Jahre festgelegt, unter anderem die SOLID-Prinzipien, welche im nächsten Abschnitt erläutert werden.

### 2.1 SOLID-Prinzipien

Das weitverbreitete Akronym SOLID steht hierbei für eine Ansammlung von fünf Designprinzipien, namentlich das Single-Responsibility-Prinzip (SRP), Open-Closed-Prinzip (OCP), Liskovsches Substitutionsprinzip (LSP), Interface-Segregation-Prinzip (ISP) und das Dependency-Inversion-Prinzip (DIP). Sie sollen sicherstellen, dass Software auch bei Expansion weiterhin testbar, anpassbar und fehlerfrei agiert. Die grundlegenden Definitionen hinter den Begriffen sind:

- **Single-Responsibility-Prinzip:** Jede Softwarekomponente darf laut SRP nur eine zugehörige Aufgabe erfüllen. Eine Änderung in den Anforderungen muss somit eine Anpassung in einer einzelnen Komponente darstellen. Dies erhöht stark die Kohäsion der Software und lindert die Wahrscheinlichkeit von gewünschten Nebeneffekten bei Codeanpassungen.
- **Open-Closed-Prinzip:** Zur Sicherstellung, dass eine Änderung in einer Komponente keine Auswirkung auf eine andere besitzt, definiert das OCP Komponente als geschlossen gegenüber Veränderungen aber offen für Erweiterungen. Der erste Teil des Prinzips kann durch ein Interface realisiert werden, welches geschlossen ist, da die existierenden Methoden keine Anpassung erfahren dürfen, da sonst darauf basierender Code angepasst werden müsste. Dennoch können Modifikationen stattfinden, durch das Vererben der Klasse oder die Einbindung von neuen Interfaces.
- **Liskovsches Substitutionsprinzip:** Eine wünschenswerte Eigenschaft der Vererbung ist, dass eine Unterklasse S einer Oberklasse T die Korrektheit einer Anwendung nicht beeinflusst, wenn ein Objekt vom Typ T durch ein Objekt vom Typ S ersetzt wird. Dadurch wird die Fehleranfälligkeit bei einer Substitution im Code erheblich gesenkt und der Client kann sichergehen, dass die Funktionalität auch weiterhin den erwarteten Effekt birgt. Da das LSP sich mit der Komposition von Klassen beschäftigt, ist es für die nachfolgende Analyse vernachlässigbar.
- **Interface-Segregation-Prinzip:** Der Schnitt von Interfaces sollte so spezifisch und klein wie möglich gehalten werden, damit Clients Abhängigkeiten zu mehrere Interfaces besitzen, statt zu einem großen. Dadurch wird die Wiederverwendbarkeit und Austauschbarkeit der Komponente gewährleistet.

- **Dependency-Inversion-Prinzip:** Module sollten so unabhängig wie möglich agieren können. Dadurch wird eine erhöhte Testbarkeit und Wiederverwendbarkeit ermöglicht. Das zweiteilige DIP ist von zentraler Bedeutung für eine stabile und flexible Software. Der erste Abschnitt besagt, dass konzeptionell höherliegende Komponente nicht direkt von darunterliegenden Komponenten abhängig sein sollen, sondern die Kommunikation zwischen ihnen über eine Schnittstelle geschieht. Dies ermöglicht die Abstraktion von Funktionsweisen und löst die direkte Abhängigkeit zwischen Modulen auf. Weiterhin wird definiert, dass Interfaces nicht an die Implementierung gekoppelt werden sollen, sondern die Details von der Abstraktion abhängen. Dadurch werden die Abhängigkeiten invertiert und ermöglicht beispielhaft die Anwendung von Dependency Inversion.

Architekturen und Kompositionen können anhand dieser Prinzipien bewertet werden, zu welchem Grad sie in dem Modell verankert sind. Diese Vorgehensweise wurde ebenfalls verwendet, um die nachfolgenden Architekturstile miteinander zu vergleichen.

## 2.2 Architekturmuster

Eine Softwarearchitektur beschreibt die grundlegende Struktur der Module, Relationen zueinander und den Kommunikationsstil. Die Wahl der verwendeten Architektur beeinflusst somit die komplette Applikation und ihre Qualitätsmerkmale. Die zu bevorzugende Struktur ist stark abhängig von den Anwendungsfällen und existierenden Anforderungen.

In diesem Projekt soll ein Backend-Service erstellt werden, welcher mit den vorgelagerten Systemen über HTTP und REST kommuniziert. Dadurch wird die Auswahl der optimalen Architektur beschränkt, da beispielsweise Designmuster, wie Model-View-Controller oder Peer-To-Peer für dieses Projektumfeld generell keine Anwendung finden. Ein Pipe-Filter Aufbau eignet sich für die Verarbeitung von einer Vielzahl an Daten, jedoch ist das Abbilden von Entscheidungsstränge und Businessrichtlinien nur umständlich verwirklichtbar. Etablierte Architekturen für Backend-Software, welche die Businessprozesse als Kern der Applikation halten, müssen hingegen genauer untersucht werden. Die Schichtenarchitektur und Hexagonale Architektur erfüllen hierbei diese Bedingungen und bieten ein solides Fundament für dieses Projekt. Trotz der ähnlichen Ziele der Architekturen unterscheidet sich ihr Aufbau stark voneinander. In den folgenden Abschnitt werden beide Stile untersucht und anhand ihrer Tauglichkeit für eine Checkout-Software bewertet. Diese Analyse beinhaltet ebenfalls die nativ erhaltene Unterstützung durch die Architekturen zur Umsetzung von Designprinzipien, sodass die generelle Softwarequalität gewährleistet werden kann.

### 2.2.1 Schichtenarchitektur

Durch die Einteilung der Softwarekomponenten in einzelne Schichten wird eine fundamentale Trennung der Verantwortlichkeiten und ihre Domänen erzwungen. Die Anzahl der Schichten kann je nach Anwendungsfall variieren, liegt jedoch meist zwischen drei und vier Ebenen. Die meistverbreitete Variante beinhaltet die Präsentations-, Business- und Datenzugriffsschicht. Der Kontrollfluss der Anwendung fließt hierbei stets von einer höheren Schicht in eine tiefere gelegene oder innerhalb einer Ebene zwischen einzelnen Komponenten. Ohne eine konkrete Umkehrung der Abhängigkeiten ist der Abhängigkeitsgraph gleichgerichtet zum Kontrollflussgraph. Hierbei dient Abbildung 2.1 als eine beispielhafte Darstellung einer solchen Architektur.

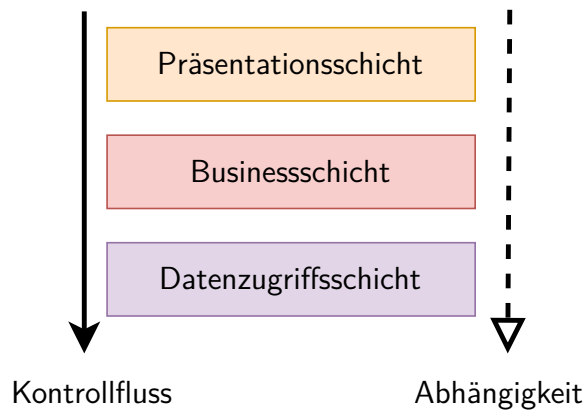


Abbildung 2.1: Beispielhafte Darstellung einer Drei-Schichtenarchitektur

Das Ziel einer Schichtenarchitektur ist die Entkopplung der einzelnen Schichten voneinander und das Erreichen von geringen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten. Dadurch sollen Qualitätseigenschaften wie Testbarkeit, Erweiterbarkeit und Flexibilität erhöht werden. Dank dem simplen Aufbau gewann dieser Architekturstil an großer Beliebtheit, jedoch aufgrund der fehlenden Restriktionen erhalten Entwicklern nur geringe Beihilfe zur korrekten Umsetzung des Softwaredesigns.

Beispielsweise sind die SOLID-Prinzipien nicht oder nur minimal im Grundaufbau verankert. Das Single-Responsibility-Prinzip wird durch die Schichteneinteilung unterstützt, da Komponente zum Beispiel nicht den Zugriff auf die Datenbank und gleichzeitig Businesslogik beinhalten kann. Nichtsdestotrotz ist eine vertikale Trennung innerhalb einer Schicht nicht gegeben, daher können weiterhin Komponenten mehrere, konzeptionell verschiedene Aufgaben entgegen des SRPs erfüllen. Um die einzelnen Schichten zu entkoppelt, kann die Kommunikation zwischen den Ebenen durch Schnittstellen geschehen. Das Open-Closed-Prinzip soll hierbei helfen, dass Änderungen an den Schnittstellen und ihren Implementierungen die Funktionsweise, worauf tieferliegende Schichten basieren, nicht brechen. Die konzeptionelle Zuteilung dieser Interfaces ist entscheidend, um eine korrekte Anwendung des Dependency-Inversion-Prinzips zu gewährleisten. Meist wird bei sogenannten CRUD-Applikationen eine Schichtenarchitektur verwendet. CRUD steht im Softwarekontext für 'Create Update Delete', somit sind Anwendungen gemeint, welche Daten mit geringer bis keiner Geschäftslogik erzeugen, bearbeiten und löschen. Im Kern einer solchen Software liegen die Daten selbst, dabei werden Module und die umliegende Architektur angepasst, um die Datenverarbeitung zu vereinfachen. Dadurch richten sich oft die Abhängigkeiten in einer Schichtenarchitektur von der Businessschicht zur Datenzugriffsschicht. Bei einer Anwendung, welche der zentralen Teil die Businesslogik ist, sollte hingegen die Abhängigkeiten stets zur Businessschicht fließen. Daher muss während des Entwicklungsprozesses stets die konkrete Einhaltung des DIPs beachtet werden, da entgegen der intuitiven Denkweise einer Schichtenarchitektur gearbeitet werden muss. Folglich bietet dieser Architekturansatz durch seine Simplität beiderseits Vorteile und Nachteile.

### 2.2.2 Hexagonale Architektur

Durch weitere architektonische Einschränkungen können Entwickler zu besseren Softwaredesign gezwungen werden, ohne dabei die Implementierungsmöglichkeiten einzuengen. Dieser Denkansatz wird in der von Alistair Cockburn geprägten Hexagonalen Architektur angewandt, indem eine klare Struktur der Softwarekomposition vorgegeben wird. Hierbei existieren drei Bereiche in denen die Komponenten

angesiedelt sein können, namentlich die primären Adapter, der Applikationskern und die sekundären Adapter.

Die gesamte Kommunikation zwischen den Adaptern und dem Applikationskern findet über sogenannte Ports statt. Diese dienen als Abstraktionsschicht und sorgen für Stabilität und Schutz vor Codeänderungen. Realisiert werden Ports meist durch Interfaces, welche hierarchisch dem Kern zugeteilt und deren Design durch diesen maßgeblich bestimmt. Somit erfolgt eine erzwungene Einhaltung des *Dependency-Inversion-Prinzip*, wodurch die Applikationslogik von externen Systemen und deren konkreten Implementierungen entkoppelt wird. Dies erhöht drastisch Qualitätsmerkmale der Anwendung, wie geringe Kopplung zwischen Komponenten, Wiederverwendbarkeit und Testbarkeit.

Unter den Adaptern fallen jegliche Komponenten, welche als Schnittstellen zwischen externen Systemen und der Geschäftslogik dienen. Dabei sind die primären Adapter jeglicher Code, welche durch externe Systeme angestoßen wird und hierbei den Steuerfluss in den Applikationskern trägt. Diese externen Systemen, wie Benutzerinterfaces, Test-Engines und Kommandokonsolen, können beispielsweise einen Methodenaufruf initiieren, welcher durch die primären Adapter verarbeitet werden. Andererseits bilden alle Komponenten, welche den Steuerfluss von dem Applikationskern zu externen Systemen tragen, die sekundären Adapter. Hierbei entsteht der Impuls im Vergleich zu den primären Adaptern nicht außerhalb der Applikation sondern innerhalb. Die, von den sekundären Adaptern angesprochenen Systemen, können beispielsweise Datenbanken, Message-Broker und jegliche im Prozess tieferliegende Software sein.

Letztendlich werden alle übrigen Module im Applikationskern erschlossen. Diese beinhalten Businesslogik und sind komplett von äußeren Einflussfaktoren entkoppelt. Der beschriebene Aufbau wird in Grafik 2.2 veranschaulicht.

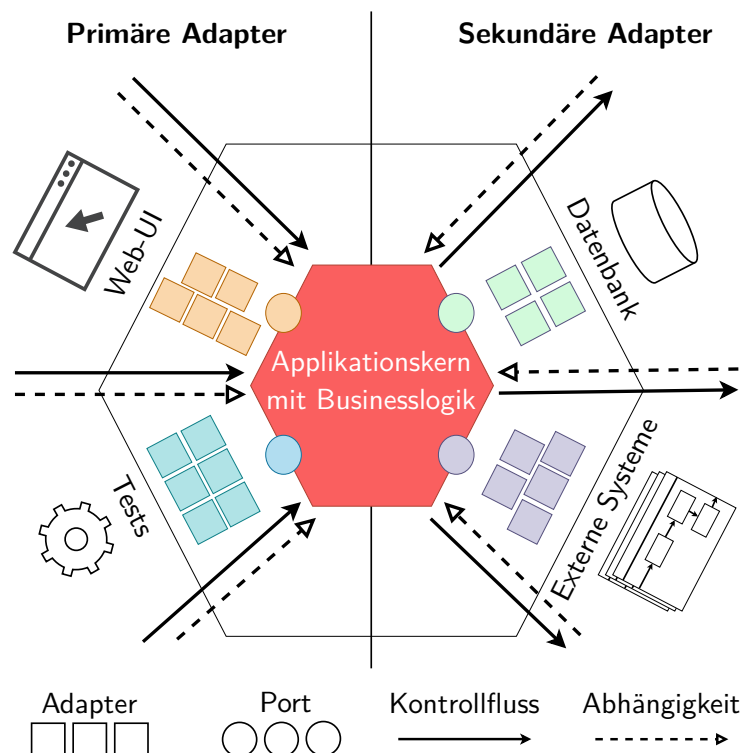


Abbildung 2.2: Grundstruktur einer Hexagonalen Architektur

Das Speichern von Daten ist ein simpler Anwendungsfall, welcher im folgenden beispielhaft in einer hexagonalen Applikation dargestellt wird. Die Daten, welche von einer Website an die Anwendung geschickt werden, initiieren den Steuerfluss in einem sogenannten Controller. Dieser ist den primären Adaptern zugeteilt und erledigt Aufgaben, wie Authentifizierung, Datenumwandlung und erste Fehlerbehandlungen. Über einen entsprechenden Port wird der Applikationskern mit den übergebenen Daten angesprochen. Innerhalb werden alle business-relevanten Aufgaben erfüllt. Darunter fallen das logische Überprüfen der Daten anhand von Businessrichtlinien, Erstellen neuer Daten und Steuerung des Entscheidungsflusses. In diesem Anwendungsfall sollen die Daten in einer Datenbank abgespeichert werden. Dementsprechend wird aus dem Anwendungskern über einen Port ein sekundäre Adapter aufgerufen, welcher für das Speichern von diesen Daten in einer Datenbank zuständig ist.

Durch diesen Aufbau wird eine, im Vergleich zur Schichtenarchitektur, strengere konzeptionelle Trennung der Verantwortlichkeiten erzwungen. Dies wirkt sich positiv auf die Einhaltung des *Single-Responsibility-Prinzips* aus. Zusätzlich wird die Anwendung des *Open-Closed-Prinzips* und *Interface-Segregation-Prinzips* erleichtert, durch die Einführung von Ports zwischen den Applikationskern und den, für das business-irrelevanten, Komponenten. Für erweiterbare Software ist das *Dependency-Inversion-Prinzip* von großer Bedeutung, da viele der vorherigen genannten Qualitätsmerkmalen beeinflusst

### 2.3 Domain-Driven Design

Bei der Entwicklung von Software, welche mehr als triviale Anwendungsfälle einer CRUD-Anwendung erfüllen soll, besteht stets die Gefahr bei steigender Anzahl von Anforderungen und Änderungen zu einem sogenannten 'Big Ball of Mud' zu **degradieren**. Die bestehende Architektur wird undurchschaubar, die Entstehungschancen für Bugs steigen und Businessanforderungen finden sich überall verteilt in der Anwendung. Somit kann die Wartbarkeit der Software nicht mehr gewährleistet werden und ihre Langlebigkeit ist stark eingeschränkt. Die oben analysierten Architekturstile können bei strikter Einhaltung dieses Risiko einschränken, jedoch bestimmen sie nur begrenzt wie das zugrundeliegende Datenmodell und die damit verbundenen Komponente designt werden sollen. In dem Buch *Domain-driven design: Tackling complexity in the heart of software* hat Eric Evans im Jahre 2003 zu diesem Zweck Domain-Driven Design entwickelt. Grundlegend wird durch diese Herangehensweise die Businessprozesse in den Vordergrund gerückt, der Problemraum in Domains eingeteilt und Richtlinien für das Design von dem Domainmodell festgelegt. Domain-Driven Design, kurz DDD, ist nicht gebunden an die darunterliegende Architektur oder verwendeten Technologien und folglich an verschiedenste Einsatzgebiete anpassbar.

Bevor die Bestandteile von DDD bestimmt werden können, sollte zu Beginn eine ausführliche Umfeldanalyse der Problemebene durchgeführt werden, um festzulegen welche Verantwortungen in den zu bestimmenden Bereich fallen. Somit wird unser Problemraum als eine *Domain* aufgespannt. Der Domainschnitt ist hierbei entscheidend, da basierend auf der Domain die dazugehörigen *Subdomains* und ihre *Bounded Contexts* bestimmt werden. Eine Subdomain bündelt die Verantwortlichkeiten und zugehörigen Anwendungsfälle in einen spezifischeren Bereich der Domain. Zur Bestimmung der Subdomains wird der Problemraum stets aus Businesssicht betrachtet und technische Aspekte werden vernachlässigt. Sollte die Domain zu groß geschnitten sein, sind dementsprechend die Subdomains ebenfalls zu umfangreich. Dadurch ist die Kohäsion der Software gefährdet und führt über den Lauf der Entwicklungsphase zu architektonischen Konflikten. Sollte eine Subdomain multiple Verantwortlichkeiten tragen, kann diese Subdomain weiter in kleinere Subdomains eingeteilt werden. Für einen



Domain-Driven Ansatz ist es entscheidend die Definitionsphase gewissenhaft durchzuführen, damit eine stabile Grundlage für die Entwicklung geboten werden kann.

Als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Lösungsebene, werden die Subdomains in sogenannte Bounded-Contexts eingeteilt. Ein Bounded-Context kann eine oder mehrere Subdomains umfassen und bündelt ihre zugehörigen Aufgabengebiete. Wie es in der Praxis häufig der Fall ist, können Subdomains und Bounded-Context durchaus identisch sein. In jedem Bereich sollte nur ein Team agieren, um Konflikte zu vermeiden. Andernfalls kann dies ein Indiz sein, dass die Subdomains zu groß geschnitten worden sind. Jeder Bounded-Context besitzt zudem eine zugehörige Ubiquitous Language. Die Festlegung der *Ubiquitous Language* stellt einen wichtigen Schritt in deinem Domain-Driven Ansatz dar. Diese definiert die Bedeutung von Begriffen, welche durch die Stakeholder und das Business verwendet werden, eindeutig. Dadurch können Missverständnisse in der Kommunikation zwischen dem Business und den Entwicklern vorgebeugt und eventuelle Inkonsistenzen aufgedeckt werden. Der größte Vorteile ergibt sich allerdings, sobald auch das Datenmodell diese Sprache widerspiegelt. Entities können Nomen darstellen, Funktionen können Verben realisieren und Aktionen können als Event verwirklicht werden. Somit sind Businessprozesse auch im Quelltext wiederzufinden. Folglich steigert dies die Verständlichkeit und Wartbarkeit der Software. Zudem lassen sich Testfälle und Anwendungsfälle leichter definieren und umsetzen. Wichtig ist, dass diese Sprache nur innerhalb eines Bounded-Context gültig ist. Beispielhaft kann der Begriff 'Kunde' in einem Onlineshop einen zivilen Endkunden, jedoch im Wareneingang eine Lieferfirma beschreiben. Daher ist bei der Kommunikation zwischen Teams unterschiedlicher Subdomains zu beachten, dass Begriffe eventuell unterschiedliche Bedeutung besitzen.

Die Domains, Subdomains, Bounded-Contexts und ihre Kommunikation zueinander wird durch eine Context-Map dargestellt. Diese stellt ein wichtiges Artefakt der Definitionsphase dar und kann als Tool zur Bestimmung von Verantwortlichkeiten und Einteilung neuer Anforderungen in die Domains benutzt werden. Sollte eine eindeutige Zuteilung nicht möglich sein, spricht dies für eine Entstehung eines neuen Bounded-Contexts und eventuell einer neuen Subdomain. Sowie eine Software Anpassungen erlebt, entwickelt sich die Context-Map ebenfalls stetig weiter. Zur Veranschaulichung wurde in Abbildung 2.3 das Personalwesens eines Unternehmens als Domain ausgewählt und in Subdomains bzw. Bounded-Contexts aufgeteilt. Abhängig von der Unternehmensgröße und -strategie kann der Schnitt der Bounded-Contexts auch umfassender oder spezialisierter ausfallen.

Innerhalb eines Bounded-Contexts wird die grundlegende Architektur durch das zugehörige Team bestimmt. Je nach Sachverhalt des jeweiligen Kontexts kann sich diese stark von zwischen Bounded-Contexts unterscheiden. Beliebte Modellierungs- und Designstile in Verbindung mit DDD sind unter anderem Microservices, CQRS, Event-Driven Design, Schichtenarchitektur und Hexagonale Architektur. In den vorhergehenden Unterkapiteln wurden bereits die Vorzüge und Nachteile der zwei zuletzt genannten Architekturen erläutert. Auf Basis dieser Analyse wird generell für komplexere Software eine Hexagonale Architektur bevorzugt. Zudem verfolgen Domain-Driven Design und Hexagonale Architektur ähnliche Ziele, wodurch die Software natürlich an Kohäsion und Stabilität gewinnt. Im Zentrum der beiden steht das Domain-Modell, welches ohne Abhängigkeiten zu externen Modulen arbeitet. Primäre und Sekundäre Adapter sind hierzu technisch notwendige Komponente, welche durch fest definierte Ports auf den Applikationskern zugreifen können. Somit ermöglicht die Kombination aus Domain-Driven Design und Hexagonaler Architektur in Zeiten von häufigen technischen Neuheiten und komplexen Businessanforderungen weiterhin eine anpassbare, testbare und übersichtliche Software zu verwirklichen.

Auf ein solches solides Grundgerüst wird mithilfe der Kenntnisse über den Bounded-Context das Domain-Modell gesetzt. Es umfasst sowohl die Datenhaltung als auch das zugehörige Verhalten,

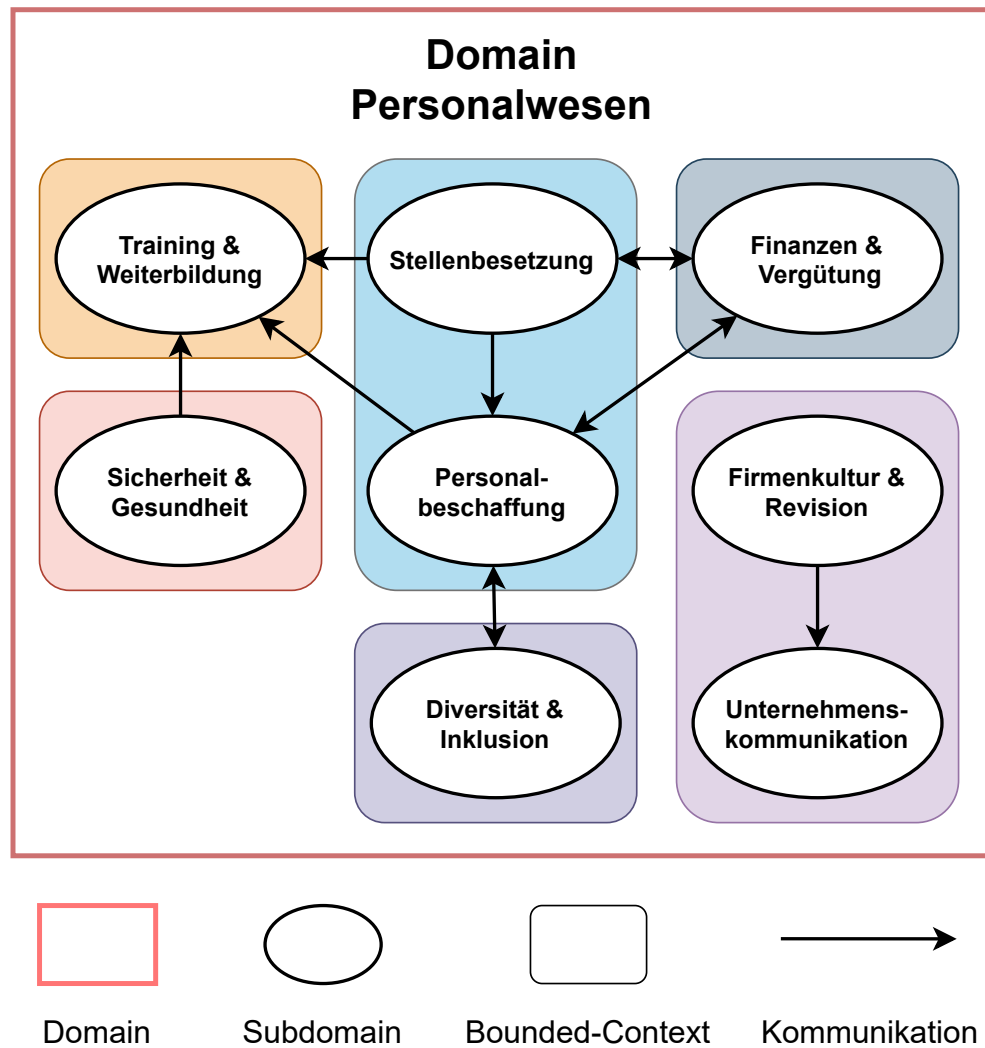


Abbildung 2.3: Beispiel einer Context-Map anhand des Personalwesens

wie zum Beispiel die Erstellung von Objekten, die Modifikation ihrer Attribute oder die dauerhafte Speicherung. Für diesen Zweck existieren in Domain-Driven Design mehrere Arten von Komponente, welche anhand ihrer Verantwortlichkeiten zugeordnet werden. Die korrekte Zuordnung der Klassen und ihrer Rollen in DDD ist entscheidend für ein skalierbares Modell, daher wird in den folgenden Unterkapiteln ein zentraler Überblick über die einzelnen Bestandteile ausgeführt.

### 2.3.1 Value Object

Die Value Objects bilden eine Möglichkeit zusammengehörige Daten zu gruppieren. Entscheidend ist hierbei die Frage, durch welche Eigenschaft der Zusammenschluss identifiziert wird. Die Identität eines Value Object wird alleinig durch die Gesamtheit ihrer Attribute bestimmt. Somit sind zwei Value Objects mit gleichen Werten auch identisch und miteinander ersetzt bar.

Ein konkretes Beispiel wäre eine Klasse *Preis*, welche die Attribute für Bruttobetrag, Nettobetrag und Mehrwertsteuer enthält. In den meisten Bounded-Contexts sind alleinig die konkreten Beträge von Interesse. Sollte ein Preis die gleichen Wertebelegung besitzen, gelten sie somit als identisch und austauschbar. Bei einer Aktualisierung eines Preises, kann das Objekt gelöscht und durch ein neuen Preis mit den gegenwärtigen Werten ersetzt werden.

Aus diesen Grund gelten Value Objects als immutable, da sie selbst keinen Werteverlauf besitzen. Dies gilt als positives Designmuster, da unveränderbare Objekte eine erhöhte Wiederverwendbarkeit genießen und unerwünschte Seiteneffekte unterdrücken. Weiterhin ist ein Resultat aus dieser Richtlinie, dass sie selbst keinen Lebenszyklus besitzen, jegliche eine Momentaufnahme des Applikationszustandes darstellen.

### 2.3.2 Entity

Im Gegenzug zu einem Value Object wird eine Entity nicht durch ihre Werte identifiziert, sondern behalten bei Wertanpassung die gleiche Identität bei. Folglich gelten hier zwei Entities mit einer identischer Wertbelegung als ungleich und repräsentieren unterschiedliche Objekte.

Eine Klasse *Kunde* stellt einen guten Vertreter dieser Kategorie dar. In vielen Bounded-Contexts wird ein Kunde durch eine eindeutige Id ausgewiesen. Somit sind zwei Kunden mit gleichen Namen dennoch nicht die gleichen Personen. Sollte eine Person einen Namenswechsel erfahren, muss das zugehörige Objekt ebenfalls aktualisiert werden.

Daher folgt auch der Unterschied zu den Value Objects, dass eine Entity durchaus einen Lebenszyklus aufweisen. Sie werden erstellt, erhalten Anpassungen und irgendwann vom System wieder gelöscht.

### 2.3.3 Aggregate

Innerhalb des Bounded-Context ist ein Aggregate ein Verbund aus Entities und Value Objects, welches von außen als eine einzige Einheit wahrgenommen wird. Externe Komponente dürfen ein Aggregat nur durch das sogenannte Aggregate Root referenzieren und nicht direkt auf enthaltene Objekte zugreifen. Es stellt die Schnittstelle zwischen dem Aggregate und der Außenwelt dar.

Im Bereich der Personalverwaltung ist ein mögliches Aggregat das des *Mitarbeiters*. Das Aggregat Root ist die Klasse *Mitarbeiter* selbst. Diese beinhaltet Value Objects, wie *Gehalt* und *Abteilung*. Zu

beachten ist, dass abhängig vom jeweiligen Bounded-Context zum Beispiel der Werteverlauf des Gehalt dieses Mitarbeiters vielleicht relevant ist und dementsprechend als eine Entity realisiert werden kann.

Um ein effektives Design der Aggregates zu gewährleisten, wurden einige Einschränkungen an Aggregates beschlossen. Unter anderem müssen Businessanforderungen bzw. Invarianten der enthaltenen Objekte vor und nach einer Transaktion erfüllt sein. Dadurch sind die Aggregates-Grenzen durch den minimalen Umfang der transaktionalen Konsistenz ihrer Komponente gesetzt. Zur Folge dessen, wird für jedes Select oder Update eines Datensatzes immer das komplette Aggregat aus der Datenbank geladen. Große Aggregates leiden aus diesem Grund an eingeschränkter Skalierbarkeit und Performance. Eine weitere Bedingung ist, dass pro Transaktion jeweils nur ein Aggregat bearbeitet werden darf. Dies schränkt umfangreichere Aggregates durch fehlende Parallelität weiter ein. Bei Anwendung der letzteren Regel an die Mitarbeiter-Klasse, wäre es nicht möglich das Gehalt und die Abteilung durch zwei unterschiedliche Personalmitarbeiter anzupassen, da eine Transaktion der beiden Änderungen auf einen veralteten Stand operiert und zur Vermeidung eines Lost Updates zurückgerollt werden muss.

Im Falle, dass ein Anwendungsfall die Anpassung zweier Aggregates benötigt, kann dies durch eventuelle Konsistenz ermöglicht werden. Dadurch entsteht kurzzeitig ein inkonsistenter Stand der Daten, da zwei Transaktionen asynchron gestartet werden. In vielen Fällen ist ein Verzug der Konsistenz aus Sicht der Businessanforderungen akzeptabel und stellt eine gute Alternative zur Zusammenführung der beiden Aggregates dar.

### 2.3.4 Applicationservice

Sofern Funktionalitäten innerhalb der Domain nicht eindeutig einer oder mehreren Entities bzw. Wertobjekt zugewiesen werden können, werden konzeptionell zusammenhängende Aufgaben in einem Domainservice gebündelt. Um Seiteneffekte durch Zustandsänderungen zu vermeiden halten Service allgemein keinen eigenen Zustand.

### 2.3.5 Domainservice

Ähnlich zu den Domainservices sind Applicationservices zur zustandslosen Bereitstellung von Funktionen zuständig. Hierbei ist das Unterscheidungsmerkmal, dass sie kein Kenntnisse über Wissen der Domain besitzen dürfen.

### 2.3.6 Factory

Die wiederholten Erstellung von komplexen Objekten kann in eine Factory ausgelagert werden, um eine erhöhte Wiederverwendbarkeit zu erreichen.

### 2.3.7 Repository

Der Datenzugriff mittels einer Datenbank wird durch ein Repository ermöglicht. Dadurch werden die konzeptionelle Abhängigkeiten zur Datenbank von der Domain getrennt. Daher sollte generell die Kommunikation zu Repositories über ein fest definiertes Interface geschehen.

## 3 Planungs- und Analysephase

Einleitend werden Struktur, Motivation und die abgeleiteten Forschungsfragen diskutiert.

### 3.1 Ausschlaggebende Anwendungsfallbeschreibungen

Um den Kunden im Onlineshop oder den Mitarbeitern in den Märkten eine einwandfreie Benutzererfahrung zu gewährleisten, soll die Checkout-Software alle Prozesse vom Erstellen eines Warenkorbs bis hin zum Abschließen des Kaufprozesses verwalten können. Dadurch entstehen eine Vielzahl von möglichen Anwendungsfällen, welche alle korrekt und möglichst performant abgearbeitet werden müssen. Zur Dokumentation dieser Prozesse empfiehlt es sich in der Entwicklungsphase die Prozessabläufe in einem Diagramm abzubilden. Zusätzlich zu den Dokumentationszwecken der Diagramme kommt noch hinzu, dass eventuelle Unklarheiten geklärt, Bedingungen an den Daten oder Prozessen aufgedeckt und sich natürlich die Benutzung der Ubiquitous Language etabliert. Auf Basis dieser Anwendungsfälle ist es uns später möglich Artefakte des Domain-Driven Designs leichter zu definieren. Vor allem die entscheiden Invarianten bilden sich heraus und das Datenmodell kann einfacher in Aggregate unterteilt werden. Für den Proof-Of-Concept sind die wichtigsten Anwendungsfälle in diesem Kapitel reduziert definiert. Zu beachten war bei der Prozessvereinfachung, dass Bedingungen zwischen Datenstrukturen weiterhin unverändert sind, damit die Aggregataufteilung im Hauptkaptiel dieser Arbeit nicht von den möglichen Designs der Produktivianwendung abweicht. Dieses Kapitel dient somit als Grundlage für das Design der Software und wird in späteren Kapiteln referenziert. Die folgenden Prozesse wurden in Zusammenarbeit zwischen den Teams des Onlineshops, Checkouts und zuständigen Stakeholdern erarbeitet. Als Darstellungsmethode wurde sich auf Swimlane-Diagramme festgelegt, somit kann die Interaktion zwischen den Systemen ebenfalls abgebildet werden.

#### 3.1.1 Erstellung eines neuen leeren Baskets

Ein Basket, also ein Warenkorb, stellt das grundlegendste Konstrukt des Checkouts dar. Die Anfrage auf eine Erzeugung eines Warenkorbs kann aus verschiedenen Gründen geschehen. Sollte ein nicht eingeloggtter Kunde zum ersten mal den Onlineshop aufrufen, wird ein Warenkorb mit der Session-ID als Kundendaten erstellt. Sobald dieser Kunde sich einloggt wird eine Anfrage gesendet die Session-ID durch die Kundendaten zu ersetzen. Ein Warenkorb kann auch erzeugt werden durch einen Mitarbeiter, durch beispielsweise eine physikalische Kasse im Markt. Die verschiedensten Zugriffsmethoden, wie Onlineshop oder Handyapp, sind unter den Begriff 'Touchpoint' zusammengefasst. Durch diese Beschreibung ergeben sich mindestens zwei Anwendungsfälle: Die Erstellung eines Baskets und das Setzen von Kundendaten. Eine Anlegung besteht hauptsächlich nur aus dem Empfangen der Kundendaten und Identifikation des Marktes, hier als Outlet-ID bezeichnet, und dem permanente Speicherns des neuen Warenkorbs. Dem Touchpoint wird das komplette Basket-Objekt zurückgegeben inklusive einer Basket-ID zum eindeutigen identifizieren diesen Warenkorbs. Dieser Prozess ist in Abbildung 3.1 verdeutlicht.

Es sind keine Invarianten zu prüfen, außer dem korrekten Format der Empfangsdaten. Dies gilt ebenfalls für das Aktualisieren der Kundendaten.

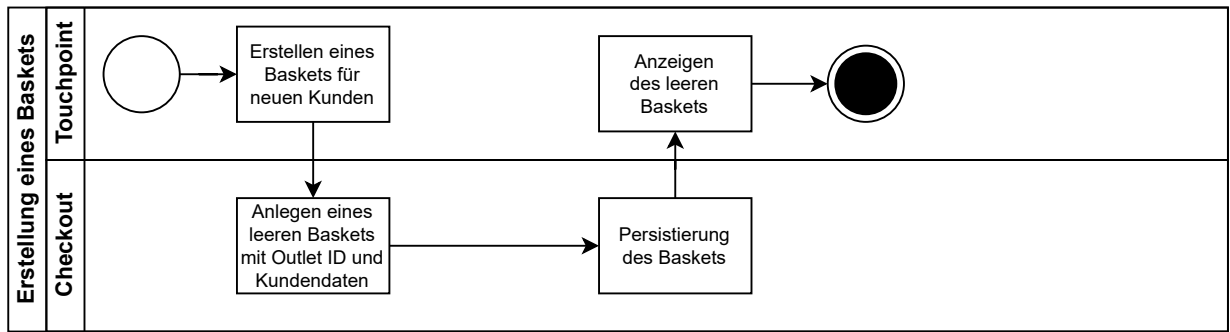


Abbildung 3.1: Swimlane Diagramm für die Erstellung eines Baskets

### 3.1.2 Abruf eines Warenkorbs anhand dessen ID

Anhand der Basket-ID kann nun der Warenkorb jederzeit durch den Touchpoint abgefragt werden. Die wichtigste Bedingung für diesen Anwendungsfall besagt, dass der Warenkorb stets mit aktuellen Daten befüllt sein muss. Dies stellt eine Herausforderung dar, da sich Preise und Artikeldetails mit dem Verlauf der Zeit ändern. Dies wird möglichst performant durch das Zwischenspeichern dieser Informationen auf begrenzte Dauer gelöst. Dadurch wird nicht bei jedem Aufruf alle Informationen neu geladen, sind aber dennoch zu einer hohen Wahrscheinlichkeit aktuell. Genaue Zeitspannen wurden durch die verantwortlichen Teams festgelegt. Dies bedeutet jedoch, dass die Software das Alter der im Warenkorb enthaltenen Daten durchführen und gegebenenfalls aktualisieren muss. Auf Authentifizierung und Autorisierung wurde in dem POC und den Diagrammen verzichtet, da es sich rein um eine technische Funktion handelt und keine Relevanz für dieses Projekt besitzt. Es verbleiben Aufgaben, wie die Suche des Warenkorbs innerhalb der Datenbank, die De- und Serialisierung der Daten und das Zurückgeben von Fehlern, falls der Warenkorb nicht gefunden werden konnte. Das Schaubild 3.2 stellt das Swimlane Diagramm für diesen Anwendungsfall dar.

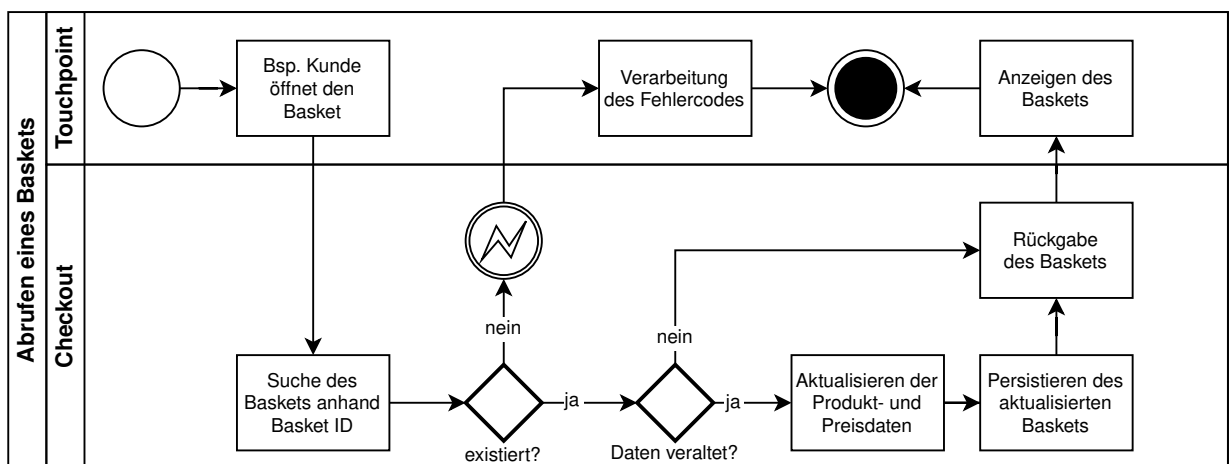


Abbildung 3.2: Swimlane Diagramm für den Abruf eines Baskets

### 3.1.3 Stornierung eines offenen Baskets

Der Warenkorb kann sich in verschiedenen Zuständen befinden. Hauptsächlich wird unterschieden zwischen 'Open', 'Freeze', 'Finalized' und 'Canceled'. Sollte beispielsweise ein Kunde beim Bezahlen an der Kasse im Markt nicht ausreichend Geld bei sich haben, muss der Warenkorb geschlossen werden. Die tatsächliche Löschung eines Baskets ist aus rechtlichen Gründen strengstens untersagt. Für diesen Prozess ist es notwendig vorher zu prüfen, ob der Warenkorb sich im Zustand 'Open' befindet, da ein eingefrorener, abgeschlossener oder bereits stornierter Warenkorb nicht storniert werden kann, um den Zustandsverlauf zu wahren. Dies stellt eine Invariante dar, welche in der Software sichergestellt werden muss. Im Diagramm 3.3 ist dieser Vorgang zusammengefasst abgebildet.

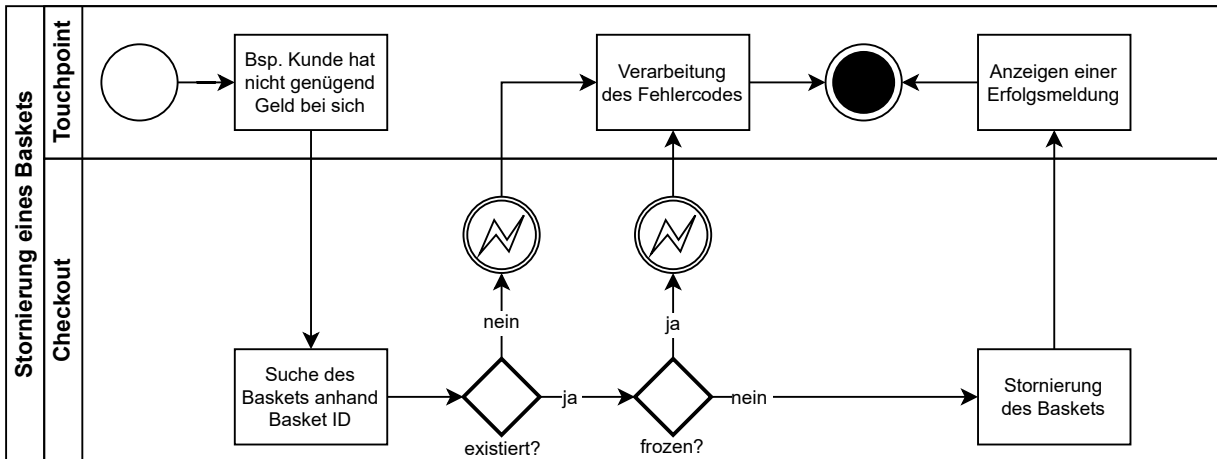


Abbildung 3.3: Swimlane Diagramm für die Stornierung eines Baskets

### 3.1.4 Aktualisieren der Checkout Daten des Baskets

Ein Warenkorb besitzt eine große Menge an Attributen. Einige dieser werden implizit durch einen Prozess innerhalb der Software gesetzt, andere durch Empfangen der Daten von einem externen System aktualisiert. Beim sogenannten 'Checkout-Prozess' werden einige dieser Daten vom Touchpoint an den Warenkorb gesendet. Darunter zählen Kundendaten, Bezahlmethoden und Zustellungsart. Da diese Daten im gleichen Schritt durch das vorgelagerte System gesetzt werden, bietet es sich an, diese Schnittstelle zu designen, dass all diese Informationen gleichzeitig angepasst werden können. Eine Überprüfung der Daten erfolgt in diesem Schritt dabei nicht, mit der Ausnahme, dass die gewählte Zustellungsart, in diesem Bounded-Context 'Fulfillment' genannt, für den ausgewählten Warenkorb und dessen Produkte überhaupt verfügbar sein muss. Zudem ist es notwendig eine Neuberechnung der Geldbeträge, wie Gesamtpreis, Mehrwertsteuer usw., durchzuführen, falls eine neue Bezahlmethode hinzugefügt worden ist. Diese Bedingungen und der dazugehörige Workflow sind im Swimlane Diagramm 3.4 veranschaulicht worden.

### 3.1.5 Hinzufügen eines Produktes anhand einer Produkt-ID

Der Warenkorb fungiert ebenfalls als ein Speicher einer Liste von Artikeln und deren Quantität, Produktbeschreibung und ausgewählte Service bzw. Garantien. Der aufwändigste und deswegen

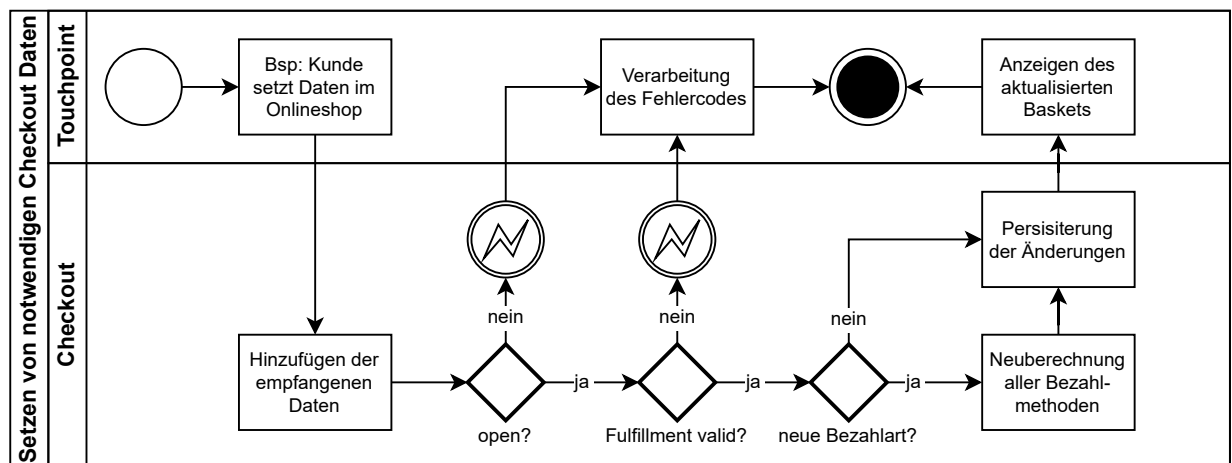


Abbildung 3.4: Swimlane Diagramm für das Setzen der Checkout Daten

in Grafik 3.5 abgebildete Prozess ist hierbei das Hinzufügen eines neuen Produktes zum Basket. Dabei sendet der Client lediglich die zugehörige Produkt-ID, deswegen müssen externe System von der Checkout-Software aufgerufen werden. Dazu gehört die Product-API, welche alle notwendigen Produktdetails sendet. Der Artikelpreis selbst ist hierbei nicht in den Produktinformationen zu finden, da dieser vom jeweiligen Markt unterschiedlich sein kann. Daher ist ein weiterer Aufruf einer API benötigt, welche zu den IDs des Produktes und Outlets den jetzigen Preis zurückschickt. Diese zwei APIs müssen ebenfalls bei der Aktualisierung des Warenkorbs in anderen Anwendungsfällen aufgerufen werden. Zusätzlich folgt eine Validierung des Warenkorbs auf verschiedene Parameter. Unter anderem darf die Gesamtanzahl der Artikel im Warenkorb keinen festen Wert überschreiten. Der aktualisierte Basket wird beim erfolgreichen Abschluss der Operation an den Touchpoint zurückgegeben.

### 3.1.6 Hinzufügen einer Bezahlungsmethode

Eine weiter essentielle Funktion ist das Hinzufügen von Bezahlarten, damit der Kauf erfolgreich initiiert werden kann. Da es sich nur um das ungeprüfte Anhängen der Bezahlinformationen handelt, müssen keine strengen Validierungen vorgenommen werden, da diese Aufgabe durch ein externes System in einem späteren Schritt des Checkouts erledigt wird. Dennoch werden logische Überprüfungen durchgeführt, wie zum Beispiel, dass der Warenkorb nicht leer oder bereits bezahlt sein darf, da dies keinen Anwendungsfall in diesem Prozess darstellt. Ebenfalls ist eine Neuberechnung aller Bezahlinformationen notwendig. Analog zu den vorgehenden Fällen wurde das Diagramm 3.6 designt.

### 3.1.7 Initiierung des Bezahlprozesses und einfrieren des Baskets

Nachdem die Bearbeitung des Baskets abgeschlossen ist, kann der Bezahlprozess gestartet werden. Hierbei muss der Warenkorb einen konsistenten und validen Stand besitzen. Sollte dies der Fall sein, wird der Basket in den Status 'Freeze' gestellt und jegliche weitere Datenänderungen verhindert. Der Bezahlprozess wird von einer externen Software abgewickelt. Alleinig eine Referenz auf diesem Prozess in dem System wird im Warenkorb gespeichert. Eine vereinfachte Darstellung des Prozesses bietet Abbildung 3.7



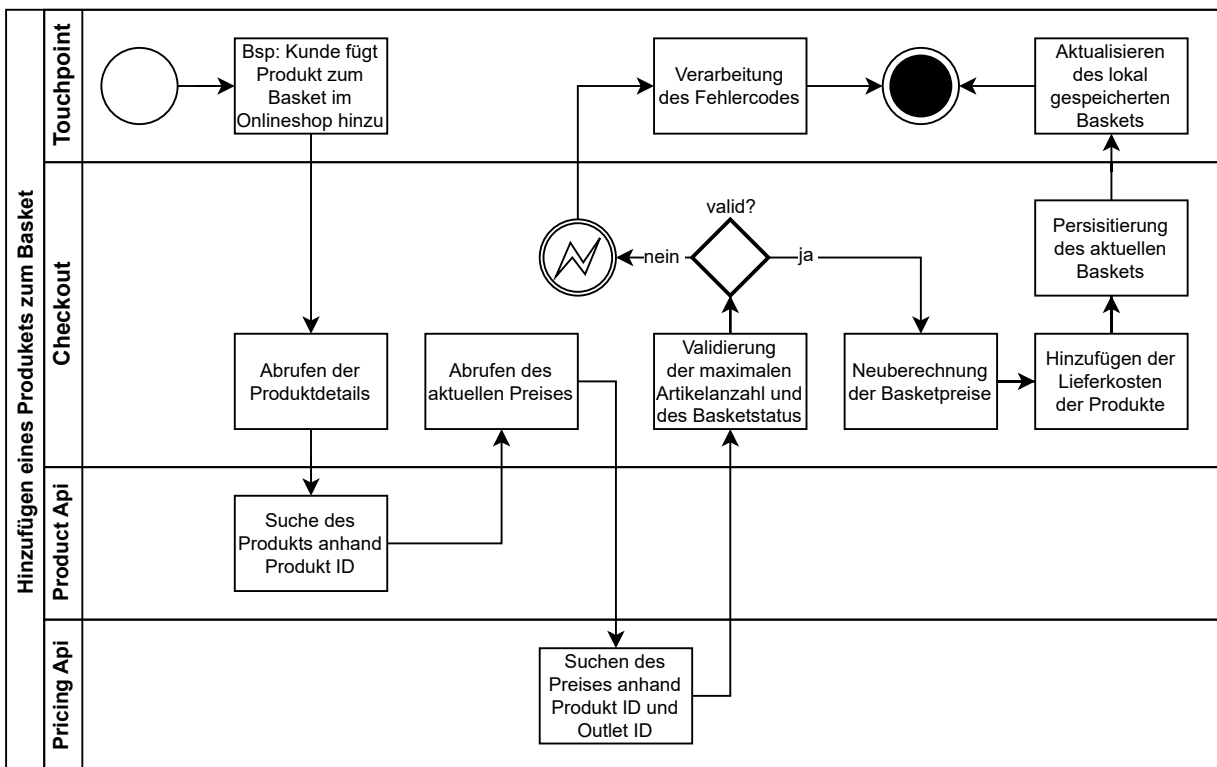


Abbildung 3.5: Swimlane Diagramm für das Hinzufügen eines Produktes

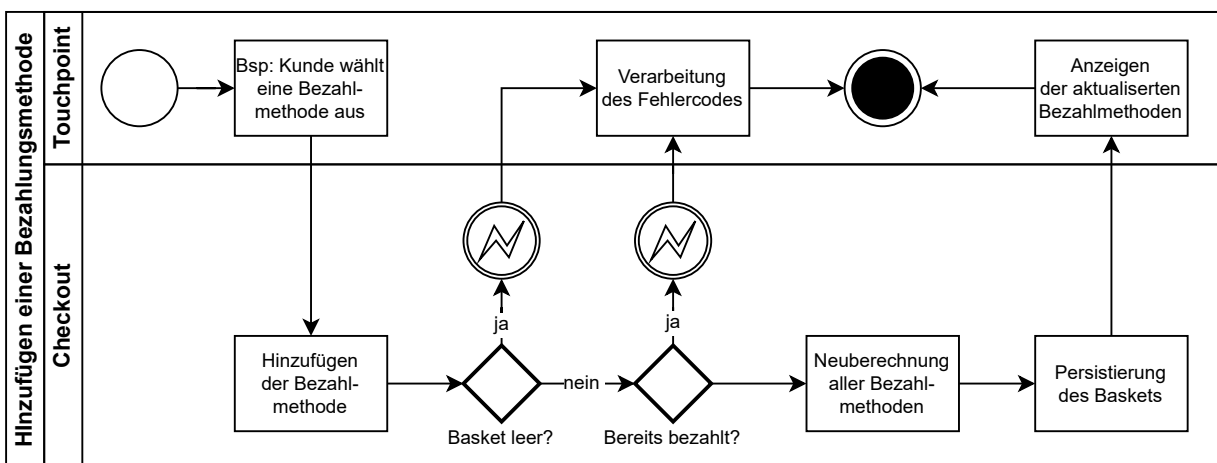


Abbildung 3.6: Swimlane Diagramm für das Hinzufügen einer Bezahlmethode

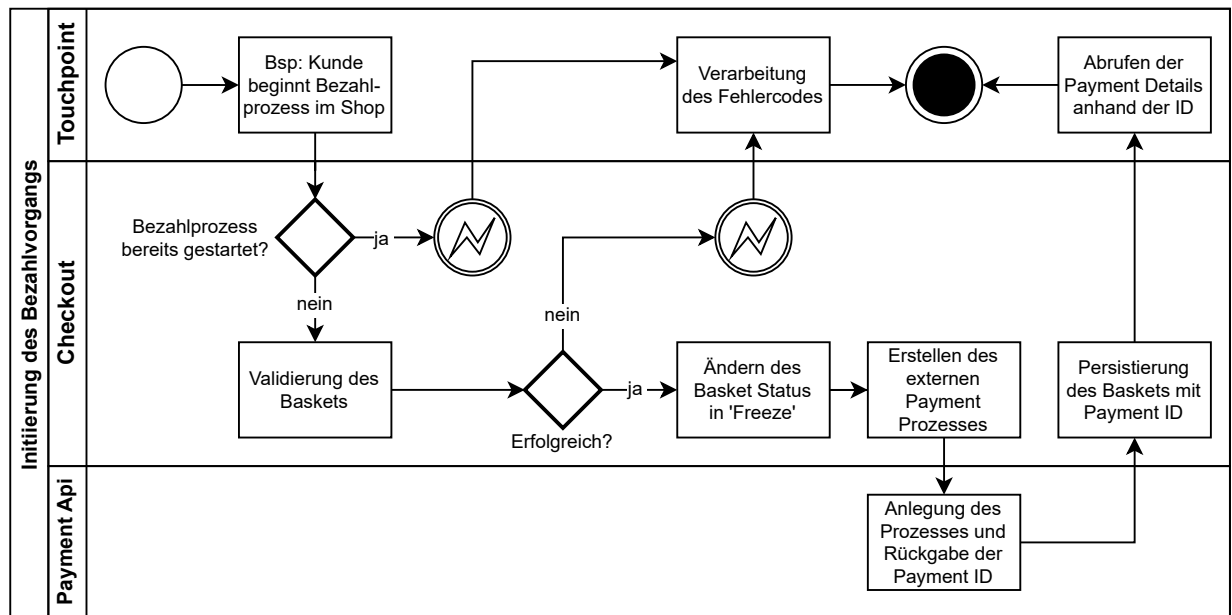


Abbildung 3.7: Swimlane Diagramm für das Initiieren des Bezahlvorgangs

### 3.1.8 Ausführung des Bezahlprozesses und Finalisierung des Warenkorbs

Als letzter, höchst relevanter Anwendungsfall befindet sich der Abschluss des Bezahlvorgangs, abgebildet in Figur 3.8. Die Checkout-Software dient hierbei als Proxy zwischen Touchpoint und Payment-API. Sofern die Bezahlung erfolgreich war, wird der Status des Baskets auf 'finalized' gestellt. Zugleich wird eine Bestellung durch die Order-API erstellt und im Basket durch eine Referenz verlinkt.

Es existieren noch weiter simple Anwendungsfälle, jedoch auf genaue Ausführung wurde verzichtet, um den Fokus der Arbeit beizubehalten. Durch die Anforderungen an unsere Software kann auch bestimmt werden, welche Systeme als Kommunikationspartner benötigt werden. Dies ergibt das Umfeld des Projekts.

## 3.2 Projektumfeld und technologische Vorschläge

Die komplette Systemumgebung von MediaMarktSaturn ist eine komplexe Struktur mit zahlreichen Abhängigkeiten zwischen Teams und ihren betreuten Systemen. Es ist unmöglich ein solches Konstrukt aufzubauen ohne die Kommunikation der Systeme zu definieren. Als Leitfaden für unser Projektumfeld dienen die Anwendungsfälle des vorgehenden Unterkapitels. In dem vereinfachten Checkout-Prozess werden sechs verschiedene Schnittstellen aufgerufen. Dass plötzliche Änderungen von Systemen keine Auswirkung auf die Funktionsweise der abhängigen Clients hat, wird ein API-Contract beschlossen, welcher die benötigten Informationen, mögliche Fehlerfälle und die zurückgelieferten Daten festlegt. Der Proof-Of-Concept orientiert sich an diese Contracts, erleichtert allerdings die Kommunikationsbedingungen, um unnötigen Boilerplate zu unterdrücken. Als Ergebnis stellt die Grafik 3.9 ein Context-Diagramm unserer Umgebung dar.

Zusätzlich bestehen noch firmen- bzw. teaminterne Vorbedingungen. Wo sinnvoll anwendbar, wird in der Firma Java als Entwicklungssprache angewandt. Über die letzten Jahre gewann Kotlin an Beliebtheit

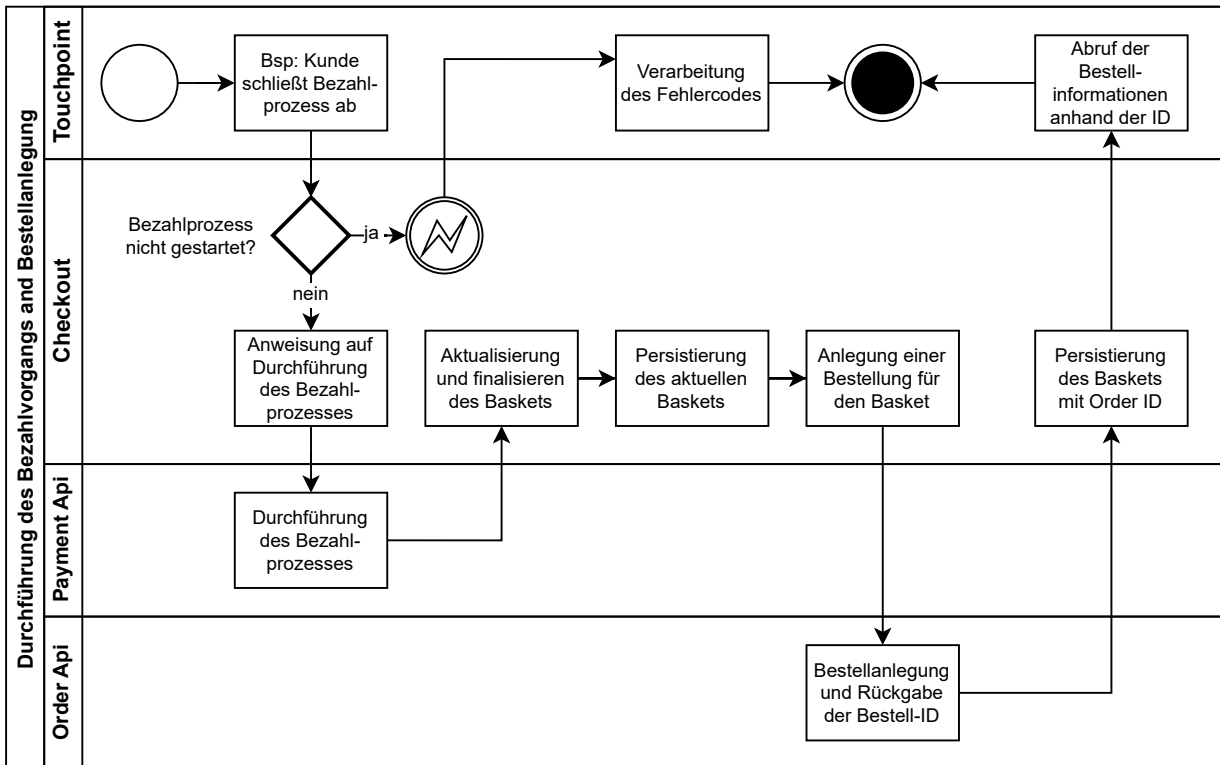


Abbildung 3.8: Swimlane Diagramm für das Ausführen des Bezahlvorgangs

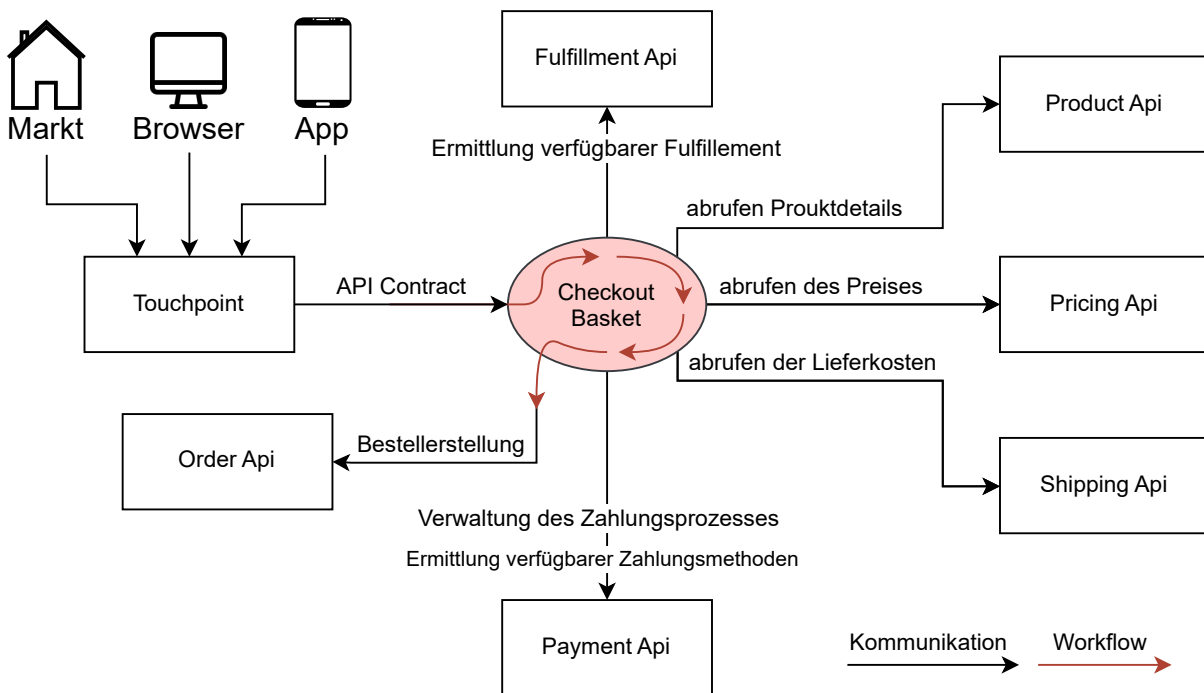


Abbildung 3.9: Context Diagramm der produktiven Checkout-Umgebung

und wird seitdem ebenfalls in MediaMarktSaturn eingesetzt. Die aktuelle Live-Umgebung nutzt zu dem jetzigen Stand noch Java, jedoch werden Codeanpassungen zukünftig in Kotlin vorgenommen, um eine langsame Migration zu gewährleisten. Aus diesen Grund wird ebenfalls der Proof-Of-Concept in Kotlin umgesetzt. Zudem ist die Technologie der systemübergreifenden Kommunikation auf REST-APIs festgelegt. Dies kommt mit einigen Einschränkungen und muss in der Entwicklung der primären und sekundären Adapter beachtet werden. Die Auswahl der Datenbank ist grundsätzlich nicht vorgegeben. Da die Applikation eine Vielzahl an Leseoperationen durchführt und somit einen hohen Nutzen aus der erhöhten Performance von No-SQL Datenbanken zieht, wurde die Benutzung einer MongoDB beschlossen.

Zum aktuellen Standpunkt sind alle notwendigen Vorbereitungen zum erfolgreiche Anwenden des Domain-Driven Designs getroffen.

## 4 Festlegung des Datenmodells durch Domain-Driven Design

Durch die Schaffung eines grundlegenden Verständnis für Designprinzipien, Hexagonaler Architektur und Domain-Driven Design kann auf Basis der vorgehenden Analysen ein Proof of Concept entwickelt werden. Hierzu wird weiterhin das typisches Vorgehen von DDD verfolgt und zunächst die Domain und Ubiquitous Language definiert, gefolgt vom Erstellen des zentralen Domain-Modell.

Die Wahl der Programmiersprache ist aufgrund der Teamexpertisen und dem vorliegenden Anwendungsfall auf Java oder Kotlin beschränkt. Kotlin ist eine, auf Java basierende, Programmiersprache, welche in ihrem Design einen hohen Fokus auf Lesbarkeit und Flexibilität legt. Aufgrund einer Vielzahl von Vorteilen, welche durch den Einsatz von Kotlin erzielt werden können, wurde diese als die zu verwendende Sprache festgelegt. Zugleich wird nach Projektabschluss jegliche Codeanpassung an der produktiven Checkout-Software in Kotlin vorgenommen und somit ein langsame Migration des Sourcecodes erreicht.

### 4.1 Abgrenzung der Domain und Bounded Contexts mithilfe der Planungsphase

Aufgrund der ausführlichen Vorbereitung wurde die Domain bereits passiv festgelegt und analysiert. Das Context-Diagramm 3.9 beschreibt hierbei unsere Domaingrenzen. Eine Domain und die Subdomains spannen den Problemraum auf. Dazu zählen alle definierten Anwendungsfälle und Businessanforderungen. Die Größe der Domain ist entscheidend für die Bestimmung der Subdomains und Bounded Contexts. Den Checkout als eine Domain anzusehen würde resultieren, dass entweder sich nur ein Bounded Context ergibt, welcher sich über die ganze Domain erstreckt, oder der Checkout selbst eine weitere Unterteilung erfahren muss. Anhand der Richtlinie, dass ein Team zuständig sein soll für ein Bounded Context kann abgeleitet werden, dass dieser Domainschnitt zu klein ausfällt. Folglich kann der Checkout und alle abhängigen Systeme als nächstmögliche Domain angesehen werden. Zu Beachten ist hierbei sich nicht auf die Systeme zu fixieren, dass sie eher der Lösungsebene und somit Bounded Contexts zuweisbar sind. In den Zuständigkeitsbereich der zuständigen Domain fallen unter anderem Anforderungen an der Abwicklung des Zahlungs- und Bestellungsprozesses. Zusätzlich müssen Produkt- und Preisinformationen abrufbar sein. Hierfür muss eine Verwaltungsmöglichkeit für diese Daten bereitgestellt werden. Die Abgrenzung der Bounded Context ist durch die jetzigen Überlegungen und die bereits bestehenden Architektur vorgegeben. Eine weitere Unterteilung des Checkouts in mehrere kleiner Bounded Contexts ist wieder durch die Einschränkung auf einem Team per Bounded Context sinnfrei. Ebenfalls würde dies eine Verteilung der Verantwortlichkeiten bedeuten, was entgegen dem Ziel ein einzelnes, universelles Produkt für den Checkout anzubieten. Aus diesen Überlegungen kann folgende Context-Map erstellt werden.

## 4.2 Festlegen einer Ubiquitous Language

In der Kommunikation zwischen den Business und Entwicklern kann es oft zu Missverständnisse kommen. Womöglich werden Informationen, Einschränkungen oder Prozesse ausgelassen oder für selbstverständlich erachtet. Durch die klare Definition von gemeinsam verwendeten Begriffen und ihren Bedeutungen wird implizit notwendiges Wissen über die Domain und ihre Prozesse geschaffen. Viele dieser Fachbegriffe können für notwendige Anwendungsfälle wiederverwendet werden und machen die Personen, welche die Businessanforderungen umsetzen sollen, mit der Domain vertraut. Da mit geringem Domainwissen die Korrektheit der Software gefährdet wird, stellt die Ubiquitous Language in Domain-Driven Design ein wichtiger Teilaspekt dar.

In Zusammenarbeit mit den Lead-Developer und Product Owner des Teams wird im folgenden Abschnitt die Ubiquitous Language definiert, um ein solches Verständnis über den Checkout Bounded-Context zu gewährleisten. Hierbei wurde sich auf die, für dieses Projekt, relevanten Terme beschränkt und stellt lediglich eine mögliche Umsetzung einer Ubiquitous Language dar. Dank der Planungsphase wurde eine Vielzahl von Begriffen bereits definiert und hilft bei der Erstellung einer solchen Dokumentation. Eingeklammerte Wörter beschreiben Synonyme zu dem vorangestellten Ausdruck.

### Domain-Modell:

- **Basket (Warenkorb):** Die zentrale Datenklasse, welche den Warenkorb darstellt.
- **Basket Status:** Stellt den aktuellen Zustand des Baskets dar und orientiert sich an den Prozessen. Beinhaltet 'open', 'frozen', 'finalized' und 'canceled'. Der Startzustand ist 'open'.
- **Customer (Kunde):** Ein Endkunde des Onlineshops oder im Markt. Kann eine zivile Person sein oder eine Firma. Ebenfalls kann ein nicht eingeloggter Kunde im Onlineshop durch seine eindeutige Session-ID einen Warenkorb besitzen.
- **Product (Artikel, Ware):** Ein Artikel aus dem Warenbestand, welcher zu Verkauf steht. Kann ebenfalls für eine Gruppierung von mehreren Artikeln stehen.
- **Outlet:** Repräsentiert einen Markt oder den länderbezogenen Onlineshop, welche durch eine einzigartige Outlet Nummer referenziert werden können.
- **BasketItemId:** Eine, innerhalb eines Baskets, eindeutige Referenz auf ein Artikel des Warenkorbs. Wird aus technischen Gründen benötigt, um beispielsweise die Quantität eines Artikels anzupassen oder ihn zu entfernen.
- **Net Amount (Nettobetrag):** Ein Nettobetrag mit dazugehöriger Währung.
- **VAT (Steuersatz):** Der Steuersatz zu einem bestimmten Nettobetrag.
- **Gross Amount (Bruttobetrag):** Der Bruttobetrag eines Preises errechnet aus dem Steuersatz und einem Nettobetrag. Die Währung gleicht die des Nettobetrags.
- **Fulfillment:** Zustellungsart der Waren seitens der Firma.
  - *Pickup:* Warenabholung in einem ausgewählten Markt durch den Kunden. Nur möglich sofern Artikel im Markt auf Lager ist.
  - *Delivery:* Zustellung der Ware an den Kunden durch einen Vertragspartner.
  - *Packstation:* Lieferung der Ware an eine ausgewählte Packstation durch einen Vertragspartner.
- **Payment Process (Bezahlungsprozess):** Alle relevanten Informationen der aktuelle Status des Bestellungsprozesses und alle zugewiesenen Payments.
- **Payment:** Zahlung des Kunden inklusive Beträge und Zahlungsmethode, wie Barzahlung oder Paypal.
- **Order:** Bestellung eines Warenkorbs, welche durch nachfolgende Systeme angelegt und verwaltet wird.

**Prozesse:**

- **Basket Validation:** Durchführung einer Validierung des Baskets auf Inkonsistenzen oder fehlenden, notwendigen Werten.
- **Basket Finalization:** Überprüfung der Korrektheit des Baskets durch die Basket Validation, Sperrung des Baskets durch Setzen des Zustands 'finalized' vor weiteren Abänderungen, Reservierung der Produkte im Basket und Anlegen einer Bestellung. Wird nach erfolgreichem Zahlvorgang durchgeführt. Beinhaltet den Prozess der Initiierung und Durchführung des Bezahlungsprozesses.
- **Basket Cancellation:** Stornieren des zugehörigen Baskets. Kann nur auf einen offenen Basket ausgeführt werden und setzt den Zustand auf 'canceled'. Nach Cancellation dürfen keine weiteren Änderungen an den Basket durchgeführt werden.
- **Basket Creation:** Explizite oder Implizite Erstellung eines neuen Baskets. Findet automatisch statt sofern noch kein Basket für den Customer existiert. Dies ist ebenfalls der Fall nach einer Basket Finalization.
- **Basket Calculation:** Das Berechnen der Geldbeträge des Baskets. Beinhaltet die Auswertung aller Products mitsamt ihren Net Amounts und VATs. Der resultierende Betrag aus unterschiedlichen VATs muss weiterhin aus rechtlichen Gründen einzeln verwiesen werden können.
- **High Volume Ordering:** Die Bestellung von Artikeln in hoher Stückzahl. Aufgrund von Businessanforderungen soll es nur begrenzt möglich sein, dass ein Kunde in einem Basket oder wiederholt das gleiche Produkt mehrfach kauft.
- **Payment Initialization:** Start des Zahlungsvorgangs. Nur möglich auf einen offenen Basket, welcher Produkte und Payments enthält. Nach Validierung der Basket Inhalte wird der Zustand auf 'frozen' gesetzt. Keine weiteren Inhaltsänderungen an den einzelnen Basket Items dürfen durchgeführt werden.
- **Payment Execution:** Durchführung des Zahlungsvorgangs. Nur möglich auf einen gefrorenen Basket. Setzt den Basket bei Erfolg auf 'finalized' und legt eine Order für diesen Basket an.

Im Verlaufe der Definitionsphase der Ubiquitous Language wurden die Prozesse näher beleuchtet, Benamungen von Datenobjekten aufgedeckt und Businessanforderungen vorgegeben. Ein gutes Datenmodell spiegelt hierbei ebenfalls die Sprache des Bounded-Contexts wieder, daher wird auf Basis dieses Unterkapitels und den vorgehenden Analysen anschließend das Datenmodell designt.

## 4.3 Definition der Value Objects

Aufgrund der Simplität und klaren Zuteilung vom Modell zu Value Objects lassen sich diese als leichtes bestimmen. Value Objects kapseln sowohl Daten als auch das dazugehörige Verhalten. Wobei ihre Funktionalitäten keine Änderungen an den beinhalteten Attributen durchführen dürfen, da sie als immutable gelten. Daher wird, anstatt einer direkten Wertanpassung, in der Regel eine Kopie des aktuellen Objektes mitsamt der aktualisierten Werte erstellt und zurückgegeben. Zudem gilt diese Kopie als ein neues Value Object, dank der Eigenschaft, dass die Identität eines Value Objects alleinig von ihren Attributen und den zugeteilten Werten abhängt. Anfangs sollte jede Datenstruktur des Domain-Modells als ein Value Object definiert und erst nach gründlicher Überlegung, falls die Notwendigkeit besteht, zu einer Entity umgeschrieben werden.

Anfangs wird das Daten-Modell mithilfe dem erlangten Domainwissen grundlegend aufgebaut. Die Ubiquitous Language unterstützt bei der richtigen Benennung der Klassen. Der Basket stellt den Ausgangspunkt der Modellierung dar. Bei der Definition der Attribute wurde auf eine schlankes

Datenmodell geachtet, ohne dabei den Aggregationsschnitt zu beeinflussen. Folgende Attribute werden benötigt:

##### **Basket:**

- **BasketId:** Eindeutige ID des Baskets zur Referenzierung durch externe System, wie den Touchpoints.
- **OutletId:** Eine Referenz zugehörig zu dem Markt oder Onlineshop, durch welchen Warenkorb angelegt wurde. Unerlässlich für die Bestimmung von unter anderem Lagerbeständen, Lieferzeiten, Fulfillment-Optionen und Versandkosten. Wir benötigen nur die Id des Outlets und nicht alle Daten, da nur die Id für unsere Kommunikationspartner relevant ist.
- **BasketStatus:** Repräsentiert den aktuellen Zustands des Warenkorbs. Mögliche Werte sind OPEN, FROZEN, FINALIZED und CANCELED.
- **Customer:** Speichert Kundendaten (IdentifiedCustomer) oder Session-Informationen (Session-Customer).
- **FulfillmentType:** Lieferart, wie PICKUP oder DELIVERY.
- **BillingAddress:** Adresse für die Rechnungserstellung.
- **ShippingAddress:** Adresse für die Warenlieferung.
- **BasketItems:** Liste aller Produkten und ihren zugehörigen Informationen aktuell im Warenkorb.
- **BasketCalculationResult:** Beinhaltet die berechneten Werte des Warenkorbs, wie Nettobetrag, Bruttobetrag und VAT. Die Speicherung dieser Werte wäre technisch nicht notwendig, spart aber an Rechenzeit ein, da nicht bei jeder Abfrage des Basket dieser Wert neu berechnet werden muss.
- **PaymentProcess:** Beinhaltet alle Informationen zur erfolgreichen Abwicklung des Zahlungsprozesses.
- **Order:** Speichert Referenz zur zugehörigen Bestellung des Baskets.

Anschließend werden die im Basket enthaltenen Klassen ebenfalls mit der gleichen Vorgehensweise definiert, sofern sie nicht durch einfache Strings oder Enumerations darstellbar sind:

##### **SessionCustomer:**

- **SessionID:** Eindeutige ID zur Zuweisung einer Session im Onlineshop zum zugehörigen Basket. Notwendig, um eine Einkaufsmöglichkeit für anonyme Kunden zu bieten.

##### **IdentifiedCustomer:**

- **Name:** Enthält den Vor- und Nachnamen als eigenes Datenkonstrukt.
  - *FirstName:* Vorname des Kunden.
  - *LastName:* Nachname des Kunden.
- **Email:** Email des Kunden.
- **CustomerTaxId:** Die Steuernummer des Kunden. Relevant aus Sicht der Rechnungsabwicklung und für den Ausdruck der Rechnung, da diese ausgewiesen werden muss
- **BusinessType:** Bestimmt ob Kunde als B2C oder B2B gilt.
- **CompanyName:** Firmenname des Kunden. Kann optional angegeben werden oder ist verpflichtend bei einem B2B-Kunden
- **CompanyTaxId:** Steuernummer zugehörig zur Firma des Kunden, falls eine Firma angegeben wurde.

##### **Address:**

- **Country:** Land der Adresse.



- **City:** Stadt der Adresse.
- **ZipCode:** Postleitzahl der Adresse.
- **Street:** Straße der Adresse.
- **HouseNumber:** Hausnummer der zugehörigen Straße.

### BasketItem:

- **Id:** Eindeutige Nummer des Items in diesem Basket.
- **Product:** Beinhaltet alle Produktinformationen, welche durch die Touchpoints benötigt werden.
- **Price:** Aktueller Preis des zugehörigen Products. Kann sich zeitlich ändern, muss daher durch eine Businessfunktion aktualisiert werden.
- **ShippingCost:** Betrag der Lieferkosten des Items.
- **BasketItemCalculationResult:** Speichert die Bruttokosten des Produktes, die errechneten Nettokosten, Lieferkosten und den Gesamtpreis.

### Product:

- **Id:** Eindeutige Referenz für dieses Product im externen System.
- **Name:** Textuelle Produktbezeichnung des Products.
- **Vat:** Mehrwertsteuerinformationen des Products.
- **UpdatedAt:** Zeitstempel notwendig für die Aktualisierungsfunktion der Artikelinformationen.

### Vat:

- **Sign:** Identifizierung des Steuertyps, abhängig von genauen Prozentsatz und zugehörigen Land.
- **Rate:** Prozentualer Wert der Mehrwertsteuer, wie beispielsweise '19%'.

### Price:

- **PricId:** Setzt sich zusammen aus der ProductId und der OutletId.
- **GrossAmount:** Bruttobetrag mit Währung.
- **UpdatedAt:** Zeitstempel notwendig für die Aktualisierungsfunktion des Preises.

### BasketItemCalculationResult:

- **ItemCost:** Beinhaltet Netto, Brutto und VAT Informationen in Form eines CalculationResults.
- **ShippingCost:** Betrag der Lieferkosten.
- **TotalCost:** Zusammengerechnete Werte der einzelnen Preise im Form eines CalculationResults.

### CalculationResult:

- **GrossAmount:** Bruttobetrag mit Währung.
- **NetAmount:** Nettobetrag mit Währung.
- **VatAmounts:** Eine zusammengebautes Set aus VatAmounts der Preise der BasketItems. Benötigt, da Vats mit unterschiedlichen Prozentbeträgen rechtlich nicht kombiniert werden dürfen.

### VatAmount:

- **Sign:** Identifizierung des Steuertyps, abhängig von genauen Prozentsatz und zugehörigen Land.
- **Rate:** Prozentualer Wert der Mehrwertsteuer. item **Amount:** Berechneter Betrag der Mehrwertsteuer zugehörig zu einem Bruttobetrag.

##### **BasketCalculationResult:**

- **GrandTotal:** Betrag der finalen Gesamtkosten des ganzen Baskets.
- **NetTotal:** Fasst alle Nettobeträge zusammen in einem einzelnen Betrag.
- **ShippingTotal:** Fasst alle Lieferkosten zusammen in einem einzelnen Betrag.
- **VatAmount:** Rechnet alle Vats zusammen, welche das gleiche Sign besitzen.

##### **PaymentProcess:**

- **BasketId:** Id des zugehörigen Baskets.
- **ExternalPaymentRef:** Referenz zu dem zugehörigen Payment Prozess des externen Systems. Anfangs leer bis zur Initiierung des Payments.
- **AmountToPay:** Betrag der insgesamt bezahlt werden muss. Entspricht dem GrandTotal des Baskets.
- **AmountPaid:** Rechnet alle Payments zusammen und bestimmt in welchem Maße der Basket bereits bezahlt ist.
- **AmountToReturn:** Falls der bezahlte Betrag größer ist als gefordert, wird dieser Wert berechnet. Repräsentiert den Betrag, welcher durch das System zurückgegeben werden muss.
- **PaymentProcessStatus:** Status wie weit der der AmountToPay bezahlt ist. Kann die Werte TO\_PAY, PARTIALLY\_PAID und PAID annehmen.
- **Payment:** Liste aller Payments zugehörig zu diesem Prozess.

##### **Payment:**

- **PaymentId:** Die Id des Payments.
- **PaymentMethod:** Bezahlungsart, wie Gutschein oder Barzahlung.
- **PaymentStatus:** Aktueller Zustand des Payments. Mögliche Werte entsprechen SELECTED, INITIALIZED, EXECUTED, CANCELED. Ein Payment ist bei Hinzufügung im Status SELECTED.
- **AmountSelected:** Betrag welcher durch dieses Payment bezahlt werden soll. Falls dieser Wert leer ist, wird der gesamte Warenkorb durch dieses Payment bezahlt.
- **AmountUsed:** Betrag wie viel insgesamt durch dieses Payment abgedeckt wurde, falls nur ein Bruchteil des AmountSelecteds benötigt wird.
- **AmountOverpaid:** Berechnet durch Abziehen des AmountSelecteds und AmountUsed.

##### **Order:**

- **OrderRef:** Referenz auf die Bestellung des Warenkorbs. Wird bei Abschluss des Zahlungsprozesses gesetzt.

Durch diese Datenstruktur ist es möglich, alle geforderten Anwendungsfälle korrekt abzuarbeiten. Um eine klare Gesamtübersicht zu bieten, wurde das Model in mehrere Klassendiagramme unterteilt. In Figur 4.1 ist das Ergebnis dieses Unterkapitels abgebildet. Der Customer und PaymentProcess wurden aus Platzgründen in separate Klassendiagramme, Abbildung 4.2 und 4.3, verlagert. Anzumerken ist, dass bei Fehlender Multiplizität eine Eins-zu-Eins Beziehung vorliegt. Der Kunde ist in diesem Anwendungsfall genau einem Warenkorb zugewiesen, da alleinig die Daten abgespeichert werden, nicht aber seine genaue Kundennummer. Daher existiert keine Zuweisung zwischen Kunden und mehreren Warenkörben.

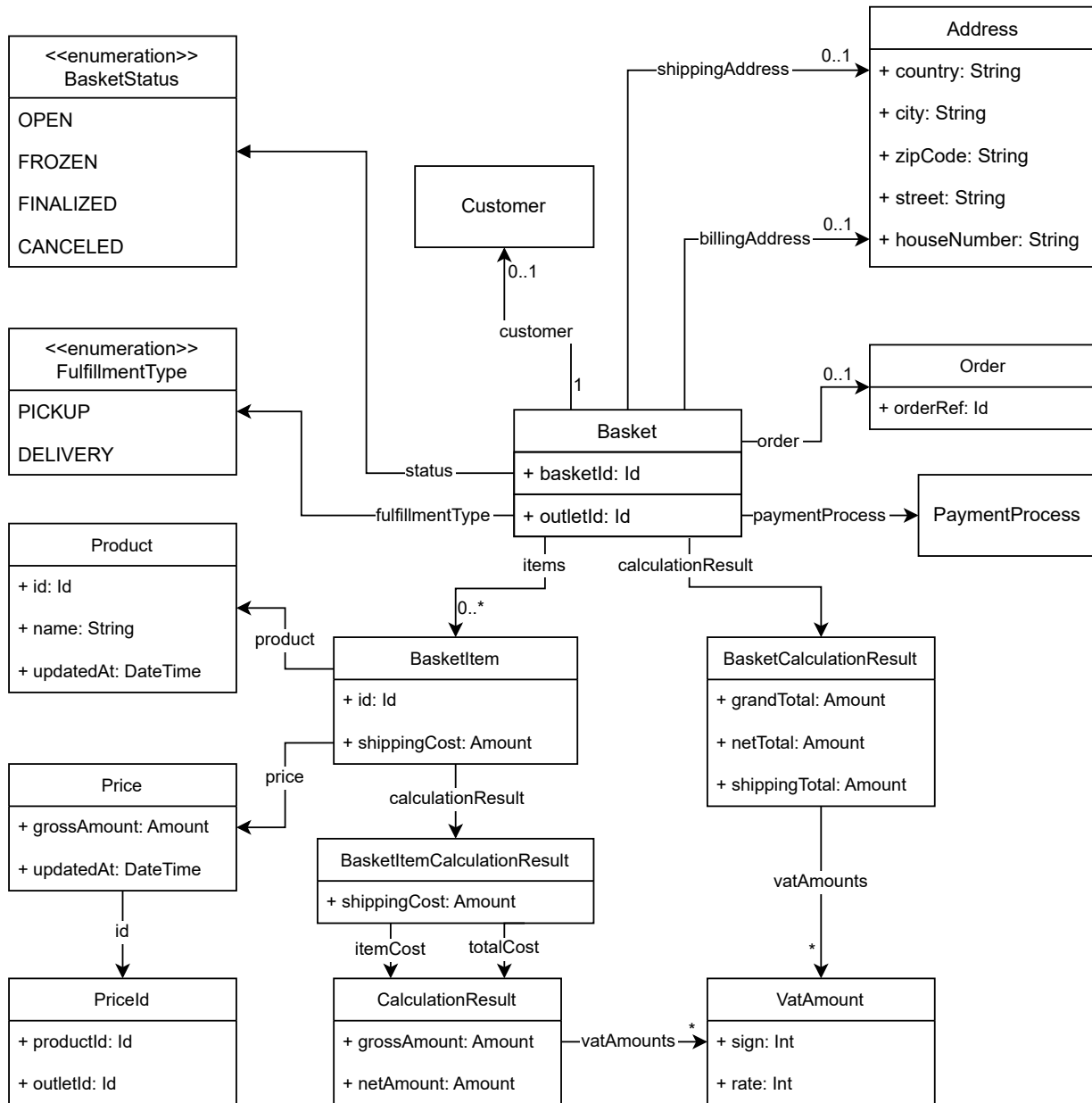


Abbildung 4.1: Klassendiagramm eines Baskets

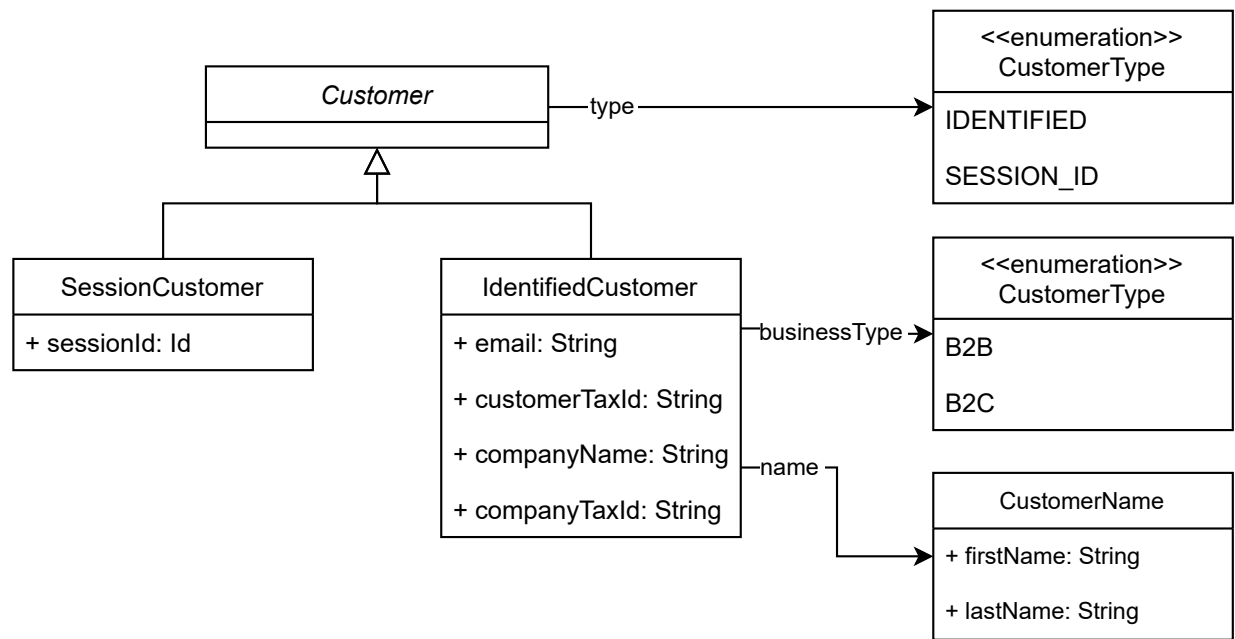


Abbildung 4.2: Zugehöriges Klassendiagramm des Customer Value Objects

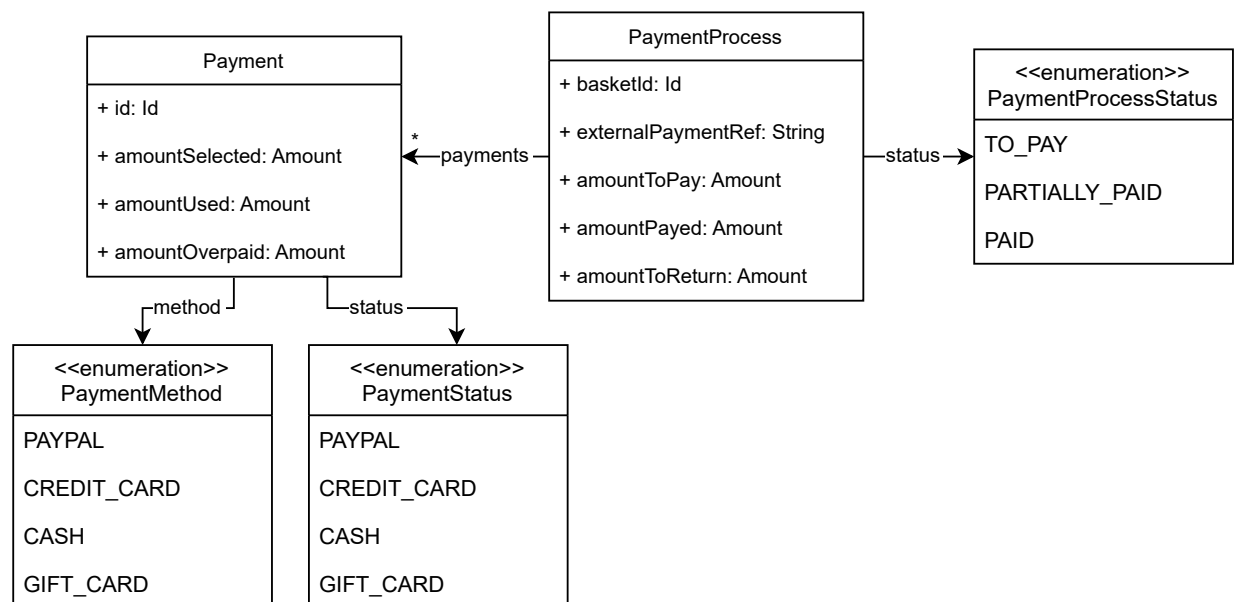


Abbildung 4.3: Darstellung des Payment Process als Klassendiagramm

## 4.4 Bestimmung der Entities anhand ihrer Identität und Lebenszyklus

Anhand der vorgehenden Sektion ist das Datenmodell nun vollständig. Jedoch besteht weiterhin die Frage, ob die jeweiligen Klassen eine eigene Identität besitzen und somit als Entity designt werden müssen. Es existiert in DDD kein objektive Verfahren zur Bestimmung der Entities, da je nach Bounded-Context Datengruppierungen unterschiedliche Eigenschaften besitzen. Als Hilfestellung für diese Entscheidung existieren folgende grundlegende Unterscheidungsmerkmale und Richtlinien:

	Value Object	Entity
Identität	Summe der Werte der Objekte. Objekte mit gleichen Werten besitzen gleiche Identität	Bestimmt anhand eines Identifikator, zum Beispiel einer Datenbank-Id. Objekte mit gleichen Werten sind ungleich, außer ihre Identifikatoren sind identisch.
Lebenszyklus	Stellt nur eine Momentaufnahme des Applikationszustands dar.	Werden zu einem bestimmten Zeitpunkt erstellt, bearbeitet, gespeichert oder gelöscht und besitzen somit einen Verlauf ihrer Wertänderungen.
Veränderbarkeit	Durch einen fehlenden Lebenszyklus gelten Value Objects als immutable.	Aufgrund ihrer Eigenschaften sind Entities mutable.
Abhängigkeit	Können nur als Unterobjekt einer oder mehrerer Entities existieren.	Um einen eigenen Lebenszyklus zu besitzen, können sie unabhängig von anderen Objekten erstellt werden.
Zugriffsmethode	Auf Daten und Funktionen wird mithilfe einer Entität zugegriffen.	Können als Aggregate Root direkt Zugriff erfahren.

Anhand dieser Eigenschaften können die Value Objects untersucht und daraufhin alle Entities bestimmt werden.

- **Basket:** Als zentrales Datenobjekt besitzt ein Basket zur eindeutigen Identifikation durch den Touchpoint eine Id. Diese Eigenschaft spricht stark für eine Entity. Zusätzlich bestimmen nicht die enthaltenen Attribute wie Products oder der zugehörige Kunde die Identität des Baskets, sondern alleinig die Id. Aufgrund der geforderten Anwendungsfälle entsteht zugleich ein Lebenszyklus für die Instanzen eines Baskets und er durchgeht verschiedene Zustände. Folglich ist ein Basket eine *Entity*.
- **Customer:** In Bounded-Contexts, welche mit den Kundendaten operieren, kann diese Klasse durchaus eine Entity darstellen. In unserer Domain finden keine Operationen auf diesen Informationen statt und die vorangestellten Systeme senden bei Änderungen der Kundendaten diese zu. Folglich besitzen sie keinen eigenen Lebenszyklus, werden ebenfalls nicht separat gespeichert und kann weiterhin als *Value Object* designt werden.
- **Address:** Auf Basis der Begründungen für die Customer-Klasse kann eine analoge Schlussfolgerung für alle Adressen getroffen werden und weiterhin ihren Status als *Value Object* beibehalten.
- **BasketItem:** Auf erstem Blick ist es eindeutig ein BasketItem als Entity zu designen. Es besitzt eine eigene Id und wird durch das Aktualisieren der Preise und Produktdaten bearbeitet. Somit entsteht ebenfalls ein Lebenszyklus. Jedoch lassen sich auch Argumente finden, warum ein BasketItem durchaus ein Value Object sein kann. Die Identifikation erfolgt zwar durch eine Id, allerdings kann dies durch folgenden Anwendungsfall hinterfragt werden. Wenn das gleiche Produkt mehrmals sich im Basket befindet, existieren auch mehrere zugehörige BasketItems. Bei

der Anpassung der Quantität beispielsweise von vier auf eins, werden anhand der Id alle Items gesucht, welche das gleiche Produkt besitzen und aus dieser Liste werden drei gelöscht. Dies würde aber bedeuten, dass ein BasketItem zusätzlich anhand seines Produktes identifiziert wird. Sollte die ProduktId die Identität des Baskets ausmachen, dann wären alle BasketItems mit dem gleichen Produkt auch identisch. Dies stimmt allerdings nur bedingt, da sie sich theoretisch durch unterschiedliche Preise und Lieferkosten unterscheiden können, falls die Aktualisierung der Preise noch nicht durchgeführt wurde. Als Folgerung kann geschlossen werden, dass ein BasketItem lediglich eine Momentaufnahme darstellt, wodurch das Design als Value Object berechtigt wäre. Letztendlich kann das BasketItem in diesem Bounded Context sowohl als Entity sowie als Value Object definiert werden. Für den Proof-Of-Concept wurde das BasketItem als Entity festgelegt. Die Begründung hierfür ist, dass die schiere Anzahl von Datenanpassungen und Operationen auf einem BasketItem als *Entity* natürlicher bewältigt werden können.

- **Product und Price:** Die vorgehende Analyse des BasketItems kann auch auf das Product und den Price angewandt werden. Beide besitzen eine Id zur Identifikation und werden stetig aktualisiert. Allerdings ist ein Price bzw. Product mit unterschiedlichen Daten aber gleicher Id in unserem Kontext auch unterschiedliche Objekte. Theoretisch ist auch hier eine Entscheidung für beide Möglichkeiten vertretbar. Jedoch ist das Datenkonstrukt beider Klassen relativ klein und Anpassungen betreffen nahezu alle Attribute, wodurch ein unveränderliches Design natürlich ausfällt. Als Folge dessen sind beide Klassen als *Value Object* umgesetzt worden.
- **CalculationResult:** Als Datenstruktur, welche bei jeder Neuberechnung aktualisiert wird, könnte die Eigenschaft eines Lebenszyklus erfüllt sein. Dennoch stellt die Klasse einzig ein Zwischenspeicher der Ergebnisse dar und ohne den Kontext eines darüberlegenden, zugehörigen Objekt besitzen diese Daten keine Aussagekraft. Weiterhin sind die gleichen Ergebnisse unterschiedlicher Baskets im Sinne der Identität äquivalent. Dadurch überwiegen die Argumente für ein *Value Object*.
- **PaymentProcess:** Der Bezahlungsprozess besitzt zur korrekter Ausführung ein Feld zum Speichern des aktuellen Status. Somit ist ein Lebenszyklus zuweisbar. Die Identität eine Payment Process ist gleich mit der BasketId, da eine Eins-zu-Eins Relation zwischen ihnen existiert. Die Lebensdauer des Objektes ist somit auch an die des Baskets gebunden. Weiterhin verwaltet ein PaymentProcess alle darunterliegenden Payments. Diese Eigenschaft erfüllen fast nur Entities. Dementsprechend ist ein PaymentProcess eine *Entity*.
- **Payment:** Ein Payment hat eine eindeutige Id, welche eine hohe Wichtigkeit trägt für den Ablauf des Bezahlprozesses und alle folgenden rechtlichen Prozesse. Dadurch ist weder der konkrete Betrag noch die Bezahlmethode von Relevanz bei der Identifikation. Ähnlich zum PaymentProcess ist auch hier ein Lebenszyklus im Form eines Statusfeldes vertreten und eine Verwirklichung als *Entity* ist zu empfehlen.

## 5 Design der Aggregates anhand der Anwendungsfälle

- Eine Einheit
- Behält Integrität
- Um abzuspeichern in Datenbank
- Eine Transaktion darf nur ein Aggregat bearbeiten
- Changes within can be inconsistent for a while until operation is done.

Ein Domainmodell kann unterschiedlich gestaltet werden. Ebenfalls betrifft dies den Schnitt der Aggregates. Verschiedene Schnitte genießen verschiedene Vor- und Nachteile. In diesem Kapitel werden mehrere mögliche Aufteilungen untersucht und durch verschiedene Kriterien bewertet. Diese Kriterien umfassen unter anderem Performance, Komplexität, Konsistenz, Parallelität, Relevanz und Anwendbarkeit im Bezug auf den Bounded Contexts des Checkouts.

### 5.1 Initiales Design als ein großes Basket-Aggregate

Das Design eines großen Aggregats fällt Entwicklern meist natürlich leichter. Eine einzelne zusammenhängende Struktur, durch welche Daten einfach bearbeitet und Invarianten überprüft werden können. Daher hält sich die Komplexität bei diesem Aggregationsschnitt weitestgehend in Grenzen. Vor allem müssen kaum Überlegungen über transaktionale Konsistenz getroffen werden, da die Grenzen der Transaktion all umspannend ist. Die erste Variante des Proof-Of-Concepts wurde mit diesem Design im Gedanken entwickelt und stellt das Grundgerüst für alle folgenden Konzepte dar. Zur vereinfachten Referenz auf die einzelnen Umsetzungsvarianten wird das Design, welches einen großen Basket zugrundeliegend hat, als '*Variante A*' betitelt.

#### 5.1.1 Performance von großen Aggregates im Vergleich

Als Konsequenz eines großen Aggregates ergibt sich, dass immer das ganze Aggregate geladen werden muss, da auf darunterliegende Datenstrukturen nur durch das Aggregate Root zugegriffen werden darf. Für die Aktualisierung einer Entity tief im Aggregat müssen alle anderen Daten ebenfalls geladen werden. Die Auswirkungen dieser Aussage kann auf Datenbankebene anhand von Lazy-Loading oder durch Einsatz einer dokumentbasierten Datenbank eingeschränkt werden. Generell gilt, dass große Aggregates aus Sicht der Performance langsamer arbeiten als kleinere. Diese Aussage ist allerdings mit Vorsicht zu genießen und kann je nach Anwendungsgebiet sogar gegensätzlich ausfallen. In diesem Unterkapitel wird die diese Richtlinie anhand unseres Bounded Contexts analysiert.

Wie oben erwähnt, ermöglicht ein kleinerer Aggregationsschnitt das unabhängige laden und bearbeiten der Aggregates. In Betrachtung der Anwendungsfälle können die Operationen in drei große Gruppen umfasst werden. Anfragen, welche Value Objects im Basket bearbeiten stellt die erste Ansammlung dar.

Diese würden unnötige Daten laden, da nur der Basket mit möglichst wenig Value Objects relevant ist. Ebenfalls gilt dies für die Anfragen, welche BasketItems oder den PaymentProcess anpassen, weil sie den ganzen Basket laden anstatt nur die wirklich benötigten Daten.

Wird die *Variante A* aufgeteilt in Basket-, Payment und BasketItem-Aggregate (*Variante B*) können diese unabhängig voneinander geladen und bearbeitet werden. Ohne Beachtung, welche Auswirkungen dieses neu überlegte Design auf andere Faktoren hat, ist eine Performanceverbesserung anhand ersten Überlegungen zu erwarten. Die gewonnene Performance wird allerdings aufgrund mehrerer Umständen verringert.

### Invarianten über Aggregatsgrenzen hinweg

Wird dem Warenkorb ein neuer Artikel hinzugefügt hat dies zu Folge, dass nicht nur ein neues Item angelegt, sondern auch der Baskets neu berechnet werden muss. Sofern eine Aggregatstrennung zwischen Basket und BasketItem vorliegt, muss dennoch der ganze Basket geladen werden, andernfalls ist es nicht möglich den Gesamtpreis zu ermitteln. Innerhalb eines Checkout-Contexts existieren viele dieser Businessanforderungen, welche mehrere Objekte benötigen, um angewandt zu werden. Zudem ist es gegen die grundlegenden Bestimmungen eines Aggregates, dass eine Anfrage bzw. Transaktion zwei oder mehrere Aggregate bearbeiten. Dieser Anwendungsfall hätte eine Speicherung eines neuen BasketItems und die Aktualisierung des CalculationResults des Baskets zufolge. Schlussfolgernd wäre eine solche Operation nicht erlaubt ohne Verwendung von eventueller Konsistenz. Um genauer zu bestimmen, welche tatsächliche Performance erzielt werden kann durch kleinere Aggregates am konkreten Design der *Variante B* müssen die Anzahl der tatsächlich unabhängig abschließbaren Operationen untersucht werden. Die vorher festgelegten Swimlane Diagramme helfen bei dieser Aufgabe.

Ein Abruf eines Baskets kommt einher mit dem Laden aller anderen Aggregates, da die Touchpoints den gesamten Basket benötigen. Dies gilt ebenfalls für alle anderen Anwendungsfälle, welche als Antwort auf ihre Anfrage einen kompletten Basket erwarten. Das Stornieren des Baskets und Setzen der Checkout-Daten ist positiv von dieser Anpassung betroffen. Jedoch ist die Initiierung und Durchführung des Bezahlvorgangs nicht komplett unabhängig abschließbar, da im Nachhinein der Status des Baskets angepasst werden muss. Dadurch entsteht eine Abhängigkeit, welche im Nachhinein erfüllt werden muss und somit zur eventuellen Konsistenz führt. Die größte Anzahl an API-Anfragen beziehen sich auf das Hinzufügen und Bearbeiten von BasketItems und die Verwaltung des Bezahlvorgangs. Letztendlich sind nur eine Bruchzahl der Anwendungsfälle durch einen Umbau der Architektur von Variante A auf Variante B wirklich positiv betroffen.

### Einfluss des Datenbankmodells auf den Aggregationsschnitt

Das Design einer Software soll stets so weit wie möglich unabhängig von verwendeten Technologien sein. Technologien entwickeln sich weiter, werden durch neuer ersetzt und bringen unnötige Abhängigkeiten in den Quelltext. Theoretisch hat somit eine Beeinflussung der Architektur durch eine externe Komponente einen negativen Effekt auf die Qualität der Software und ihre Wartbarkeit. Dennoch kann in der Praxis dieser Gedanke durchaus Vorteile bergen, welche dieses Vorgehen gerechtfertigt. Folglich wird der Aggregationsschnitt aus Sicht der Datenbank bewertet.

Laut Definition erhält jedes Aggregate seine eigene Tabelle in der darunterliegenden Datenbank. Daher existieren in *Variante B* mindestens die Tabelle für den Basket, BasketItems und PaymentProcess. In *Variante A* kann der PaymentProcess in die gleiche Tabelle wie der Basket geschrieben werden, da



eine Eins-zu-Eins Relation vorliegt. Obwohl es nur ein Aggregate gibt, sind dennoch zwei Tabellen für Basket und BasketItem notwendig, da in einer Relationalen Datenbank eine Eins-zu-N Beziehung nicht anders dargestellt werden kann. Demnach muss beim Abruf eines kompletten Baskets in *Variante A*  $N$  Joins durchgeführt werden, wobei *Variante B*  $N+1$  Joins benötigt, wobei  $N$  die Anzahl der BasketItems entspricht. Dies resultiert in eine schlechtere Performance der *Variante B* zumindest in Bezug der Datenbankabfrage. Wie bereits erwähnt, erwarten eine Vielzahl von Anfragen alle Daten des Baskets zurück und dadurch erhalten wir eine erhöhte Bearbeitungszeit der Anfragen.

Sollte die verwendete Datenbank jedoch einen dokumentbasierten Ansatz verfolgen, gilt vorheriger Absatz nur noch bedingt. Hierbei benötigt *Variante B* weiterhin drei eigene Collections, jedoch kann *Variante A* in einem einzigen Eintrag gespeichert und geladen werden. An sich besitzt der einzelne Datensatz zwar mehr Daten, allerdings hat dies keine Auswirkung auf die Gesamtperformance. Daher würde bei einem Umbau der Aggregate für die meisten Anwendungsfälle eine einzelne Suchanfrage in  $N+1$  Suchanfragen abgewandelt werden. Dies kann bemerkbare Auswirkungen auf die Antwortzeit unserer Applikation haben.

Im ersten Absatz wurde beschrieben, dass eine Technologie keine Auswirkung auf die Architektur haben sollte, konträr dazu ist bei der Betrachtung der Applikationsperformance dies eventuell sinnvoll. Sollte eine relationale Datenbank verwendet werden, hält sich die Performance Einbußen in Grenzen. Hingegen bei einer dokumentbasierten Datenbank ist dieser Effekt vervielfacht. Daher kann die Entscheidung über den verwendeten Aggregationsschnitt durchaus von einer konkreten Technologie beeinflusst werden.

### 5.1.2 Parallele Bearbeitung eines großen Aggregates

Aufgrund dessen, dass ein Aggregat eine transaktionale Grenze abbildet, wirkt sich der Aggregationschnitt auf die mögliche Parallelität der Anfragen aus. Ausgehend von *Variante A* resultiert eine Bearbeitung der Daten des Baskets in der Speicherung des kompletten Warenkorbs in der Datenbank. Bei Schreibprozessen können Anomalien auftreten wodurch die Transaktion bzw. der Schreibvorgang abgebrochen werden muss. Eine mögliche Anomalie ist das sogenannte 'Lost Update'-Problem. Es kann auftreten wenn zwei Transaktionen den gleichen Datensatz zeitgleich bearbeiten. Sie beginnen ihre Operationen auf den selben Startzustand und schreiben ihre Ergebnisse zurück in die Datenbank. Dabei kann die Änderungen einer Transaktion sofort durch eine andere überschrieben werden und dessen Datenänderungen gehen verloren.

Konkretisiert kann dieses Problem anhand des Baskets. Zwei Personen fügen beispielsweise einen neuen Artikel zu ein und demselben Warenkorb hinzu. Dies kann zum Beispiel bei einer Wishlist auftreten, welche von einer Personengruppe bearbeitet werden kann. Der erste Kunde legt hierbei ein neues Handy in den Warenkorb, wohingegen zeitgleich ein anderer Nutzer einen Fernseher hinzufügt. Beide Transaktionen starten mit einem leeren Warenkorb und schreiben in die Datenbank einen aktualisierten Datensatz mit nur einem Artikel. Daher geht die Änderung eines der zwei Personen verloren.

Eine Lösung dieses Problems kann durch optimistischen oder pessimistischen Verfahren erzielt werden. Entweder wird im optimistischen Ansatz anhand eines Versionsfeldes überprüft, ob der Datensatz in der Zwischenzeit geändert worden ist und im Falle dessen zurückgewiesen, oder der Datensatz wird durch die pessimistischen Methode gesperrt und die zweite Transaktion muss warten bis die erste den Schreibprozess abschließt. Dementsprechend ist die zeitgleiche Bearbeitung eines Aggregats eingeschränkt. Existieren Anwendungsfälle in denen eine hohe Parallelität notwendig ist, sollten die Aggregates sofern realisierbar voneinander getrennt werden.

### 5.1.3 Bewertung des großen Aggregationsschnitts

Abschließend kann anhand der vorhergehenden Überlegungen der Aggregationsschnitt von *Variante A* bewertet werden.

- **Komplexität:** Die Handhabung und Anwendung der Businessanforderungen können maximal mühelos umgesetzt werden. Der Source Code muss durch keine komplizierteren Vorgänge ergänzt werden.
- **Performance:** Jede Anfrage benötigt das Auslesen des ganzen Baskets. Jedoch ist dies in den meisten Anwendungsfällen ohnehin von Nöten. Ein kleinere Aggregationsschnitts kann die Performance sogar verschlechtern.
- **Parallelität:** Eine zeitgleiche Bearbeitung des Baskets oder eines Objektes innerhalb ist nicht möglich.
- **Anwendbarkeit:** In Hinsicht auf die wichtigsten Anwendungsfälle erfährt der Client keine Einschränkungen und alle Businessanforderungen können erfüllt werden.

## 5.2 Trennung der Zahlungsinformationen von dem Basket-Aggregate

Damit ein neues Aggregat aus der großen Basket-Klasse herausgeschnitten werden kann, wird ein Root Aggregate benötigt. Aus diesem Grund ist der erste Ansatz eine Entity von dem Basket abzutrennen. Hierbei ist der PaymentProcess nur schwach an den eigentlichen Basket gebunden. Mögliche Anwendungsfälle beziehen sich alleinig auf entweder den Warenkorb und seine Items oder den Bezahlprozess. Daher wird in der *Variante C* die Aggregate in Basket und PaymentProcess aufgeteilt. Zudem folgt eine Beschreibung der notwendigen Änderungen und die Auswirkungen einer solchen Umstrukturierung.

Die erste direkte Auswirkung durch den Umbau entspricht der neue Unterteilung des Datenmodells auf Datenbankebene. Da die Aggregates unabhängig voneinander agieren, müssen sie auch getrennt geladen und speicherbar sein. Folglich wird ein neuer Adapter definiert, um diese Datenoperationen zu behandeln. Die Referenz auf den PaymentProcess wird durch den neuen Aggregationsschnitt aus dem Basket entfernt und alle Funktionen, welche Aufrufe auf das Objekt benötigt, müssen entweder in die PaymentProcess-Klasse verlegt oder durch einen Domainservice durchgeführt werden. Es entstehen Auswirkungen auf die bisherige Funktionsweise und den Datenfluss der Applikation, welche in den kommenden Unterkapiteln anhand der Initiierung des Bezahlvorgangs genauer untersucht werden.

### 5.2.1 Eventuelle Konsistenz zwischen Aggregates

Bevor der Bezahlprozess gestartet werden darf, findet eine Überprüfung des Warenkorbzustands statt und zusätzlich wird durch einen Änderung des Status der Basket eingefroren. Dies erfordert entweder das Laden des Warenkorbs oder der Status muss ebenfalls im PaymentProcess zwischengespeichert werden. Diese zwei Varianten erfordern eine Anpassung beider Aggregates innerhalb einer Transaktion. In vorangehenden Absätzen wurde diese Problemstellung durch eventuelle Konsistenz gelöst.

Eine mögliche Implementierung ist die Verwendung eines Message Brokers. Nachdem alle Vorbedingungen überprüft worden sind, kann ein Event abgefeuert werden. Dieses wird durch einen Listener abgerufen und beginnt den zweiten Teil des Prozesses, in welchem die eigentliche Initiierung ausgeführt wird. Ein möglicher Programmablauf wird in Abbildung 5.1 aufgezeigt.

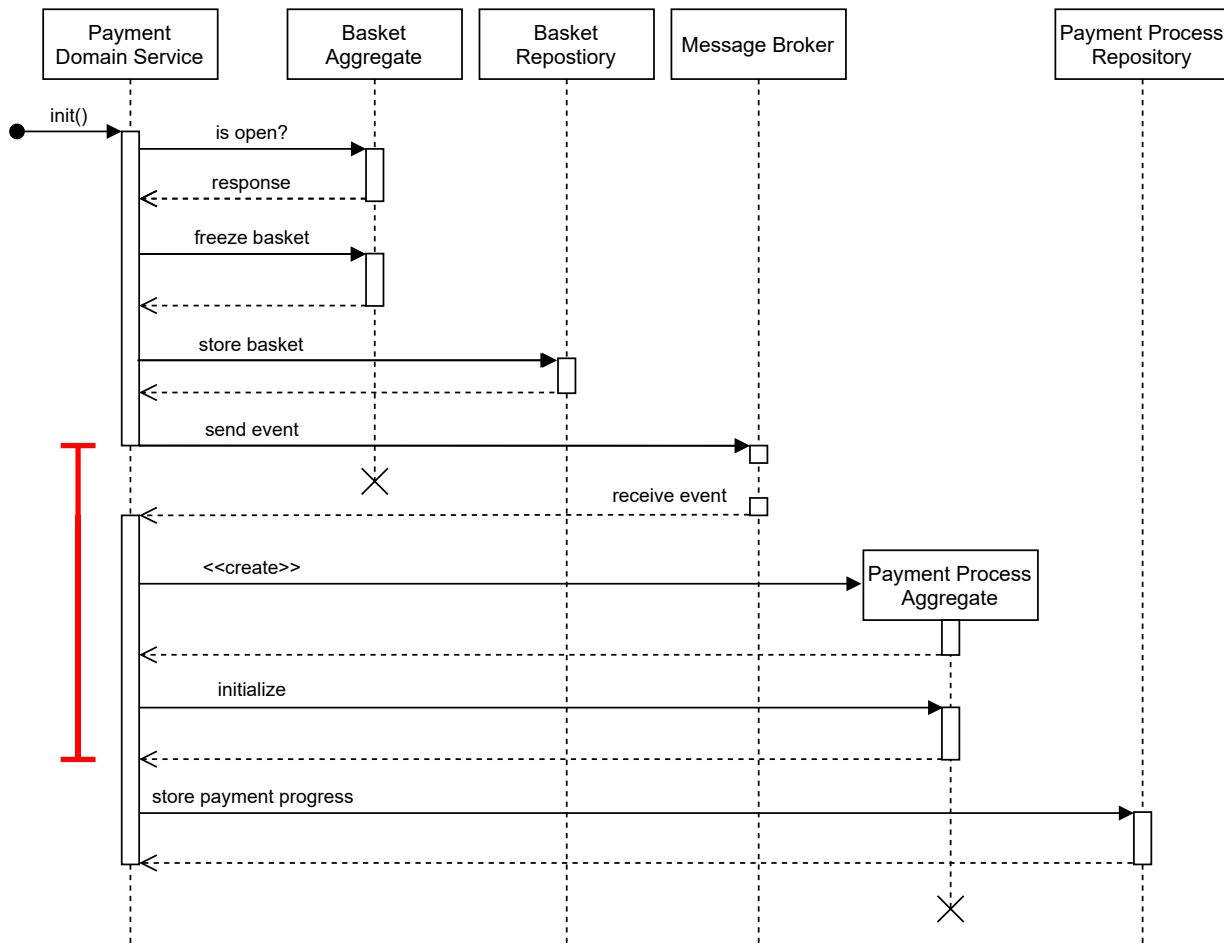


Abbildung 5.1: Vereinfachtes Sequenzdiagramm zur Initiierung des Bezahlvorgangs in Variante C

Nachteilig ergibt sich durch die eventuelle Konsistenz ein Zeitraum, in dem zwar der Warenkorb eingefroren ist, allerdings kein zugehöriger Zahlungsprozess existiert. Dieser ist in dem Sequenzdiagramm 5.1 rot markiert. Die Operationen sind demnach nicht mehr atomar. Als Folge dessen entstehen weitere Herausforderungen für das Domainmodell.

Einerseits kann es vorkommen, dass vor der eigentlichen Initiierung bereits weitere Änderungen an den Warenkorb getätigt worden sind. Dies hat zu Folge, dass vorher geprüfte Invarianten eventuell bereits wieder ungültig sind, die Durchführung des Bezahlvorgangs jedoch weiterhin stattfindet. In dem konkreten Beispiel kann eine solche Änderung nicht geschehen, da ein eingefrorener Warenkorb nicht mehr angepasst werden darf bis zum Abschluss oder Abbruch des Bezahlungsprozesses. Asynchrone Datenverarbeitung birgt viele Vor- und Nachteile, dadurch müssen stets solche Möglichkeiten beim Softwaredesign beachtet werden.

Schlussfolgernd erhalten Clients, welche den aktuellen Bestellprozess abfragen, bis zur Speicherung des Payment Aggregates einen veralteten Stand. Dies stellt in einigen Anwendungsfällen eine Herausforderung dar, da die Kommunikationspartner mit vermeintlich inkonsistenten Daten arbeiten müssen.

### 5.2.2 Atomare Transaktionen über mehrere Aggregates

Ein weiterer Lösungsansatz zum Bewältigen des Problems ist der Einsatz einer Transaktion über mehrere Aggregates hinweg, obwohl dies die vorher definierte Richtlinie bricht. Argumentativ muss hierzu zuerst die Frage beantwortet werden, aus welchem Grund eine Transaktion nicht mehrere Aggregates bearbeiten darf. Durch Anpassen der Fragestellung wird dieser Aspekt klarer. Die Aggregationsgrenzen sind äquivalent mit der transaktionalen Konsistenz, dadurch entspricht die Speicherung zweier Aggregates innerhalb einer einzelnen Transaktion eine Überschreitung dieser Grenzen. Dies lässt vermuten, dass die Aggregationsgrenzen allgemein nicht korrekt gesetzt sind und ein anderes Design eventuell effektiver ist. Sollte diese Vorgabe beispielsweise in einem von mehreren dutzend Anwendungsfällen gebrochen werden, stellt dies kein klares Indiz für einen falschen Aggregationsschnitt dar. Problematisch ist alleinig, wenn die zugehörigen Aggregates auf unterschiedlichen Datenbankhosts liegen. Eine atomare Transaktion ist dadurch unmöglich, wodurch eine solche Architektur unzuverlässig entwickelt und Race Conditions auftreten können. Bei einer Microservice Architektur tritt dieser Fall oft ein, da jede einzelne Applikation meist eine eigene Datenbank auf unterschiedlichen Hosts besitzen.

Letztendlich soll die Architektur und das Datenmodell die Businessprozesse optimal unterstützen, während die Software weiterhin flexibel und performant bleibt. Die Richtlinie stellt lediglich einen Leitfaden dar, um eine korrekte Aufteilung zu ermöglichen. Für die Checkout-Software existiert aktuell keinen Grund zum Anlass anzunehmen, dass zukünftig mehrere Datenbankhosts benötigt werden. Dadurch kann die Überlegung entstehen, ob es sinnvoll ist, das Einfrieren des Warenkorbs und die Initiierung des Bezahlprozesses innerhalb einer Transaktion auszuführen.

## 5.3 Verkleinerung der Aggregates durch Anpassung existierender Businessanforderungen

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige

Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 5.4 Maximale Unterteilung des Models mithilfe asynchroner Verarbeitung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 6 Implementierung des Proof-of-Concepts

Im Verlaufe dieses Projekts wurde ebenfalls das Datenmodell mitsamt der Hexagonalen Architektur und Anwendungsfällen in einem Proof-of-Concept implementiert. Das Ziel dieser Software ist die Unterstreichung einer möglichen praktischen Umsetzung der, in dieser Arbeit beschriebenen, Anforderungen unter Anwendung der gewonnen Erkenntnisse.

Zu Beginn wurde ein neues Projekt aufgesetzt, welches benötigte Frameworks und Abhängigkeiten importiert, um Boilerplate-Code weitestgehend zu vermeiden. Die gesamte Software wurde mithilfe von Kotlin entwickelt und Komponenten wurden analog zu einer Hexagonalen Architektur in die drei Bereiche Primäre Adapter, Applikationskern und Sekundäre Adapter aufgeteilt. Innerhalb des Applikationskerns befindet sich jegliche Businesslogik, sowie die notwendigen Applicationservices, Domainservices und das Domainmodell entsprechend des Domain-Driven Designs. Der verwendete Aggregationsschnitt ist äquivalent zu einem großen Aggregat mit dem Basket als Aggregate Root.

### 6.1 Design der Primären Adapter

Primäre Adapter sind Komponente, welche den Datenfluss aufgrund von einem Signal eines externen Systems initiieren. Grundlegend sind sie die Kommunikationsschnittstelle zwischen Clients und der Software. Im Proof-of-Concept fallen hauptsächlich in diesen Bereich sogenannte Controller, welche zuständig sind für den Empfang von REST-API Anfragen und der Deserialisierung übergebener Daten, sowie der Serialisierung des Antwortinhaltes. Zu Beginn jedes Anwendungsfalles wird ein Controller durch den Touchpoint angesprochen. Die zuständige Komponente wird aus einer Zusammenschluss von aufgerufener URL und HTTP-Methode bestimmt.

Zur Implementierung dieser Funktionalität wurde das Framework 'Ktor' verwendet. Ein Controller beinhaltet lediglich Logik für den Empfang von Daten und der Formulierung zugehöriger Antworten. Alle Informationen, welche von außen stammen, müssen vor der Weitergabe an den Applikationskern in Datenmodelle des Applikationskerns umgewandelt werden. Ist dies nicht der Fall, besitzt der zentrale Teil der Software eine Abhängigkeit von außen. Dies würde sonst einen Bruch des Dependency-Inversion-Prinzips darstellen. Die Verwendung von sogenannten Data-Transfer-Object (DTO) ist jedoch gestattet, sofern diese in einem Modul des Applikationskerns liegen und auch von diesen verwaltet werden. Ein konkretes Beispiel für einen Controller ist in Listing 6.1 abgebildet.

- Zeile 1: Definiert die HTTP-Methode PUT und die URL für diesen Endpunkt
- Zeile 2: Auslesen der BasketId aus der URL als Pfadparameters
- Zeile 3: Deserialisierung des Payloads zu einem Customer-Objekt
- Zeile 4: Weitergabe der Daten an den zuständigen ApplicationService durch ein Interface
- Zeile 5: Antwort an die Anfrage mit HTTP-Status 200 und dem Basket als Daten

Listing 6.1: Beispiel eines Controllers zur setzen von Kundendaten

```

1 put("/basket/{id}/customer") {
2   val basketId = BasketId(parseUUIDFromParameter("id"))
3   val customer = call.receive<Customer>()
4   val basket = basketApiPort.setCustomer(basketId, customer)
5   call.respond(HttpStatusCode.OK, basket)
6 }

```

Für jeden definierten Anwendungsfall wurde eine entsprechende Schnittstelle und Controller definiert. Im Kontextes dieses POCs umfassen die Primären Adapter alleinig die Controller, da keine komplexe Datenumwandlung oder Validierung durchgeführt werden muss. Für jede Funktion, welche durch die Adapter aufgerufen werden, existiert eine zugehörige Funktion in einem Port. Die tatsächliche Implementierung der Schnittstelle wird mittels Dependency-Injection durch das Framework 'Koin' bestimmt und geladen. Dadurch bleiben Abhängigkeiten jederzeit austauschbar und unabhängig testbar. Beispielsweise kann die korrekte Funktionsweise eines Controllers überprüft werden, indem der ApplicationService durch ein Mock-Objekt ausgetauscht und der Aufruf seiner Funktionen ausschließlich simuliert wird. Somit erfahren die einzelnen Komponenten in Testfällen keine Beeinflussung durch die falsche Funktionsweise anderer Teile der Applikation und Fehlschläge können eindeutig einem einzelnen Codeabschnitt zugeschrieben werden.

## 6.2 Umsetzen des Applikationskerns

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 6.3 Auslagerung von Funktionen in Applicationservices

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## 6.4 Erstellen der Primären und Sekundären Adapter

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.



## 7 Fazit und Empfehlungen

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.



# Akronyme

**DDD** Domain-Driven Design. 9

**DIP** Dependency-Inversion-Prinzip. 4–7

**ISP** Interface-Segregation-Prinzip. 4, 7

**LSP** Liskovsches Substitutionsprinzip. 4

**OCP** Open-Closed-Prinzip. 4, 6, 7

**POC** Proof-of-Concept. 1, 2

**SRP** Single-Responsibility-Prinzip. 4, 6, 7

# Glossar

**Enumeration** Eine Auflistung von konstanten, unveränderlichen Werten. 18

**immutable** Die Unveränderlichkeit von Werten bzw. Variablen innerhalb einer Klasse. 11

**Product Owner** Eine Scrum-Rolle, welche die wirtschaftliche Ziele und Prioritäten der Aufgabenpakete bestimmt. 17

**Scrum** Eine agile Entwicklungsmethode, welches hohen Fokus auf kontinuierliche Verbesserung in einem geregelten Zyklus legt. 2

# Literatur

- [1] Eric Evans. *Domain-driven design: Tackling complexity in the heart of software*. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley, 2011. ISBN: 9780321125217.