



universität  
**uulm**

**Fakultät für  
Ingenieurwissenschaften,  
Informatik und  
Psychologie**  
Institut für Datenbanken  
und Informationssysteme

# Design and Implementation of an Empirical Eye Tracking Study regarding the Validation of Existing Guidelines for the Proper Comprehension of Process Models

Abschlussarbeit an der Universität Ulm

**Vorgelegt von:**

Maximilian Möller  
maximilian.moeller@uni-ulm.de  
951793

**Gutachter:**

Prof. Dr. Manfred Reichert  
Prof. Dr. Rüdiger Pryss

**Betreuer:**

Michael Winter

2022

Fassung 7. März 2022

© 2022 Maximilian Möller

Satz: PDF- $\text{\LaTeX}$  2 $_{\epsilon}$

# Kurzfassung

---

Business Process Management hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Gründe hierfür sind unter anderem die Erhöhung der Produktivität, die Verringerung von Kosten und auch die Automatisierung von Routineaufgaben. Ein wichtiger Bestandteil des Business Process Managements bildet die Erstellung von Geschäftsprozessen. Damit diese Prozesse von allen verstanden werden und auch von hoher Qualität sind, wurden im Laufe der Jahre immer wieder neue Modellierungsrichtlinien entworfen. Unter anderem auch die „Seven Process Modeling Guidelines“. Diese einfach formulierten Richtlinien sollen dabei helfen, dass auch Menschen mit weniger Erfahrung im Bereich der Prozessmodellierung gute und vor allem verständliche Prozesse modellieren können. In dieser Arbeit wurde der Frage nachgegangen, ob diese Guidelines tatsächlich zu einer höheren Verständlichkeit der Prozesse beitragen. Um dies zu untersuchen, wurde ein Eye Tracking Experiment implementiert. Insgesamt bestand das Experiment aus zwei Gruppen. Eine Gruppe bekam dabei nur Prozessmodelle zu sehen, die ohne Hilfe der Richtlinien erstellt wurden und die andere Gruppe bekam nur die Modelle zu sehen, die mit Hilfe der genannten Richtlinien erstellt wurden. In der Studie wurde die Performance, der Cognitive Load und das Level of Acceptability der Teilnehmer gemessen. Diese Daten dienten am Schluss zur statistischen Analyse und zur Beantwortung der Forschungsfrage. Obwohl es ein paar signifikante Unterschiede gab, konnte im Allgemeinen keine der aufgestellten Hypothesen bestätigt werden. Überraschenderweise konnten die Seven Process Modeling Guidelines in dieser Studie nicht zu einer höheren Verständlichkeit von Prozessmodellen beitragen.

# Danksagung

---

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Erstgutachter Prof. Dr. Manfred Reichert, sowie bei meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Rüdiger Pryss bedanken.

Ein besonderer Dank geht an Michael Winter, der mich während der Erstellung dieser Arbeit betreut und unterstützt hat und bei Fragen immer zur Verfügung stand.

Zudem möchte ich allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern danken, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht hat.

# Inhaltsverzeichnis

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Motivation . . . . .                               | 1         |
| 1.2      | Ziel der Arbeit . . . . .                          | 2         |
| 1.3      | Struktur der Arbeit . . . . .                      | 2         |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen des Business Process Managements</b> | <b>4</b>  |
| 2.1      | Business Process Management . . . . .              | 4         |
| 2.2      | Der BPM Lebenszyklus . . . . .                     | 7         |
| 2.3      | Business Process Model and Notation 2.0 . . . . .  | 10        |
| 2.4      | Prozessmodellqualität . . . . .                    | 17        |
| 2.5      | Prozessmodellierungsrichtlinien . . . . .          | 21        |
| <b>3</b> | <b>Grundlagen von Eye Tracking Experimenten</b>    | <b>31</b> |
| 3.1      | Die Anatomie des Auges . . . . .                   | 31        |
| 3.2      | Eye Tracking . . . . .                             | 33        |
| <b>4</b> | <b>Verwandte Arbeiten</b>                          | <b>38</b> |
| <b>5</b> | <b>Ablauf der Studie</b>                           | <b>44</b> |
| 5.1      | Ziel der Studie . . . . .                          | 44        |
| 5.2      | Vorbereitung der Studie . . . . .                  | 44        |
| 5.3      | Formulierung der Hypothesen . . . . .              | 46        |
| 5.4      | Durchführung der Studie . . . . .                  | 47        |
| 5.5      | Abhängige und unabhängige Variablen . . . . .      | 49        |

## *Inhaltsverzeichnis*

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>6</b> | <b>Auswertung und Analyse der Studie</b> | <b>52</b>  |
| 6.1      | Deskriptive Statistik . . . . .          | 52         |
| 6.2      | Testen der Hypothesen . . . . .          | 54         |
| 6.3      | Zusammenfassung und Diskussion . . . . . | 62         |
| <b>7</b> | <b>Fazit</b>                             | <b>69</b>  |
|          | <b>Literatur</b>                         | <b>71</b>  |
| <b>A</b> | <b>Prozessmodelle</b>                    | <b>79</b>  |
| <b>B</b> | <b>Fragebögen</b>                        | <b>89</b>  |
| <b>C</b> | <b>HeatMaps</b>                          | <b>97</b>  |
| <b>D</b> | <b>Scanpaths</b>                         | <b>119</b> |

# Einleitung

---



## 1.1 Motivation

Business Process Management (BPM) ist ein sogenanntes „Hot Topic“. Der Grund dafür ist, dass es zum einen aus praktischer Perspektive für die Wirtschaft äußerst relevant ist und zum anderen gleichzeitig für Softwareentwickler und Wissenschaftler eine Vielzahl von Herausforderungen bietet. In den vergangenen Jahren wurden Prozesse immer wichtiger für Unternehmen. Deswegen verwundert es einen auch nicht, dass ein Wandel verzeichnet werden konnte von traditionellen Informationssystemen, die vor allem datengetriebene Ansätze umfassten hin zu sogenannten Workflow-Management-Systemen. Ziel dieser Systeme ist die Automatisierung von strukturierten Prozessen. Mit der Zeit wurden aber auch die Workflow-Konzepte durch „prozessorientierte“ Informationssysteme übernommen. Im BPM geht es um das große Thema der Prozessunterstützung in einer breiteren Perspektive, indem es verschiedene Arten der Analyse (z.B. Simulation, Verifikation und Process Mining) einbezieht und Prozesse mit geschäftlichen und sozialen Aspekten verknüpft. [37]

Ein wichtiger Bestandteil des BPMs ist die Modellierung von Geschäftsprozessen. Allerdings zeigt sich in der Forschung, dass über wichtige Qualitätsaspekte noch wenig bekannt ist. Ein großes, bereits bekanntes Problem besteht unter anderem in der fehlenden Modellierungskompetenz. Dieses Problem wiederum hat seine Ursprünge darin, dass vorhandenen Modellierungsrichtlinien zu abstrakt sind, um in der Praxis von Anfängern und Nichtfachleuten angewendet werden zu können. [23]

Um diesem Problem nachzugehen, wurden die „Seven Process Modeling Guidelines“ (7PMG) erstellt [23]. Diese Guidelines stützen sich dabei auf empirische Erkenntnisse und sind so formuliert, dass sie für Anwender intuitiv verständlich sind.

Diese 7PMG bilden das Forschungsthema, um das es in der vorliegenden Arbeit geht. Genauer gesagt, geht es um die Forschungsfrage, ob die 7PMG die Verständlichkeit von Prozessmodellen erhöhen. Zudem soll der Unterfrage nachgegangen werden, ob sich für diese Richtlinien ein Ranking nach Nützlichkeit erstellen lässt.

### 1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die genannten Fragen zu beantworten. Dazu wurde ein Eye Tracking Experiment durchgeführt. Es wurden insgesamt sechs Prozessmodelle erstellt, die drei verschiedene Prozesse abbilden. Jeder Prozess wurde jeweils einmal ohne Anwendung der 7PMG und einmal mit Anwendung der 7PMG modelliert. Dadurch gab es zwei Treatment Gruppen, die sich jeweils aus neun Teilnehmern zusammensetzten. Während die Teilnehmer die Prozessmodelle betrachteten wurde deren Augenbewegung aufgenommen, um wichtige Daten zu erhalten, die zur Beantwortung der Forschungsfrage dienen.

Um die Unterfrage beantworten zu können, wurden die Teilnehmer gebeten, die 7PMG nach Nützlichkeit zu ranken. Zudem wurden Heatmaps erstellt um häufig betrachtete Bereiche des Prozessmodells zu visualisieren und daraus Schlüsse über die Anwendbarkeit der einzelnen Guidelines ziehen zu können.

### 1.3 Struktur der Arbeit

Das folgende Unterkapitel schildert den Aufbau der Arbeit. In Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen des Business Process Managements beschrieben. Darunter fallen der Business Process Management Lebenszyklus, die Modellierungssprache Business Management and Notation 2.0, die verschiedenen Qualitätsdimensionen von Modellen sowie die Prozessmodellierungsrichtlinien, die das Herzstück der vorliegenden Arbeit sind. In Kapitel 3 erfolgt ein kurzer Überblick über



den anatomischen Aufbau des Auges und es werden die Grundlagen und Techniken des Eye Trackings erläutert. Im darauffolgenden Kapitel 4 werden verwandte Arbeiten aufgezeigt, die sich ebenfalls mit dem Thema der Verständlichkeit von Prozessmodellen und insbesondere der Hinzunahme von Eye Tracking Instrumenten beschäftigen. In Kapitel 5 wird der praktische Teil der Arbeit erläutert. Es wird hierbei vor allem auf die Vorbereitung und Durchführung der Studie eingegangen. Zudem werden die zu analysierenden Hypothesen beschrieben. In Kapitel 6 werden die statistischen Analysemethoden und -schritte aufgezeigt und es wird auf die Erstellung der Heatmaps und Scanpaths eingegangen, die im Rahmen dieser Studie gemacht worden sind, um letztendlich die Forschungsfrage beantworten zu können. Am Ende erfolgt eine kritische Diskussion, die im letzten Teil der Arbeit, dem Kapitel 7, zum Fazit führt.

# Grundlagen des Business Process Managements

---

# 2

## 2.1 Business Process Management

Business Process Management (BPM) ist die Kunst und Wissenschaft der Überwachung der Arbeitsabläufe in einer Organisation, um einheitliche Ergebnisse zu gewährleisten und Verbesserungsmöglichkeiten zu nutzen. [11]

Wenn man von Verbesserung spricht, dann kann es aber je nach Unternehmen und deren individuellen Ansichten, unterschiedliche Verbesserungsziele geben. Allgemeine Ziele sind aber typischerweise die Kostenreduktion, die Verkürzung von Durchlaufzeiten und die Verringerung von Fehlerquoten. [11]

Eine wichtige Anmerkung ist, dass beim BPM nicht die Veränderung von Einzelaktivitäten im Vordergrund steht, sondern die Verbesserung und das Management von verschiedenen Ereignissen und Aktivitäten, die in Kombination den Oberbegriff des Prozesses bilden. [11]

Der Autor Weske ergänzt den Begriff des Prozesses und führt an, dass ein Geschäftsprozess aus einer Reihe von Aktivitäten besteht, die in einem organisatorischen und technischen Umfeld koordiniert ablaufen. Diese Aktivitäten realisieren gemeinsam ein Geschäftsziel. Jeder Geschäftsprozess wird dabei von einer einzelnen Organisation durchgeführt, er kann aber auch mit Geschäftsprozessen anderer Organisationen interagieren. [37]

Auf der Grundlage der Definition eines Prozesses, umfasst für Weske das Business Process Management verschiedene Konzepte, Methoden und Techniken um die Er-

stellung, Verwaltung, Konfiguration, Umsetzung und Analyse von Geschäftsprozessen zu unterstützen. [37]

Ein (Geschäfts-) Prozessmodell besteht aus einer Menge von Aktivitäten und den dazugehörigen Ausführungsregeln, die zwischen den Aktivitäten gelten. Desweiteren wird der Begriff der (Geschäfts-) Prozessinstanz eingeführt. Sie repräsentiert einen konkreten Prozess im operativen Geschäft einer Organisation. Sie referenzieren auf ein Prozessmodell, dessen Ereignisse, Aktivitätsvorlagen und Ausführungsregeln zur Laufzeit interpretiert und instanziiert werden. Die Geschäftsprozessinstanz beinhaltet daher eine Menge eingetretener Ereignisse und Aktivitätsinstanzen, die zusammen ihren aktuellen Zustand determinieren. [37]

Ein BPM besteht aus verschiedenen Prozessrollen bzw. Gruppen von Akteuren, sogenannten Stakeholdern. Im Nachfolgenden werden einige genannt und die jeweiligen Aufgaben kurz beschrieben.

Einer der wichtigsten Stakeholder ist das Management („Management Team“). Dazu gehört unter anderem der Chief Executive Officer (CEO), der für den gesamten Unternehmenserfolg verantwortlich ist. Neben ihm gibt es weitere bekannte Rollen wie bspw. der Chief Operations Officer (COO), der für die Festlegung der Arbeitsabläufe verantwortlich ist oder auch der Chief Financial Officer (CFO), dessen Aufgabe die finanzielle Gesamtleitung ist. Das Management ist dafür verantwortlich alle Prozesse zu überwachen, Initiativen zur Neugestaltung von Prozessen zu initiieren und den Beteiligten in allen Phasen des Lebenszyklus (siehe Abbildung 2.1) Ressourcen und strategische Leitlinien zur Verfügung zu stellen. [11]

Neben dem Management bilden die Prozessverantwortlichen („Process Owners“) eine zentrale Rolle. Sie sind einerseits für die Planung und Organisation als auch andererseits für die Überwachung und Steuerung des Prozesses zuständig. Ziel des Prozessverantwortlichen ist dafür zu sorgen, dass der Prozess reibungslos abläuft. [11]

Eine weitere wichtige Gruppe, ohne die der Prozess nicht laufen würde, sind die Prozessbeteiligten („Process Participants“). Sie führen die Aktivitäten eines Geschäftsprozesses gemäß den Standards und Richtlinien des Unternehmens aus. [11]

Die Prozessanalysten („Process Analysts“) sind weitere Akteure im BPM. Sie sind in jeder Phase des BPM-Lebenszyklus (siehe Abbildung 2.1) vorzufinden. Sie be-

richten an das Management und die Prozessverantwortlichen und arbeiten eng mit den Prozessbeteiligten zusammen. [11]

Schließlich gibt es noch die Systemingenieure („System Engineers“). Sie arbeiten an der Prozessoptimierung und der Prozessimplementierung (siehe Abbildung 2.1). Weitere Aufgaben sind unter anderem das Testen und der Einsatz von Systemen. Ein ständiger Kontakt besteht zwischen ihnen, den Prozessverantwortlichen und den Prozessbeteiligten. [11]

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass mit Hilfe des Business Process Managements Unternehmen Hochleistungsprozesse schaffen, die mit wesentlich geringeren Kosten, höherer Geschwindigkeit, größerer Genauigkeit, weniger Ressourcen und größerer Flexibilität arbeiten. Zudem kann das Unternehmen sicherstellen, dass die betrieblichen Prozesse halten, was sie versprechen und durchgängig auf dem Niveau arbeiten, zu dem sie in der Lage sind. Durch BPM kann ein Unternehmen feststellen, wann ein Prozess nicht mehr seinen Anforderungen und denen seiner Kunden entspricht und daher ersetzt werden muss. Diese operativen Vorteile in Bezug auf Konsistenz, Kosten, Geschwindigkeit, Qualität und Service führen zu niedrigeren Betriebskosten und höherer Kundenzufriedenheit, was wiederum die Unternehmensleistung steigert. [15]

Zusammengefasst ergeben sich aus dem BPM die folgenden Vorteile für Organisationen [18]:

- Transparenz über Abläufe und Systeme
- Zentrale Dokumentation der Prozesse
- Verbesserte Qualität von Geschäftsprozessen
- Entlastung der Mitarbeiter durch Optimierung und Automatisierung von Routineaufgaben
- Erhöhung der Produktivität, Effizienz und Agilität
- Verringerung von Kosten

## 2.2 Der BPM Lebenszyklus

„To improve is to change; to be perfect is to change often“

*Winston Churchill*

Ein wichtiger Bestandteil des BPM ist der BPM Lebenszyklus. Bei mangelnder Prozessüberwachung und -Verbesserung wird jeder gute Prozess irgendwann zu einem schlechten Prozess. Damit ein Prozess sich ständig veränderten Kundenbedürfnissen, Technologien und Wettbewerben anpasst, ist es notwendig, sich mit dem BPM Lebenszyklus zu beschäftigen. [11]

In der Theorie haben sich unterschiedliche Modelle von BPM Lebenszyklen gebildet. Im Folgenden wird einer der bekanntesten, nämlich der von Dumas herangezogen, der in Abbildung 2.1 dargestellt ist.

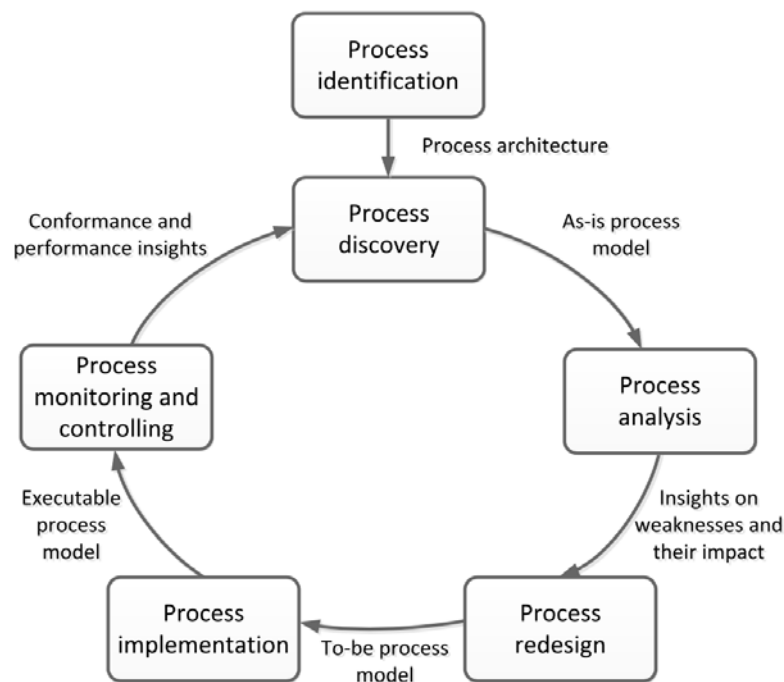


Abbildung 2.1: Der BPM Lebenszyklus, Quelle: [11]

Wie man der Abbildung 2.1 entnehmen kann, beinhaltet der BPM Lebenszyklus die Phasen der Prozessidentifikation, Prozessentdeckung, Prozessanalyse, Prozessoptimierung, Prozessimplementierung und der Prozessüberwachung.

Die einzelnen Phasen werden nun im Einzelnen genauer beschrieben.

### Phase 1: Prozessidentifikation

Die Prozessidentifikation findet häufig erst dann statt, wenn in einem Unternehmen oder einer Organisation ein Problem auftritt. Diese Probleme werden dann in der ersten Phase des BPM Lebenszyklus identifiziert, abgegrenzt und in Beziehung zueinander gesetzt. Am Ende einer Prozessidentifikation wird eine neue oder aktualisierte Prozessarchitektur gebildet, die einen Gesamtüberblick über die Prozesse in einer Organisation bietet. [11]

### Phase 2: Prozessentdeckung

Bei der Prozessentdeckung, die auch unter dem Namen der Ist-Prozessmodellierung bekannt ist, wird der aktuelle Zustand jedes relevanten Prozesses dokumentiert und typischerweise in Form eines oder mehrerer Ist-Prozessmodelle dargestellt. [11]

### Phase 3: Prozessanalyse

Nach der Prozessentdeckung folgt die Prozessanalyse. In dieser Phase werden die mit dem Ist-Prozess verbundenen Probleme identifiziert, dokumentiert und wenn möglich mit Hilfe von Leistungskennzahlen quantifiziert. Das Ergebnis der Prozessanalyse ist eine strukturierte Sammlung von Problemen. Dieser Probleme werden dann idealerweise nach Merkmalen wie Auswirkung oder geschätztem Aufwand priorisiert. [11]

### Phase 4: Prozessoptimierung

Die ermittelten Probleme der Prozessanalyse werden nun versucht zu beheben, sodass die Organisation in die Lage versetzt wird, ihre Leistungsziele zu erreichen. Mit Hilfe der Prozessanalyse werden verschiedene Änderungsoptionen analysiert mit dem Ziel, ein Soll-Prozessmodell zu entwickeln, das als Grundlage für die nächste Phase dient. [11]

### Phase 5: Prozessimplementierung

Bei der Prozessimplementierung geht es darum, von dem Ist-Prozess zum Soll-Prozess zu gelangen. Dabei gibt es zum einen das organisatorische Änderungsmanagement und zum anderen die Prozessautomatisierung. Das organisatorische Änderungsmanagement beinhaltet alle Aktivitäten, die erforderlich sind, um die Arbeitsweise der am Prozess beteiligten Akteure auf Grundlage der neuen Soll-Prozesse zu ändern, bzw. anzupassen. Die Prozessmodellierung hingegen bezieht sich auf die Entwicklung und den Einsatz von IT-Systemen, die den zu entwickelnden Prozess unterstützen soll. [11]

### Phase 6: Prozessüberwachung

In der letzten Phase des BPM Lebenszyklus, der Prozessüberwachung, werden neue relevante Daten gesammelt, sobald der neu gestaltete Prozess läuft. Diese Daten werden dann analysiert um festzustellen, wie gut der Prozess, gemessen an den Leistungszielen und -kennzahlen funktioniert. Dabei können auch Engpässe, wiederkehrende Fehler oder sonstige Abweichungen vom beabsichtigten Verhalten auftreten, die ermittelt werden und durch Abhilfemaßnahmen beseitigt werden müssen. Wenn neue Probleme auftreten ist es wichtig, dass der BPM Lebenszyklus von Neuem beginnt. [11]

Eine zentrale Rolle im BPM-Lebenszyklus ist die Technologie. Sie und insbesondere die Informationstechnologie (IT) sind wichtige Voraussetzung zur Verbesserung von Geschäftsprozessen. Demnach stellen gerade die Systemingenieure und die Prozessanalysten Schlüsselfiguren im BPM dar. Sie müssen sich gegenseitig absprechen und zusammenarbeiten um die Probleme eines Prozesses zu verstehen und daraus ableitend geeignete Lösungen zu finden. [11]

## 2.3 Business Process Model and Notation 2.0

„Was weiß ein Affe vom Geschmack von Ingwer?“

---

*Indisches Sprichwort*

Dieses doch sehr skurrile Sprichwort meint anders ausgedrückt, dass jemand, der etwas nicht verstehen kann, auch nicht in der Lage ist, es zu schätzen. Bei der Business Process Model Notation (BPMN) ist es das Gleiche. Nicht jeder weiß die BPMN zu schätzen, weil sie nicht jeder versteht. Wenn man die BPMN versteht, stellt sie ein mächtiges Werkzeug dar, das insbesondere im Bereich des BPM von großem Nutzen sein kann. [12]

Heutzutage gibt es eine Vielzahl von Prozessmodellierungssprachen. Zu den bekanntesten aus der imperativen Prozessmodellierung gehören sicherlich die Ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK), die bereits erwähnte Business Process Model and Notation (BPMN 2.0), Aktivitätsnetze, Business Process Execution Language (BPEL) als auch Workflow- und Petrinetze. Da sich die BPMN 2.0 von der Object Management Group (OMG) als Standardsprache festgelegt wurde [24], richtet sich der Fokus der vorliegenden Arbeit auf diese Prozessmodellierungssprache. Im Folgenden werden daher die Grundlagen der BPMN 2.0 erklärt.

In BPMN 2.0 können drei Diagrammtypen erstellt werden. Zum einen sind das die Prozess- bzw. Kollaborationsdiagramme. Mit diesen Diagrammen lässt sich der Ablauf des Prozesses mit den einzelnen Aktivitäten, Verzweigungen, usw. darstellen. Zudem können auch Kollaborationen von zwei oder mehr Prozessen modelliert werden. Der Austausch von zwei Prozessen erfolgt in der BPMN 2.0 über Nachrichten. Dies erklärt auch den Unterschied zwischen einem Prozess- und einem Kollaborationsdiagramm. Obwohl es der gleiche Diagrammtyp ist, spricht man bei einem Diagramm mit nur einem Prozess von einem Prozessdiagramm und bei einem Diagramm mit mehreren Prozessen, die untereinander interagieren, von einem Kollaborationsdiagramm. Die vorliegende Arbeit legt den Schwerpunkt auf diesen Diagrammtyp, da er in der Praxis und in Lehrbüchern am meisten Verwendung findet. [5]



Im Weiteren wird noch kurz auf die anderen beiden Diagrammtypen eingegangen. So gibt es noch das Choreographie- und das Konversationsdiagramm. Bei einem Choreographiediagramm wird im Unterschied zum Prozess- bzw. Kollaborationsdiagramm jeder Nachrichtenaustausch als eigene Aktivität dargestellt. Zudem kann dieser Austausch mit Verzweigungen oder auch Schleifen dargestellt werden, damit komplexere Austauschmöglichkeiten modelliert werden können. Ein Kollaborationsdiagramm ist eine Übersichtsdarstellung mehrerer Akteure mit ihren Kommunikationsbeziehungen. [5]

Die grundlegenden Elemente der BPMN 2.0 werden im Folgenden genannt und beschrieben.

### Element 1: Ereignisse

„Ereignisse (Events) sind eingetretene, betriebswirtschaftlich relevante Zustände und können einen Prozess in BPMN 2.0 starten, während des Prozesses auftreten beziehungsweise ausgelöst werden und ihn abschließen. Eintretene Ereignisse sind Zustände, die durch einen externen Auslöser erzeugt werden. Dies können Start- und Zwischenereignisse sein. Ausgelöste Ereignisse sind Zustände, die vom Prozess selbst erzeugt wurden, hierbei handelt es sich um Zwischen- und Endereignisse.“ [13]



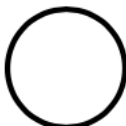
#### Startereignis

Das Startereignis löst den Sequenzfluss eines Prozesses aus.



#### Zwischenereignis

Ein Zwischenereignis unterbricht den Sequenzfluss temporär.



#### Endereignis

Endereignisse beenden den Sequenzfluss.

### Element 2: Aktivitäten

„Aktivitäten (Activities) [dienen] zur Abbildung von einzelnen Prozessschritten in BPMN Diagrammen.“ [13]

Activity

### Aktivität

Sie stellt einen Arbeitsschritt dar und wird aktiv formuliert.

Subprocess

### Teilprozess

Möchte man den komplexen Ablauf einer Aktivität nicht unmittelbar in einem Diagramm zeigen, kann dies mit Hilfe eines Teilprozesses umgangen werden. Ein Teilprozess symbolisiert eine Ablaufdarstellung, die eine Beschreibung von komplexen Aktivitäten auf der nächsten Ebene enthält.

## Element 3: Gateways

„Prozesse sind in der Regel nicht immer linear, sondern bestehen aus Aufspaltungen und Zusammenführungen. Diese werden im Sequenzfluss eines Modells durch Gateways dargestellt.“ [13]



### Exklusives Gateway

Exklusive Gateways werden verwendet, wenn genau eine Bedingung eintreffen darf („entweder/oder“). Bei der Zusammenführung muss genau ein eingehender Prozesspfad erfüllt sein.



### Paralleles Gateway

Bei parallelen Gateways müssen alle ausgehenden Prozesspfade verfolgt werden („und“). Erst wenn bei der Zusammenführung alle eingehenden Pfade erfüllt sind, darf der Prozess fortgesetzt werden.



### Inklusives Gateway

Inklusive Gateways werden verwendet, wenn einem oder mehreren Prozesspfade gefolgt werden kann („und/oder“; Pfadkombinationen). Bei der Zusammenführung muss auf alle zuvor ausgelösten Pfade gewartet werden.



### Ereignis-basiertes Gateway

Bei ereignis-basierten Gateways wird derjenige Sequenzfluss verfolgt, dessen Ereignis zeitlich als erstes auftritt.

#### Element 4: Verbinder

„Alle in einem BPMN Prozess verwendeten Flusselemente (flow objects) werden über sogenannte Sequenzflüsse miteinander verbunden.“ [13]



##### Sequenzfluss

Sequenzflüsse (Sequence Flows) verbinden Aktivitäten, Ereignisse und Gateways eines Prozesses miteinander und verdeutlichen somit den zeitlich logischen Ablauf des Prozesses.



##### Nachrichtenfluss

Nachrichtenflüsse symbolisieren den Informationsaustausch mit externen Prozessteilnehmern. Sie werden von Aktivitäten ausgelöst und können an anderen Aktivitäten, Pools oder Nachrichtereignissen andocken.

#### Element 5: Pools & Lanes

„Die Schritte eines Prozesses werden von Prozessteilnehmern durchgeführt [...]. In der BPMN 2.0 werden Pools und Lanes genutzt, um so die verschiedenen Prozessteilnehmer abzubilden.“ [13]



##### Pool

Pools repräsentieren dabei einen der Lanes übergeordneten Prozessteilnehmer, der den Prozessverlauf innerhalb des Pools koordiniert. Sie umfassen den gesamten Prozess und ordnen die enthaltenen Aufgaben den verantwortlichen Lanes zu.



##### Lane

Lanes können Organisationseinheiten oder Rollen sein und werden über Pool generiert. Innerhalb der Lane werden dann die Aufgaben des Prozessteilnehmers modelliert.

### Element 6: Artefakte

Um neben den Sequenz- und Nachrichtenflüssen auch weitere Informationen in einem Prozessmodell abzubilden, stehen sogenannte Artefakte (Artifacts) zur Verfügung. [5]

Im Nachfolgenden werden die Artefakte „Datenobjekt“, „Annotation“ und die „Gruppe“ beschrieben.



#### **Datenobjekt**

Viele Prozesse beinhalten Prozessschritte, bei denen die Verwendung oder Erstellung von Dokumenten sowie Daten vorgesehen ist. Diese werden von Datenobjekten dargestellt.



#### **Annotation**

Sämtliche BPMN-Elemente können mit einem Kommentar versehen werden, um ein besseres Verständnis des Modells zu erzielen. Die Annotation wird dabei unmittelbar im Prozess platziert.



#### **Gruppe**

Die Gruppe ist ein visuelles Element, welches inhaltlich zusammenhängende Objekte zusammenfasst. Diese dient dem besseren Verständnis des Modells - ohne Auswirkungen auf die Ablauflogik.

Im Rahmen dieser Arbeit werden weitere Elemente der BPMN 2.0 wie bspw. Nachrichten-Ereignisse, komplexe Gateways, Zeit-Zwischenereignisse nicht weiter beschrieben, da sie sich häufig aus dem Kontext des jeweiligen Prozessmodells von selbst erklären und den theoretischen Rahmen sprengen würden.

## 2 Grundlagen des Business Process Managements

Mit Hilfe dieser Grundelemente lassen sich in BPMN 2.0 bereits erste einfache Prozessmodelle modellieren. Ein einfaches BPMN 2.0 Modell kann dann bspw. wie in Abbildung 2.2 aussehen. Dieses Diagramm zeigt einen einfachen Prozess, der dadurch ausgelöst wird, dass jemand hungrig ist. Das Ergebnis ist, dass jemand Lebensmittel einkaufen und eine Mahlzeit zubereiten muss. Danach wird jemand die Mahlzeit essen und seinen Hunger stillen.

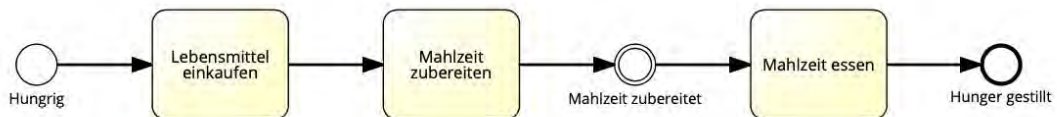


Abbildung 2.2: Ein einfaches BPMN 2.0 Modell, Quelle: [9]

Einen schon etwas komplexeren Prozess stellt bspw. die Bestellung einer Pizza in einem Restaurant dar. Die nachfolgende Abbildung 2.3 zeigt den genannten Sachverhalt. Hierbei spielt sich der Prozess in einem Pool namens Restaurant ab, der drei Lanes beinhaltet. Zum einen gibt es den Kunden, der eine Pizza bestellen möchte. Dann gibt es noch die Bedienung, die dafür zuständig ist die Bestellung entgegenzunehmen und die Pizza dem Kunden zu bringen. Schließlich gibt es noch den Chefkoch des Restaurants, der die Pizza backen muss.

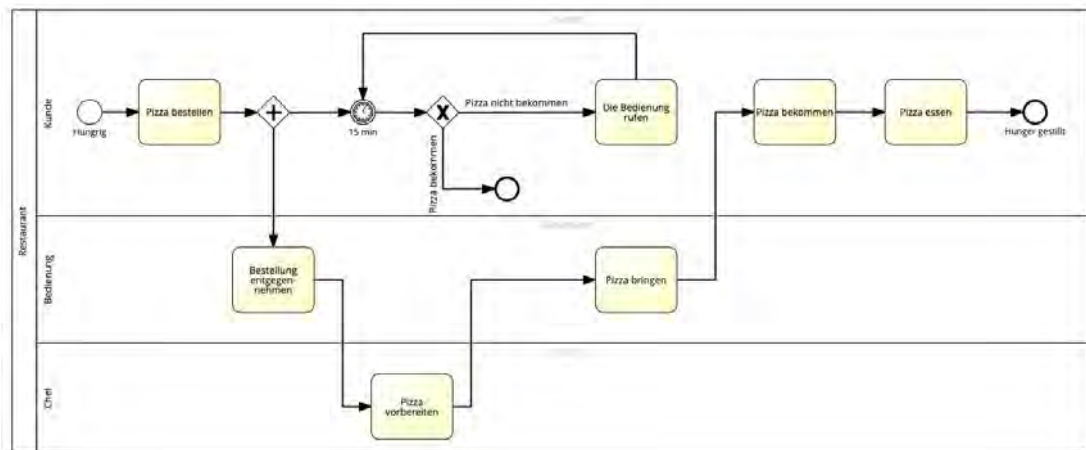


Abbildung 2.3: Bestellung einer Pizza im Restaurant, Quelle: [1]

Falls der Kunde 15 Minuten nach seiner Bestellung noch keine Pizza bekommen hat, wird die Bedienung kontaktiert. Dies geschieht im 15-Minuten-Takt solange, bis

## 2 Grundlagen des Business Process Managements

die Pizza beim Kunden ankommt. Falls die Pizza früher beim Kunden ankommt, wird diese gegessen und der Prozess endet damit, dass der Kunde satt ist.

Im Folgenden wird noch ein betriebswirtschaftlicher Beispielprozess betrachtet. Es geht dabei um die Kreditaufnahme bei einer Bank. Der Prozess ist in Abbildung 2.4 dargestellt.

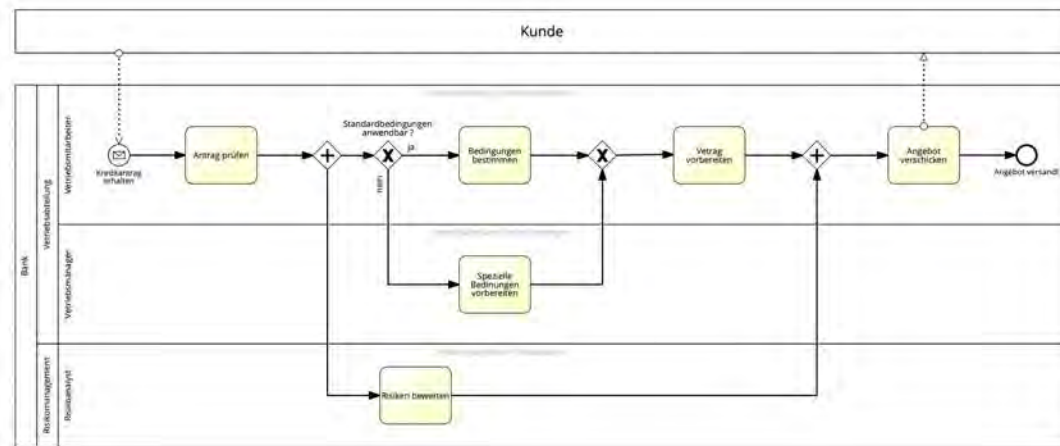


Abbildung 2.4: Kreditaufnahme bei einer Bank, Quelle: [30]

Der Beispielprozess besteht aus einem Kunden und einer Bank. Anzumerken ist, dass der Kunde mit Hilfe einer sogenannten Blackbox dargestellt ist. Eine Blackbox Darstellung wird verwendet, wenn der Inhalt des Pools nicht von Interesse ist. Hierbei bleibt dann der Ablauf des Pools verborgen. Die Bank wiederum ist untergliedert in das Risikomanagement und der Vertriebsabteilung. Im Risikomanagement gibt es einen Risikoanalyst und die Vertriebsabteilung besteht aus einem Vertriebsmanager und einem Vertriebsmitarbeiter. Der Prozess startet damit, dass der Vertriebsmitarbeiter den Kreditantrag des Kunden erhält. Anschließend wird dieser geprüft. Danach folgt zum einen, dass der Risikoanalyst die Risiken bewertet und zum anderen, dass der Vertriebsmitarbeiter sich der Frage stellen muss, ob die Standardbedingungen anwendbar sind. Sollte dies nicht der Fall sein, muss der Vertriebsmanager spezielle Bedingungen vorbereiten. Falls die Standardbedingungen anwendbar sind bestimmt der Vertriebsmitarbeiter die Bedingungen und der Vertriebsmanager muss nicht aktiviert werden. Danach bereit er den Vertrag vor. Wenn dies geschehen ist und der Risikoanalyst die Risiken bewertet hat, kann das Angebot dem Kunden geschickt werden und der Prozess ist beendet.

## 2.4 Prozessmodellqualität

Ein wichtiges Thema des BPM ist die Qualität der Prozessmodelle, um das es im folgenden Kapitel geht.

Da das Sammeln von Informationen und deren Organisation in einem Prozessmodell oftmals nicht gleichzeitig sondern nacheinander geschieht, sind verschiedene Schritte notwendig, um die Qualität aufrechtzuerhalten. Dumas definiert drei Qualitätsdimensionen, die sich aus der syntaktischen, der semantischen und der pragmatischen Qualität zusammensetzen. Dabei kann die syntaktische Qualität durch Verifikation, die semantische Qualität durch Validierung und die pragmatische Qualität durch Zertifizierung erreicht werden. [11]

### Syntaktische Qualität und Verifikation

Syntaktische Qualität bezieht sich auf das Ziel ein Prozessmodell zu erstellen, das mit diesen Regeln konform ist. Das bedeutet, dass der Inhalt des Modells der Syntax der verwendeten Prozessmodellierungssprache entsprechen sollte. Beispielsweise ist es in der BPMN nicht erlaubt, einen Sequenzfluss über die Grenzen von Pools hinweg zu zeichnen. Darüber hinaus stellen Unternehmen individuelle Regeln und Vorgaben auf, um zum einen die Konsistenz und zum anderen die Vergleichbarkeit von Prozessmodellen zu gewährleisten. [11]

Bei der Verifikation geht es im Wesentlichen um formale Eigenschaften eines Modells, die ohne Kenntnis des realen Prozesses überprüft werden können. Dabei kann zwischen einer strukturellen und einer verhaltensbezogener Korrektheit unterschieden werden. Strukturelle Korrektheit bezieht sich auf die Arten von Elementen, die im Modell verwendet werden und wie sie miteinander verbunden sind. Zum Beispiel sollte eine Aktivität immer einen eingehenden und einen ausgehenden Pfeil haben und jedes Element sollte sich auf einem Pfad von einem Startereignis zu einem Endereignis des Prozessmodells befinden. Die verhaltensbezogene Korrektheit bezieht sich auf mögliche Ausführungssequenzen, wie sie durch das Prozessmodell definiert sind. Es ist eine allgemeine Annahme, dass ein Prozess niemals in einen Deadlock oder in einen Livelock geraten kann. [11]

Um zu zeigen, was ein Deadlock ist, wird ein bekanntes Beispiel der theoretischen Informatik herangezogen, das Philosophenproblem:

„Fünf Philosophen sitzen um einen runden Tisch herum. Jeder Philosoph hat einen Teller mit Spaghetti vor sich. Damit ein Philosoph die Spaghetti essen kann, braucht er zwei Gabeln. Zwischen je zwei Tellern liegt eine Gabel.“ [33]

„Das Leben eines Philosophen besteht aus sich abwechselnden Phasen des Essens und des Denkens. [...]. Wenn ein Philosoph hungrig wird, versucht er in einer beliebigen Reihenfolge nacheinander seine linke und seine rechte Gabel aufzunehmen. Hat er erfolgreich beide Gabeln aufgenommen, ißt er eine Weile, legt dann die Gabeln wieder ab und setzt das Denken fort.“ [33]

Eine (fehlerhafte) Lösung des Problems ist im folgenden Codebeispiel dargestellt.

```
1 #include "prototypes.h"
2
3 #define N 5                /*Anzahl der Philosophen */
4
5 void philosopher (int i)   /* i: welcher Philosoph (0 bis N-1) */
6 {
7     while (TRUE)
8     {
9         think ();          /* Philosoph denkt nach */
10        take_fork (i);     /* nimm linke Gabel auf */
11        take_fork ((i+1) % N); /* nimm rechte Gabel auf */
12        eat ();           /* iss leckere Spaghetti */
13        put_fork (i);     /* lege linke Gabel auf den Tisch */
14        put_fork ((i+1) % N); /* lege rechte Gabel auf den Tisch */
15    }
16 }
```

Listing 2.1: Eine (fehlerhafte) Lösung des Philosophenproblems

„Leider hat die offensichtliche Lösung einen Fehler. Falls alle fünf Philosophen ihre linke Gabel aufnehmen, ist es keinem mehr möglich, auch die rechte aufzunehmen, und es liegt ein Deadlock vor.“ [33]

Während bei einem Deadlock die beteiligten Aktivitäten niemals ausgeführt werden können, ist bei einem Livelock eine Reihe von Aktivitäten in einer Endlosschleife gefangen. Das Workflow-Netz in Abbildung 2.5 leidet unter der Tatsache, dass die Schleife durch einen AND-Split und nicht durch einen XOR-Split betreten wird.



Daher wird die Schleife wiederholt iteriert, was zu einer Livelock-Situation führt. Zusätzlich zu der Livelock-Situation leidet dieses Workflow-Netz auch darunter, dass jedes Mal, wenn die Schleife iteriert wird, ein Token an die Ausgabestelle gesetzt wird. Ein Token in der Ausgabestelle zeigt daher nicht mehr den Abschluss des Prozesses an. [37]

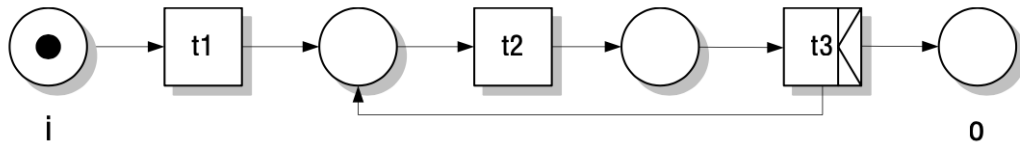


Abbildung 2.5: Workflow-Netz mit Livelock, Quelle: [37]

### Semantische Qualität und Validierung

Ziel der semantischen Qualität ist es, Modelle zu erstellen, die wahre Aussagen und Sachverhalte der betrachteten Domäne enthalten. Die besondere Herausforderung einer semantischen Qualitätsbewertung besteht darin, dass das Prozessmodell mit der realen Domäne eines bestimmten Geschäftsprozesses verglichen werden muss. Das bedeutet, dass es kein formales Regelwerk gibt, mit dem sich die semantische Qualität einfach überprüfen lässt. [11]

Die Validierung befasst sich mit der Überprüfung der semantischen Qualität eines Modells, indem es mit dem realen Geschäftsprozess verglichen wird. Es gibt zwei wesentliche Aspekte der semantischen Qualität: Validität und Vollständigkeit. Validität bedeutet, dass alle im Modell enthaltenen Aussagen korrekt und für das Problem relevant sind. Vollständigkeit bedeutet, dass das Modell alle relevanten Aussagen über einen Prozess enthält, die für eine semantisch korrekte Ausführung notwendig sind. [11]

Wenn z.B. ein Prozessmodell in einem Pharmaunternehmen beschreibt, dass jeder Mitarbeiter Zugang zum Labor hat, obwohl dies nur für zugewiesene Mitarbeiter gilt, weist das Modell ein Validitätsproblem auf. Falls hingegen der Zugang zum Labor im Prozessmodell weggelassen wird, hat es ein semantisches Problem aufgrund von Unvollständigkeit.

## Pragmatische Qualität und Zertifizierung

Unter der pragmatischen Qualität versteht man die Benutzerfreundlichkeit eines Prozessmodells. Ob ein Prozessmodell eine hohe pragmatische Qualität aufweist, kann bspw. daran gemessen werden, wie gut ein Benutzer den Inhalt des Modells versteht. [11]

Die Zertifizierung ist die Überprüfung der pragmatischen Qualität eines Prozessmodells durch Untersuchung seiner Nutzung. Diese Nutzung deckt die Bereiche der Verständlichkeit, der Wartbarkeit und das Lernen ab. Während sich die Verständlichkeit damit befasst, wie leicht ein bestimmtes Prozessmodell zu lesen ist, geht es bei der Wartbarkeit um den Aufwand der erforderlich ist, um an einem Prozessmodell Änderungen vorzunehmen. Das Lernen konzentriert sich auf den Grad der Verständlichkeit und um die Frage wie gut ein Prozessmodell zeigt, wie ein Geschäftsprozess in der Realität funktioniert. [11]

Ein Prozessmodell mit nicht zufrieden stellendem Layout kann bspw. wie in Abbildung 2.6 aussehen.

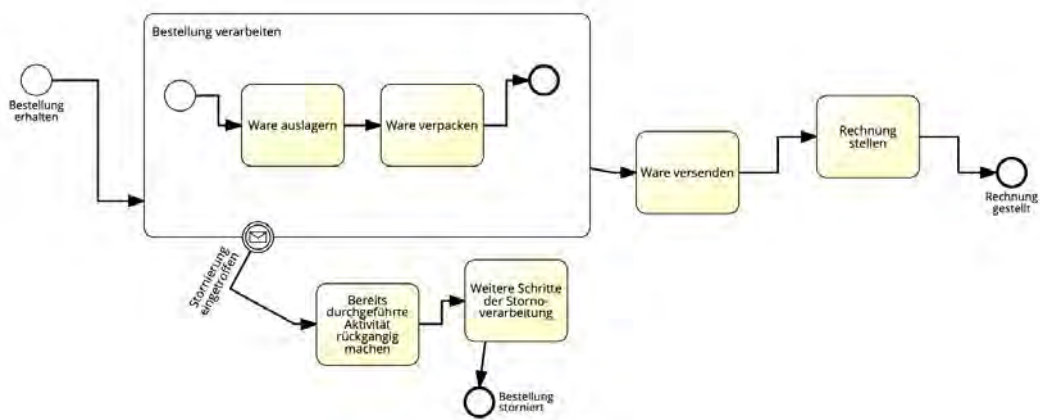


Abbildung 2.6: Prozessmodell mit nicht zufrieden stellendem Layout, eigene Darstellung in Anlehnung an [5][Abbildung193]

Das Prozessmodell bildet die Stornierung einer Ware ab. Für den Leser ist der Prozess schwierig zu verstehen. Das liegt mit unter anderem daran, dass die Sequenzflüsse nicht geradlinig verlaufen, sondern teilweise geknickt bzw. etwas abgerundet dargestellt sind. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass die einzelnen Aktivitäten nicht auf einer Höhe modelliert wurden.

## 2.5 Prozessmodellierungsrichtlinien

Heutzutage stehen schon einige theoretische Rahmen und Richtlinien im Bereich der Prozessmodellierung zur Verfügung, wie bspw. die „Guidelines of Modeling“ (GoM). [23]

Die GoM definieren einen alternativen Qualitätsrahmen, der sich an allgemeinen Buchhaltungsprinzipien orientiert. Die Guidelines umfassen die sechs Grundsätze der Korrektheit, Klarheit, Zuverlässigkeit, Vergleichbarkeit, Wirtschaftlichkeit und systematischen Gestaltung. [6]

Das Grundgerüst der GoM ist in der folgenden Abbildung 2.7 dargestellt.

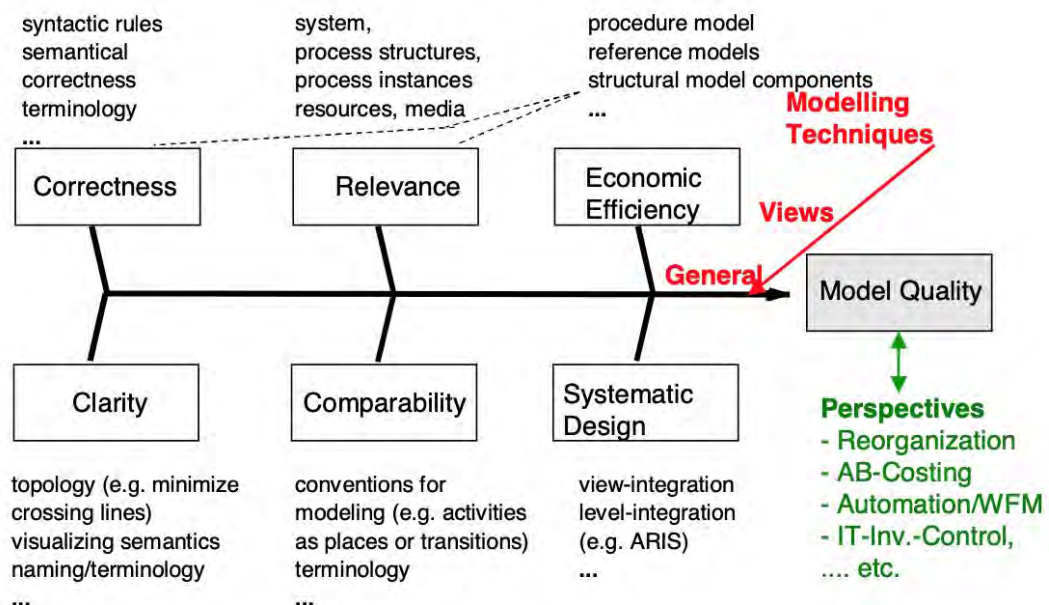


Abbildung 2.7: Grundgerüst der GoM, Quelle: [6]

Das Problem solcher Ansätze ist, dass sie in der Regel ein gewisses Maß an Modellierungskompetenz voraussetzen. Um dieses Problem zu beheben, wurden sieben Modellierungsrichtlinien entwickelt, die „Seven process modeling guidelines“ (7PMG), die Prozessmodellieren bei ihren Tätigkeiten unterstützen sollen. Mit Hilfe der 7PMG, soll die Qualität der Prozessmodelle verbessert werden, so dass sie zum einen für verschiedene Interessensgruppen verständlich werden und zum anderen wenige syntaktische Fehler enthalten. Im Gegensatz zu den bisherigen vorhande-

nen Richtlinien bauen die 7PMG auf fundierten wissenschaftlichen Erkenntnissen auf. Insbesondere basieren sie auf den empirischen Erkenntnissen über die drei Aspekte des Prozessmodellverständnisses. Dazu gehören die Verständlichkeit, die Fehleranfälligkeit und die Mehrdeutigkeit von Aktivitätsbeziehungen in einem Prozessmodell. [23]

In der nachfolgenden Tabelle 2.1 werden die 7PMG aufgelistet.

|           |  |
|-----------|--|
| <b>G1</b> | Use as few elements in the model as possible |
| <b>G2</b> | Minimize the routing paths per element       |
| <b>G3</b> | Use one start and one end event              |
| <b>G4</b> | Model as structured as possible              |
| <b>G5</b> | Avoid OR routing elements                    |
| <b>G6</b> | Use verb-object activity labels              |
| <b>G7</b> | Decompose a model with more than 50 elements |

Tabelle 2.1: Übersicht der 7PMG, Quelle: [23]

Eine genauere Beschreibung der einzelnen Guidelines findet im Nachfolgenden statt und basiert auf den Ausführungen in [23].

### G 1: Benutze so wenig Elemente wie möglich

Die Größe eines Prozessmodells hat unerwünschte Auswirkungen auf das Verständnis des Prozessmodells und die Wahrscheinlichkeit von syntaktischen Fehlern. Studien haben gezeigt, dass größere Modelle tendenziell schwieriger zu verstehen sind und eine höhere Fehlerquote aufweisen.

### G 2: Minimiere die Routingpfade pro Element

Für jedes Element in einem Prozessmodell lässt sich die Anzahl der ein- und ausgehenden Pfeile bestimmen. Diese summierte Zahl gibt eine Vorstellung von den Routingpfaden durch ein solches Element. Eine hohe Zahl erschwert das Verständnis des Modells. Auch die Anzahl der syntaktischen Fehler in einem Modell scheint stark mit der Verwendung von Modellelementen mit einer hohen Anzahl von Routingpfaden zu korrelieren.

**G 3: Verwende jeweils nur ein Start- und Endereignis**

Empirische Untersuchungen haben ergeben, dass die Anzahl der Start- und Endereignisse positiv mit einem Anstieg der Fehlerwahrscheinlichkeit verbunden ist. Modelle, die diese Anforderung erfüllen, sind leichter zu verstehen und ermöglichen alle Arten von formalen Analysen.

**G 4: Modelliere so strukturiert wie möglich**

Ein Prozessmodell ist strukturiert, wenn jedes Split-Gateway mit einem entsprechenden Join-Gateway desselben Typs übereinstimmt. Unstrukturierte Modelle sind nicht nur fehleranfälliger, sondern auch für die Menschen weniger leicht verständlich.

**G 5: Vermeide OR-Gateways**

Modelle, die nur AND-Gateways und XOR-Gateways enthalten, sind weniger fehleranfällig. Diese empirische Erkenntnis hängt offenbar damit zusammen, dass die durch ein OR-Gateway dargestellten Wahlkombinationen schwieriger zu erfassen sind als durch die anderen Gateways.

**G 6: Verwende Verb-Objekt-Aktivitätsbezeichnungen**

Eine umfassende Untersuchung von Bezeichnungsstilen, die in aktuellen Prozessmodellen verwendet werden hat ergeben, dass es eine Reihe von beliebten Stilen gibt. Dabei wird der Verb-Objekt-Stil, wie z.B. „send letter“, als deutlich weniger mehrdeutig und nützlicher angesehen als Bezeichnungen mit Aktion und Substantiv, wie z.B. „letter sending“.

**G 7: Zerlege ein Modell mit mehr als 50 Elementen**

Diese Guideline bezieht sich auf G1, das durch eine positive Korrelation zwischen Größe und Fehlern motiviert ist. Bei Modellen mit mehr als 50 Elementen steigt die Fehlerwahrscheinlichkeit tendenziell stark an. Daher sollten große Modelle in kleinere Modelle aufgeteilt werden. Zum Beispiel können große Teilkomponenten mit einem einzigen Eingang und einem einzigen Ausgang durch eine Aktivität ersetzt werden, die auf die ursprüngliche Teilkomponente als Teilprozess verweist.

Eine wichtige Frage, die sich bei der Anwendung dieser Richtlinien ergibt ist, wie man in Situationen umgeht, in denen verschiedene Guidelines gleichzeitig anwendbar sind, aber den Modellierer in unterschiedliche Richtungen leiten. So kann bspw. die Anwendung von G1 ein Modell verständlicher machen, während die Anwendung von G2 eine Verringerung der Anzahl der Leitwege pro Element vorsieht, was aber eine Erhöhung der Modellelemente erfordert. Aus dieser Frage ergibt sich die Ableitung von Prioritäten bei der Anwendung der 7PMG. Mit Hilfe von insgesamt 21 professionellen Prozessmodellieren aus Deutschland und den Niederlanden wurden akkumulierte Rankings berechnet, die in der folgenden Tabelle 2.2 dargestellt sind. [23]

| Position | No. | Explanation                                  | Accumulated rank |
|----------|-----|--|------------------|
| 1        | G4  | Model as structured as possible              | 58.5             |
| 2        | G7  | Decompose a model with more than 50 elements | 73.5             |
| 3        | G1  | Use as few elements in the model as possible | 80.5             |
| 4        | G6  | Use verb-object activity labels              | 84               |
| 5        | G2  | Minimize the routing paths per element       | 86.5             |
| 6        | G3  | Use one start and one end event              | 101              |
| 7        | G5  | Avoid OR routing elements                    | 104              |

Tabelle 2.2: Priorisierung der 7PMG, Quelle: [23]

Es ist ersichtlich, dass G4 mit einem kumulierten Rangwert von 58,5 als die Guideline mit dem größten Potenzial zur Verbesserung der Verständlichkeit eines Prozessmodells angesehen wird. Im Gegensatz dazu wird G5 mit einem kumulierten Wert von 104 das geringste Potenzial zugeschrieben. Alle anderen Guidelines erhielten Ränge, die in ihrer Kumulation zwischen diesen Extremen lagen. [23]

### Erstes Anwendungsbeispiel

Um die Anwendung der 7PMG in der Praxis zu verdeutlichen, wird das Beispiel aus [23] herangezogen.

Das Prozessmodell in Abbildung 2.8 beschreibt den Beschwerdeprozess einer niederländischen Regierungsbehörde, wie er von den Mitarbeitern dieser Organisation modelliert wurde. Dieser wurde ohne Berücksichtigung der Guidelines erstellt. [23]

Das Prozessmodell folgt der Notation der "Ereignisgesteuerten Prozessketten" (EPK). Die grünen Rechtecken entsprechen sogenannten „Funktionen“, also Aufgaben, die möglicherweise ausgeführt werden müssen und die roten Rechtecke, die sogenannten „Events“ beschreiben die Situation vor und nach der Ausführung einer

Funktion. Die grauen Kreise entsprechen den logischen Konnektoren und definieren die Routing-Regeln. Insbesondere gibt es drei Arten von Konnektoren: das logische AND für Gleichzeitigkeit, XOR für exklusive Entscheidungen und OR für inklusive Entscheidungen. [23]

Das vorliegende Modell beschreibt grob das folgende Verfahren zur Bearbeitung von Beschwerden. Ein neuer Fall wird eröffnet, wenn eine neue Beschwerde eingeht - sei es in Form eines Anrufs, eines persönlichen Kontakts oder eines Schreibens. In manchen Situationen muss die Beschwerde weitergeleitet werden, entweder intern oder extern. Interne Beschwerden werden auf die Tagesordnung zur Investigation gesetzt. Andernfalls wird die externe zuständige Stelle benachrichtigt. In allen Fällen wird die Beschwerde archiviert. Schließlich wird der sich beschwerende Kunde informiert. Ist keine Weiterleitung erforderlich ist, wird eine Beschwerdeanalyse durchgeführt. Danach wird die Beschwerde archiviert, und der Kunde wird kontaktiert, wobei ein Follow-up möglich ist. [23]

In Abbildung 2.9 wurden verschiedene Bereiche des Modells mit den entsprechenden Guidelines markiert und beschriftet. Die Abbildung 2.10 zeigt schließlich, das Prozessmodell nach Anwendung der 7PMG. [23]

Ein Problem des Modells ist, dass es viele redundante Informationen enthält, die nicht notwendig sind. Durch Anwendung von **G1** werden die überflüssigen Ereignisse entfernt. Desweiteren gibt es einen XOR-Konnektor mit einer hohen Anzahl von ein- und ausgehenden Pfeilen (insgesamt 6 Stück). Im Sinne von **G2** wird dieselbe Routing-Logik im transformierten Modell mit zwei weiteren Konnektoren ausgedrückt, die beide eine niedrigere Anzahl von Pfeilen aufweisen. Das ursprüngliche Modell hat drei verschiedene Startpunkte und zwei verschiedene Endpunkte. Dies ist problematisch, da nicht direkt ersichtlich ist, was die Start- und Endbedingungen sind. Durch die Einhaltung von **G3** verbleiben im transformierten Modell nur ein einziger Start- und ein einziger Endpunkt. Man beachte, dass dies nach der früheren Anwendung von **G1** die einzigen verbleibenden Events sind. Der Teil der ursprünglichen EPK, der die Weiterleitung eines Antrags spezifiziert, ist unstrukturiert modelliert, so dass das Routing schwer zu verstehen ist. Es gibt alternative Routen für interne und externe Beschwerden, von denen jede zwei konkurrierende Routen hervorbringt. Um jedoch die Tatsache auszunutzen, dass beide Arten von Beschwerden ohnehin archiviert werden müssen, wird eine nicht verschachtelte Abfolge von logischen Konnektoren verwendet. In Anlehnung an **G4** wird dieselbe

Logik aber in strukturierter Form dargestellt. Jetzt wird die Archivierung für interne und externe Beschwerden innerhalb jedes einzelnen Pfades modelliert. Obwohl diese Änderung zu einem etwas größeren Modell führt, erhält man eine größere Strukturiertheit, da ein größerer Teil des Modells nun richtig verschachtelte Konnektoren hat. Auf der Grundlage von **G5** wird die OR-Verknüpfung im ursprünglichen Modell entfernt und durch ein gleichwertiges, aber besser lesbares Konstrukt ersetzt. In Anlehnung an **G6** werden die Aktivitätsbezeichnungen anders beschriftet, da sie im ursprünglichen Modell unter anderem recht lang sind. Die Zerlegung des Modells nach **G7** ist nicht möglich, da die Anzahl der Modellierungselemente, d.h. Funktionen, Ereignisse und Konnektoren zusammen bereits unter 50 liegt. Zudem sinkt die Gesamtzahl von 37 im ursprünglichen Modell auf 31 im transformierten Modell, insbesondere durch die Anwendung von **G1**. [23]



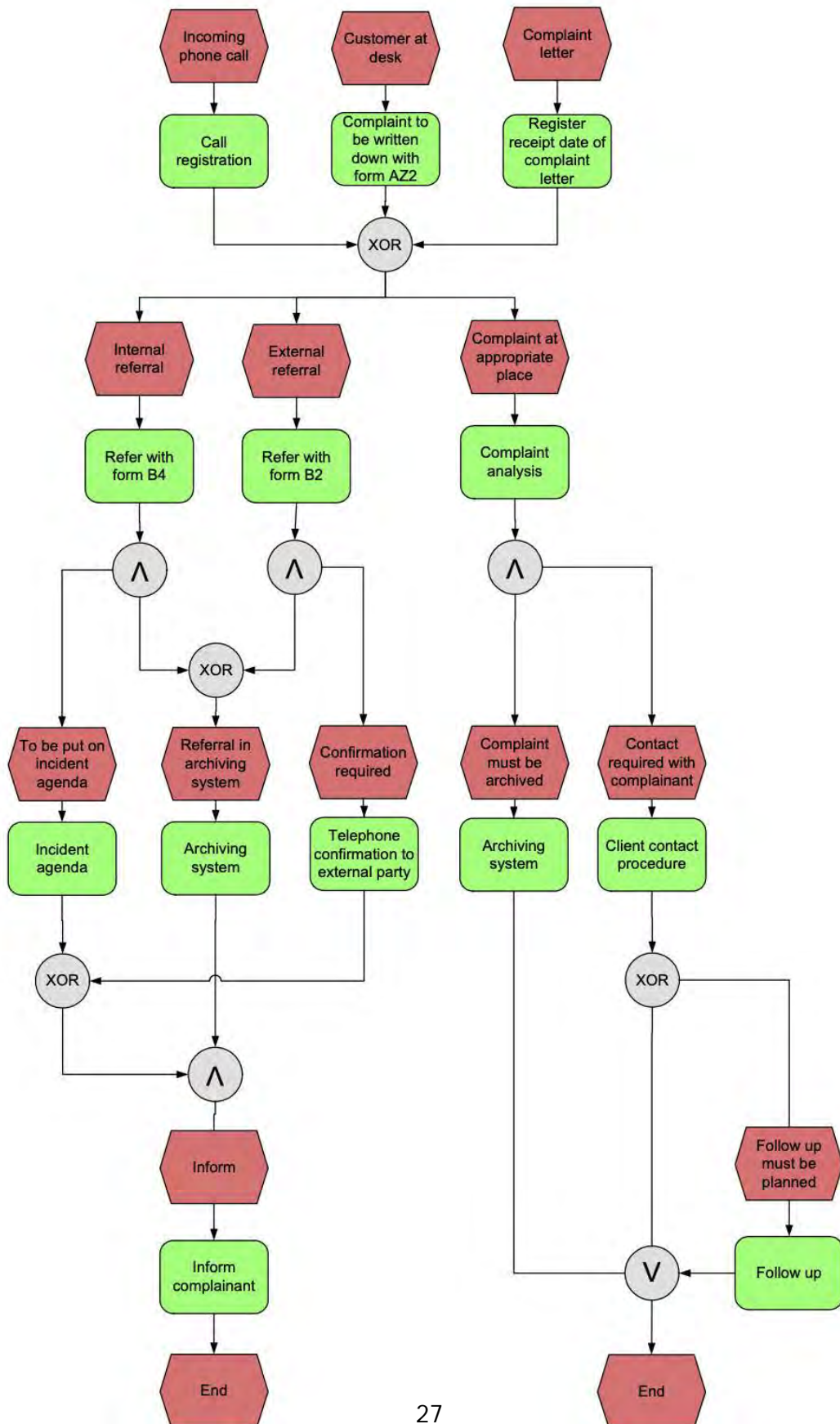


Abbildung 2.8: Prozessmodell vor Anwendung der 7PMG, Quelle: [23]

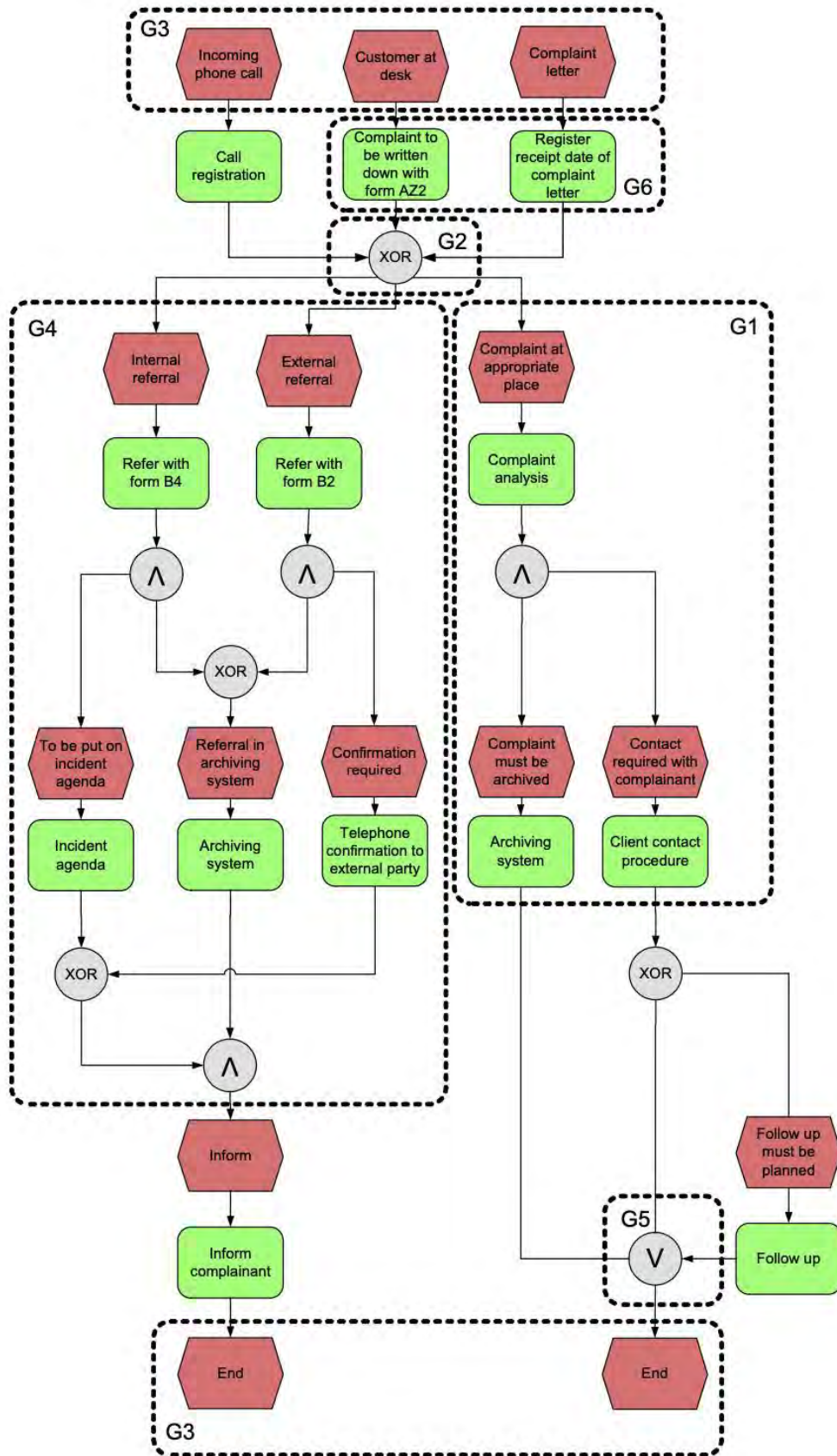


Abbildung 2.9: Prozessmodell vor Anwendung der 7PMG mit Markierungen, Quelle: [23]

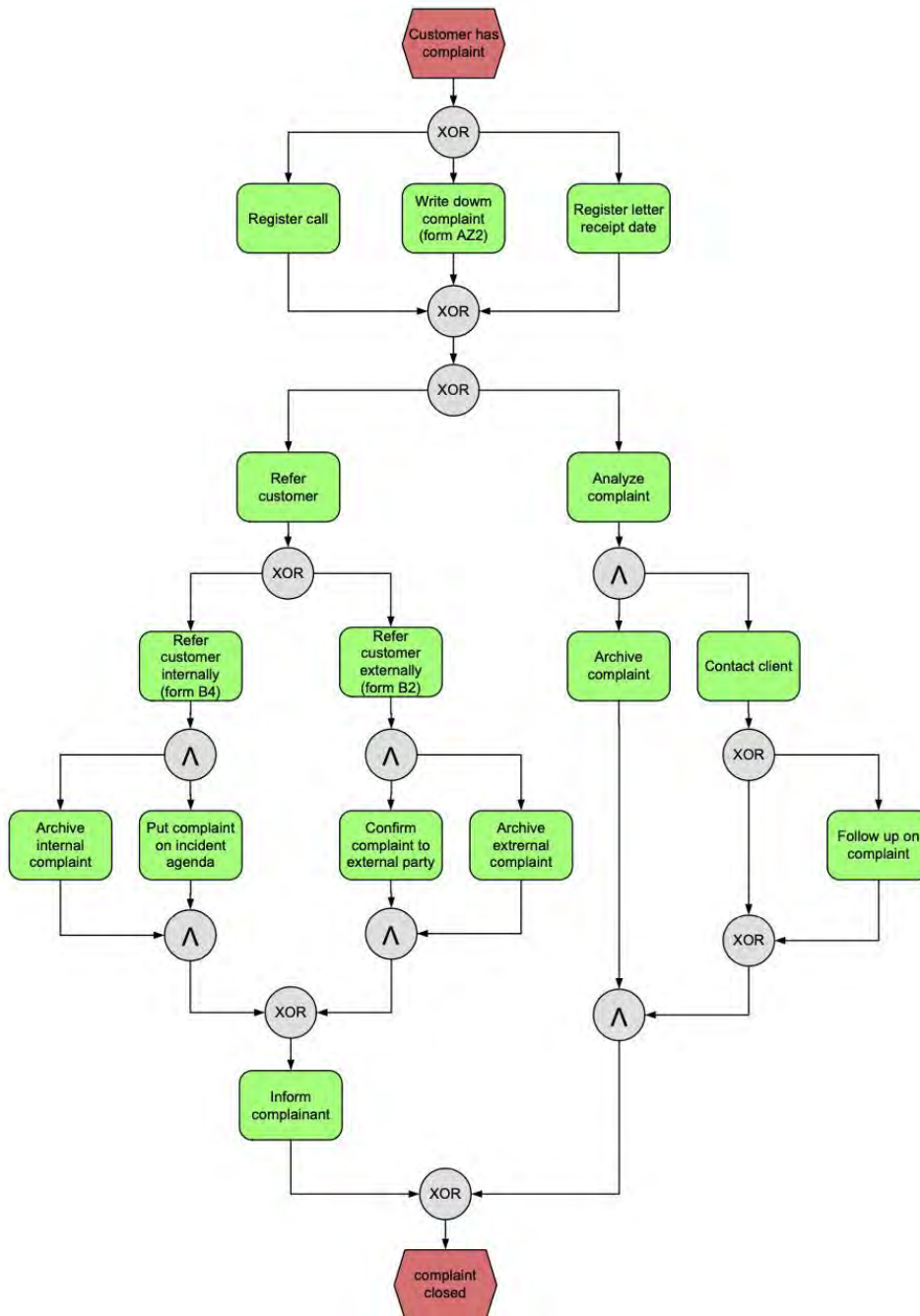


Abbildung 2.10: Prozessmodell nach Anwendung der 7PMG  
Quelle: [23]

Im Folgenden soll nun ein zweites Anwendungsbeispiel herangezogen werden. Betrachtet man den einfachen Prozess in Abbildung 2.11, der mit der Modellierungssprache BPMN 2.0 erstellt wurde, so finden auch hier die 7PMG Anwendung.

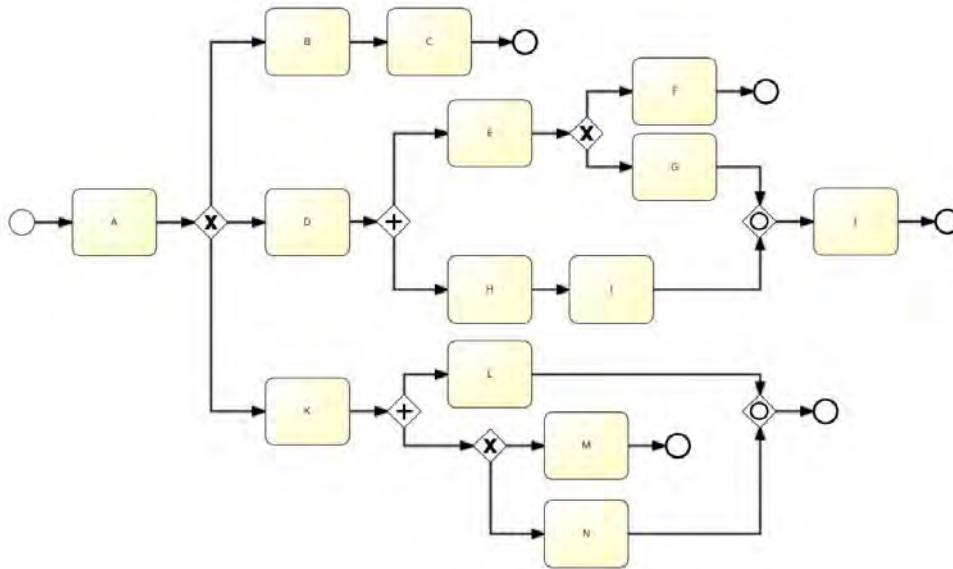


Abbildung 2.11: Ein nicht ideales BPMN 2.0 Modell

Die Guideline **G1** muss hier nicht berücksichtigt werden, da die Anzahl der Elemente in Ordnung ist. Auch die Anzahl der Routing-Pfade wurde in diesem Modell nach **G2** gering gehalten. Was aber verbessert werden sollte ist nach **G3** die Anzahl der Start- und Endereignisse. In diesem Modell wurden vier Endereignisse verwendet. Am besten wäre aber nur jeweils ein Start- und ein Endereignis. Desweiteren besagt **G5**, dass Prozessmodelle ohne OR-Gateways weniger fehleranfällig und verständlicher sind. Hier wurden zwei OR-Gateways verwendet. Diese könnten durch andere Prozesskonstrukte ausgetauscht werden. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit ist die Bezeichnung der Aktivitätsbezeichnungen. In dem Beispiel wurden nur Buchstaben verwendet. Die Anwendung von **G6** würde das Modell eindeutiger und verständlicher machen. Da das Beispielmmodell insgesamt weniger als 50 Elemente aufweist, kommt **G7** nicht zum Tragen. Allerdings wäre hier eine Aufteilung in Subprozesse geeignet, da das Prozessmodell viele Verzweigungen enthält.

# Grundlagen von Eye Tracking Experimenten

# 3

## 3.1 Die Anatomie des Auges

„Der Sehvorgang kann in zwei funktionelle Schritte unterteilt werden. Im ersten erzeugt der „optische Apparat“ des Auges ein reelles, verkleinertes, umgekehrtes Bild des betrachteten Gegenstands. Dieser Aufbau besteht aus den Hauptbestandteilen Hornhaut, Linse, Glaskörper, Iris und Netzhaut. Die Netzhaut ist Ausgangspunkt des zweiten Schrittes. Sie ist mit Photorezeptoren durchzogen, welche die Lichtverteilung des erzeugten Bildes in elektrische Signale umwandeln; diese werden wiederum zu Informationen in der Netzhaut bzw. im Gehirn verarbeitet.“ [27]

Die Abbildung 3.1 zeigt schematisch den Aufbau des menschlichen Auges. Die wichtigsten Bestandteile werden im Folgenden kurz erläutert.

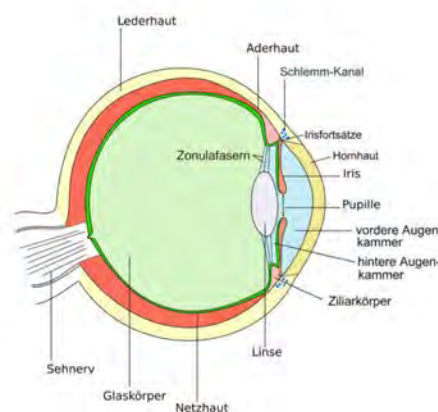


Abbildung 3.1: Aufbau des menschlichen Auges, Quelle: [27]

## Hornhaut

„Durch die Grenzschichtlage (Luft/Gewebe) liefert die Hornhaut den Hauptanteil der Brechkraft (ca. 43 dpt<sup>1</sup>). Die Brechzahl für Luft beträgt  $n = 1$ , die für Gewebe (Wasser)  $n = 1,336$ . Die halbkugelförmige Form der Hornhaut bewirkt eine Anpassung der Brechkraftdifferenz zwischen Luft und Gewebe, um aufgrund der anatomischen Verhältnisse (Augenlänge) eine scharfe Abbildung auf die Netzhaut darstellen zu können.“ [27]

## Regenbogenhaut (Iris)

„Durch Muskelkontraktion kann die Irisöffnung (Pupille) in ihrem Durchmesser variiert werden (1-8 mm), was für die Akkomodation (= Entfernungseinstellung) und Adaption (= Anpassung der Empfindlichkeit auf die Helligkeit) wichtig ist.“ [27]

## Augenlinse (Lens cristallina)

„Die Linse besteht überwiegend aus Wasser (ca. 70 %) und hat einen inhomogenen zwiebelschalenähnlichen Aufbau, d.h. sie besitzt einen etwas härteren Kern mit höherer Brechzahl ( $n = 1,4$ ) und eine weichere Rinde ( $n = 1,34$ ). Die Augenlinse hat eine bikonvexe Form, deren Krümmungen jedoch unterschiedlich sind. Die Hauptaufgabe der Linse ist eine scharfe Abbildung auf der Netzhaut zu gewährleisten. Aufgrund der unterschiedlichsten Gegenstandsweiten und der anatomisch festgelegten Bildweite, kann dies nur durch Variation der Brennweite erreicht werden. Der Ringmuskel (Ziliarmuskel) verändert die Krümmung der Linse und somit die Brennweite durch Kontraktion. Diese sogenannte Akkomodation jann eine Einstellung von weit ( $\infty$ ) entfernten Gegenständen (flachste Linsenkrümmung) bis zu einem altersbedingten Nahpunkt (größte Linsenkrümmung) variieren. Die Linse steuert für die Abbildung eine (variable) Brechkraft zwischen etwa 19 - 33 dpt bei.“ [27]

---

<sup>1</sup>dpt = Dioptrie (=  $m^{-1}$ ), Einheit der Brechkraft  $D = 1/f$ , d.h eine Linse mit 1 m Brennweite besitzt die Brechkraft 1 dpt.

## Kammerwasser/Glaskörper

„Wie der erste Name bereits andeutet bestehen beide Medien trotz unterschiedlicher Konsistenz (Kammerwasser = flüssig, Glaskörper = gallertartig) überwiegend (99%) aus Wasser. Beide Bestandteile tragen ebenso zur Bilderzeugung, wenn auch geringfügiger, bei, wie auch Linse oder Hornhaut.“ [27]

## Netzhaut (Retina)

„Das Bild von Gegenständen wird durch die vorhergehenden Bestandteile auf die Netzhaut abgebildet. Die Netzhaut stellt eine gewölbte Mattscheibe mit unterschiedlichen Erkennungsbereichen dar. Die Bildweite ist aufgrund der Augenlänge anatomisch festgelegt. Die Netzhaut besteht neben anderen Zellschichten überwiegend aus photosensorischen Zellrezeptoren, die sich in zwei Gruppen unterteilen lassen: Zäpfchen, die farbempfindlich sind und für die Helladaption zuständig sind. Stäbchen, die bei der Dunkeladaption eine größere Rolle spielen. Auf der Netzhaut sind unterschiedliche Erkennungsbereiche vorhanden mit verschiedenen Eigenschaften:

Gelber Fleck (Fovea centralis) - hier liegt die Stelle des schärfsten Sehens.

Blinder Fleck (Mariote Fleck) - die Anbindung zum Sehnerv.“ [27]

## 3.2 Eye Tracking

Eye Tracking ist eine Methode aus der Wissenschaft, um die visuelle Aufmerksamkeit zu verstehen. Mit Hilfe des Eye Trackings kann man feststellen, wohin die Nutzer/Probanden in einem bestimmten Zeitpunkt blicken, wie lange sie auf etwas schauen und welchen Weg ihre Augen nehmen. Eye Tracking Experimente werden in vielen unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Unter anderem in der kognitiven Psychologie, im Marketing und im breiten Feld der Mensch-Computer-Interaktion. Eye Tracking hilft Forschern dabei die gesamte Benutzererfahrung zu verstehen, auch die, die die Nutzer/Probanden nicht beschreiben können. [7]

Um Eye Tracking durchzuführen, benötigt man einen Eye Tracker. Dabei handelt es sich um ein Gerät, dass Augenbewegungen eines Nutzers aufzeichnet, während

dieser einen Computerbildschirm, ein physisches Objekt oder sogar die Umgebung im Allgemeinen betrachtet. Eye Tracker können unter anderem an Brillen oder Mützen befestigt werden oder auch vor den jeweiligen Nutzer an Computermonitoren. Mit Hilfe eines Infrarotlichts, das ins Gesicht getrahlt wird, zeichnet der Eye Tracker zwei Dinge auf. Zum einen die Reflexion des Infrarotlichts von der Netzhaut, die dabei hilft, das Zentrum der Pupille zu finden und zum anderen die Reflexion des Infrarotlichts von der Hornhaut, welche als „corneal reflection“ bezeichnet wird. [8]

Ein Eye Tracker kann dementsprechend ein mächtiges Werkzeug sein, das eine äußerst genaue Darstellung und ein Verständnis des Augenbewegungsverhaltens einer Person ermöglicht. Grundlage für dieses Verständnis bilden die Attribute Ort, Dauer und Bewegung. [7]

Der Ort, an dem sich der Blick des Benutzers zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet (bspw. eine Fixierung), ist die grundlegendste Analyseeinheit für das Verständnis der visuellen Aufmerksamkeit. Fixierungen sind extrem kurz und dauern in der Regel nur zwischen 100 und 600 Millisekunden. Daraus ergibt sich das Problem, dass eine Fixierung zwar protokolliert wurde, dies aber nicht zwanghaft bedeutet, dass der Nutzer sie tatsächlich gesehen bzw. sie in seinem Gehirn abgespeichert hat. Andererseits kann man bei einer Häufung von Fixierungen an einer Stelle, sogenannten Clustern, davon ausgehen, dass der Nutzer diese Stelle bewusst anschaut und das Gehirn die betrachtete Information verarbeitet hat. Allerdings sind Eye Tracker keine Gedankenlesegeräte und können einem nur sagen, was die Person angeschaut hat, aber nicht warum. [7]

Die Zeit, die ein Benutzer einen bestimmten Bereich auf dem Bildschirm fixiert, hilft zu verstehen, ob dieser einem bestimmten visuellen Element besondere Aufmerksamkeit schenkt. Die Dauer der Fixierung ist oft extrem kurz und wird normalerweise in Millisekunden angegeben. Leider ist die Dauer ein besonders schwer zu interpretierendes Maß. Es gibt viele mögliche Gründe, warum ein Nutzer für eine relativ kurze oder lange Zeit auf einen bestimmten Bereich fixiert ist. Eventuell sind sie durch dieses Element verwirrt oder finden es besonders spannend und fesselnd. [7]

Die Bewegung der Augen des Benutzers basiert auf sogenannten Sakkaden von einer Fixierung zur nächsten und legt das Blickmuster fest, das widerspiegelt, wie der Benutzer einen bestimmten visuellen Reiz interpretiert. Dieses Muster bildet



die Grundlage für das Verständnis der visuellen Hierarchie eines Bildes. Die visuelle Hierarchie bezieht sich auf die Reihenfolge, in der ein Benutzer visuelle Elemente in einer bestimmten Szene betrachtet. Auf einer Website zum Beispiel könnte ein Benutzer zuerst eine große Grafik in der Mitte der Seite sehen, dann die Hauptnavigation, dann das Suchfeld und so weiter. Eye Tracking ist besonders gut geeignet, um die Effektivität von Gestaltungsprinzipien aufzuzeigen und wie diese die Reihenfolge der Elemente beeinflussen, die der Benutzer betrachtet. [7]

In dieser Arbeit wurde die Eye Tracking Brille *Pupil Core* der Firma *Pupil Labs* verwendet. Die Brille ist in Abbildung 3.2 dargestellt.



Abbildung 3.2: Pupil Labs Core Eye-Tracking-Brille, Quelle: [21]

#### Terminologie

- ① Weltkamera
- ② Nasenstütze
- ③ Augenkamera(s)
- ④ USB-C-Anschlussclip

Die Pupil-Software ist ein Open-Source-Code der größtenteils in Python und teilweise in C geschrieben wurde. Die Software ist in zwei Hauptkomponenten unterteilt: *Pupil Capture* und *Pupil Player*. Das Programm *Pupil Capture* läuft in Echtzeit, um Bilder von zwei (oder mehr) Kamera-Videoströmen zu erfassen und zu verarbeiten. Der *Pupil Player* dient der Wiedergabe und Visualisierung der mit *Pupil Capture* aufgezeichneten Video- und Blickdaten. Die Software läuft auf den Betriebssystemen Linux, Windows und MacOS. [20]

### 3 Grundlagen von Eye Tracking Experimenten

In *Pupil Labs* können mit Hilfe von Plugins verschiedenen Visualisierungsmethoden erreicht werden. Die nachfolgende Abbildung 3.3 zeigt vier Visualisierungsmethoden für dieselbe Szene zum selben Zeitpunkt. [20]



Abbildung 3.3: Visualisierungsmethoden in Pupil Labs, Quelle: [20]

Auf Bild 1 ist ein Bildschirmausschnitt von *Pupil Player* zu sehen, der eine Visualisierung von Blickdaten und einem mit *Pupil Capture* aufgenommenen Szenenvideo zeigt. Drei Plugins wurden zusätzlich verwendet, um die Visualisierung zu erzeugen. Zum einen ist das der *Scan Path*. Er zeigt die Blickpositionen und den resultierenden Bewegungsfluss des Benutzers an. Als zweites wurde der *Gaze Circle* hinzugezogen. Das sind die durchsichtigen roten Kreise, die für jede Blickposition innerhalb des vom *Scan Path* Plugin eingestellten Bereichs gezeichnet werden. Das dritte Plugin ist die *Gaze Polyline*. Darunter versteht man die grüne Linie, die die Blickpositionen in zeitlicher Reihenfolge verbindet. Auf Bild 2 ist ein *Gaze Circle* zu sehen, also die Visualisierung des aktuellen Datenpunktes als rot gefüllter Kreis. Bild 3 zeigt die *Cross visualization*, also der aktuelle Datenpunkt als rote Kreuzmarkierung. Auf Bild 4 ist die Visualisierungsmethode *Light Point Transform* eingesetzt worden. Dabei werden die Blickpunkte innerhalb des zeitlichen Verlaufs des *Scan Paths* als weiße Punkte dargestellt. [20]

Der Pupillenerkennungsalgorithmus lokalisiert die dunkle Pupille im Bild der infrarot-beleuchteten Augenkamera. Der Algorithmus ist unabhängig von der Hornhautreflexion („corneal reflection“) und funktioniert deswegen auch bei Benutzern, die Kontaktlinsen oder Brillen tragen. [20]

Das genau Vorgehen des Pupillenerkennungsalgorithmus wird anhand der folgenden Abbildung 3.4 erklärt.

Zuerst wird wie in Bild 1 zu sehen, das Bild der Augenkamera in Graustufen umgewandelt. Zudem wird der Interessenbereich des Benutzers (weißes Strichrechteck) und eine anfängliche Schätzung des Pupillenbereichs (weißes Quadrat und gestricheltes Quadrat) ermittelt. Danach folgt die sogenannte „Canny-Edge-Erkennung“, um Konturen im Augenbild zu finden (Bild 2: grünen Linien). Im 3. Schritt wird nach dunkleren Bereichen gesucht. Die Dunkelheit wird durch ein vom Benutzer festgelegten Offset des niedrigsten Spikes im Histogramm der Pixelintensität im Augenbild bestimmt (Bild 3). Danach werden die verbleibenden Kanten gefiltert, um diejenigen auszuschließen, die von spektralen Reflexionen herrühren (Bild 4: gelber Bereich). [20]

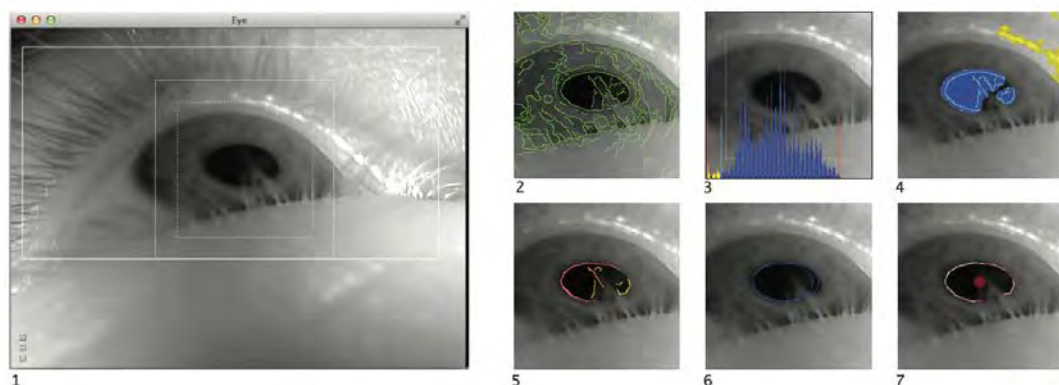


Abbildung 3.4: Der Pupillenerkennungsalgorithmus, Quelle: [20]

Im 5. Schritt erfolgt die Extraktion der verbleibenden Kanten in Konturen unter Verwendung verbundener Komponenten und Aufteilung in Unterkonturen auf der Grundlage von Kriterien der Krümmungskontinuität (Bild 5: mehrfarbige Linien). Danach werden mittels Ellipsenanpassung mögliche Pupillenellipsen gebildet (blaue Markierung in Bild 6). Im letzten Schritt wird die endgültige Ellipsenanpassung durch eine erweiterte kombinatorische Suche gefunden (Bild 6: Ellipse mit Zentrum in rot in unterstützende Kantenpixel in weiß). [20]

## Verwandte Arbeiten

---

# 4

Ziel dieser Arbeit ist es ein Eye Tracking Experiment zu implementieren, um die Prozessmodellierungsrichtlinien von [23] zu evaluieren und um letztendlich Rückschlüsse auf die Verständlichkeit von Prozessmodellen zu erzielen. Das aktuelle Kapitel beschäftigt sich mit verwandten Arbeiten, die ebenfalls die Verständlichkeit von Prozessmodellen analysieren.

Dass Eye Tracking eine sinnvolle Ergänzung ist, um die Nutzerfreundlichkeit im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung zu untersuchen, zeigte sich bereits in der Studie von [17]. Sie liefert damit erste Forschungsergebnisse, die mit Hilfe von Eye Tracking im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung erzielt wurde. In der Studie ging es vor allem um die Verständlichkeit von zwei verschiedenen Darstellungsformen von EPK's. Zum einen waren das die erweiterten ereignisgesteuerten Prozessketten (eEPK) und zum anderen die objektorientierten ereignisgesteuerten Prozessketten (oEPK). In dem Experiment wurden die Teilnehmer gebeten, die Prozessmodellierungssprachen zu bewerten. Darüber hinaus mussten sie selbst Prozesse modellieren oder auch Fehler in einem Modell finden. Es zeigte sich, dass die wichtigsten Anforderungen an eine Prozessmodellierungssprache das Verständnis, die Vollständigkeit und die Benutzerfreundlichkeit sind.

In der Studie von [26] wurden 26 Prozessmodellexperten gebeten, BPMN-Modelle zu betrachten und diesbezüglich Verständnisfragen mit wahr oder falsch zu beantworten. Während dieser Zeit wurden die Augenbewegungen der Probanden aufgezeichnet. Insgesamt bestand das Experiment aus fünf Modellen, mit jeweils einer strukturierten und einer unstrukturierten Version. Das Ergebnis der Studie war, dass man eine Korrelation zwischen der Art und Weise wie ein Proband das Prozessmo-

dell betrachtet und der Korrektheit der Antworten feststellen konnte. Es zeigte sich, dass Elemente der relevanten Region im Prozessmodell von den Probanden, die die richtige Antwort auf die Verständnisfrage gegeben hatten, länger fixiert wurden als andere Modellelemente.

In [40] wurde ein Experiment durchgeführt, in dem der Einfluss von Fachwissen auf das Verständnis von Prozessmodellen untersucht wurde, die wie in der vorliegenden Arbeit mit der Prozessmodellierungssprache BPMN modelliert wurden. Genauer gesagt ging es um die Forschungsfrage, ob sich die Expertise im Bereich der Prozessmodellierung positiv auf das Lesen und Verstehen von Prozessmodellen auswirkt. Auf der Grundlage eines kontrollierten Eye-Tracking-Experiments mussten die teilnehmenden Probanden drei Prozessmodelle verstehen und wurden gebeten, eine Reihe von Verständnisfragen zu diesen Modellen zu beantworten, während ihre Augenbewegungen aufgezeichnet wurden. [40]

Begonnen wurde mit dem Prozessmodell, das einen leichten Schwierigkeitsgrad widerspiegelt, dann folgte das mittlere und schließlich das anspruchsvollste Modell. Die Teilnehmer wurden je nach ihrer Erfahrung mit Prozessmodellen in zwei Gruppen eingeteilt. Nachdem jedes Prozessmodell von den Teilnehmern analysiert worden war, mussten sie vier Fragen beantworten, die sich auf das zuvor bewertete Prozessmodell bezogen. Die Prozessmodelle waren während der Beantwortung der zugehörigen Fragen nicht sichtbar. Die Verständnisfragen konnten mit „richtig“, „falsch“ oder „unsicher“ beantwortet werden. [40]

Die Ergebnisse des Experiments deuteten darauf hin, dass eine Erhöhung des Schwierigkeitsgrades des Modells das Verständnis des Prozessmodells beeinflussen könnte. [40]

Eine relativ ähnlich Studie wurde in [42] durchgeführt. Hierbei wurde auf die Forschungsfrage eingegangen, ob sich das Fachwissen im Bereich der Prozessmodellierung positiv auf das Lesen und Verstehen von Prozessmodellen auswirkt, die in Form von EPK's modelliert wurden. Auch hier konnte gezeigt werden, dass die Leistung der Probanden mit steigendem Schwierigkeitsgrad abnimmt. Zusätzlich kristallisierte sich die Erkenntnis heraus, dass sich die Leistungen von Anfängern und Fortgeschrittenen mit steigendem Schwierigkeitsgrad einander annähern. Als letzter Punkt zeigte sich, dass die EPK's für die Teilnehmer verständlicher waren als die BPMN-Modelle in [40].

In einem weiteren Experiment von [43] wurde die Forschungsfrage untersucht, ob es Unterschiede beim Lesen und Verstehen von Prozessmodellen zwischen Anfängern und Experten gibt. Dazu wurde ein Experiment durchgeführt, das aus 17 Anfängern und 19 Experten im Bereich der Prozessmodellierung bestand. Die Teilnehmer wurden gebeten drei BPMN-Modelle zu lesen, zu verstehen und danach jeweils vier Wahr-oder-Falsch-Fragen zu beantworten. Die Modelle zeigten unter anderem den Ablauf eines Fitnessstrainings, den Kauf eines Artikels in einer Auktion und den Bestellprozess einer Pizza. Außerdem spiegelten die Prozessmodelle drei verschiedene Komplexitätsstufen wider, nämlich leicht, mittel und anspruchsvoll. Im Einzelnen umfasste das einfache Prozessmodell nur eine Abfolge von grundlegenden Modellierungselementen der BPMN 2.0. Mit zunehmender Komplexität wurden neue BPMN-Elemente eingeführt, die bisher nicht in den Prozessmodellen enthalten waren und die Gesamtzahl der Elemente wurde erhöht. Während des Lesens wurde ein Eye Tracker eingesetzt, um die Fixationen und Sakkaden der Teilnehmer aufzuzeichnen. Demografische Daten wiederum wurden mit Hilfe von Fragebögen erfasst. Darüber hinaus erhielten die Teilnehmer die Anweisung, die Studie so schnell, aber auch so sorgfältig wie möglich durchzuführen. [43]

Die Abbildung 4.1 veranschaulicht den Scan Path eines Anfängers (links) und den Scan Path eines Experten (rechts).

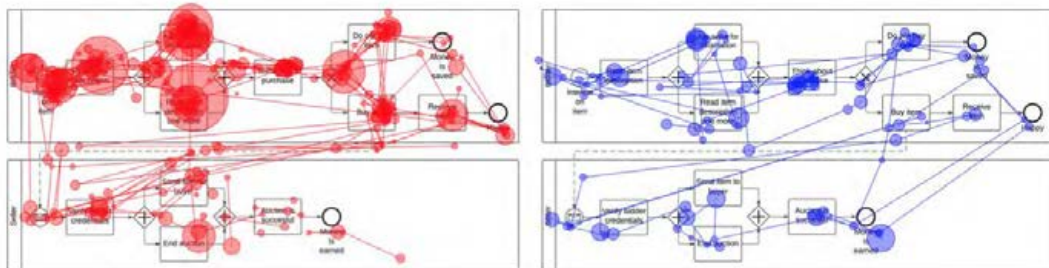


Abbildung 4.1: Scan Path - Anfänger vs. Experte, Quelle: [43]

Die Messungen zeigten, dass sich der Scan Path eines Anfängers durchschnittlich aus 301 Fixationen, 254 Sakkaden und einer Gesamtverstehensdauer von 98,17 Sekunden zusammensetzte. Im Gegensatz dazu, umfasste der Scan Path eines Experten durchschnittlich 100 Fixierungen, 99 Sakkaden und eine Gesamtverstehensdauer von 27,47 Sekunden. Beim Vergleich der beiden Scan Paths, fällt auf, dass der Anfänger mehr Zeit damit verbrachte, die Elemente in den Prozessmo-

dellen zu studieren, während der Experte sich schnell über die Elemente bewegte. [43]

In [41] wurde ebenfalls ein kontrolliertes Eye-Tracking-Experiment durchgeführt, das sich mit dem Verständnis von Prozessmodellen beschäftigte. Hierbei mussten die Probanden 12 verschiedene Prozessmodelle betrachten und mehrere Verständnisfragen diesbezüglich beantworten. Die Prozessmodelle wurden teilweise wie in [40] und [42] mit BPMN und EPK aber auch darüber hinaus mit den Prozessmodellierungssprachen eGantt und mit Hilfe von Petri-Netzen modelliert. Die Teilnehmer mussten für jede Modellierungssprache drei Prozessmodelle mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden verstehen. Genauer gesagt wurden die Prozessmodelle in drei Schwierigkeitsgrade unterteilt (d.h. leicht, mittel und anspruchsvoll). Die einfachen Prozessmodelle enthielten lediglich grundlegende Elemente (z.B. Aktivitäten, Startereignisse) der jeweiligen Modellierungssprache. Darüber hinaus wurde mit steigendem Schwierigkeitsgrad die Gesamtzahl der Elemente erhöht und neue, von der jeweiligen Modellierungssprache bereitgestellte Elemente hinzugefügt, die zuvor nicht eingeführt worden waren. Nachdem jedes Prozessmodell von den Probanden analysiert worden war, mussten vier „Richtig-oder-Falsch-Fragen“ zum Verständnis beantwortet werden.

Wie in [40] und [42] zeigten die Ergebnisse, dass mit steigendem Schwierigkeitsgrad des Modells das Gesamtverständnis der Modelle abnimmt.

Darüber hinaus konnten in [41] weitere Erkenntnisse gewonnen werden, die in neun verschiedene Lektionen unterteilt wurden. Diese sind in der nachfolgenden Abbildung 4.2 zu sehen und stellen wichtige Faktoren dar, die maßgeblich für das Verständnis von Prozessmodellen von Bedeutung sind.

Lektion C1 beschreibt bspw., dass die Wahl des Prozessszenarios die kognitive Belastung beeinflusst. So ist die Belastung geringer, wenn die Person mit dem Szenario vertraut ist. Andernfalls muss sich die Person erst einen Überblick verschaffen und das Szenario verstehen. [41]

Interessant könnte diese Erkenntnis auch im Rahmen dieser Studie sein. Die Prozessmodelle „Bestellvorgang eines Tesla Model X“ und „Planung eines Kundenabend der Daimler AG“ dürften den meisten Probanden vertraut sein, da sie sich aus anderen ähnlichen Prozess schließen lassen könnten. Bei dem Prozess „Rekrutierungsvorgang bei der Armee“ müsste die kognitive Belastung der Probanden

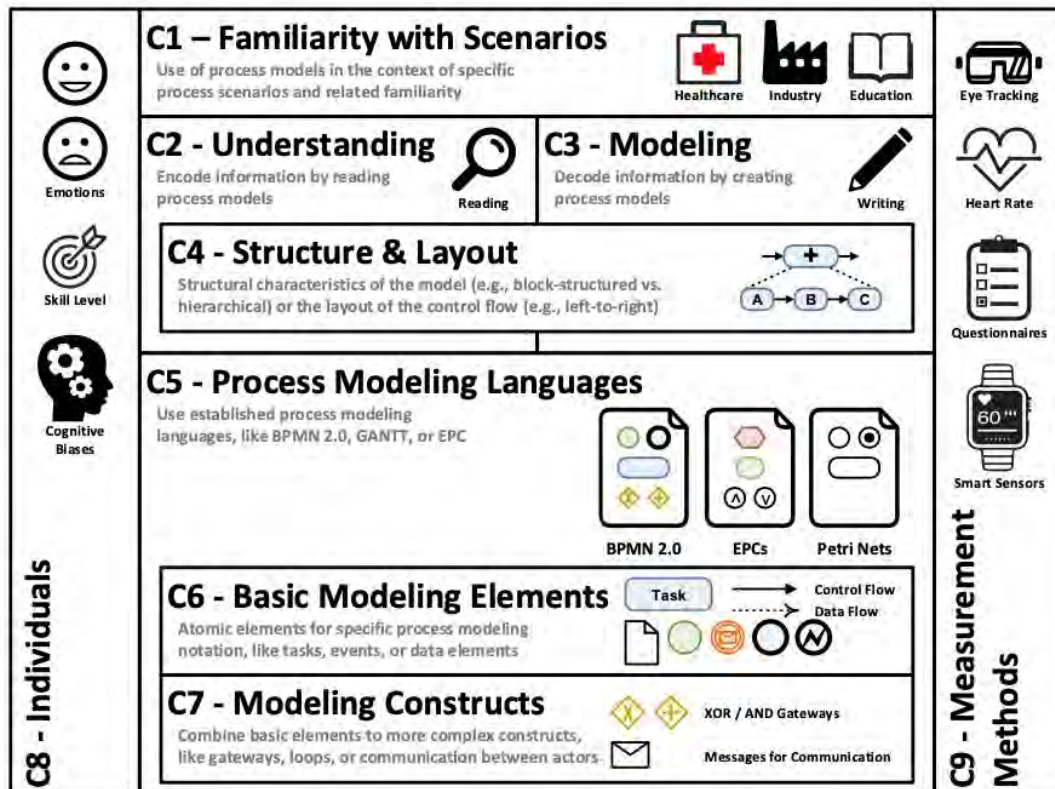


Abbildung 4.2: Faktoren zum Verständnis von Prozessmodellen, Quelle: [41]

höher sein, da dies kein Prozedere ist, das den meisten vertraut sein dürfte.

In Lektion C6 geht es darum, dass sich bei den Experimenten gezeigt hat, dass Prozessmodelle mit einem expliziten Start- und Endsymbol das Prozessmodellverständnis fördern. Zu Beginn versuchten die Probanden, ein Startsymbol im Prozessmodell zu lokalisieren. Normalerweise wird angenommen, dass sich das Startsymbol auf der linken oder oberen linken Seite des Prozessmodells befindet. Wenn die Versuchspersonen jedoch nicht in der Lage sind, ein Startsymbol an den angenommenen Positionen im Prozessmodell zu identifizieren, werden ihre Blickpfade aufgrund der Suche nach dem Startsymbol richtungslos. Der gleiche Effekt ist bei den Endsymbolen zu beobachten. [41]

Diese Lektion steht auch im Einklang mit der Guideline G3 „Verwende jeweils nur ein Start -und ein Endereignis“ von [23], die im Praxisteil dieser Arbeit noch genauer untersucht wird.



Eine weitere wichtige Erkenntnis zeigt sich in Lektion C7. Im Gegensatz zu den Basiselementen scheinen komplexere Modellierungskonstrukte (z.B. Gateways) für Einzelpersonen schwierig zu sein. In den Experimenten bestand die größte Herausforderung für die Versuchspersonen darin, die semantische Bedeutung der vorgestellten Modellierungskonstrukte (z.B. AND-Gateways) zu erkennen. Ein gängiger Ansatz bestand darin, die Bedeutung eines Konstrukts zu identifizieren, indem das beschriebene Prozessszenario im Detail betrachtet wurde. Darüber hinaus schienen Split-and-Join-Gateways (d.h. XOR) eine besondere Herausforderung für die Probanden darzustellen. Zudem zeigte sich, dass die Teilnehmer mehr Zeit mit der Untersuchung des ersten Gateways (d.h. des ersten Gateways entlang der Lese-richtung) verbringen als mit den nachfolgenden. In diesem Zusammenhang macht es keinen Unterschied, ob ein AND- oder ein XOR-Gateway zuerst erscheint. [41]

In Ergänzung dazu steht die Guidline G5 von [23], die aussagt, dass man OR-Gateways vermeiden soll. Der Frage, ob „inklusive Gateways“ in der Praxis tatsächlich ein größeres Problem darstellen oder ob bereits AND- und XOR-Gateways das Verständnis von Prozessmodellen negativ beeinflussen, wird im späteren Teil dieser Arbeit ebenfalls nachgegangen.

# 5

## Ablauf der Studie

---

### 5.1 Ziel der Studie

Bislang wurde noch nicht getestet, ob die Seven Process Modeling Guidelines (7PMG) zu einer höheren Verständlichkeit von Prozessmodellen beitragen. Im Rahmen dieser Arbeit wird mit Hilfe von Eye Tracking Daten und der Hinzunahme des Cognitive Loads geprüft, in wieweit die folgende Forschungsfrage und die dazugehörige Unterfrage beantwortet werden können:

**Forschungsfrage:** *Tragen die Seven Process Modeling Guidelines (7PMG) zu einer höheren Verständlichkeit von BPMN-Prozessmodellen bei ?*

**Unterfrage:** *Lassen sich die 7PMG nach Nützlichkeit ranken ?*

### 5.2 Vorbereitung der Studie

Um die Forschungsfrage beantworten zu können wurden insgesamt sechs BPMN-Prozessmodelle erstellt. Diese sind im Anhang dargestellt (siehe Anhang A). Jeder Prozess ist jeweils ohne Anwendung der 7PMG bzw. mit Hilfe der 7PMG erstellt worden. Bei den Prozessen, die mit Hilfe der 7PMG erstellt wurden, wurde zusätzlich darauf geachtet, dass diese Modelle den genannten Prozessmodellqualitäten aus Unterkapitel 2.4 entsprechen. Der erste Prozess zeigt den Bestellvorgang eines Tesla Model X. Das zweite Modell beschreibt die Planung eines Kundenabends bei der Daimler AG und das dritte Modell spiegelt den Rekrutierungsvorgang bei der

Armee wider. In der folgenden Tabelle 5.1 wurde jedem Prozess eine eindeutige ID zugeordnet, mit der im weiteren Verlauf der Studie gearbeitet wird.

Tabelle 5.1: Zuordnung der Prozessmodell IDs

| ID | Prozessmodell   |
|----|---|
| 1  | Bestellvorgang eines Tesla Model X_Ohne_7PMG            |
| 2  | Bestellvorgang eines Tesla Model X_Mit_7PMG             |
| 3  | Planung eines Kundenabends bei der Daimler AG_Ohne_7PMG |
| 4  | Planung eines Kundenabends bei der Daimler AG_Mit_7PMG  |
| 5  | Rekrutierungsvorgang bei der Armee_Ohne_7PMG            |
| 6  | Rekrutierungsvorgang bei der Armee_Mit_7PMG             |

Die jeweilige Gesamtanzahl der Elemente pro Modell ist in der unten stehenden Tabelle 5.2 zu sehen. Die Gesamtanzahl setzt sich aus den Aktivitäten, den Gateways, den Start- & Endereignissen (SE & EE), den Zwischenereignissen (ZE), den Pools und den Datenobjekten zusammen. Sowohl Sequenzflüsse, Nachrichtenflüsse und auch die Verweise zwischen einer Aktivität und einem Datenobjekt wurden nicht hinzu addiert, da sich diese automatisch durch die genannten Elemente ergeben.

Tabelle 5.2: Anzahl der Elemente pro Modell

| Modell ID | Aktivitäten | Gateways | SE & EE | ZE | Pools | Datenobjekte | <b>Gesamt</b> |
|-----------|-------------|----------|---------|----|-------|--------------|---------------|
| 1         | 15          | 8        | 5       | /  | 1     | 1            | <b>30</b>     |
| 2         | 6           | 2        | 4       | /  | 4     | /            | <b>16</b>     |
| 3         | 22          | 12       | 4       | 2  | 1     | /            | <b>41</b>     |
| 4         | 12          | 10       | 3       | 6  | 4     | 3            | <b>38</b>     |
| 5         | 35          | 11       | 5       | /  | 1     | /            | <b>52</b>     |
| 6         | 20          | 4        | 4       | /  | 2     | /            | <b>30</b>     |

Zu erkennen ist, dass diejenigen Modelle, die mit Hilfe der 7PMG modelliert wurden jeweils weniger Elemente aufweisen, als die Modelle, bei denen die 7PMG keine Anwendung fanden. So zeigt sich unter anderem, dass das Modell 2 nach Anwendung der 7PMG 14 Elemente weniger aufweist (im Gegensatz zu Modell 1). Modell 4 besitzt 3 Elemente weniger (im Gegensatz zu Modell 3) und Modell 6 insgesamt 22 Elemente weniger (im Gegensatz zu Modell 5).

### 5.3 Formulierung der Hypothesen

Im folgenden Unterkapitel sind die zu testenden Hypothesen dargestellt, um die Forschungsfrage beantworten zu können.

Bei einer Hypothese handelt es sich um eine noch nicht bewiesene Annahme oder Behauptung über einen Sachverhalt. [34]

Um Variablen statistisch miteinander vergleichen zu können, muss zunächst eine sogenannte Nullhypothese und eine Alternativhypothese aufgestellt werden. [22]

Hinter Alternativhypothesen verbergen sich „innovative“ Aussagen. Im Gegensatz dazu steht die Nullhypothese, die besagt, dass die in der Alternativhypothese beinhaltete Aussage nicht zutrifft. [19]

Nachdem man die Hypothesen aufgestellt hat, gilt es diese statistisch zu testen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden sie mit Hilfe der Statistik- und Analysesoftware SPSS Statistics 28 von IBM geprüft. [2]

Falls die Wahrscheinlichkeit nach einem statistischen Test  $< 5\%$  ist ( $p < 0,05$ ) kann die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen werden. Dabei können zwei Arten von Fehlern auftreten. Bei einem Typ I Fehler ist die Wahrscheinlichkeit gemeint, rein zufällig einen Unterschied zu entdecken, obwohl keiner besteht. Unter der zweiten Fehlerart, dem Typ II Fehler versteht man die Wahrscheinlichkeit einen Unterschied zu übersehen, obwohl dieser vorhanden ist. Eine wichtige Rolle in der Statistik spielt auch der 95% Vertrauensbereich (Confidence Intervall), der angibt, dass man zu 95% davon ausgehen kann, dass das Resultat eines Tests auch wirklich in diesem Intervall liegt. [22]

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Arbeit acht Hypothesen aufgestellt, die auf der nächsten Seite vorgestellt werden.

- H<sub>0,1</sub>: Die Anwendung der 7PMG führt nicht zu einer kürzeren Dauer beim Lesen von Prozessmodellen*
- H<sub>1,1</sub>: Die Anwendung der 7PMG führt zu einer kürzeren Dauer beim Lesen von Prozessmodellen*
- H<sub>0,2</sub>: Die Anwendung der 7PMG führt nicht zu einer geringeren Anzahl von Fixierungen beim Lesen von Prozessmodellen*
- H<sub>1,2</sub>: Die Anwendung der 7PMG führt zu einer geringeren Anzahl von Fixierungen beim Lesen von Prozessmodellen*
- H<sub>0,3</sub>: Die Anwendung der 7PMG führt zu keinem höheren Score*
- H<sub>1,3</sub>: Die Anwendung der 7PMG führt zu einem höheren Score*
- H<sub>0,4</sub>: Die Anwendung der 7PMG reduziert nicht die intrinsische Belastung*
- H<sub>1,4</sub>: Die Anwendung der 7PMG reduziert die intrinsische Belastung*
- H<sub>0,5</sub>: Die Anwendung der 7PMG reduziert nicht die extrinsische Belastung*
- H<sub>1,5</sub>: Die Anwendung der 7PMG reduziert die extrinsische Belastung*
- H<sub>0,6</sub>: Die Anwendung der 7PMG reduziert nicht die germane Belastung*
- H<sub>1,6</sub>: Die Anwendung der 7PMG reduziert die germane Belastung*
- H<sub>0,7</sub>: Die Anwendung der 7PMG erhöht nicht die PUU*
- H<sub>1,7</sub>: Die Anwendung der 7PMG erhöht die PUU*
- H<sub>0,8</sub>: Die Anwendung der 7PMG erhöht nicht die PEU*
- H<sub>1,8</sub>: Die Anwendung der 7PMG erhöht die PEU*

## 5.4 Durchführung der Studie

Die Studie fand an der Universität Ulm, am Institut für Datenbanken & Informationssysteme in Gebäude O27 Raum 542 statt. Aufgrund der Corona Situation mussten alle Teilnehmer eine FFP2-Maske tragen und die gültigen Hygieneregeln beachten.

Zu Beginn der Studie wurden die Teilnehmer vor einem DELL UltraSharp Monitor mit 49 Zoll positioniert. Vor Beginn des Experiments wurden spezielle Marker von Pupil Labs an den Monitorrand angebracht, die post-hoc für die Analyse des Eye Trackings notwendig waren. Für die Studie war ein Monitor mit einer hohen Zollanzahl notwendig, damit die Prozessmodelle deutlich zu lesen waren. Danach wurde den Teilnehmern erklärt, dass sich die Studie mit dem Verständnis von Prozessmodellen beschäftigt und sie infolgedessen insgesamt drei Modelle betrachten sollen. Wichtig dabei war den Teilnehmern klar zu machen, dass sie die Prozessmodelle

zwar so schnell wie möglich, aber auch so sorgfältig wie nötig lesen sollten. Desweiteren wurden sie gebeten, den Kopf während des Betrachtens des jeweiligen Prozessmodells still zu halten und lediglich die Augäpfel zu bewegen. Zudem wurden die Probanden unterrichtet, dass sie nach jedem Modell insgesamt vier Wahr-oder-Falsch-Fragen und weitere Wahrnehmungsfragen zu dem jeweiligen Modell beantworten sollen. Die Wahr-oder-Falsch-Fragen dienten dazu, den Teilnehmern einen Anreiz zu verschaffen, die Modelle tatsächlich verstehen zu wollen. Zudem dienten sie unter anderem dazu, die Performance des jeweiligen Teilnehmers messen zu können (siehe Unterkapitel 5.5).

Bevor das eigentliche Eye Tracking Logging wurden die Teilnehmer gebeten, einen demografischen Fragebogen zu beantworten. Dieser ist im Anhang B dargestellt. Darüber hinaus mussten Sie sich einen persönlichen Code erstellen, um die Anonymität zu gewährleisten. Die Vorgehensweise für die Erstellung des persönlichen Codes ist ebenfalls im Anhang B zu sehen.

Danach wurde dem jeweiligen Proband die Eye Tracking Brille aufgesetzt und darauf geachtet, dass Pupil Capture die Pupillen findet. Anschließend wurde eine Kalibrierung durchgeführt um zu gewährleisten, dass die Pupillenfindung eine hohe Konfidenz aufwies. Falls dies der Fall war, wurde den Probanden das jeweilige Prozessmodell gezeigt und die Aufnahme wurde gestartet. Nachdem ein Teilnehmer sich geäußert hatte das Prozessmodell verstanden zu haben, wurde die Aufnahme gestoppt.

Danach musste der jeweilige Teilnehmer, wie oben erwähnt, einen Fragebogen zum gezeigten Modell ausfüllen. Die beinhalteten Fragen des Fragebogens sind in Abbildung B.1 und B.2 zu finden.

Nachdem der Teilnehmer die Fragen zum ersten Modell beantwortet hatte, wurde eine erneute Kalibrierung durchgeführt und die Schritte vom ersten Durchgang für das zweite und das dritte Prozessmodell wiederholt.

Am Schluß bestand für den Teilnehmer noch eine Aufgabe darin, ein Ranking für die Seven Process Modeling Guidelines (7PMG) zu erstellen (siehe B.3). Danach war der Durchgang abgeschlossen und der Teilnehmer wurde verabschiedet.

## 5 Ablauf der Studie

Der Ablauf der Studie ist im folgenden BPMN-Modell graphisch dargestellt.

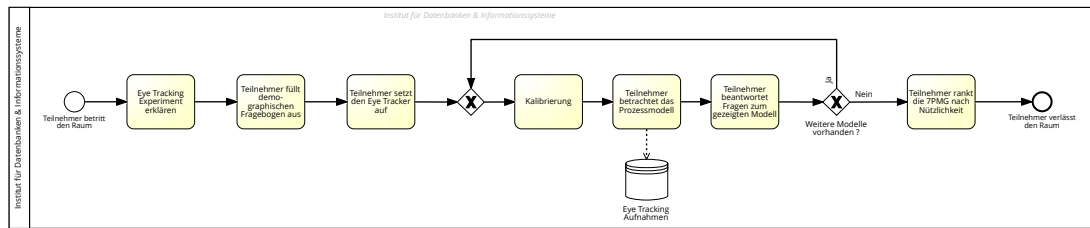


Abbildung 5.1: Ablauf der Studie

Den Aufbau der Studie kann man in der folgenden Abbildung 5.2 betrachten.

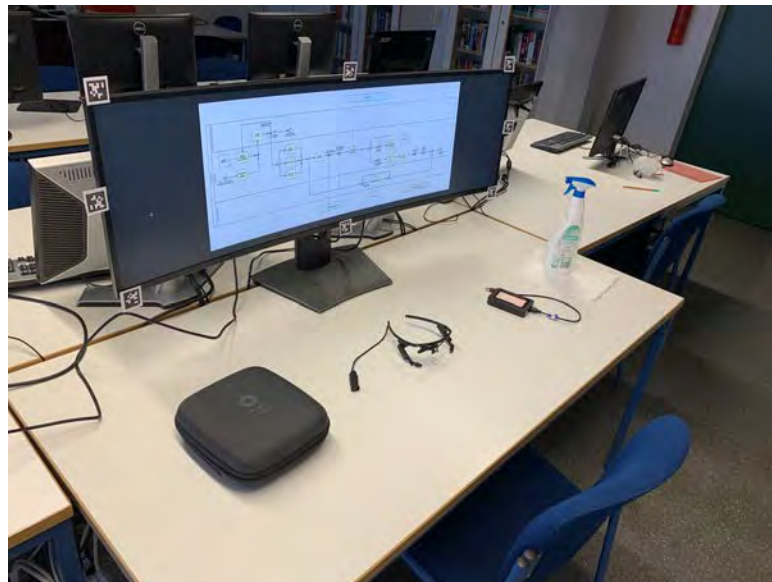


Abbildung 5.2: Aufbau des Arbeitsplatzes

## 5.5 Abhängige und unabhängige Variablen

Die unabhängige Variable in dieser Studie ist das Prozessmodell selbst, das jeweils ohne Anwendung der 7PMG bzw. mit Hilfe der 7PMG erstellt wurde. Wichtig dabei ist, dass darauf geachtet wurde, dass die Semantik des Modells dieselbe ist. Im Nachfolgenden werden die einzelnen Variablen beschrieben.

### **Performance**

Die Performance gliedert sich in die Bestandteile Dauer, Fixierungen und dem Score der Wahr-oder-Falsch-Fragen auf. Der Eye Tracker erstellt für jede Aufnahme einen Ordner, der die Dauer der Aufzeichnung und damit auch die Gesamtzeit, die der Teilnehmer gebraucht hat um das Prozessmodell zu verstehen, beinhaltet. Desweiteren wird auch die Anzahl der Fixierungen aufgezeichnet. Der Score bildet sich aus den vier Wahr-oder-Falsch-Fragen, die jeder Teilnehmer nach Betrachten des jeweiligen Modells beantworten musste. Dieser dient dazu, die Verständlichkeit der Modelle zu prüfen.

### **Level of Acceptability**

Das Level of Acceptability gibt an, wie gut ein Teilnehmer das Prozessmodell akzeptiert. Um dies zu messen wurde eine 5-Punkte Likert Skala entworfen (siehe B.1). Dabei zielen die ersten drei Fragen auf die perceived usefulness for understandability (PUU) und die weiteren zwei Fragen auf perceived ease of understandability (PEU) ab.

Die Auswertung der PUU und der PEU erfolgte auch schon in anderen Studien wie bspw. in [39] oder [38], die sich ebenfalls mit der Verständlichkeit von Prozessmodellen beschäftigten. Auch hier wurden Eye Tracking Experimente durchgeführt.

Dabei wird die PUU als das Ausmaß definiert, in dem eine Person glaubt, dass die Verwendung eines bestimmten Systems ihre Arbeitsleistung verbessern würde. Ein hoher PUU Wert eines Systems steht dafür, dass der Benutzer an die Existenz einer positiven Beziehung zwischen Nutzen und Leistung glaubt.

Der PEU hingegen wird als das Ausmaß bezeichnet, in dem eine Person glaubt, dass die Benutzung eines bestimmten Systems mühelos ist. Dabei steht ein hoher PEU Wert für eines Systems dafür, dass der Benutzer dieses System als leichter zu bedienen empfindet, als ein anderes bei gleichen Bedingungen. [44]

### **Cognitive Load**

Die Cognitive Load Theory (CLT) nimmt an, dass Lernen mit kognitiver Belastung einhergeht und dass es umso besser funktioniert, je niedriger diese ist. Nach Sweller kann der Cognitive Load in drei Teilbereiche aufgeteilt werden. Unter dem Intrinsic Cognitive Load (ICL) bzw. der intrinsisch kognitiven Belastung versteht man die Art der kognitiven Belastung, die durch das Lernmaterial selbst bedingt ist. Je schwerer das Lernmaterial desto höher ist die intrinsische Belastung. Daneben gibt



es noch den Extraneous Cognitive Load (ECL) bzw. die extrinsische kognitive Belastung. Darunter versteht man überflüssige Belastungen, die vom gewünschten Lernen ablenken. Der ECL ist von der Art und Strukturierung des Lernmaterials abhängig. Wenn man z.B. viele irrelevante Wege gehen und viele kognitive Anstrengungen unternehmen muss, um zur gewünschten Lösung zu kommen, ist der ECL hoch. Der letzte Teilbereich ist der Germane Cognitive Load (GCL) bzw. die germane kognitive Belastung. Sie fördert das Lernen und führt unter anderem zum Schemaerwerb und ist dementsprechend für das Lernen entscheidend. [31] [25] [32]

### Ranking

Wie bereits oben erwähnt wurden die Teilnehmer gebeten, ein Ranking der 7PMG zu erstellen. Mit Hilfe des Rankings und den resultierenden Heatmaps der Eye Tracking Daten kann ein objektives Ranking der 7PMG nach Nützlichkeit erfolgen und damit der zweite Teil der Forschungsfrage beantwortet werden.

Die abhängigen Variablen sind zusammengefasst in der folgenden Abbildung 5.3 dargestellt.



Abbildung 5.3: Abhängige Variablen

# Auswertung und Analyse der Studie

# 6

## 6.1 Deskriptive Statistik

Im Rahmen dieser Studie konnten Daten von 18 Teilnehmern gesammelt werden. Unter diesen Teilnehmern waren 8 Akademiker, 7 Studenten, 2 Teilnehmer mit einer abgeschlossenen Berufsausbildung und ein Teilnehmer mit einer abgeschlossenen Ausbildung an einer Meister- oder Technikerschule. Von den 15 Studenten / Akademikern kommen 3 aus der Fachrichtung Medieninformatik, 2 aus den Wirtschaftswissenschaften, 2 aus der Informatik und jeweils ein Teilnehmer aus der Molekularen Medizin, der Wirtschaftsinformatik, der Chemie, der Energiesystemtechnik, der Betriebswirtschaftslehre, dem Maschinenbau, der Elektrotechnik/Nachrichtentechnik und der Physik.

Tabelle 6.1: Vergleich der beiden Treatment Gruppen

| Variable                  | Ohne 7PMG ( $N = 9$ ) | Mit 7PMG ( $N = 9$ ) | $p$ Wert      |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|---------------|
| <b>Geschlecht</b> $N$ (%) |                       |                      |               |
| weiblich                  | 2 (0,22)              | 4 (0,44)             | $p = 0,620^a$ |
| männlich                  | 7 (0,78)              | 5 (0,56)             |               |
| <b>Alter</b> $N$ (%)      |                       |                      |               |
| <25 Jahre                 | 3 (0,33)              | 2 (0,22)             | $p = 1,000^a$ |
| >25 Jahre                 | 6 (0,67)              | 7 (0,78)             |               |
| <b>Erfahrung</b> $N$ (%)  |                       |                      |               |
| Ja                        | 4 (0,44)              | 4 (0,44)             | $p = 1,000^a$ |
| Nein                      | 5 (0,56)              | 5 (0,56)             |               |

<sup>a</sup> Exakter Fisher-Test

Von den 18 Teilnehmern bekam die eine Hälfte die Modelle, die ohne Anwendung der 7PMG modelliert wurden, zu sehen und die andere Hälfte die Prozessmodelle, die mit Hilfe der 7PMG erstellt wurden zu sehen. Der direkte Vergleich der beiden Gruppen ist in der Tabelle 6.1 dargestellt.

Zu Beginn der Datenauswertung wird deskriptive Statistik angewandt, um einen ersten Überblick über die Ergebnisse zu erlangen. Die Tabellen 6.2 und 6.3 beinhalten den Mittelwert und die in Klammer stehende Standardabweichung. Jedem Prozessmodell wurde, wie bereits weiter oben beschrieben, eine ID zugeordnet (siehe 5.1). Desweiteren setzt sich die Tabelle aus der gemessenen Betrachtungsdauer in Millisekunden (ms), der Anzahl der Fixierungen, dem Score (min:0, max:4), und den Variablen PUU, PEU, ICL, ECL und GCL (jeweils min:1, max:5) zusammen.

Tabelle 6.2: Mittelwerte Performance

| ID | Dauer                | Fixierungen     | Score       |
|----|----------------------|-----------------|-------------|
| 1  | 49745,44 (16521,70)  | 212,00 (87,24)  | 2,89 (0,60) |
| 2  | 47862,78 (18960,19)  | 224,22 (91,13)  | 3,00 (0,87) |
| 3  | 67627,56 (16458,03)  | 299,67 (110,04) | 3,56 (0,53) |
| 4  | 111015,89 (62157,28) | 547,11 (229,78) | 3,78 (0,67) |
| 5  | 66006,00 (16914,89)  | 320,33 (114,48) | 3,11 (0,60) |
| 6  | 66911,89 (25836,26)  | 272,56 (86,08)  | 3,67 (0,50) |

Tabelle 6.3: Mittelwerte Level of Acceptability und Cognitive Load

| ID | PUU         | PEU         | ICL         | ECL         | GCL         |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1  | 4,00 (0,85) | 3,72 (1,18) | 2,72 (1,00) | 2,30 (1,12) | 2,33 (1,15) |
| 2  | 4,15 (0,53) | 4,39 (0,49) | 2,67 (0,61) | 2,15 (0,71) | 1,67 (0,56) |
| 3  | 3,26 (1,06) | 3,17 (1,17) | 3,28 (0,87) | 2,89 (0,96) | 2,89 (1,27) |
| 4  | 3,70 (0,93) | 3,83 (0,87) | 3,33 (0,71) | 2,93 (1,20) | 2,44 (1,13) |
| 5  | 3,56 (1,12) | 3,61 (1,34) | 2,78 (1,09) | 2,30 (1,20) | 2,33 (1,22) |
| 6  | 4,26 (0,85) | 4,17 (0,90) | 2,39 (1,05) | 1,96 (1,15) | 1,94 (1,33) |

Eine Auffälligkeit ist, dass Modell 4 im Schnitt mit 111015,89 ms im Gegensatz zu den anderen Modellen sehr viel länger betrachtet wurde. Das spiegelt sich auch in der Anzahl der Fixierungen für dieses Modell wider. Hier wurden im Durchschnitt 547,11 Fixierungen erfasst. Im Gegensatz dazu zeigen die meisten Modelle zwischen 200 und 300 Fixierungen. Eine weitere Beobachtung ist, dass die Teilnehmer bei Modell 1 mit durchschnittlich 2,89 richtigen Antworten am schlechtesten abge-

schnitten haben und bei Modell 4 mit einem Mittelwert von 3,78 richtigen Antworten am besten. Ersichtlich ist zudem, dass beim direkten Vergleich der Modelle 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6 (jeweils ohne 7PMG vs. mit 7PMG) sowohl die PUU als auch die PEU jeweils beim Modell nach Anwendung der 7PMG höher ist. Diese Erkenntnis gewinnt man auch beim Vergleich der Modelle bei den Ergebnissen des Cognitive Loads. Hier sind bei den meisten Modellen, die mit den 7PMG modelliert wurden im Gegensatz zu den jeweiligen Prozessen, bei denen die 7PMG keine Anwendung fanden, der ICL, der ECL und der GCL niedriger.

## 6.2 Testen der Hypothesen

Um die in Kapitel 5.3 aufgestellten Hypothesen zu testen, wurde eine ANOVA (einfaktorielle Varianzanalyse) durchgeführt. Dabei wurden die jeweiligen Prozessmodelle ohne 7PMG mit den entsprechenden Modellen mit 7PMG verglichen und auf Signifikanz getestet. Wie bereits weiter oben erwähnt, liegt eine Signifikanz dann vor, wenn der p-Wert kleiner als 0,05 ist.

Die ANOVA zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied bei der Anzahl der Fixierungen zwischen Modell 3 und 4 gibt ( $p = 0,010$ ). So weist Modell 4 (mit Anwendung der 7PMG) signifikant mehr Fixierungen auf, als Modell 3 (ohne Anwendung der 7PMG).

Eine weitere Signifikanz konnte zudem noch beim Score zwischen den Modellen 5 und 6 gefunden werden ( $p = 0,049$ ). Es zeigt sich, dass nach der Betrachtung des Modells 6 (mit Anwendung der 7PMG) signifikant mehr richtige Antworten gegeben wurden, als nach der Betrachtung des gleichen Prozesses, Modell 5 (ohne Anwendung der 7PMG).

Beim Testen der restlichen Variablen konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden. Die Ergebnisse des Hypothesentests ANOVA sind in Tabelle 6.4 aufgelistet.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zusätzlich noch getestet, ob es Unterschiede zwischen Experten und Novizen gibt. Schaut man sich die Tabelle 6.1 an erkennt man, dass es in beiden Gruppen jeweils 4 Teilnehmer mit Erfahrung und jeweils 5 Teilnehmer ohne Erfahrung im Bereich der Prozessmodellierung gibt. Die Zuteilung wurde demnach so gewählt, dass Teilnehmer mit Erfahrung zu den Experten zählen und Teilnehmer ohne Erfahrung zu den Novizen.

Um feststellen zu können, ob sich die Experten und Novizen in ihrer jeweiligen Treatmentgruppe unterscheiden, wurde ein T-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt.

Ein T-Test ist ein parametrisches Verfahren und dient zur Überprüfung, ob sich die Mittelwerte zweier unabhängiger Gruppen in einem Merkmal oder einer Variablen systematisch unterscheiden oder nicht [28].

Beim T-Test in SPSS muss zunächst der Levene-Test der Varianzgleichheit betrachtet werden. Falls die Signifikanz unter 0,05 liegt, kann die Nullhypothese von Varianzgleichheit abgelehnt werden. Andernfalls kann die Nullhypothese nicht verworfen werden und die Varianzen werden als „gleich“ interpretiert [36].

Die Ergebnisse des T-Tests sind zum einen in der Tabelle 6.5 für die Teilnehmer aufgelistet, die die Prozessmodelle bekommen haben, die ohne Hilfe der 7PMG erstellt wurden. Zum anderen sind die Ergebnisse in der Tabelle 6.5 für diejenigen Teilnehmer dargestellt, bei denen die Prozesse mit Hilfe der 7PMG modelliert wurden. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass weder in der einen Gruppe noch in der anderen Gruppe signifikante Unterschiede beim Betrachten der jeweiligen Variablen zwischen Experten und Novizen festgestellt wurden.

Zum Schluss wurde noch auf Signifikanz beim Vergleich zwischen Männern und Frauen getestet. Das Vorgehen war dasselbe wie bei dem Vergleich zwischen Experten und Novizen. Die Ergebnisse der T-Tests sind in der Tabelle 6.7 für die Gruppe, die die Modelle ohne Anwendung der 7PMG bekam und in Tabelle 6.8 für die Gruppe, die die Prozesse bekamen, die mit Hilfe der 7PMG erstellt wurden dargestellt.

Die Tabelle 6.7 zeigt, dass es in dieser Gruppe keinen signifikanten Unterschied zwischen Männern und Frauen zu verzeichnen gibt. Allerdings gibt es signifikante Unterschiede in der anderen Gruppe (siehe Tabelle 6.8). Hierbei gab es für das Prozessmodell „Planung eines Kundenabends bei der Daimler AG“ jeweils einen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern bei dem ECL ( $p = 0,025$ ), dem GCL ( $p = 0,041$ ), der PUU ( $p = 0,028$ ) und der PEU ( $p = 0,025$ ).

Die deskriptive Statistik zeigt in diesem Fall, dass Frauen beim ECL einen Mittelwert von 1,8333 aufweisen mit einer Standardabweichung von 0,962. Männer hingegen weisen einen Mittelwert von 3,8000 mit einer Standardabweichung von 0,183 auf. Beim GCL weisen Frauen einen Mittelwert von 1,6250 mit einer Standardab-

weichung von 0,946 auf. Männer hingegen einen Mittelwert von 3,1000 mit einer Standardabweichung von 0,822.

Daraus wird ersichtlich, dass Männer eine signifikant höhere extrinsische und germane kognitive Belastung aufweisen als Frauen bei diesem Modell.

Die deskriptive Statistik zeigt außerdem, dass Frauen bei der PUU einen Mittelwert von 4,4167 mit einer Standardabweichung von 0,687 aufweisen. Bei den Männern liegt der Mittelwert bei 3,1333 bei einer Standardabweichung von 0,691. Bei der PEU liegt der Mittelwert der Frauen bei 4,5 mit einer Standardabweichung von 0,707 und bei den Männern liegt der Mittelwert bei 3,3000 mit einer Standardabweichung von 0,570.

Das führt zu der Erkenntnis, dass sowohl die PUU als auch die PEU bei den Männern bei diesem Modell signifikant niedriger war, als bei den Frauen.

Tabelle 6.4: Ergebnisse Hypothesentest ANOVA

| <b>H1: Dauer</b>                       |               |                   |
|--|---------------|-------------------|
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| Anschauungsdauer Tesla                 | 0,825         | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Kundenabend           | 0,060         | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Armee                 | 0,931         | nicht signifikant |
| <b>H2: Fixierungen</b>                 |               |                   |
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| Anzahl der Fixierungen Tesla           | 0,775         | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Kundenabend     | 0,010 (<0,05) | signifikant       |
| Anzahl der Fixierungen Armee           | 0,332         | nicht signifikant |
| <b>H3: Score</b>                       |               |                   |
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| Anzahl richtiger Antworten Tesla       | 0,756         | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Kundenabend | 0,444         | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Armee       | 0,049 (<0,05) | signifikant       |
| <b>H4: ICL</b>                         |               |                   |
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| ICL Tesla                              | 0,889         | nicht signifikant |
| ICL Kundenabend                        | 0,884         | nicht signifikant |
| ICL Armee                              | 0,453         | nicht signifikant |
| <b>H5: ECL</b>                         |               |                   |
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| ECL Tesla                              | 0,742         | nicht signifikant |
| ECL Kundenabend                        | 0,943         | nicht signifikant |
| ECL Armee                              | 0,555         | nicht signifikant |
| <b>H6: GCL</b>                         |               |                   |
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| GCL Tesla                              | 0,136         | nicht signifikant |
| GCL Kundenabend                        | 0,444         | nicht signifikant |
| GCL Armee                              | 0,528         | nicht signifikant |
| <b>H7: PUU</b>                         |               |                   |
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| PUU Tesla                              | 0,663         | nicht signifikant |
| PUU Kundenabend                        | 0,361         | nicht signifikant |
| PUU Armee                              | 0,152         | nicht signifikant |
| <b>H8: PEU</b>                         |               |                   |
| Variable                               | Wert          | Signifikanz       |
| PEU Tesla                              | 0,135         | nicht signifikant |
| PEU Kundenabend                        | 0,189         | nicht signifikant |
| PEU Armee                              | 0,318         | nicht signifikant |

Tabelle 6.5: T-Test Ergebnisse Experte vs. Novize (I)

| <b>H1: Dauer</b>                       |       |                   |
|--|-------|-------------------|
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| Anschauungsdauer Tesla                 | 0,799 | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Kundenabend           | 0,229 | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Armee                 | 0,430 | nicht signifikant |
| <b>H2: Fixierungen</b>                 |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| Anzahl der Fixierungen Tesla           | 0,190 | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Kundenabend     | 0,946 | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Armee           | 0,683 | nicht signifikant |
| <b>H3: Score</b>                       |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| Anzahl richtiger Antworten Tesla       | 0,621 | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Kundenabend | 0,356 | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Armee       | 0,571 | nicht signifikant |
| <b>H4: ICL</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| ICL Tesla                              | 0,388 | nicht signifikant |
| ICL Kundenabend                        | 0,786 | nicht signifikant |
| ICL Armee                              | 0,273 | nicht signifikant |
| <b>H5: ECL</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| ECL Tesla                              | 0,400 | nicht signifikant |
| ECL Kundenabend                        | 0,569 | nicht signifikant |
| ECL Armee                              | 0,443 | nicht signifikant |
| <b>H6: GCL</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| GCL Tesla                              | 0,188 | nicht signifikant |
| GCL Kundenabend                        | 0,773 | nicht signifikant |
| GCL Armee                              | 0,559 | nicht signifikant |
| <b>H7: PUU</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| PUU Tesla                              | 0,632 | nicht signifikant |
| PUU Kundenabend                        | 0,697 | nicht signifikant |
| PUU Armee                              | 0,501 | nicht signifikant |
| <b>H8: PEU</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| PEU Tesla                              | 0,562 | nicht signifikant |
| PEU Kundenabend                        | 0,665 | nicht signifikant |
| PEU Armee                              | 0,365 | nicht signifikant |



Tabelle 6.6: T-Test Ergebnisse Experte vs. Novize (II)

| <b>H1: Dauer</b>                       |       |                   |
|--|-------|-------------------|
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| Anschauungsdauer Tesla                 | 0,952 | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Kundenabend           | 0,895 | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Armee                 | 0,997 | nicht signifikant |
| <b>H2: Fixierungen</b>                 |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| Anzahl der Fixierungen Tesla           | 0,769 | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Kundenabend     | 0,474 | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Armee           | 0,294 | nicht signifikant |
| <b>H3: Score</b>                       |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| Anzahl richtiger Antworten Tesla       | 0,476 | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Kundenabend | 0,407 | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Armee       | 0,407 | nicht signifikant |
| <b>H4: ICL</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| ICL Tesla                              | 0,222 | nicht signifikant |
| ICL Kundenabend                        | 0,886 | nicht signifikant |
| ICL Armee                              | 0,583 | nicht signifikant |
| <b>H5: ECL</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| ECL Tesla                              | 0,950 | nicht signifikant |
| ECL Kundenabend                        | 0,375 | nicht signifikant |
| ECL Armee                              | 0,320 | nicht signifikant |
| <b>H6: GCL</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| GCL Tesla                              | 0,857 | nicht signifikant |
| GCL Kundenabend                        | 0,323 | nicht signifikant |
| GCL Armee                              | 0,574 | nicht signifikant |
| <b>H7: PUU</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| PUU Tesla                              | 0,609 | nicht signifikant |
| PUU Kundenabend                        | 0,432 | nicht signifikant |
| PUU Armee                              | 0,307 | nicht signifikant |
| <b>H8: PEU</b>                         |       |                   |
| Variable                               | Wert  | Signifikanz       |
| PEU Tesla                              | 0,575 | nicht signifikant |
| PEU Kundenabend                        | 0,402 | nicht signifikant |
| PEU Armee                              | 0,422 | nicht signifikant |

Tabelle 6.7: T-Test Ergebnisse Männlich vs. Weiblich (I)

| <b>H1: Dauer</b>                       |       |                   |
|--|-------|-------------------|
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| Anschauungsdauer Tesla                 | 0,439 | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Kundenabend           | 0,510 | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Armee                 | 0,686 | nicht signifikant |
| <b>H2: Fixierungen</b>                 |       |                   |
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| Anzahl der Fixierungen Tesla           | 0,079 | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Kundenabend     | 0,708 | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Armee           | 0,488 | nicht signifikant |
| <b>H3: Score</b>                       |       |                   |
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| Anzahl richtiger Antworten Tesla       | 0,331 | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Kundenabend | 0,879 | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Armee       | 0,104 | nicht signifikant |
| <b>H4: ICL</b>                         |       |                   |
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| ICL Tesla                              | 0,748 | nicht signifikant |
| ICL Kundenabend                        | 0,641 | nicht signifikant |
| ICL Armee                              | 0,139 | nicht signifikant |
| <b>H5: ECL</b>                         |       |                   |
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| ECL Tesla                              | 0,405 | nicht signifikant |
| ECL Kundenabend                        | 0,251 | nicht signifikant |
| ECL Armee                              | 0,718 | nicht signifikant |
| <b>H6: GCL</b>                         |       |                   |
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| GCL Tesla                              | 0,451 | nicht signifikant |
| GCL Kundenabend                        | 0,457 | nicht signifikant |
| GCL Armee                              | 0,482 | nicht signifikant |
| <b>H7: PUU</b>                         |       |                   |
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| PUU Tesla                              | 0,776 | nicht signifikant |
| PUU Kundenabend                        | 0,424 | nicht signifikant |
| PUU Armee                              | 0,417 | nicht signifikant |
| <b>H8: PEU</b>                         |       |                   |
| Modell                                 | Wert  | Signifikanz       |
| PEU Tesla                              | 0,509 | nicht signifikant |
| PEU Kundenabend                        | 0,062 | nicht signifikant |
| PEU Armee                              | 0,319 | nicht signifikant |

Tabelle 6.8: T-Test Ergebnisse Männlich vs. Weiblich (II)

| <b>H1: Dauer</b>                       |               |                   |
|--|---------------|-------------------|
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| Anschauungsdauer Tesla                 | 0,806         | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Kundenabend           | 0,951         | nicht signifikant |
| Anschauungsdauer Armee                 | 0,752         | nicht signifikant |
| <b>H2: Fixierungen</b>                 |               |                   |
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| Anzahl der Fixierungen Tesla           | 0,663         | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Kundenabend     | 0,823         | nicht signifikant |
| Anzahl der Fixierungen Armee           | 0,730         | nicht signifikant |
| <b>H3: Score</b>                       |               |                   |
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| Anzahl richtiger Antworten Tesla       | 0,476         | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Kundenabend | 0,407         | nicht signifikant |
| Anzahl richtiger Antworten Armee       | 0,685         | nicht signifikant |
| <b>H4: ICL</b>                         |               |                   |
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| ICL Tesla                              | 0,222         | nicht signifikant |
| ICL Kundenabend                        | 0,291         | nicht signifikant |
| ICL Armee                              | 0,393         | nicht signifikant |
| <b>H5: ECL</b>                         |               |                   |
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| ECL Tesla                              | 0,824         | nicht signifikant |
| ECL Kundenabend                        | 0,025 (<0,05) | signifikant       |
| ECL Armee                              | 0,539         | nicht signifikant |
| <b>H6: GCL</b>                         |               |                   |
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| GCL Tesla                              | 0,175         | nicht signifikant |
| GCL Kundenabend                        | 0,041 (<0,05) | signifikant       |
| GCL Armee                              | 0,920         | nicht signifikant |
| <b>H7: PUU</b>                         |               |                   |
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| PUU Tesla                              | 0,384         | nicht signifikant |
| PUU Kundenabend                        | 0,028 (<0,05) | signifikant       |
| PUU Armee                              | 0,790         | nicht signifikant |
| <b>H8: PEU</b>                         |               |                   |
| Modell                                 | Wert          | Signifikanz       |
| PEU Tesla                              | 0,212         | nicht signifikant |
| PEU Kundenabend                        | 0,025 (<0,05) | signifikant       |
| PEU Armee                              | 0,652         | nicht signifikant |

## 6.3 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es die Frage zu beantworten, ob die Anwendung der 7PMG die Verständlichkeit von Prozessmodellen erhöht.

Die Hypothese  $H_{0,1}$  wird angenommen und die Alternativhypothese verworfen. In keinem Modell konnte ein signifikanter Unterschied in der Anschauungsdauer der Prozesse beobachtet werden.

Beim Testen der Hypothese  $H_{0,2}$  zeigte sich, dass ein signifikanter Unterschied bei dem Prozess „Planung eines Kundenabends der Daimler AG“ zu verzeichnen ist. Allerdings zeigte sich auch, dass die Anzahl der Fixierungen bei dem Prozess, der mit Hilfe der 7PMG erstellt wurde, höher war. Da sich dieses Ergebnis nur in einem von drei Modellen zeigte, kann die Nullhypothese im Allgemeinen angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden.

Bei der Anzahl an richtigen Antworten bei den Wahr-oder-Falsch-Fragen konnte man sehen, dass es signifikant mehr richtige Antworten beim Modell „Rekrutierungsvorgang bei der Armee“ gab, das mit Hilfe der 7PMG erstellt wurde. Allerdings zeigte sich diese Signifikanz auch nur in diesem Modell, so dass die Nullhypothese  $H_{0,3}$  ebenfalls angenommen und im Umkehrschluss die Alternativhypothese verworfen werden kann.

Beim statistischen Testen des Cognitive Loads konnte weder bei der intrinsischen, der extrinsischen noch der germanen kognitiven Belastung ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden. Somit können die Nullhypothesen  $H_{0,4}$ ,  $H_{0,5}$ ,  $H_{0,6}$  angenommen und die Alternativhypothesen abgelehnt werden.

Das gleiche Ergebnis zeigte sich auch bei der Untersuchung des Levels of Acceptability. Weder die PUU, noch die PEU wiesen signifikante Unterschiede auf. Somit können auch die Nullhypothesen  $H_{0,7}$  und  $H_{0,8}$  angenommen und die entsprechenden Alternativhypothesen abgelehnt werden.

Bei dem Vergleich zwischen Novizen und Experten zeigte sich in keiner Gruppe ein signifikanter Unterschied, so dass alle Nullhypothesen angenommen und alle Alternativhypothesen verworfen werden können.

Bei dem Geschlechtervergleich zeigte sich in der Gruppe, die die Modelle vor Anwendung der 7PMG bekamen, kein signifikanter Unterschied, so dass in diesem

Fall wieder alle Nullhypothesen angenommen und alle Alternativhypothesen verworfen werden können.

Es zeigten sich aber in der anderen Gruppe signifikante Unterschiede beim Modell „Planung eines Kundenabends bei der Daimler AG“ in Bezug auf den ECL, den GCL, der PUU und der PEU. Allerdings konnten diese signifikanten Unterschiede nur bei einem der drei Modelle gezeigt werden, so dass im Allgemeinen die Nullhypothesen angenommen und die Alternativhypothesen verworfen werden können.

Im Folgenden wird noch auf mögliche Gründe für die einzelnen Signifikanzfälle eingegangen. Es zeigte sich, dass Teilnehmer signifikant mehr Fixierungen beim Prozess „Planung eines Kundenabends bei der Daimler AG“ nach Anwendung der 7PMG aufwiesen. Betrachtet man den Prozess, könnte dieser Unterschied damit zusammenhängen, dass in diesem Modell mehr Nachrichtenelemente auftreten als im Modell, das ohne Hilfe der 7PMG modelliert wurde. Durch die Tatsache, dass diese noch zusätzlich beschriftet sind und sich in verschiedene Nachrichtenelemente (eintretend und auslösend) aufgliedern lassen, könnte es sein, dass der Leser dadurch länger braucht und dementsprechend mehr Fixierungen notwendig sind, um letztendlich den Gesamtzusammenhang zu verstehen. Dass bei dem Prozess „Rekrutierungsvorgang bei der Armee“ signifikant mehr Fragen richtig beantwortet wurden, könnte willkürlich bzw. zufallsbedingt sein, da die Ergebnisse der Tests keine weiteren Hinweise zulassen, dass dieses Modell verständlicher war als die anderen Modelle. Die Erkenntnis, dass es keine Signifikanz zwischen Novizen und Experten gibt, könnte durch die Gruppenaufteilung bedingt sein. Im Rahmen dieser Arbeit wurden lediglich die Teilnehmer als Experten betrachtet, die schon Erfahrung im Bereich der Prozessmodellierung hatten. Es wurde dabei kein Unterschied getroffen, wie viel Erfahrung genau die einzelnen Teilnehmer hatten. So könnte es sein, dass als Experten klassifizierte Teilnehmer zwar schon mal Prozesse gesehen und modelliert haben, diese Tätigkeiten aber vielleicht schon einige Jahre zurückliegen.

In Kapitel 4 wurde beschrieben, dass die kognitive Belastung geringer ist, wenn die Person mit dem Prozess vertraut ist [41]. Diese Erkenntnis könnte auch beim Betrachten der Ergebnisse zwischen Mann und Frau eine wichtige Rolle spielen. Es zeigt sich, dass die extrinsische und die germane kognitive Belastung beim Modell „Planung eines Kundenabends bei der Daimler AG“ bei Männern signifikant höher ist, als bei Frauen was bedeutet, dass die kognitive Belastung bei diesem Modell bei

Frauen signifikant niedriger ist. Dies könnte damit zusammenhängen, dass das erste Modell „Bestellvorgang eines Tesla Model X“ und der „Rekrutierungsvorgang bei der Armee“ eventuell eher Prozesse sind, die Männern zugeordnet werden können und somit das zweite Modell als neutraler angesehen werden kann. Zudem zeigte sich, dass das Level of Acceptability von Frauen bei diesem Modell signifikant höher ist. Das heißt, Frauen nehmen dieses Modell mehr an und finden es im Allgemeinen ansprechender. Dies könnte ebenfalls damit zusammenhängen, dass dieses Modell von der Thematik neutraler gehalten wurde.

Um die Unterfrage beantworten zu können, ob sich die 7PMG nach Nützlichkeit ranken lassen, wurde das Ranking der Teilnehmer ausgewertet. Anzumerken dabei ist, dass die Bewertung eines Teilnehmers entfernt werden musste, da er die Aufgabenstellung nicht verstanden hatte.

Hierbei wurde der Kendall's W Test herangezogen, der ein Maß für die Übereinstimmung zwischen den Bewertern angibt. Der Kendalls Übereinstimmungskoeffizient  $W$  kann dabei zwischen 0 und 1 liegen. Eine 0 gibt dabei an, dass keine Übereinstimmung zwischen den Bewertern vorliegt und eine 1 gibt eine totale Übereinstimmung an [16].

Im Rahmen dieser Studie wurde der Test jeweils für die Treatmentgruppen und einmal für alle Teilnehmer zusammen durchgeführt. Die Tabelle 6.9 zeigt dabei das Ranking der Gruppe, die die Modelle ohne Anwendung der 7PMG bekamen. Tabelle 6.10 zeigt, das Ranking der Gruppe, bei denen die Modelle mit Hilfe der 7PMG erstellt wurden und Tabelle 6.11 gibt das Gesamtranking aller Teilnehmer dieser Studie an.

Betrachtet man die Ergebnisse dann zeigt sich, dass das Kendall's  $W$  bei allen drei Tests etwa den neutralen Wert 0,5 annimmt. Somit lässt sich keine Aussage treffen, ob es eine totale Übereinstimmung oder überhaupt keine Übereinstimmung zwischen den Teilnehmern gab. Eine wichtige Erkenntnis ist aber, dass bei beiden Gruppen die Guidelines G4, G1 und G2 in genannter Folge absteigend auf den ersten drei Plätzen stehen. Zudem lässt sich sagen, dass im Rahmen dieser Arbeit die Guideline G4 als die am nützlichsten angesehen Guideline betrachtet wird. Diese Erkenntnis deckt sich auch mit der Studie von [23], bei der ebenfalls Guideline G4 auf Platz 1 ist. Im Gesamtranking befindet sich G3 auf Platz 4, G5 auf Platz 5, G7 auf Platz 6 und G6 auf dem letzten Platz.

Tabelle 6.9: Ranking Gruppe ohne 7PMG

| Position | Guideline | Mittlerer Rang |
|----------|-----------|----------------|
| 1        | G4        | 2,00           |
| 2        | G1        | 2,33           |
| 3        | G2        | 3,33           |
| 4        | G3        | 4,22           |
| 5        | G5        | 4,78           |
| 6        | G7        | 5,44           |
| 7        | G6        | 5,89           |

Tabelle 6.10: Ranking Gruppe mit 7PMG

| Position | Guideline | Mittlerer Rang |
|----------|-----------|----------------|
| 1        | G4        | 1,50           |
| 2        | G1        | 2,25           |
| 3        | G2        | 3,25           |
| 4        | G5 & G7   | 5,13           |
| 5        | G3 & G6   | 5,38           |

Tabelle 6.11: Ranking aller Teilnehmer

| Position | Guideline | Mittlerer Rang |
|----------|-----------|----------------|
| 1        | G4        | 1,76           |
| 2        | G1        | 2,29           |
| 3        | G2        | 3,29           |
| 4        | G3        | 4,76           |
| 5        | G5        | 4,94           |
| 6        | G7        | 5,29           |
| 7        | G6        | 5,65           |

| Gruppe    | Kendall-W <sup>a</sup> |
|-----------|------------------------|
| Ohne 7PMG | 0,483                  |
| Mit 7PMG  | 0,578                  |
| Gesamt    | 0,509                  |

<sup>a</sup> Kendalls Übereinstimmungskoeffizient

Vergleicht man das vorliegende Ranking mit dem von [23] (siehe Tabelle 2.2) sind aber auch diverse Unterschiede erkennbar. So ist bspw. bei [23] G7 auf Platz 2 und in dieser Studie auf dem vorletzten Platz. Ein anderes Beispiel wäre G6, die bei [23] den vierten Platz belegt und hier auf dem letzten Platz vorzufinden ist. Ein möglicher Grund könnte sein, dass bei [23] auch mehrfache gleiche Platzierungen möglich waren und die Teilnehmer in dieser Studie die Zahlen 1 bis 7 nur jeweils einmal vergeben durften.

Um die Guidelines nicht nur anhand des Rankings der Teilnehmer zu überprüfen wurden Heatmaps erstellt.

Heatmaps sind zweidimensionale grafische Darstellungen von Daten, bei denen die Werte einer Variable als Farben dargestellt werden. Heatmaps bringen den Vorteil mit sich, dass die intuitive Natur der Farbskala, die sich auf die Temperatur bezieht, den Lernaufwand minimiert, der zum Verständnis notwendig ist. Man weiß aus Erfahrung bspw., dass Gelb wärmer ist, als Grün, Orange wärmer Gelb und Rot heiß ist. Die Wärmemenge lässt sich dann proportional zur Höhe der dargestellten Variablen berechnen. Heatmaps werden vor allem für Arbeiten, Berichte und Präsentationen eingesetzt, weil sie große Datenmengen zusammenfassen, die bei einer rein numerischen Darstellung viel schwieriger zu erfassen wären [4].

Eine weitere beliebte Analysemethode bildet im Bereich des Eye Trackings der sogenannte Scanpath, der auch schon kurz in Abbildung 4.1 erwähnt wurde.

Unter einem Scanpath versteht man die Abfolge von aufeinanderfolgenden Fixierungen und Sakkaden. Ein Scanpath ist demnach eine „Spur durch Raum und Zeit“, die sich überschneiden kann [14].

Im Rahmen dieser Arbeit wurden sowohl Heatmaps als auch Scanpaths mit Hilfe von Quellcodes in Jupyter Notebook erstellt. Die Quellcodes wurden in Anlehnung an [3] geschrieben. Sie zeigen dabei exemplarisch die Daten und die jeweilige resultierende Heatmap bzw. den resultierenden Scanpath für einen Teilnehmer, der das Prozessmodell „Bestellung eines Tesla X“ bekam, das mit Hilfe der 7PMG modelliert wurde (siehe Anhang C und D).

Anzumerken ist, dass im Folgenden nur auf die Heatmaps eingegangen wird und die hier gezeigte Erstellung der Scanpaths nur grafisch einmal vorgestellt wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass es relativ schwierig ist, Scanpaths direkt miteinander zu vergleichen [14] und die notwendigen Ausführungen und Vergleiche den Rah-



men dieser Arbeit sprengen würde.

Die Aufteilung der Heatmaps erfolgt nach den zwei Treatments. Dabei wird vor allem darauf eingegangen, was die Heatmaps über die Wichtigkeit bzw. die Nützlichkeit der einzelnen Guidelines aussagen können. Anzumerken ist, dass über die Guidelines G1 „Benutze so wenig Elemente wie möglich“ und G7 „Zerlege ein Modell mit 50 Elementen“, mit Hilfe der Heatmaps keine Aussagen getroffen werden können.

Die ersten Erkenntnisse werden für die Gruppe ohne Anwendung der 7PMG beschrieben. Die Heatmaps sind in Anhang C dargestellt. Eine besondere Rolle kommt hier der Guideline G2 „Minimiere die Routingpfade pro Element“ zu. Die Heatmaps zeigen, dass der Wärmegrad bei den Routingpfaden bei den meisten Teilnehmern durchaus hoch ist. Im Gegensatz dazu steht G3 „Verwende jeweils nur ein Start- und Endereignis“. Ersichtlich ist, dass bei fast keinem Teilnehmer Wärme bei den Start- und Endereignissen zu verzeichnen ist. Die Betrachtung des Prozesses spielt sich hauptsächlich mittig ab. Bei G4 „Modelliere so strukturiert wie möglich“ zeigt sich ein ähnliches Bild. Prozessabschnitte, die eine schlechte Modellierung aufweisen, wie bspw. geknickte oder rückläufige Pfeile, fehlende Beschriftungen von XOR-Gateways, plötzliche Änderung der Prozessrichtung (vertikal statt horizontal) finden bei den Teilnehmern relativ wenig Beachtung. Bei G5 „Vermeide OR-Gateways“ zeigt sich, dass diese durchaus wichtig ist. Der Grund hierfür ist, dass dort bei den meisten Probanden die Regionen rot sind, also viel Wärme ausstrahlen. Vergleicht man die OR-Gateways mit anderen Gateways, wie bspw. den XOR-Gateways wird ebenfalls ersichtlich, dass die OR-Gateways deutlich mehr Wärme aufweisen. Eine weitere Beobachtung ist, dass bei der Untersuchung von G6 „Verwende Verb-Objekt-Aktivitätsbezeichnungen“ zu erkennen ist, dass längere bzw. undeutlichere Aktivitätsbeschriftungen teilweise mehr Wärme aufweisen als präzisere und klar verständliche Aktivitäten.

Schaut man sich die Heatmaps für die andere Gruppe an fällt auf, dass G2 weniger Bedeutung zukommt. Es fällt zwar immer noch Wärme auf die Routingpfade, aber im Vergleich zu der anderen Gruppe weniger. Eine Ähnlichkeit wiederum ist bei G3 erkennbar. Auch hier ist bei den Start- und Endereignissen so gut wie kaum Wärme zu verzeichnen. Die Guideline G4 kann nicht auf Nützlichkeit geprüft werden, da diese Modelle alle strukturiert modelliert wurden. Bei G5 ist es genau so. In diesen Modellen finden sich keine OR-Gateways und deshalb lässt sich keine Aussage über diese Guideline treffen. Allerdings ist ersichtlich, dass Regionen mit

einem XOR-Gateways oftmals sehr viel Wärme abbekommen. Da G6 umgesetzt wurde lässt sich zwar nicht sagen, ob undeutlichere Aktivitätsbeschreibungen mehr Wärme erzielt hätten, aber man erkennt in den Heatmaps, dass Aktivitäten im Allgemeinen oftmals einen hohen Wärmegrad aufweisen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Ranking der Teilnehmer und die Betrachtung der Heatmaps unterschiedliche Ergebnisse liefern.

Allerdings muss erwähnt werden, dass die Interpretation von Heatmaps nicht immer eindeutig ist. So kann man bspw. nicht sagen, dass der Grund dafür ist, dass ein Element nicht viel Aufmerksamkeit erhalten hat, immer nur auf das Element selbst zurückzuführen ist. Andere Faktoren könnten zum Beispiel die Größe oder die Platzierung des Elementes sein. [4]

# Fazit

---

# 7

Ziel dieser Arbeit war es mit Hilfe eines Eye Tracking Experiments der Forschungsfrage nachzugehen, ob die „Seven Process Modeling Guidelines“ dazu beitragen, die Verständlichkeit von Prozessmodellen zu erhöhen. Dazu wurden insgesamt 18 Teilnehmer an die Universität Ulm eingeladen, um deren Augenbewegungen während des Betrachtens von verschiedenen Prozessmodellen zu messen. Die Daten wurden anschließend analysiert, um eine Antwort auf die Forschungsfrage geben zu können.

Zusammengefasst lässt sich die Forschungsfrage damit beantworten, dass die 7PMG im Rahmen dieser Studie nicht zu einer höheren Verständlichkeit beigetragen haben. Obwohl es ein paar signifikante Unterschiede gab, konnten im Allgemeinen alle Nullhypothesen angenommen und die entsprechenden Alternativhypothesen verworfen werden.

Auch beim Betrachten der Unterfrage zeigte sich, dass kein eindeutiges Ranking der 7PMG nach Nützlichkeit verzeichnet werden konnte. Einzig und allein die Guideline G4 „Modelliere so strukturiert wie möglich“ konnte in beiden Gruppen Platz 1 erreichen. Diese Erkenntnis steht im Einklang mit der Studie von [23].

Im Folgenden wird noch auf Limitationen und Ansatzpunkte für weitere Forschungsarbeiten eingegangen.

Als erste Limitation gilt es zu erwähnen, dass im Rahmen dieser Studie nur Daten von insgesamt 18 Teilnehmern herangezogen wurden. Diese Anzahl ist vermutlich sehr stark von der aktuellen Corona-Pandemie abhängig. Diese hat wahrscheinlich dafür gesorgt, dass die Leute weniger bereit sind wegen eines Experiments an die

Universität zu kommen. Es könnte sein, dass man mit mehr Teilnehmern andere Ergebnisse erzielen würde.

Eine weitere Limitation liegt beim Vorgang des Eye Trackings an sich. Gerade bei einem so hoch komplexen Vorgang kann es passieren, dass der Eye Tracker nicht immer die Pupille erkennt. Auch andere Messfehler können dazu beitragen, dass die Daten nicht immer zu 100 % genau sind.

Eine dritte Limitation könnte in der verwendeten Modellierungssprache liegen. In der vorliegenden Arbeit wurden alle Modelle in BPMN 2.0 erstellt. Eventuell würden die Ergebnisse anders aussehen, wenn man eine andere Sprache wie z.B. EPK genommen hätte.

Eine weitere Limitation der Studie liegt darin, dass insgesamt nur drei verschiedene Prozesse betrachtet wurden. Eventuell würden die Ergebnisse unterschiedlich aussehen, hätte man z.B. umfangreichere oder mehr als drei Prozessmodelle ausgewählt. Eventuell könnte es sein, dass die 7PMG bei größeren und komplexeren Modellen durchaus die Verständlichkeit von Prozessmodellen erhöhen. Dies wäre ein Ansatzpunkt für zukünftige Arbeiten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen außerdem, dass die 7PMG, die sich eigentlich durch Einfachheit und Klarheit auszeichnen, die Verständlichkeit von Prozessmodellen weder erhöht noch verringert. Zudem hat sich im Rahmen dieser Arbeit herauskristallisiert, dass bspw. die Guideline G3 „Verwende jeweils nur ein Start- und Endereignis“ vernachlässigbar war, da laut Heatmaps die meisten Teilnehmer die Start- und Endereignisse kaum betrachtet haben.

Interessanterweise konnte beim Vergleich des Rankings und der Heatmaps festgestellt werden, dass das Ranking einer Guideline und die tatsächlich Fixierungsintensität Abweichung aufweisen. So zeigte sich bspw., dass Regionen mit einem OR-Gateway viel Wärme bei den Heatmaps zeigten, die Nützlichkeit dieser Guideline aber im unteren Bereich gewertet wurde.

Diesbezüglich kann es sinnvoll betrachtet werden, die Guidelines durch weiteren Einsatz von Eye Tracking intensiver zu studieren und dabei die genannten Limitationen zu beachten.

# Literatur

---

- [1] [https://training-course-material.com/training/BPMN\\_2.0\\_Example\\_-\\_Piazza](https://training-course-material.com/training/BPMN_2.0_Example_-_Piazza). zuletzt besucht: 15.10.2021.
- [2] <https://www.ibm.com/de-de/analytics/spss-statistics-software>. zuletzt besucht am: 23.02.2022.
- [3] <https://github.com/pupil-labs/pupil-tutorials>. zuletzt besucht: 07.02.2022.
- [4] Bojko A. „Informative or Misleading? Heatmaps Deconstructed“. In: *Jacko J.A. (eds) Human-Computer Interaction. New Trends.* (2009), S. 30–39.
- [5] T. Allweyer. *BPMN 2.0 - Business Process Model and Notation: Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung.* BoD - Book on Demand, 2020.
- [6] J. Becker, M. Rosemann und C. Uthmann. *Guidelines of Business Process Management.* Hrsg. von Oberweis A. (Eds) van der Aalst W. Desel J. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.
- [7] J.R. Bergstrom und A. Schall. *Eye Tracking in User Experience Design.* Elsevier, 2014.
- [8] A. Bojko. *Eye Tracking the User Experience: A Practical Guide to Research.* Rosenfeld Media, 2013.
- [9] Camunda. *A simple flow in BPMN.* <https://camunda.com/de/bpmn/>. zuletzt besucht: 12.10.2021.

- [10] poesis Consulting. *Mit Prozessen Werte schaffen. Prozesse aufnehmen und modellieren*. <https://www.poesis.at/wp-content/uploads/2020/10/TRP05-M0-20201015-FotoprotokolI-02.pdf>. zuletzt besucht: 06.11.2021.
- [11] M. Dumas u. a. *Fundamentals of Business Process Management*. Springer, 2013.
- [12] Jakob Freund und Bernd Rücker. *Praxishandbuch BPMN 2.0*. Carl Hanser Verlag München Wien, 2010.
- [13] GBTEC. *Was ist BPMN 2.0? Knowledge building mit GBTEC*. <https://www.gbtec.com/de/ressourcen/bpmn-2-0/>. zuletzt besucht: 08.09.2021.
- [14] Joseph H. Goldberg und Jonathan Helfman. „Visual scanpath representation“. In: *Conference Paper* (2010).
- [15] M. Hammer. *What is Business Process Management*. In J. vom Brocke & M. Rosemann (Eds.), *Handbook on Business Process Management 1 : Introduction, Methods and Information Systems* (S. 3-16). Berlin: Springer, 2015.
- [16] Abdi Hervé. „The Kendall rank correlation coefficient“. In: *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Sage, Thousand Oaks, CA (2007), S. 508–510.
- [17] Frank Högbe, Nick Gehrke und Markus Nüttgens. „Eye Tracking Experiments in Business Process Modeling: Agenda Setting and Proof of Concept“. In: *Enterprise Modelling and Information Systems Architectures (EMISE 2011)* (2011), S. 183–188.
- [18] ISR. *Business Process Management (BPM)*. <https://isr.de/info/bpm-business-process-management/>. zuletzt besucht: 14.10.2021.
- [19] Bortz J. und Schuster C. „Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler“. In: Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. Kap. Hypothesentesten, S. 97–116.
- [20] Moritz Kassner, William Patera und Andreas Bulling. „Pupil: An Open Source Platform for Pervasive Eye Tracking and Mobile Gaze-Based Interaction“. In: *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication* (2014), S. 1151–1160.
- [21] Pupil Labs. *Hardware*. <https://pupil-labs.com/>. zuletzt besucht am: 23.01.2022.

- [22] Müllner M. „Erfolgreich wissenschaftlich Arbeiten in der Klinik“. In: Springer, Vienna, 2002. Kap. Alles über den p-Wert — Der statistische Gruppenvergleich, S. 155–160.
- [23] J. Mendling, H.A. Reijers und W.M.P. van der Aalst. „Seven process modeling guidelines (7PMG)“. In: *Information and Software Technology* 52 (2010), S. 127–136.
- [24] Object Management Group (OMG). *Business Process Model And Notation*. <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/About-BPMN/>. zuletzt besucht: 06.11.2021.
- [25] F. Paas, A. Renkl und J. Sweller. „Cognitive load theory and instructional design: Recent developments“. In: *Educational psychologist* 38.1 (2003), S. 1–4.
- [26] Razvan Petrusel und Jan Mendling. „Eye-Tracking the Factors of Process Model Comprehension Tasks“. In: *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Springer. (2013), S. 224–239.
- [27] Department Physik. *Augenmodell*. <https://www.physik.nat.fau.de/files/2018/06/Augenmodell.pdf>. zuletzt besucht: 13.09.2021.
- [28] Björn Rasch u. a. „Quantitative Methoden“. In: Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg., 2006. Kap. Der t-Test. S. 43–117.
- [29] Signavio. <https://www.signavio.com/de/>. zuletzt besucht: 06.11.2021.
- [30] Signavio. *BPMN-Basics: Pools und Lanes verstehen*. <https://www.signavio.com/de/post/bpmn-pools-und-lanes-verstehen/>. zuletzt besucht: 06.11.2021.
- [31] John Sweller. „Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design“. In: *Learning and Instruction* 4 (1994), S. 295–312.
- [32] John Sweller. „Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load“. In: *Educational Psychology Review* 22 (2010), S. 123–128.
- [33] Andrew S. Tanenbaum. *Moderne Betriebssysteme*. Carl Hanser Verlag München Wien, 1994.
- [34] Markus Tausendpfund. *Quantitative Methoden in der Politikwissenschaft - Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer VS, 2018.

- [35] Udemy. *BPMN 2.0 Business Process Modelling for Business Analysts*. <https://www.udemy.com/course/bpmn-business-process-modelling-for-business-analysts/>. zuletzt besucht: 06.11.2021.
- [36] Björn Walther. *Levene-Test in SPSS durchführen*. <https://bjornwalther.com/levene-test-in-spss-durchfuehren/>. zuletzt besucht: 23.02.2022.
- [37] M. Weske. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Springer, 2012.
- [38] Michael Winter u. a. „How Healthcare Professionals Comprehend Process Models - An Empirical Eye Tracking Analysis“. In: *IEEE 34th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS) (2021)*, S. 313–318.
- [39] Michael Winter u. a. „Measuring the Cognitive Complexity in the Comprehension of Modular Process Models“. In: *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (2021)*, S. 1–18.
- [40] Michael Zimoch u. a. „Cognitive Insights into Business Process Model Comprehension: Preliminary Results for Experienced and Inexperienced Individuals“. In: *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling. Springer. (2017)*, S. 137–152.
- [41] Michael Zimoch u. a. „Eye Tracking Experiments on Process Model Comprehension: Lessons Learned“. In: *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling. Springer. (2017)*, 153–168.
- [42] Michael Zimoch u. a. „Using Insights from Cognitive Neuroscience to Investigate the Effects of Event-Driven Process Chains on Process Model Comprehension“. In: *International Conference on Business Process Management. Springer. (2017)*, S. 446–459.
- [43] Michael Zimoch u. a. „Utilizing the Capabilities Offered by Eye-Tracking to Foster Novices' Comprehension of Business Process Models“. In: *International Conference on Cognitive Computing. Springer. (2018)*, S. 155–163.
- [44] Fred Davis and. „Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology“. In: *MIS Quarterly (1989)*, S. 319–340.



# Abbildungsverzeichnis

---

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Der BPM Lebenszyklus . . . . .                                  | 7  |
| 2.2  | Ein einfaches BPMN 2.0 Modell . . . . .                         | 15 |
| 2.3  | Bestellung einer Pizza im Restaurant . . . . .                  | 15 |
| 2.4  | Kreditaufnahme bei einer Bank . . . . .                         | 16 |
| 2.5  | Workflow-Netz mit Livelock . . . . .                            | 19 |
| 2.6  | Prozessmodell mit nicht zufrieden stellendem Layout . . . . .   | 20 |
| 2.7  | Grundgerüst der GoM . . . . .                                   | 21 |
| 2.8  | Prozessmodell vor Anwendung der 7PMG . . . . .                  | 27 |
| 2.9  | Prozessmodell vor Anwendung der 7PMG mit Markierungen . . . . . | 28 |
| 2.10 | Prozessmodell nach Anwendung der 7PMG . . . . .                 | 29 |
| 2.11 | Ein nicht ideales BPMN 2.0 Modell . . . . .                     | 30 |
| 3.1  | Aufbau des menschlichen Auges . . . . .                         | 31 |
| 3.2  | Pupil Labs Core Eye-Tracking-Brille . . . . .                   | 35 |
| 3.3  | Visualisierungsmethoden in Pupil Labs . . . . .                 | 36 |
| 3.4  | Der Pupillenerkennungsalgorithmus . . . . .                     | 37 |
| 4.1  | Scan Path - Anfänger vs. Experte . . . . .                      | 40 |
| 4.2  | Faktoren zum Verständnis von Prozessmodellen . . . . .          | 42 |
| 5.1  | Ablauf der Studie . . . . .                                     | 49 |
| 5.2  | Aufbau des Arbeitsplatzes . . . . .                             | 49 |
| 5.3  | Abhängige Variablen . . . . .                                   | 51 |

## *Abbildungsverzeichnis*

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| B.1 | Level of Acceptability Likert-Skala . . . . . | 95 |
| B.2 | Cognitive Load Likert-Skala . . . . .         | 95 |
| B.3 | Ranking-Aufgabe . . . . .                     | 96 |

# Tabellenverzeichnis

---

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Übersicht der 7PMG . . . . .                                    | 22 |
| 2.2  | Priorisierung der 7PMG . . . . .                                | 24 |
| 5.1  | Zuordnung der Prozessmodell IDs . . . . .                       | 45 |
| 5.2  | Anzahl der Elemente pro Modell . . . . .                        | 45 |
| 6.1  | Vergleich der beiden Treatment Gruppen . . . . .                | 52 |
| 6.2  | Mittelwerte Performance . . . . .                               | 53 |
| 6.3  | Mittelwerte Level of Acceptability und Cognitive Load . . . . . | 53 |
| 6.4  | Ergebnisse Hypothesentest ANOVA . . . . .                       | 57 |
| 6.5  | T-Test Ergebnisse Experte vs. Novize (I) . . . . .              | 58 |
| 6.6  | T-Test Ergebnisse Experte vs. Novize (II) . . . . .             | 59 |
| 6.7  | T-Test Ergebnisse Männlich vs. Weiblich (I) . . . . .           | 60 |
| 6.8  | T-Test Ergebnisse Männlich vs. Weiblich (II) . . . . .          | 61 |
| 6.9  | Ranking Gruppe ohne 7PMG . . . . .                              | 65 |
| 6.10 | Ranking Gruppe mit 7PMG . . . . .                               | 65 |
| 6.11 | Ranking aller Teilnehmer . . . . .                              | 65 |

# Listings

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Eine (fehlerhafte) Lösung des Philosophenproblems . . . . . | 18 |
|-----|---|----|

# Prozessmodelle

---



Auf den nächsten Seiten befinden sich die Prozessmodelle, die für den Praxisteil in dieser Arbeit verwendet wurden.

Weitere Informationen zu den verwendeten Prozessmodellen:

- Prozessmodell „Bestellvorgang eines Tesla Model X“: eigene Darstellung in Anlehnung an [35]
- Prozessmodell „Planung eines Kundenabends der Daimler AG“: eigene Darstellung in Anlehnung an [10]
- Prozessmodell „Rekrutierungsvorgang bei der Armee“: eigene Darstellung in Anlehnung an [11]
- Alle hier gezeigten Prozessmodelle wurden mit der Business Process Management - Software Signavio [29] erstellt.

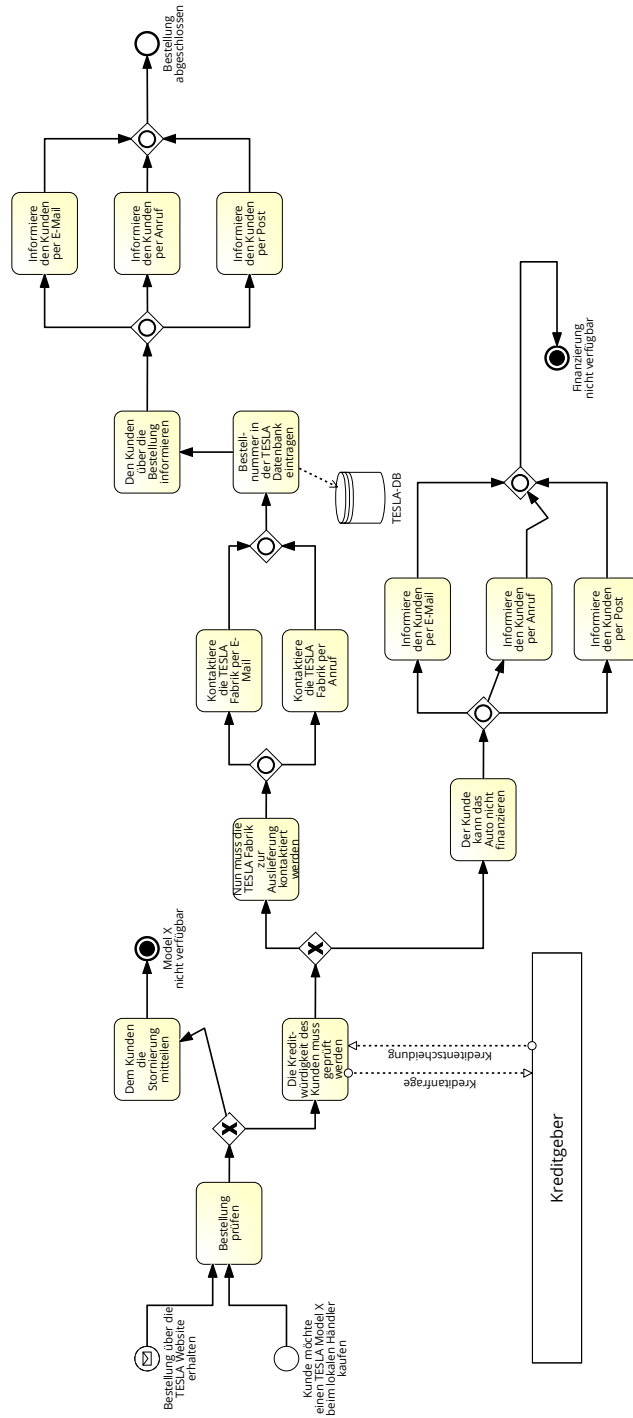


Abbildung A.1: Bestellvorgang eines Tesla Model X (vor Anwendung der 7PMG)

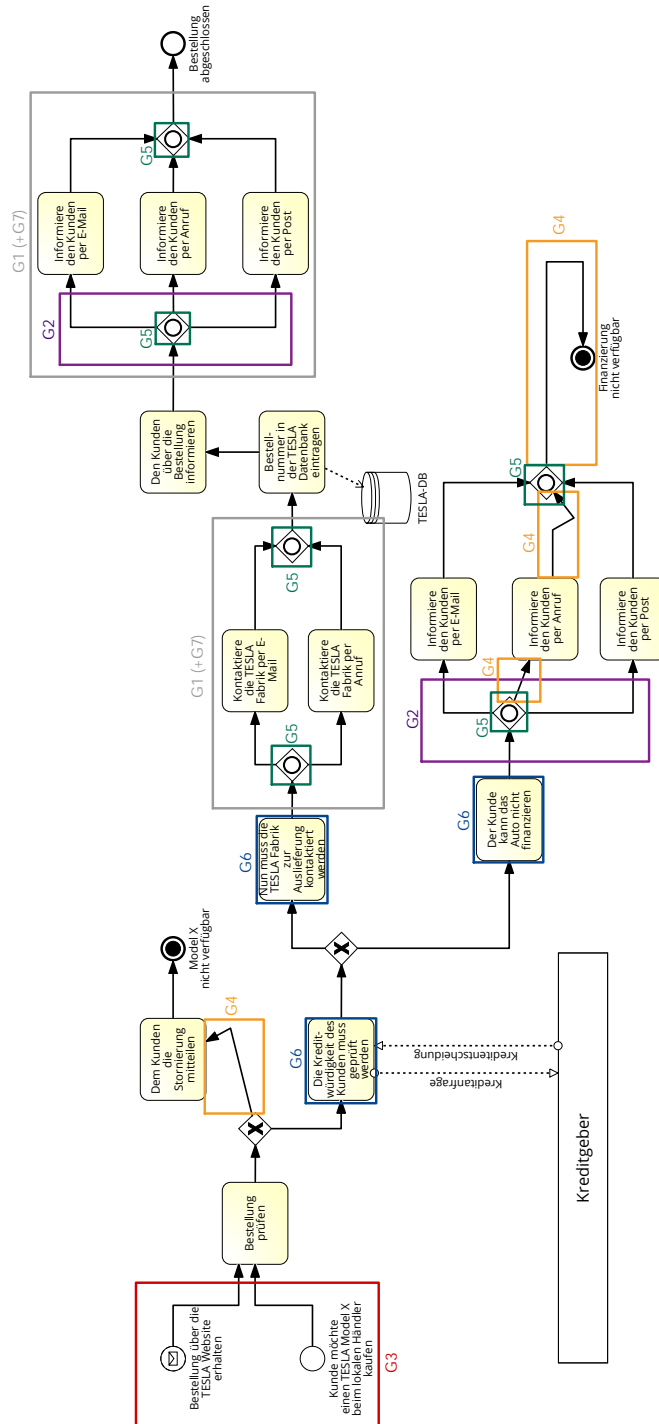


Abbildung A.2: Bestellvorgang eines Tesla Model X (mit 7PMG-Markierungen)

# A Prozessmodelle

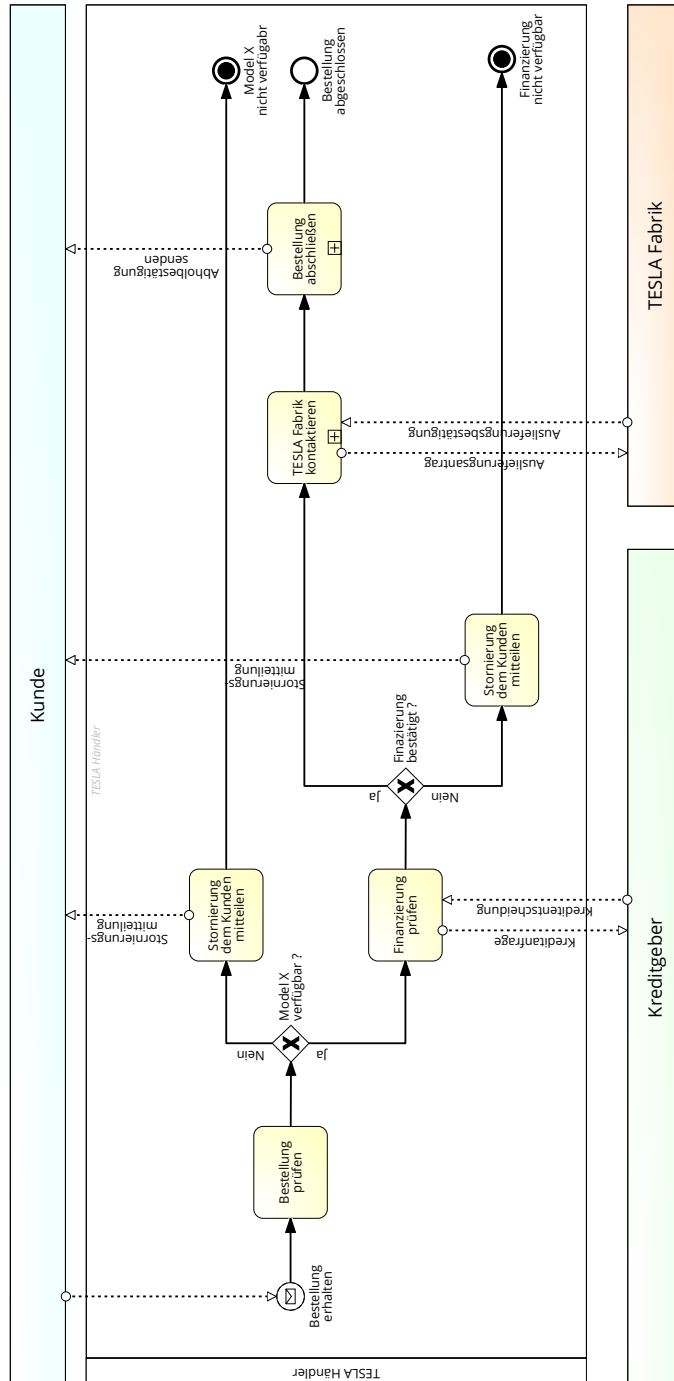


Abbildung A.3: Bestellvorgang eines Tesla Model X (nach Anwendung der 7PMG)



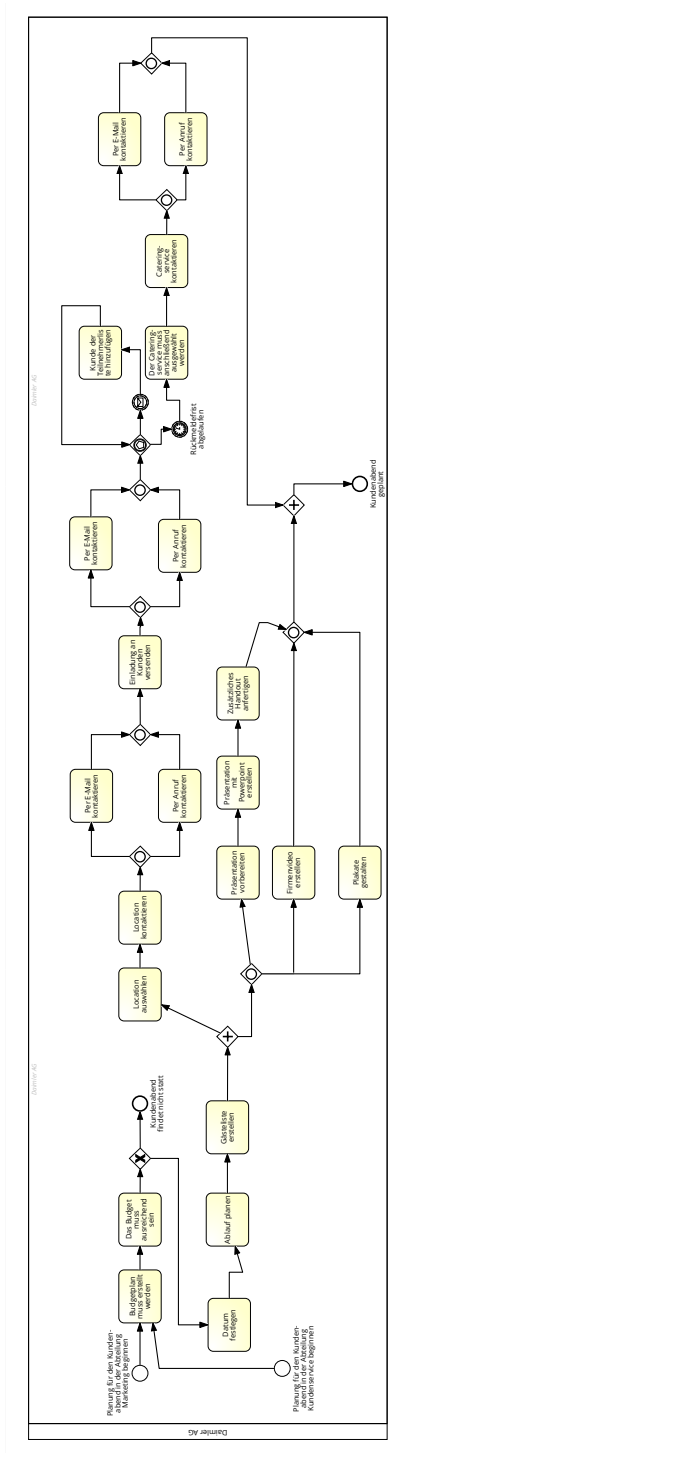


Abbildung A.4: Planung eines Kundenabends der Daimler AG (vor Anwendung der 7PMG) 83

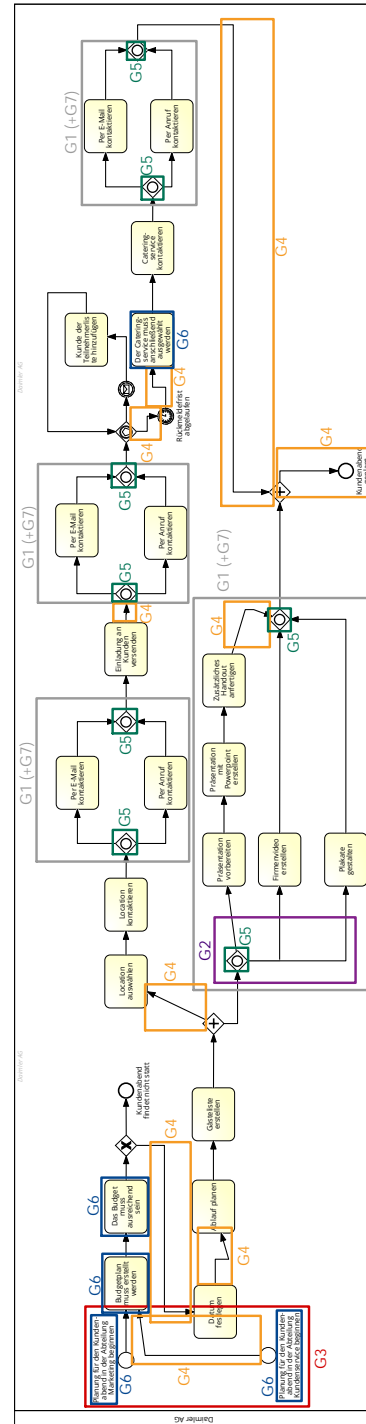


Abbildung A.5: Planung eines Kundenabends der Daimler AG (mit 7PMG-Markierungen)

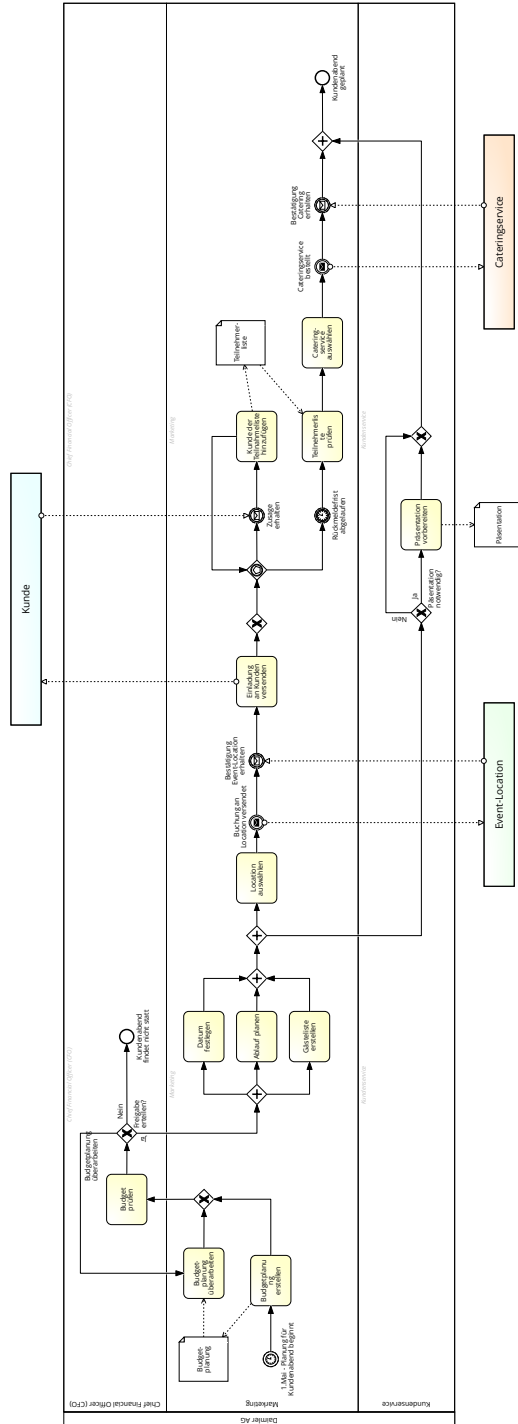


Abbildung A.6: Planung eines Kundenabends der Daimler AG (nach Anwendung der 7PMG)

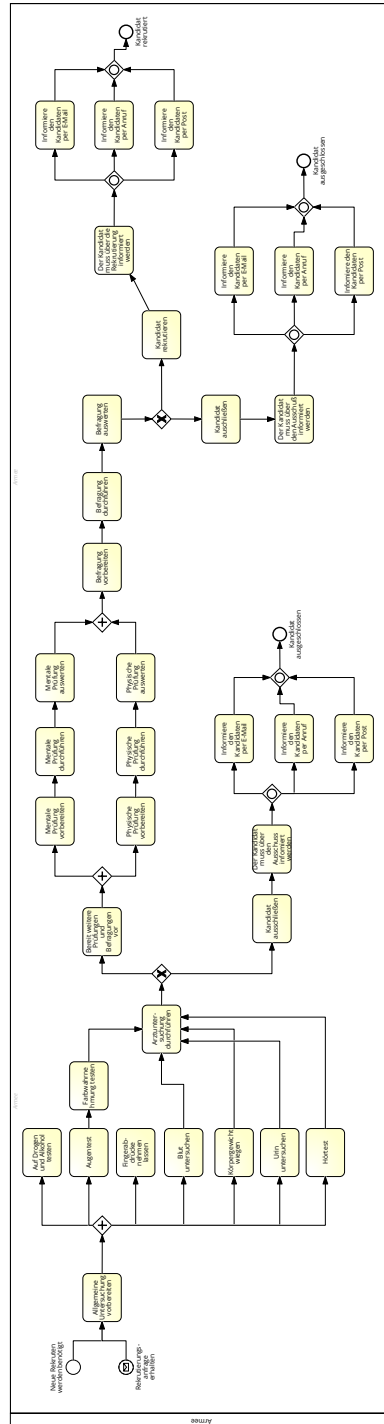


Abbildung A.7: Rekrutierungsvorgang bei der Armee (vor Anwendung der 7PMG)

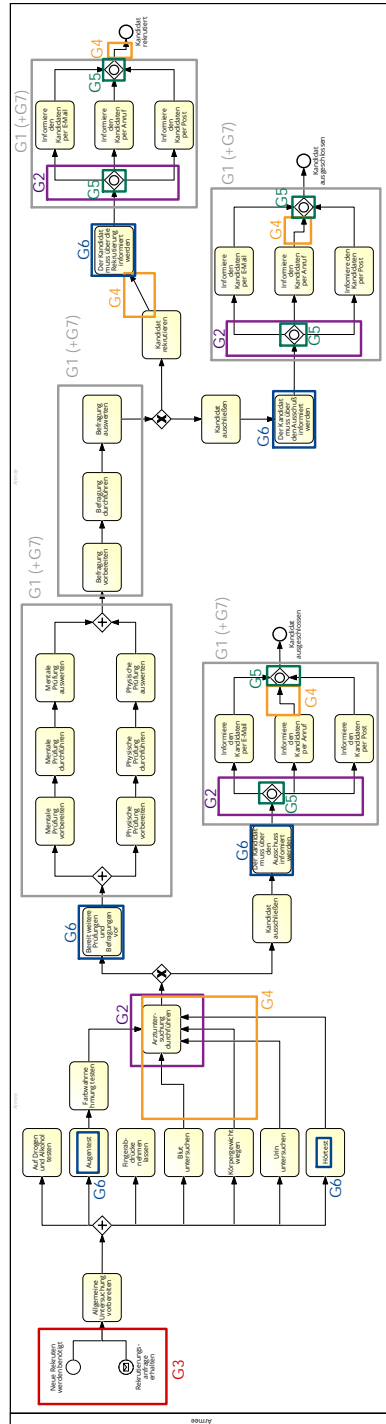


Abbildung A.8: Rekrutierungsvorgang bei der Armee (mit 7PMG-Markierungen)

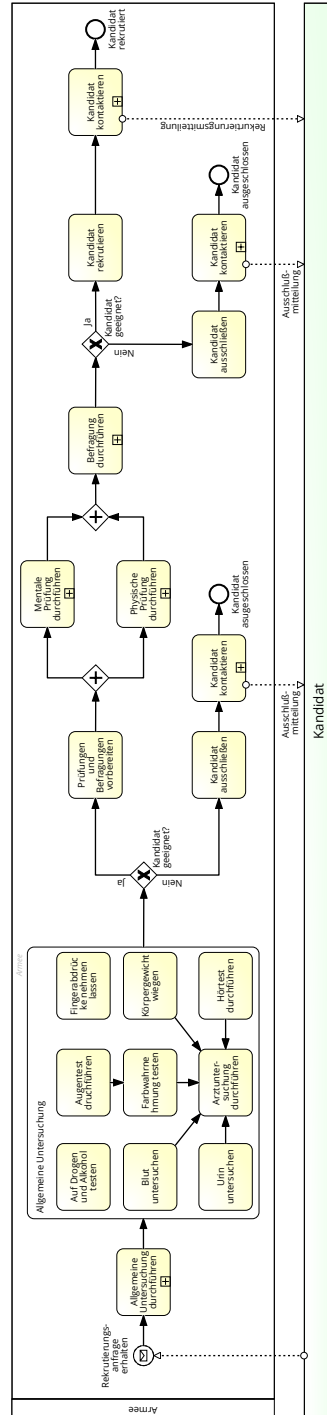


Abbildung A.9: Rekrutierungsvorgang bei der Armee (nach Anwendung der 7PMG)

# Fragebögen

---



In dieser Studie mussten die Teilnehmer zu Beginn einen persönlichen Code generieren und einen demografischen Fragebogen ausfüllen. Nach jedem Modell mussten sie Fragen beantworten deren mit Hilfe man das Level of Acceptability und den Cognitive Load messen konnte. Zum Schluss mussten sie noch ein Ranking der 7PMG nach Nützlichkeit durchführen. Die genannten Materialien sind im vorliegenden Anhang vorzufinden.



## Persönlicher Code

Um die erhobenen Daten zu anonymisieren, verwenden wir für den weiteren Verlauf der Studie einen Code. Erstellen Sie diesen Code nach dem folgenden Muster:

1. Zweite Ziffer des Tages Ihres Geburtsdatums
2. Erster Buchstabe Ihres Vornamens
3. Zweite Ziffer Ihres Alters
4. Letzter Buchstabe Ihres Familiennamens
5. Letzte Ziffer Ihres Geburtsjahres
6. Letzter Buchstabe des Vornamens
7. Erste Ziffer des Monats Ihres Geburtsdatums
8. Erster Buchstabe des Familiennamens
9. Berechnen Sie die Prüfsumme aller Ziffern

**Beispiel:** Der in diesem Beispiel generierte Code lautet **9J9c8n0P26**.

Name: John Public  
Alter: 29  
Geburtstag: 19.05.1988

- |  |         |      |
|--|---------|------|
| 1. Zweite Ziffer des Tages Ihres Geburtsdatums | 19      | → 9  |
| 2. Erster Buchstabe Ihres Vornamens            | John    | → J  |
| 3. Zweite Ziffer Ihres Alters                  | 29      | → 9  |
| 4. Letzter Buchstabe Ihres Familiennamens      | Public  | → c  |
| 5. Letzte Ziffer Ihres Geburtsjahres           | 1988    | → 8  |
| 6. Letzter Buchstabe des Vornamens             | John    | → n  |
| 7. Erste Ziffer des Monats Ihres Geburtsdatums | 05      | → 0  |
| 8. Erster Buchstabe des Familiennamens         | Public  | → P  |
| 9. Berechnen Sie die Prüfsumme aller Ziffern   | 9+9+8+0 | → 26 |

Ihr persönlicher Code: \_\_\_\_\_





## Eye Tracking Studie - Fragebogen

Hallo liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer, herzlich willkommen und vielen Dank für Ihr Interesse an dieser Studie.

Unternehmen haben viele Möglichkeiten, ihre internen Prozessabläufe darzustellen. Wichtig dabei ist immer die detaillierte Angabe aller Aktivitäten und beteiligten Personen, die Bestandteil der einzelnen Prozesse sind. Diese Darstellung wird Prozessmodellierung genannt. Bei der Prozessmodellierung wird das „Was“, „Wer“ und „Wie“ der Prozessaktivitäten beschrieben. Die Basis jeder Prozessmodellierung sind immer die vorhandenen Geschäftsprozesse. Anhand verschiedenster Prozessmodellierungsformen können die Geschäftsprozesse grafisch dargestellt werden.

In dieser Studie interessieren wir uns für Ihre individuelle Einschätzung von Prozessmodellen. Die Daten werden anonym erfasst und nur für wissenschaftliche Forschungszwecke ausgewertet.

Bitte beantworten Sie die Fragen auf den folgenden Seiten.

## B Fragebögen

---

1. Geben Sie ihr Geschlecht an:

- weiblich
- männlich
- divers
- keine Angabe

2. Geben Sie ihr Geburtsjahr an:

---

3. Geben Sie Ihren höchsten Bildungsabschluss an:

- Ohne Abschluss
- Hauptschulabschluss oder Volkshochschulabschluss
- Realschulabschluss (Mittlere Reife)
- Fachhochschulreife
- Hochschulreife (Abitur)
- Fachhochschulabschluss
- Bachelor Hochschulabschluss
- Master Hochschulabschluss
- Sonstiger Abschluss, und zwar \_\_\_\_\_

## B Fragebögen

---

4. Wie hoch ist Ihre aktuelle Anzahl an Ausbildungsjahren (inkl. Grundschule)?  
\_\_\_\_\_
5. Welche berufliche Ausbildung trifft am ehesten auf Sie zu?
- Auszubildende(r) / Student(in)
  - Abgeschlossene Berufsausbildung
  - Abgeschlossene Ausbildung an einer Meister- oder Technikerschule
  - Akademiker(in)
  - Sonstiges, und zwar \_\_\_\_\_
6. Falls Sie studieren (oder studiert haben), geben Sie bitte Ihren Studiengang an:  
\_\_\_\_\_
7. Haben Sie bereits Erfahrung mit Prozessmodellen bzw. Prozessmodellierung?
- Ja
  - Nein
8. Vor wie vielen Jahren haben Sie mit der Prozessmodellierung begonnen?  
\_\_\_\_\_
9. Wie viele Prozessmodelle haben Sie innerhalb der letzten 12 Monate gelesen?  
\_\_\_\_\_
10. Wie viele Prozessmodelle haben Sie innerhalb der letzten 12 Monate erstellt?  
\_\_\_\_\_
11. Wie viele Aktivitäten hatten diese Modelle im Durchschnitt?  
\_\_\_\_\_

## B Fragebögen

---

12. Wie viele Tage formale Ausbildung zum Thema „Prozessmodellierung“ haben Sie in den letzten 12 Monaten erhalten?

Beispiel: Eine Vorlesung mit 2 Stunden / Woche ergibt ca. 8 Stunden Ausbildung pro Monat. Das entspricht einem Arbeitstag pro Monat. Eine Vorlesung inkl. Übungen ergibt folglich 2 Arbeitstage pro Monat.

---

13. Wie viele Tage haben Sie in den letzten 12 Monaten mit dem Selbststudium zum Thema „Prozessmodellierung“ verbracht? Beachten Sie die gleiche Beispielsrechnung wie vorher.

---

14. Bitte kreuzen Sie an, welche Notation zur Prozessmodellierung haben Sie während Ihrer Ausbildung/Studium als erstes gelernt?

- BPMN
- EPK
- Petri-Netz
- Deklarativ
- Flow Chart
- UML Aktivitätsdiagramm
- eGantt
- IDEF 3
- Andere

15. Mit welcher der in Frage 14 angegebenen Notationen zur Prozessmodellierung haben Sie bisher die meiste Zeit verbracht?

---

### Level of Acceptability

#### PUU

- |   |
|---|
| 1. Das gezeigte Prozessmodell war verständlich.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig  |
| 2. Auf diese Weise repräsentierte Prozessmodelle wären für die Nutzer schwer zu verstehen.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig |
| 3. Insgesamt erachten Sie das Prozessmodell als nützlich.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig                                  |

#### PEU

- |   |
|---|
| 4. Diese Art der Modellierung von Prozessmodellen zu erlernen, wäre für Sie einfach.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig |
| 5. Sie halten die Darstellung des Prozessmodells für unklar und schwer verständlich.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig |

Abbildung B.1: Level of Acceptability Likert-Skala

### Cognitive Load

#### ICL

- |  |
|--|
| 1. Bei diesem Prozessmodell musste man viele Dinge gleichzeitig im Kopf bearbeiten.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig |
| 2. Das Prozessmodell waren sehr komplex.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig  |

#### ECL

- |   |
|---|
| 3. Sie haben sich anstrengen müssen, den Gesamtzusammenhang zu verstehen.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig            |
| 4. Bei diesem Prozessmodell ist es müsam, die wichtigsten Informationen zu erkennen.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig |
| 5. Sie haben sich anstrengen müssen, das Prozessmodell zu verstehen.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig                 |

#### GCL

- |  |
|--|
| 6. Die Darstellung des Prozessmodells ist ungünstig, um wirklich etwas zu verstehen.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig                |
| 7. Bei dem Prozessmodell ist es schwer, die zentralen Inhalte miteinander in Verbindung zu bringen.<br>stimmt absolut nicht <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> — <input type="checkbox"/> stimmt völlig |

Abbildung B.2: Cognitive Load Likert-Skala

**Erstellen Sie bitte ein Ranking für die Seven Process Modeling Guidelines nach Nützlichkeit von 1-7. Dabei steht die 1 für die Guideline, die am nützlichsten ist.**

| <b>Guideline</b>                                   | <b>Ranking</b> |
|--|----------------|
| G1 Benutze so wenig Elemente wie möglich           |                |
| G2 Minimiere die Routingpfade pro Element          |                |
| G3 Verwende jeweils nur ein Start- und Endereignis |                |
| G4 Modelliere so strukturiert wie möglich          |                |
| G5 Vermeide OR-Gateways                            |                |
| G6 Verwende Verb-Objekt-Aktivitätsbezeichnungen    |                |
| G7 Zerlege ein Modell mit mehr als 50 Elementen    |                |

Abbildung B.3: Ranking-Aufgabe

# HeatMaps



---

In diesem Kapitel sind die HeatMaps dargestellt, die sich aus der Analyse der Eye Tracking Daten ergeben haben. Dabei ist für jeden Teilnehmer sowohl die HeatMap für das Prozessmodell 1, 2 und 3 dargestellt.

# HeatMap in Jupyter Notebook

January 24, 2022

```
[1]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

cover_img = plt.imread('./Tesla_Gut.png')
```

```
[2]: import os
import pandas as pd
from pathlib import Path

surface_gaze_export = './recordings/2022_01_20/015/exports/000/surfaces/
→gaze_positions_on_surface_Tesla.csv'

surface_df = pd.read_csv(surface_gaze_export)

print("Columns in surface data frame:")
list(surface_df.columns)
```

Columns in surface data frame:

```
[2]: ['world_timestamp',
'world_index',
'gaze_timestamp',
'x_norm',
'y_norm',
'x_scaled',
'y_scaled',
'on_surf',
'confidence']
```

```
[3]: gaze_on_surf = surface_df[surface_df.on_surf == True]
pd.options.display.float_format = '{:.3f}'.format

print("Sample gaze on Process Model:")
gaze_on_surf.head(5)
```

Sample gaze on Process Model:



```
[3]: world_timestamp world_index gaze_timestamp x_norm y_norm x_scaled \
0 476703.207 0 476702.969 0.176 0.565 0.176
1 476703.207 0 476702.985 0.178 0.568 0.178
2 476703.207 0 476702.993 0.172 0.580 0.172
3 476703.207 0 476703.001 0.171 0.581 0.171
4 476703.207 0 476703.013 0.170 0.584 0.170

y_scaled on_surf confidence
0 0.565 True 0.973
1 0.568 True 0.908
2 0.580 True 0.982
3 0.581 True 0.876
4 0.584 True 0.871
```

```
[4]: gaze_on_surf = surface_df[(surface_df.on_surf == True) & (surface_df.confidence_
-> 0.8)]
pd.options.display.float_format = '{:.3f}'.format

print("Sample gaze on Process Model:")
gaze_on_surf.head(5)
```

Sample gaze on Process Model :

```
[4]: world_timestamp world_index gaze_timestamp x_norm y_norm x_scaled \
0 476703.207 0 476702.969 0.176 0.565 0.176
1 476703.207 0 476702.985 0.178 0.568 0.178
2 476703.207 0 476702.993 0.172 0.580 0.172
3 476703.207 0 476703.001 0.171 0.581 0.171
4 476703.207 0 476703.013 0.170 0.584 0.170

y_scaled on_surf confidence
0 0.565 True 0.973
1 0.568 True 0.908
2 0.580 True 0.982
3 0.581 True 0.876
4 0.584 True 0.871
```

```
[5]: from scipy.ndimage.filters import gaussian_filter

grid = cover_img.shape[0:2] # height, width of the loaded image
heatmap_detail = 0.05 # this will determine the gaussian blur kernel of the
-> image (higher number = more blur)

gaze_on_surf_x = gaze_on_surf['x_norm']
gaze_on_surf_y = gaze_on_surf['y_norm']

# flip the fixation points
```

```

# from the original coordinate system,
# where the origin is at botton left,
# to the image coordinate system,
# where the origin is at top left
gaze_on_surf_y = 1 - gaze_on_surf_y

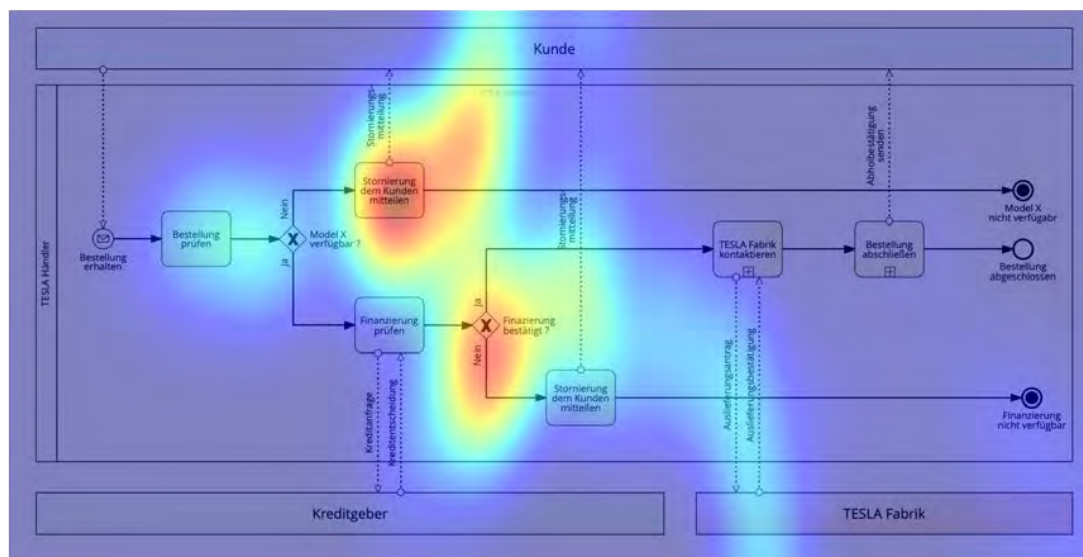
# make the histogram
hist, x_edges, y_edges = np.histogram2d(
    gaze_on_surf_y,
    gaze_on_surf_x,
    range=[[0, 1.0], [0, 1.0]],
    normed=False,
    bins=grid
)

# gaussian blur kernel as a function of grid/surface size
filter_h = int(heatmap_detail * grid[0]) // 2 * 2 + 1
filter_w = int(heatmap_detail * grid[1]) // 2 * 2 + 1
heatmap = gaussian_filter(hist, sigma=(filter_w, filter_h), order=0)

# display the histogram and reference image
print("Process Model with heatmap overlay")
plt.figure(figsize=(30, 30))
plt.imshow(cover_img)
plt.imshow(heatmap, cmap='jet', alpha=0.5)
plt.axis('off');

```

Process Model with heatmap overlay



## C HeatMaps



Abbildung C.1: HeatMap Teilnehmer 1 - Tesla (ohne 7PMG)

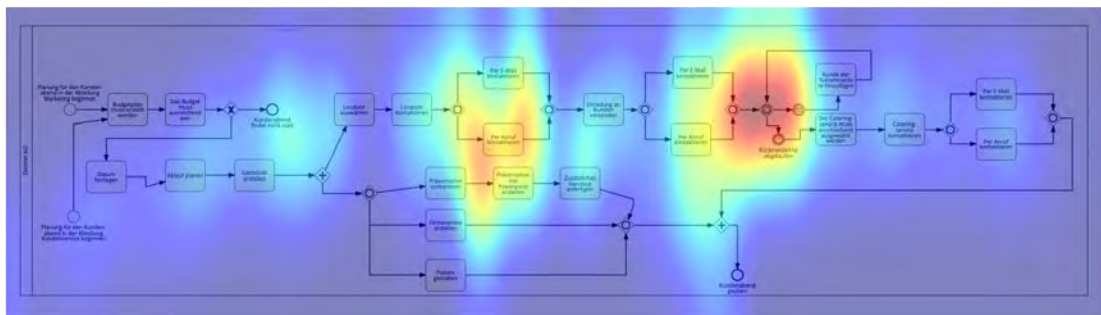


Abbildung C.2: HeatMap Teilnehmer 1 - Kundenabend (ohne 7PMG)

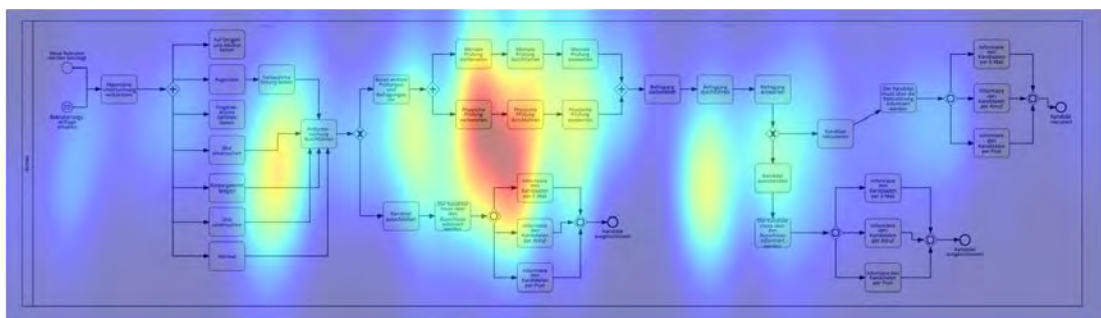


Abbildung C.3: HeatMap Teilnehmer 1 - Armee (ohne 7PMG)



## C HeatMaps

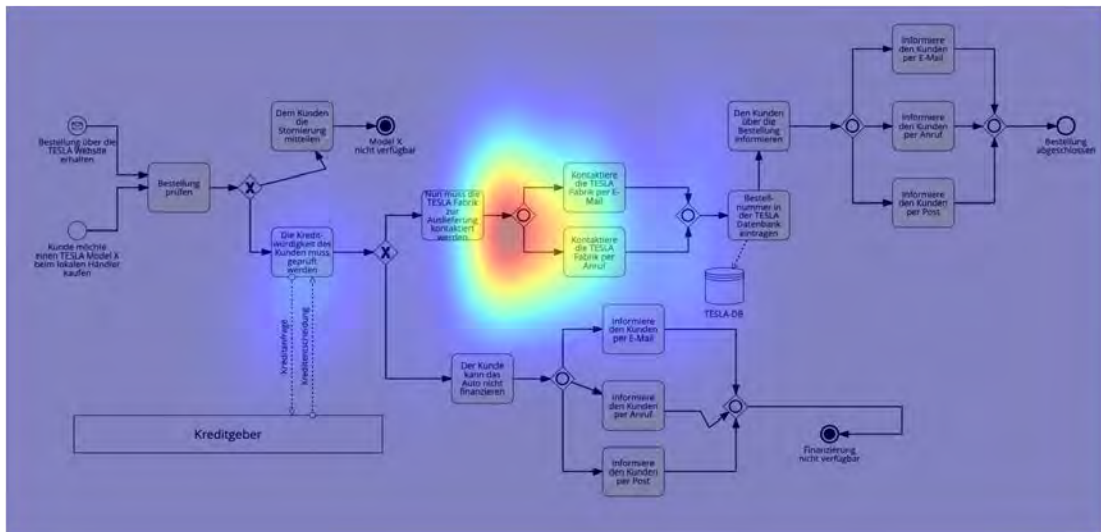


Abbildung C.7: HeatMap Teilnehmer 3 - Tesla (ohne 7PMG)

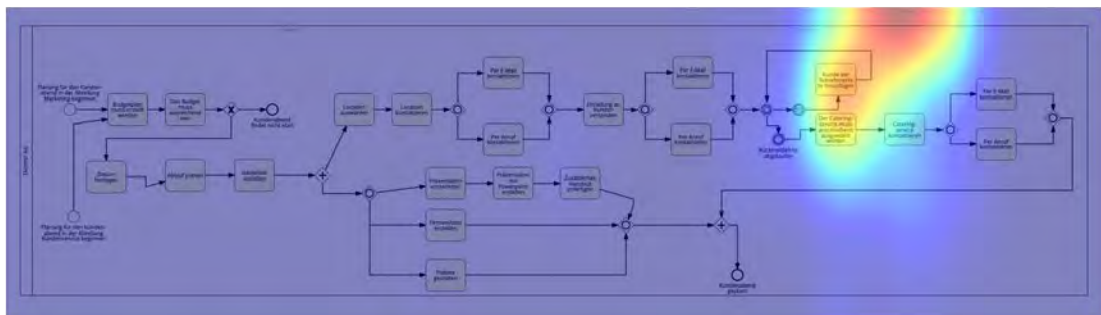


Abbildung C.8: HeatMap Teilnehmer 3 - Kundenabend (ohne 7PMG)

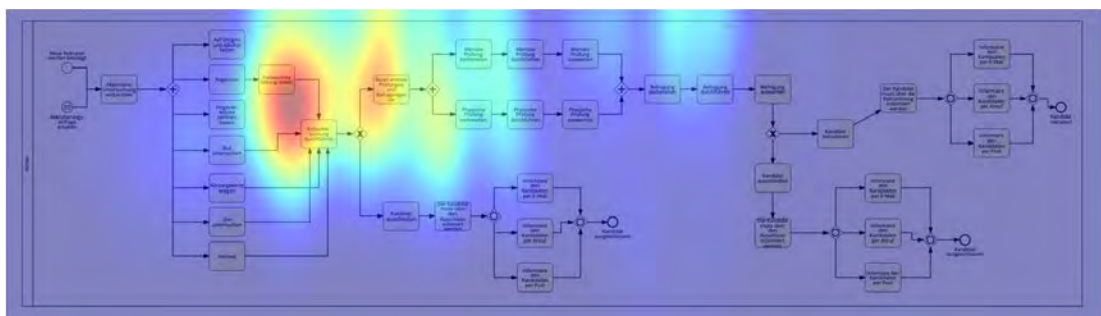


Abbildung C.9: HeatMap Teilnehmer 3 - Armee (ohne 7PMG)



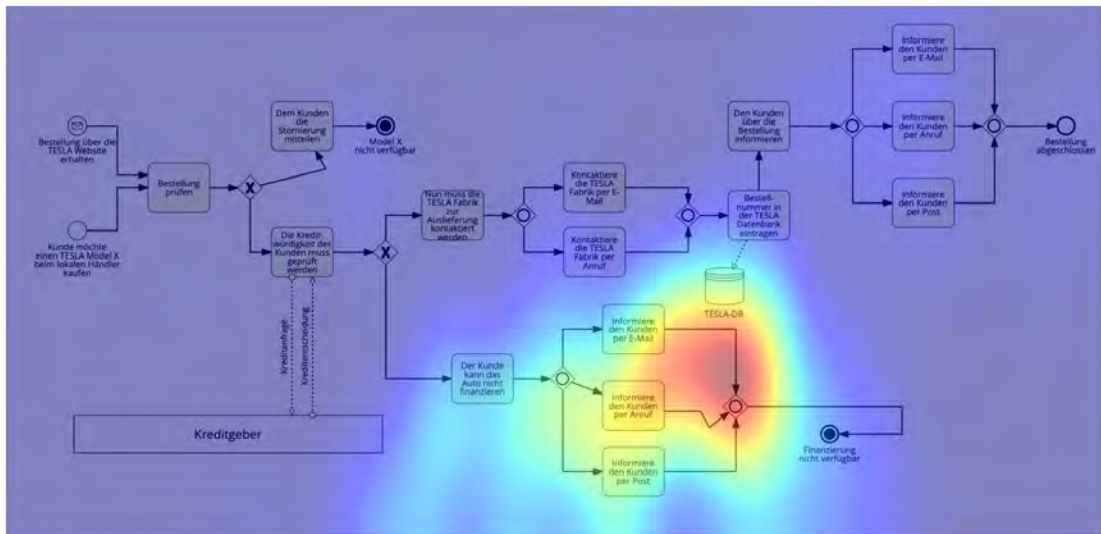


Abbildung C.13: HeatMap Teilnehmer 9 - Tesla (ohne 7PMG)

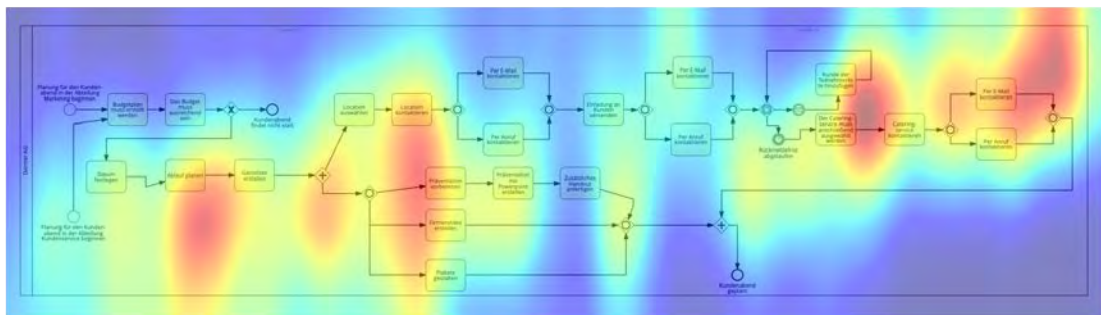


Abbildung C.14: HeatMap Teilnehmer 9 - Kundenabend (ohne 7PMG)

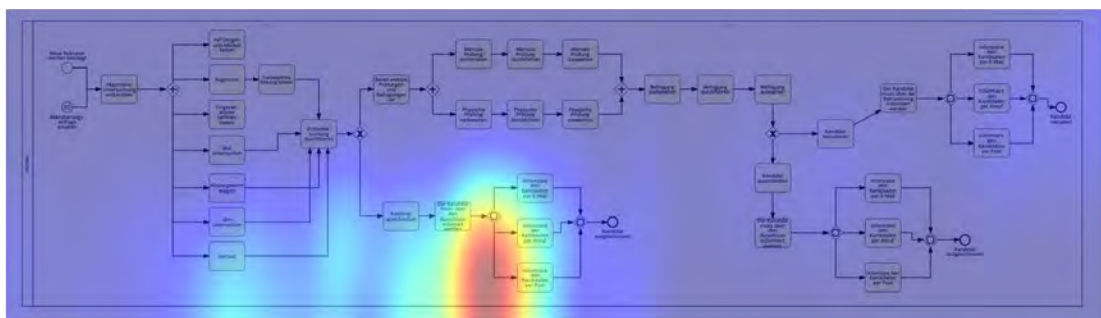


Abbildung C.15: HeatMap Teilnehmer 9 - Armee (ohne 7PMG)

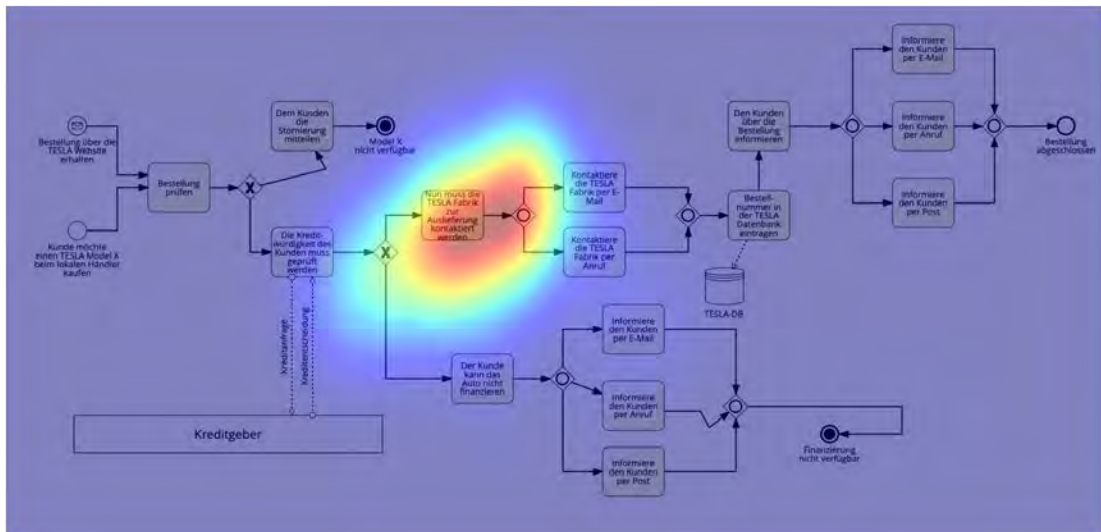


Abbildung C.16: HeatMap Teilnehmer 10 - Tesla (ohne 7PMG)

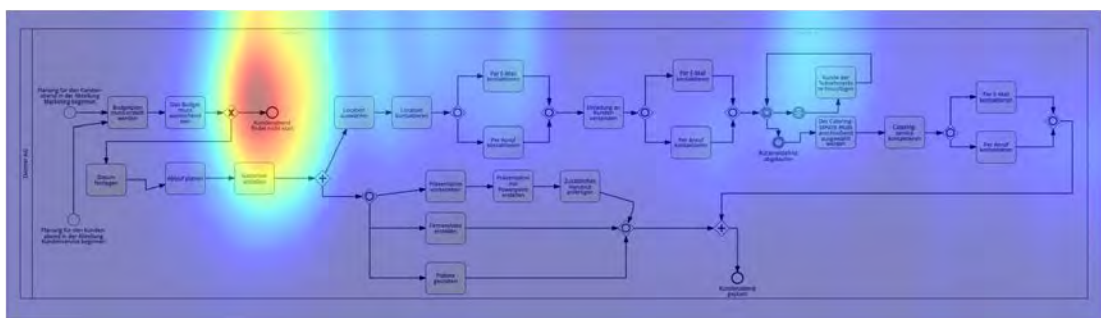


Abbildung C.17: HeatMap Teilnehmer 10 - Kundenabend (ohne 7PMG)

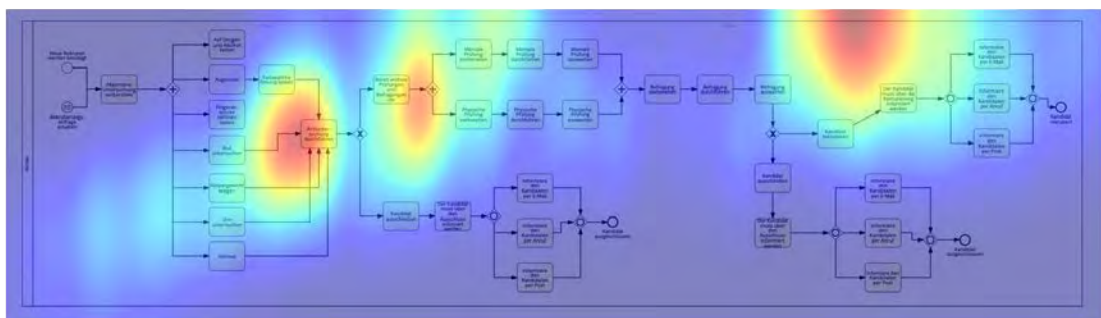


Abbildung C.18: HeatMap Teilnehmer 10 - Armee (ohne 7PMG)



## C HeatMaps

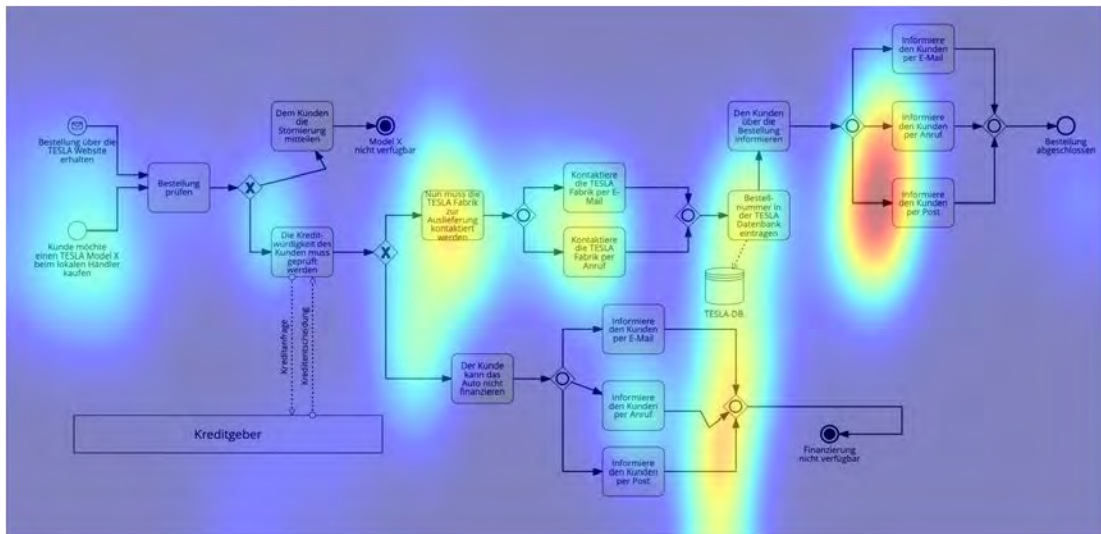


Abbildung C.19: HeatMap Teilnehmer 13 - Tesla (ohne 7PMG)

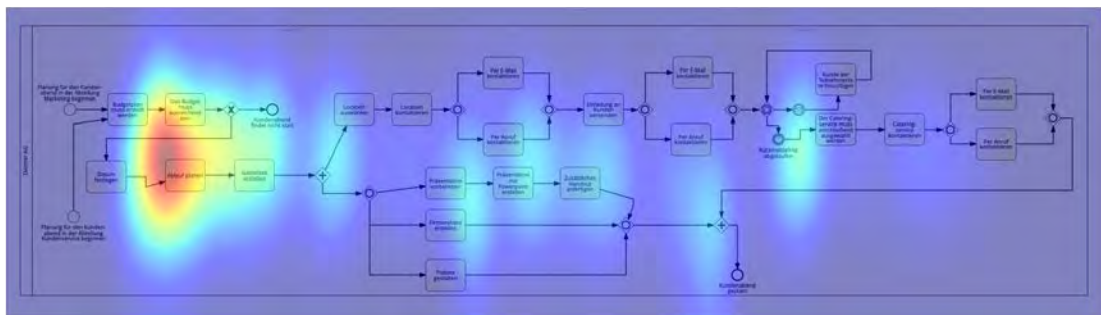


Abbildung C.20: HeatMap Teilnehmer 13 - Kundenabend (ohne 7PMG)

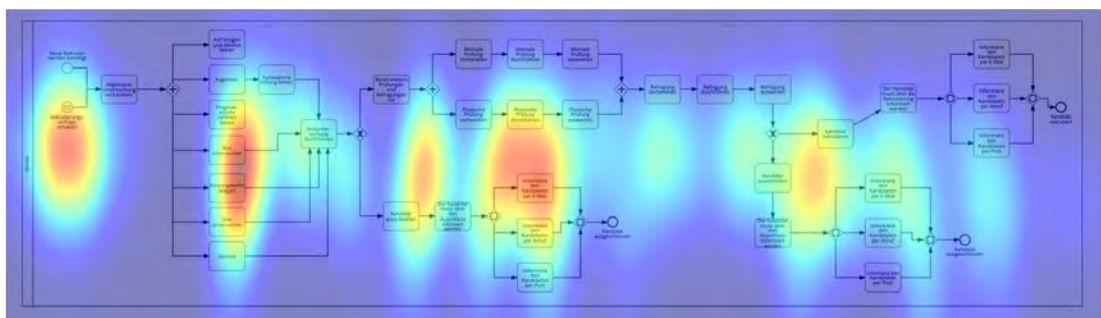


Abbildung C.21: HeatMap Teilnehmer 13 - Armee (ohne 7PMG)



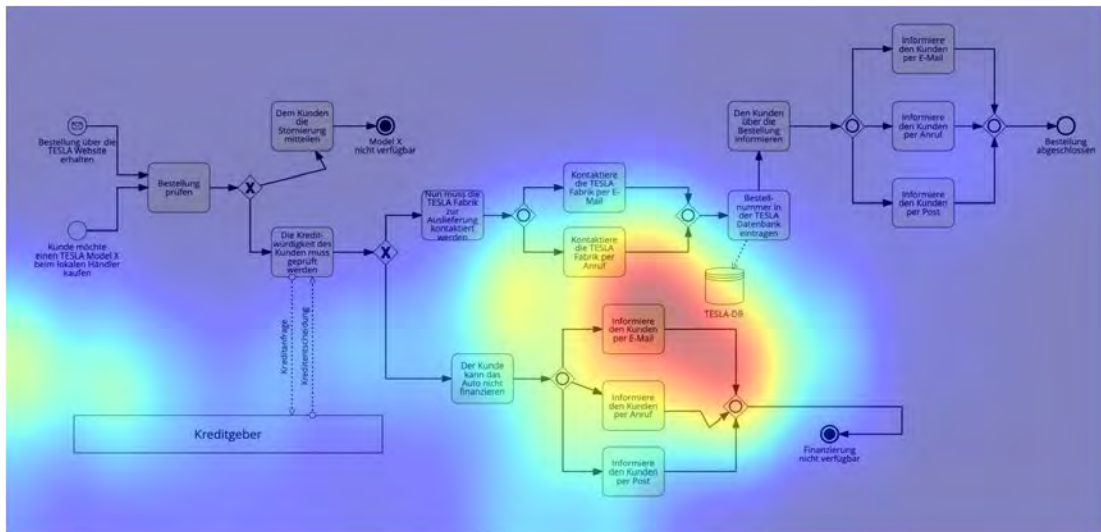


Abbildung C.25: HeatMap Teilnehmer 15 - Tesla (ohne 7PMG)

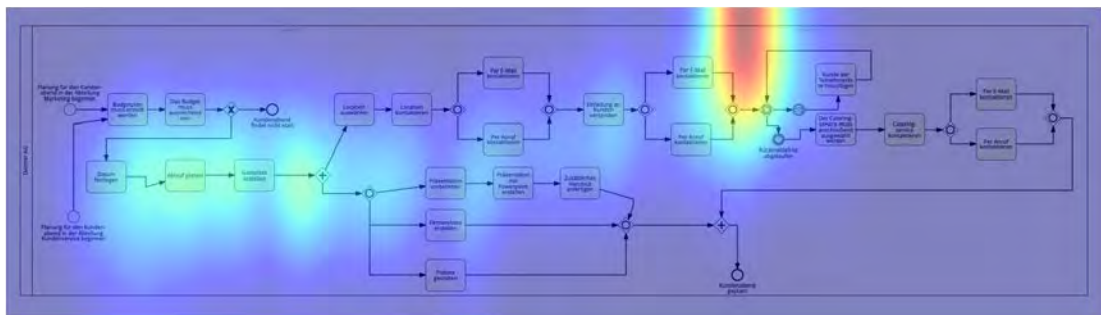


Abbildung C.26: HeatMap Teilnehmer 15 - Kundenabend (ohne 7PMG)

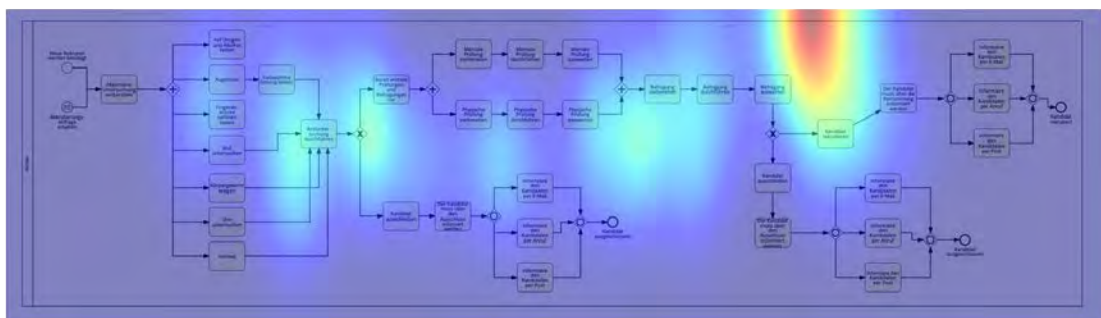


Abbildung C.27: HeatMap Teilnehmer 15 - Armee (ohne 7PMG)

## C HeatMaps

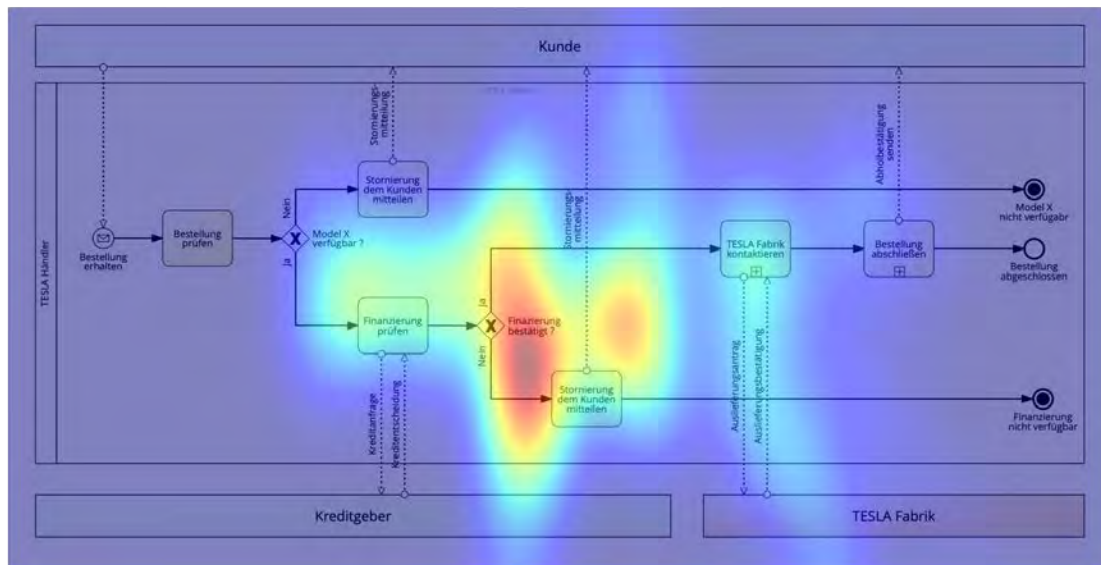


Abbildung C.28: HeatMap Teilnehmer 5 - Tesla (mit 7PMG)

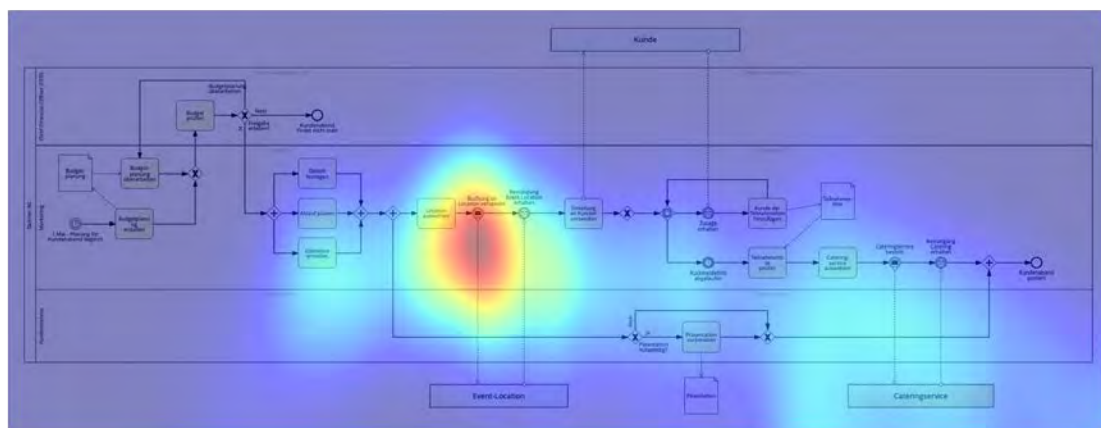


Abbildung C.29: HeatMap Teilnehmer 5 - Kundenabend (mit 7PMG)

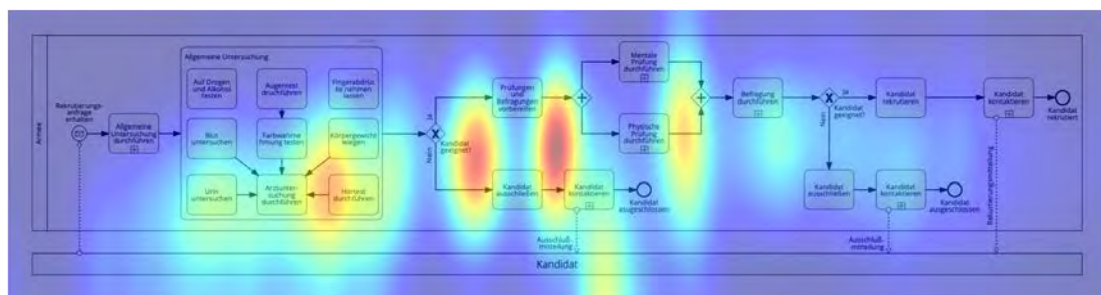


Abbildung C.30: HeatMap Teilnehmer 5 - Armee (mit 7PMG)

C HeatMaps

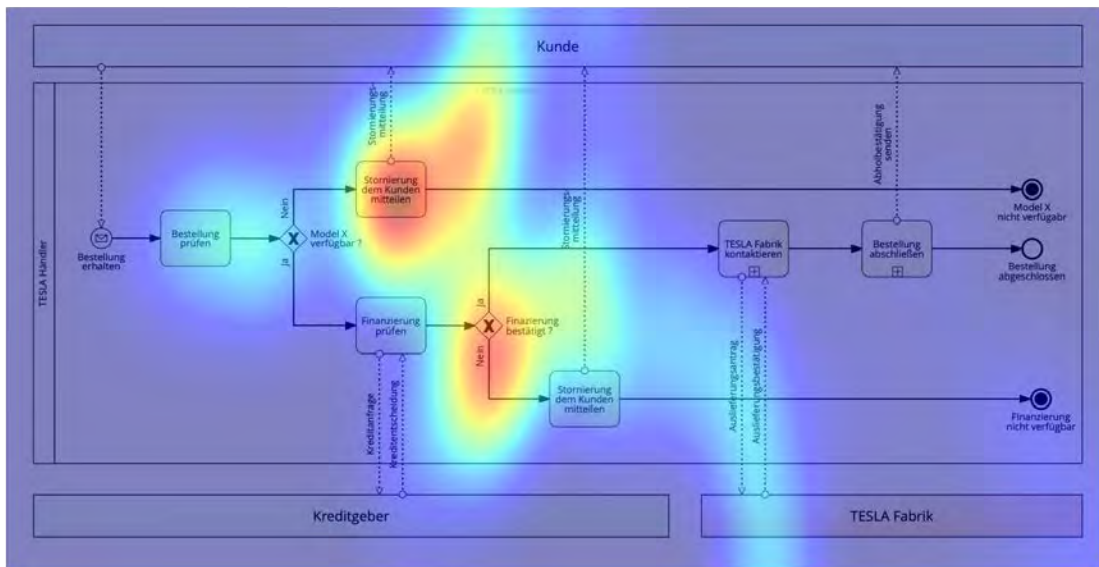


Abbildung C.31: HeatMap Teilnehmer 6 - Tesla (mit 7PMG)

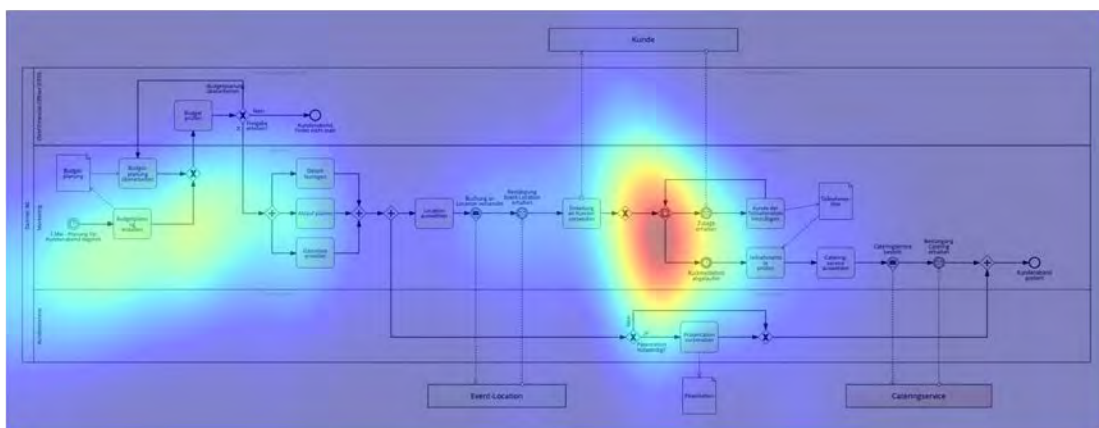


Abbildung C.32: HeatMap Teilnehmer 6 - Kundenabend (mit 7PMG)

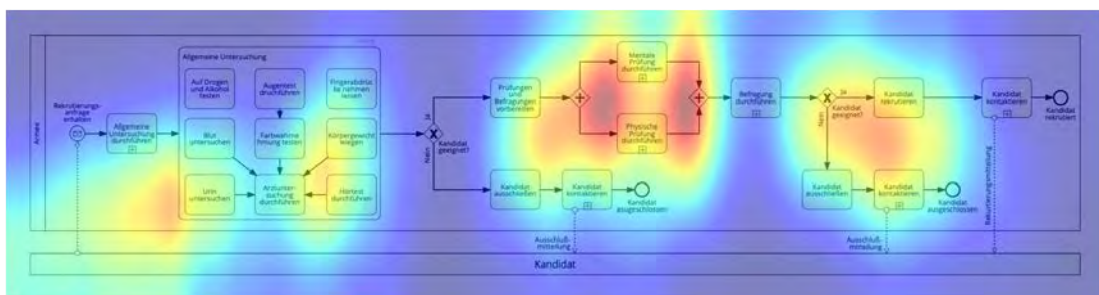


Abbildung C.33: HeatMap Teilnehmer 6 - Armee (mit 7PMG)

## C HeatMaps

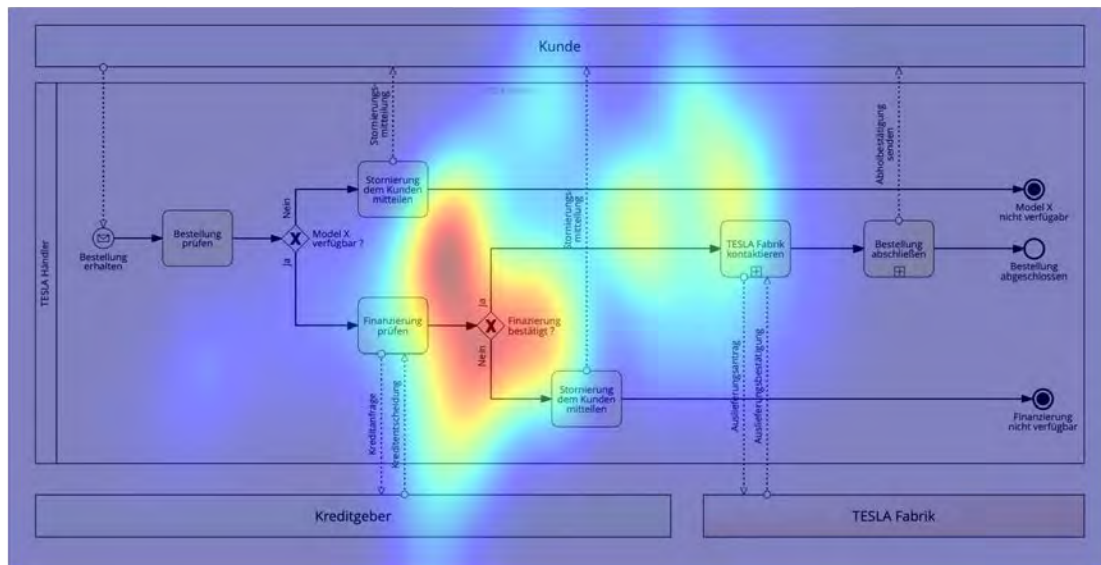


Abbildung C.34: HeatMap Teilnehmer 7 - Tesla (mit 7PMG)

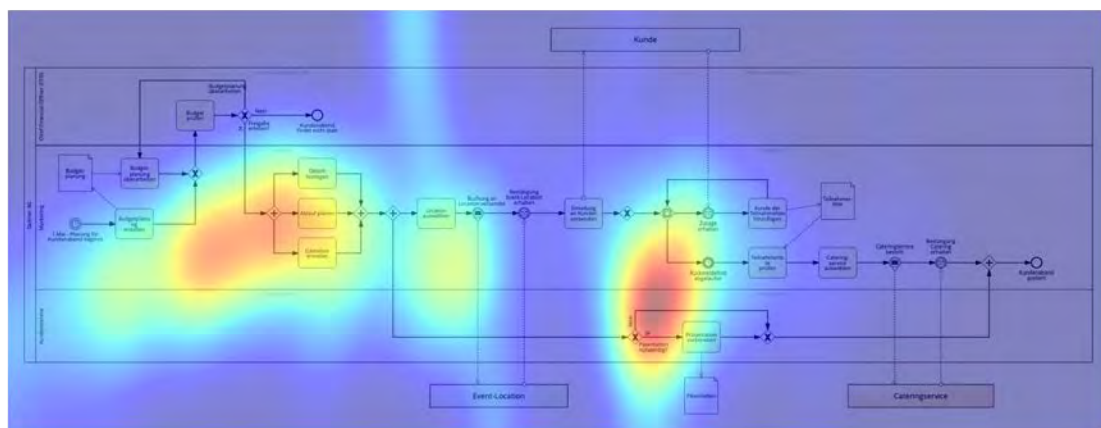


Abbildung C.35: HeatMap Teilnehmer 7 - Kundenabend (mit 7PMG)

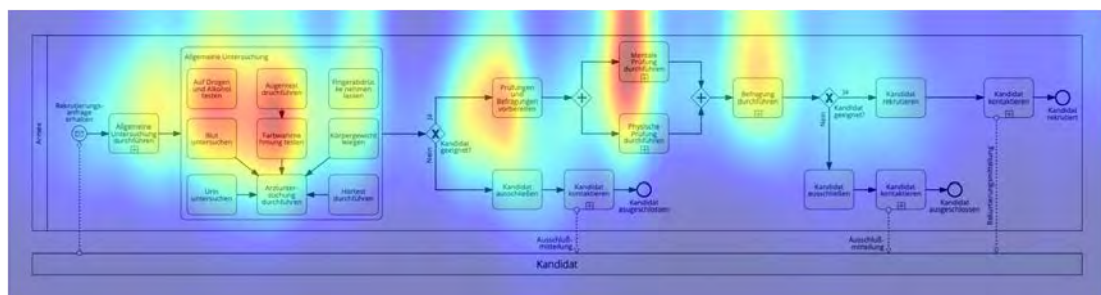


Abbildung C.36: HeatMap Teilnehmer 7 - Armee (mit 7PMG)

## C HeatMaps

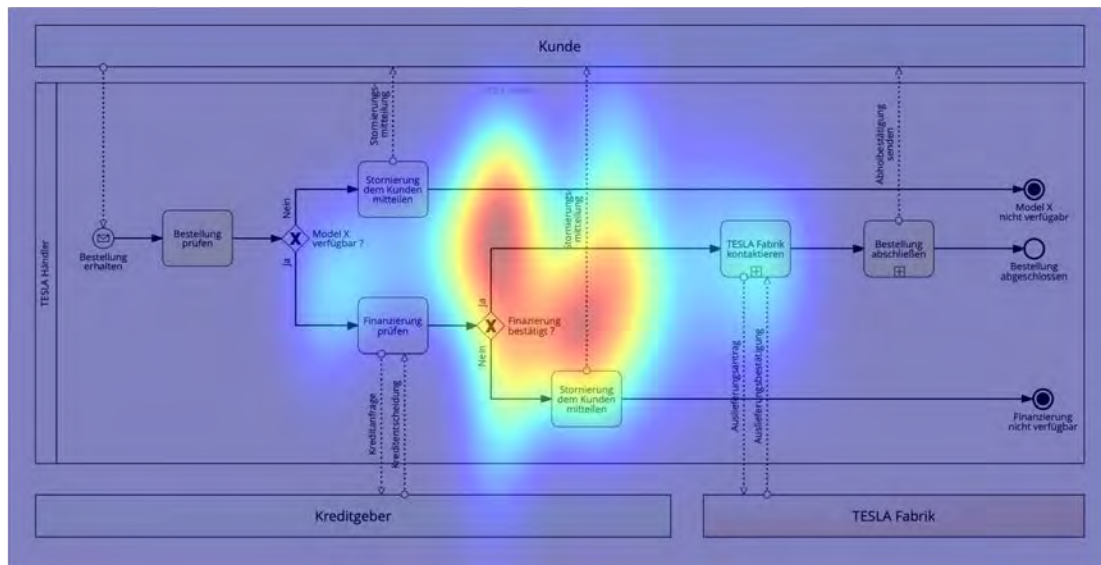


Abbildung C.37: HeatMap Teilnehmer 8 - Tesla (mit 7PMG)

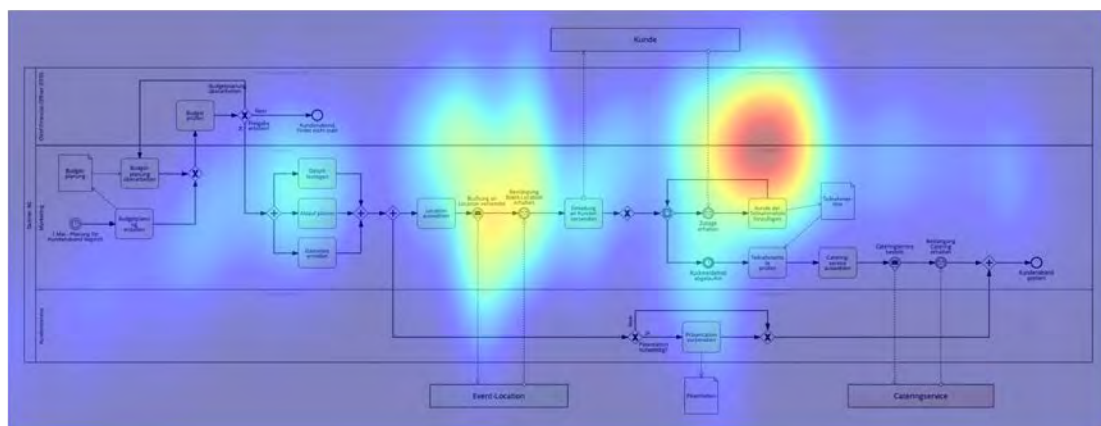


Abbildung C.38: HeatMap Teilnehmer 8 - Kundenabend (mit 7PMG)

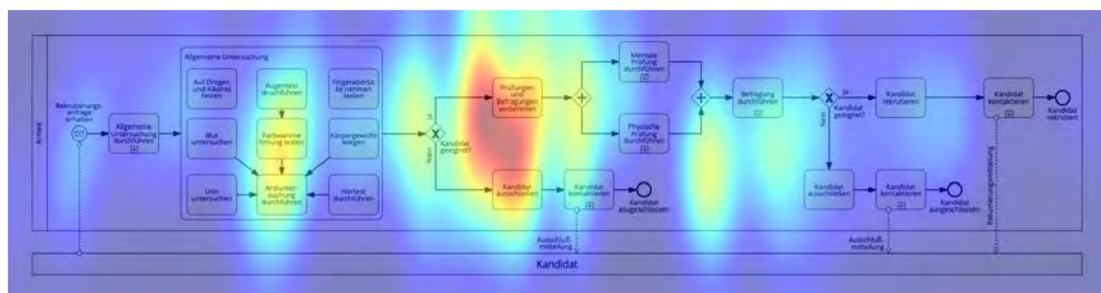


Abbildung C.39: HeatMap Teilnehmer 8 - Armee (mit 7PMG)

## C HeatMaps

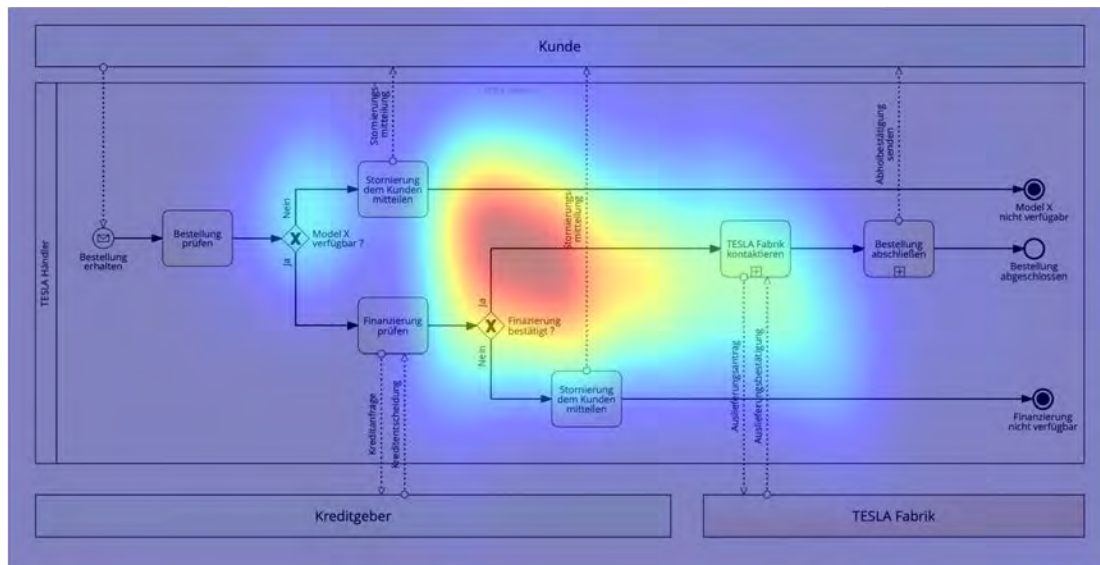


Abbildung C.40: HeatMap Teilnehmer 11 - Tesla (mit 7PMG)

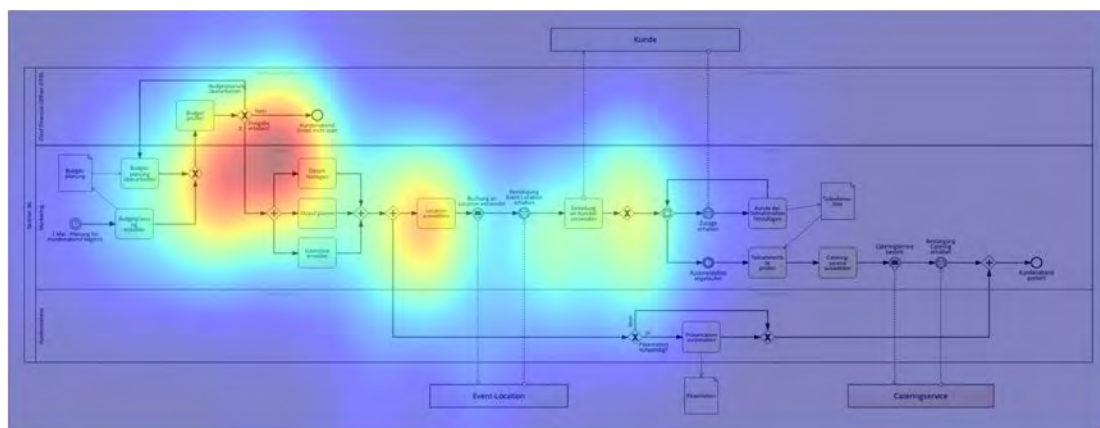


Abbildung C.41: HeatMap Teilnehmer 11 - Kundenabend (mit 7PMG)

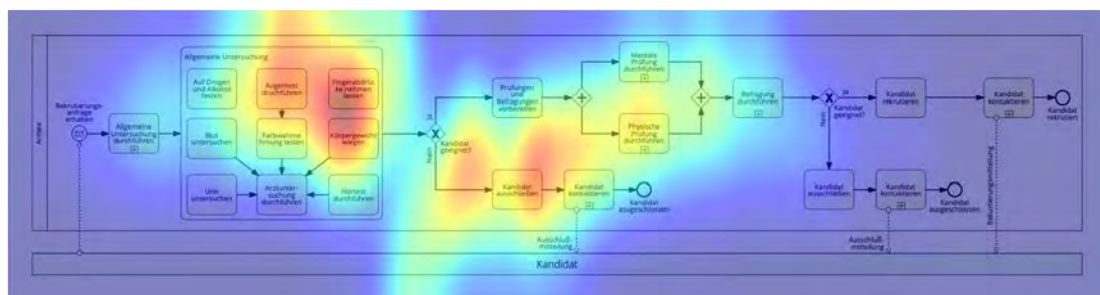


Abbildung C.42: HeatMap Teilnehmer 11 - Armee (mit 7PMG)





### C HeatMaps

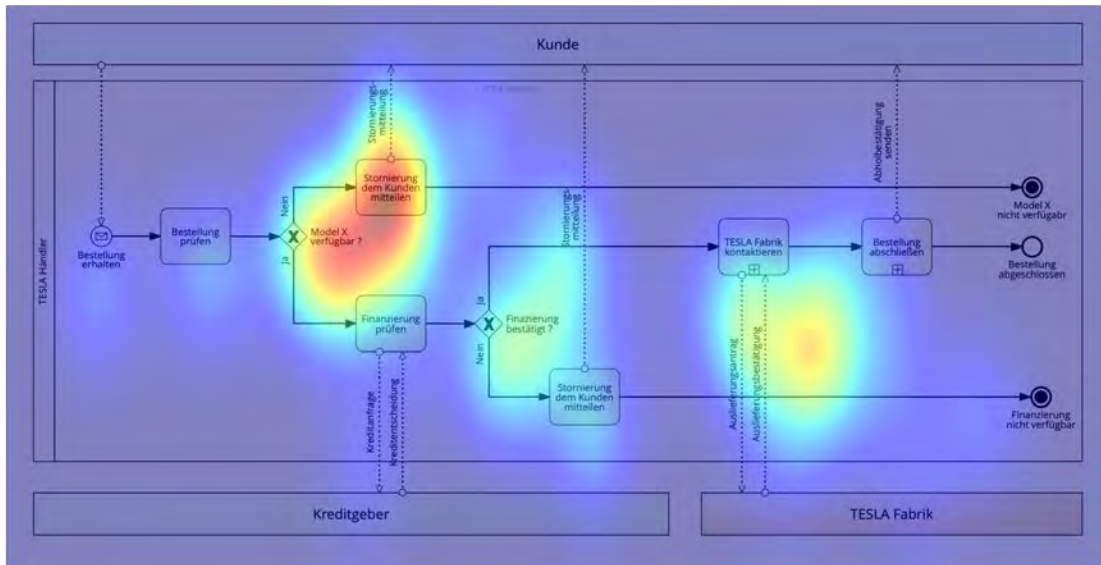


Abbildung C.46: HeatMap Teilnehmer 16 - Tesla (mit 7PMG)

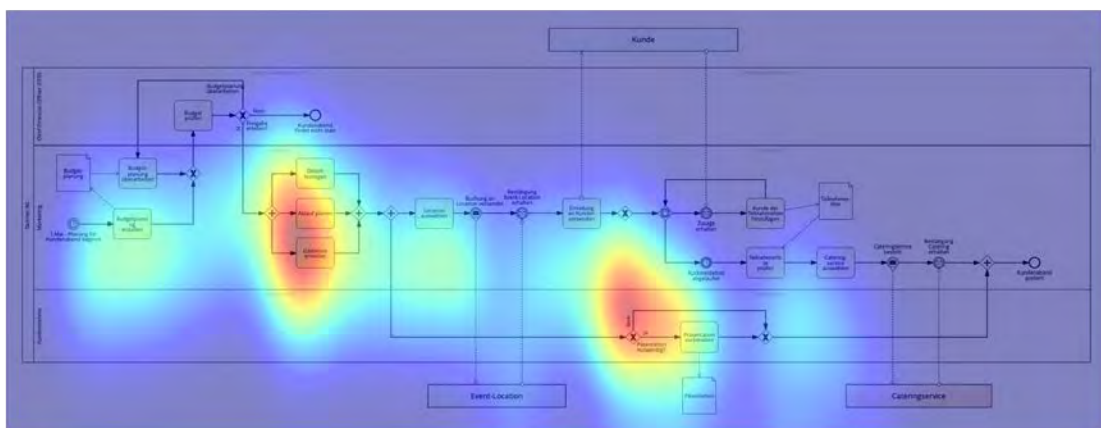


Abbildung C.47: HeatMap Teilnehmer 16 - Kundenabend (mit 7PMG)

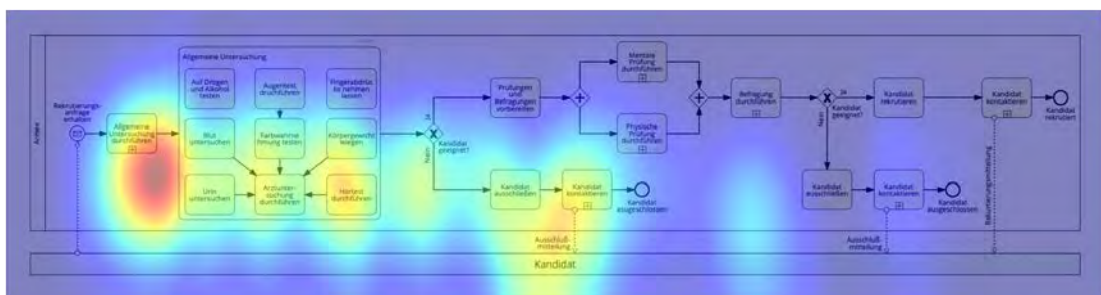


Abbildung C.48: HeatMap Teilnehmer 16 - Armee (mit 7PMG)

### C HeatMaps

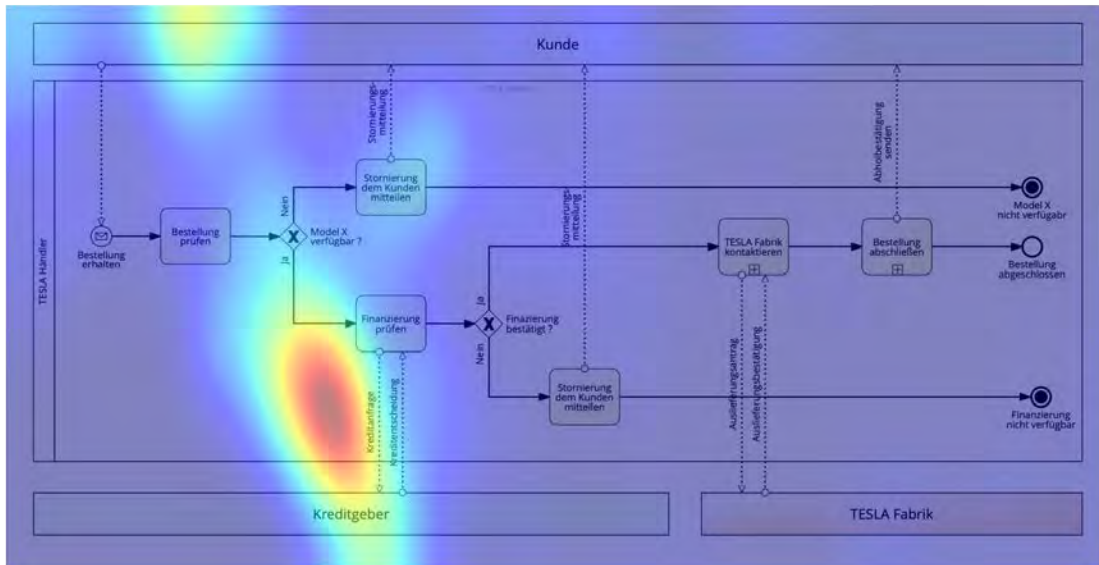


Abbildung C.49: HeatMap Teilnehmer 17 - Tesla (mit 7PMG)

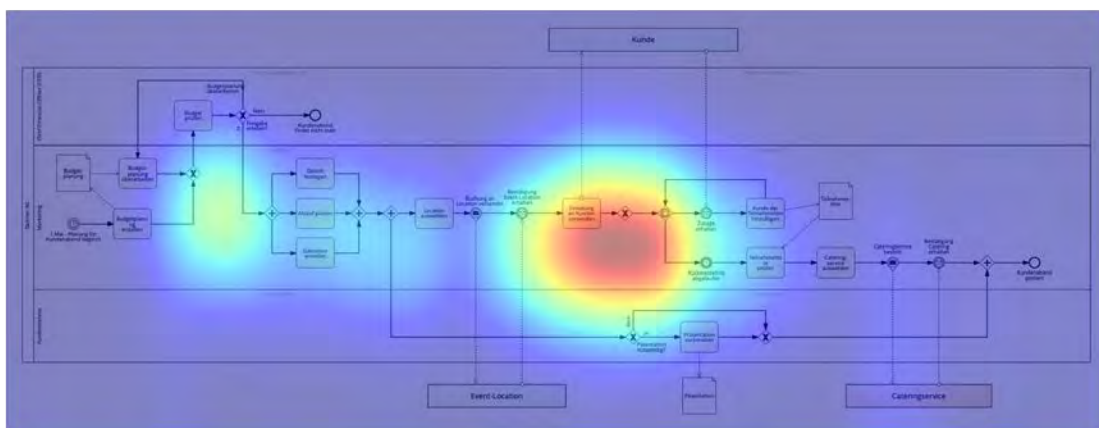


Abbildung C.50: HeatMap Teilnehmer 17 - Kundenabend (mit 7PMG)

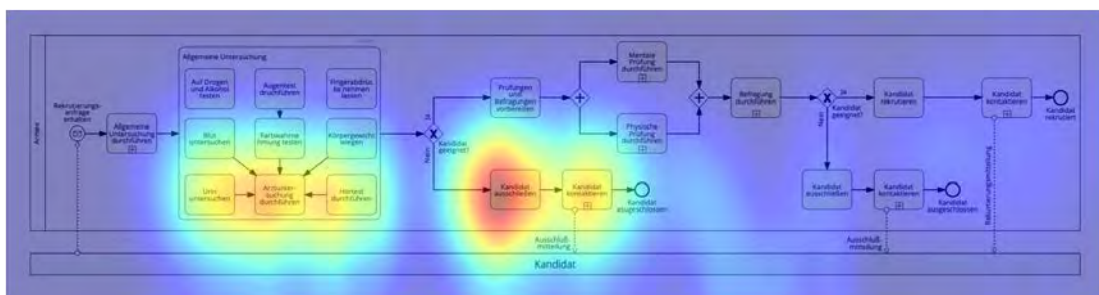


Abbildung C.51: HeatMap Teilnehmer 17 - Armee (mit 7PMG)

## C HeatMaps

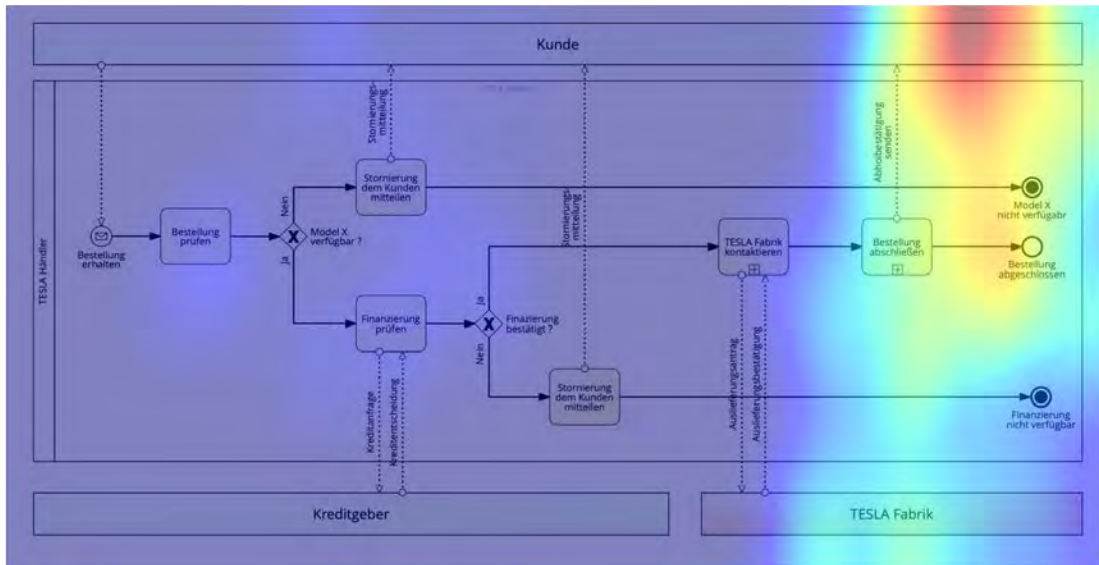


Abbildung C.52: HeatMap Teilnehmer 18 - Tesla (mit 7PMG)

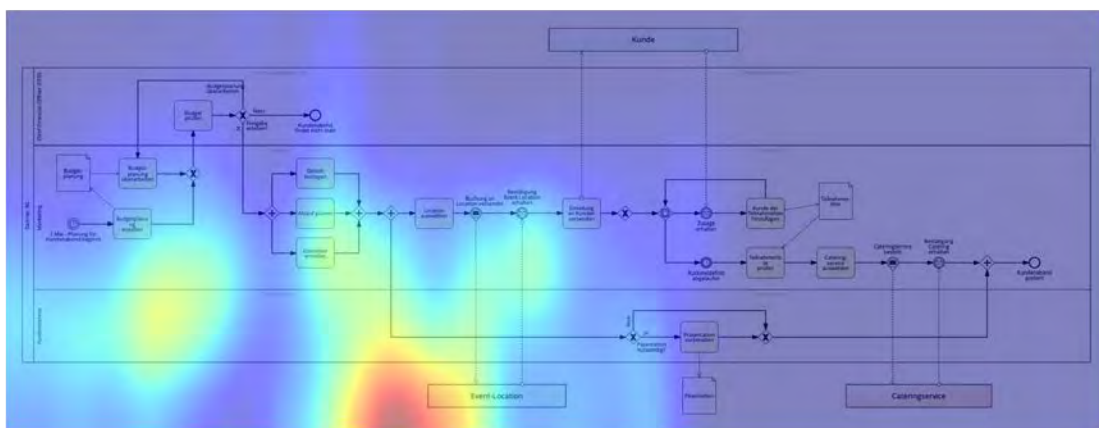


Abbildung C.53: HeatMap Teilnehmer 18 - Kundenabend (mit 7PMG)

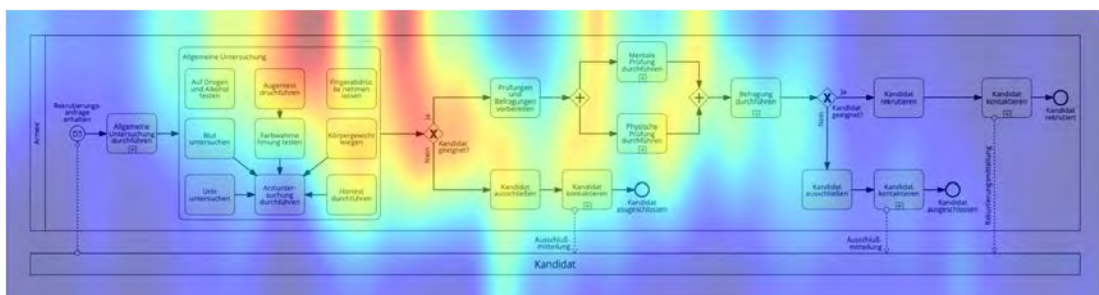


Abbildung C.54: HeatMap Teilnehmer 18 - Armee (mit 7PMG)

# Scanpaths



---

In diesem Kapitel sind die Scanpaths dargestellt, die sich aus der Analyse der Eye Tracking Daten ergeben haben. Dabei ist für jeden Teilnehmer sowohl die HeatMap für das Prozessmodell 1, 2 und 3 dargestellt.

# ScanPath in Jupyter Notebook

January 24, 2022

```
[1]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

cover_img = plt.imread('./Tesla_Gut.png')
```

```
[2]: import os
import pandas as pd
from pathlib import Path

surface_fixation_export = './recordings/2022_01_20/015/exports/000/surfaces/
↳fixations_on_surface_Tesla.csv'

surface_df = pd.read_csv(surface_fixation_export)

print("Columns in surface dataframe:")
list(surface_df.columns)
```

Columns in surface dataframe:

```
[2]: ['world_timestamp',
'world_index',
'fixation_id',
'start_timestamp',
'duration',
'dispersion',
'norm_pos_x',
'norm_pos_y',
'x_scaled',
'y_scaled',
'on_surf']
```

```
[3]: fixation_on_surf = surface_df[surface_df.on_surf == True]
pd.options.display.float_format = '{:.3f}'.format

print("Sample fixations on Process Model:")
fixation_on_surf.head(5)
```

Sample fixations on Process Model :

```
[3]: world_timestamp world_index fixation_id start_timestamp duration \
0 476703.207 0 0 476702.969 201.738
1 476703.207 0 1 476703.199 217.877
2 476703.308 1 1 476703.199 217.877
3 476703.375 2 1 476703.199 217.877
4 476703.442 3 1 476703.199 217.877

dispersion norm_pos_x norm_pos_y x_scaled y_scaled on_surf
0 1.300 0.179 0.578 0.179 0.578 True
1 0.665 0.171 0.581 0.171 0.581 True
2 0.665 0.180 0.605 0.180 0.605 True
3 0.665 0.148 0.564 0.148 0.564 True
4 0.665 0.190 0.613 0.190 0.613 True
```

```
[4]: from scipy.ndimage.filters import gaussian_filter

grid = cover_img.shape[0:2] # height, height of the loaded image

x = fixation_on_surf["norm_pos_x"]
y = fixation_on_surf["norm_pos_y"]

# flip the fixation points
# from the original coordinate system,
# where the origin is at bottom left,
# to the image coordinate system,
# where the origin is at top left
y = 1 - y

# scale up the normalized coordinates for x and y
x *= grid[1]
y *= grid[0]

point_scale = fixation_on_surf["duration"]
id_labels = list(fixation_on_surf["fixation_id"])

# display reference image
plt.figure(figsize=(30, 30))
plt.imshow(cover_img, alpha=0.5)

# display the lines and points for fixation
polyline = plt.plot(x, y, "C3", lw=2)
# use the duration to determine the scatter plot circle radius
points = plt.scatter(x, y, s=point_scale, alpha=0.2)

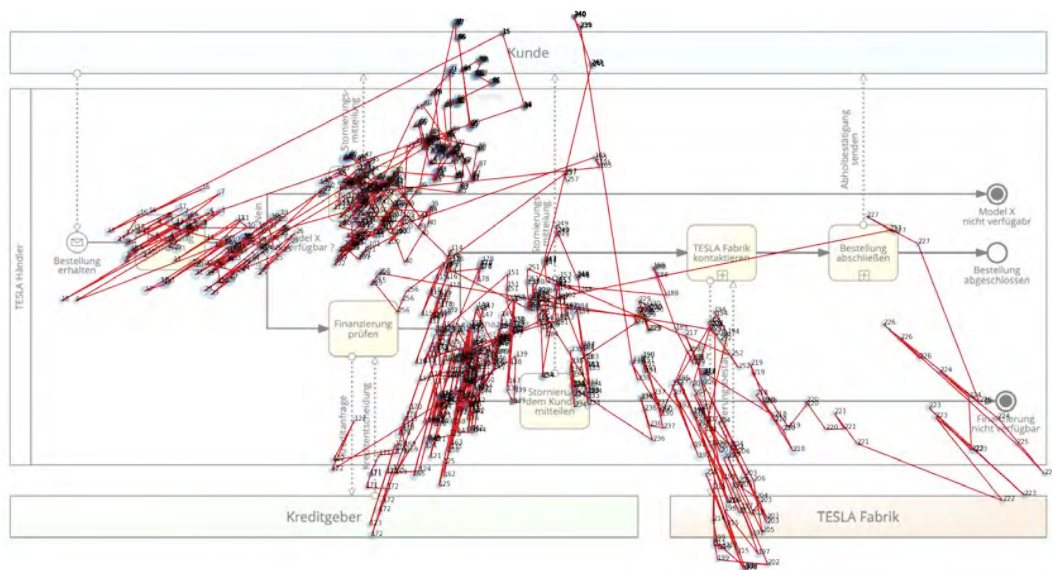
ax = plt.gca() # get plot current axes for annotation
```

```
for i, l in enumerate(id_labels):
    ax.annotate(s=str(l), xy=(list(x)[i], list(y)[i]))

plt.axis('off');
```

<i python-input-4-bc853bff3190>: 33: MatplotlibDeprecationWarning: The 's' parameter of annotate() has been renamed 'text' since Matplotlib 3.3; support for the old name will be dropped two minor releases later.

```
ax.annotate(s=str(l), xy=(list(x)[i], list(y)[i]))
```





## D Scanpaths

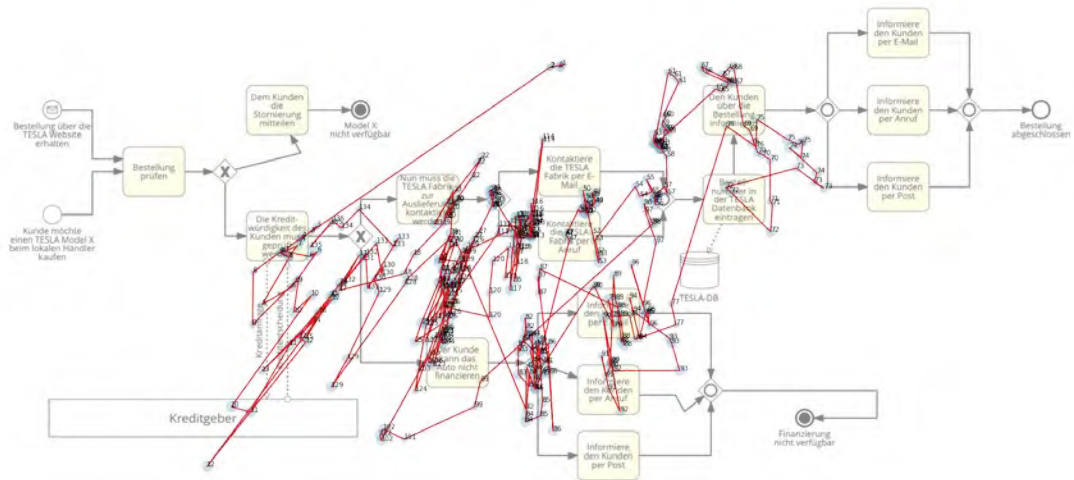


Abbildung D.1: Scanpath Teilnehmer 1 - Tesla (ohne 7PMG)

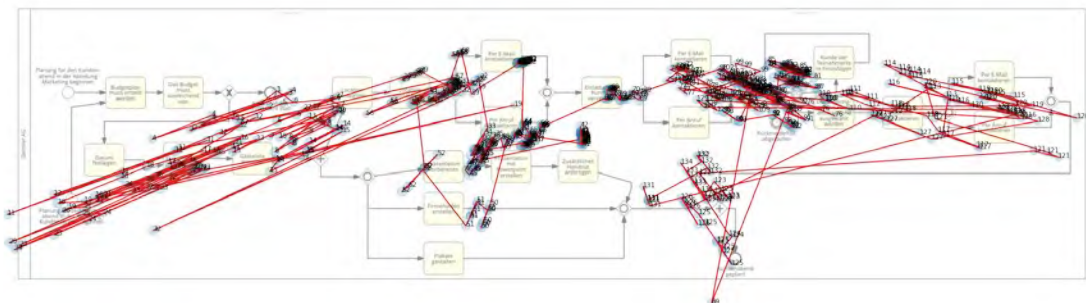


Abbildung D.2: Scanpath Teilnehmer 1 - Kundenabend (ohne 7PMG)

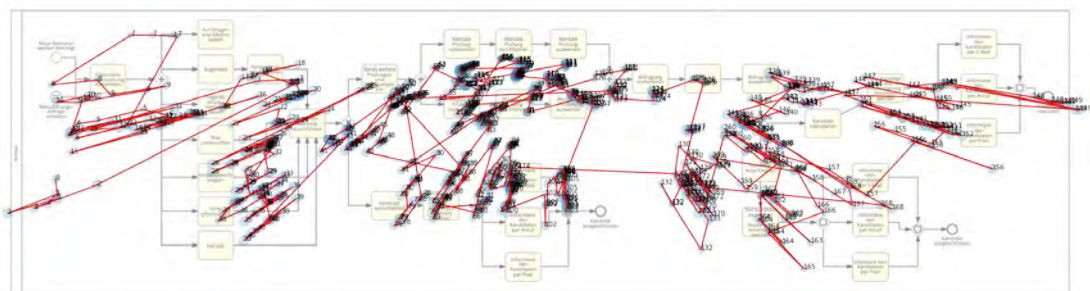


Abbildung D.3: Scanpath Teilnehmer 1 - Armee (ohne 7PMG)

## D Scanpaths

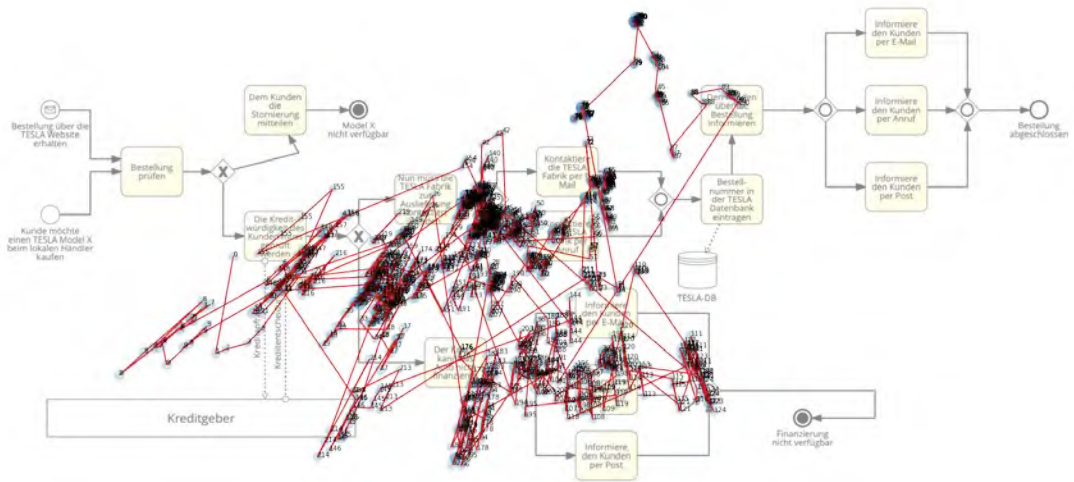


Abbildung D.4: Scanpath Teilnehmer 2 - Tesla (ohne 7PMG)

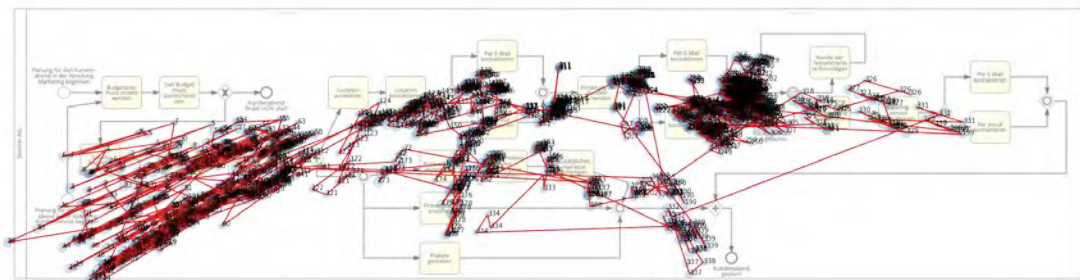


Abbildung D.5: Scanpath Teilnehmer 2 - Kundenabend (ohne 7PMG)

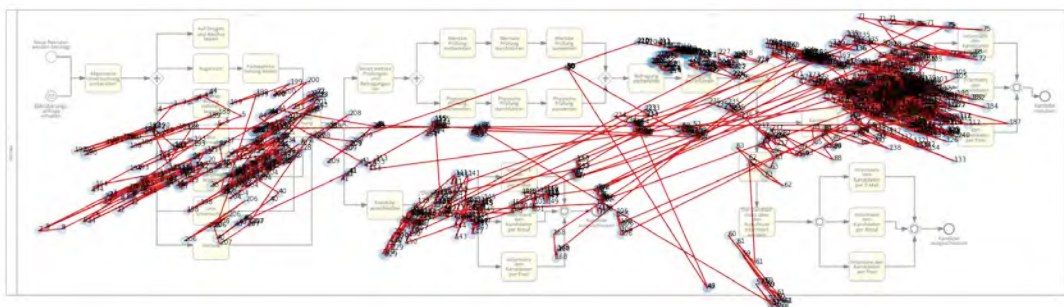


Abbildung D.6: Scanpath Teilnehmer 2 - Armee (ohne 7PMG)

## D Scanpaths

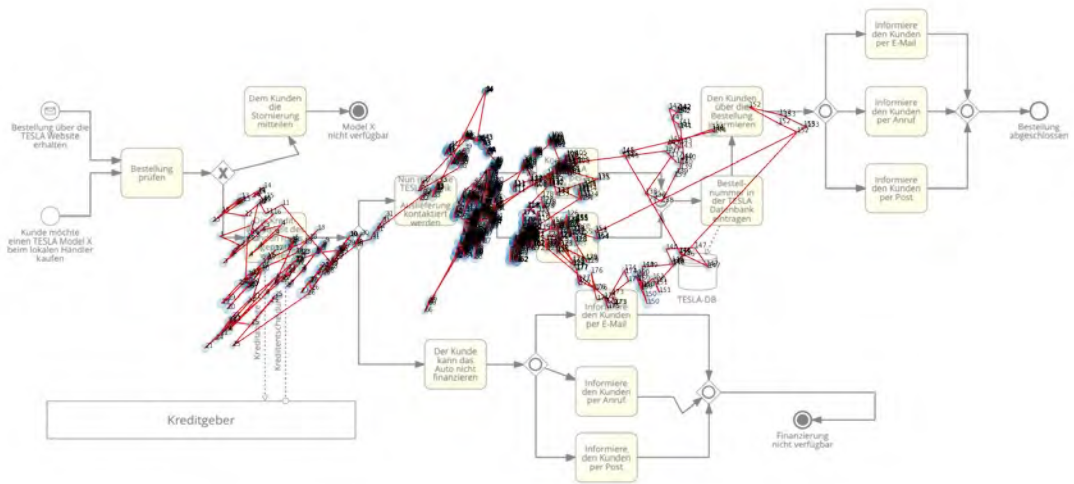


Abbildung D.7: Scanpath Teilnehmer 3 - Tesla (ohne 7PMG)

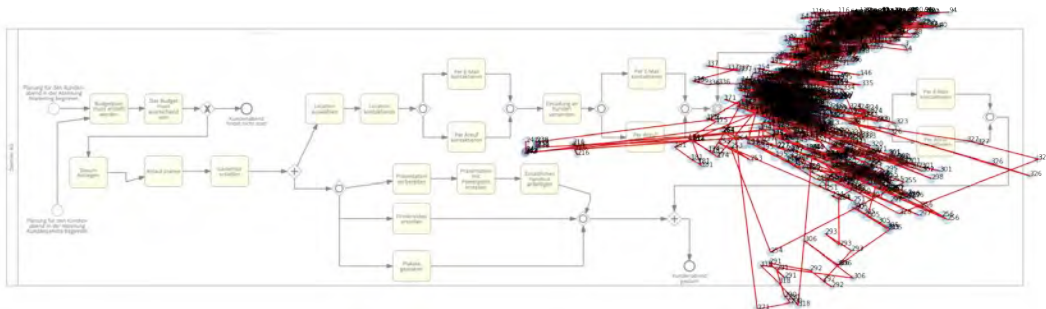


Abbildung D.8: Scanpath Teilnehmer 3 - Kundenabend (ohne 7PMG)

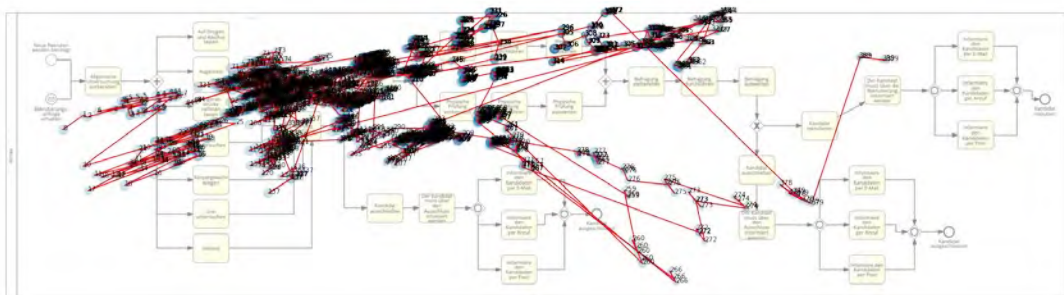


Abbildung D.9: Scanpath Teilnehmer 3 - Armee (ohne 7PMG)

## D Scanpaths

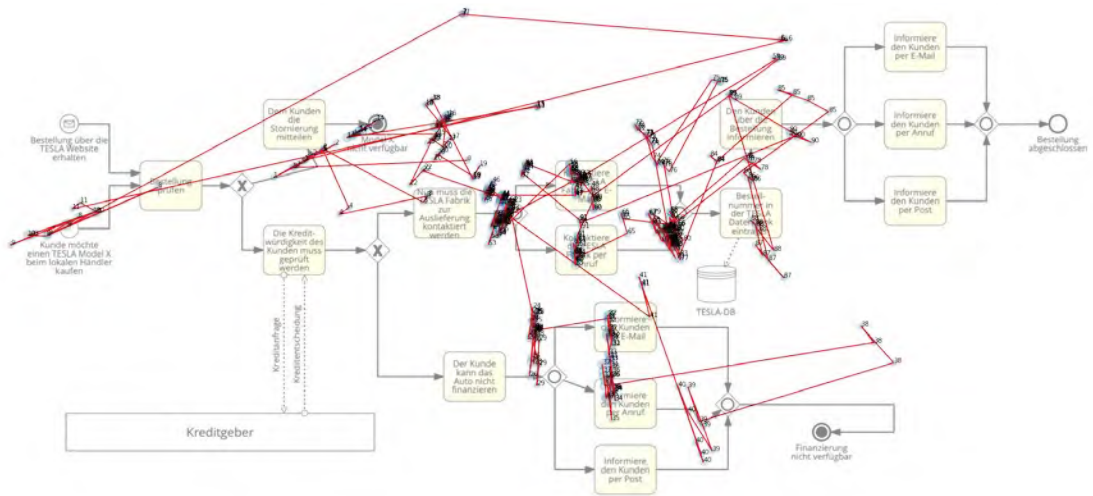


Abbildung D.10: Scanpath Teilnehmer 4 - Tesla (ohne 7PMG)



Abbildung D.11: Scanpath Teilnehmer 4 - Kundenabend (ohne 7PMG)

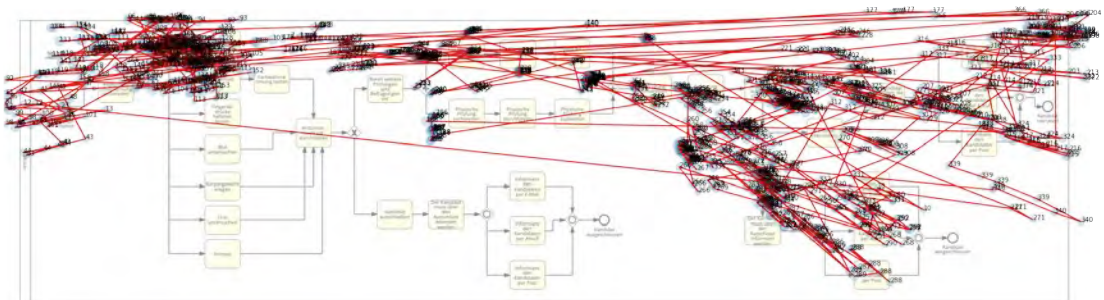


Abbildung D.12: Scanpath Teilnehmer 4 - Armee (ohne 7PMG)



## D Scanpaths

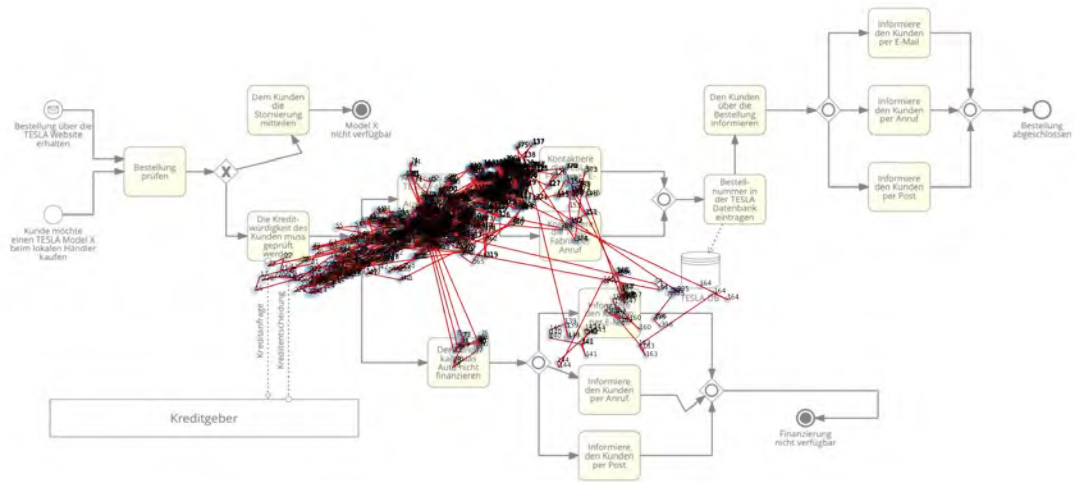


Abbildung D.16: Scanpath Teilnehmer 10 - Tesla (ohne 7PMG)

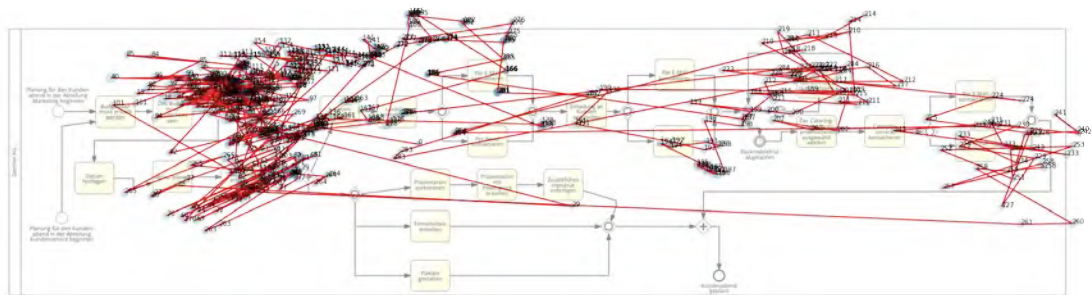


Abbildung D.17: Scanpath Teilnehmer 10 - Kundenabend (ohne 7PMG)

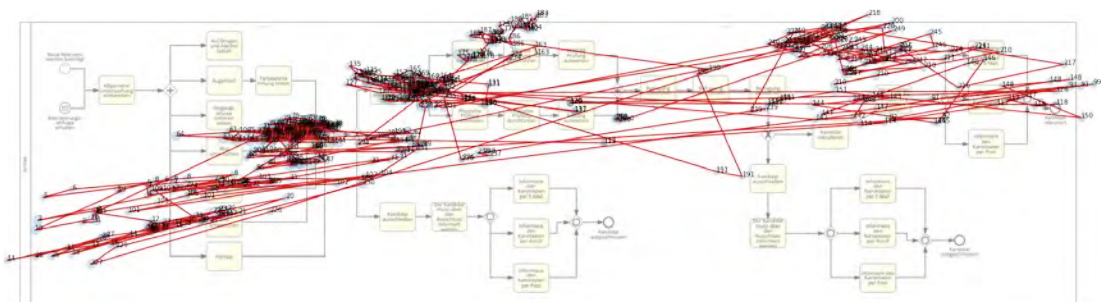


Abbildung D.18: Scanpath Teilnehmer 10 - Armee (ohne 7PMG)



## D Scanpaths

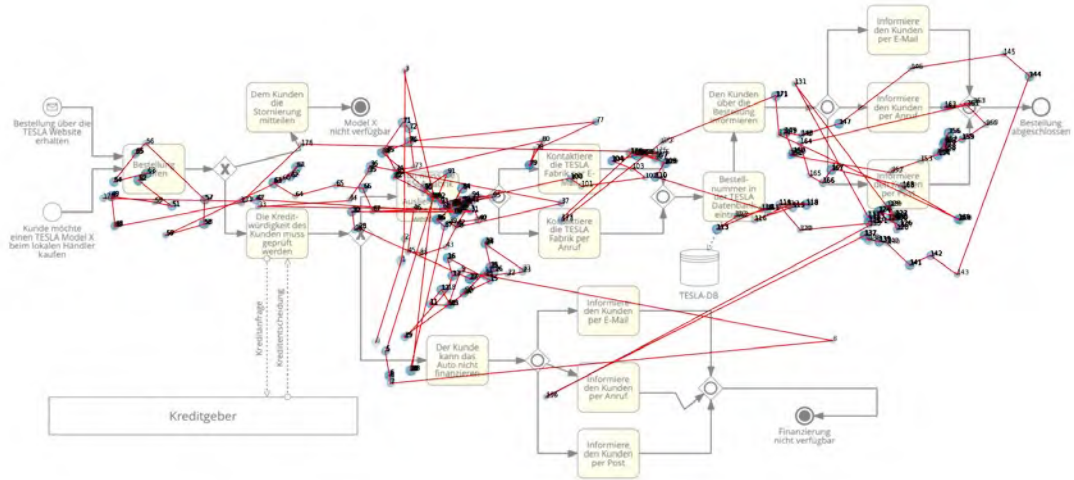


Abbildung D.22: Scanpath Teilnehmer 14 - Tesla (ohne 7PMG)



Abbildung D.23: Scanpath Teilnehmer 14 - Kundenabend (ohne 7PMG)

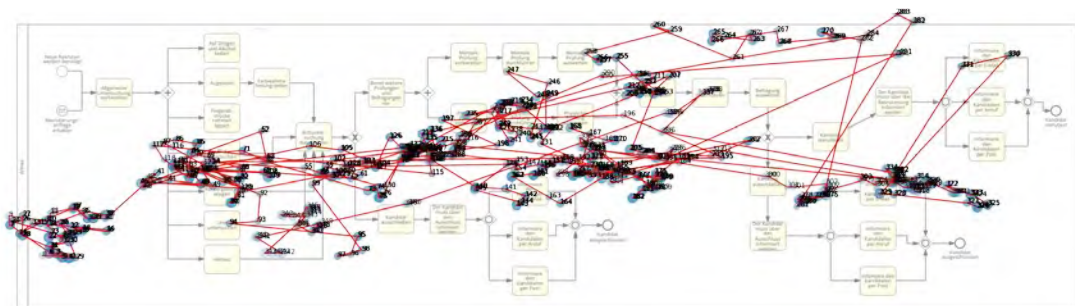


Abbildung D.24: Scanpath Teilnehmer 14 - Armee (ohne 7PMG)





## D Scanpaths

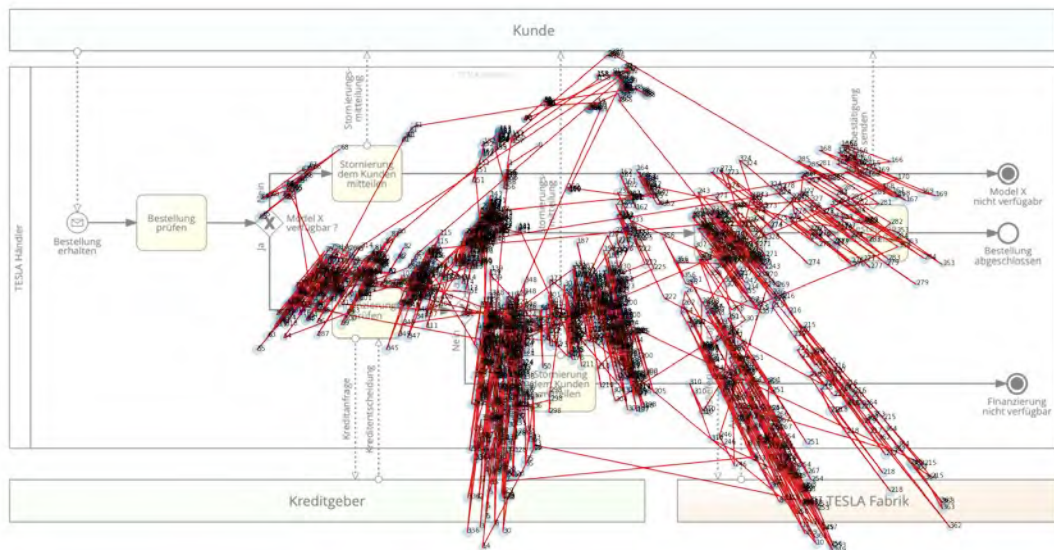


Abbildung D.28: Scanpath Teilnehmer 5 - Tesla (mit 7PMG)

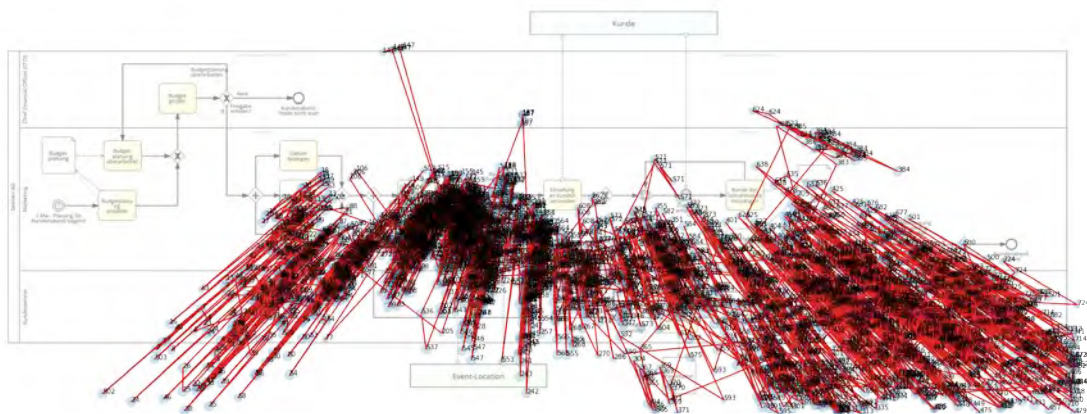


Abbildung D.29: Scanpath Teilnehmer 5 - Kundenabend (mit 7PMG)

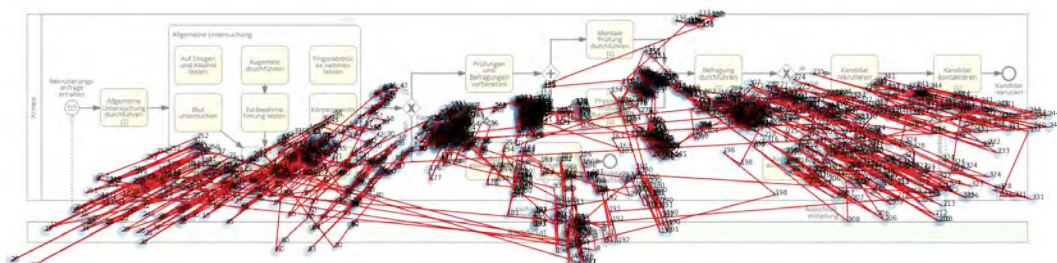


Abbildung D.30: Scanpath Teilnehmer 5 - Armee (mit 7PMG)

## D Scanpaths

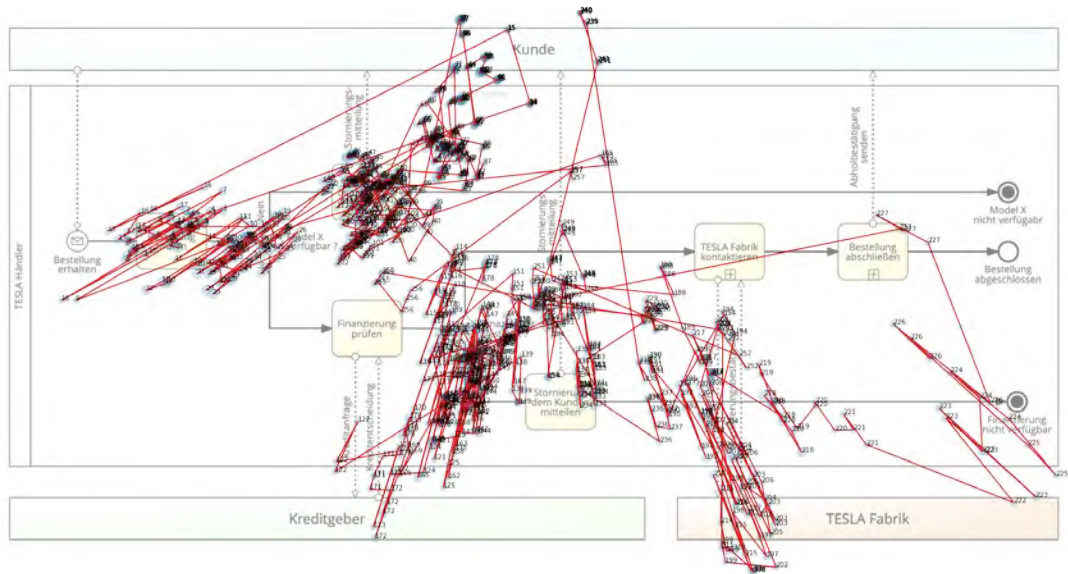


Abbildung D.31: Scanpath Teilnehmer 6 - Tesla (mit 7PMG)

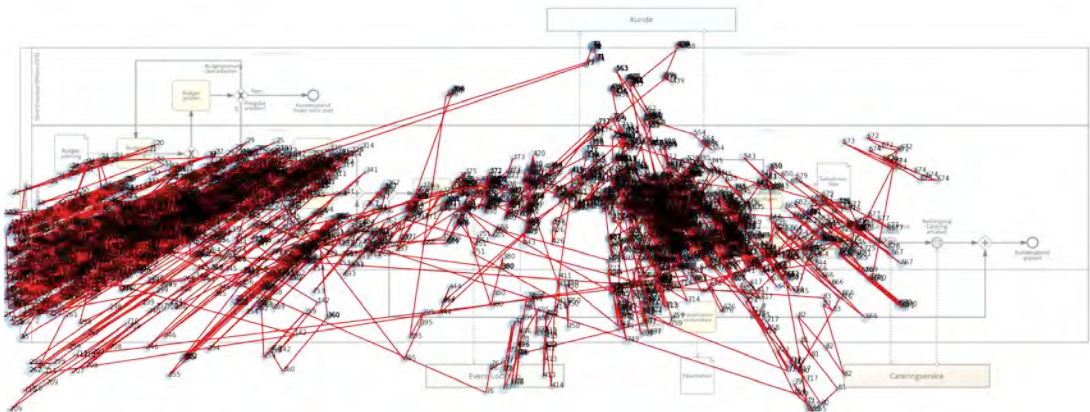


Abbildung D.32: Scanpath Teilnehmer 6 - Kundenabend (mit 7PMG)

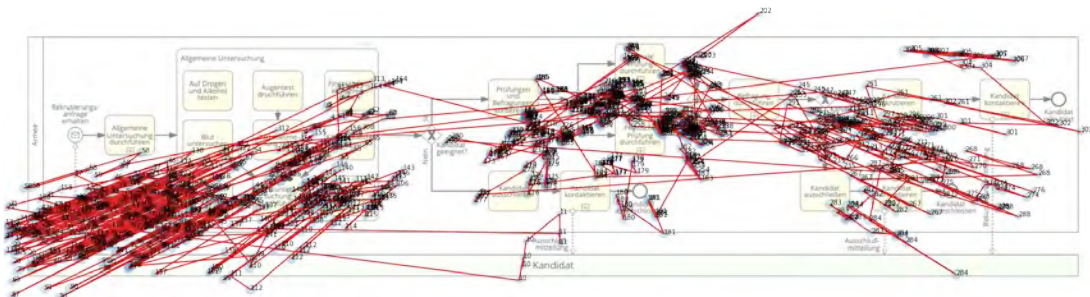


Abbildung D.33: Scanpath Teilnehmer 6 - Armee (mit 7PMG)

## D Scanpaths

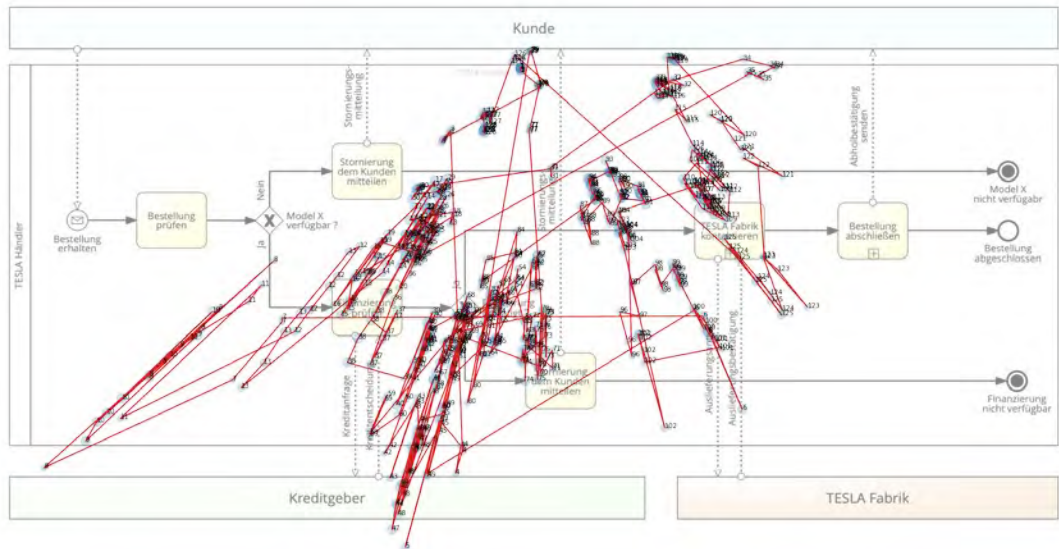


Abbildung D.34: Scanpath Teilnehmer 7 - Tesla (mit 7PMG)

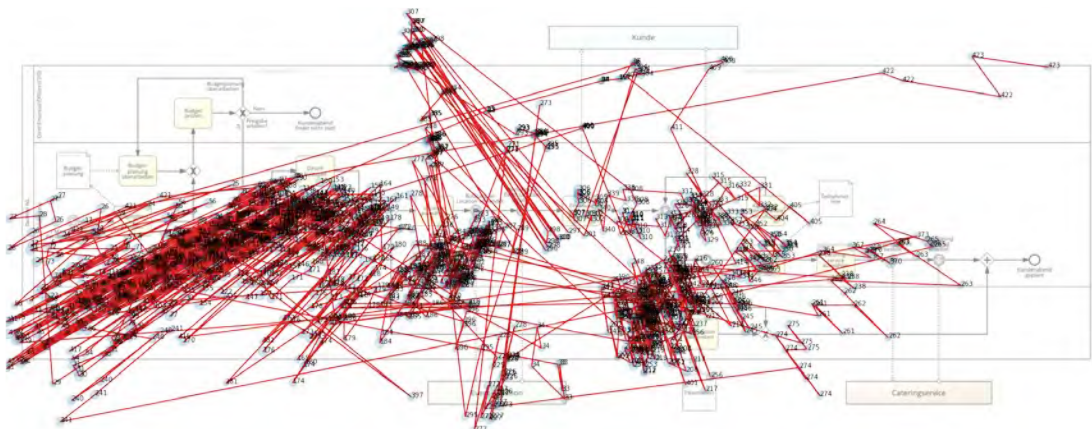


Abbildung D.35: Scanpath Teilnehmer 7 - Kundenabend (mit 7PMG)

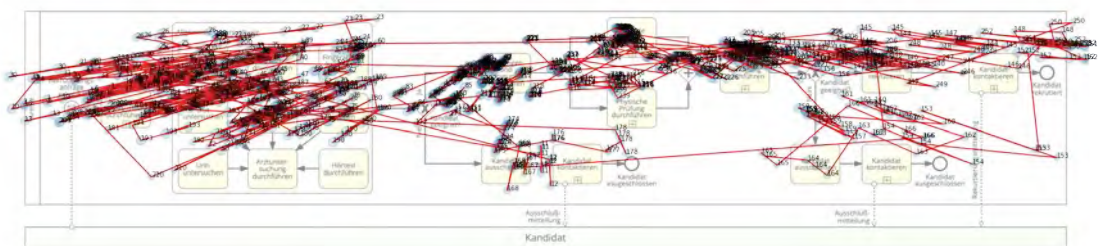


Abbildung D.36: Scanpath Teilnehmer 7 - Armee (mit 7PMG)

## D Scanpaths

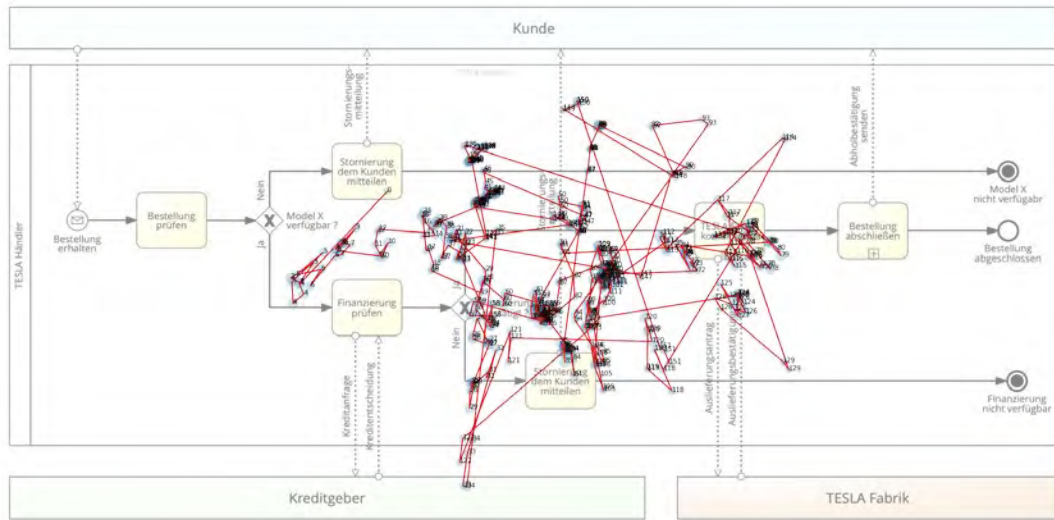


Abbildung D.37: Scanpath Teilnehmer 8 - Tesla (mit 7PMG)



Abbildung D.38: Scanpath Teilnehmer 8 - Kundenabend (mit 7PMG)

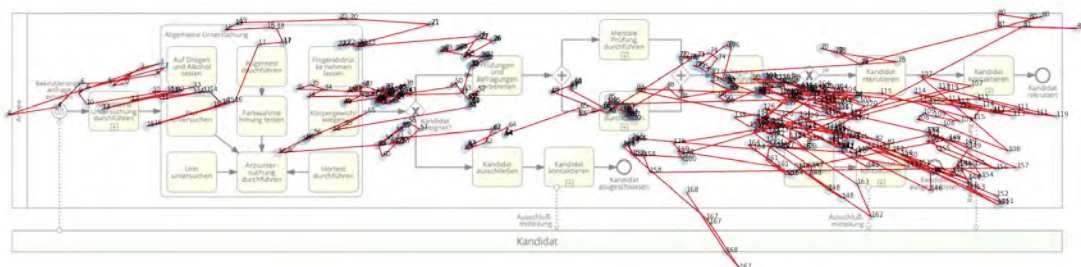


Abbildung D.39: Scanpath Teilnehmer 8 - Armee (mit 7PMG)

## D Scanpaths

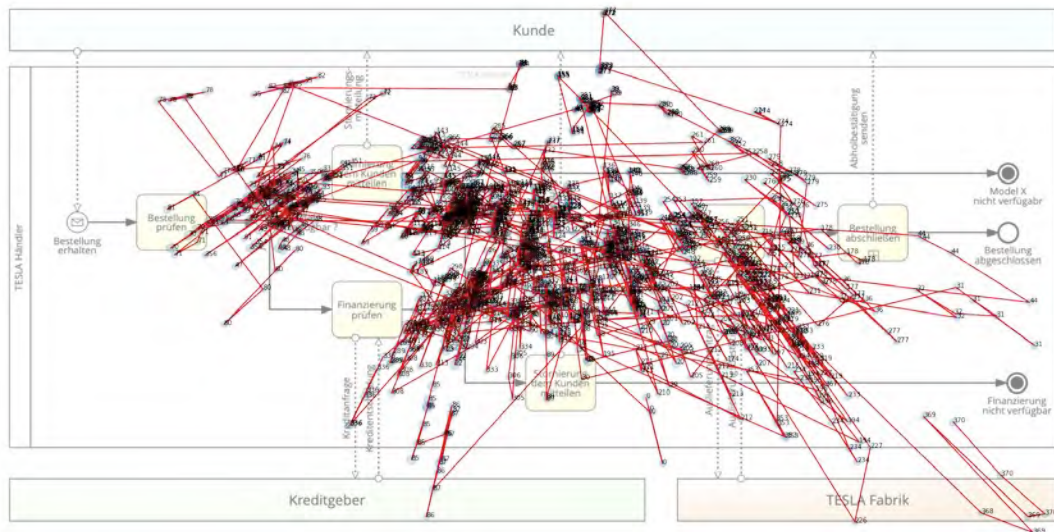


Abbildung D.40: Scanpath Teilnehmer 11 - Tesla (mit 7PMG)

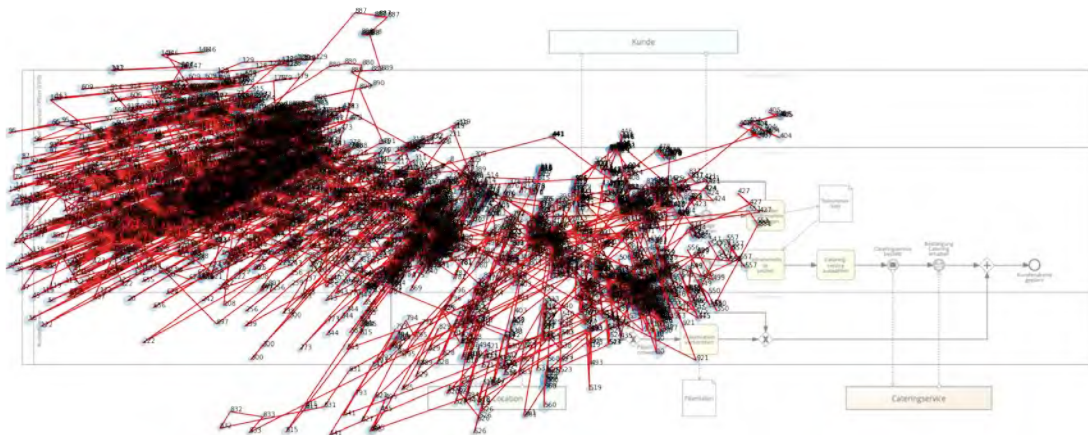


Abbildung D.41: Scanpath Teilnehmer 11 - Kundenabend (mit 7PMG)

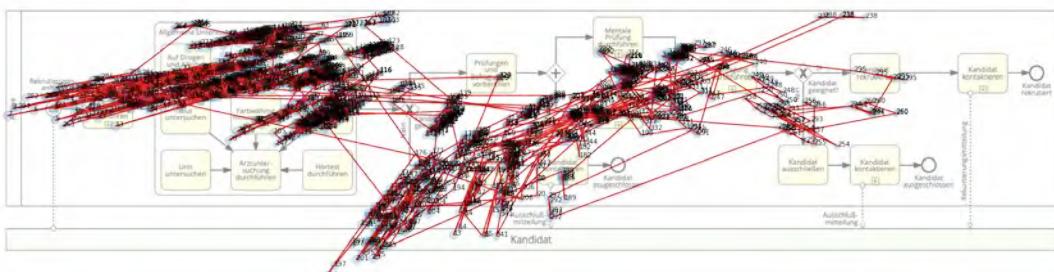


Abbildung D.42: Scanpath Teilnehmer 11 - Armee (mit 7PMG)

## D Scanpaths

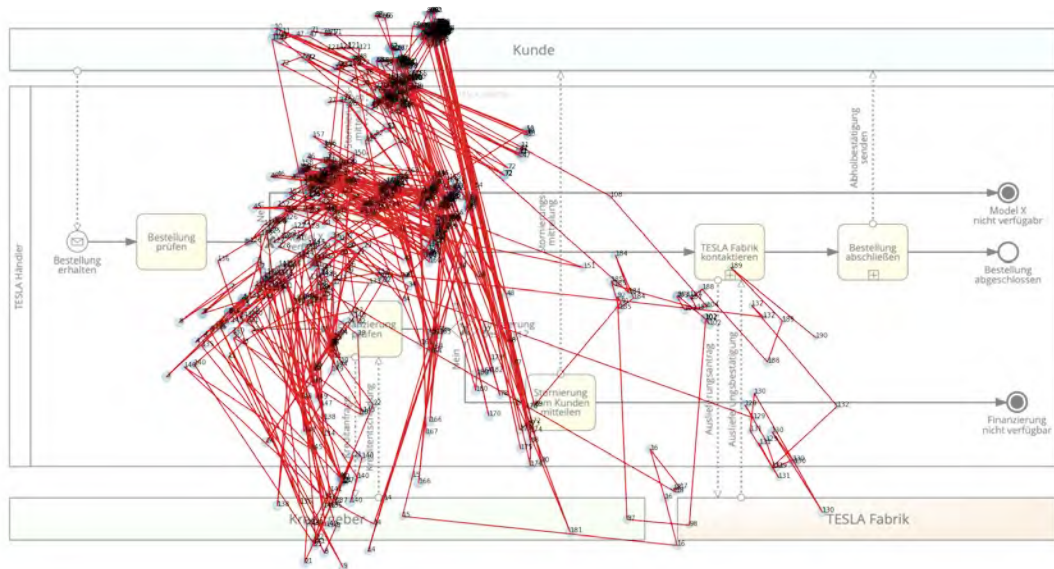


Abbildung D.43: Scanpath Teilnehmer 12 - Tesla (mit 7PMG)

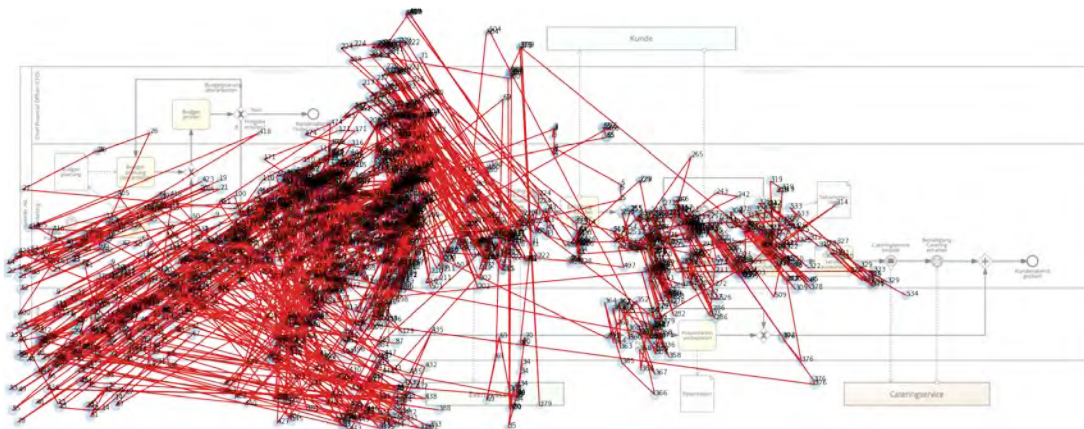


Abbildung D.44: Scanpath Teilnehmer 12 - Kundenabend (mit 7PMG)

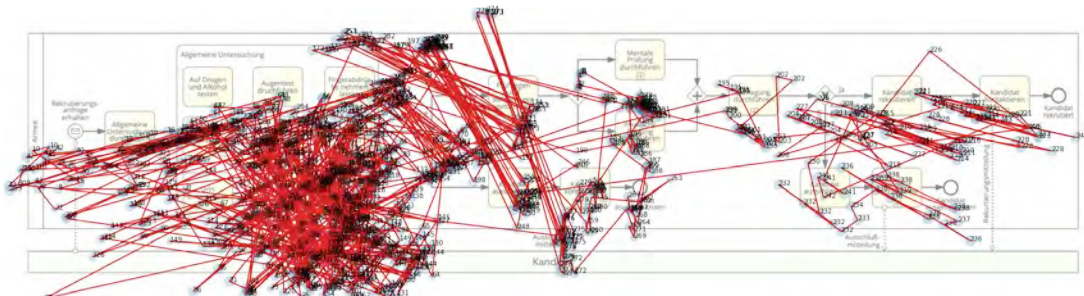


Abbildung D.45: Scanpath Teilnehmer 12 - Armee (mit 7PMG)

## D Scanpaths

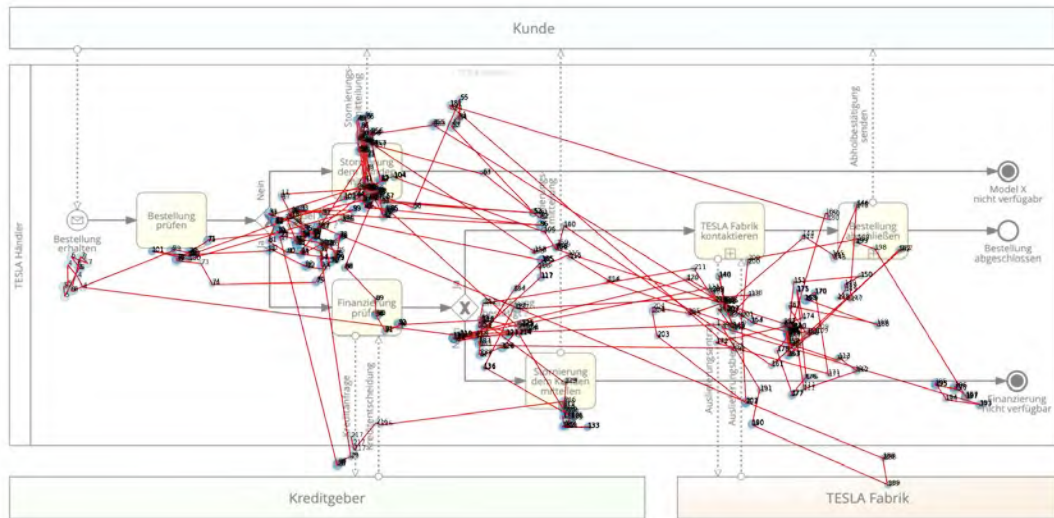


Abbildung D.46: Scanpath Teilnehmer 16 - Tesla (mit 7PMG)

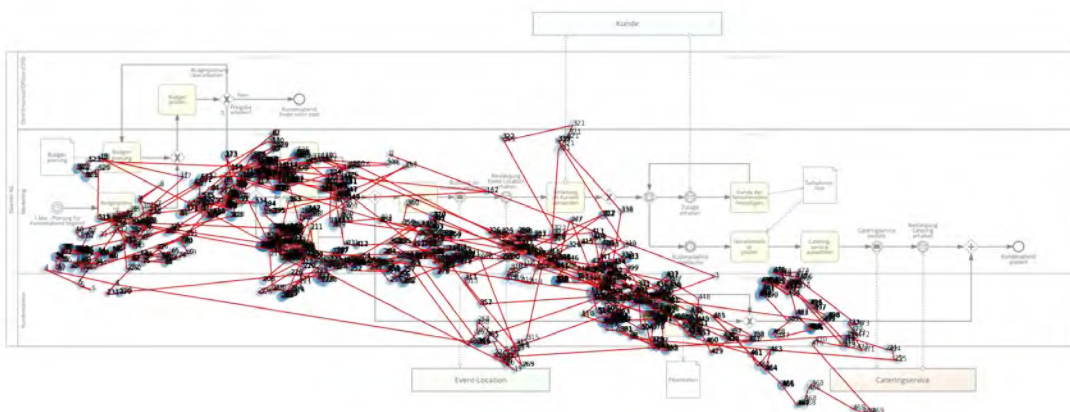


Abbildung D.47: Scanpath Teilnehmer 16 - Kundenabend (mit 7PMG)

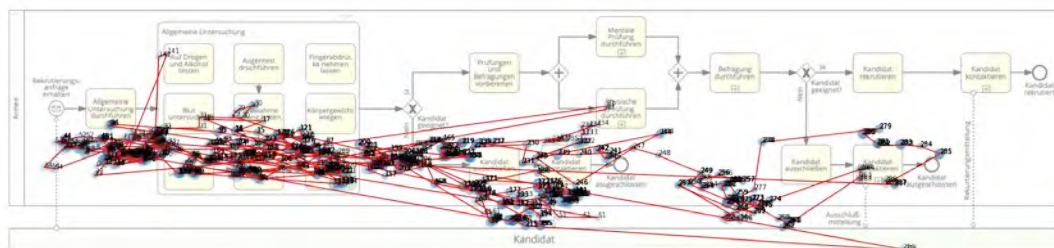


Abbildung D.48: Scanpath Teilnehmer 16 - Armee (mit 7PMG)



## D Scanpaths

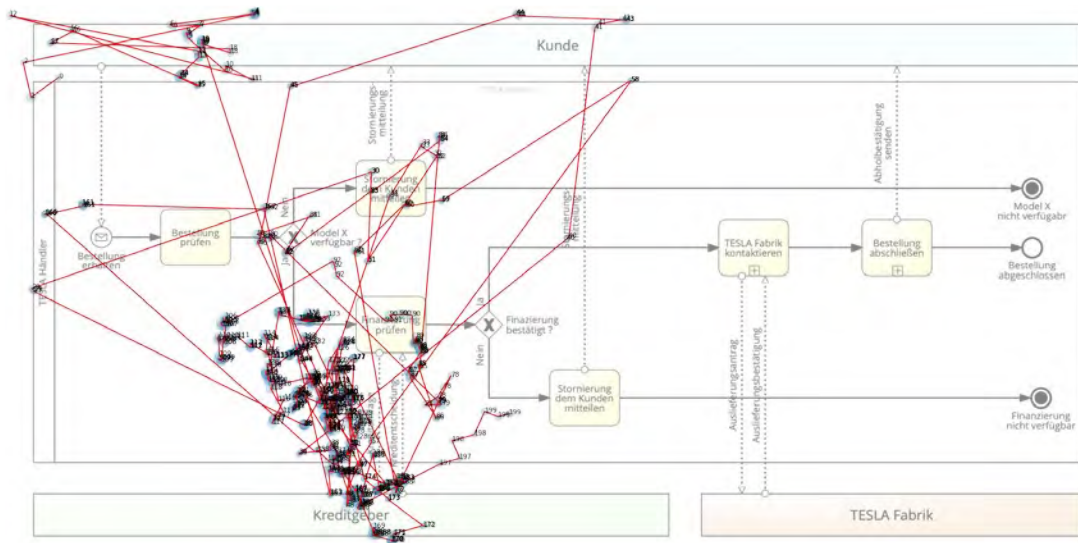


Abbildung D.49: Scanpath Teilnehmer 17 - Tesla (mit 7PMG)

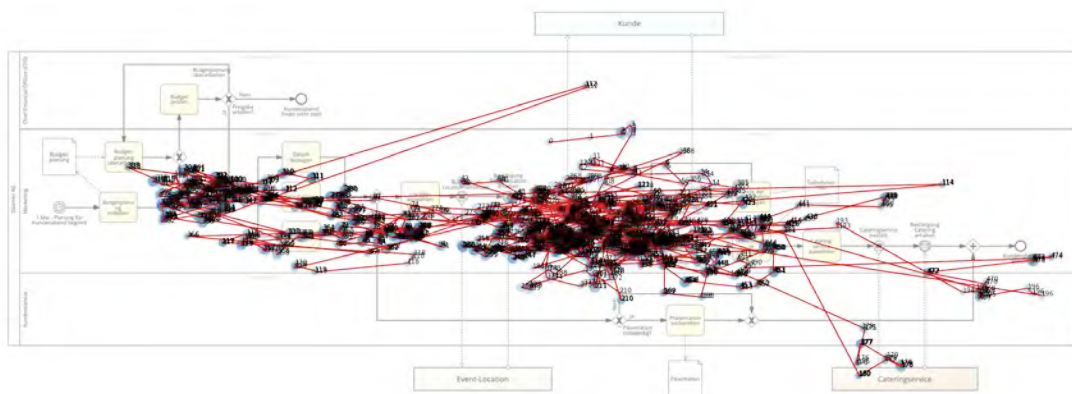


Abbildung D.50: Scanpath Teilnehmer 17 - Kundenabend (mit 7PMG)

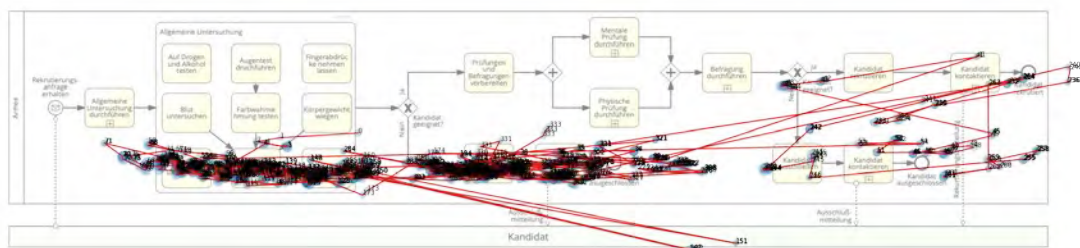


Abbildung D.51: Scanpath Teilnehmer 17 - Armee (mit 7PMG)



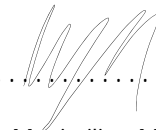
Name: Maximilian Möller

Matrikelnummer: 951793

### Erklärung

Ich erkläre, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Ulm, den **07.03.2022** .....



Maximilian Möller