

UNIVERSITÄT ULM

Fakultät für Ingenieurwissenschaften  
und Informatik  
Institut für Datenbanken und Informationssysteme



# Kritische Betrachtung von BPM auf Basis von Cloud Computing

Master Thesis  
vorgelegt von

Christian Peter Kulik

[christian.kulik@uni-ulm.de](mailto:christian.kulik@uni-ulm.de)

Gutachter: Prof. Dr. Manfred Reichert  
Prof. Dr. Thomas Bauer  
Betreuer: Rüdiger Pryss

2011

Fassung vom 15. November 2011

© 2011 Christian Peter Kulik

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License. To view a copy of this license, visit

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/> or send a letter to Creative Commons, 543 Howard Street, 5th Floor, San Francisco, California, 94105, USA.

Satz: PDF-L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub>

### **Zusammenfassung**

Die vorliegende Master Arbeit betrachtet die beiden Hype Stichworte der letzten Jahre in der Informationstechnologie. Cloud Computing ist nicht nur aus wirtschaftlichen Aspekten ein interessantes Thema. Business Process Management auf der anderen Seite trägt viel zum geschäftlichen Erfolg von Unternehmen bei. Die Kombination dieser zwei Technologie-Richtungen hat zu einem stark wachsenden Interesse geführt. Da Cloud Computing wie auch Business Process Management nicht perfekt sind, ist eine Kombination kritisch zu betrachten. Diese Arbeit soll die Schwachstellen einer Cloud-basierten BPM Lösung erläutern und wichtige Entwicklungsschritte darstellen.

### **Danksagung**

In diese Arbeit ist viel Zeit, Fleiß, Schweiß, Freude, Erleuchtung und Ernüchterung eingeflossen. Mit dem Abschluss dieser Arbeit geht auch ein Lebensabschnitt zu Ende. Für das Gelingen dieser Arbeit haben tolle Menschen ihre Gedanken und ihre Zeit zur Verfügung gestellt - danke dafür.

Besonderer Dank geht an Prof. Dr. Manfred Reichert und allen Mitarbeitern am Institut für Datenbanken und Informationssysteme (DBIS) an der Universität Ulm. Der engagierte und tatkräftige Beistand während den Vorlesungen und Seminaren ist äußerst lobenswert. Die Arbeit dort hat mir viel Freude gemacht. Riesengroßer Dank geht an Rüdiger Pryss, der mir in zahlreichen Gesprächen während der Masterarbeit weitere Ideen, Hinweise und Vorschläge geliefert hat. Der Austausch war stets auf hohem Niveau, wovon die Arbeit und ich persönlich profitieren konnten.

Ich bin dankbar für die vielen Abende ohne Gedanken an die Masterarbeit, die mir meine Freunde und Verwandte zur Ideenfindung beschert haben.

Abschließend hervorzuheben ist Bianca, welche unglaublich viel getan hat, um mir den Rücken frei zu halten und dabei auf gemeinsame Zeit verzichtet hat.

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                           | <b>v</b>   |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                           | <b>vii</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                                             | <b>ix</b>  |
| <b>1 Einführung</b>                                                    | <b>1</b>   |
| 1.1 Motivation . . . . .                                               | 2          |
| 1.2 Vision . . . . .                                                   | 4          |
| 1.3 Struktur der Arbeit . . . . .                                      | 6          |
| <b>2 Related Work</b>                                                  | <b>9</b>   |
| <b>3 Grundlagen</b>                                                    | <b>15</b>  |
| 3.1 Business Process Management . . . . .                              | 15         |
| 3.1.1 BPM Lifecycle . . . . .                                          | 16         |
| 3.1.2 Beschreibung von Prozessmodellen . . . . .                       | 20         |
| 3.2 Cloud Computing . . . . .                                          | 26         |
| 3.2.1 Definition . . . . .                                             | 27         |
| 3.2.2 Liefermodelle . . . . .                                          | 29         |
| 3.2.3 Technische Kategorisierung der Cloud Computing Dienste . . . . . | 31         |
| 3.2.4 Infrastructure as a Service (IaaS) . . . . .                     | 32         |
| 3.2.5 Platform as a Service (PaaS) . . . . .                           | 34         |
| 3.2.6 Software as a Service (SaaS) . . . . .                           | 34         |
| 3.2.7 Weitere technische Kategorisierungsmöglichkeiten . . . . .       | 35         |
| 3.2.8 Abgrenzung zu anderen Technologien . . . . .                     | 36         |
| 3.2.9 Anwendungsgebiete . . . . .                                      | 38         |
| 3.3 Beispielprozess . . . . .                                          | 40         |
| 3.3.1 Der Beispielprozess im BPM Lebenszyklus . . . . .                | 42         |

|          |                                                                          |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>Betrachtung der Design- und Analyse-Phase</b>                         | <b>47</b> |
| 4.1      | Prozessauswahl . . . . .                                                 | 47        |
| 4.2      | Ausführungsformalismus in der Cloud . . . . .                            | 49        |
| 4.2.1    | Konzeptuelles Prozessmodell in der Cloud . . . . .                       | 51        |
| 4.2.2    | Logisches Prozessmodell in der Cloud . . . . .                           | 53        |
| 4.3      | Modellierung von Prozessen für die Cloud . . . . .                       | 53        |
| 4.3.1    | Strukturelle Betrachtung der Prozessmodelle in der Cloud . . . . .       | 54        |
| 4.3.2    | Auslagerung von Teilprozessen . . . . .                                  | 59        |
| <b>5</b> | <b>Betrachtung der Konfigurationsphase</b>                               | <b>65</b> |
| 5.1      | Liefermodell für die Cloud-basierte BPM Lösung . . . . .                 | 65        |
| 5.1.1    | Analyse der Public Cloud Variante . . . . .                              | 66        |
| 5.1.2    | Analyse der Private Cloud Variante . . . . .                             | 67        |
| 5.1.3    | Analyse der Hybrid Cloud Variante . . . . .                              | 67        |
| 5.2      | Servicemodell für die Cloud-basierte BPM Lösung . . . . .                | 68        |
| 5.2.1    | Infrastructure as a Service . . . . .                                    | 69        |
| 5.2.2    | Platform as a Service . . . . .                                          | 70        |
| 5.2.3    | Software as a Service . . . . .                                          | 71        |
| 5.3      | Bestehende Informationssysteme . . . . .                                 | 72        |
| 5.4      | Kommunikation und Schnittstellen in einem Cloud-basierten BPM System . . | 73        |
| 5.4.1    | Schnittstellen in der Cloud . . . . .                                    | 73        |
| 5.4.2    | Steuerung der Prozesse in der Cloud . . . . .                            | 76        |
| 5.5      | Sicherheit und Datenschutz . . . . .                                     | 77        |
| 5.6      | Kostenmodell . . . . .                                                   | 80        |

|          |                                                  |            |
|----------|--------------------------------------------------|------------|
| <b>6</b> | <b>Betrachtung der Ausführungsphase</b>          | <b>85</b>  |
| 6.1      | Leistung und Durchsatz . . . . .                 | 85         |
| 6.2      | Offline-Verhalten . . . . .                      | 87         |
| 6.3      | Austauschbarkeit . . . . .                       | 89         |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>              | <b>91</b>  |
| 7.1      | Notwendige weitere Betrachtungen . . . . .       | 92         |
| 7.2      | Ausblick . . . . .                               | 92         |
| <b>A</b> | <b>Beispielprozesse in BPMN</b>                  | <b>95</b>  |
| <b>B</b> | <b>Beispiele für IaaS, PaaS und SaaS Dienste</b> | <b>99</b>  |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                      | <b>107</b> |





# Abkürzungsverzeichnis

|             |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|
| API .....   | Application Programming Interface       |
| BAM .....   | Business Activity Monitoring            |
| BPaaS ..... | Business Process as a Service           |
| BP EL ..... | Business Process Execution Language     |
| BPM .....   | Business Process Management             |
| BPMN .....  | Business Process Model and Notation     |
| BPMS .....  | Business Process Management System      |
| BPO .....   | Business Process Outsourcing            |
| CRM .....   | Customer Relationship Management        |
| EPK .....   | Ereignisgesteuerte Prozessketten        |
| ERP .....   | Enterprise Resource Planning            |
| HPC .....   | High Performance Computing              |
| HPaaS ..... | High Performance Computing as a Service |
| HuaaS ..... | Humans as a Service                     |
| IaaS .....  | Infrastructure as a Service             |
| KPI .....   | Key Performance Indicator               |
| PaaS .....  | Platform as a Service                   |
| PKI .....   | Public Key Infrastructure               |
| SaaS .....  | Software as a Service                   |
| SCM .....   | Supply Chain Management                 |
| SOA .....   | Service-orientierte Architekturen       |
| SOAP .....  | Simple Object Access Protocol           |
| WSDL .....  | Web Service Description Language        |
| XPDL .....  | XML Process Definition Language         |
| YAWL .....  | Yet Another Workflow Language           |



# Abbildungsverzeichnis

|      |                                                                      |    |
|------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | Google Trends Schaubild Cloud Computing . . . . .                    | 2  |
| 1.2  | Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2011 . . . . .         | 3  |
| 1.3  | Google Trends Schaubild BPM . . . . .                                | 4  |
| 1.4  | Gartner Hype Cycle for Business Process Management, 2011 . . . . .   | 5  |
| 1.5  | Basiselemente einer Cloud-konformen BPM Suite . . . . .              | 5  |
| 1.6  | Übersicht der Arbeit . . . . .                                       | 7  |
| 2.1  | Relevante Themengebiete für diese Arbeit . . . . .                   | 9  |
| 3.1  | Business Process Lifecycle . . . . .                                 | 17 |
| 3.2  | Beispiel BPMN Diagramm . . . . .                                     | 20 |
| 3.3  | Beispiel EPK Diagramm . . . . .                                      | 22 |
| 3.4  | Beispiel BPEL (grafisch) . . . . .                                   | 23 |
| 3.5  | Beispiel ADEPT Prozess-Metamodell . . . . .                          | 24 |
| 3.6  | Eigenschaften des Cloud Computing . . . . .                          | 28 |
| 3.7  | Liefermodelle der Cloud . . . . .                                    | 30 |
| 3.8  | Schichtenmodell der Cloud . . . . .                                  | 31 |
| 3.9  | Verantwortlichkeiten in den Servicemodellschichten . . . . .         | 32 |
| 3.10 | Detailansicht der IaaS Schicht . . . . .                             | 33 |
| 3.11 | Detailansicht der PaaS Schicht . . . . .                             | 34 |
| 3.12 | Detailansicht der SaaS Schicht . . . . .                             | 35 |
| 3.13 | Historische Entwicklung des Cloud Computing . . . . .                | 36 |
| 3.14 | Teil des Versandhändler Bestellprozesses . . . . .                   | 40 |
| 3.15 | Versandhändler Bestellprozess in BPMN Notation . . . . .             | 45 |
| 4.1  | Zuordnung Servicemodell zu Prozessmodell . . . . .                   | 49 |
| 4.2  | Prozessmodellierung und -ausführung . . . . .                        | 50 |
| 4.3  | Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Problemstellung 1 . . . . . | 55 |

## Abbildungsverzeichnis

|      |                                                                       |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4  | Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Problemstellung 2 . . . . .  | 56 |
| 4.5  | Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Problemstellung 2b . . . . . | 57 |
| 4.6  | Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Problemstellung 3 . . . . .  | 58 |
| 4.7  | Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Problemstellung 4 . . . . .  | 58 |
| 4.8  | Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Problemstellung 5 . . . . .  | 59 |
| 4.9  | Prozessfragmentierung und Prozessmigration . . . . .                  | 61 |
| 4.10 | Synchronisation im Bestellprozess (Ausschnitt) . . . . .              | 62 |
|      |                                                                       |    |
| 5.1  | Cloud-basiertes BPM Framework . . . . .                               | 69 |
| 5.2  | Aufteilung BPM Komponenten IaaS . . . . .                             | 70 |
| 5.3  | Aufteilung BPM Komponenten PaaS . . . . .                             | 70 |
| 5.4  | Aufteilung BPM Komponenten SaaS . . . . .                             | 71 |
| 5.5  | Heterogene IT-Landschaft . . . . .                                    | 73 |
| 5.6  | Schnittstellen zwischen Cloud und on-premise Systemen . . . . .       | 74 |
| 5.7  | Schnittstelle für den Fehlerfall . . . . .                            | 75 |
| 5.8  | Bestellprozess in drei Teile aufgeteilt . . . . .                     | 82 |
|      |                                                                       |    |
| A.1  | Versandhändler Subprozess - Bestellung prüfen . . . . .               | 95 |
| A.2  | Versandhändler Subprozess - Versand vorbereiten . . . . .             | 96 |
| A.3  | Versandhändler Bestellprozess - Gesamt . . . . .                      | 97 |

# Tabellenverzeichnis

|     |                                                                         |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.1 | Erklärung der Basiselemente einer Cloud-konformen BPM Suite . . . . .   | 6   |
| 3.1 | Rollen im Geschäftsprozessmanagement . . . . .                          | 19  |
| 3.2 | BPM Lebenszyklus anhand eines Beispiels . . . . .                       | 42  |
| 4.1 | Überblick abstrakte Szenarien . . . . .                                 | 54  |
| 4.2 | Bezug der abstrakten Szenarien zum Beispielprozess . . . . .            | 60  |
| 5.1 | Überblick Problemthemen in der Konfigurationsphase . . . . .            | 65  |
| B.1 | Beispiele Dienste und Werkzeuge - Infrastructure as a Service . . . . . | 100 |
| B.2 | Beispiele Dienste und Werkzeuge - Platform as a Service . . . . .       | 102 |
| B.3 | Beispiele Dienste und Werkzeuge - Software as a Service . . . . .       | 103 |
| B.4 | Beispiele Dienste und Werkzeuge - Everything as a Service . . . . .     | 105 |



# 1 Einführung

Im Jahr 1997 beschrieb Steve Jobs auf der World Wide Developers Conference<sup>1</sup> eine Vision, die es ihm ermöglichen sollte, von jedem Ort der Welt auf seine Daten zuzugreifen. Mittlerweile ist diese Vision Realität geworden und Cloud Computing beherrscht die IT- und Technologie-Welt. Das Schlagwort der Stunde, die *Wolkencomputer*, ermöglichen einen weltweiten Zugriff auf die eigenen Daten - vorausgesetzt Internetanschluss und ein internetfähiges Gerät stehen zur Verfügung. Es haben sich zahlreiche Dienste in diesem Umfeld entwickelt. Die Ausprägungen von Cloud Computing in Form von „Everything as a Service“ haben neue Geschäftsmodelle zu Tage gebracht. Und nebenbei profitieren auch alte Geschäftsmodelle vom frischen Wind des Cloud Computing.

Business Process Management ist mittlerweile bei den großen Unternehmen angekommen. Die meisten Top Unternehmen haben verstanden, dass ein effektives Business Process Management (BPM) den Geschäftserfolg erweitern kann [54]. Deshalb analysieren und modellieren sie ihre Schlüsselprozesse, um diese mit Hilfe von automatisierten BPM Systemen zu kontrollieren. Viele kleine bis mittlere Unternehmen sehen zudem in Cloud Computing eine hervorragende Möglichkeit zur Kostensenkung. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass in einer Unternehmensumgebung das Business Process Management in Kombination mit Cloud Computing Potential hat.

Die Industrialisierung der IT Welt in Form von Cloud Computing bringt nicht nur Vorteile. Spezifische Eigenschaften der unterschiedlichen Modelle im Cloud Computing bergen Risiken bei der Umsetzung. Die hohe Komplexität, die internetabhängigen Technologien und die unterschiedlichen Vorgaben in Unternehmen lassen zwangsläufig offene Fragestellungen zurück. Im Fall von Business Process Management sind negative Einflüsse des Cloud Computing deutlich zu erkennen. Diese Master Arbeit soll Aufschluss über die verschiedenen Problembereiche von Cloud-basierten Business Process Management Systemen geben.

---

<sup>1</sup>Konferenz von Apple Inc., welche für die Vorstellung von neuer Software und neuen Technologien genutzt wird (vgl. <http://developer.apple.com/wwdc/>).

## 1.1 Motivation

Das Interesse um das Thema Cloud Computing ist in den letzten Jahren stark gestiegen. In Abbildung 1.1 ist das Schaubild einer Google Trends<sup>2</sup> Abfrage zu sehen. Die Suchbegriffe *Cloud Computing* (blau), *Grid Computing* (rot) und *Virtualization* (orange) zeigen deutliche Unterschiede. Laut der Abbildung begann Ende 2007 die Suche nach Cloud Computing

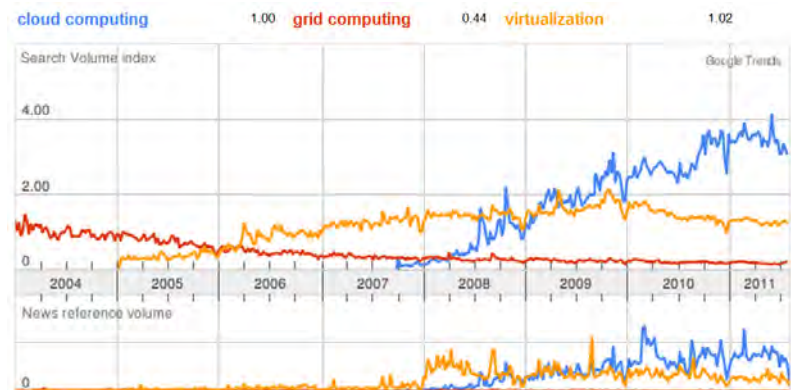


Abbildung 1.1: Google Trends Schaubild Cloud Computing<sup>3</sup>

signifikant zu steigen. Der bisherige Höhepunkt liegt im zweiten Quartal 2011 - dies dürfte mit der CeBIT und dem Schwerpunktthema Cloud Computing korrelieren. Es zeigt deutlich, dass das Interesse an dieser Thematik stark zunimmt.

Gartner Inc., einer der führenden Marktforschungsunternehmen in der Technologie Industrie, sieht das Thema Cloud Computing differenzierter. Abbildung 1.2 zeigt den aktuellen Hype Cycle für neuauftkommende Technologien [33]. Diese Grafiken sollen die gängigen Phasen jeder neuen Technik und Innovation beurteilen und werden in einem Aufmerksamkeits/Zeit Diagramm dargestellt. Man kann daraus ablesen, welchen Reifegrad, wieviel Geschäftsnutzen und wieviel Potenzial in einer Technologie steckt.

Cloud Computing befindet sich laut Gartner immer noch im Bereich „Gipfel der überzogenen Erwartungen“, fällt allerdings schon wieder etwas ab. Übersetzt bedeutet dies, dass Cloud Computing derzeit für viel Medieninteresse sorgt und teilweise unrealistische Erwartungen weckt - es bleibt abzuwarten ob sich genug Erfolge damit einstellen. Dies deckt sich mit Abbildung 1.1, in der weiterhin ein steigendes Interesse für das Thema abzulesen ist.

<sup>2</sup>Google Trends bereitet Daten der hauseigenen Suchmaschine auf und visualisiert welche Suchbegriffe wie oft in Relation zu allen Suchanfragen eingegeben wurden [34].

<sup>3</sup>Abgerufen am 10.08.2011



Der nächste folgerichtige Schritt wäre das „Tal der Enttäuschungen“ - dieser Bereich besagt, dass das Medieninteresse stark abnimmt, weil nicht alle Erwartungen erfüllbar sind. Gartner gibt Cloud Computing den Reifegrad „Early Mainstream“. Das bescheinigt dem Thema eine starke Entwicklungsrichtung in der IT, deutet aber auch auf viele unreife Aspekte hin. Die Branche der Software Firmen besitzt mittlerweile eine (mehr oder weniger ausgereifte) Cloud Strategie und ein „ohrenbetäubender Lärm“ geht einher mit dem Hype um dieses Thema. Gartner möchte, dass die Anbieter ihre Cloud Strategien mehr fokussieren und konkrete Szenarien entwickeln. Auch Road Maps sollen den Weg zu einer Cloud Lösung in der Zukunft aufzeigen, schließlich liegt die Marktdurchdringung erst bei 5% bis 20% [33]. Hinsichtlich von Business Process Management sieht es anders aus. Das Google Trends

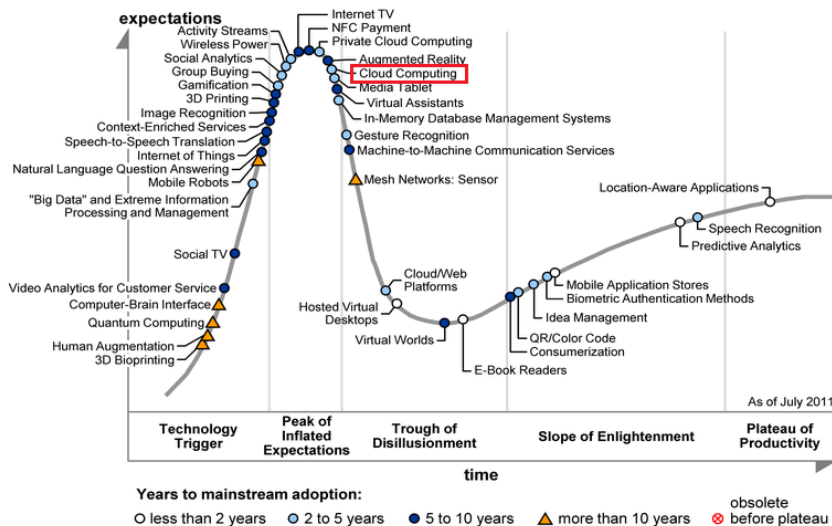


Abbildung 1.2: Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2011<sup>4</sup>

Schaubild (Abbildung 1.3) zeigt seit dem Höhepunkt 2004 eine stetig absteigende Entwicklung der Suchergebnisse an. Dies bedeutet, dass die Relevanz des BPM abnimmt. Allerdings ist das Nachrichten Volumen mit dem Schlagwort *Business Process Management* seit 2008 stark gestiegen und mittlerweile in der Stagnation. Es ist eine gegensätzliche Entwicklung zu erkennen. BPM ist weiterhin ein Thema in den Nachrichten, wird aber immer weniger in der Suchmaschine gesucht.

<sup>4</sup>Entnommen aus [33]

## 1 Einführung

Über die Entwicklung innerhalb des Themengebietes Business Process Management hat

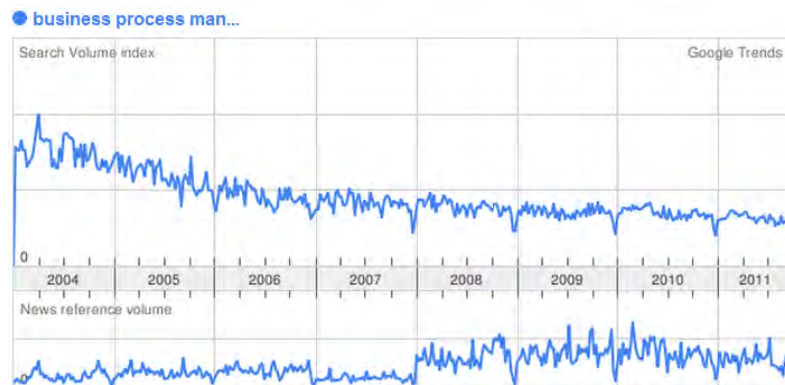


Abbildung 1.3: Google Trends Schaubild BPM<sup>5</sup>

Gartner Inc. einen separaten Hype Cycle veröffentlicht, welcher grafisch in Abbildung 1.4 zu sehen ist. Im Bericht zum Hype Cycle erläutert Gartner, dass BPM eine Kerndisziplin für Geschäftserfolg ist. BPM bietet enorme Vorteile für diesen Geschäftserfolg. Neue Technologien und Entwicklungen zeigen auch, dass BPM weiterhin lebt und in einer gesunden Entwicklung ist [32].

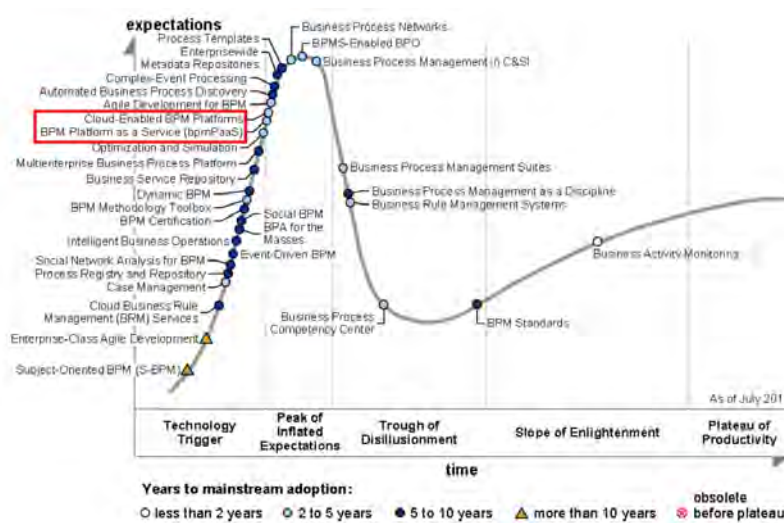
In der Abbildung ist zu erkennen, dass *BPM platform as a service (bpmPaaS)* und *Cloud-enabled BPM platform* am Beginn vom Bereich der „Gipfel der überzogenen Erwartungen“ stehen. Hier gilt dasselbe wie bei Cloud Computing: derzeit erzeugt das Thema viel Medieninteresse und weckt teilweise unrealistische Erwartungen. Gartner spricht von einer Etablierung in der breiten Masse für diese Themen in zwei bis fünf Jahren, und sieht außerdem einen hohen Nutzen darin.

## 1.2 Vision

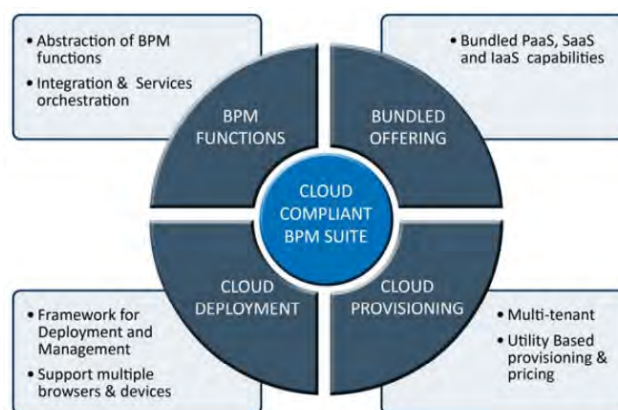
Die Möglichkeiten von Cloud Computing sind groß. Die Automatisierung in diesem Bereich ist fortschreitend. Neue Ideen sind tagtäglich in der Entwicklung. Daneben ist das rechnergestützte Management von Geschäftsprozessen [69] ein spannendes Themenfeld. Es fällt nicht schwer eine Verbindung zwischen diesen Technologien zu suchen. Es ist aufgrund nur

<sup>5</sup>Abgerufen auf <http://www.google.com/trends> am 15.10.2011

<sup>6</sup>Entnommen aus [32]

Abbildung 1.4: Gartner Hype Cycle for Business Process Management, 2011<sup>6</sup>

mit dem Einsatz einer Kreditkarte die Möglichkeit zu haben, auf eine schier unendliche Rechenleistung Zugriff zu erhalten.

Abbildung 1.5: Basiselemente einer Cloud-konformen BPM Suite<sup>7</sup>

Wie könnte eine Verbindung von BPM und Cloud Computing aussehen? Durch den Einsatz von Cloud Computing stehen dem Business Process Management neue Möglichkeiten zur Verbreitung zur Verfügung. Gerade kleinere und mittlere Unternehmen profitieren von Prozessen in der Cloud. Kosten für Infrastruktur und Betrieb sind auf die tatsächliche Nutzung beschränkt. Hohe Investitionen am Beginn sind nicht nötig. Meist lassen sich BPM

<sup>7</sup>Entnommen aus [59]

## 1 Einführung

Projekte in solchen Unternehmen schneller etablieren, da die Realisierung und Umsetzung der Prozesse im BPM System sofort beginnen kann. Eine Cloud Lösung für BPM ermöglicht die verteilte Bearbeitung der Prozesse in einem Unternehmen. Die Logik und das Denken in Prozessen ist in einem BPM System abgebildet. Diese Logik liegt zentral auf Servern in der Wolke.

| Basiselement       | Bedeutung                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| BPM Functions      | Übertragung und Integration der BPM Elemente in die Cloud |
| Cloud Provisioning | Versorgung der Kunden mit der Cloud BPM Suite             |
| Cloud Deployment   | Auslieferung der BPM Funktionen über die Cloud            |
| Bundled Offering   | Nutzung der unterschiedlichen Liefermodelle der Cloud     |

Tabelle 1.1: Erklärung der Basiselemente einer Cloud-konformen BPM Suite

Abbildung 1.5 zeigt die Basiselemente einer Cloud-konformen Business Process Management Umgebung, wie sie Mummigatti sieht [59]. Diese Basiselemente sind in Tabelle 1.1 kurz erklärt. Mummigatti geht davon aus, dass ein Cloud System aus drei Bereichen Vorteile zieht: Ökonomie, Architektur und Strategie. Deshalb muss ein BPM System für die Cloud Eigenschaften besitzen, um Cloud-konform zu sein.

Die stärksten Argumente für Business Process Management in der Cloud sind:

- Bedarfsgerechtes BPM System mit einfacher Verwaltung des Systems
- Ständige Verfügbarkeit
- Sofortige Implementierung und Umsetzung von BPM
- Kostenkontrolle und -senkung

In der Vision sind Cloud Computing und Business Process Management stark verbunden. Durch eine symbiotische Verbindung ergeben sich die genannten Vorteile.

### 1.3 Struktur der Arbeit

Prozesse in der Cloud sind eine konsequente Erweiterung heutiger Möglichkeiten. An diesem Punkt setzt diese Arbeit an. Der sensible Bereich des Geschäftsprozessmanagement benötigt bei der Übertragung in die Cloud mehr Beachtung. Die Zielsetzung zu Beginn liegt zunächst in der Einführung in das breite Themenfeld. Im Zuge dieser Arbeit sollen die Probleme und Herausforderungen von Cloud-basierten Business Process Management Systemen erläutert

werden. Dabei sollen unterschiedliche Bereiche während des BPM Lebenszyklus [60] zur Sprache kommen.

Das Kapitel Zwei dient als Einstieg. Es führt verwandte Arbeiten auf, die für diese Arbeit dienlich sind. Kapitel Drei stellt die Grundlagen des Business Process Management und des Cloud Computing als Basis der Arbeit dar. Das Kapitel behandelt weiter den BPM Lebenszyklus und die verschiedenen Sprachen für die Modellierung der Prozessmodelle. Das Wissen rund um das Thema Cloud Computing ist in einem weiteren Abschnitt dargestellt. Kapitel Vier behandelt die Herausforderungen der Design- und Analyse-Phase. Kapitel Fünf stellt die Probleme in der Konfigurationsphase vor. In Kapitel Sechs ist die Problematik während der Ausführungsphase das Thema. Den Abschluss bildet eine Zusammenfassung und ein Ausblick auf die gesamte Thematik in Kapitel Sieben. Abbildung 1.6 veranschaulicht die Einflüsse der verschiedenen Themen in der Arbeit.

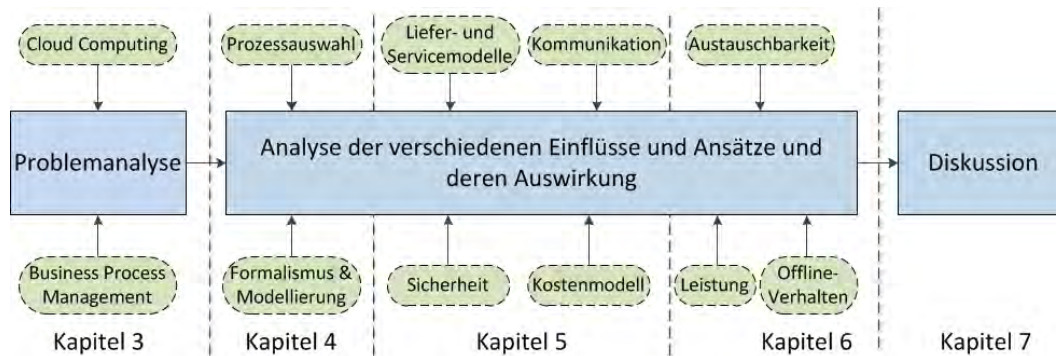


Abbildung 1.6: Übersicht der Arbeit



## 2 Related Work

Das Kapitel beinhaltet Arbeiten, welche als Grundlage für diese Arbeit dienen (siehe Abbildung 2.1). Eine Kategorisierung der thematisch verwandten Themen ist dabei hilfreich. Ausgehend von der Kategorisierung geht dieses Kapitel auf einzelne Arbeiten ein.

Grundlage für die gesamte Arbeit stellt das große Themengebiet Cloud Computing dar. In diesem relativ jungen Gebiet sind bereits bemerkenswerte Forschungsrichtungen entstanden.

Für einen Teil dieser Arbeit ist die Fragmentierung von Prozessmodellen [2, 38] sachlicher Hintergrund. In diesen Arbeiten sind Ansätze und Methoden für die Fragmentierung von Prozessmodellen dargestellt. Die Fragmentierung beinhaltet das Aufteilen von Prozessen in kleinere, ausführbare Teile.



Abbildung 2.1: Relevante und in diese Arbeit eingeflossene Themengebiete

Ein Teil dieser Arbeit basiert auf den Methoden und Kozepte zur Bewertung von Prozessmodellen. Dabei handelt sich um qualitative Aussagen über die Modelle. Dies stellt im Zu-

## 2 Related Work

sammenhang mit der Fragmentierung eine interessante Perspektive in dieser Arbeit dar [53].

**Cloud Computing** Ein guter Überblicks-Artikel für das Themengebiet Cloud Computing stellt die Arbeit von Yang et al. [95] dar. Diese anschauliche Sammlung an wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema Cloud Computing bietet einen umfassenden Überblick. Insgesamt betrachtet die Arbeit 58 Artikel. Yang et al. konnten die Arbeiten in verschiedene Kategorien aufteilen. Dabei kommen sie zum Ergebnis, dass sich die Forschung im Bereich Cloud Computing immer noch mit technischen Herausforderungen (z.B. Datenverwaltung, Netzwerk, Performance) auseinandersetzt. Yang et al. haben zu einem frühen Zeitpunkt ihren Artikel veröffentlicht. Mittlerweile sind sicherlich dutzende Artikel veröffentlicht worden, die in diesem Werk nicht erschienen sind. Eine neuer Überblicks-Artikel für aktuelle Forschungsthemen wäre sinnvoll.

Ähnlich wie Yang et al. stellen Buyya et al. [89] in ihrem Buch eine vielfältige Sammlung an Artikeln zum Thema Cloud Computing zusammen. Das Buch ist in die sechs großen Bereiche *Foundations*, *Infrastructure as a Service*, *Platform and Software as a Service*, *Monitoring and Management*, *Applications* und *Governance and Case Studies* aufgeteilt. In den Bereichen sind viele Artikel zusammengestellt, die Forschungsthemen und Grundlagenwissen näher bringen. Das Buch bietet eine interessante Mischung aus aktuellen Entwicklungen und interessanten Forschungsrichtungen. Auch mit diesem Buch ist ein Gesamtüberblick auf das Thema Cloud Computing möglich.

Baun et al. [15] liefern mit ihrem Buch zu Cloud Computing ein interessantes Werk ab. Es ist ein anschaulich geschriebenes Buch, welches sämtliche Bereiche des Cloud Computing abdecken will. Dabei sind sowohl technische Grundlagen und historische Entwicklungen nachzulesen, wie auch wirtschaftliche Aspekte und konkrete aktuelle Praxisbeispiele. Das Buch ist nicht als tiefgrundiges Werk zu sehen. Vielmehr sollen sämtliche Gruppen von Personen (z.B. Technisch Vertraute, IT-Entscheider, Wirtschaftsexperten, Verwaltungsangestellte usw.) in das Thema eingeführt werden. Das Buch ist in dieser Arbeit intensiv in den Grundlagen verarbeitet. Einzelne Aspekte finden sich als Extrakt wieder.

Foster et al. [31] besprechen in ihrer Arbeit die grundsätzlichen Unterschiede zwischen Cloud Computing und dem sehr verwandten Grid Computing. Ein Rundumblick auf die Unterschiede und Gemeinsamkeiten soll klären, ob Cloud Computing nur ein neuer Begriff für Grid Computing ist, oder ob tatsächlich entscheidende Unterschiede bestehen. Dabei kann dieser Artikel überzeugen und liefert ein genaues Bild darüber, welche Unterschiede bestehen



und welche Entwicklungen zum Cloud Computing geführt haben. Für diese Arbeit konnte der Artikel die scharfe Grenze zwischen Cloud und Grid Computing deutlich machen. Der Artikel besticht durch eine große Rundumsicht und erklärt detaillierte Unterschiede und Gemeinsamkeiten.

All diese Werke sind in diese Arbeit mit eingeflossen, um ein solides Fundament für die Aufgabenstellung zu bieten.

**Prozessaufteilung** Die Fragmentierung von Prozessen ist im Bereich der mobilen Prozessausführung ein wichtiger Bestandteil. Ebenso ist Fragmentierung ein wesentlicher Bestandteil von unternehmensweiten Workflows [13]. Dieser Bestandteil kommt in dieser Arbeit zur Sprache.

Baresi et al. [12] zeigen in ihrem Artikel die Fragmentierung von BPEL Prozessen. Hierfür wird ein Meta Ausführungsmodell entwickelt, welches äquivalent zum Prozessmodell ist. Weiterhin stellen Baresi et al. ein Regelwerk für die Teilung der Prozesse auf. Diese Regeln sind über ein Graphen-Transformationssystem spezifiziert. In der Zukunft soll eine automatische Partitionierung von Workflows stattfinden, um die entstehenden Fragmente auf mobilen Geräten ausführen zu können [12]. Die Fragmentierung von Prozessen ist für die verteilte Ausführung ein Schwerpunkt. Dies ist im Bereich Cloud-basiertes BPM ebenfalls von Bedeutung. Eine Parallele zwischen Fragmentierung für mobile Prozesssysteme und Cloud-basiertem BPM ist sichtbar.

Zaplata et al. [96] besprechen in ihrem Artikel die Möglichkeiten der Prozessfragmentierung und Migration. Dabei bauen sie auf die Erkenntnisse vorheriger Arbeiten auf. Zum Beispiel sehen sie einen ähnlichen Verbreitungsmechanismus in ADEPT. Dort stellt die dynamische Zuweisung von Prozessteilen bei so genannten Ausführungsservern einen wichtigen Punkt dar. Der Austausch der Prozessinstanzen zwischen den Ausführungsservern ist abhängig von den vorherigen Aktivitäten. Im Zentrum von Zaplata et al. [96] ist ebenso der Gedanke der Migration von Prozessinstanzen. Die Idee ist, dass eine laufende Instanz bei Bedarf von einer Prozess Engine zur nächsten übertragbar ist. Sie bedienen sich dabei einem Daten Metamodell, um die Migrationsinformationen unabhängig vom Prozessmodell zu halten. Mittels einer Public Key Infrastructure (PKI) sollen Datensicherheit und Datenschutz in die Prozessmigration eingebunden werden. Die Migration von Prozessen ist eine andere Herangehensweise, wie die Fragmentierung. Das Ziel ist dennoch dasselbe. Und auch dieser Artikel

## 2 Related Work

zeigt Parallelen zum Cloud-basiertem BPM.

**Bewertung von Prozessmodellen** Prozessmodelle lassen sich hinsichtlich ihrer Komplexität oder Qualität bewerten [53, 35]. Für diese Art der Bewertung haben Wissenschaftler bereits Vorarbeit geleistet. Auf Basis dieser Artikel beruht die Idee der feingranularen Kostenmodelle.

Für die Kontrollflüsse in Geschäftsprozessen hat Cardoso [23] ein Berechnungsmodell für die Komplexität entwickelt. Dieses Modell berechnet anhand der verschiedenen *Gateways* Kosten für ein Prozessmodell. Es ist eine gute, strukturierte Methode, um Prozessmodelle auf Basis ihres Kontrollflusses zu bewerten. Wichtig in Bezug auf das feingranulare Kostenmodell ist die Berechnung der Kosten in der Design Phase.

Gruhn et al. [37] beschreiben verschiedene Metriken und stellen ein Werkzeug vor, mit dem Komplexitätsmetriken für Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) [77] gemessen werden können. Sie schlagen vor, sich bei der Berechnung auf wenige Metriken zu beschränken. Am Ende ihrer Arbeit lässt sich aber nicht vollständig klären, welche der beschriebenen Metriken am Besten für den Praxiseinsatz geeignet sind. Dieser Artikel ist ein interessanter Vergleich auf Basis von EPK. Die meisten Artikel beziehen sich nicht auf EPK als Modellierungssprache.

In einer weiteren Arbeit untersuchen Gruhn et al. [36] die Verständlichkeit und Verfechtbarkeit von Prozessmodellen. Sie bauen dabei auf Komplexitätskriterien für Software, die auf Geschäftsprozesse übertragen werden. Ihre Metriken sind unabhängig von der Sprache, da sie auf die Informationen aus dem Kontrollfluss von einer höheren Ebene beruhen. Allerdings ist für die Nutzung in einem Cloud-basiertem BPM System ein gewisses Maß an Anpassung der Metriken für das System notwendig.

Magnani et al. [56] schlagen Erweiterungen in Business Process Model and Notation (BPMN) [63] vor, um die Kosten der Diagramme zu berechnen. Sampath et al. [76] schlagen, aufbauend auf der Arbeit von Magnani et al., eine Berechnung der Kosten auf der Grundlage von Patterns [91] vor. Diese enthalten auch die Faktoren Zuverlässigkeit und die Kosten für eine erfolgreiche Ausführung der Prozesse. Hier ist der Versuch die vorhandenen Prozessmodelle sinnvoll zu erweitern. So soll die Berechnung der Kosten eine zusätzliche Eigenschaft sein.

Aguilar et al. [7, 6] geben dem Leser einen Satz von 46 Basis Messwerten (meist fallen darunter zählbare Elemente in BPMN) und 14 darauf aufbauende Messwerte (zum Beispiel

Konnektivitätslevel zwischen Aktivitäten) an die Hand. Damit lässt sich die strukturelle Komplexität von Prozessmodellen auf konzeptueller Ebene messen. Dies ähnelt der Arbeit von Gruhn et al. [36] und kann als umfangreich angesehen werden. Ein Konfektionieren und Verbinden der verschiedenen Metriken für die Cloud ist notwendig.

**Fazit** Unterschiedliche Themenbereiche und Entwicklungen sind in diese Arbeit eingeflossen. Die Komplexität der vorliegenden Technologien und die Kombination daraus hat einen immens großen Bereich an Literatur erforderlich gemacht.



## 3 Grundlagen

Dieser Abschnitt behandelt die Grundlagen der vorliegenden Arbeit. Es werden im Bereich Cloud Computing alle relevanten Informationen zusammengetragen. Um Klarheit bezüglich des Themas zu schaffen, werden im weiteren Verlauf die Historie und die Entwicklung bis zum aktuellen Stand dargestellt. Ebenfalls wird der zweite Themenbereich Business Process Management mit den wichtigen Gebieten für diese Arbeit besprochen. Eine Analyse des Cloud Computing und seinen impliziten Eigenschaften wie Sicherheit, Performance, Austauschbarkeit usw. in Bezug auf das Business Process Management, wird im Verlauf der Arbeit geklärt.

### 3.1 Business Process Management

In einem Unternehmen setzen sich viele kleine Aufgaben zu einer gemeinsamen Kette von Aufgaben zusammen. Durch die Verbindung von Aufgaben und Aktivitäten entstehen Prozesse. Diese wiederum sind Grundlage für den Erfolg des Unternehmens. Hat ein Unternehmen seine Prozesse im Griff, kann es effektiv und Effizient seine Güter und Dienste produzieren oder anbieten. Mit zunehmenden Wettbewerbsdruck in der globalen Umwelt werden Unternehmen stetig gefordert, die internen Prozesse zu optimieren. Dabei ist zunächst eine Restrukturierung der vorhandenen Prozesse wichtig - das Business Process Redesign. Das Erkennen von aufgeblähten und ineffizienten Prozessen kann am Markt entscheidend sein. Wenn man nach einer Umstrukturierung die Entwicklungs- und Produktionszeiten senken kann, dann kann dies am Ende in einem Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz enden [70].

Längst reicht dieser erste Schritt nicht mehr aus. Selbst in einem einfachen Unternehmen können die Geschäftsprozesse bereits komplexe Gestalt annehmen. Hier hat man längst die Vorteile von prozessorientierten Informationssystemen / Process-aware Information systems (PAIS) erkannt [45]. Ein System im Hintergrund, welches immer weiß, welche Aktivität bei

### 3 Grundlagen

welchem Prozess von wem gestartet werden soll. Mitarbeiter, Ressourcen wie auch heterogene Anwendungs- und Datensysteme müssen in einem solchen System integriert werden - und das am besten nahtlos. In einem PAIS besteht eine integrierte Sicht auf die Prozess- und Applikationsdaten [46, 68]. Die Überführung von Prozessen in ein PAIS ist vielschichtig und unterschiedlich. Harte Verdrahtung der Prozesslogik in das System ist ebenso möglich, wie ein dynamisches Prozessmodell [67]. Letztere Option ist die präferierte Methode. Mit dieser können Änderungen in der Realwelt schneller und flexibler im PAIS umgesetzt werden [70].

Business Process Management oder auch Geschäftsprozessmanagement befasst sich mit sämtlichen Aspekten wie Identifikation, Design, Implementierung, kontinuierliche Verbesserung, Variation [40], Sichten [16], Monitoring [17] und Dokumentation von Geschäftsprozessen. Außerdem spielen Compliance [55] Themen eine immer größere Rolle bei Prozessen. Laut Weske [93] definiert sich BPM wie folgt:

*Business process management includes concepts, methods, and techniques to support the design, administration, configuration, enactment, and analysis of business processes.*

Dies deckt sich mit der Definition von van der Aalst [3]. Business Process Management ist ein ganzheitlicher Managementansatz und bemüht sich die organisatorischen und strategischen Aspekte mit technischen Mitteln zu verbinden. Die Informationstechnologie (IT) deckt demnach nur ein Teil des BPM ab. Neben den technologischen Fortschritten von denen BPM profitiert (zum Beispiel Enterprise Application Integration (EAI) [65], Service-orientierte Architekturen (SOA), Web Services und Standardisierungen wie BPMN und BPEL) [20] wird auch der Bereich der Prozess-Analyse [17] genutzt. Simulation, Validierung und Verifikation, Prozess-Mining [51], Process Performance Management [17], Process Warehouse - all diese Schlagworte finden sich in der Analyse von Prozessen wieder und haben einen entsprechenden Stellenwert [70, 93]. BPM macht sich diesen Bereich zu Nutze, um Prozesse zu optimieren. Auf Basis einer expliziten Repräsentation von Prozessen und Aktivitäten kann die Analyse stattfinden [93].

#### 3.1.1 BPM Lifecycle

BPM basiert auf einem Kreislauf aus kontinuierlicher Anpassung der Prozesse an die Umstände und verschiedenen Faktoren im Unternehmen. In Abbildung 3.1 ist der Lebenszyklus von Geschäftsprozessen abgebildet. Der Lebenszyklus muss nicht strikt wie abgebildet ein-

gehalten werden. Es gibt zwar eine logische Abhängigkeit, allerdings kann im Zuge der Entwicklung das ein oder andere auch parallel ausgeführt werden.

**Design and Analysis** Die Design- und Analyse-Phase steht am Anfang des Zyklus und

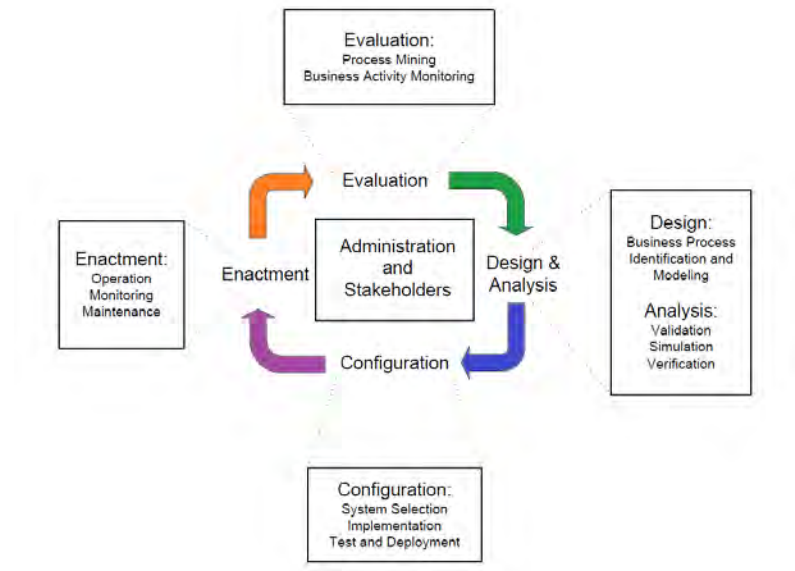


Abbildung 3.1: Business Process Lifecycle<sup>8</sup>

besteht aus den Elementen Identifikation, Modellierung, Validierung, Simulation und Verifizierung. Die Design- und Analyse-Phase ist die Basis für einen funktionierenden Lebenszyklus. Wie kurz in Abschnitt 3.1 erwähnt, steht am Anfang die Modellierung der Prozesse. Dazu müssen diese in Interviews und Umfragen in graphische Pendants überführt werden. Hierfür gibt es Geschäftsprozessmodellierungssprachen (zum Beispiel BPMN oder EPK). Sobald eine erste Version vorhanden ist, wird diese validiert. Dies geschieht üblicherweise in einem Workshop mit Personen, die am Prozess beteiligt sind oder sich damit auskennen. In dieser Diskussion können Feinheiten und Fehler erkannt und behoben werden. Dieser Schritt lässt sich mit einer Simulation unterstützen. Eine Schritt-für-Schritt Ausführung des Prozesses in der Simulation erlaubt eine Untersuchung des Modells. So lassen sich unerwünschte Zustände, Defizite oder auch Deadlocks<sup>9</sup> im Prozessmodell identifizieren. Durch die Verifikation am Ende dieser Phase wird sichergestellt, dass das Prozessmodell tatsächlich den Anforderungen genügt [93].

<sup>8</sup>Entnommen aus [93]

<sup>9</sup>Deadlocks sind Verklemmungen im Prozessmodell. Die Ausführung vom verklemmten Prozess kommt zum Erliegen.

### 3 Grundlagen

**Configuration** Wie Weske [93] beschreibt, nimmt sich die Konfigurationsphase im Zyklus der Implementierung von Prozessen und ihren Modellen an. Vornehmlich handelt es sich dabei um die spätere Ausführung der Prozesse. Generell gibt es dafür verschiedene Möglichkeiten. Zum einen ist es durchaus möglich, dass der Prozess ohne die Hilfe eines Informationssystems ausgeführt wird. Hierzu bedient man sich einer Menge an Regeln und Verfahrensanweisungen für die ausführenden Mitarbeiter. Dadurch kann ein Prozess durch strikte Vorgaben von einer Person durchgeführt werden.

Auf der anderen Seite können laut Weske [93] dedizierte Informationssysteme den Prozess leiten und unterstützen. Mit Hilfe von Business Process Management Systemen können die Prozessmodelle ausgeführt werden. Wichtig ist dabei die Konfiguration der Systeme. Das Business Process Management System (BPMS) muss die mit technischen Informationen aufgewerteten Prozessmodelle ausführen können. Dabei muss sich das BPMS an die vorhandene Infrastruktur anpassen [18]. Eine heterogene IT Landschaft in Unternehmen ist ebenso eine Herausforderung wie monolithische Systeme. Auch ist die Integration der Mitarbeiter in das IT System von Bedeutung [94]. Im Vordergrund steht allerdings die Hürde der Implementierung in die IT Landschaft. Vor allem bei der Unterstützung von flexiblen Geschäftsprozessen, ist eine agile und service-orientierte IT-Infrastruktur nötig [19].

Nach der Implementierungsarbeit muss ein Systemtest folgen. Es lassen sich die üblichen Testmethoden des Software Engineering anwenden, um das Verhalten, die Integration und die Performance zu prüfen [93].

**Enactment** Die Phase der Ausführung behandelt die konkrete Umsetzung der Geschäftsprozesse zur Laufzeit. Die konkrete Instanziierung der Prozesse findet statt. Hierbei behält das BPMS den Überblick über die ablaufenden Prozesse, überwacht die korrekte Ausführung [26] der Instanz anhand des Modells und kontrolliert die Einhaltung der Regeln. Für eine Visualisierung des Ablaufes und zur Kontrolle durch Administratoren enthält das BPMS eine Monitoring Komponente. Mit dieser Komponente ist die Überwachung der Prozesse leichter durchführbar. Bei der Ausführung von Instanzen werden die Statusmeldungen und Events gesammelt. Die Monitoring Komponente wertet diese aus. Die verschiedenen Statusmeldungen der Instanzen sind wertvoll - beispielsweise lässt sich eine Kundenbestellung verfolgen und bei Nachfrage gezielt herausfinden, wie weit der Prozess gerade vorangeschritten ist. Ebenfalls werden bei der Ausführung der Instanzen Log-Dateien geschrieben. Diese beinhalten alle Meldungen und Status der Instanzen [93, 51].



**Evaluation** Um Geschäftsprozesse zu verbessern, ist eine Bewertung wichtig. Hierzu bedient man sich der Ausführungslogs, welche die Prozessengine erstellt. Vordergründig geht es nicht um die technische Ausführung der Prozesse. Buchwald et al. [19] beschreiben das Monitoring als Qualitätssicherung der Unternehmenslandschaft. Die Komponente ist als Business Activity Monitoring (BAM) bekannt. Aus den Log Informationen lassen sich Key Performance Indicators (KPI)<sup>10</sup> herleiten [9]. Ein KPI wäre zum Beispiel die Durchlaufzeit der Prozesse. So lassen sich Engpässe und Probleme in einem Prozess identifizieren.

Ähnlich sieht es bei einer anderen Technik aus - dem Process Mining. Dabei lassen sich die Logs mit Mining Algorithmen durcharbeiten. Daraus lassen sich neue Informationen erzeugen. Ebenso eignen sich Process Mining Algorithmen dazu, einen Prozess aus den Log Dateien zu rekonstruieren (im Fall nicht vorhandener Prozessmodelle) [1, 51].

**Administration and Stakeholders** Allumfassend im Lebenszyklus sind die Organisation und das Management [74]. Die verschiedenen Schichten der BPM Anwendungsfälle beherbergen unterschiedliche Herausforderungen. Weske [93] sieht in dieser Kategorie des Lebenszyklus die Menschen hinter dem BPM System. Die Akteure besitzen jeweils unterschiedliches Wissen, Expertise und Erfahrungen. Diese bringen sie in die Geschäftsprozesse mit ein. Nach Weske lassen sich folgende Rollen klassifizieren, wie Tabelle 3.1 darstellt.

| Rolle                 | Aufgabe                                                                                                 |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chief Process Officer | Verantwortlich für die Standardisierung, Harmonisierung und Evolution der Prozesse [73] im Unternehmen. |
| Business Engineer     | Experten der Geschäftsdomäne und verantwortlich für die strategischen Ziele.                            |
| Process Designer      | Verantwortlich für die Modellierung der Prozesse.                                                       |
| Process Participant   | Konkreter Nutzer der Prozesse während der Ausführung.                                                   |
| Knowledge Worker      | Prozessteilnehmer, welche mit einem Software System Aktivitäten ausführen.                              |
| Process Responsible   | Verantwortlich für die korrekte und effiziente Ausführung eines konkreten Prozesses.                    |
| System Architect      | Verantwortlich für die Konfiguration des BPM Systems.                                                   |
| Developers            | Kreieren der Software Bestandteile für das BPM System.                                                  |

Tabelle 3.1: Rollen im Geschäftsprozessmanagement

All diese Rollen bzw. die Menschen hinter den Rollen müssen eng zusammen arbeiten, um Geschäftsprozesse zu entwerfen und ausführen zu können [93].

<sup>10</sup>Key Performance Indicators sind Metriken, mit dessen Hilfe der Verlauf von Unternehmenszielen gemessen werden kann [9].

#### 3.1.2 Beschreibung von Prozessmodellen

Nach Weske [93] besteht ein Prozess aus einer Reihe von Aktivitäten, die in Koordination in einem organisatorischen und technischen Umfeld ablaufen. Ein Prozessmodell besteht aus Kanten (Verbindungen) und Knotenpunkten (Aktivitäten, Ereignisse und Gateways). Prozessmodelle sind Blaupausen für die Umsetzung von Geschäftsprozessen.

Mittlerweile sind verschiedene Sprachen für das Modellieren von Prozessen vorhanden. Darunter findet sich u.a. ADEPT (Prozess-Metamodell) [86], UML 2.0 Aktivitätsdiagramme, Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK), Business Process Model and Notation (BPMN), Yet Another Workflow Language (YAWL), Workflow-Netze auf Basis von Petri-Netzen und Business Process Execution Language (BPEL).

**Business Process Model and Notation (BPMN)** BPMN ist eine von der Object Management Group und Business Process Management Initiative offiziell standardisierte Prozessmodellierungssprache. Aktuell liegt der Standard in der Version 2.0<sup>11</sup> vor.

Der Schwerpunkt von BPMN liegt in einer grafenbasierten Notation. BPMN ist eine einfach

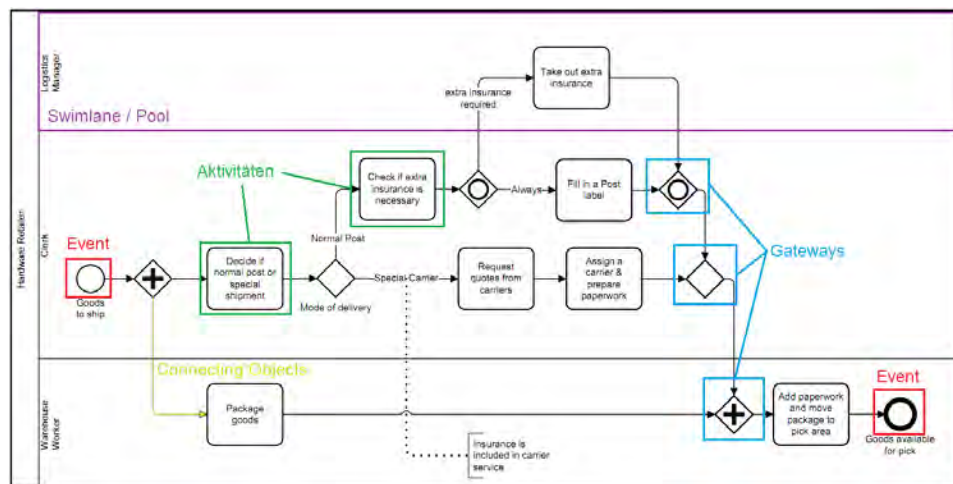


Abbildung 3.2: Beispiel BPMN Diagramm<sup>12</sup>

zu verstehende Sprache, um technische wie auch wirtschaftliche Verständlichkeit in einem Modell darzustellen [63]. Die Diagramme bestehen aus verschiedenen Elementen (sogenannte Flow Objects). Mit diesen lassen sich Aktivitäten, Gateways und Events darstellen. Im Unterschied zu EPK können Organisationsstrukturen in übersichtlichen Pools bzw. Swim-

<sup>11</sup>vgl. BPMN 2.0 [63]

Lanes modelliert werden [43]. BPMN ist kontrollflussbasiert, was durch Connecting Objects realisiert ist. Bereitgestellte Artefakte ermöglichen es, Datenflüsse zu modellieren, hierzu stehen Artefakte bereit. Abbildung 3.2 stellt beispielhaft einige Elemente von BPMN 2.0 dar. Seit Version 2.0 sind neue, wichtige Eigenschaften hinzugekommen [63]:

- XML basiertes Austauschformat für Modelle
- Definition ausführbarer Prozesse
- Neue Event-Typen und -Modi (zum Beispiel Kennzeichnung bei der Mitwirkung von Menschen)
- Modelle für Kollaboration, Choreographie [93] und Konversation
- Workflow Pattern [4] basiertes Mapping zu ausführbaren Prozesssprachen

BPMN ist eine ausdrucksstarke Modellierungssprache, die eine explizite Darstellung von Kontroll- und Datenflüssen erlaubt und ein reichhaltiges Event-Konzept bietet. Schwierigkeiten bereiten der Sprache semantische Fehler (zum Beispiel Deadlocks oder Livelocks) und die hohe Komplexität (zum Beispiel bei großen Message Flows) [28]. Ausserdem können benötigte Ressourcen (zum Beispiel Server, Menschen) nicht modelliert werden.

**Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK)** EPK sind ein Forschungsprojekt der SAP AG und der Universität Saarbrücken, welche 1992 entstanden sind. EPK ist eine wichtige Notation im Bereich Prozessmodellierung [93].

EPK sind in vielen Unternehmen etabliert und ermöglichen eine Prozessdokumentation. Im Umfeld von EPK findet der Begriff des ARIS Haus Verwendung. Dieses Haus beruht auf den drei Säulen *Data*, *Control* und *Functions* [93]. Die EPK basieren auf der Idee, dass Ereignisse Funktionen auslösen. Durch Konnektoren können logische Beziehungen eines Prozesses modelliert werden (in Abbildung 3.3 ist dies beispielhaft dargestellt). Neben der klassischen EPK mit wenigen Symbolen, gibt es eine erweiterte Form (eEPK), bei der die Funktionen mit Ressourcen der Organisations-, Daten- und Leistungssicht detailliert beschrieben werden können [43].

EPK sind weit verbreitet und bieten eine intuitive Möglichkeit, Prozesse zu modellieren. Nachteilig ist, dass EPK kein offizieller Standard sind, dass die Modelle teilweise überfrachtet sein können und dass die Ausführbarkeit nicht vorgesehen ist [70].

---

<sup>12</sup>Entnommen aus [22]

<sup>13</sup>Entnommen aus [43]

### 3 Grundlagen

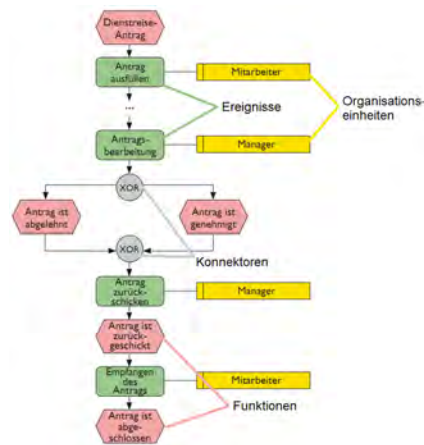


Abbildung 3.3: Beispiel EPK Diagramm<sup>13</sup>

**Business Process Execution Language (BPEL)** Während die zwei vorangegangenen Modellierungssprachen ihren Schwerpunkt auf einer grafischen Darstellung der Prozesse haben, ist BPEL auf die konkrete Ausführung der Prozesse ausgerichtet. BPEL ist offiziell standardisiert und Teil der Web Services Spezifikation, daher auch WS-BPEL. BPEL ist eine blockstrukturierte XML Sprache und ist in der Lage, Prozesse zu modellieren. Aktuell liegt es in der Version 2.0 vor<sup>14</sup>.

BPEL ermöglicht die Orchestration [93] von Web Services für die Erstellung von zusammengesetzten Prozessen. Die Sprache besteht aus Basic Activities (assign, invoke, receive/reply, throw, wait, empty), Structured Activities (sequence, while, switch, flow, pick) und Scopes. Basic Activities beschreiben die Schritte beim Verhalten des Prozesses, während Structured Activities den Kontrollfluss beschreiben. Die Activities lassen sich mittels Scopes zusammenfassen. Dadurch lässt sich eine transaktionale Einheit schaffen, welche als Gruppe bestimmte Handler ausführen kann. Die Spezifikation lässt es zu, BPEL abstrakt oder ausführbar zu modellieren. Im Unterschied zu den abstrakten BPEL Codes, müssen ausführbare Codes vollständig und konform modelliert sein. Normalerweise wird BPEL in Textform dargestellt und nicht wie Abbildung 3.4. Zur besseren Übersicht dient aber eine grafische Umsetzung.

BPEL besitzt eine wohlstrukturierte Syntax und wird von vielen Middleware Herstellern implementiert. Die Übertragung der Prozessmodelle zwischen verschiedenen Werkzeugen ist möglich. BPEL ist nicht sehr anschaulich und übersichtlich, meist verstehen es nur IT-Experten [50].

<sup>14</sup>vgl. WS-BPEL 2.0 <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>

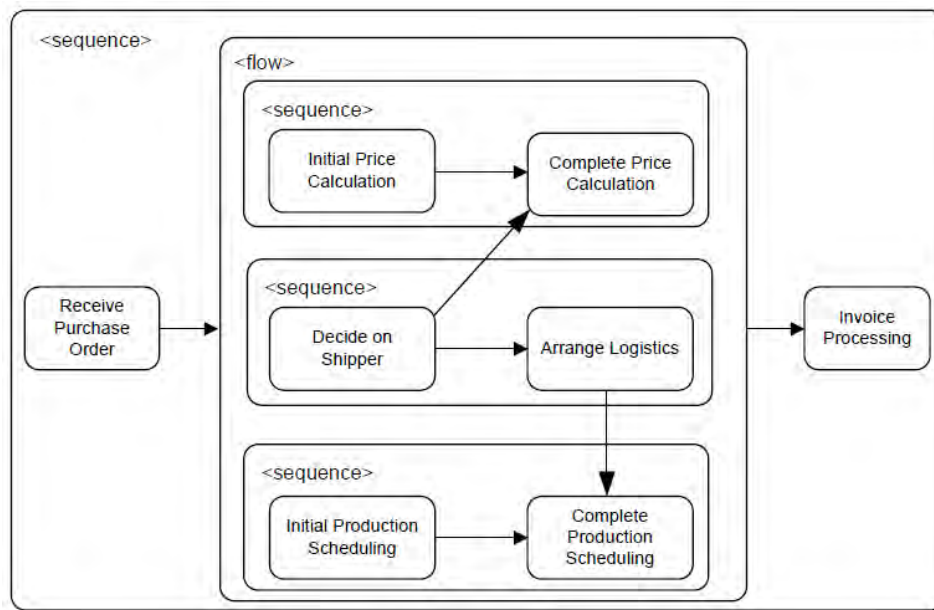


Abbildung 3.4: Beispiel einer BPEL Komposition in einer grafischen Repräsentation<sup>15</sup>

**ADEPT** ADEPT ist eine Sprache zur Beschreibung von Geschäftsprozessen, welche an der Universität Ulm entwickelt wurde [67, 25].

In die Entwicklung von ADEPT sind verschiedene Entwurfsziele in die Definition der Sprache eingeflossen. Die Entwurfsziele des Basismodells sind [67]:

#### Ausdrucksmächtigkeit

Um möglichst viele und breitgestreute Prozesse abbilden zu können, ist eine ausdrucksstarke Sprache nötig.

#### Strukturierbarkeit

Für komplexe und umfangreiche Prozesse ist eine strukturierbare Sprache für die Verständlichkeit von Vorteil.

#### Ausführbarkeit

Eine klare und eindeutige Ausführungssemantik ist wichtig für eine kontrollierbare Durchführung der Prozessinstanzen.

<sup>15</sup>Entnommen aus [93]

### 3 Grundlagen

#### Formalisierbarkeit

Für präzise Aussagen über das Verhalten der Prozessabläufe ist eine Formalisierung nötig.

#### Analysier- und Validierbarkeit

Um ein Workflow und dessen Eigenschaften zu evaluieren, ist eine analysierbare und validierbare Sprache notwendig.

#### Verständlichkeit

Die Sprache sollte nicht nur für Modellierer, sondern auch für Prozessanwender Verständlich sein.

#### Visualisierbarkeit

Anwender können Prozesse leichter erfassen, wenn eine graphische Repräsentation vorliegt.

#### Änderbarkeit

Laufende Instanzen müssen änderbar sein, um Ad-Hoc Änderungen zu integrieren.

#### Erweiterbarkeit

Durch eine Erweiterbarkeit kann das Basismodell sinnvoll zu komplexen Konstrukten entwickelt werden.

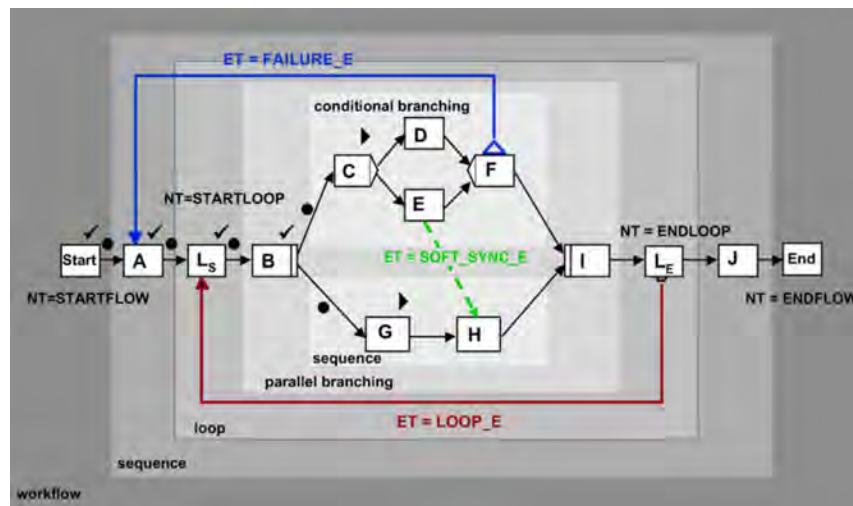


Abbildung 3.5: Beispiel des ADEPT Prozess-Metamodells<sup>16</sup>

<sup>16</sup>Entnommen aus [25]

Mit Hilfe der definierten Entwurfsziele ist eine formale Grundlage zur Beschreibung von Workflows entstanden. ADEPT ist graphenbasiert und enthält symmetrischen Blockstrukturen [67], welche hierarchisch strukturiert sein können. Das ProzessMeta-Modell kann mittels formaler Analysen Fehler im Modell erkennen, bzw. sie zur Modellierzeit ausschließen - eine Überprüfung der Korrektheit ist effizient möglich.

In Abbildung 3.5 sind die Kontrollflusskonstrukte von ADEPT dargestellt. Jeder Block besteht aus genau einem Start- und Endpunkt [67]. Eine Besonderheit stellen die Synchronisationskanten dar, mit denen die Ausdrucksmächtigkeit von ADEPT erhöht wird. ADEPT ist eine sehr ausdrucksstarke und flexible Sprache. Ad-hoc Prozessteile können rasch zur Entscheidung gebracht werden [25].

**Fazit** Die unterschiedlichen Sprachen zur Beschreibung von Geschäftsprozessen haben jeweils ihre Berechtigung. In die Entwicklung einiger Sprachen sind Erkenntnisse aus anderen Sprachen eingeflossen. Es gibt teilweise deutliche Unterschiede zwischen den Sprachen (z.B. bei der Standardisierung, grafische Darstellung, Einsatzzweck oder Komplexität). Auch die Verbreitung in der Praxis ist sehr verschieden. Unter dem Strich kann für jeden Einsatzzweck die richtige Sprache ausgewählt werden.

## 3.2 Cloud Computing

Der Begriff Cloud Computing hat sich in den vergangenen Jahren stark etabliert. Cloud Computing prägt mittlerweile die IT Nachrichtenwelt wie kaum ein anderer Begriff. Seit 2009 ist es einer der Top Trends auf der CeBIT<sup>17</sup>. Dies gipfelte im Jahr 2011 so, dass der Veranstalter der CeBIT Cloud Computing zum Schwerpunktthema machte. Die Nutzung von IT Infrastrukturen auf einfache Art und Weise, scheint der Schlüssel zum Erfolg zu sein. Die Komplexität der Architektur und IT wird bei Cloud Computing vor den Endnutzern verborgen - das ist reizvoll [15].

Der Begriff lässt sich vom Internet ableiten. Frei übersetzt ist mit dem *Wolkenrechnen* nichts anderes als das internetzentrierte Rechnen gemeint. Das Internet an sich wird vorwiegend als Wolke dargestellt, um die Unabhängigkeit und Freiheit dieses Netzwerkes darzustellen. Eine Verbindung ins Internet kann einen beliebigen Weg ans Ziel nehmen. Der Weg durch die vielen dezentralen Stationen und Netze sind einem Nutzer von aussen nicht ersichtlich. Gleichzeitig gibt es eine Vielzahl an Angeboten die, wie eine Wolke, plötzlich im Internet erscheinen (und auch wieder verschwinden).

Cloud Computing ist ein Grund dafür, dass die IT-Branche im Umbruch ist. Die Komplexität der IT zur Unterstützung der Geschäftsprozesse im Unternehmen hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Nicht nur die Anschaffungskosten bei Hard- und Software stellen Entscheider in Unternehmen vor schwierige Entscheidungen, sondern auch die richtige Auswahl und das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten. Cloud Computing kann durch Abstraktion und Verhüllung der Komplexität die IT als Service im Mietmodell anbieten. Anfängliche Investitionen, Kosten für Software und Upgrades sowie Lizenzen oder Wartung, lassen sich durch verbrauchsabhängige Abgaben ersetzen [84, 49].

Cloud Computing ist zu einer Zeit entstanden, als Kapazitäten und IT Ressourcen im Überfluss da waren - aber nicht genutzt wurden. Für Amazon Inc. ist beispielsweise traditionell das Weihnachtsgeschäft die umsatzstärkste Zeit<sup>18</sup>. In den wenigen Wochen vor Weihnachten sind die Server stark ausgelastet. Um die Anfragen und Einkäufe abzuwickeln, muss Amazon viel Geld in eine gut ausgebaute Infrastruktur investieren und Ressourcen vorhalten. Am Ende des Weihnachtsgeschäftes ist diese große Kapazität nicht annähernd nötig, um das Ta-

---

<sup>17</sup>Die CeBIT ist laut eigenen Angaben die weltweit größte Messe zur Darstellung digitaler Lösungen aus der Informations- und Kommunikationstechnik für die Arbeits- und Lebenswelt [27]

<sup>18</sup>vgl. <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=97664&p=irol-reportsOther>



geschäft durchzuführen. Aus dieser Situation ist die Idee entstanden, freie Kapazitäten zu vermieten.

### 3.2.1 Definition

Was Cloud Computing ist, wird häufig unterschiedlich beschrieben [88]. In der Literatur werden zahlreiche Definitionen vorgestellt (u.a. in [11, 42, 31, 29, 85, 88]). Diese unterscheiden sich in Feinheiten und Formulierung. Eine einheitliche und standardisierte Definition ist nicht vorhanden [15].

Die sicherlich am meisten zitierte Definition von Cloud Computing hat das NIST<sup>19</sup> 2009 veröffentlicht und seit dem ständig aktualisiert [62].

In der Definition beschreibt das NIST fünf primäre Eigenschaften, unterteilt Cloud Computing in vier Liefermodelle und beschreibt drei Servicemodelle.

Die vom NIST definierten Eigenschaften des Cloud Computing sind (abgebildet in Abbildung 3.6):

- *On-demand self-service*: Der Nutzer kann sich selbst und automatisch Ressourcen (zum Beispiel Speicher) zu- und abweisen, ohne das Mitwirken von menschlicher Hilfe beim Serviceanbieter.
- *Broad network access*: Ressourcen sind über standardisierte Zugänge im Netzwerk vorhanden und können über heterogene Systeme abgerufen werden (zum Beispiel PC, mobiles Endgerät).
- *Resource pooling*: Ressourcen des Anbieters sind in einem Pool zusammengefasst, die Zuordnung erfolgt dynamisch über ein Multi-Mandanten System - je nach Kundenanfragen.
- *Rapid elasticity*: Die Ressourcen können automatisch oder manuell vom Kunden den Ansprüchen angepasst und skaliert werden. Dem Kunden erscheint die Skalierbarkeit der Ressourcen unlimitiert.
- *Measured Service*: Optimierung, Überwachung, Auswertung und Kontrolle der Ressourcen können automatisch und transparent (für Kunde und Anbieter) durchgeführt werden. Dies erbringt eine messbare Dienstqualität.

---

<sup>19</sup>National Institute of Standards and Technology - eine Bundesbehörde der USA, zuständig für Standardisierung. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ist das deutsche Pendant.

### 3 Grundlagen

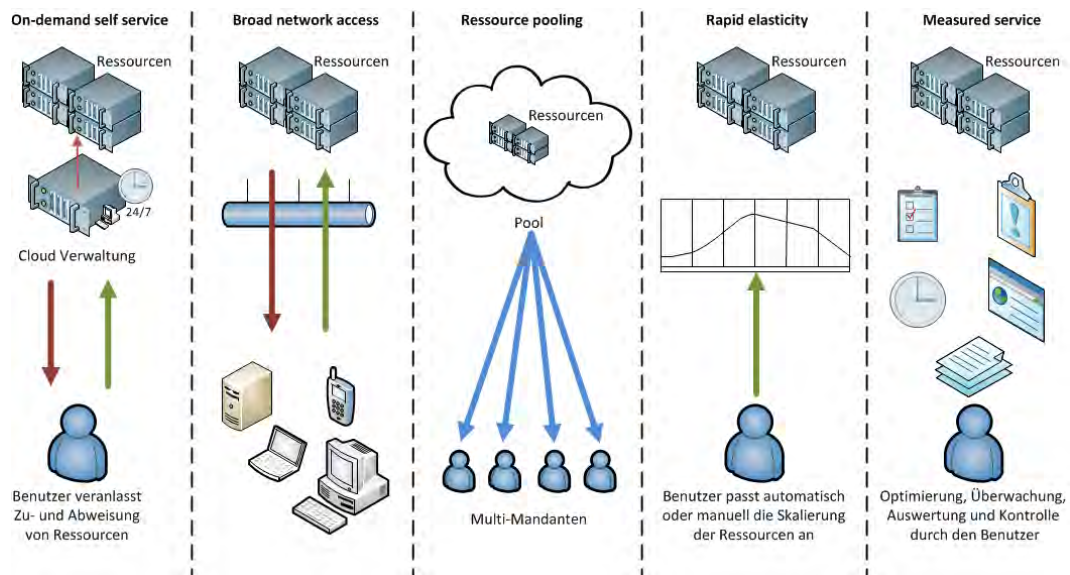


Abbildung 3.6: Grafische Darstellung der Eigenschaften des Cloud Computing

Die Liefermodelle gliedern sich in *Private Cloud*, *Community Cloud*, *Public Cloud* und *Hybrid Cloud* (näheres dazu in Abschnitt 3.2.2). Die vom NIST als Servicemodelle definierten Begriffe sind *Cloud Software as a Service (SaaS)*, *Cloud Platform as a Service (PaaS)* und *Cloud Infrastructure as a Service (IaaS)* (Details in Abschnitt 3.2.3ff).

Das NIST sieht Cloud Computing als ubiquitären und bequemen Weg, um Ressourcen auf Anfrage mit minimalen Aufwand auf Nutzer- und Anbieterseite zur Verfügung zu stellen.

Eine kurze Definition zu Cloud Computing liefern Baun et al. [15]:

*Unter Ausnutzung virtualisierter Rechen- und Speicherressourcen und moderner Web-Technologien stellt Cloud Computing skalierbare, netzwerk-zentrierte, abstrahierte IT-Infrastrukturen, Plattformen und Anwendungen als on-demand Dienste zur Verfügung. Die Abrechnung dieser Dienste erfolgt nutzungsabhängig.*

Baun et al. sehen in Cloud Computing ebenfalls eine einfache Lösung zur Distribution von IT Ressourcen. Sie lassen sich aber nicht festlegen, auf welcher Basis ein Dienst aufgebaut sein muss. Die wirtschaftliche Bedeutung wird hervorgehoben. Dies ist eine Definition, die sicherlich den meisten Konsens unter Experten darstellt. Leymann [49] teilt seine Definition in drei Unterpunkte auf:

- (1) - Details of the resources (e.g. location, device type, software version) are not known (and often even not of interest) to its users,
- (2) - shortage of resources is no longer a concern for users (i.e. resources are available whenever a user wants to access them),
- (3) - payments are due for the actual use of the resources (in contrast to periodic, constant rental fees).

Diese Definition hat den Vorteil, dass sich die Unterpunkte den entsprechenden Technologien und Konzepten hinter Cloud Computing zuordnen lassen: (1) - Virtualisierung, (2) Elastizität / Skalierbarkeit und (3) Utility Computing. Diese Definition steht nicht im Widerspruch zu den bereits genannten Definitionen. Vielmehr stellt diese Definition Cloud Computing auf drei Säulen, mit denen es leicht beschrieben werden kann.

Armbrust et al. [11] sehen in Cloud Computing schlicht und einfach die Verbindung von Software als Dienstleistung und Utility Computing. Eine im Gegensatz zu den oben genannten Definitionen eher schlichte Festlegung. Auf Basis der genannten Definitionen lässt sich Cloud Computing sehr gut beschreiben. Es entsteht ein klares Bild, was Cloud Computing leisten kann.

### 3.2.2 Liefermodelle

Cloud Computing kann aus zwei Perspektiven näher betrachtet werden. In diesem Abschnitt stellen die Liefermodelle die organisatorische Sicht auf Cloud Computing dar. Die Liefermodelle entsprechen nicht den funktionalen Eigenschaften einer Cloud, sondern der Beziehung zwischen Benutzern und Anbietern. Abbildung 3.7 visualisiert die Liefermodelle. Public Clouds sind aus der Sicht eines Unternehmens *off-premise*. Private Clouds hingegen *on-premise*.

On-Premise bedeutet, dass sämtliche Hardware und Ressourcen zum Unternehmen gehören [10]. Off-Premise hat demnach die gegensätzliche Bedeutung. Sämtliche Hardware und Ressourcen sind ausserhalb des Unternehmens angesiedelt und gehören nicht zum Unternehmen.

**Public Cloud** Wie der Name schon suggeriert, sind Angebote aus der Public Cloud öffentlich zugänglich. Organisatorisch bedeutet dies, dass Benutzer und Anbieter nicht derselben Einheit angehören [15]. Der Zugang zu den IT-Ressourcen ist vorwiegend über das

---

<sup>20</sup>Mit Änderungen übernommen von [49]

### 3 Grundlagen

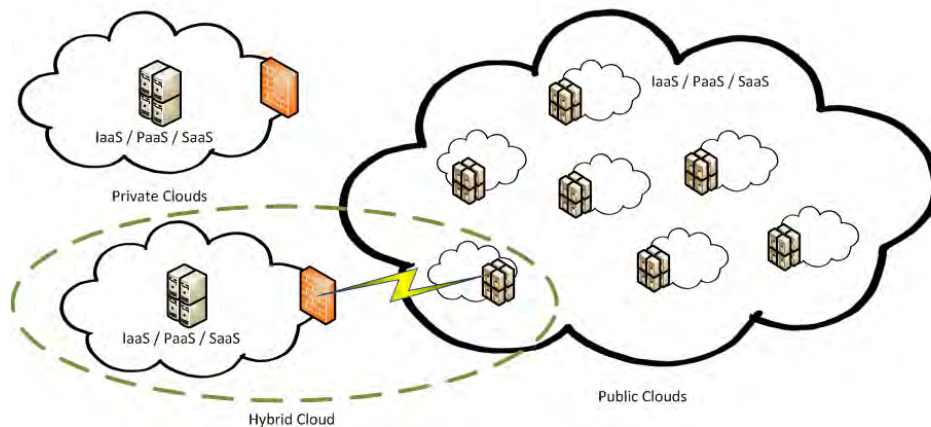


Abbildung 3.7: Liefermodelle der Cloud<sup>20</sup>

Internet möglich. Nutzer können über die Webseiten der Anbieter selbstständig die Leistungsumfänge zusammenstellen. Beahlt wird meist anhand der tatsächlich benutzten Zeit oder nach Menge der verarbeiteten Daten. Die öffentliche Cloud zeichnet sich durch folgende Aspekte aus [81]:

- Offen für Anmeldungen von Jedermann
- Vom Anbieter verwaltet
- Vorgefertigte Dienste
- Sicherheit, Datenschutz, Durchsatz und Verfügbarkeit auf Basis des Internets

**Private Cloud** Die nicht-öffentliche Private Cloud steht nur Benutzern aus derselben organisatorischen Einheit wie dem Anbieter zur Verfügung. Auch hier lassen sich IT-Ressourcen analog zur öffentlichen Variante flexibel anmieten. Organisationen betreiben ihr eigenes Rechenzentrum / ihren eigenen Server. Im Vordergrund dieser Variante stehen Sicherheitsbedenken. Man möchte weiterhin die komplette Kontrolle über die Daten haben und kann dies durch die nicht-öffentliche Realisierung einer Cloud umsetzen. Trotzdem werden gleiche technische Schnittstellen genutzt, um kompatibel zur Public Cloud zu bleiben [15, 62].

Die private Cloud zeichnet sich durch folgende Aspekte aus [81]:

- Nicht-öffentliche Anmeldung von Teilnehmern
- Vom Kunden verwaltet
- Vom Kunden maßgefertigte Dienste
- Sicherheit, Datenschutz, Durchsatz und Verfügbarkeit auf Basis eines privaten Netzwerkes

**Hybrid Cloud** Eine Kombination der Public und Private Cloud ist eine Hybrid Cloud. Hier prallen einerseits Bedürfnisse hinsichtlich Datenschutz und andererseits Skalierbarkeit aufeinander. Eine Abwägung ist erforderlich, welche Daten im öffentlich Cloud Bereich genutzt werden können und welche Daten innerhalb der Organisation bleiben müssen [15, 62]. Die hybride Cloud zeichnet sich durch folgende Aspekte aus:

- Öffentliche und nicht-öffentliche Anmeldung
- Vom Anbieter und vom Kunden verwaltet
- Vorgefertigte und maßgefertigte Dienste
- Sicherheit, Datenschutz, Durchsatz und Verfügbarkeit auf Basis von Internet und privaten Netzwerken

Abbildung 3.7 stellt anschaulich dar, wie sich die Liefermodelle zueinander positionieren.

### 3.2.3 Technische Kategorisierung der Cloud Computing Dienste

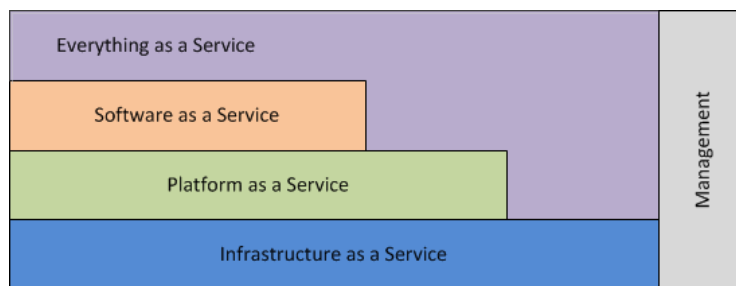


Abbildung 3.8: Schichtenmodell der Cloud<sup>21</sup>

<sup>21</sup>Mit Änderungen übernommen aus [85]

### 3 Grundlagen

Wenn nicht die organisatorische Sicht, sondern die technische Sicht auf Cloud Computing betrachtet wird, dann ist zwangsläufig die dienstorientierte Sichtweise von Bedeutung [48]. Diese (technische) Kategorisierung der Dienste nach ihrer Kompositionsfähigkeit endet in mindestens drei Schichten, die in Abschnitt 3.2.4 bis 3.2.6 beschrieben sind. Darüber hinaus existiert noch eine Schicht, die dem everything-as-a-service-Paradigma folgt (Abschnitt 3.2.7).

Neben diesen Schichten existiert parallel noch eine Managementebene, die über alle Schichten hinweg Planung, Ausführung, Überwachung, Bezahlung und Analyse der Ressourcen ermöglicht [15, 48]. In Abbildung 3.8 ist dieses Schichtenmodell abgebildet, wobei die oberen Schichten die unteren Schichten nutzen können. Dies ist auch nicht strikt auf die nächstgelegene Schicht begrenzt. Über das Schichtenmodell lassen sich die auf den ersten Blick heterogenen Cloud-Angebote kategorisieren. So ist ein Vergleich unter den jeweiligen Angeboten und Technologien möglich. Benutzer sind in den unterschiedlichen Schichten für

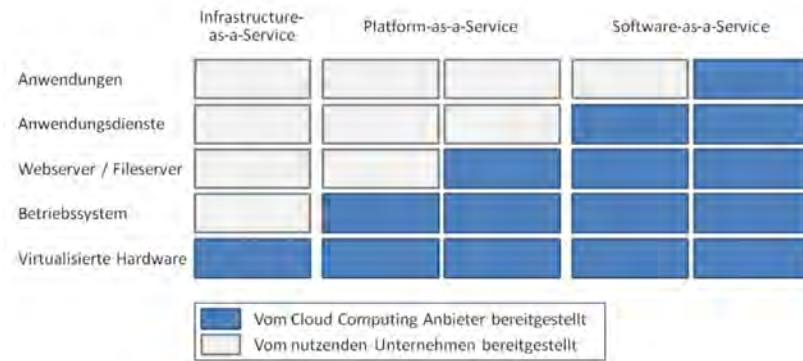


Abbildung 3.9: Verantwortlichkeiten der Benutzer und Anbieter in den verschiedenen Servicemodellschichten<sup>22</sup>

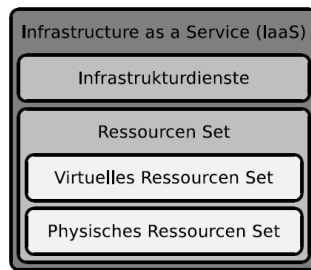
verschiedene Aufgaben verantwortlich. In Abbildung 3.9 sind diese Verantwortlichkeiten für die unterschiedlichen Schichten in kompakter Form dargestellt.

#### 3.2.4 Infrastructure as a Service (IaaS)

Infrastructure as a Service bildet die Grundlage der Servicemodelle [62]. Benutzer finden in dieser Schicht Hardwareressourcen vor, die ihnen abstrahiert bereitstehen. Wie in Abbildung

<sup>22</sup>Entnomme aus [82]

<sup>23</sup>Entnommen aus [15]

Abbildung 3.10: Detailansicht der IaaS Schicht<sup>23</sup>

3.9 dargestellt, ist in dieser Schicht der Anbieter nur für die Hardware zuständig. Den Rest kann der Benutzer frei gestalten. Nach Lenk et al. [48] lässt sich dies in Infrastrukturdienste und Ressourcen Set unterteilen (siehe Abbildung 3.10).

Das Ressourcen Set bietet eine Benutzerschnittstelle, mit dessen Hilfe ein Benutzer selbstständig Ressourcen verwalten kann (zum Beispiel Betriebssysteme starten, stoppen, erstellen und löschen). Typischerweise bieten Anbieter Verwaltungswerkzeuge und Application Programming Interfaces (APIs) für eine komfortable Nutzung an. Eine weitere Unterteilung des Ressourcen Set in die Klasse des Physischen Ressourcen Sets (PRS) und in die Klasse des Virtuellen Ressourcen Set (VRS), wird ebenfalls von Lenk et al. vorgeschlagen. VRS basiert auf Virtualisierungstechnologien (zum Beispiel XEN<sup>24</sup>), während PRS proprietäre Hardware nutzt, von der es abhängig ist [15].

Infrastrukturdienste sind im Gegensatz zum Ressourcen Set speziell auf Anwendungen fokussiert. Hier findet man Anbieter von ganzen Plattformen (zum Beispiel Amazon EC2, GoGrid) oder Anbieter für die dienstbasierte Bereitstellung von Ressourcen, wie Speicher (zum Beispiel Amazon S3, Dropbox), Rechenkapazität (Hadoop MapReduce, Flexiant) oder Netzwerken (OpenFlow) [85].

Eine Zusammenstellung von Angeboten innerhalb der IaaS-Schicht befindet sich in Abschnitt 3.2.9 Tabelle B.1.

<sup>24</sup>Ein Virtual Machine Monitor (VMM) bzw. Hypervisor, welcher den Betrieb von virtuellen Maschinen auf einem physikalischen Computer ermöglicht.

### 3.2.5 Platform as a Service (PaaS)

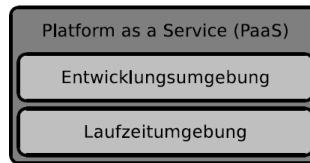


Abbildung 3.11: Detailansicht der PaaS Schicht<sup>25</sup>

Die PaaS-Schicht bietet Dienste für Entwicklungs- und Laufzeitumgebungen an. So lässt sich auch diese Schicht in diese zwei Klassen aufteilen (siehe Abbildung 3.11). Vorrangig werden Entwickler mit Angeboten aus dieser Schicht angesprochen. Ziel ist die Entwicklung von Anwendungen auf eine mühelose Art und Weise, meist durch visuelle Werkzeugunterstützung. Abbildung 3.9 zeigt, dass in der PaaS-Schicht der Anbieter für die Hardware, das Betriebssystem und teilweise für die Middleware zuständig ist. Anwendungen kann der Benutzer frei gestalten.

Die Entwicklungsumgebungen dienen dazu, Software durch Erweiterung einer jeweiligen Programmiersprache zu entwickeln (zum Beispiel zusätzliche Klassenbibliotheken). Losgekoppelt von der Entwicklung werden diese dann in einer Laufzeitumgebung ausgeführt. Die Laufzeitumgebungen in der Cloud lassen ebenfalls bestimmte Programmiersprachen (zum Beispiel .NET, Python, oder Java) zu. Die entwickelte (webbasierte) Software kann dann mit diversen APIs über eine Plattform verfügbar gemacht werden (zum Beispiel Google AppScale, Windows Azure) [15, 85].

Eine Zusammenstellung von Angeboten innerhalb der PaaS-Schicht befindet sich in Abschnitt 3.2.9 Tabelle B.2.

### 3.2.6 Software as a Service (SaaS)

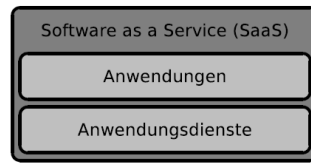
Komplette Anwendungen in der Cloud für den Endbenutzer können durch die SaaS-Schicht beschrieben werden. Meist sind diese Anwendungen kaum anpassbar bzw. konfigurierbar. Es entfällt eine Installation auf der lokalen Seite des Anwenders. Der Unterschied zwischen Desktop- und diesen Webanwendungen ist nicht mehr eindeutig bestimmbar. Man spricht auch von Rich Internet Applications (RIAs) [85, 47].

---

<sup>25</sup>Entnommen aus [15]

<sup>26</sup>Entnommen aus [15]



Abbildung 3.12: Detailansicht der SaaS Schicht<sup>26</sup>

Auch hier lässt sich die Schicht in Klassen aufteilen, wie Abbildung 3.12 zeigt. Der Bereich der Anwendungsdienste stellt jeweils abgeschlossene einfache Anwendungen für den Benutzer zur Verfügung. Diese können sofort genutzt werden (zum Beispiel Google Maps). Weitere Verknüpfungen dieser Dienste oder Komponenten (zum Beispiel OpenSocial, OpenID) sind möglich. Hieraus ergeben sich neue Möglichkeiten. Die daraus entstandenen flexibel zu programmierenden Web Mashups [44] können eine Vielzahl an unterschiedlichen Anwendungsdiensten nutzen [15].

Die andere Klasse besteht aus Anwendungen. Anwendungen zeichnen sich durch deutlich größeren Funktionsumfang aus. Diese Anwendungen werden vom Endbenutzer oft als RIA wahrgenommen (zum Beispiel Google Docs). In Abbildung 3.9 wird visualisiert, wie die Verantwortlichkeiten in der SaaS-Schicht aussehen. Der Benutzer hat nur eingeschränkte Möglichkeiten, die Software anzupassen. Den Großteil der Einstellungen nimmt der Anbieter vor.

Eine Zusammenstellung von Angeboten innerhalb der SaaS-Schicht befindet sich in Abschnitt 3.2.9 Tabelle B.3.

### 3.2.7 Weitere technische Kategorisierungsmöglichkeiten

Das Everything as a Service Paradigma enthält, wie der Name schon vermuten lässt, nicht nur die bewährten Kategorisierungen. Denkbar sind eine Vielzahl von weiteren Diensten. Diese bieten gesonderte Leistungen, wie zum Beispiel:

- *Humans as a Service (HuaaS)*: Cloud Computing befasst sich nicht nur mit technischen Herausforderungen. Der Mensch wird mit einbezogen. In der HuaaS Schicht wird die Ressource Mensch als Dienst zur Verfügung gestellt. Hier bedient man sich der überlegenen Fähigkeiten des Menschen gegenüber eines Computers in bestimmten Bereichen [15]. Dazu zählen nach wie vor Bilderkennung, Übersetzung, Kreativität bzw. Design

### 3 Grundlagen

und andere. Solche mehr oder wenigen komplexen Aufgaben werden auf Marktplätzen angeboten. HuaaS ist auch als Crowdsourcing bekannt [15].

- *High Performance Computing as a Service (HPCaaS)*: Beim HPCaaS bietet man Hochleistungsrechenleistung an. Diese spezialisierten Dienste optimieren Datendurchsätze und sorgen für niedrige Latenzen zwischen den Ressourcen. Die Arbeitsleistung und Effizienz wird stark optimiert [15].
- *Business-Process as a Service (BPaaS)*: Die Business Process Outsourcing (BPO) Variante in der Cloud nennt sich BPaaS. Geschäftsprozesse können als IT-Ressource in der Cloud angeboten werden. Hier hat sich eine Grauzone gebildet. BPaaS befasst sich mit der Auslagerung von ganzen Geschäftsprozessen im Sinne von BPO zu externen Anbietern.

Meistens handelt es sich bei der weitergehenden Kategorisierung des Servicemodells um eine Spezialform. Hier lässt sich durchaus von einer cloud-initiierten Modifikation bereits vorhandener Dienste sprechen.

Eine Zusammenstellung von Angeboten befindet sich in Abschnitt 3.2.9 Tabelle B.4.

#### 3.2.8 Abgrenzung zu anderen Technologien

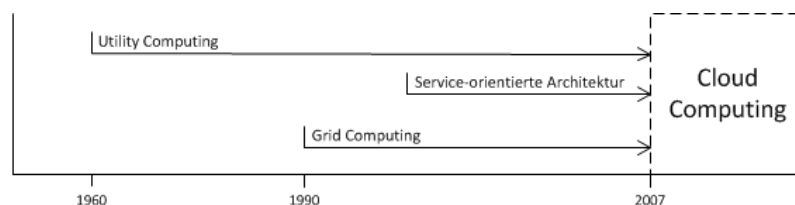


Abbildung 3.13: Historische Entwicklung des Cloud Computing

Folgende Frage taucht im Themenkomplex Cloud Computing immer wieder auf: Ist Cloud Computing ein neuer Begriff für eine etablierte Technik?

Die Informationstechnik ist eine schnelllebige Branche, die sich ständig mit neuen Herausforderungen konfrontiert sieht. Im Zuge dessen entstehen neue Lösungen und neue Ideen. Man hat das Gefühl, die IT erfindet sich alle paar Jahre neu. Kein Wunder also, wenn einem neue Technologien bekannt vorkommen.

*Die Cloud entsteht nicht über Nacht,  
das ist eine Evolution, keine Revolution [...]*<sup>27</sup>.

Um die Eingangsfrage zu klären, und somit auch die Abgrenzung zu anderen Technologien zu ziehen, ist ein Blick auf die Historie nötig. Abbildung 3.13 zeigt die evolutionäre Entwicklung des Cloud Computing grafisch.

Die Definitionen in Abschnitt 3.2.1 geben bereits einen guten Überblick darüber, was Cloud Computing ist. Zum einen erkennt man in den Definitionen Teile des Grid Computing, zum anderen stecken in Cloud Computing auch viele Erkenntnisse des Utility Computing.

**Grid Computing** Hierbei handelt es sich um eine bewährte und etablierte Technik. Grid Computing wird zum großen Teil in der Wissenschaft genutzt. Grid Computing entstand im Umfeld des High Performance Computing (HPC). Zu diesem Thema gehören ebenfalls Supercomputer. Rechenstarke Einzelrechner, die eine sehr hohe Verarbeitungs- und Rechenleistung bereitstellen [5]. Ebenso gehören Computer Cluster zum HPC. Diese bieten über ein Netzwerk von Computern die parallele Lösung von Teilaufgaben an [14].

Grid Computing geht einen weiteren Schritt: Die Rechenleistung im High Performance Computing durch Supercomputer und Cluster ist nur lokal zu erreichen. Grid Computing sorgt für eine globale gemeinschaftliche Nutzung der Ressourcen [30]. Anbieter der Ressourcen sind verteilt, es ist keine zentrale Steuerung vorhanden. Gleichwohl ist eine gemeinsame Koordination und Problemlösung vorgesehen. Als Beispiel sei hier die Deutsche Grid Initiative<sup>28</sup> genannt.

Die Entwicklung vom Grid Computing zum Cloud Computing ist letztlich nur eine Verschiebung der Ziele. Grid Computing hat das Ziel die Infrastruktur (zum Beispiel Speicher, Rechenleistung) zur Verfügung zu stellen. Der Wandel zu einer ökonomischen Ausrichtung um abstrakte Dienste und Ressourcen anzubieten, und somit zum Cloud Computing, kann als Evolution bezeichnet werden [31].

**Utility Computing** Dies ist der andere Einfluss auf das heutige Cloud Computing. Ein Geschäftsmodell auf Basis eines Mietgeschäftes. Wie schon im ersten Kapitel erwähnt, gab es bereits in den 60er Jahren die Idee, Ressourcen als öffentliche Versorgung anzubieten und zu vermarkten. Nichts anderes ist das Utility Computing. Man berechnet einem Kunden also nur das, was er beim Serviceanbieter gestellt bekommt. Der große Vorteil liegt in der Wirtschaftlichkeit. Kunden bezahlen nur, was sie verbrauchen - und müssen keine

<sup>27</sup>Zitat Martin Jetter (Ehemaliger Geschäftsführer IBM Deutschland)

<sup>28</sup>vgl. <http://www.d-grid.de>

### 3 Grundlagen

Leistung vorhalten. Serviceanbieter können ihre Infrastruktur besser auslasten und somit effizienter arbeiten. Da es sich nicht um ein neues technologisches Paradigma handelt, wird es normalerweise mit anderen Technologien umgesetzt (zum Beispiel mit Grids). Die Idee des Utility Computing hat sich ebenfalls durch evolutionäre Vorgänge in die Richtung des Cloud Computing entwickelt [31].

Wie sieht der Unterschied zwischen Grid, Utility und Cloud Computing genau aus? IBM [61] sieht Cloud Computing als konsequentes Ergebnis aus der Entwicklung vom verteilten Rechnen zum Grid Computing, angereichert mit den Entwicklungen von Utility Computing und Pay-as-you-go-Modellen. Größere Datenmengen, die Analyse [79] davon und der vermehrte Bedarf an Rechenleistung haben dies begünstigt. Träge Grids mit teils hohen operativen Kosten können nun durch spontane kostengünstige Clouds abgelöst werden.

**Service Oriented Computing** Die vorhin angesprochene Dienstorientierung als Teil der Evolution vom Grid Computing zum Cloud Computing ist den Service-orientierte Architekturen (SOA) zu verdanken. Sie sind ebenfalls fundamental für das Cloud Computing. Eine SOA ist ein Architekturstil. Darunter versteht man die Modellierung und Ausführung von Services und Kapselung von Funktionalitäten in Services [15, 19]. Typischerweise ist eine SOA aus verteilten Komponenten (Diensten) zusammengesetzt. Diese werden von Nutzern konsumiert und von Anbietern bereitgestellt. Vorgesehen ist eine Nutzung über heterogene Systeme hinweg. Dynamik in einer SOA wird durch lose Kopplung realisiert. Gängige Umsetzungen einer SOA basieren auf Web Services mit Hilfe von Web Service Description Language (WSDL) und Simple Object Access Protocol (SOAP), sowie RESTful Services [15]. Cloud Computing bietet Ressourcen / verteiltes Rechnen als gekapselte Einheiten (Dienste) an, während eine SOA angebotene Dienste nutzt, um Ressourcen / verteiltes Rechnen zu erschaffen [92].

#### 3.2.9 Anwendungsgebiete

Die allgemeine Akzeptanz von Cloud Computing im Enterprise Bereich hält sich bisher in Grenzen. Obwohl Hersteller von Cloud Computing mit Kosteneinsparung und Vereinfachung in der IT werben, sind Unternehmer und Entscheidungsträger bisher unbeeindruckt. In einer aktuellen Studie einer großen Unternehmensberatung [90] wurden mehr als 350 mittelständische Unternehmen in Deutschland zum Themengebiet Cloud Computing befragt. Demnach nutzen aktuell 12% der Befragten Unternehmen Cloud Computing - 87% der Unternehmen nutzen es nicht. Es ist deutlich Potential vorhanden, wenn nicht die wahrgenommenen

Risiken wären. Nur 12% der befragten, die Cloud-Services nicht nutzen, wollen es einführen. Fehlende Vorteile und Sicherheitsbedenken sind die Hauptargumente gegen das Cloud Computing.

Vornehmlich (zu 66%) wird SaaS genutzt. Danach folgen mit 42% IaaS und mit 37% PaaS. Interessanterweise wird BPaaS bereits von 24% der Unternehmen genutzt. Es lässt sich also feststellen, dass Software aus der Cloud deutlich öfter genutzt wird, als die anderen Servicemodelle. Wenn SaaS genutzt wird, dann hauptsächlich in Form von E-Mail, WebKonferenzen, Kollaborationsmöglichkeiten und Security Anwendungen (zum Beispiel Anti-Spam). Die Studie [90] kommt zu dem Schluß, dass es noch Zurückhaltung und Vorbehalte gibt. Es ist aber durchaus so, dass die jetzigen Nutzer bereits guter Erfahrungen mit Cloud Computing gemacht haben.

In einer anderen Umfrage [41], durchgeführt vom Handelsblatt, sind sämtliche DAX Konzerne zum Thema Nutzung von Cloud Computing befragt worden. Der überwiegende Teil der Konzerne nutzt bereits seit einigen Jahren Cloud Computing. Meist werden Konzepte auf interner bzw. Private Cloud Basis verfolgt. Auch hier sind SaaS Modelle die am meisten genutzte Form des Cloud Computing. Cloud-Infrastruktur-Dienste nutzt man weniger - hier ist bei kleineren Firmen mehr Potential vorhanden. Die Umfrage zeigt, dass Cloud Computing nicht nur für kleine bis mittlere Unternehmen attraktiv ist. Allerdings sind die großen Konzerne in der Lage, eigene Private Cloud Konzepte zu stemmen und umzusetzen.

**Fazit** Cloud Computing ist eine sehr stark propagierte Technologie. Es bietet enorme Chancen, aber auch Risiken. Mittlerweile deckt das Cloud Computing Paradigma mit seinen verschiedenen Service- und Liefermodellen ein breites Spektrum an Anwendungen ab. Das Thema Cloud Computing wird mittlerweile von Herstellern aller Art abgedeckt. In den Tabellen B.1, B.2, B.3 und B.4 im Anhang sind beispielhaft Dienste für die verschiedenen Servicemodelle aufgelistet. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Dazu ändert sich die Branche zu schnell. Neue Firmen und Dienste sprießen aus dem Boden und verschwinden oftmals genauso schnell, wie sie gekommen sind.

Business Process Management ist wie Cloud Computing eine sehr stark propagierte Technologie. Geschäftsprozesse lassen sich damit abbilden, verwalten, ausführen und kontrollieren. Die IT-Unterstützung bringt dabei massive Vorteile. Der Geschäftserfolg lässt sich damit steigern. Dennoch gibt es nicht nur Vorteile, auch Risiken sind vorhanden.

### 3.3 Beispielprozess

BPM ist mittlerweile bei den großen Unternehmen angekommen. Die meisten Top Unternehmen haben verstanden, dass ein effektives BPM den Geschäftserfolg erweitern kann. Deshalb analysieren und modellieren sie ihre Schlüsselprozesse, um diese mit Hilfe von automatisierten BPM Systemen zu kontrollieren [58].

Bei der Überführung eines BPM Systems in die Cloud lassen sich an verschiedenen Stellen Herausforderungen finden. Diese Probleme lassen sich am Besten an einem konkreten Beispiel erläutern. Hierzu dient ein fiktives Beispiel. Der Beginn des Beispielprozess ist in Abbildung 3.14 zu finden (der komplette Prozess ist in Anhang 3.15 abgebildet).

Für das Szenario wird ein fiktives Unternehmen aus dem Mittelstand ausgewählt. Das Un-

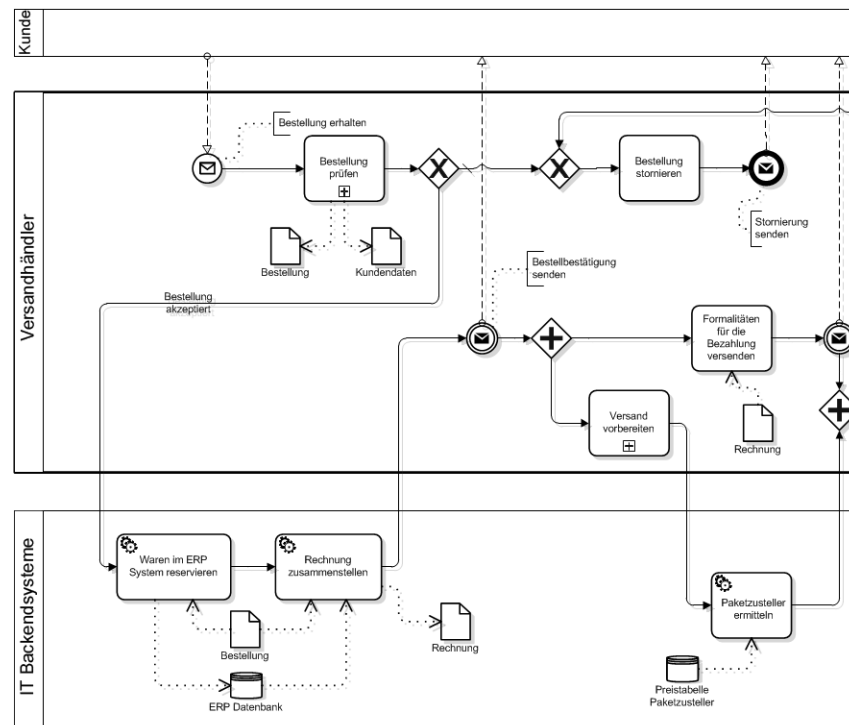


Abbildung 3.14: Ein Teil des Versandhändler Bestellprozess in BPMN Notation

ternehmen hat sich auf den Versandhandel von Waren spezialisiert. Aufträge nimmt das Unternehmen über verschiedene Kommunikationswege entgegen.

Um die Analyse zu unterstützen, wird exemplarisch der Bestellprozess dieses Unternehmens dargestellt. Dieser Prozess beinhaltet die Annahme der Bestellung, die Prüfung sowie die weitere Abwicklung (Rechnungserstellung, Versand). Die Vorgehensweise in diesem Prozess sieht wie folgt aus: Der Prozess beginnt mit dem Eingang der Bestellung. Dazu verschickt der Kunde über einen der möglichen Vertriebswege (Internet, Telefon oder Post) seine Bestellung und seine Kundendaten. Als nächstes muss diese Bestellung geprüft werden. Hierzu wird der Subprozess *Bestellung prüfen* ausgeführt. Dieser Subprozess führt zunächst eine Abfrage über den Bestellwert aus. Bei einem Bestellwert größer als 10.000 Euro, ist eine Eskalation an den nächst höheren Verantwortlichen notwendig. Dieser muss im Prozessschritt *Genehmigung prüfen* die Bestellung freigeben oder unterbinden.

Im weiteren Verlauf werden automatisierte Aktivitäten parallel ausgeführt. Diese Prozessschritte fragen Daten aus externen und internen Datenbeständen ab. Dazu gehören die Schritte *Kundendaten bei der SCHUFA abfragen*, *Verfügbarkeit im ERP System prüfen* und *Kundendaten im CRM System abfragen*. Danach wird die Aktivität *Bestellung analysieren* durchgeführt. In diesem Schritt soll anhand der gewonnen Daten die Entscheidung getroffen werden, ob die Bestellung durchgeführt wird oder nicht. Am Ende dieses Subprozesses steht die Entscheidung fest. Entweder wird die Bestellung storniert und eine entsprechende Meldung geht an den Kunden zurück. Oder die Bestellung wird akzeptiert und weitergeführt.

Bei einer positiven Entscheidung ist im Prozessmodell als nächste Aktivität *Waren im ERP System reservieren* vorgesehen. Hierzu werden wieder automatisiert im IT Backendsystem Abfragen und Änderungen durchgeführt. Genau wie im nächsten Schritt *Rechnung zusammenstellen*, an dessen Ende die Rechnung erstellt wird. Der Kunde bekommt nun eine Bestellbestätigung zugesandt.

Im weiteren Verlauf des Prozessmodells werden Aktivitäten parallel ausgeführt. Die Aktivität *Formalitäten für die Bezahlung versenden*, versendet am Ende die Bezahlinformationen. Der Versandhändler lässt gleichzeitig die Prozessschritte *Versand vorbereiten* und *Paketzusteller ermitteln* durchführen, um nach der Bezahlung direkt die Ware verschicken zu können.

Der Subprozess *Versand vorbereiten* beginnt mit der Aktivität *Waren aus dem Lager holen*. Danach folgen die Adhoc-Prozessschritte *Lieferschein drucken*, *Rechnung drucken*, *Paketgröße berechnen* und *Gewicht der Produkte ermitteln*. Hier lässt das Unternehmen den Mitarbeitern freie Wahl bei der Gestaltung des Prozesses. Darauf folgend sind die Aktivitäten *Produkte verpacken* und *Paket bereitstellen*, wieder in fester Reihenfolge vorgegeben. An dieser Stelle endet der Subprozess.

### 3 Grundlagen

Im nächsten Schritt lässt das Unternehmen täglich (morgens und abends) den *Zahlungseingang prüfen*. Dies geschieht automatisch. Nach fünf Tagen ohne Eingang der Bezahlung folgt der Schritt *Kunde an Zahlung erinnern* und eine Erinnerung wird gesendet. Nach zwei erfolglosen Erinnerungen wird ein Abbruch ausgelöst, der im weiteren Verlauf nach dem Prozessschritt *Bestellung stornieren* endet.

Eine eingegangene Zahlung löst die Aktivität *Zahlung erhalten und bestätigen* aus. Daraufhin können die Prozessaktivitäten *Paket an Paketzusteller übergeben*, *Versandbestätigung erstellen* und *Bestellung in Systeme archivieren* ausgeführt werden. Der gesamte Prozess endet mit der Versendung der Versandbestätigung an den Kunden.

#### 3.3.1 Der Beispielprozess im BPM Lebenszyklus

Um exemplarisch den Lebenszyklus eines Prozesses darzustellen, soll in diesem Abschnitt der Beispielprozess Schritt für Schritt anhand des BPM Lebenszyklus (Abbildung 3.1) durchdacht werden.

Für diesen Zweck sind in Tabelle 3.2 die BPM Zyklusschritte und dessen Bedeutung für den Beispielprozess dargestellt.

Tabelle 3.2: BPM Lebenszyklus anhand eines Beispiels

| Zyklusphase         | Schritt        | Bedeutung für den Prozess                                                                                                                                                      |
|---------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Design- und Analyse | Identifikation | Der Prozess des Versandhändlers wird analysiert. Dabei kommen alle Informationen der Prozessbeteiligten (z.B. vom Versandhändler, von Mitarbeitern oder Lieferanten) zusammen. |
|                     | Modellierung   | Experten modellieren ein neues Modell des Bestellprozesses in einer Prozessbeschreibungssprache. Dabei greifen sie auf die Erkenntnisse aus der Identifikation zurück.         |
|                     | Validierung    | Das fertige Modell wird von den Beteiligten des Bestellprozesses überprüft - eventuell bringen sie Änderungen mit ein.                                                         |



Tabelle 3.2: BPM Lebenszyklus anhand eines Beispiels

| Zyklusphase   | Schritt                      | Bedeutung für den Prozess                                                                                                                                                    |
|---------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | Simulation                   | Zu Simulationszwecken spielen alle Beteiligten den Bestellprozess (Aufnahme, Bezahlung, Versand) durch, um Schwachstellen zu erkennen.                                       |
|               | Verifizierung                | Die Ergebnisse der Simulation kommen bei der Verifizierung zum Tragen.                                                                                                       |
| Konfiguration | System Auswahl               | Das BPM System auf dem der Bestellprozess läuft, muss in diesem Schritt aufgebaut werden.                                                                                    |
|               | Implementierung              | Umsetzung des Modells auf dem BPM System.                                                                                                                                    |
|               | Test und Einsatz             | Der Bestellprozess wird vor dem produktiven Einsatz getestet und nach Abschluss der Tests eingesetzt.                                                                        |
| Ausführung    | Durchführung                 | Der Bestellprozess kann sich im produktiven Tagesgeschäft unter Beweis stellen.                                                                                              |
|               | Überwachung                  | Der Versandhändler überwacht ständig die Ausführung der Instanzen und kann bei besonderen Vorkommnissen reagieren.                                                           |
|               | Wartung                      | Bei Problemen oder Optimierungen ist der Prozess im BPM System wartbar.                                                                                                      |
| Evaluation    | Prozess-Mining               | Nach einigen ausgeführten Instanzen kann der Versandhändler den Prozess analysieren. Mit Mining Algorithmen können z.B. Schwachstellen bei der Ausführung aufgedeckt werden. |
|               | Business Activity Monitoring | Durch festgelegte KPI lässt sich der Prozess besser evaluieren und beobachten. Für die Definition der KPI greift der Versandhändler auf die Grundlagen des BAM zurück.       |

**Fazit** Die Grundlagen zu den beiden Gebieten Cloud Computing und Business Process Management sind umfangreich. Dieses Kapitel soll ein Überblick über die grundlegenden

### *3 Grundlagen*

Eigenschaften, Vorteile und Knackpunkte liefern. Damit ist die Analyse der Grundlagen abgeschlossen.





## 4 Betrachtung der Design- und Analyse-Phase

Die Herausforderungen einer Cloud-basierten BPM Lösung im Bereich der Design- und Analyse-Phase (siehe 3.1.1) sollen in diesem Kapitel Betrachtung finden.

Die Design- und Analyse-Phase hat den Charakter eines Fundamentes im BPM. In diesem Zyklus findet die Visualisierung der Prozesse [72] und der einzelnen Schritten und Aktivitäten statt. Die Umsetzung dieser Phase in eine Cloud Computing basierte Lösung ist möglich. Geschäftsprozessanalyse-Werkzeuge, kollaborative Modellierungsbereiche mit dem Wissen vieler Gemeinschaften und Zusammenarbeit bei der Prozessgestaltung an unterschiedlichen Orten, sind denkbare Lösungen für die Cloud.

Betrachtet man diese Phase im Detail, lassen sich drei übergeordnete Problemthemen festlegen. Zunächst erläutert die Arbeit die Problematik der Prozessauswahl. Darunter versteht man die Identifizierung von Prozessen, die sich für eine Auslagerung in die Cloud eignen. Darauf folgt die Untersuchung des Formalismus für die Cloud Lösung. Am Ende dieses Kapitels findet sich ein Abschnitt über die Modellierung von Prozessen in der Cloud.

### 4.1 Prozessauswahl

Das Einstiegsthema bei den Herausforderungen der Cloud-basierten BPM Lösung ist ein nicht trivial zu beantwortendes Themenfeld. Hinter dem Thema Prozessauswahl steht folgende Fragestellung:

Welche Prozesse eignen sich für die Cloud?

Diese Frage lässt sich nicht direkt beantworten. Es ist eine übergeordnete Frage, deren Komplexität sehr hoch ist. Verschiedene Faktoren spielen bei der Entscheidung eine Rolle. Dabei sind unterschiedliche Anforderungen zu evaluieren.

Die Frage der richtigen Prozesse für das BPM System scheint in einer Cloud-basierten Lösung diffizil. Es ist zunächst eine Unterscheidung nötig.

#### 4 Betrachtung der Design- und Analyse-Phase

Folgende Fragestellungen sind möglich:

1. Ist jeder Prozess in der Cloud abbildbar und umsetzbar?
2. Ist es sinnvoll jeden Prozess in die Cloud auszulagern?

Während die erste Frage die technische Umsetzung betrifft, deckt die zweite Frage die wirtschaftliche Seite ab.

Zu (1): Wie in der Einleitung in Abschnitt 1.1 angesprochen, ist das Thema Cloud Computing derzeit am Gipfel der überzogenen Erwartungen. Software Hersteller haben sich bereits auf das Thema Cloud Computing fixiert. Hersteller und ihre Marketingabteilungen rühren kräftig die Werbetrommel. Wieviel steckt hinter den Versprechen? Technisch umsetzbar (in einem Cloud-basierten BPM System) ist sicherlich ein großer Teil von Prozessen, sofern man den Informationen der Hersteller glauben schenken kann. Wenn komplexe Prozessmodelle und vielschichtige Integration ins Spiel kommen, dann ist Vorsicht geboten. BPM in der Cloud hat noch nicht die Reife erreicht, um wirklich alle Prozesse technisch in der Cloud umzusetzen. Dies soll auch diese Arbeit im weiteren Verlauf darstellen. Diese Frage lässt sich noch nicht final beantworten.

Zu (2): Diese Frage lässt sich zweifelsfrei mit *nein* beantworten. Es sind immer Prozesse auffindbar, deren Auslagerung in die Cloud auf ein BPM System aus ökonomischen, datenschutzkritischen o.ä. Aspekten unmöglich ist. Die Entscheidung, welche Prozesse in die Cloud überführbar sind und welche nicht, ist individuell zu treffen.

An dieser Stelle werden beispielhaft Szenarien vorgestellt, in denen eine Cloud-basierte BPM Lösung sinnvoll erscheint:

- Gruppen von Unternehmen mit denselben Prozessteilen (zum Beispiel Garantieabwicklung zwischen Automobilhändler und -hersteller, etc.)
- In sich schlüssige und überwiegend standardisierte Prozesse in speziellen Bereichen (zum Beispiel Leasing- oder Vermietungsgeschäfte, Gesundheitsmanagement, etc.)
- Prozesse mit transaktionalem Charakter (zum Beispiel Gehaltsabrechnungen)
- Schnell wachsende, junge Unternehmen, die ihre Prozesse von Anfang an kontrollieren wollen

Die Zusammenstellung dieser Szenarien ist nicht vollständig. Sie dienen als Anhaltspunkte für eine weitere Analyse der Prozesse im Einzelfall.

Um eine Auswahl der richtigen Prozesse zu treffen, und damit die Beantwortung der Eingangsfrage zu vereinfachen, sind verschiedene Ansätze zu Rate zu ziehen. Ein möglicher Ansatz ist, auf Basis eines Kostenmodells, eine qualitativere Aussage zur Eignung von Prozessen für die Cloud zu treffen. Weitere Einzelheiten finden sich in Abschnitt 5.6. Eine andere Möglichkeit ist die Anpassung von nicht-geeigneten Prozessen durch eine neue Modellierung - also durch Prozess Reengineering [93].

Der Bestellprozess aus dem Beispiel in Abschnitt 3.3 ist für Cloud-basiertes BPM geeignet. Der Prozess enthält Teile, die sich in der Cloud ausführen lassen (zum Beispiel die Prüfung der Zahlung). Dies ist eine in sich schlüssige Aktivität, welche auf überwiegend standardisiert ist. Es sind auch Teile vorhanden, die eher weniger in ein BPM in der Cloud passen (zum Beispiel die Aktivität *Versand vorbereiten*). Diese Aktivität kann nicht automatisiert werden. Es sind viele menschliche Handgriffe nötig, die ein BPM System nicht auswerten muss.

## 4.2 Ausführungsformalismus in der Cloud

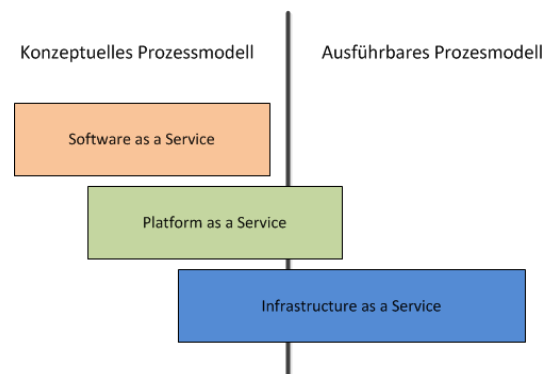


Abbildung 4.1: Zuordnung Servicemodell zu Prozessmodell

Der Formalismus für Prozessmodelle ist in einer Cloud-basierten BPM Lösung eine weitere Herausforderung. In der Design- und Analyse-Phase sind fachlich beschriebene Prozesse in ebenbürtige Prozessmodelle zu überführen. Dieses Prozessmodell ist die Grundlage für die Ausführung in einer Prozess Engine.

Dieser Abschnitt zeigt die Unterschiede zwischen den verschiedenen Servicemodellen. Der richtige Ausführungsformalismus in der Cloud für diese drei Servicemodelle ist nicht deutlich zu erkennen. Die unterschiedlichen Servicemodelle haben verschiedene Voraussetzungen für

#### 4 Betrachtung der Design- und Analyse-Phase

den Ausführungsformalismus. Abbildung 4.1 zeigt, welches Modell bei welchem Servicemodell wie wichtig ist.

Abbildung 4.2 zeigt die Zusammenhänge. Ein Prozessmodell muss in einem ersten Schritt konzeptionell erstellt werden. Dazu bedient man sich dem Transfer von Prozesswissen in ein ausführbares Modell. Aus diesem konzeptionellem Modell lässt sich ein ausführbares Prozessmodell generieren. Dieses ausführbare (oder logisches) Modell ist darauf folgend in die Prozessengine lad- und ausführbar.

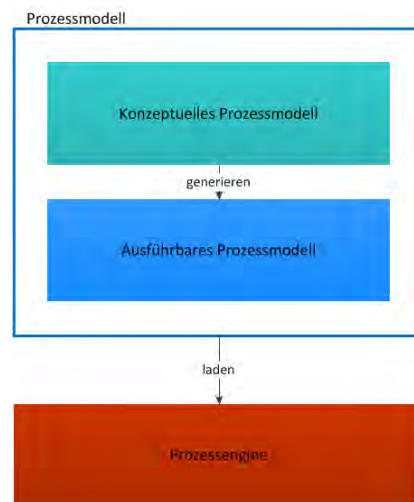


Abbildung 4.2: Prozessmodellierung und -ausführung<sup>29</sup>

Bei einer Cloud-basierten BPM Lösung auf SaaS Ebene ist in erster Linie die konzeptuelle Prozessmodellierung wichtig. Die Kunden bevorzugen den mühelosen Einstieg in die Modellierung - ganz im Sinne des Cloud Computing Paradigmas. Zusätzlich schafft die Cloud-basierte Modellierung von Prozessen eine Möglichkeit zum kollaborativen Arbeiten. Das bedeutet beispielsweise, dass die Modellierung in der Cloud stattfindet und alle Beteiligten (gleichzeitig) an der Erstellung arbeiten. Eine intuitive Sprache für die Modellierung hat deutlich mehr Ansprüche als eine problemlose Übertragung in ein ausführbares Prozessmodell. Dafür hat der Anbieter die passende Modellierungssprache bei der Konzeption gewählt. Der Anbieter muss sicherstellen, dass die modellierten Prozesse ausführbar sind. Der Fokus in einem SaaS Modell liegt bei der Gestaltung der Prozesse.

---

<sup>29</sup>Entnommen und adaptiert aus [50]



In der PaaS Ebene ist zusätzlich das Zusammenspiel mit dem ausführbaren Prozessmodell wichtig. Der Anbieter der Cloud Lösung bietet sein BPM System als Entwicklungsplattform an. Lässt das ausführbare Prozessmodell sich leicht generieren oder ist es in der Semantik der konzeptuellen Modellierungssprache bereits vorhanden, ist die Gesamtlösung besser zu verwalten. Hier liegt der Fokus nicht nur auf einem konzeptuellen Prozessmodell. Das ausführbare Prozessmodell muss mit dem konzeptuellen Prozessmodell harmonieren. Der Unterschied zur SaaS Ebene ist, dass der Cloud-Anbieter nicht die komplette Software aus einem Guss zur Verfügung stellt. Durch die Plattform ist ein gewisses Maß an Flexibilität für den Kunden vorhanden. Diese Flexibilität kann bei der Umwandlung vom konzeptuellen in das ausführbare Prozessmodell Schwierigkeiten hervorrufen.

Bei einer IaaS Lösung ist die Frage nach dem Formalismus ebenfalls wichtig. Hier müssen sich die Verantwortlichen aber nicht nur mit der konzeptuellen Modellierung befassen. Da man die Verantwortung für alle Teile eines BPM Systems trägt (außer der Infrastruktur), ist eine Gesamtlösung zu suchen. Das bedeutet im Gegensatz zu einem SaaS oder PaaS Modell, dass der Cloud-Anbieter viel Spielraum für den Kunden schafft. Der Cloud-Nutzer ist sehr flexibel und entscheidet selbst, wie die Umwandlung von konzeptuellen in ein ausführbares Prozessmodell aussehen soll. Dadurch ist er nicht an Vorgaben gebunden. Allerdings hat er auch die Verantwortung für die Vollständigkeit der Überführung. Somit ist die Herausforderung da, ein funktionierendes Konzept vorzulegen und zu implementieren. Es ist jedoch von Vorteil, dass Hersteller von BPM Software sich bereits mit dieser Problematik befasst haben. Das erleichtert dem Cloud-Nutzer die Entscheidungsvielfalt.

Für eine Cloud-basierte BPM Lösung ist die Auswahl der richtigen Sprache je nach Servicemodell von unterschiedlicher Bedeutung. Dieser Spagat zwischen den Modellen ist problematisch.

### 4.2.1 Konzeptuelles Prozessmodell in der Cloud

Die konzeptuelle Prozessmodellierung beinhaltet die Übertragung des fachlichen Prozessmodells in ein visuelles Modell. Demnach müssen alle Prozessbeteiligten das entstandene Modell verstehen und nachvollziehen können.

In der Cloud ist die Modellierung von Prozessen auf konzeptueller Ebene ähnlich der Modellierung in einem on-premise System. Unterschiede gibt es überwiegend in der Nutzung der Werkzeuge. Das Cloud Computing Paradigma setzt vorwiegend auf Browser basierte

Werkzeuge [15]. Problematisch ist hierbei das Offline-Verhalten (mehr dazu in Abschnitt 6.2).

Für die konkrete Auswahl der Sprache lassen sich verschiedene Anforderungen definieren:

**Benutzerfreundlich** Eine benutzerfreundliche Sprache erhöht die Akzeptanz und vermeidet Fehler im Prozess. Dazu gehört eine klare Verständlichkeit und eine gute grafische Umsetzung. Strukturierende Hilfsmittel bringen den Nutzern bei der Übersicht Vorteile. EPK ist eine benutzerfreundliche Sprache.

**Mächtig** Geschäftsprozesse sind nicht immer trivial. Eine ausdrucksstarke und demnach mächtige Sprache kann eine Vielzahl an Prozessen beschreiben. Fein granulare Elemente lassen unterschiedliche Semantiken zu. Je mächtiger eine Sprache ist, desto komplexer wird die Umsetzung und desto geringer ist die Verständlichkeit beim Benutzer. BPMN 2.0 ist zum Beispiel eine sehr mächtige Sprache.

**Korrekt** Ein korrektes Prozessmodell zu erzeugen ist wichtig. Bei der Ausführung darf der Prozess nicht unnötig in einen Fehler (zum Beispiel Deadlock) laufen. Die Sprache muss es ermöglichen, das Prozessmodell zu prüfen [67].

**Ausführbar** Ein ausführbares Prozessmodell erspart die Umwandlung und die damit einhergehende Frage der Zuordnung beim Wechsel der Sprachen.

**Standardisiert** Eine standardisierte Sprache lässt keinen Spielraum bei der Umsetzung in der Cloud. Somit ist eine konsistente Modellierung über verschiedene Cloud-Anbieter hinweg gegeben.

Die Palette der Prozessmodellierungssprachen enthält einige Vertreter (siehe Abschnitt 3.1.2), die diese Anforderungen teilweise erfüllen - aber keine, die alle Punkte zufriedenstellend erfüllt.

Im Bereich der konzeptuellen Prozessmodellierung haben sich BPMN wie auch EPK etabliert [43]. Beide Sprachen sind laut einer empirischen Analyse bei der Modellierung gleich gut nutzbar [43]. Letztlich sind auf der BPMN Seite mehr Vorteile zu finden. BPMN beinhaltet die Erfahrung vorangegangener Modellierungssprachen. Ein Ziel von BPMN ist, sie in einen ausführbaren Prozess transformieren zu können. Pools und Lanes in BPMN sorgen für Strukturierung und klare Abgrenzung, Übersichtlichkeit bei komplexen Prozessen und Korrelation zu UML.

Auf eine Cloud-basierte BPM Lösung bezogen bedeutet dies, dass die grafenorientierte Sprache BPMN bei der konzeptuellen Prozessmodellierung vorzuziehen ist. Die Umsetzung der

Sprache mit ihrer vollen Mächtigkeit benötigt noch Entwicklungszeit [50]. Allerdings ist nicht jedes Detail des Standards für die Modellierung notwendig.

### 4.2.2 Logisches Prozessmodell in der Cloud

Das logische Prozessmodell ist das ausführbare Prozessmodell in einem BPM System. Es lässt sich aus dem konzeptuellen Modell generieren (oder ist bereits darin vorhanden, zum Beispiel in BPMN 2.0).

Der Formalismus für die Ausführung von Prozessen in der Cloud orientiert sich an vorhandenen Sprachen. WS-BPEL (Abschnitt 3.1.2) gilt als Standard bei den Ausführungssprachen [50] für Geschäftsprozesse. Es ist demnach wichtig, dass die Transformation des konzeptuellen Prozessmodells in das ausführbare Prozessmodell möglich ist. BPMN 2.0 erlaubt es zwar, ausführbare Prozessmodelle zu definieren (ohne BPEL). BPEL hingegen ist etablierter und zahlreiche Prozessengines sind bereits für BPEL vorbereitet [50].

Für die Cloud-basierte BPM Lösung ist von Bedeutung, dass das Mapping und die Transformation der Sprachen möglich ist. In einer Cloud Umgebung auf IaaS Architektur hat man bei der Implementierung Wahlmöglichkeiten. Bei der PaaS Architektur wird die Entscheidung der Sprache für die Engine vom Anbieter bereits abgenommen. Die passende Sprache zur Modellierung muss Anwendung finden. Auf SaaS Ebene sind die Entscheidungen bereits vom Anbieter getroffen, sodass hier eine geringe Problematik beim Formalismus zu erkennen ist.

## 4.3 Modellierung von Prozessen für die Cloud

Der Abschnitt der Modellierung beinhaltet eine konkrete Fragestellung, die ähnlich zu der Frage am Anfang dieses Kapitels ist:

Wie müssen Prozesse für die Cloud gestaltet sein?

Auf diese Frage gibt es in diesem Abschnitt teilweise eine Antwort. Die Gestaltung der Prozesse unterliegt verschiedenen Faktoren, die Einfluss haben. Allgemein lässt sich sagen, dass für die Modellierung von Prozessen in der Cloud Grundsätze gelten, die ebenso ohne Cloud gelten. Hier seien beispielsweise die *7 Process Modeling Guidelines* von Mendling et al. [57] erwähnt. Diese sieben Richtlinien sind ein gutes Fundament für die Modellierung von Prozessen.

#### 4 Betrachtung der Design- und Analyse-Phase

Das Thema Modellierung beinhaltet nicht nur die allgemeine Gestaltung der Prozessmodelle für ein Cloud-basiertes BPM System. Andere problematische Themen sind:

- Strukturelle Betrachtung der Prozesse in der Cloud
- Auslagerung von Teilprozessen in die Cloud

Im weiteren Verlauf dieses Abschnittes sind einzelne Themen im Detail dargestellt.

##### 4.3.1 Strukturelle Betrachtung der Prozessmodelle in der Cloud

Die strukturelle Betrachtung der Prozessmodelle in einer Cloud-basierten BPM Lösung beinhaltet die Analyse der möglichen Szenarien für die Auslagerung der Prozesse in die Cloud. Bei der Betrachtung lassen sich unterschiedliche Muster definieren, die wiederkehrend auftauchen. In diesem Abschnitt sind grundlegende Szenarien in einer musterhaften Art und Weise dargestellt. Die Umsetzungen der Muster stellen das Problem dar. Diese abstrakten Szenarien sind für die vorliegende Arbeit vom Autor erarbeitet worden. Eine Auflistung der Szenarien ist in Tabelle 4.1 vorhanden.

| Szenario | Abbildung | Kurzbeschreibung                                                                                                               |
|----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 4.3       | Auslagerung von einem Prozess.                                                                                                 |
| 2        | 4.4       | Auslagerung von einem Prozess inklusive Anbindung an eine externe Firma, deren Prozess auch in der Cloud ist.                  |
| 2b       | 4.5       | Auslagerung von einem Prozess inklusive Anbindung verschiedener Firmen, deren Prozesse auch in der Cloud ist (Datenaustausch). |
| 3        | 4.6       | Auslagerung von Prozessen in unterschiedliche öffentliche Clouds.                                                              |
| 4        | 4.7       | Auslagerung von Prozessen in die Private und Public Cloud.                                                                     |
| 5        | 4.8       | Auslagerung von einem Prozess inklusive Anbindung an eine externe Firma, deren Prozess nicht in der Cloud ist.                 |

Tabelle 4.1: Überblick der abstrakten Szenarien

Die erste Problemstellung betrachtet folgendes Szenario:

Eine Firma F1 möchte einen Prozess in die Cloud auslagern. Sie möchten den gesamten Prozess in der Cloud ausführen. Hierzu steht in der Cloud eine Prozess Engine zur Verfügung. Das Szenario ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Dieses Szenario ist die Basis für eine Auslagerung von Prozessen in eine Cloud-basierte BPM Lösung. Es stellt trivial die Aufgabe dar, einen Prozess in die Cloud zu überführen.

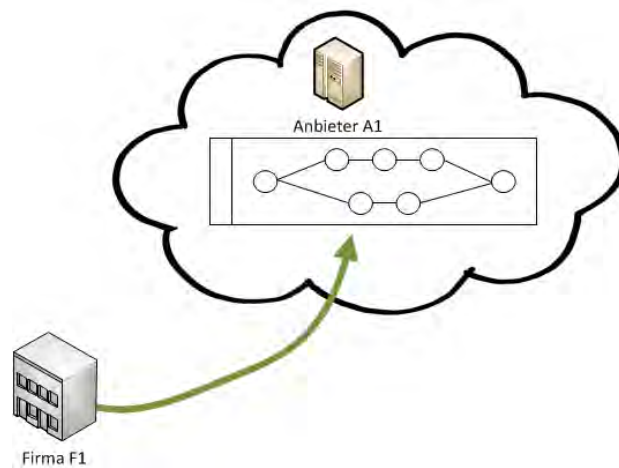


Abbildung 4.3: Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Abstrakte Problemstellung 1

Problematisch sind verschiedene Fragestellungen bei der Umsetzung dieses Szenarios:

- Welche Prozesse lassen sich auslagern?
- Werden die Prozesse ganz oder teilweise ausgelagert?
- Wie läuft die Interaktion und Steuerung ab?
- Welche Schnittstellen benötigt die Lösung (auf beiden Seiten)?
- Ist es wirtschaftlich diesen Prozess auszulagern?

Als konkretes Beispiel für dieses Szenario steht der Bestellprozess aus Abschnitt 3.3 zur Verfügung. Der Versandhändler möchte seinen Bestellprozess komplett in die Cloud auslagern.

Das zweite Szenario lässt sich in Abbildung 4.4 betrachten:

Die Firma F1 möchte einen Prozess in die Cloud auslagern. Dieser Prozess benötigt die Anbindung an einen Partner/Kunden/Lieferanten L1. Dieser hat seinen Prozess beim selben Anbieter A1 in der Cloud ausgelagert. Bei diesem Muster entstehen weitere Fragestellungen, ergänzend zu denen aus Szenario eins.

- Wie findet der Austausch von Daten statt?
- Gibt es ein einheitliches Datenformat?
- Wie läuft die Choreographie [93] der beiden Prozesse ab?
- Welche Unterstützung vom Anbieter A1 benötigt dieses Szenario?

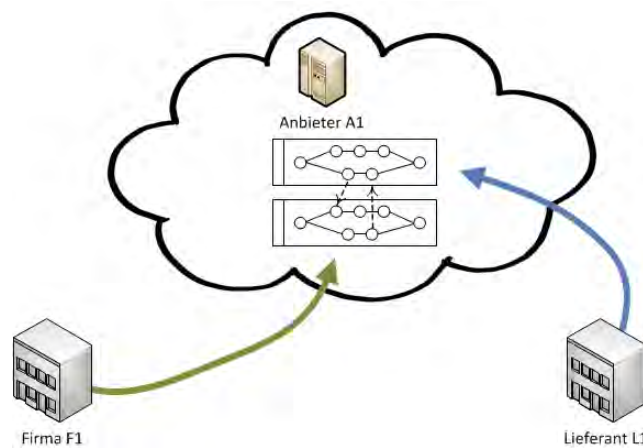


Abbildung 4.4: Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Abstrakte Problemstellung 2

Das Szenario Zwei lässt sich erweitern. Die Erweiterung ist in Abbildung 4.5 skizziert. Mehrere Firmen haben einen Prozess bei einem Anbieter ausgelagert. Denkbar sind beispielsweise niedergelassene Ärzte, welche ihren Patientenaufnahme-Prozess in eine Cloud-basierte BPM Lösung ausgelagert haben. Alle Ärzte möchten bei Bedarf Patientendaten austauschen. Dazu muss es möglich sein, Daten in der Cloud zwischen den Firmen austauschen zu können. Ein gemeinsames Datenformat ist nötig.

Szenario Drei ist folgendermaßen definiert:

Die Firma F1 möchte einen Prozess in die Cloud auslagern. Die Firma möchte den Prozess bei verschiedenen öffentlichen Cloud-Anbietern auslagern und ausführen. Die Cloud-Anbieter interagieren im Laufe des Workflows miteinander und es findet ein Austausch von Daten statt. Abbildung 4.6 stellt diese Situation grafisch dar. Für die Prozesskommunikation untereinander ist eine Abstimmung der unterschiedlichen Cloud-Anbieter nötig. Die Eigenschaften der Anbieter geben Aufschluss darüber, ob es möglich ist, Prozesse zwischen verschiedenen Anbietern ablaufen zu lassen. Problematisch ist ein Lock-in bei einem Anbieter (siehe Abschnitt 6.3).

Die Komposition des Workflows in verschiedenen Engines muss durch eine einheitliche Notation synchronisierbar sein. Denkbar ist auch eine Steuerung über Web Services.

Für die Praxis könnte das Szenario so umgesetzt werden: Der Versandhändler will den Bestellprozess in die Cloud auslagern. Er will die Aktivitäten für die Bezahlung bei Anbieter A auslagern, da dieser sich bestens mit Bezahlprozessen auskennt und dementsprechend

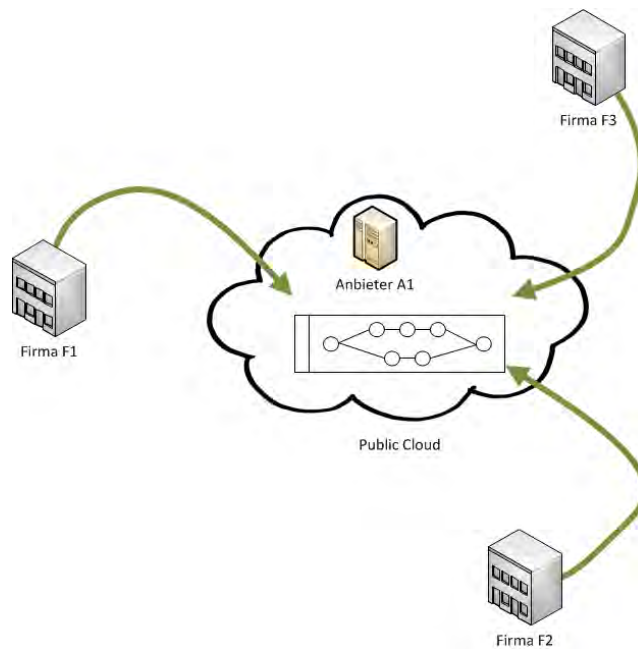


Abbildung 4.5: Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Abstrakte Problemstellung 2b

Hilfestellung bieten kann. Die restlichen Teile des Prozesses möchte der Versandhändler bei Anbieter B in eine Cloud-basierte BPM Lösung auslagern, da dieser günstige Konditionen anbieten kann.

Im nächsten Szenario Vier ist die Situation folgende (siehe Abbildung 4.7):

Die Firma F1 möchte einen Prozess in die Cloud auslagern. Dabei steht eine private und eine öffentliche Cloud für die Ausführung zur Verfügung. Sicherheitskritische Teile des Prozesses will die Firma in der privaten Cloud ausführen. Die restlichen Teile des Prozesses möchte die Firma in der öffentlichen Cloud ausführen. Dieses Szenario ähnelt dem vorherigen Szenario drei. Allerdings soll hier ein Teil des Prozesses in der privaten Cloud der Firma F1 ablaufen. Dabei handelt es sich um kritische Kernprozesse, die wegen datenschutzrelevanten Teilen nicht in einer öffentlichen Cloud ausgelagert werden dürfen. Dennoch lagert die Firma unkritische Teile des Prozesses aufgrund wirtschaftlicher Aspekte in eine öffentliche Cloud-basierte BPM Lösung aus.

#### 4 Betrachtung der Design- und Analyse-Phase

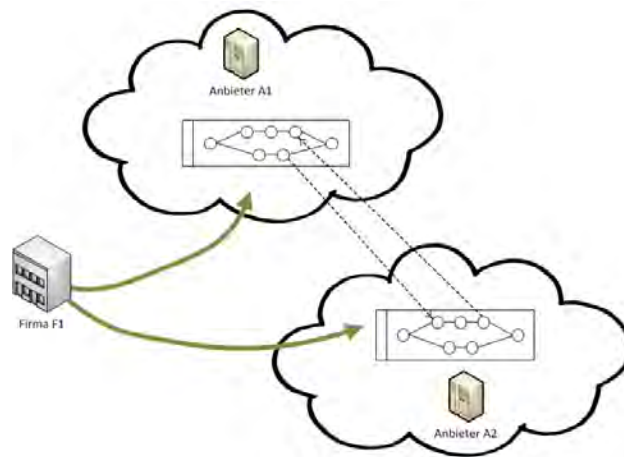


Abbildung 4.6: Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Abstrakte Problemstellung 3

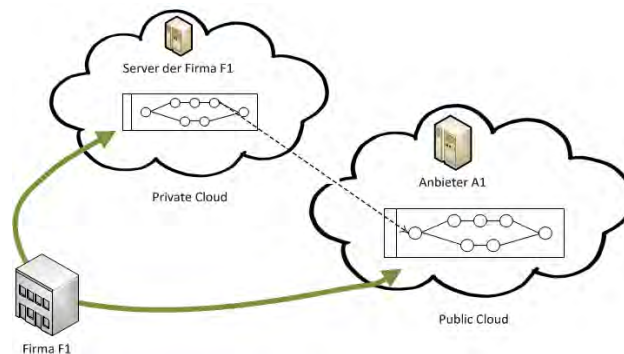


Abbildung 4.7: Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Abstrakte Problemstellung 4

Problematisch sind dabei folgende Punkte:

- Lässt sich der Prozess an den kritischen und unkritischen Punkten teilen?
- Wie funktioniert die Steuerung des Gesamtprozesses?
- Können unterschiedliche Prozessengines verwendet werden?
- Bietet der Anbieter Schnittstellen für solche Fälle an?

Beispielhaft kann das Szenario so aussehen: Der Versandhändler möchte den Bestellprozess in die Cloud auslagern. Allerdings möchte er alle Teile des Prozesses, welche mit Kundendaten in Berührung kommen, in seiner privaten Cloud auf seinem BPM System ablaufen lassen.



Die restlichen Teile des Prozesses will der Versandhändler beim Cloud-Anbieter auslagern, da dieser wesentlich günstiger Prozesse ausführen kann.

Das letzte Szenario Fünf (Abbildung 4.8) stellt diese Situation dar:

Die Firma F1 möchte einen Prozess in die Cloud auslagern. Dieser Prozess benötigt die Anbindung an einen Partner/Kunden/Lieferanten L1. Dieser ist mit seinem Prozess nicht in der Cloud. Die Kommunikation findet über einen gesonderten Kommunikationsweg statt. Für

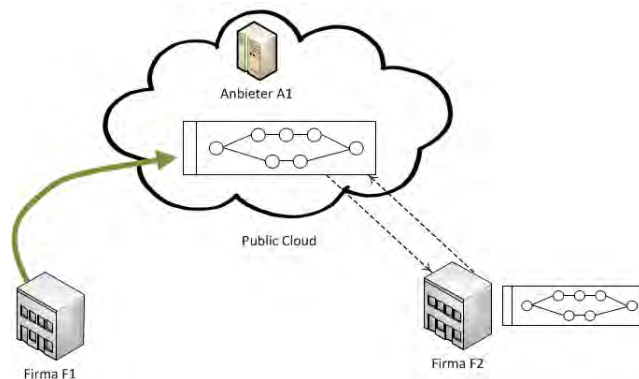


Abbildung 4.8: Auslagerung von Prozessen in die Cloud - Abstrakte Problemstellung 5

die Firma F1 findet der Prozess in der Cloud statt. Eine Anbindung von externen Prozess-teilen einer anderen Firma kann über Web Services erfolgen. Wenn aber eine Choreographie der beiden Prozesse vorgesehen ist, muss eine Lösung zwischen Cloud-Anbieter und Lieferant fungieren.

Übertragen auf den Beispielprozess beim Versandhändler, bedeutet dieses Szenario, dass der Subprozess *Versand vorbereiten* bei einem externen Dienstleister durchgeführt wird, der seine eigene on-premise BPM Umgebung nutzt.

Insgesamt lassen sich die abstrakten Szenarien auf den Bestellprozess des Versandhändlers anwenden. Eine Auflistung hierfür ist in kompakter Form in Tabelle 4.2 enthalten.

### 4.3.2 Auslagerung von Teilprozessen

Es kommt in der Praxis vor, dass Unternehmen nicht den gesamten Prozess in die Cloud auslagern (zum Beispiel aus Gründen der Datensicherheit, siehe Szenario vier in Abschnitt 4.3.1). Eine Aufteilung der Prozesse in Teilprozesse ist sinnvoll. An dieser Stelle sind für eine Cloud-basierte BPM Lösung Hürden zu überwinden.

| Abstraktes Szenario                                                                                               | Bezug zu Beispielprozess                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Auslagerung von einem Prozess.                                                                                 | Der Versandhändler lagert den Bestellprozess in die Cloud aus.                                                                                                                               |
| 2. Auslagerung von einem Prozess inklusive Anbindung an eine externe Firma, deren Prozess auch in der Cloud ist.  | Der Versandhändler lagert den Bestellprozess in die Cloud aus. Zusätzlich sollen die Versandvorbereitungen mit dem Paketdienst in der gleichen Cloud abgestimmt werden.                      |
| 3. Auslagerung von Prozessen in unterschiedliche öffentliche Clouds.                                              | Der Versandhändler lagert den Bestellprozess in die Cloud aus. Den Bestell-Annahme Teil lagert er bei Cloud-Anbieter A aus. Bei Cloud-Anbieter B wird der Versand-Prozess teil ausgelagert.  |
| 4. Auslagerung von Prozessen in die Private und Public Cloud.                                                     | Der Versandhändler lagert den Bestellprozess in die Cloud aus. Den Bestell-Annahme Teil lagert er in seine private Cloud aus. Bei Cloud-Anbieter B wird der Bezahl-Prozess teil ausgelagert. |
| 5. Auslagerung von einem Prozess inklusive Anbindung an eine externe Firma, deren Prozess nicht in der Cloud ist. | Der Versandhändler lagert den Bestellprozess in die Cloud aus. Zusätzlich sollen die Bezahloperationen mit der Bank abgestimmt werden.                                                       |

Tabelle 4.2: Bezug der abstrakten Szenarien zum Beispielprozess

Generell ist die Frage zu stellen, wie die Teilung der Prozesse aussehen muss. Die korrekte Fragmentierung der Prozesse ist bereits Thema wissenschaftlicher Arbeiten. Für das Ausführen von Prozess teilen auf verschiedenen Prozess Engines gibt es unterschiedliche Ansätze aus dem Bereich der mobilen Informationssysteme und unternehmensweiten Workflowsysteme. Wir betrachten an dieser Stelle nur die mobilen Informationssysteme.

Baresi et al. [12] verfolgen den Ansatz BPEL Prozesse in Fragmente (Abbildung 4.9, links) zu teilen, indem sie ein Meta Ausführungsmodell entwickeln, welches äquivalent zum Prozessmodell ist. Die richtigen Stellen zum Teilen im Prozessmodell sind durch Regeln definiert. Diese Regeln sind über ein Graphen-Transformationssystem spezifiziert. Das Ziel der Wissenschaftler ist eine automatische Engine, welche Workflows partitioniert, um sie auf mobilen Geräten ausführen zu können [12]. Einen anderen Ansatz zeigen Zaplata et al. [96]. Sie propagieren die Idee der Prozess Instanz Migration (Abbildung 4.9, rechts) und stellen dies in ihrer Arbeit der Prozessfragmentierung gegenüber. Dieser vorgehensweise liegt der Gedanke zu Grunde, dass eine laufende Instanz bei Bedarf von einer Prozess Engine zur nächsten übertragbar ist. Sie bedienen sich dabei einem Daten Metamodell, um die Migrationsinfor-

---

<sup>30</sup>Entnommen aus [96]

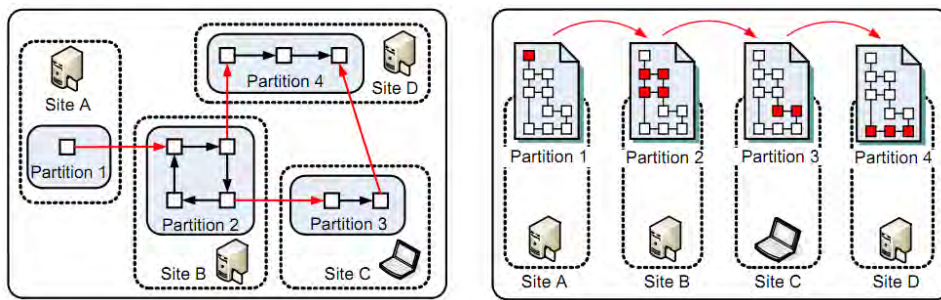


Abbildung 4.9: Grafische Darstellung von Prozessfragmentierung (links) und Prozessmigration (rechts)<sup>30</sup>

mationen unabhängig vom Prozessmodell zu halten. Dabei legen sie auch ein Augenmerk auf Datensicherheit und -schutz.

Diese zwei unterschiedlichen Ansätze für mobile Informationssysteme sind auf eine Cloud-basierte BPM Lösung übertragbar. Für die Auslagerung von Teilprozessen sind mehrere verteilte Prozess Engines involviert. Für die Cloud ist sowohl Prozessfragmentierung als auch Migration denkbar. Entscheidend ist die korrekte Partitionierung des Prozessmodells. Die richtigen Stellen für den Schnitt zu finden, muss wohlüberlegt sein. Für sensitive Prozessteile und ihre Ausführung bieten Zaplata et al. bereits eine Lösung für Sicherheit und Datenschutz auf Basis einer Public Key Infrastructure (mehr in Abschnitt 5.5) an. Bei der Prozessfragmentierung ist in diesem Punkt ein anderer Lösungsweg nötig.

Die Problematik bei der Teilung von Prozessen für die Cloud liegt auch im wirtschaftlichen Bereich. *Wie können Unternehmen ihre Prozesse aufteilen, um die Kosten auf ein Minimum zu senken?* ist eine der möglichen Fragestellungen. Eine Bewertung des Prozessmodells ist hilfreich, um diese Optimierungsaufgabe zu lösen. Dazu kann ein Bewertungsmodell helfen. Vorstellbar ist eine gewichtete Bewertung und Analyse des Modells, an deren Ende ein Ergebnis steht. Mit diesem Ergebnis wäre eine Beurteilung bezüglich der Wirtschaftlichkeit der geteilten Prozesse denkbar (Weiteres in Abschnitt 5.6).

Bei der Auslagerung von Prozessteilen können auch Probleme innerhalb des Modells auftreten. Schwierige Konstellationen im Modell sind zum Beispiel UND-Verzweigungen und Synchronisationen zwischen Aktivitäten. Im Beispielprozess des Versandhändlers findet eine Synchronisation am Ende des Prozesses statt. Bei der parallelen Erstellung der Versandbestätigung und der Pflege der Dokumente im Archiv der IT-Systeme, sorgt eine Synchronisation dafür, dass erst die Versandbestätigung erstellt wird und danach die Einpflege der

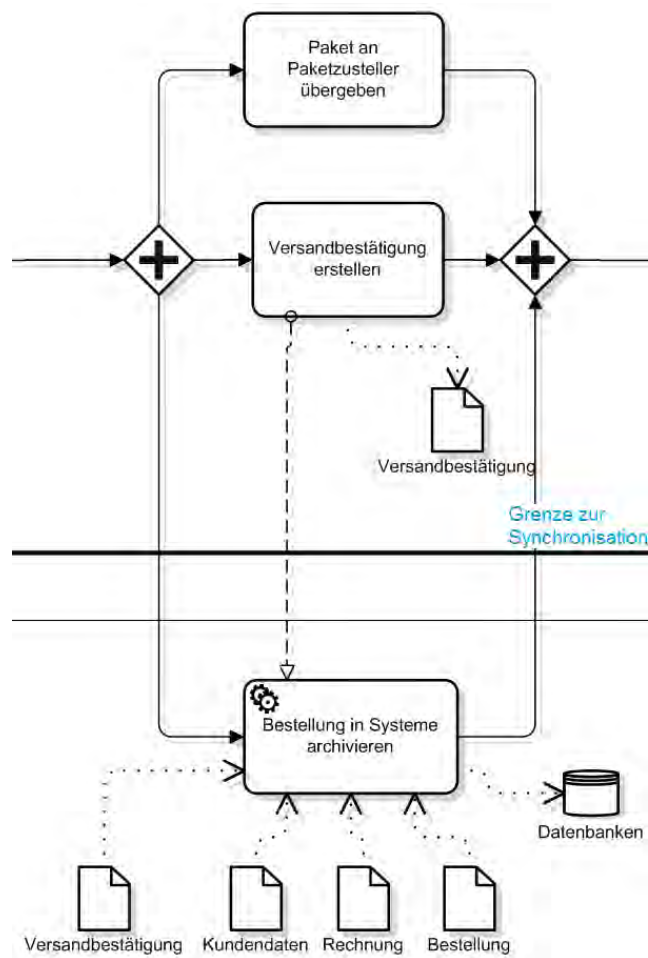


Abbildung 4.10: Synchronisation im Bestellprozess (Ausschnitt)

Dokumente in das System stattfindet (Abbildung 4.10). Problematisch ist diese Synchronisation, wenn ein Teil davon in einer Cloud-basierten BPM Lösung abläuft (zum Beispiel die Aktivität *Versandbestätigung erstellen*) und ein Teil in der lokalen Prozessengine der Firma (zum Beispiel die Aktivität *Bestellung in IT-Systeme archivieren*). Bei der Synchronisation von der Cloud zur lokalen Prozessengine und zurück sind Kommunikationsschwierigkeiten vorhanden. Das Thema Kommunikation ist in Abschnitt 5.4 näher beleuchtet. Ebenso sind Schwierigkeiten bei der Koordination der verschiedenen Schnittstellen und Engines von Bedeutung. Je nachdem welches Cloud Servicemodell die Firma einsetzt, sind mehr oder weniger Aufwand in eine Lösung der Problematik zu investieren.

UND-Verknüpfungen haben die Problematik, dass alle Pfade zu Ende geführt sein müssen. Nur dann kann der Prozess weiterlaufen. Wo die UND-Verknüpfung für die Zusammenführung aller Pfade vorgesehen ist (in der Cloud oder lokal), muss auf eine korrekte Übermittlung der Pfadergebnisse geachtet werden. Vor allem ist wichtig, dass überhaupt eine Rückmeldung ankommt. Ansonsten steht der Prozess still und wartet auf eine Antwort - im schlechtesten Fall bekommt er diese nie, sodass die Prozessinstanz nie endet.

**Fazit** Die Betrachtung der Design- und Analyse-Phase ist an dieser Stelle abgeschlossen. Die Ergebnisse aus diesem Abschnitt zeigen bereits, dass die Kombination aus Cloud Computing und BPM früh im Lebenszyklus präzise durchdacht sein sollte. Die Prozessauswahl, die Modellierung der Prozesse und die Wahl des Ausführungsformalismus können bereits Stolpersteine darstellen.



## 5 Betrachtung der Konfigurationsphase

Die Konfigurationsphase im BPM Lebenszyklus beinhaltet den Aufbau und die Implementierung des Systems. Herausforderungen einer Cloud-basierten BPM Lösung bei der Konfiguration sind in diesem Kapitel dargestellt. Die Konfigurationsphase bildet die Grundlage für die Ausführung der Prozesse im BPM. Bei der Ausführung ist die Konfiguration des Business Process Management System entscheidend für den Gebrauch in einer produktiven Umgebung. Betrachtet man diese Phase im Detail, lassen sich unterschiedliche Problemthe-

| <b>Problemthema</b>   | <b>Abschnitt</b> |
|-----------------------|------------------|
| Auswahl Liefermodell  | 5.1              |
| Auswahl Servicemodell | 5.2              |
| Kommunikation         | 5.4              |
| Sicherheit            | 5.5              |
| Kostenmodell          | 5.6              |

Tabelle 5.1: Überblick der Problemthemen in der Konfigurationsphase

men aufspüren (aufgelistet in Tabelle 5.1). Zunächst erläutert dieses Kapitel die Problematik bei der Auswahl der richtigen Cloud Service- und Liefermodelle. Darauf folgend ist zu klären, wie die Kommunikation des BPM System in der Cloud realisiert ist. Weitergehend erläutert ein Abschnitt die Herausforderungen im Bereich Datensicherheit und Datenschutz in der Cloud. Am Ende dieses Kapitels folgt ein Abschnitt über die Kostenmodelle in der Cloud, mit deren Implikationen für die Bewertung von Prozessmodellen.

### 5.1 Liefermodell für die Cloud-basierte BPM Lösung

Cloud Computing definiert drei Liefermodelle (siehe Abschnitt 3.2.2). Die Liefermodelle wirken sich unterschiedlich auf eine Cloud-basierte BPM Lösung aus. Dieser Abschnitt soll die Probleme der einzelnen Liefermodelle für eine Cloud-basierte BPM Lösung darstellen.

Die Auswirkungen auf eine BPM Lösung in der Cloud sind durch die in Abschnitt 3.2.2 dargestellten Aspekte bestimmt.

### 5.1.1 Analyse der Public Cloud Variante

Die Möglichkeit einer offenen Anmeldung für Jedermann ist zunächst kein negativer Punkt. Hinter diesem Konzept steckt Multi-Tenancy [97]. Der Anbieter muss eine einwandfreie Versorgung der Kunden gewährleisten. Dies ist ein Grundgedanke des Cloud Computing Paradigma: Skalierbare IT Ressourcen, ohne sichtbare Grenzen. Problematisch ist die korrekte Trennung der verschiedenen Kunden. Hier muss hohe Sicherheit und großer Datenschutz gewährleistet werden. Kunden dürfen nicht die Möglichkeit haben, auf die Daten anderer Kunden zuzugreifen. Ein zufälliger Zugriff auf fremde Daten ist durchaus möglich und schon geschehen<sup>31</sup>. Gerade im Bereich der Geschäftsprozesse kann ein Datenleck problematische Auswirkungen auf die Geschäftsziele haben. Ebenso denkbar ist der Zugriff auf Daten, die auf einem Server in einem anderen Land abgelegt sind. Der Zugriff durch staatliche Behörden auf die eigenen Daten ist gleichermaßen problematisch<sup>32</sup>. Cloud-Anbieter in anderen Ländern müssen andere Datenschutzrechte implementieren, dies sollte bei der Umsetzung im Bewusstsein bleiben. Es muss eine penible Evaluation der ausgewählten Prozesse für die Cloud stattfinden. Das Risiko von Datenverlust, Know-How Verlust oder Angriffen ist deutlich höher als bei einer privaten Cloud Variante. Der Aspekt der Datensicherheit und des Datenschutzes ist für viele Unternehmen ein wichtiger Punkt (siehe Abschnitt 5.5).

Die Architektur einer öffentlichen Cloud lässt viel Spielraum für kollaborative Arbeit. Unabhängige Zusammenarbeit an der Gestaltung von Prozessen ist durchaus denkbar. Gemeinschaftlich erstellte Prozessmodelle können als Vorlage genutzt werden. Eine Evaluation des Modells ist ebenso notwendig. Gegebenfalls ist eine Anpassung an die eigene Vorgehensweise wünschenswert. Die Public Cloud Architektur und ihre Anbieter müssen sich in puncto Sicherheit und Datenschutz beweisen. Erst dann ist eine Cloud-basierte BPM Lösung für wirklich alle Prozesse denkbar. Aufgrund der eben dargestellten Bedenken, kann die öffentliche Cloud-basierte BPM Lösung nur in Teilbereichen empfohlen werden.

---

<sup>31</sup>vgl. Zugriff auf fremde Daten in der Cloud durch Bug (<http://blog.dropbox.com/?p=821>)

<sup>32</sup>vgl. Zugriff durch US Behörden auf Cloud Daten (<http://www.golem.de/1107/84763.html>)



### 5.1.2 Analyse der Private Cloud Variante

Die private Cloud unterscheidet sich signifikant von der öffentlichen Cloud. Private Clouds werden vom Kunden selbst aufgebaut, administriert und gesteuert. Man findet diese Art von Cloud Computing hinter einer Firewall, abgeschirmt vom Internet, im unternehmenseigenen Netzwerk. Der Vorteil ist die Kontrolle über alle Maschinen und das Netzwerk. Die Unterschiede zur gewöhnlichen IT Architektur im Unternehmen sind die Grundzüge des Cloud Computing: Elastische Skalierbarkeit der Dienste auf Abruf und sofortige Bereitstellung von Ressourcen inklusive genauer Abrechnung. Daneben ist die Rede von der Standardisierung und Automatisierung der IT. Für eine Cloud-basierte BPM Lösung ist eine private Cloud nur bedingt tauglich. Natürlich liegen die Vorteile in den Punkten Sicherheit, Datenschutz und Performance. Das Unternehmen selbst spart dabei keine Kosten, da es weiterhin eine eigene Infrastruktur vorhalten muss. Für Test- oder Entwicklungsumgebungen lassen sich private Clouds hervorragend einsetzen. Es lassen sich kritische Geschäftsprozesse in einer definierten Sicherheitsumgebung mit selbstdefinierten Barrieren zur Aussenwelt sicherer umsetzen. Doch gerade der Punkt der Selbstverwaltung ist oft einer der Gründe überhaupt etwas in die Cloud auslagern zu wollen. Auch müssen eigene Werkzeuge zur Verwaltung erstellt werden.

Die Private Cloud Architektur hat durchaus ihre Daseinsberechtigung. Der Vorteil des Cloud Computing im Sinne der Automatisierung der IT ist vorhanden. Die wirtschaftlichen Vorteile sind für eine Cloud-basierte BPM Lösung fragwürdig.

### 5.1.3 Analyse der Hybrid Cloud Variante

Das hybride Modell im Cloud Computing verbindet die öffentliche mit der nicht-öffentlichen Cloud. Eine hybride Cloud Architektur verspricht die Chance, die Vorteile beider Seiten zu nutzen. Eine Cloud-basierte BPM Lösung in einer hybriden Cloud Architektur kann die einzelnen Schwächen ausgleichen. Es entstehen in dieser Architektur auch Herausforderungen. Es müssen Instrumente zur Verwaltung vorhanden sein, die für beide Liefermodelle (private wie public) identisch sind. Dies bedeutet zunächst Entwicklungsaufwand. Eine Anpassung an das BPM System muss ebenfalls erwogen werden. Bei der Entscheidung und Auswahl, welche Prozesse in welche Cloud ausgelagert werden, müssen die gleichen Überlegungen wie bei der Public Cloud hinzugezogen werden.

Die Migration von einem Geschäftsprozess aus der Private Cloud zur Public Cloud (und zurück), muss strukturiert durchdacht werden. Eine Gefahr durch das Lock-in beim Anbieter

(siehe Abschnitt 6.3) besteht bei einer Überführung in die Public Cloud. Weiterhin bestehen die Probleme bezüglich Datenschutz und -sicherheit in der öffentlichen Cloud. Bei einer Migration und beim Austausch von Daten muss die Sicherheit gewährleistet sein.

## 5.2 Servicemodell für die Cloud-basierte BPM Lösung

Im folgenden Abschnitt sollen die Servicemodelle aus Abschnitt 3.2.3 verglichen werden. Die Servicemodelle unterscheiden sich durch die Verantwortlichkeiten der Anbieter und Kunden, aber auch in der Flexibilität der Lösung für den Kunden. Die identifizierten Herausforderungen bei den drei Modellen kann man anhand von praktischen Überlegungen erläutern. Dazu lässt sich das Beispiel aus Abschnitt 3.3 nutzen.

Fang et al. [29] beschreiben eine BPM Architektur auf Basis von Cloud Computing. Dabei verteilen sich die Kernbestandteile einer BPM Lösung auf die verschiedenen Servicemodelle des Cloud Computing (Abbildung 5.1). In der IaaS Ebene abstrahieren die Autoren die physische Hardware in virtuelle Ressourcen. Darauf aufbauend bieten Datenspeicher und Netzwerke (Load Balancing, dynamische Knotenkonfiguration) Zugriff auf die virtuellen Ressourcen. Darüber befindet sich der Service Bus. Dieser verwaltet Anfragen an die unteren Dienste auf Basis von Web Service, WSDL, SOAP und UDDI Technologien. So lässt sich PaaS bequem und transparent weiter aufbauen. In der PaaS Ebene sind laut Fang et al. [29] die Kernkomponenten wie Prozessengine, Geschäftsprozesse und Dienstfunktionen enthalten. Die Dienstfunktionen koppeln sich an den Service Bus. In der SaaS Schicht besteht eine Trennung zwischen Anwendungssoftware und Anwendungsbereitstellung. Die Anwendungsbereitstellung enthält die konkreten Anforderungen der Benutzer und der Anwendungssoftware. Die Software bildet die konkreten Prozessinformationen und Funktionen der Geschäftsprozesse ab. Fang et al. beschreiben ein grundlegendes Framework für ein Cloud-basiertes Business Process Management System. Es findet keine Diskussion über die möglichen Risiken und Nachteile ihrer vorgeschlagenen Architektur statt. In den folgenden Abschnitten ist eine Analyse der möglichen Problemzonen der verschiedenen Servicemodelle beschrieben.

---

<sup>33</sup>Mit Änderungen entnommen aus [29]

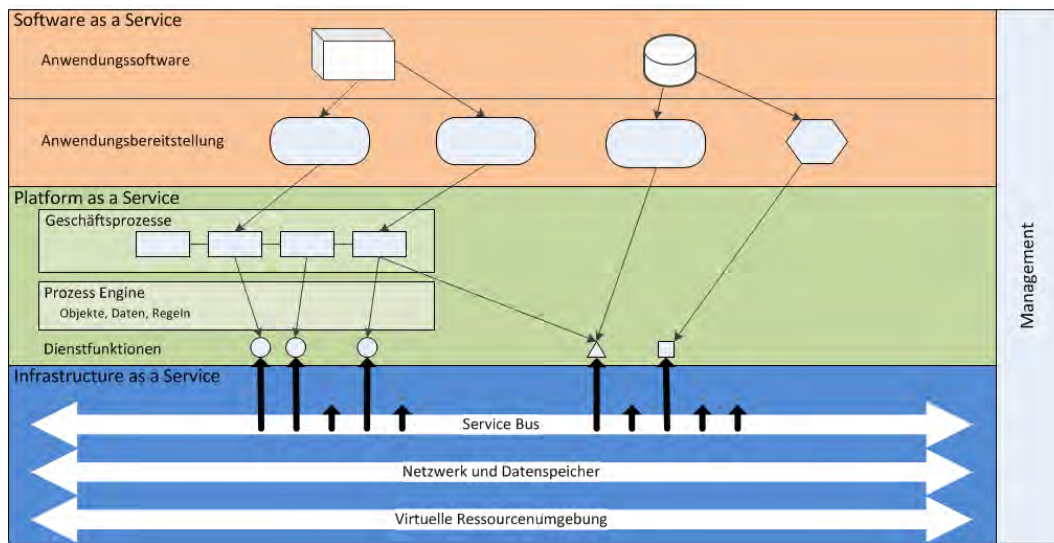


Abbildung 5.1: Das Cloud-basierte BPM Framework nach Fang et al.<sup>33</sup>

### 5.2.1 Infrastructure as a Service

Infrastructure as a Service unterscheidet sich nur in wenigen Details von der klassischen IT Architektur in Unternehmen. Eine Cloud-basierte BPM Lösung auf Basis einer IaaS sieht wie eine Implementierung eines Business Process Management System in einer on-premise Umgebung aus. Einzig die Infrastruktur im Form der Hardware liegt im Verantwortungsbereich des Anbieters (siehe Abschnitt 3.2.3). Es müssen von Seiten des Kunden dieselben Überlegungen getroffen werden, wie bei einem nicht Cloud-basierten BPM System [10]. IT Anforderungen für eine BPM sind vielfältig [64]. Die konkreten Herausforderungen für eine Cloud-basierte Lösung bestehen in der Umsetzung und Installation der Software auf dem virtualisierten System, wie Abbildung 5.2 darstellt. Der Kunde muss die BPM Lösung selbst auf dem System installieren und konfigurieren. Das System muss von Grund auf aufgesetzt werden. Es ist Expertise notwendig, die der Kunde bereitstellen oder einkaufen muss.

Genauso wichtig ist die Absicherung des Systems vor Angriffen. Der Kunde muss selbst auf Betriebssystemebene für Sicherheit sorgen. Sicherheitsaspekte sind unter Abschnitt 5.5 beschrieben.

Für das vorliegende Beispiel (vorgestellt in Abschnitt 3.3) bedeutet eine Cloud-basierte BPM Lösung auf Basis von IaaS für den Versandhändler keine Verringerung der Komplexität.

<sup>34</sup>Entnommen und adaptiert aus [10].

## 5 Betrachtung der Konfigurationsphase

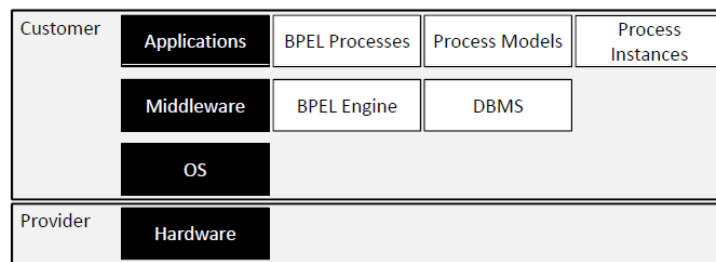


Abbildung 5.2: Aufteilung der BPM Komponenten in der IaaS Architektur<sup>34</sup>

Lediglich die Verantwortung für die Bereitstellung der Infrastruktur in Form der Hardware, Netzwerke, Speicher und Service Bus<sup>35</sup> fällt nicht mehr in den Bereich des Versandhändlers.

### 5.2.2 Platform as a Service

Die Platform as a Service Ebene erfordert weniger Verantwortung vom Kunden bei der Implementierung der BPM Lösung. Die Komplexität sinkt im Gegensatz zur IaaS Lösung (Abschnitt 5.2.1). Anbieter einer PaaS BPM Plattform sorgen für die Bereitstellung von Hardware, Betriebssystem und Middleware (siehe Abbildung 5.3). Die Kunden müssen die

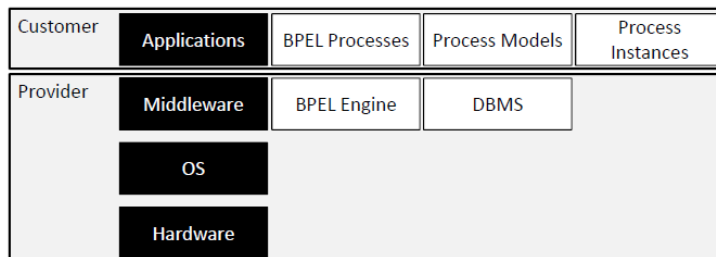


Abbildung 5.3: Aufteilung der BPM Komponenten in der PaaS Architektur<sup>36</sup>

Gestaltung der Prozessmodelle, die Übertragung auf die Prozessengine und die Überwachung der Prozessinstanzen selbst in die Hand nehmen. Dafür entfällt ein Großteil des Aufwands der Konfiguration und Wartung der Prozessengine und der Datenbanksysteme. Eine PaaS Lösung für eine BPM Umgebung beinhaltet zunächst die erforderlichen Schnittstellen zur Steuerung der Prozessengine. Weitergehende Analyse und Entwicklung für Beobachtung und Optimierung von Prozessen liegen im Verantwortungsbereich des Kunden. Eine eigene

<sup>35</sup>Der Service Bus verwaltet die Dienste über Technologien wie Web Service, WSDL, SOAP oder UDDI [29].

<sup>36</sup>Entnommen und adaptiert aus [10].

Entwicklung der dazu gehörenden Aufgaben bedeutet zusätzliche Arbeit. Es bewahrt dem Kunden allerdings ein gewisses Maß an Flexibilität [10]. Der Prozess ist an firmen-spezifische Eigenheiten anpassbar.

Bezogen auf das Beispiel in Abschnitt 3.3 lässt sich sagen, dass der Versandhändler bei der Integration weniger Komplexität vorfindet. Middleware, Betriebssystem und Hardware stellt der Cloud-Anbieter zur Verfügung. Somit kann der Versandhändler den Bestellprozess auf Basis einer BPM Plattform in der Cloud integrieren. Dabei stellt ihm der Cloud-Anbieter Werkzeuge zur Verfügung. Die Verantwortung über die Prozesse, Prozessmodelle und Prozessinstanzen trägt der Versandhändler alleine.

### 5.2.3 Software as a Service

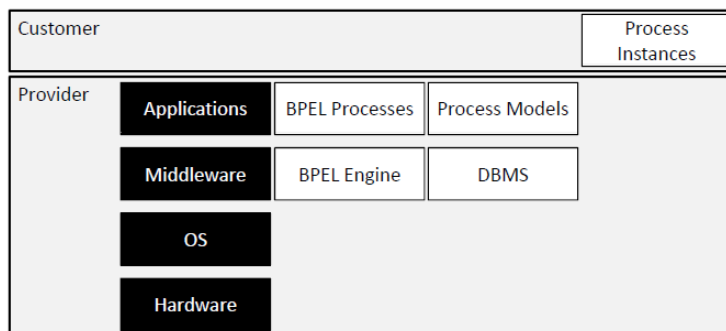


Abbildung 5.4: Aufteilung der BPM Komponenten in der SaaS Architektur<sup>37</sup>

Software as a Service bedeutet im ersten Schritt für den Kunden die höchstmögliche Reduktion der Komplexität beim Aufbau einer Cloud-basierten BPM Lösung. Einhergehend ist der Verlust von Flexibilität, da man sich bei Hardware, Betriebssystem und Applikationen auf den Anbieter verlässt. Als Kunde hat man nur wenig Anpassungsmöglichkeiten (z.B: Optik und Datenverwaltung) [10]. Unter der Kontrolle des Anwenders ist die Steuerung der Prozessinstanzen (siehe Abbildung 5.4). Prozessmodell und choreografierte Prozesse sind in der Anwendung des Anbieters beherbergt - und können im Fall eines Wechsels nur schwer exportiert werden (siehe Vendor Lock-In in Abschnitt 6.3).

Das Beispiel in Abschnitt 3.3 ist in ein SaaS Modell übertragbar. Der Versandhändler hat in diesem Fall die wenigsten Verantwortlichkeiten. Der Bestellprozess muss in der Cloud

<sup>37</sup>Entnommen und adaptiert aus [10]

modelliert werden. Dabei greift der Versandhändler auf komfortable Werkzeuge des Cloud-Anbieters zurück. Mit diesen Werkzeugen kann er den Prozess dementsprechend umsetzen. Der Cloud-Anbieter hat die Verantwortung für die gesamte Architektur und Anwendung. Der Versandhändler kontrolliert lediglich die Prozessinstanzen.

### 5.3 Bestehende Informationssysteme

Im Unternehmen sind für eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungsfällen unterschiedliche Informationssysteme vorhanden [65]. Darunter fallen zum Beispiel Warenwirtschaftssysteme, Enterprise Resource Planning (ERP), Customer Relationship Management (CRM), Supply Chain Management (SCM) und andere datenbanklastige Systeme. Während des Wachstums eines Unternehmens lässt sich auch ein Wachstum der IT-Landschaft beobachten. Getrieben durch unternehmensinterne Entwicklungen und Zukauf von Software, entsteht eine heterogene IT-Infrastruktur [19], wie in Abbildung 5.5 dargestellt ist.

Für die Entwicklung verteilter Systeme und für die Nutzung von heterogener IT-Systeme kommt eine SOA in Betracht. SOA kann Komponenten und Systeme kapseln und zur Verfügung stellen. Durch die lose Kopplung ist eine flexible Anbindung möglich. Sicherlich ist eine Anbindung von Legacy-Systemen<sup>38</sup> ohne Konnektoren einer SOA möglich. Diese kostspielige Variante beruht auf der Änderung des Altsystems, wofür Experten und ein hoher Zeitaufwand nötig sind [24].

Für die Integration der eigenen IT-Systeme in die Prozessmodelle und somit in das BPM System, ist eine Technologie notwendig, die diese Einbindung ermöglicht. Eine service-orientierte IT-Landschaft im Unternehmen ist die Basis für eine erfolgreiche Verzahnung von Prozessen und Informationssystemen. Nach dem Hype um die Jahrtausendwende kann das Paradigma SOA mittlerweile als ausgereift bezeichnet werden [83]. Werkzeuge und Technologien, um über SOA einem Prozess in der Cloud wichtige Daten und Anwendungen zugänglich zu machen, sind vorhanden. Die Hürden einer SOA in Form einer größeren Komplexität der gesamten Architektur, hoher Anfangsinvestitionen und hoher laufender Kosten der SOA-Plattform stehen dem gegenüber.

Folglich lässt sich sagen, dass die Anbindung von bestehenden Informationssystemen an eine Cloud-basierte BPM Lösung durchaus möglich ist. Die Anreicherung mit Informationen

<sup>38</sup>Ein Legacy System ist ein historisch gewachsenes Konstrukt innerhalb der IT, auf das meist nicht verzichtet werden soll.

<sup>39</sup>Entnommen aus [70]

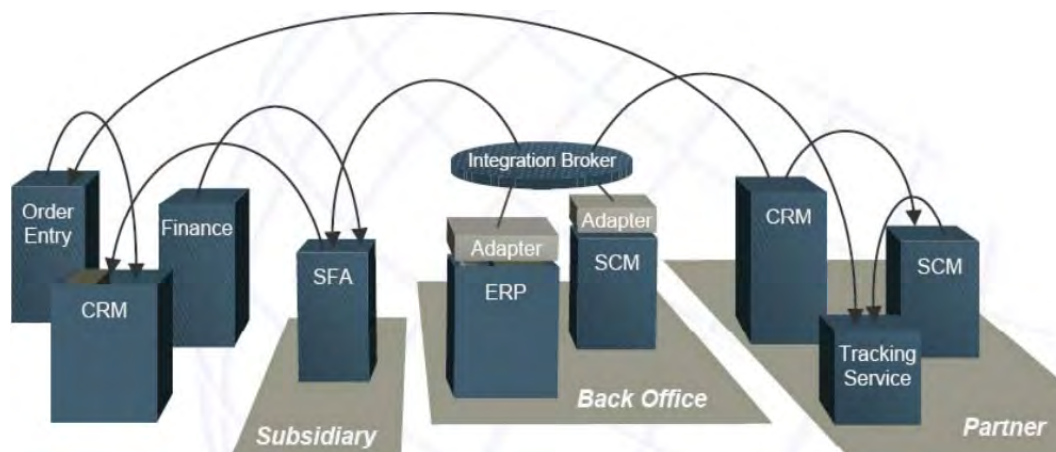


Abbildung 5.5: Abbildung einer heterogenen IT und ihren gewachsenen Strukturen<sup>39</sup>

aus den eigenen Datenbanken zur Steuerung der Prozesse in der Cloud ist sinnvoll. Die Umsetzung der Kommunikation kann auf einer SOA basieren. Hinderlich wird der Betrieb, sobald man nicht auf eine SOA setzt. Eine systemabhängige Integration erfordert hohen Aufwand.

## 5.4 Kommunikation und Schnittstellen in einem Cloud-basierten BPM System

Die Kommunikation stellt eine wichtige Eigenschaft von BPM Systemen dar. Zu jeder Zeit Informationen über laufende Prozesse zu erhalten, ist letztlich ein Ziel einer IT-gestützten Geschäftsprozessausführung. Umso bedeutender ist die Betrachtung der Kommunikationswege und der Schnittstellen in einem Cloud-basierten BPM System.

In einem ersten Schritt fällt die Betrachtung auf die Schnittstellen in der Cloud. Aufbauend auf der Klärung dieser Problematik betrachtet diese Arbeit die Steuerung der Prozesse in der Cloud.

### 5.4.1 Schnittstellen in der Cloud

Schnittstellen sind wichtige Bestandteile bei der Entwicklung von Anwendungen. Gut bedienbare Schnittstellen sorgen für saubere und geordnete Arbeitsabläufe. Bei der Implemen-

## 5 Betrachtung der Konfigurationsphase

tierung von Cloud-basierten BPM Systemen sind Schnittstellen die Grundlage der Kommunikation. Eine Firma möchte ihre Prozesse über die Cloud ebenso kontrollieren können, wie in einem on-premise System. Die Anforderung an die Cloud-Anbieter ist daher, geeignete Schnittstellen zur Verfügung zu stellen.

Beachtenswert sind Schnittstellen immer dann, wenn die Kommunikation unterschiedlicher Systeme wichtig ist. Wie sieht die Kommunikation bei Cloud-basierten Systemen aus? Zunächst sind folgende Situationen voneinander zu trennen:

- Schnittstellen für die Steuerung
- Schnittstellen für die Fehlerübertragung
- Schnittstellen für die Datenabfrage

Allgemein haben die Schnittstellen zu den Prozessen in einem Cloud-basierten BPM System die Aufgabe, den Prozess wie eine Einheit aussehen zu lassen. Die Schnittstellen sollen die Cloud-Lösung benutzbar machen. Zu unterscheiden ist zwischen den einzelnen Servicemodellen und ihren Verantwortlichkeiten. Bei einer IaaS Lösung liegen alle Verantwortlichkeiten für die Schnittstellen beim Kunden. Bei PaaS oder SaaS teilen sich Kunde und Anbieter diese Verantwortlichkeiten.

Für die Koordination von Teilprozessen in der Cloud sind Schnittstellen für die Steuerung gefordert. Sie sind es zwar auch bei komplett ausgelagerten Prozessen, allerdings ist in diesem Fall keine Koordination zwischen Prozessengines nötig (dazu mehr in Abschnitt 5.4.2). An den Schnittpunkten der Prozessteile sind Schnittstellen notwendig, um die durchgehende Ausführung der Prozesse nicht zu behindern. Für die Cloud müssen die Anbieter geeignete Schnittstellen bereitstellen. Die in Abbildung 5.6 rot markierten Stellen markieren Schnitt-

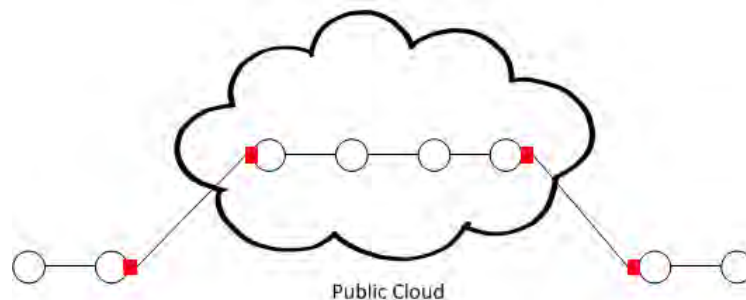


Abbildung 5.6: Schnittstellen zwischen Cloud und on-premise Systemen

stellen von großer Bedeutung. Es handelt sich um Prozessfragmentierung. An diesen Stellen



muss der Prozess Parameter und wichtige Daten der laufenden Prozessinstanz an die Cloud weitergeben. Wichtige Daten sind zum Beispiel Status der Instanz, interne Datensätze oder Zeitvorgaben. An der Gegenstelle in der Cloud müssen diese Daten korrekt ankommen und verwertbar sein. Dazu braucht es geeignete Schnittstellen, die zueinander passen. Bei der Prozessmigration sind ebenfalls Steuerungsschnittstellen nötig. Die richtige Koordinierung der Prozesse über die Cloud hinweg ist essentiell.

Die Schnittstellen für die Fehlerübertragung sind genauso bedeutend. Im Fehlerfall muss der Cloud-Anbieter dem Kunden Statusinformationen über die laufenden und nicht laufenden Instanzen geben können. Die korrekte Zusammensetzung der Fehler und deren Auswertung

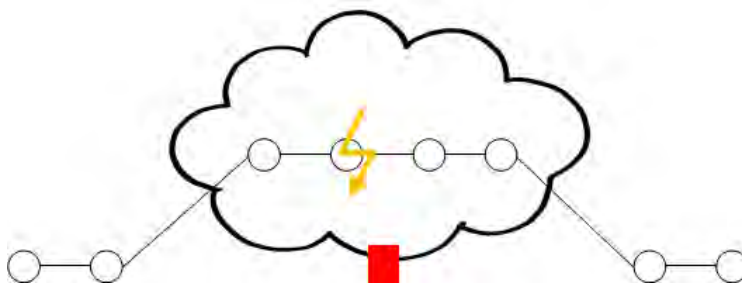


Abbildung 5.7: Schnittstelle für den Fehlerfall in der Cloud

erfordert intelligente Schnittstellen zur Cloud (siehe Abbildung 5.7). Es müssen im Notfall detaillierte Informationen zum Abbruch der Instanzen vorliegen, um geeignete Maßnahmen und Veränderungen einzuleiten. Wichtige Parameter für den Fehlerfall sind zum Beispiel Zeit und exakte Fehlermeldung. Schnittstellen für die Datenabfrage in der Cloud sind gleichzusetzen mit Diensten im Internet. Über geeignete Schnittstellen lassen sich beliebige Daten abfragen. In der Cloud ist es wichtig, dass der ablaufende Prozess auf externe Daten zugreifen kann. Das bedeutet, dass die Cloud-Anbieter die Möglichkeit bereit stellen müssen, externe Aufrufe von Schnittstellen zu ermöglichen. Eine Konfiguration von Web Services im Werkzeug des Anbieters sollte dazu vorhanden sein.

Problematisch im Bereich Schnittstellen sind die unzähligen Varianten der einzelnen Cloud-Anbieter. Eine Standardisierung im Bereich Schnittstellen und APIs ist quasi nicht vorhanden. Jeder Cloud-Anbieter hat seine eigenen Definitionen der Schnittstellen. Dies ist negativ zu werten, da ein Wechsel zu einem anderen Anbieter immer Aufwand bei der Anpassung der Programmlogik mit sich bringt. Betrachtet man beispielsweise die APIs der verschiedenen Speicherlösungen in der Cloud, fallen sofort die unterschiedlichen APIs der Hersteller

auf [87]. Es gibt keine konsistente Schnittmenge der Befehle zwischen den Cloud-Anbietern. Dies hat auch Auswirkungen auf eine Cloud-basierte BPM Lösung. Nicht standardisierte Schnittstellen bedeuten immer Individualisierung. Abhängigkeit ist damit einhergehend impliziert.

### 5.4.2 Steuerung der Prozesse in der Cloud

Die Steuerung der Prozesse in der Cloud ist eine Grundanforderung bei der Nutzung des Systems. Mit der Steuerung der Prozesse ist die Koordination der Ausführung gemeint. Für ein BPM System in der Cloud ist die Steuerung der Prozesse nur über Management Werkzeuge des Anbieters möglich (sofern keine IaaS Lösung aufgebaut ist). Die Kommunikation für die Prozesssteuerung ist deshalb abhängig vom jeweiligen Cloud-Anbieter. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, sind entsprechende Schnittstellen nötig. Mit diesen kann das lokale System dem Prozess in der Cloud Befehle wie *Start*, *Stop*, *Schedule* oder *Abort* weitergeben.

Bei der verteilten Steuerung von Prozessteilen ist die verteilte Verwaltung der Prozesse eine Notwendigkeit. Es sollte schon früh, möglichst im Prozessmodell, ein Konzept dafür bereitstehen. Bei der verteilten Prozessausführung muss der Zustand einer Instanz jeder Prozessengine zur Verfügung stehen. Eine globale Speicherung birgt Risiken bei der Abfrage durch entfernte Engines. Laut Sairamesh et al. [75] muss jede Instanz festhalten, welche Aktivitäten ausgeführt sind, welche nicht und was die Ergebnisse der beendeten Aktivitäten sind. Dies muss anderen Prozessengines zur Verfügung stehen.

Problematisch ist die Steuerung der Cloud mit ausgelagerten Prozesse bei ausgefallenen Verbindungen (siehe Abschnitt 6.2). Das Offline Verhalten der Prozesse in der Cloud ist ohne Steuerungsmöglichkeit sehr beschränkt. Laufen die Prozesse weiter, sind unkontrollierbare Zustände möglich. Laufen die Prozesse nicht weiter, ist keine Fehlerbehebung möglich.

Zu beachten ist bei der Steuerung, dass es kein standardisiertes *Set* an Befehlen gibt. Es ist keine Standardisierung in diesem Bereich erkennbar. Deshalb ist auch die Steuerung der Prozesse individuell an die Gegebenheiten anzupassen.

## 5.5 Sicherheit und Datenschutz

Sicherheit und Datenschutz sind im Bereich des Cloud Computing ein viel diskutiertes Themengebiet. Dabei sind die folgenden Punkte relevant [15]:

- Vertraulichkeit
- Integrität
- Verfügbarkeit
- Authentizität
- Zurechenbarkeit
- Pseudonymität

Natürlich gelten diese zu schützenden Punkte auch in einem on-premise System. In der Cloud besitzen diese Themen aber vor allem in einer öffentlichen Umgebung Brisanz. Bedingt durch die drei unterschiedlichen Servicemodelle, ergeben sich folgende Verantwortlichkeiten [15]:

- IaaS: Die Verantwortung für die Sicherheit liegt zum großen Teil beim Kunden
- PaaS: Die Verantwortung für die Sicherheit liegt sowohl beim Kunden als auch beim Anbieter
- SaaS: Die Verantwortung für die Sicherheit liegt zum großen Teil beim Anbieter

Dies hat Auswirkung auf eine Cloud-basierte BPM Lösung. Hat der Kunde sich für ein IaaS Modell entschieden, so muss er sich zum großen Teil selbst um die Sicherheit und um den Datenschutz des Systems kümmern. Der Anbieter ist nur für die Verfügbarkeit der Infrastruktur verantwortlich. Er muss dafür Sorge tragen, dass die virtualisierten Ressourcen, die er zur Verfügung stellt, immer für den Kunden erreichbar sind. Es ist denkbar, dass die virtualisierten Systeme angreifbar sind. Auch in diesem Bereich muss der Anbieter für Schutz sorgen. Alle Ebenen darüber muss der Kunde das Thema Sicherheit und Datenschutz beachten.

Das PaaS Model hat mehr sicherheitskritische Aspekte als das IaaS Modell. Beim Auslagern der Prozesse auf eine PaaS BPM Lösung liegt die Verantwortlichkeit über die Prozessengine beim Anbieter. Der Anbieter führt das Modell aus und überwacht es zudem. Kunden müssen vor dem Ausführen ihr Prozessmodell in die Anwendung hochladen und freigeben. Der Kunde legt damit seine internen Abläufe für den Anbieter offen dar. Um diese internen Daten

## 5 Betrachtung der Konfigurationsphase

zu schützen, muss die Plattform des Anbieters Vertraulichkeit und Integrität bieten. Laut Anstett et al. [10] sind folgende Voraussetzungen nötig:

- Es darf einem Dritten nicht möglich sein, dass Prozessmodell auszulesen
- Das Prozessmodell darf nicht durch Dritte änderbar sein
- Unerlaubte Veränderungen am Prozessmodell müssen überprüfbar sein
- Das Prozessmodell darf nicht auf eine andere (korrupte) Prozessengine übertragbar sein

Diese vier Voraussetzungen implizieren den Einsatz von Verschlüsselung und Signaturen. Mit der Verschlüsselung der Prozessmodelle erreichen die Anbieter Vertraulichkeit. Eine elektronische Signatur [71] hilft bei der Sicherung der Integrität. Anstett et al. [10] schlagen eine PKI vor. Mit dieser Lösung erhalten Prozessengines einen eigenen privaten Schlüssel. Diese Engines akzeptieren nur Prozessmodelle, welche mit dem öffentlichen Schlüssel verschlüsselt sind. Dadurch sind alle anderen Prozessmodelle ausgeschlossen. Eine PKI benötigt allerdings größeren Aufwand bei der Implementierung. Problematisch ist auch, dass die Prozessengine an sich beim Anbieter veränderbar ist. Eine umfassende Sicherung der Engine (beispielsweise mittels Signatur der Engine) ist nötig, um auch Veränderungen an dieser festzustellen.

Für die Verschlüsselung der Prozessmodelle kann auf BPEL Seite XML-Encryption<sup>40</sup> und XML-Signature<sup>41</sup> zum Einsatz kommen [10]. BPMN Modelle sind in unterschiedlichen Dateiformaten vorliegend. Ihre Verschlüsselung ist nicht durch einen Standard abgedeckt. Um verschlüsselte Dokumente zu lesen, ist beim Bereitstellen des Modells auf der Engine eine Entschlüsselung nötig.

BPM Systeme speichern Prozessmodelle und Instanzinformationen in internen Datenbanken. Diese liegen bei der PaaS Lösung in der Verantwortung des Anbieters. Dieser muss sicherstellen, dass ein Zugriff durch Dritte auf die Datenbanken nicht möglich ist. Es ist denkbar, dass durch den Zugriff Informationen zu den Prozessen abrufbar sind. Anstett et al. sehen demnach diese Voraussetzungen [10]:

- Es darf nicht möglich sein, die Prozessdefinition eines Prozesses durch Zugriff auf das Datenbanksystem zu rekonstruieren
- Es darf nicht möglich sein, Informationen aus den Prozessinstanzen durch Zugriff auf das Datenbanksystem zu erhalten

<sup>40</sup>vgl. W3C Recommendation <http://www.w3.org/TR/xmlenc-core/>

<sup>41</sup>vgl. W3C Recommendation <http://www.w3.org/TR/xmldsig-core/>

Die unterschiedlichen Datenbanken im BPM System speichern Daten der Prozessmodelle, Instanzen und weiteren Informationen. Es muss nicht unbedingt direkter Zugriff auf die Datenbank mit dem gespeicherten Prozessmodell vorliegen. Mittels Process Mining Techniken [1] lassen sich Prozessmodelle auch aus den Instanzdaten und den Ausführungs-Logs rekonstruieren. Deshalb müssen Datenbanken mit solchen Informationen zusätzlich gesichert sein. Die Problematik ist dieselbe. Das Verschlüsseln der Datenbank kann über eine PKI ablaufen. Allerdings ergeben sich daraus Schwierigkeiten bei der Ausführung von Abfragen [10]. Deswegen sind andere Ansätze in Richtung abgesicherter Datenbank durchaus sinnvoll. Es ist wichtig zu unterscheiden, welche Teile von Prozessen das Unternehmen in ein öffentliches Cloud-BPM auslagern möchte. Kritische Prozesse bzw. Prozessteile müssen abgesichert sein.

SaaS Lösungen und damit einhergehende multi-mandanten Architekturen erfordern weitere Sicherheitsmaßnahmen. Setzt der Anbieter eines Cloud-basierten BPM Systems auf eine einzelne Prozessengine, welche von mehreren Mietern genutzt werden soll, muss eine Absicherung der jeweiligen Mieter stattfinden. Setzt der Anbieter mehrere Engines für die Kunden ein, gelten die kritischen Anmerkungen aus der PaaS Ebene. Teilen sich mehrere Kunden eine Prozessengine, so muss der Anbieter tiefergehende Maßnahmen zum Schutz ergreifen. Die Isolation der einzelnen Kunden sollte hohe Priorität haben. Ein unbeabsichtigter Datenaustausch zwischen den verschiedenen Mandaten kann den Datenschutz umgehen. Deshalb ist es notwendig, die Daten entweder physisch oder logisch strikt zu trennen. Es ist darauf zu achten, dass die Prozessengine eine eindeutige Identifizierung zulässt und somit sicherstellt, dass die Daten den richtigen Empfänger erreichen.

Beim Thema Datenschutz ist die Rechtslage kritisch zu betrachten. Meist sind die Daten von Kunden bei Cloud-Anbietern auf Servern in anderen Ländern gespeichert. Dies zieht juristische Fragen nach sich. In einem jüngst veröffentlichtem Artikel<sup>42</sup> ist zu lesen, dass beim Auslagern von Daten besondere Anforderungen erfüllt sein müssen. In der Orientierungshilfe Cloud Computing [21] aller Datenschutzbeauftragten des Bundes heißt es: "Unternehmen und Anbieter müssen im Cloud-Vertrag ausdrücklich vorsehen, personenbezogene Daten ausschließlich in Rechenzentren innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums zu verarbeiten, das heißt innerhalb der EU sowie Island, Liechtenstein und Norwegen." Außerdem muss sich der Cloud-Anbieter zwingend der Geltung des EU-Rechts unterwerfen. Eine andere Möglichkeit sieht folgende Voraussetzungen: Der Cloud-Anbieter aus den USA muss sich

---

<sup>42</sup>vgl. Heise <http://heise.de/-1353083>

gegenüber dem US-Handelsministerium zur Einhaltung der Safe-Harbor-Grundsätze<sup>43</sup> verpflichtet haben. Außerdem muss er mit den europäischen Datenschutzbehörden kooperieren. Das deutsche Unternehmen und der US-Cloud-Anbieter müssen zudem eine Vereinbarung nach den Grundsätzen der Auftragsdatenverarbeitung nach deutschem Datenschutzrecht schließen, die eine Reihe von Garantien enthält. Nur dann ist für deutsche Unternehmen die Nutzung von Cloud-Angeboten in anderen Ländern möglich.

## 5.6 Kostenmodell

Kosten sind im Bereich Cloud Computing ein großer Treiber. Die Industrialisierung der IT und die damit einhergehend wirtschaftlichere Nutzung der Ressourcen macht Cloud Computing beliebt. Dabei ist nicht nur die allgemeine Kostenkomponente geringer - auch Zeiterparnisse und die Abwendung von Risiken und Hürden gehen einher mit Cloud Computing [15]. Allerdings ist die Frage, ob sich Cloud Computing generell für jedes Unternehmen lohnt, pauschal nicht zu beantworten. Vielmehr muss bei jedem Projekt eine Abwägung stattfinden, ob es sich lohnt auf die Cloud zu setzen oder nicht.

Allgemein sind beim Cloud Computing verschiedene Kostenmodelle zu sehen. Die Bestimmung der Kosten ist sehr von den Eigenschaften und Anforderungen der Anwendung abhängig [15]. Eine Zusammenstellung von möglichen Kostenmodellen liefert Schmitt [78]:

### Usage based (nutzungsabhängig)

Hierbei beziehen sich die Kosten für den Kunden auf die tatsächliche Nutzung des Leistungsangebotes, z. B. die Abrechnung nach übertragenem Datenvolumen. Aber auch indirekt nutzungsabhängige Beispiele wie Abrechnung nach Anzahl der Benutzer oder Anzahl der Mitarbeiter zählen zu den usage-based Modellen.

### Performance based (leistungsniveauabhängig)

Diese Art von Erlösmodellen beziehen Leistungsergebnisse als Faktor von Bewertung und Bezahlung ein. Meist wird in Service Level Agreements ein bestimmtes Leistungsniveau vom Anbieter garantiert, wie zum Beispiel Serverkapazität oder Übertragungsgeschwindigkeiten. Bei Nichteinhaltung der Leistung kann es zu Abschlagszahlungen kommen. Aber auch Bonuszahlungen bei Überschreitung des vertraglich geregelten Leistungsniveaus sind möglich.

---

<sup>43</sup>Datenschutz-Vereinbarung zwischen der Europäischen Union und der USA, siehe <http://export.gov/safeharbor/>

**Value based (leistungsergebnisabhängig)**

Wenn der Anbieter die Kosten abhängig vom Output des Kunden macht, spricht man von value-based Modellen. Das heißt, der Anbieter übernimmt einen Teil des Marktrisikos des Kunden. Neben finanziellen Kennzahlen wie Absatz- und Gewinnwerten, werden zum Beispiel Kundenzufriedenheit oder Innovationspotenzial bewertet.

**On demand (bei Bedarf, auf Abruf)**

Dieser Begriff prägt das SaaS Modell und taucht heutzutage immer öfter auf, wenn es darum geht, Anforderungen zeitnah zu erfüllen. *Schneller* bzw. *sofort*, *flexibler* oder *individuell* sind nur einige beschreibende Adjektive des On-demand Modells. Als Beispiel dient die sofortige Verfügbarkeit von Daten durch On-Demand Dienste (z.B. Video On-Demand). Es wird nur eine eingekaufte Ware oder Leistung bezahlt, ohne weitere Bindung an den Anbieter oder an zusätzliche Einrichtungs- bzw. Wartungsgebühren. On demand erscheint immer in Kombination mit einem anderen Erlösmodell und wird dann je nach Kundenbedürfnis verrechnet.

Die vier verschiedenen Modelle unterscheiden sich je nach Servicemodell in der Cloud. Zusätzlich fördert die Dynamik des Internets neue Dienste und Modelle zu Tage.

Cloud-basierte BPM Systeme sind aktuell sehr stark nutzungsabhängig abgerechnet. Hersteller von BPM Software in der Cloud wie Intalio<sup>44</sup>, RunMyProcess<sup>45</sup> oder Cordys Process Factory<sup>46</sup> setzen auf eine Abrechnung auf Basis der Benutzer pro Jahr. Pauschalangebote für nutzungsabhängige Kosten sind in diesem Bereich bisher der Normalfall. Die Anbieter können mit diesen Pauschalangeboten besser kalkulieren und ihre anfallenden Kosten decken.

Letztlich ist die detaillierte Abrechnung der Kosten einer der Grundgedanken des Cloud Computing. Nutzungsabhängige Abrechnungsmodelle (pay as you go) sollen auf der zeitverteilten, tatsächlichen Nutzung von Ressourcen basieren [15]. Es wäre demnach nur folgerichtig, wenn die Kosten in einer Cloud-basierten BPM auf Basis der Prozessmodelle und Instanzen abgerechnet werden. Dadurch wäre eine präzise Kostenrechnung möglich. Denkbar ist damit nicht nur eine genauere Auflistung der anfallenden Kosten bei der Auslagerung in die Cloud. Es wäre möglich, die zukünftige Kostenentwicklung abzusehen. Und es müsste möglich sein zu bewerten, ob es sich lohnt einen Prozess in die Cloud auszulagern.

Die Idee eines präzisen Kostenmodells, berechnet anhand des konkreten Prozesses, beruht auf der Bewertung von Prozessen. Das Bewerten von Prozessmodellen ist in der Wissen-

<sup>44</sup>Intalio BPM <http://www.intalio.com/bpm>

<sup>45</sup>RunMyProcess <http://www.runmyprocess.com/>

<sup>46</sup>Cordys Process Factory <http://www.cordysprocessfactory.com/>

## 5 Betrachtung der Konfigurationsphase

schaft bereits erforscht. Gruhn et al. [37] beschreiben verschiedene Metriken und stellen ein Werkzeug vor, mit dem Komplexitätsmetriken für EPKs gemessen werden können. Des Weiteren vergleichen Gruhn et al. [36] in einem Artikel verschiedene Komplexitäts-Metriken für Geschäftsprozessmodelle. Magnani et al. [56] empfehlen Erweiterungen in BPMN vor, um die Kosten der Diagramme zu berechnen. Sampath et al. [76] bevorzugen, aufbauend auf der Arbeit von Magnani et al., eine Berechnung der Kosten auf der Grundlage von Patterns. Diese enthalten auch die Faktoren Zuverlässigkeit und Kosten für eine erfolgreiche Ausführung der Prozesse. Für die Kontrollflüsse in Geschäftsprozessen hat Cardoso [23] ein Berechnungsmodell für die Komplexität dargestellt. Dieses Modell berechnet anhand der verschiedenen Gateways Kosten für ein Prozessmodell. Aguilar et al. [7, 6] geben dem Leser einen Satz von 46 Basis Messwerten (meist fallen darunter zählbare Elemente in BPMN) und 14 darauf aufbauende Messwerte (zum Beispiel Konnektivitätslevel zwischen Aktivitäten) an die Hand. Damit lässt sich die strukturelle Komplexität von Prozessmodellen auf konzeptueller Ebene messen.

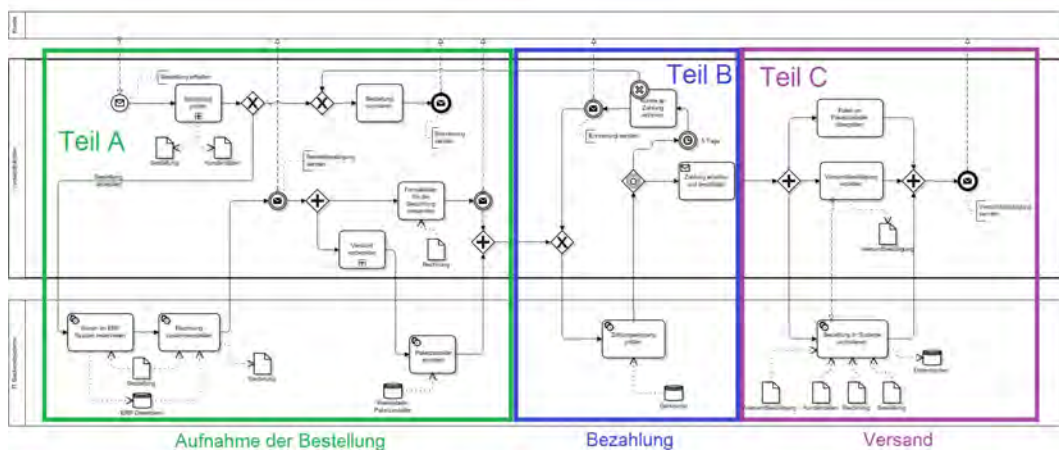


Abbildung 5.8: Der Bestellprozess in drei Prozessteilen

Aus diesen Möglichkeiten zur Bewertung von Prozessmodellen können neue Erkenntnisse für ein Kostenmodell für Cloud-basierte BPM gewonnen werden. Wenn man die Möglichkeit zur Bewertung von Prozessmodellen mit cloudspezifischen Faktoren verbindet und eine Gewichtung vornimmt, kann man eine Aussage darüber treffen, ob es sich lohnt, einen Prozess bzw. einen Prozessteil in die Cloud auszulagern. Das feingranulare Kostenmodell für die Cloud kann ein Unternehmen dann als Vergleich gegenüber pauschalen Angeboten einsetzen. Abbildung 5.8 zeigt eine mögliche Aufteilung des Bestellprozesses in drei Teile. Teil A besteht



aus dem Eingang der Bestellung und der Prüfung derselben, Teil B beinhaltet die Inkasso Verwaltung und Teil C enthält den konkreten Versand und die Pflege der Systeme. Wenn ein Kostenmodell vorhanden ist, welches aufgrund von einem Prozessmodell und Cloud-Spezifika eine Berechnung durchführt, müsste dieses Kostenmodell drei unterschiedliche Werte für die Teilprozesse liefern.

Annahme: Der gesamte Bestellprozess erhält einen Wert  $Kosten_{Gesamt} = 100$ , der Teil A einen Wert  $Kosten_A = 45$ , Teil B einen Wert von  $Kosten_B = 35$  und Teil C einen Wert von  $Kosten_C = 20$ . Dies bedeutet, dass der Teil A im Prozess die meisten Kosten verursacht. Teil C hingegen verursacht nur einen geringen Teil der Kosten im Prozess - er ist nicht so komplex wie die beiden anderen Teile. Durch diese Bewertung lässt sich schlussfolgern, welche Prozesse das Unternehmen am Besten in die Cloud übertragen sollte. Um die richtigen Stellen für eine Teilung von Prozessen zu finden, sind Mechanismen wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben notwendig. Die Fragmentierung der Prozesse ist nicht trivial und muss genau überwacht werden. Es ist denkbar, dass Cloud-spezifische Eigenschaften der verschiedenen Anbieter beim Entscheidungsprozess der Fragmentierung hilfreich sind.

Problematisch ist derzeit die Vergleichbarkeit eines feingranularen Kostenmodells mit den derzeitigen Angeboten im Bereich Cloud BPM (Beispielangebote sind in Tabelle B.3 aufgeführt). Kommerzielle Anbieter erweitern das Spektrum ihres Angebotes mit zusätzlichen Eigenschaften (z.B. Support). Dies ist bei diesen Anbietern im Preis inbegriffen. Das Kostenmodell berechnet nur den Wert für das Prozessmodell. Hier ist es schwierig, eine vergleichbare Situation zu schaffen.

Weiter ist eine Problematik in den Ergebnissen erkennbar. Wenn das Kostenmodell zu einem Prozessmodell einen Wert berechnet, ist ein Grenzwert nötig, um die Aussage zu treffen, ab wann es sich rentiert, den Prozess in die Cloud auszulagern. Diese Grenze müsste willkürlich bestimmt werden, denn die Bewertung erfolgt nur anhand des Modells. Dieses Modell lässt sich beliebig anpassen. Unterschiedliche Menschen modellieren Prozesse nicht gleich. Auch der Detailgrad der Modelle spielt dabei eine Rolle. Damit ist gemeint, dass Person A den Prozess in drei Aktivitäten modelliert, während Person B dasselbe Modell in sieben Schritten modelliert. Ebenso sind Prozessmodelle in zwei unterschiedlichen Modellierungssprachen nicht vergleichbar. Auf diese Problematik weist auch Liebrecht [52] hin. Es ist keine Skala existent, mit deren Hilfe beurteilbar ist, welches Prozessmodell *gut* oder *schlecht* ist. Die Skala kann nur beurteilen, wie hoch die Kosten bzw die Komplexität des Prozessmodells ist.

## 5 Betrachtung der Konfigurationsphase

Mit Qualitäts- und Modellier-Guidelines wie zum Beispiel von Mendling [57] können Prozesse eine Verbesserung der Modellierung erfahren. Dies dient im Grunde nur der Lesbarkeit.

Der vorliegende Bestellprozess ist in puncto Kosten differenziert zu bewerten. Die Darstellung in Abbildung 5.8 mit den drei Teilen lässt sich unterschiedlich auswerten. Teil A hat eine sehr intensive Kommunikation mit externen Diensten. Ebenso sind in diesem Teil einige Aktivitäten dabei (z.B. Bestellung prüfen), welche das BPMS intensiver nutzen. Dagegen sind Teil B und C weniger komplex und kostenintensiv. Die Bezahlung in Teil B kann hohe Kosten verursachen, da das BPMS längere Zeit warten und jeweils mit der Aktivität *Zahlungseingang prüfen* wiederholende Aufgaben abarbeiten muss. Teil C dürfte die wenigsten Kosten verursachen.

Zusammenfassend ist die Aussage zu treffen, dass die Beantwortung der Frage *Welche Prozesse eignen sich für die Cloud?* nicht trivial ist. Ein detailliertes Kostenmodell ist ein Anfang für das Erreichen dieses Ziels.

## 6 Betrachtung der Ausführungsphase

Die Herausforderungen einer Cloud-basierten BPM Lösung im Bereich der Ausführungsphase (siehe 3.1.1), sollen in diesem Kapitel Betrachtung finden.

In dieser Phase ist die konkrete Ausführung der Prozesse im Business Process Management System im Fokus. Die Prozessengine erzeugt dabei die jeweiligen Instanzen auf der Grundlage des Prozessmodells. Die Technik und das Monitoring sind wichtige Rahmenbedingungen in dieser Phase.

Drei Problemthemen sind in diesem Kapitel von Bedeutung. Zunächst erläutert die Arbeit die Problematik der Leistung bei Cloud-basierten BPM Systemen. Darauf folgend ist das Offline-Verhalten für die Cloud Lösung unter der Lupe betrachtet worden. Und am Ende dieses Kapitels folgt ein Abschnitt über die Austauschbarkeit in der Cloud.

### 6.1 Leistung und Durchsatz

Leistung und Durchsatz sind wichtige Eigenschaften für ein BPM System. Meist muss die Prozessengine mehrere tausend Instanzen parallel ausführen. Cloud Computing soll den hohen Bedarf an Ressourcen (Speicher, Rechenzeit, etc.) abfangen. Lastspitzen lassen sich durch effektives Management der Cloud abfangen. Je nach Konfiguration sind die Systeme in der Cloud auf Performance ausgelegt. Der Cloud-Anbieter stellt die Hardware so zusammen, dass diese optimal mit der Software zusammenarbeitet.

Cloud Computing basiert auf Virtualisierung. Durch die Abstraktion der Hardware in eine virtualisierte Schicht lassen sich die Ressourcen besser verteilen, nutzen und verwalten. Ein Business Process Management System in der Cloud lässt sich demnach bei Bedarf skalieren. Die Situation sieht folgendermaßen aus: Bei der Integration auf IaaS Ebene ist der Kunde für das Business Process Management System verantwortlich. Leistung und Durchsatz gehören in den Verantwortungsbereich des Kunden. Er muss dafür Sorge tragen, dass die Anforderungen des Business Process Management Systems an die Hardware erfüllt sind. Es

## 6 Betrachtung der Ausführungsphase

unterscheidet sich nicht von der on-premise Architektur. Wichtige Punkte bei der Auswahl der Hardware sind:

### **CPU**

Eine moderne Prozessorarchitektur mit mehreren Rechenkernen gehört zur Grundausstattung. Eine Skalierung in horizontaler (d.h. mehrere parallel laufende Tasks) und vertikaler (d.h. pro Task genügend Rechenkapazität) Richtung ist gegeben, wenn mehrere CPUs und Kerne mit höherer Taktung eingesetzt werden.

### **RAM**

Eine robuste und ausreichende Hauptspeichermenge kann die Leistung von BPM Systemen erhöhen. BPM Anwendungen sind in diesem Bereich anspruchsvoll.

### **I/O**

Datenbanken und sonstige Daten sind auf Festplatten verteilt. Hoher Datendurchsatz kann das System beschleunigen. Die Festplatte gilt in modernen Systemen als Flaschenhals, weshalb eine genaue Betrachtung nötig ist.

### **Netzwerk**

Die Netzwerkanbindung der Maschine kann bei der Kommunikation mit vielen Diensten zum Flaschenhals mutieren. Eine ausreichende Dimensionierung ist notwendig.

In virtualisierten Systemen kann das Betriebssystem nicht direkt auf die Hardware zugreifen. Deshalb muss man bei der Inbetriebnahme sicherstellen, dass genügend Ressourcen vergeben sind.

Der Flaschenhals in einem Cloud-basierten Business Process Management System ist der Durchsatz bei den Datenspeichern [80]. Durch die Virtualisierung ist kein direkter Zugriff auf die Hardware möglich. Durch diese notwendige Schicht ergeben sich zwangsläufig niedrigere Geschwindigkeiten bei Schreib-/Lesevorgängen. Die Virtualisierungsschicht benötigt selbst auch Ressourcen [15]. Tendenziell ist das bei datenintensiven Anwendungen (z.B. Datenbanken) ungünstig. Wählt man IaaS als Servicemodell in der Cloud, ist ein BPM System stark von der Hardware in der Cloud abhängig. Die Ressourcen müssen auf das System abgestimmt sein.

Bei PaaS basierten BPM Systemen ergeben sich ebenfalls Einschränkungen im Bereich der Festplatten Performance. Die identischen Ursachen sind hierfür nennenswert. Zusätzlich ist der Kunde für die Programmierung auf der Plattform selbst verantwortlich. Bei unsauberer oder ineffizienter Implementierung müssen Leistungseinbußen in Kauf genommen werden.

In der PaaS Schicht kann der Kunde die Performance weniger beeinflussen, als in der IaaS Schicht, da er noch weniger Kontrolle über die eingesetzte Hardware besitzt. Cloud-Anbieter müssen dem Kunden eine Plattform bieten, die performant ist.

Die SaaS Schicht übernimmt die Probleme der Schichten unter ihr. Zusätzlich gibt es Einschränkungen. Der Kunde hat kaum Anpassungsmöglichkeiten und ist bei der Leistung der Software in der Cloud auf den Anbieter angewiesen. Dessen Implementierung der Software muss hohe Leistung bieten können. Bei der Prozessausführung in der Cloud sind Leistung und Durchsatz für die Kunden wichtig. Cloud-Anbieter sind sich dessen bewusst und implementieren speziell für die Cloud angepasste Software. Problematisch ist die eingeschränkte Handlungsfähigkeit der Kunden. Bei der Prozessausführung im SaaS Modell kann der Kunde kaum Stellschrauben verwalten, um Leistung und Durchsatz zu erhöhen.

Generell haben Cloud-basierte BPM Systeme die Problematik der Internetanbindung. Der Durchsatz und die Leistung sind auch abhängig von den angeforderten Daten der externen Dienste. Bei einer hohen Anzahl von externen Diensten ist eine hohe Anzahl von Verbindungen notwendig. Bei hohen Latenzen der Server im Internet sind lange Wartezeiten in Kauf zu nehmen. Zusätzlich sind die Server nicht in lokaler Nähe. Cloud-Anbieter versorgen große Regionen wie z.B. Europa mit zentralen Servern. Dabei kann der Standort einige tausend Kilometer entfernt sein. In einer lokalen Infrastruktur sind die Antwortzeiten durch kurze Wege der Netzwerkpakete deutlich kürzer.

Langsame Internetverbindungen der Mitarbeiter sind im Zuge dessen kritisch zu bewerten. Da sich der gesamte Austausch von Daten über das Internet (bei öffentlichen Liefermodellen) bewegt, sind langsame Anbindungen an den Cloud-Anbieter nicht förderlich. Durch die genannten Probleme bei Leistung und Durchsatz, muss damit gerechnet werden, dass sich die Prozessdurchlaufzeiten erhöhen. Abhilfe schafft nur eine auf Leistung und Durchsatz getrimmte Architektur.

## 6.2 Offline-Verhalten

Als kritischer Punkt bei der Betrachtung von Cloud-basierten Lösungen für ein Business Process Management System ist das Offline Verhalten zu nennen. Dahinter verbirgt sich das Szenario einer getrennten Verbindung zwischen Kunde und Cloud. Bei einer abgebrochenen Verbindung ist keine Kommunikation mit der Cloud möglich. Das BPM System ist in diesem Fall ohne Steuerung. Das Offline-Verhalten in der Cloud ist nicht gleichzusetzen zu den

## 6 Betrachtung der Ausführungsphase

Untersuchungen von Offline-Clients im BPM Bereich [8] und muss daher davon losgelöst betrachtet werden.

Ist das Business Process Management System im Modell der Infrastructure as a Service aufgebaut, hat man keinen Zugriff auf das virtualisierte Hardware System. Dies bedeutet, dass die Verwaltung bei Lastspitzen nicht möglich ist. Tritt die Anforderung von mehr Leistung auf, ist keine Kapazitätserhöhung am System vornehmbar. Abhilfe kann eine automatische Skalierung in der Cloud schaffen. Diese Option beinhaltet aber unerwartete Kostensprünge (z.B. durch eine Skalierung nach oben ohne Obergrenze oder durch eine fehlende, automatische Skalierung nach unten).

In allen drei Servicemodellen ist bei einer Offline Verbindung kein Zugriff auf das Prozessmanagement möglich. Dadurch ergeben sich zwangsläufig unkontrollierte Zustände. Es besteht eine Abhängigkeit von der Unterstützung der Cloud-Anbieter. Bei dieser Abhängigkeit sind Ausfallzeiten zu erwarten, die größer sind, als bei einem nicht Cloud-basierten BPM System. Unternehmen können bei einer unterbrochenen Verbindung zur Cloud nicht direkt einsehen, an welcher Stelle der Fehler aufgetreten ist.

Die Auswirkungen auf ein BPM System muss das Unternehmen vor der Implementierung abwägen. Für das Offline Verhalten muss das Unternehmen Vorbereitungen für den Ernstfall treffen. Eine Überprüfung der Prozessinstanzen nach der Wiederherstellung ist nötig. Gegebenfalls müssen Instanzen abgebrochen und neu gestartet werden. Dabei sind folgende Fragestellungen zu beurteilen:

- Hat eine kurzfristige abgebrochene Verbindung Auswirkungen auf die Prozessausführung?
- Sind alternative Zugriffsmöglichkeiten ohne Verbindung (z.B. telefonischer Kontakt ins Rechenzentrum) vorhanden?
- Wie verhält sich das BPM System?

Das Offline-Verhalten des Systems bei der Ausführung von Prozessen in der Cloud ist vergleichbar mit der mobilen Prozessausführung [66]. Methoden und Techniken zur Vermeidung von Problemen aus diesem Bereich sind für die Cloud zu evaluieren. Ähnlich wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben, können daraus Erkenntnisse für eine optimierte Lösung für die Cloud gewonnen werden.

## 6.3 Austauschbarkeit

Im Bereich Cloud Computing hat sich ein Themenfeld überproportional weiterentwickelt. Das Themenfeld behandelt die Austauschbarkeit zwischen unterschiedlichen Cloud-Anbietern. Möchte man beispielsweise mit seinem BPM System von Cloud-Anbieter A zu Cloud-Anbieter B wechseln, ist eine vorherige Migrationsstrategie<sup>4748</sup> [39] äußerst wichtig. Das Problem der Austauschbarkeit ist für Cloud-basierte Business Process Management Systeme von Bedeutung. Es besteht generell das Problem des *Vendor-Lock-In* [15]. Sobald man sich für die Auslagerung in ein Cloud Computing Modell entschieden hat, sind Abhängigkeiten von proprietären Techniken und Schnittstellen der Anbieter nicht ausgeschlossen [15].

Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Servicemodellen ist auch hier möglich. Generell ist das Risiko beim IaaS Modell am geringsten. Cloud-Anbieter stellen nur die Ressourcen zur Verfügung. Darauf aufbauend entscheiden die Kunden selber, wie das BPM System aussieht. Deshalb sind diese Entscheidungen portabel. Unterschiedliche IaaS Anbieter besitzen sehr wahrscheinlich unterschiedliche Schnittstellen zur Steuerung und Verwaltung der Ressourcen. Die Grundlage für das System ist aber ähnlich. Eine Portierung ist denkbar. Ein Cloud-basiertes BPM System im IaaS Modell kann durch Sicherung der Konfigurationen und Daten umgezogen werden.

Bei der Auswahl von einem PaaS Modell muss beachtet werden, dass die Kunden sich an eine Plattform mit implizierten Vorgaben binden. Die Vorgaben und Dienste der Plattform sind bei der Entwicklung zunächst hilfreich (z.B. vorgefertigte Frameworks), sind aber bei einem Wechsel zu einer anderen Plattform möglicherweise nicht verfügbar. Dadurch entstehen sich beim Austausch der Plattform Schwierigkeiten und Kosten. Beispielsweise ist bei Cloud-Anbieter A eine BPEL-native Prozessengine vorhanden, während Anbieter B eine BPMN-native Engine einsetzt.

Das SaaS Model enthält die höchsten Risiken beim Wechsel. Schon eine unterschiedliche Modellierungssprache zwischen verschiedenen Anbietern von Cloud-basierten BPM Systemen sorgt für ein mögliches Lock-In des Kunden. Dies kann im Extremfall nur in Verbindung mit hohen Kosten und Zeitaufwand behoben werden. Denkbar ist der Einsatz der XML Process Definition Language (XPDL), um ein BPMN-Modell von einem Anbieter zum anderen zu exportieren. Der Schwerpunkt dieser Sprache liegt in der vollständigen Unterstützung von

<sup>47</sup>Standarisierungsprojekt für Protabilität und Cloud-Techniken, siehe <http://standards.ieee.org/develop/project/2301.html>

<sup>48</sup>Standarisierungsprojekt für Interoperabilität der einzelnen Plattformen, siehe [http://standards.ieee.org/develop/wg/ICWG-2302\\_WG.html](http://standards.ieee.org/develop/wg/ICWG-2302_WG.html)

## 6 Betrachtung der Ausführungsphase

BPMN. Umfassend beschrieben ist XPDL in seiner Spezifikation<sup>49</sup>. Bei einer Unterstützung dieser Sprache durch Cloud-Anbieter ist ein Import und Export von Prozessmodellen im BPMN Format denkbar.

Anzumerken ist laut Baun et. al [15], dass in lokalen Rechenzentren ähnliche Abhängigkeiten von Software Herstellern, Plattformen und Infrastrukturen bestehen. Die Autoren schlagen folgende Möglichkeiten zur Vermeidung eines Vendor-Lock-Ins vor:

- Standardisierte Verfahren sollten Vorrang vor einer proprietären Lösung haben.
- Möglichst plattformunabhängige Entwicklung.
- Kapselung von unvermeidlichen Abhängigkeiten für größere Flexibilität.

Die Frage der Austauschbarkeit ist gleichzeitig eine Anforderung an die Cloud-Anbieter. Mit dem Einsatz von proprietären Mitteln kann der Anbieter langfristig die Kunden an sich binden. Es liegt im Interesse der Cloud-Anbieter, dass sich keine Austauschbarkeit ergibt. Somit hat dieser auch kein Interesse an einer Exportmöglichkeit für den Kunden. Ohne Standards und einheitliche Schnittstellen ist es nicht denkbar, dass unterschiedliche Prozess-teile (Fragmentierung von Prozessen) oder Migration von Prozessinstanzen zu verschiedenen Cloud-Anbietern möglich ist.

Derzeit ist die Interoperabilität und die Austauschbarkeit zwischen Cloud-Diensten ein aktuelles Thema im Bereich Cloud Computing. Von Anbieter Seite aus besteht nur wenig Interesse an einem gemeinsamen Austausch. Aus der wissenschaftlichen Perspektive ist das Thema sehr reizvoll. Hier sollen Ideen und Forschungsprojekte weitere Entwicklungen hervorbringen.

---

<sup>49</sup>XPDL Spezifikation <http://www.wfmc.org/xpdl.html>



## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Zwei interessante Themen der Informationstechnik: Cloud Computing und Business Process Management, sind die Hauptdarsteller dieser Arbeit. Beide Themengebiete sind einzeln betrachtet Oberbegriffe für eine Vielzahl komplexer Technologien. Business Process Management beinhaltet die Steuerung, Verwaltung und Umsetzung von Geschäftsprozessen mit Hilfsmitteln aus der IT. Es ist ein Kernthema bei der strategischen Entwicklungen der Prozesse im Unternehmen. Und letztlich auch ein Erfolgsfaktor. Cloud Computing ist ein Evolutionsschritt in der IT. Mit dieser Industrialisierung sollen Überkapazitäten in großen Rechenzentren sinnvoll und effizient nutzbar gemacht werden. Nebenbei ist eine neue Art der Nutzung von Anwendungen, Plattformen und Infrastrukturen entstanden.

Die Verbindung dieser zwei Hypethemen in der IT ist ein konsequenter Schritt. Interessierte Unternehmen und Kunden suchen die Synergieeffekte beim Zusammenspiel der beiden Lösungen. Skalierbare und einfache Verwaltung der Geschäftsprozesse, in einem multiman-danten Mietmodell versprechen Kosten einzusparen und die Effektivität zu steigern. Kein Wunder, dass BPM Systeme auf Basis von Cloud-Architekturen gefragt sind.

Dass im Zusammenhang mit modernen Technologien Probleme auftreten, ist ein hinzunehmender Nebeneffekt. Diese Arbeit hat verschiedene Problembereiche anhand des BPM Lebenszyklus beleuchtet. Es sind breite Themenfelder angeschnitten worden. Dabei sind Herausforderungen im Bereich der Design- und Analyse-Phase, der Konfigurationsphase und der Ausführungsphase zur Sprache bekommen. Es sind Fragestellungen vorhanden, die zum einen Parallelen zu anderen BPM Themengebieten aufweisen (z.B. Mobile Prozessausführung, Verteilte Prozesse). Zum anderen werden gänzlich neue Aufgabenstellungen hervor-gebracht (z.B. Kostenmodelle). Die Evaluationsphase des BPM Zyklus ist nicht Teil dieser Arbeit.

Es ist festzuhalten, dass BPM und Cloud Computing eine sehr interessante Kombination darstellen. Potential für eine ausbaufähige Verbindung dieser beiden Schlüsseltechnologien ist vorhanden. Voraussetzung dafür ist eine konsequente Weiterentwicklung des Angebotes.

Überzogene Erwartungen und große Versprechungen beherrschen die Nachrichten in diesem Bereich. Cloud-Anbieter müssen unter Beweis stellen, dass ihre Lösungen den alltäglichen Problemstellungen standhalten. Zusätzlich müssen die Anbieter ihre Produkte weiterentwickeln, um die in dieser Arbeit angesprochenen Herausforderungen lösen zu können. Cloud Computing und Business Process Management sind stark wachsende Märkte. Eine durchgehend schlüssige und saubere Umsetzung kann den boomenden Trend voranbringen.

### 7.1 Notwendige weitere Betrachtungen

Für die Entwicklung von Cloud-basierten BPM Systemen müssen weiterhin Themenfelder erforscht werden. Cloud Computing lebt davon, dass bereits erprobte Systeme in die Cloud übertragen werden, um sie als Dienst anbieten zu können. Das Zusammenspiel von etablierten Systemen mit der Cloud ist noch im Entwicklungsstadium. Business Process Management und Cloud Computing müssen erst zusammenwachsen. Um das Wachstum zu beschleunigen, muss die Wissenschaft Probleme und Herausforderungen lösen.

Essentiell ist dabei die Betrachtung der Tauglichkeit von Prozessen für die Cloud. Es müssen weitere Arbeiten zeigen, ob und welche Prozesse in die Cloud übertragbar sind. Durch eine detaillierte Analyse von unterschiedlichen Prozesstypen, sollte eine Aussage möglich sein. Dabei kann ein Kostenmodell, wie in dieser Arbeit angedacht, Unterstützung leisten.

Weiterhin besteht noch Bedarf bei der Betrachtung von Schnittstellen. Cloud-Anbieter bieten zwar bereits APIs an, mit denen eine Steuerung möglich ist. Aber beim Zusammenspiel von verschiedenen Prozess-Engines ist keine einheitliche Kommunikation gewährleistet.

Sicherheit und Datenschutz im Bereich Prozessausführung auf externen Infrastrukturen bleibt ein zu erforschendes Thema. Gerade im Zeitalter von wöchentlichen Meldungen über Datendiebstahl in Unternehmen, ist eine absolut einwandfreie Lösung notwendig. Dabei ist die komplexe Thematik *Cloud Computing* in diesem Bereich noch schwammig definiert. Hier besteht dringend Handlungsbedarf.

### 7.2 Ausblick

Der Business Process Management Zyklus enthält verschiedene Phasen. Angefangen beim Design und der Analyse von Prozessen, über die Konfiguration und Ausführung bis hin

zum Beobachten und Optimieren der Prozesse. In all diesen Phasen und Bereichen helfen dem Anwender Werkzeuge in einem BPM System. Diese Werkzeuge unterstützen die Umsetzung. Es ist unumgänglich, dass die Cloud-Anbieter für alle diese Werkzeuge ein Pendant für die Cloud entwickeln. All diese Bereiche müssen auch in einem Cloud-basiertem BPM System mit Werkzeugen vertreten sein. Falls nicht, entstehen Probleme. Beispielsweise in einem Szenario, in dem alle nötigen Daten des BPMS in der Cloud vorhanden sind, aber die Analysekomponente nur in einem lokalen Werkzeug ausgeführt werden kann. Unnötige Transformationen der Daten aus der Cloud in das lokale System wären nötig. Um wirklich alle Bereiche des BPM in die Cloud zu bringen, sind hohe Investitionen in der Entwicklung nötig. Ein ganzheitliches System mit fortschrittlichen Technologien (wie z.B. Web 2.0, Sozialnetzwerkkomponenten) kann wohl nur von großen IT Unternehmen in diesem Bereich gestemmt werden.

Viele Phasen in einem BPM Lebenszyklus erfordern Interaktionen von Menschen aus unterschiedlichen Abteilungen. Cloud Computing kann Kollaborationswerkzeuge schaffen, die in diesem Bereich einen Fortschritt bringen. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten der Prozessgestaltung. Prozesse, die vollkommen automatisiert sind, lassen sich leichter in die Cloud überführen, als Prozesse mit großem Anteil notwendiger menschlicher Eingriffe.

Eine Weiterentwicklung im Bereich der Kostenmodelle ist in naher Zukunft nicht abzusehen. Die Herausforderung bei der Bewertung von Prozessmodellen ist groß. Derzeitige Kostenmodelle auf Basis der Anzahl der Benutzer sind nicht fein genug, um unterschiedliche Ausprägungen abzufangen. Um wirklich Prozessoptimierung zu betreiben, ist eine Verzerrung der KPIs durch diese Pauschalangebote nicht förderlich. Letztlich sollen nicht die Parameter für die Verwaltung der Prozesse entscheidend sein.

Cloud Computing und Business Process Management stehen am Anfang ihrer Entwicklung zu einem gemeinsamen mächtigen Werkzeug in der Geschäftswelt.



## A Beispielprozesse in BPMN

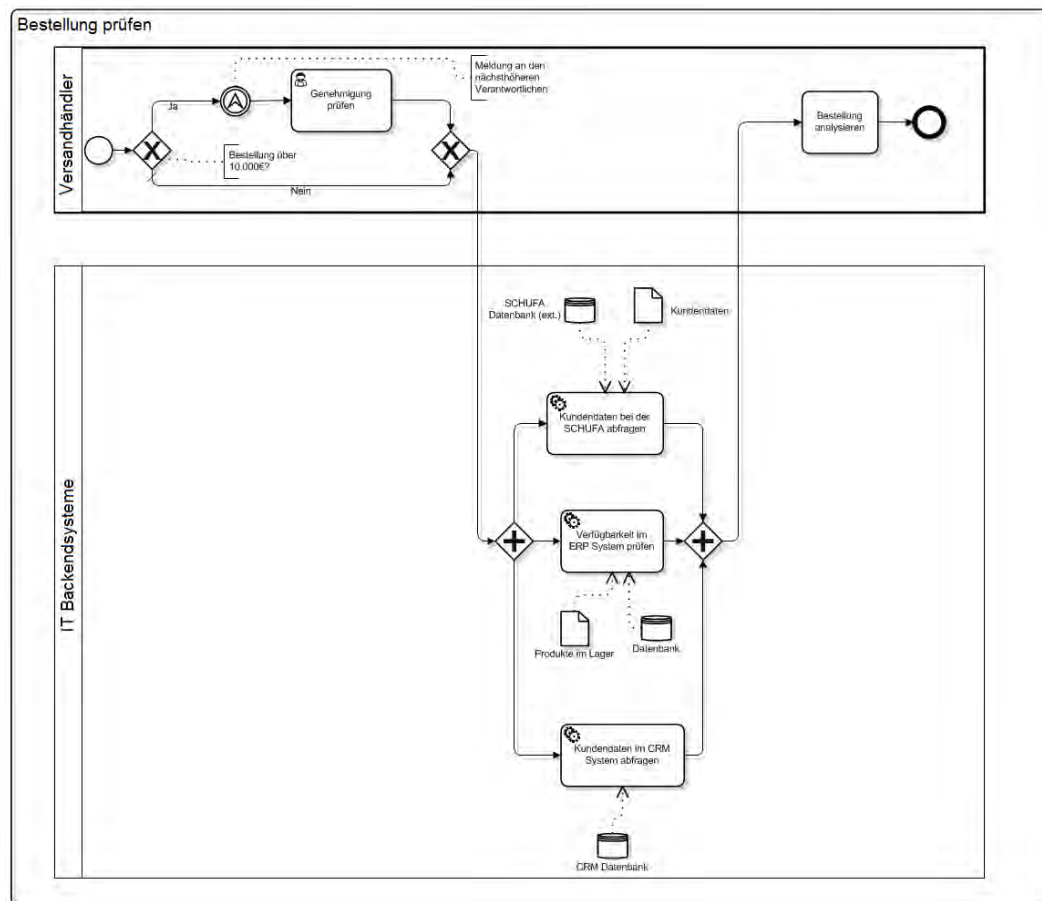


Abbildung A.1: Versandhändler Subprozess - Bestellung prüfen

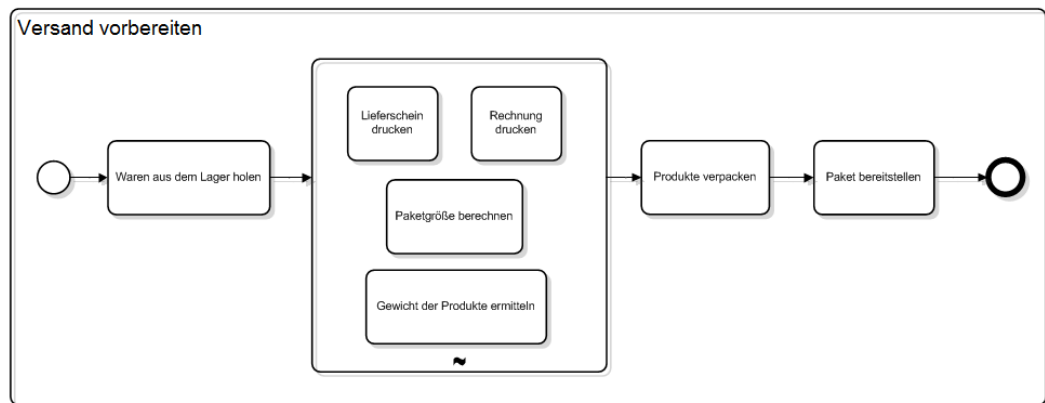
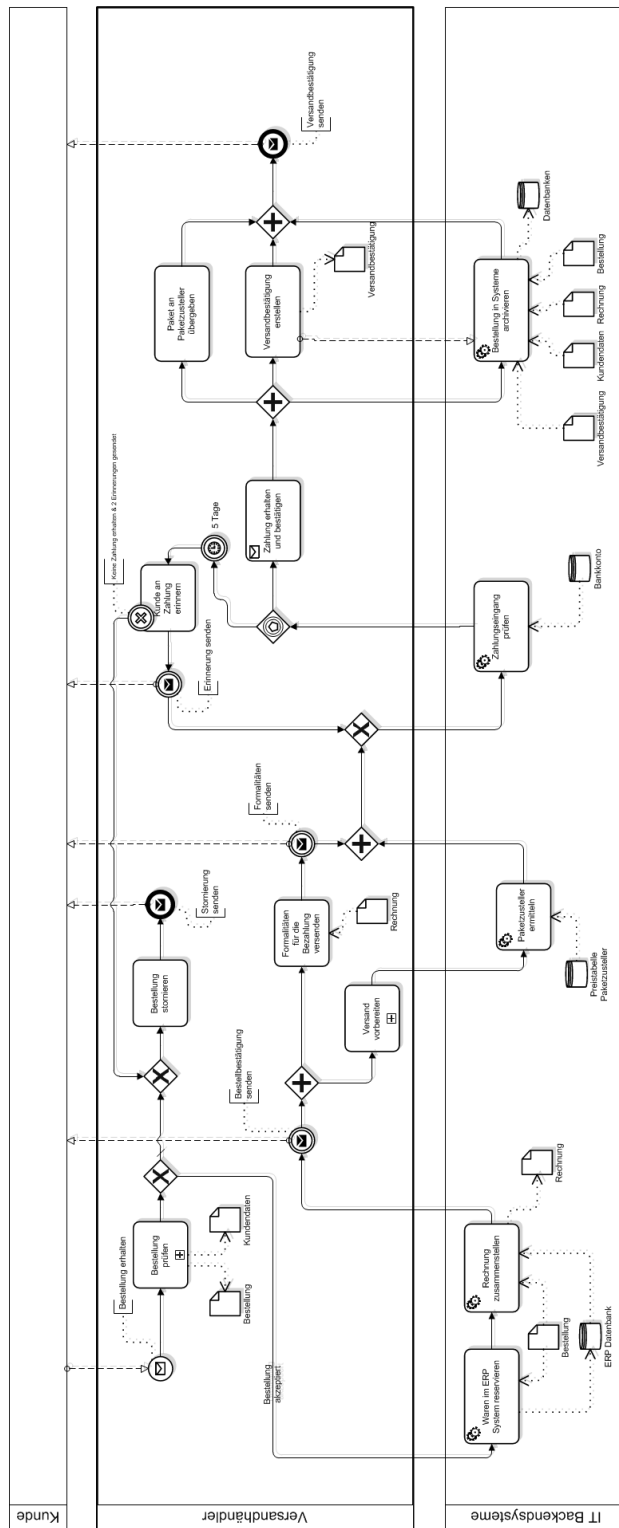


Abbildung A.2: Versandhändler Subprozess - Versand vorbereiten







## B Beispiele für IaaS, PaaS und SaaS Dienste

In den Tabellen B.1, B.2, B.3 und B.4 sind beispielhaft Dienste für die verschiedenen Servicemodelle aufgelistet. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Dazu ändert sich die Branche zu schnell. Neue Firmen und Dienste sprießen aus dem Boden und verschwinden oftmals genauso schnell, wie sie gekommen sind.

Tabelle B.1: Beispiele von Diensten und Werkzeugen auf Basis von Infrastructure as a Service [15, 48]

| Anbieter     | Werkzeug bzw. Dienst                   | Beschreibung                                                          |
|--------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Amazon       | Elastic Compute Cloud (EC2)            | Virtuelle Server                                                      |
|              | Simple Storage Service (S3)            | Massenspeicher                                                        |
|              | SimpleDB                               | Datenbank as a Service (DaaS)                                         |
|              | CloudFront                             | Content Distribution Network (CDN)                                    |
|              | SQS                                    | Nachrichten-Warteschlangen                                            |
| Arago AG     | Autopilot    gesteuerte Cloud          | Dynamische Server-Zuweisung aus der Cloud                             |
| Bechtle GmbH | Bechtle Schulungszentrum 2.0           | Schulungsinfrastruktur in der Private Cloud                           |
| BlueLock     | BlueLock Virtual Recovery              | Wiederherstellung virtueller Server bei Störungen                     |
| Cloud.com    | CloudStack                             | Open Source IaaS                                                      |
| CloudSafe    | CloudSafe                              | Verschlüsselter Massenspeicher                                        |
| Dropbox      | Dropbox Cloud Storage                  | Massenspeicher                                                        |
| Emulab       | Emulab Network Testbed                 | Emulation logischer Netzwerke für Experimente                         |
| ENKI         | Virtual Private Data Centers           | Bedarfsgerechte Bereitstellung virtueller Rechenzentren               |
| GoGrid       | Cloud-Hosting<br>Cloud Storage         | Virtuelle Server<br>Massenspeicher                                    |
| Google       | Google Big Table<br>Google File System | Verteilter Speicher für strukturierte Daten<br>Verteiltes Dateisystem |

Tabelle B.1: Beispiele von Diensten und Werkzeugen auf Basis von Infrastructure as a Service [15, 48]

| Anbieter           | Werkzeug bzw. Dienst       | Beschreibung                                            |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| HP                 | iLO                        | Lights out management                                   |
| HP                 | Tycoon                     | Markt-basierte Allokation von Cluster-Ressourcen        |
| Intalio            | Intalio IaaS               | Massenspeicher, Virtuelle Server, Datenbank             |
| Microsoft          | Azure Compute              | Virtuelle Server                                        |
|                    | Azure Storage              | Massenspeicher                                          |
|                    | SQL Azure Database         | Datenbank as a Service (DaaS)                           |
| Openflow           | OpenFlow                   | Lokale Netzwerksimulation                               |
| OpenNebula Project | OpenNebula                 | Open Source IaaS                                        |
| Rackspace          | Mosso Cloud Servers        | Virtuelle Server                                        |
| Skytap             | Skytap Virtual Lab         | Hybride Cloud-Testumgebungen                            |
| todo GmbH          | flexIT                     | Open Source Implementierung der AWS                     |
| Zimory             | Zimory Public Cloud Market | Verteilte Markt-basierte Allokation von IaaS-Ressourcen |

Tabelle B.2: Beispiele von Diensten und Werkzeugen auf Basis von Platform as a Service [15, 48]

| Anbieter          | Werkzeug bzw. Dienst | Beschreibung                                                  |
|-------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Akamai            | EdgePlatform         | Content, Site, Application Delivery                           |
| BPMCloud          | EliteBPM             | Business Process Management                                   |
| CloudControl      | PHP Cloud-Hosting    | Webserver-Plattform                                           |
| Cordys            | Process Factory      | Entwicklung prozess-zentrierter Anwendungen                   |
| Facebook          | Facebook Platform    | Umgebung für Anwendungen in Facebook                          |
| Google            | App Engine           | Skalierbare Ausführungsumgebung für Web-Anwendungen           |
| IBM Deutschland   | GROUP                | Plattform zur automatisierten Anwendungsbereitstellung        |
| Intalio           | Intalio PaaS         | Entwicklungsumgebung                                          |
| Lufthansa Systems | deskBase             | Konzernweite Desktop-Virtualisierung                          |
| Microsoft         | Azure                | Entwicklungs- und Ausführungsumgebung für Windows Anwendungen |
| NetSuite          | SuiteFlex            | Werkzeug zur Geschäftsprozessentwicklung in NetSuite          |
| Salesforce        | Force.com            | Entwicklung und Betrieb von Erweiterungen des Salesforce-CRM  |
| Zoho              | Zoho Creator         | Entwicklung und Betrieb Datenbank-basierter Web-Anwendungen   |

Tabelle B.3: Beispiele von Diensten und Werkzeugen auf Basis von Software as a Service [15, 48]

| Anbieter                    | Werkzeug bzw. Dienst      | Beschreibung                                                                         |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Adobe                       | Photoshop Express         | Online Bildbearbeitung                                                               |
| CAS Software AG             | CAS PIA                   | Kunden Management                                                                    |
| Conceptboard                | ConceptBoard              | Realtime Kollaboration                                                               |
| Cloud Compiling             | Cloud Compiling SaaS      | Online Compiler für verschiedene Programmiersprachen                                 |
| Demandware                  | Commerce Cloud            | Enterprise-Class E-Commerce-Plattform                                                |
| fluidOps                    | eCloudManager SAP Edition | SAP Landscape as a Service                                                           |
| Forcont Business Technology | Personalakte              | Elektronische Personalakte als SaaS-Angebot                                          |
| Google                      | Google Docs               | Online Office Anwendungen                                                            |
|                             | Google Maps API           | Dienst zur Integration von Landkarten                                                |
|                             | OpenSocial                | Übergreifende Programmierschnittstelle zur Integration sozialer Netze in Anwendungen |
| Inxmail GmbH                | Inxmail Professional      | E-Mail-Marketing                                                                     |
| OpenID Foundation           | OpenID                    | Verteiltes System zur Verwaltung systemübergreifender Benutzeridentitäten            |
| McAfee                      | SaaS Total Protection     | Endgeräte-, E-Mail- sowie Web-Schutz                                                 |
| Microsoft                   | Windows Live Office 365   | Online Office Anwendungen<br>Office Paket in der Cloud                               |

Tabelle B.3: Beispiele von Diensten und Werkzeugen auf Basis von Software as a Service [15, 48]

| Anbieter         | Werkzeug bzw. Dienst | Beschreibung                                                       |
|------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| mindmeister      | mindmeister          | Mindmapping                                                        |
| Reporta AG       | Controlling          | Datenanalyse und Controlling-System für Unternehmen                |
| RunMyProcess.com | RunMyProcess         | Business Process Management                                        |
| Salesforce       | Salesforce.com       | Erweiterbares CRM-System                                           |
| Scopevision      | Smal Business        | Buchhaltung                                                        |
| SupplyOn AG      | AirSupply            | Collaboration-Plattform für die Automobil- und Fertigungsindustrie |
| yo.lk            | mite                 | Projektzeiterfassung                                               |
| Zendesk          | Helpdesk             | Helpdesk-SW/Ticketing aus der Cloud                                |

Tabelle B.4: Beispiele von Diensten und Werkzeugen auf Basis von Everything as a Service [48]

| Anbieter         | Werkzeug bzw. Dienst      | Beschreibung                                            |
|------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|
| Amazon           | Mechanical Turk           | Skalierbare Arbeitskraft                                |
|                  | Cluster Compute Instances | High Performance Computing as a Service (HPCaaS)        |
| Digg.com         | Digg.com                  | Nachrichten Zusammenstellung                            |
| fluid Operations | eCloud Manager            | Landscape as a Service                                  |
| Google           | Chrome OS                 | Cloud Betriebssystem                                    |
| Guardian         | mps-expenses              | Relevanzermittlung von Dokumenten zum Spesenkandal 2009 |
| OnLive           | OnLive                    | CloudGaming                                             |
| Youtube          | Youtube                   | Video Portal                                            |





# Literaturverzeichnis

- [1] AALST, W. M. P. d. ; REIJERS, H. A. ; WEIJTERS, A. J. M. M. ; DONGEN, B. F. ; MEDEIROS, A. K. d. ; SONG, M. ; VERBEEK, H. M. W.: Business process mining: An industrial application. In: *Inf. Syst.* 32 (2007), July, S. 713–732. – ISSN 0306–4379
- [2] AALST, Wil M. P. van d. ; WESKE, Mathias: The P2P Approach to Interorganizational Workflows. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. London, UK, UK : Springer-Verlag, 2001 (CAISE '01). – ISBN 3–540–42215–3, 140–156
- [3] AALST, W.M.P. van d. ; HOFSTEDE, A. H. M. T. ; WESKE, M.: Business Process Management: A Survey. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Business Process Management, volume 2678 of LNCS*, Springer-Verlag, 2003, S. 1–12
- [4] AALST, W.M.P. van d. ; HOFSTEDE, A.H.M. ter ; KIEPUSZEWSKI, B. ; BARROS, A.P.: Workflow Patterns. In: *Distributed and Parallel Databases* 14 (2003), S. 5–51. – ISSN 0926–8782
- [5] ADELI, Hojjat ; CRC (Hrsg.): *Supercomputing in engineering analysis*. CRC, 1992
- [6] AGUILAR, Elvira R. ; RUIZ, Francisco ; GARCÍA, Félix ; PIATTINI, Mario: Applying Software Metrics to evaluate Business Process Models. In: *CLEI Electron. J.* 9 (2006), Nr. 1, S. 1–15
- [7] AGUILAR, Elvira R. ; RUIZ, Francisco ; GARCÍA, Félix ; PIATTINI, Mario: Evaluation measures for business process models. In: *Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (SAC '06). – ISBN 1–59593–108–2, S. 1567 – 1568
- [8] ALONSO, G. ; GUNTHER, Alonso ; KAMATH, M. ; AGRAWAL, D. ; ABBADI, A. E. ; MOHAN, C.: Exotica/FMDC: Handling Disconnected Clients in a Workflow Management System. In: *The 3rd Int'l Conf on Cooperative Information Systems, Vienna*, 1995, S. 99 – 110

- [9] AMNAJMONGKOL, S. ; ANGANI, J. ; CHE, Y. ; FOX, T. ; LIM, A. ; KEEN, M. ; IBM (Hrsg.): *Business Activity Monitoring with WebSphere Business Monitor V6.1*. IBM Redbooks, 2008
- [10] ANSTETT, Tobias ; LEYMAN, Frank ; MIETZNER, Ralph ; STRAUCH, Steve: Towards BPEL in the Cloud: Exploiting Different Delivery Models for the Execution of Business Processes. In: *Services, IEEE Congress on 0* (2009), S. 670–677. ISBN 978–0–7695–3708–5
- [11] ARMBRUST, Michael ; FOX, Armando ; GRIFITH, Rean ; JOSEPH, Anthony D. ; KATZ, Randy ; KONWINSKI, Andy ; LEE, Gunho ; PATTERSON, David ; RABKIN, Ariel ; STOICA, Ion ; ZAHARIA, Matei: Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing / University of California at Berkeley. Version: Februar 2009. <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-28.pdf>. 2009. – Forschungsbericht. – Abgerufen am 22.08.2011
- [12] BARESI, L ; MAURINO, A ; MODAFFERI, S: Workflow partitioning in mobile information systems. In: *IFIP TC8 Working Conference on Mobile Information Systems* 158 (2004), S. 93 – 106
- [13] BAUER, Thomas ; DADAM, Peter (Hrsg.): *Effiziente Realisierung unternehmensweiter Workflow-Management-Systeme*. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/434/>. Version: 2001
- [14] BAUKE, H. ; MERTENS, S.: *Cluster Computing*. Springer, 2005 (X. systems. press Series). – ISBN 9783540422990
- [15] BAUN, Christian ; KUNZE, Marcel ; NIMIS, Jens ; TAI, Stefan ; BAUN, Christian (Hrsg.): *Cloud Computing: Web-basierte dynamische IT-Services*. 2. Aufl. Springer, 2011. – XII, 172 S.. – ISBN 978–3–642–18435–2
- [16] BOBRIK, Ralph: *Konfigurierbare Visualisierung komplexer Prozessmodelle*. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/750/>. Version: 2008
- [17] BODENSTAFF, Lianne ; WOMBACHER, Andreas ; REICHERT, Manfred ; JAEGER, Michael C.: Monitoring Dependencies for SLAs: The MoDe4SLA Approach. In: *IEEE 5th Int'l Conference on Services Computing (SCC 2008)*, IEEE Computer Society Press, July 2008, 21–29
- [18] BUCHWALD, Stephan ; BAUER, Thomas ; PRYSS, Rüdiger: IT-Infrastrukturen für flexible, service-orientierte Anwendungen - ein Rahmenwerk zur Bewertung. In: *13. GI-*

- Fachtagung Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW'09)*, Koellen-Verlag, March 2009 (Lecture Notes in Informatics (LNI) P-144), 524–543
- [19] BUCHWALD, Stephan ; BAUER, Thomas ; PRYSS, Ruediger: IT-Infrastrukturen fuer flexible, service-orientierte Anwendungen - ein Rahmenwerk zur Bewertung. In: FREYTAG, Johann C. (Hrsg.) ; RUF, Thomas (Hrsg.) ; LEHNER, Wolfgang (Hrsg.) ; VOSSEN, Gottfried (Hrsg.): *BTW* Bd. 144, GI, 2009 (LNI). – ISBN 978–3–88579–238–3, S. 526–543
  - [20] BUCHWALD, Stephan ; BAUER, Thomas ; REICHERT, Manfred: Flexible Prozessapplikationen in Service-orientierten Architekturen - Ein Überblick. In: *EMISA Forum* 31 (2011), September, Nr. 3, 32–58. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/756/>
  - [21] BUDSZUS, Jens ; HEIBEY, Hanns-Wilhelm ; HILLENBRAND-BECK, Renate ; POLENZ, Sven ; SEIFERT, Marco ; THIERMANN, Maren: Orientierungshilfe - Cloud Computing / Arbeitskreise Technik und Medien der Konferenz der Datenschutzbeauftragten des Bundes und der Laender. 2011 (1.0). – Forschungsbericht. – abc
  - [22] BULLES, John ; FREUND, Jakob ; GAGNE, Denis ; MENGE, Falko ; KLOPPMANN, Matthias ; NIJSSEN, Sjur ; NAVARRO-SUAREZ, Gerardo ; TRICKOVIC, Ivana ; WHITE, Stephen: BPMN 2.0 by Example / Object Management Group, Inc. Version: 2010. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/examples/PDF>. 2010 (2.0). – Forschungsbericht. – Abgerufen am 29.09.2011
  - [23] CARDOSO, Jorge: Control-flow complexity Measurement of Processes and Weyuker's Properties. In: *Enformatika* 8 (2005), Oktober, S. 213–218. <http://dx.doi.org/10.1109/ICWS.2005.57>. – DOI 10.1109/ICWS.2005.57
  - [24] COMPUTERWOCHE: *SOA - Koenigsweg aus der Legacy-Falle?* <http://www.computerwoche.de/heftarchiv/2006/34/1215664>, August 2006. – Abgerufen am 22.09.2011
  - [25] DADAM, Peter ; REICHERT, Manfred ; RINDERLE-MA, Stefanie: Prozessmanagementsysteme: Nur ein wenig Flexibilität wird nicht reichen. In: *Informatik-Spektrum* 34 (2011), August, Nr. 4, 364–376. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/676/>
  - [26] DADAM, Peter ; REICHERT, Manfred ; RINDERLE-MA, Stefanie ; GOESER, Kevin ; KREHER, Ulrich ; JURISCH, Martin: Von ADEPT zur AristaFlow BPM Suite - Eine Vision wird Realität: Correctness by Construction und flexible, robuste Ausführung von Unternehmensprozessen / University of Ulm. Version: January 2009.

- <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/488/>. Ulm : University of Ulm, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, January 2009 (UIB-2009-02). – Technical Report
- [27] DEUTSCHE MESSE AG - CEBIT: *Die Geschichte der CeBIT*. <http://www.cebit.de/de/ueber-die-messe/daten-und-fakten/profil/geschichte-der-cebit>, 2011. – Abgerufen am 22.08.2011
- [28] DIJKMAN, R. M. ; DUMAS, Marlon ; OUYANG, Chun: Formal semantics and analysis of BPMN process models using Petri nets. In: *Queensland University of Technology Tech Rep* 50 (2007), Nr. 12, S. 1–30
- [29] FANG, Zhenyu ; YIN, Changqing: BPM Architecture Design Based on Cloud Computing. In: *Intelligent Information Management* 2 (2010), Mai, Nr. 5, S. 329 – 333
- [30] FOSTER, Ian ; KESSELMAN, Carl ; TUECKE, Steven: The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. In: *International Journal of High Performance Computing Applications* 15 (2001), Nr. 3, S. 200–222
- [31] FOSTER, Ian ; ZHAO, Yong ; RAICU, Ioan ; LU, Shiyong: Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared. In: *2008 Grid Computing Environments Workshop*, IEEE, November 2008. – ISBN 978–1–4244–2860–1, S. 1–10
- [32] GARTNER INC.: *Hype Cycle for Business Process Management, 2011*. [http://www.gartner.com/DisplayDocument?doc\\_cd=214214](http://www.gartner.com/DisplayDocument?doc_cd=214214), 2011. – Abgerufen am 15.10.2011
- [33] GARTNER INC.: *Hype Cycle for Emerging Technologies, 2011*. [http://www.gartner.com/DisplayDocument?doc\\_cd=215650&ref=g\\_fromdoct](http://www.gartner.com/DisplayDocument?doc_cd=215650&ref=g_fromdoct), 2011. – Abgerufen am 23.08.2011
- [34] GOOGLE INC.: *Google Trends*. <http://www.google.com/intl/en/trends/about.html>, 2011. – Abgerufen am 23.08.2011
- [35] GRAMBOW, Gregor ; OBERHAUSER, Roy ; REICHERT, Manfred: Contextual Injection of Quality Measures into Software Engineering Processes. In: *Int'l Journal on Advances in Software* 4 (2011), Nr. 1&2, 76–99. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/758/>
- [36] GRUHN, Volker ; LAUE, Ralf: Complexity Metrics for Business Process Models. In: *9th international conference on business information systems* 85 (2006), S. 1–12

- [37] GRUHN, Volker ; LAUE, Ralf ; MEYER, Frank: Berechnung von Komplexitätsmetriken fuer ereignisgesteuerte Prozessketten. In: *Proceedings of the 5th GI Workshop on Business Process Management with EventDriven Process Chains EPK 2006* (2006), S. 189 – 202
- [38] GRÜNING, Jörg ; PRYSS, Rüdiger (Hrsg.) ; REICHERT, Manfred (Hrsg.): *Vergleich und Bewertung physischer und logischer Fragmentierungsansätze im Umfeld mobiler Prozesse*. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/708/>. Version: November 2010
- [39] HAJJAT, Mohammad ; SUN, Xin ; SUNG, Yu-Wei E. ; MALTZ, David ; RAO, Sanjay ; SRIPANIDKULCHAI, Kunwadee ; TAWARMALANI, Mohit: Cloudward bound: planning for beneficial migration of enterprise applications to the cloud. In: *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2010 conference on SIGCOMM*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (SIGCOMM '10). – ISBN 978-1-4503-0201-2, S. 243-254
- [40] HALLERBACH, Alena ; BAUER, Thomas ; REICHERT, Manfred: Capturing Variability in Business Process Models: The Provop Approach. In: *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice* 22 (2010), November, Nr. 6-7, 519-546. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/628/>
- [41] HANDELSBLATT GMBH: *Umfrage: So nutzen Dax-Konzerne die Cloud*. <http://www.handelsblatt.com/technologie/it-tk/special-cloud-computing/so-nutzen-dax-konzerne-die-cloud/4021106.html>, April 2011. – Abgerufen am 19.09.2011
- [42] JEREMY GEELAN - SYS-CON MEDIA: *Twenty-One Experts Define Cloud Computing*. <http://cloudcomputing.sys-con.com/node/612375>, 2009. – Abgerufen am 23.08.2011
- [43] KRUCZYNSKI, Klaus: Prozessmodellierung im Wettbewerb: EPK vs. BPMN. In: *IS Report* 06 (2008), S. 30 – 35
- [44] KULIK, Christian: *Remixing the Web - Eine Einfuehrung in Mashups*. Seminararbeit, Universitaet Ulm, 2011
- [45] KÜNZLE, Vera ; REICHERT, Manfred: Towards Object-aware Process Management Systems: Issues, Challenges, Benefits. In: *Proc. 10th Int'l Workshop on Business Process Modeling, Development, and Support (BPMDS'09)*, Springer, June 2009 (LNBIP 29), 197-210

- [46] KÜNZLE, Vera ; REICHERT, Manfred: PHILharmonicFlows: towards a framework for object-aware process management. In: *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice* 23 (2011), June, Nr. 4, 205–244. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/714/>
- [47] LAWTON, George: Moving the OS to the Web. In: *Computer* 41 (2008), March, S. 16–19. – ISSN 0018–9162
- [48] LENK, Alexander ; KLEMS, Markus ; NIMIS, Jens ; TAI, Stefan ; SANDHOLM, Thomas: What’s inside the Cloud? An architectural map of the Cloud landscape. In: *Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2009 (CLOUD ’09). – ISBN 978–1–4244–3713–9, S. 23–31
- [49] LEYMAN, Frank: Cloud Computing - The Next Revolution in IT. In: FRITSCH, Dieter (Hrsg.): *Proc. 52th Photogrammetric Week*, Wichmann Verlag, September 2009. – ISBN 978–3–87907–483–9, 3–12
- [50] LEYMAN, Frank: BPEL vs. BPMN 2.0: Should You Care? In: *2nd International Workshop on BPMN*, Springer Verlag, Oktober 2010 (Lecture Notes in Business Information Processing)
- [51] LI, Chen ; REICHERT, Manfred ; WOMBACHER, Andreas: Mining Business Process Variants: Challenges, Scenarios, Algorithms. In: *Data & Knowledge Engineering* 70 (2011), May, Nr. 5, 409–434. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/728/>
- [52] LIEBRECHT, Martin: *Maturity of Business Processes*. Seminararbeit, Universität Ulm, 2011
- [53] LOHRMANN, Matthias ; REICHERT, Manfred: Basic Considerations on Business Process Quality / University of Ulm. Version: July 2010. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/667/>. Ulm : University of Ulm, July 2010 (UIB-2010-04). – Technical Report
- [54] LOHRMANN, Matthias ; REICHERT, Manfred: Understanding Business Process Quality. Version: 2011. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/743/>. In: *Advances in Business Process Management*. Springer, 2011
- [55] LY, Linh T. ; RINDERLE, Stefanie ; DADAM, Peter: Integration and verification of semantic constraints in adaptive process management systems. In: *Data and Knowledge Engineering* 64 (2008), Nr. 1, 3–23. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/95/>

- [56] MAGNANI, Matteo ; MONTESI, Danilo: Computing the cost of BPMN diagrams / University of Bologna, Department of Computer Science. 2007 (UBLCS-07-17). – Forschungsbericht
- [57] MENDLING, J. ; REIJERS, H.A. ; AALST, W.M.P. van d.: Seven process modeling guidelines (7PMG). In: *Information and Software Technology* 52 (2010), Nr. 2, S. 127 – 136. – ISSN 0950-5849
- [58] MÜLLER, Dominic ; REICHERT, Manfred (Hrsg.): *Management datengetriebener Prozessstrukturen*. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/627/>. Version: 2009
- [59] MUMMIGATTI, Vinay: *The Emerging Confluence of BPM and Cloud Computing*. <http://www.virtusa.com/applications/userlogin/freedownload.asp?fn=whitepapers/BPMCLO-WP-0410.pdf&ext=false>, 2010. – Abgerufen am 03.05.2011
- [60] MUTSCHLER, Bela ; REICHERT, Manfred: A Survey on Evaluation Factors for Business Process Management Technology. / University of Twente. Version: October 2006. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/421/>. Enschede, The Netherlands : University of Twente, October 2006 (TR-CTIT-06-63). – Technical Report
- [61] MYERSON, Judith: Cloud computing versus grid computing / IBM. Version: Maerz 2009. <http://www.ibm.com/developerworks/web/library/wa-cloudgrid>. 2009. – Forschungsbericht. – Abgerufen am 22.08.2011
- [62] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY: *The NIST Definition of Cloud Computing (Draft)*. [http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-145/Draft-SP-800-145\\_cloud-definition.pdf](http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-145/Draft-SP-800-145_cloud-definition.pdf), 2011. – Abgerufen am 22.08.2011
- [63] OBJECT MANAGEMENT GROUP, INC: *Business Process Model And Notation (BPMN) Version 2.0*. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>, Januar 2011. – Abgerufen am 28.09.2011
- [64] *Kapitel 2*. In: PATIG, Susanne ; CASANOVA-BRITO, Vanessa ; VOEGELI, Barbara: *IT Requirements of Business Process Management in Practice - An Empirical Study*. Springer-Verlag, 2010, S. 13–28
- [65] PRYSS, Rüdiger ; REICHERT, Manfred (Hrsg.) ; DADAM, Peter (Hrsg.) ; BAUER, Thomas (Hrsg.): *Enterprise Application Integration: Anforderungen, Ansätze und Technologien*. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/549/>. Version: 2005

- [66] PRYSS, Rüdiger ; TIEDEKEN, Julian ; KREHER, Ulrich ; REICHERT, Manfred: Towards Flexible Process Support on Mobile Devices. In: *Proc. CAiSE'10 Forum - Information Systems Evolution*, Springer, 2010 (LNBIP 72), 150–165
- [67] REICHERT, Manfred ; DADAM, Peter (Hrsg.): *Dynamische Ablaufänderungen in Workflow-Management-Systemen*. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/433/>. Version: July 2000
- [68] REICHERT, Manfred ; BASSIL, Sarrita ; BOBRIK, Ralph ; BAUER, Thomas: The Proviado Access Control Model for Business Process Monitoring Components. In: *Enterprise Modelling and Information Systems Architectures - An International Journal* 5 (2010), December, Nr. 3, 64–88. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/674/>
- [69] REICHERT, Manfred ; BAUER, Thomas ; DADAM, Peter: Enterprise-Wide and Cross-Enterprise Workflow Management: Challenges and Research Issues for Adaptive Workflows. In: *Proc. Workshop Informatik '99*, Dadam, P.; Reichert, M., October 1999 (CEUR Workshop Proceedings, 24), 56–64
- [70] REICHERT, Prof. Dr. M.: *Business Process Management*. Vorlesungsskript, Universitaet Ulm, 2009
- [71] REICHERT, Prof. Dr. M.: *Dokumenten Management Systeme*. Version: 2009. <http://www.uni-ulm.de/?id=13147>. Vorlesungsskript, Universitaet Ulm
- [72] RINDERLE, Stefanie ; BOBRIK, Ralph ; REICHERT, Manfred ; BAUER, Thomas: Business Process Visualization ? Use Cases, Challenges, Solutions. In: *Proc. 8th Int'l Conf. on Enterprise Information Systems (ICEIS'06) Track on Information Systems Analysis and Specification*, 2006, 204–211
- [73] RINDERLE, Stefanie ; REICHERT, Manfred ; DADAM, Peter: Flexible Support of Team Processes by Adaptive Workflow Systems. In: *Distributed and Parallel Databases* 16 (2004), July, Nr. 1, 91–116. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/165/>
- [74] RINDERLE-MA, Stefanie ; REICHERT, Manfred: Comprehensive Life Cycle Support for Access Rules in Information Systems: The CEOSIS Project. In: *Enterprise Information Systems* 3 (2009), Nr. 3, 219–251. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/607/>
- [75] SAIRAMESH, J ; GOH, S ; STANOI, I ; PADMANABHAN, S ; LI, C S.: Disconnected Processes, Mechanisms and Architecture for Mobile E-Business. In: *Mobile Networks and Applications Mobile Net* (2004), S. 651–662



- [76] SAMPATH, Partha ; WIRSING, Martin: Computing the Cost of Business Processes. In: YANG, Jianhua (Hrsg.) ; GINIGE, Athula (Hrsg.) ; MAYR, Heinrich C. (Hrsg.) ; KUTSCHE, Ralf-D. (Hrsg.) ; AALST, Wil (Hrsg.) ; MYLOPOULOS, John (Hrsg.) ; ROSEMAN, Michael (Hrsg.) ; SHAW, Michael J. (Hrsg.) ; SZYPERSKI, Clemens (Hrsg.) ; AALST, Wil (Hrsg.) ; MYLOPOULOS, John (Hrsg.) ; ROSEMAN, Michael (Hrsg.) ; SHAW, Michael J. (Hrsg.) ; SZYPERSKI, Clemens (Hrsg.): *Information Systems: Modeling, Development, and Integration* Bd. 20. Springer Berlin Heidelberg, 2009. – ISBN 978-3-642-01112-2, S. 178–183
- [77] SCHEER, A.W.: *ARIS - vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem*. Springer, 1999  
<http://books.google.de/books?id=Oa0qXJqZxRkC>. – ISBN 9783540658238
- [78] SCHMITT, Stefan: *Software as a Service (SaaS) - Eine Uebersicht*. <http://knol.google.com/k/stefan-schmitt/software-as-a-service-saas/22pt07za5s9jd/2>, Juli 2009. – Abgerufen am 03.10.2011
- [79] SCHOBEL, Johannes: *Business Process Intelligence - Aktueller Stand und neue innovative Ansaetze zur intelligenten Prozessanalyse*, Universitaet Ulm, Diplomarbeit, 2011
- [80] SHAFER, Jeffrey: I/O virtualization bottlenecks in cloud computing today. In: *Proceedings of the 2nd conference on I/O virtualization*. Berkeley, CA, USA : USENIX Association, 2010 (WIOV'10), S. 5 – 5
- [81] SILVER, Bruce: *BPM and Cloud Computing*. <http://www.brsilver.com/bpm-and-cloud-computing-white-paper>, April 2009
- [82] SIRTIL, Holger: *Cloud Computing mit der Windows Azure Platform*. Microsoft Press, 2010
- [83] TEGTMEIER, Nils ; GEHRA, Bernhard ; MOELLENKAMP, Heinz ; KUENN, Christoph: Serviceorientierte IT-Architekturen - Kritische Bestandsaufnahme und Herausforderungen fuer das Controlling. In: *ZfCM* 03 (2009), S. 5 – 13
- [84] TERPLAN, Kornel ; VOIGT, Christian: *Cloud computing*. 1. Aufl. mitp, 2011. – 264 S.. – ISBN 978-3-8266-9098-3
- [85] TIETZ, Vincent ; BLICHMANN, Gregor ; HUEBSCH, Gerald: Cloud-Entwicklungsmethoden. In: *Informatik-Spektrum* (2011), S. 1–10. – ISSN 0170-6012. – 10.1007/s00287-011-0531-1

- [86] UNIVERSITAET ULM - DBIS: *ADEPT1 - Flexible Workflow Management*.  
<http://www.uni-ulm.de/in/iui-dbis/forschung/projekte/archiv/adept1.html>, Juni 2011. – Abgerufen am 15.10.2011
- [87] VAMBENEPE, William: *REST in practice for IT and Cloud management (part 1: Cloud APIs)*. <http://stage.vambenepe.com/archives/863>, Juli 2009. – Abgerufen am 27.10.2011
- [88] VAQUERO, Luis M. ; RODERO-MERINO, Luis ; CACERES, Juan ; LINDNER, Maik: A break in the clouds: towards a cloud definition. In: *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 39 (2008), December, S. 50–55. – ISSN 0146–4833
- [89] VARIOUS ; BUYYA, Rajkumar (Hrsg.) ; BROBERG, James (Hrsg.) ; GOSCINSKI, Andrzej (Hrsg.): *Cloud Computing: Principles and Paradigms*. John Wiley & Sons, Inc., 2011
- [90] VEHLLOW, Markus ; GOLKOWSKY, Cordula: *Cloud Computing im Mittelstand - Erfahrungen, Nutzen und Herausforderungen*. <http://www.pwc.de/de/cloud-computing>, Mai 2011. – Abgerufen am 02.09.2011
- [91] WEBER, Barbara ; REICHERT, Manfred ; RINDERLE-MA, Stefanie: Change Patterns and Change Support Features - Enhancing Flexibility in Process-Aware Information Systems. In: *Data and Knowledge Engineering* 66 (2008), September, Nr. 3, 438–466. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/335/>
- [92] WEI, Yi ; BLAKE, M. B.: Service-Oriented Computing and Cloud Computing: Challenges and Opportunities. In: *IEEE Internet Computing* 14 (2010), S. 72–75. – ISSN 1089–7801
- [93] WESKE, Mathias: *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Springer, 2007. – ISBN 978–3–540–73521–2
- [94] WIEDEMUTH-CATRINESCU, Ursula ; DADAM, Peter (Hrsg.) ; REICHERT, Manfred (Hrsg.) ; RINDERLE-MA, Stefanie (Hrsg.): *Evolution von Organisationsmodellen in Workflow-Management-Systemen*. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/513/>. Version: 2002
- [95] YANG, Haibo ; TATE, Mary: Where are we at with Cloud Computing?: A Descriptive Literature Review. In: *ACIS 2009 Proceedings*, 2009

- [96] ZAPLATA, Sonja ; HAMANN, Kristof ; KOTTKE, Kristian ; LAMERSDORF, Winfried: Flexible Execution of Distributed Business Processes based on Process Instance Migration. In: *Journal of Systems Integration* 1 (2010), Nr. 3, S. 3 – 16
- [97] ZHOU, Yu C. ; LIU, Xin P. ; WANG, Xi N. ; XUE, Liang ; LIANG, Xiao X. ; LIANG, Shuang: Business Process Centric Platform-as-a-Service Model and Technologies for Cloud Enabled Industry Solutions. In: *Cloud Computing (CLOUD), 2010 IEEE 3rd International Conference on*, 2010, S. 534 –537

Name: Christian Peter Kulik

Matrikelnummer: 710893

**Erklärung**

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

Ulm, den .....

Christian Peter Kulik