



Masterarbeit

**Modelle zur Pareto-Optimierung von
Cloud Services für das CAP-Theorem und
davon abhängige Optimierungsziele**

verfasst von
Alexander Gronemann-Habenicht
Studiengang Wirtschaftsinformatik
Northeim, den 27.04.2015

Gutachter
Prof. Dr. Gunter Saake
Dr. Eike Schallehn

Fakultät für Informatik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gronemann-Habenicht, Alexander:

Modelle zur Pareto-Optimierung von Cloud Services

für das CAP-Theorem und davon abhängige Optimierungsziele

Masterarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Magdeburg, 2015.

Zusammenfassung

Um den optimalen Cloud Anbieter zu ermitteln ist es notwendig zu wissen, welche relevanten Kriterien es überhaupt gibt. Dazu wird in dieser Arbeit ein Klassifikationsrahmen für Cloud Services mit den sechs Zieldimensionen Flexibilität, Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz", "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" mit über 100 Einzelkriterien gefüllt.

Anhand eines Fallbeispiels für Cloud Speicherdienste wurde untersucht, wie stark der Zusammenhang zwischen den einzelnen Zieldimensionen ist. Bei der Untersuchung wurden die vier Zieldimensionen Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" berücksichtigt. Zwischen den Kosten und den anderen Zieldimensionen konnte kein oder nur ein kleiner Zusammenhang festgestellt werden. Zwischen "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" und "IT-Sicherheit & Datenschutz" konnte ein mittelstarker Zusammenhang festgestellt werden. Ebenfalls ein mittelstarker Zusammenhang konnte zwischen den Zieldimensionen "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" festgestellt werden. Ein kleiner bis mittlerer Zusammenhang besteht zwischen den Zieldimensionen "IT-Sicherheit & Datenschutz" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit". Des Weiteren wurde die Pareto-Front ermittelt. Die Untersuchung wurde für Cloud Speicherdienste durchgeführt. Die beschriebene Vorgehensweise ist aber auch auf andere Cloud Dienste anwendbar.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich beim Erstellen dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Eike Schallehn, der mir bei der Themenfindung und der gesamten Bearbeitungszeit immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Seine wertvollen Hinweise zur Strukturierung und die kritischen Anmerkungen zu den einzelnen Kapiteln waren für mich eine große Hilfe und haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Freiheit bei der Umsetzung des Themas waren ein perfektes Arbeitsumfeld. Bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. Gunter Saake für die Möglichkeit, meine Abschlussarbeit am Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme schreiben zu dürfen und mir mein eigenes Thema auszusuchen.

Meiner Familie danke ich für die mentale Unterstützung und ihre motivierenden Worte.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
1 Einführung	11
1.1 Motivation	11
1.2 Ziele und Aufgaben	12
1.3 Struktur	12
2 Grundlagen	15
2.1 Kapitelübersicht	15
2.2 Cloud Computing	15
2.2.1 Vorteile und Nachteile von Cloud Computing	16
2.2.2 Public, Private und Hybrid Clouds	17
2.2.3 Servicemodelle (IaaS, PaaS, SaaS)	19
2.2.4 Sicherheitsaspekte beim Cloud Computing	20
2.3 Service Level Agreements für Cloud Services	21
2.4 Konzepte und Theoreme	23
2.4.1 Shared Nothing Architektur	23
2.4.2 CAP-Theorem	24
2.4.3 ACID	27
2.4.4 BASE	28
2.5 Pareto-Optimierung	28
3 Klassifikationsrahmen für Cloud Services	31
3.1 Kapitelübersicht	31
3.2 Aufbau des Klassifikationsrahmens	31
3.3 Klassifikationsrahmen (Zieldimensionen und Top Level Anforderungen)	34
3.4 Flexibilität	36

3.5 Kosten	39
3.6 Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang	41
3.7 IT-Sicherheit & Datenschutz	43
3.8 Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit	45
3.9 Wartbarkeit & Bedienbarkeit	47
4 Zusammenhänge der Dimensionen	49
4.1 Kapitelübersicht	49
4.2 Verwendete Daten und Datenaufbereitung	49
4.3 Auswertung der Daten	53
4.4 Interpretation	55
4.5 Pareto-Optimierung	57
4.6 Auswahl des optimalen Anbieters	60
4.7 Zusammenhang zwischen Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit	61
5 Schlussfolgerungen	63
5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	63
5.2 Einschränkungen	64
5.3 Erweiterungsmöglichkeiten	65
5.4 Nutzen	65
5.5 Ausblick	67
6 Anhang	69
6.1 Quellenverzeichnis	69
6.2 Abbildungen	75
6.3 Tabellen	77
6.4 Eidesstattliche Erklärung	86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 - Servicemodelle für Cloud Services basierend auf der Grundlagendefinition des BSI[1]	20
Abbildung 2.2 - Shared Nothing Architektur frei nach Garcia-Molina et al. [11]	24
Abbildung 2.3 - CAP-Theorem von Brewer[12]	25
Abbildung 2.4 - Beispiel einer Pareto-Front (auch Skyline genannt) [47]	29
Abbildung 3.1- Aufbau des Klassifikationsrahmen frei nach Repschläger [37]	33
Abbildung 4.1 - Pareto-Front für die Dimensionen Kosten und Leistung	59
Abbildung 4.2 - Netzdiagramm	59
Abbildung 4.3 - Zusammenhang zwischen Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit	62
Abbildung 6.1 - FastNonDominatedSort.h[41]	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1 - Übersicht der verwendeten Publikationen für den Klassifikationsrahmen	31
Tabelle 3.2 - Klassifikationsrahmen (Zieldimensionen und Top Level Anforderungen)	35
Tabelle 3.3 - Beispiel einer einfachen Nutzwertanalyse für Benutzeroberflächen	37
Tabelle 3.4 - Flexibilität	38
Tabelle 3.5 - Kosten	40
Tabelle 3.6 - Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang	43
Tabelle 3.7 - IT-Sicherheit & Datenschutz	44
Tabelle 3.8 - Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit	46
Tabelle 3.9 - Wartbarkeit & Bedienbarkeit	48
Tabelle 4.1 - Rohdaten von Cloud-Speicherdiensten[36]	51
Tabelle 4.2 - Aufbereitete Testdaten von Cloud Speicherdiensten	53
Tabelle 4.3 - Korrelation und Signifikanz (1)	54
Tabelle 4.4 - Interpretation der Korrelation[35]	55
Tabelle 4.5 - Zusammenhänge der Zieldimensionen	56
Tabelle 4.6 - Pareto-Front	58
Tabelle 4.7- Beispielhafte Gewichtungen für unterschiedliche Präferenzen	60
Tabelle 4.8 - Gewichtete Ergebnisse	61
Tabelle 6.1 - Korrelationen und Signifikanz (2)	77
Tabelle 6.2 - Stichpunktartiger Klassifikationsrahmen	77
Tabelle 6.3 - Übersichtsliste von Cloud Service Providern[45]	82

1 Einführung

1.1 Motivation

In der Wirtschaft und der Wissenschaft gewinnt Cloud Computing immer mehr an Bedeutung. Besonders hervorzuheben ist dabei das große Wachstumspotenzial von Cloud Computing[44]. Mit der wachsenden Bedeutung von Cloud Computing steigt auch die Anzahl der Cloud Computing Anbieter rasant an. Für den Kunden wird es immer schwieriger den richtigen Cloud Anbieter zu finden. Es gibt über hundert Kriterien, die bei der Wahl des richtigen Cloud Computing Anbieters relevant sein können. Welchen Kriterien dabei welche Wichtigkeit zukommt hängt dabei von den Präferenzen des Kunden ab. Die Kriterien können in Abhängigkeit von den Kundenpräferenzen gewichtet werden, um so den für den Kunden optimalen Cloud Anbieter zu ermitteln. Zuvor ist es jedoch notwendig zu wissen, welche Kriterien für die Auswahl des richtigen Cloud Anbieters überhaupt relevant sein können. Bereits hier setzt diese Arbeit an. Es wird unter anderen ein Klassifikationsrahmen für Cloud Services mit sechs Zieldimensionen mit über 100 Einzelkriterien gefüllt, welche bei der Auswahl des richtigen Cloud Anbieters eine Rolle spielen. Zu wissen, welche relevanten Kriterien bei Cloud Anbietern es gibt, ist eine wichtige Grundlage, um den für einen bestimmten Kunden jeweils besten Cloud Anbieter auswählen zu können. Ein solcher Klassifikationsrahmen für Cloud Services kann auch für andere Aufgaben verwendet werden. Zum Beispiel für eine bereits seit längerem geforderte, aber noch in den Kinderschuhen steckende Vereinheitlichung der Service Level Agreements von Cloud Anbietern.

Die Wahl des richtigen Cloud Anbieters bleibt aber schwierig, auch wenn die relevanten Kriterien bekannt sind. Dies hängt unter anderen damit zusammen, dass die Kriterien sich gegenseitig beeinflussen. Es gibt zahlreiche Trade-Off Beziehungen zwischen einzelnen Kriterien. Dies bedeutet, die Maximierung von mehreren bestimmten Kriterien gleichzeitig kann sich gegenseitig ausschließen. Nicht nur einzelne Kriterien, auch die übergeordneten Zieldimensionen Flexibilität, Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit &

Datenschutz", "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" beeinflussen sich gegenseitig. Wenn bekannt ist inwieweit sich die Zieldimensionen oder einzelne Kriterien beeinflussen, kann dieses Wissen für die Wahl eines optimalen Cloud Anbieters genutzt werden. Hier setzt die Arbeit an. In einem Fallbeispiel wird anhand von Cloud Speicherdiensten untersucht, wie stark der Zusammenhang ist, der zwischen den einzelnen Zieldimensionen besteht.

1.2 Ziele und Aufgaben

Das erste Ziel dieser Arbeit ist das Erstellen eines möglichst vollständigen Klassifikationsrahmen für die Cloud Anbieterauswahl mittels Literaturrecherche. Dazu werden für die Cloud Anbieterauswahl recherchierten Kriterien in die sechs Bereiche Flexibilität, Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz", "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" eingeteilt. Jede dieser sechs Hauptkategorien teilt sich wiederum in mehrere Unterkategorien auf.

Hauptziel dieser Arbeit ist zu untersuchen, wie stark die einzelnen Zieldimensionen zusammenhängen. Die aufgezeigte Vorgehensweise ist allgemein für Cloud Dienste anwendbar. Konkret wurden die Zusammenhänge am Beispiel von Cloud Speicherdiensten untersucht. Ein weiteres Ziel ist zu zeigen, wie die optimalen Cloud Dienste ermittelt werden können. Dazu wird am Beispiel der Cloud Speicherdienste die Pareto-Front berechnet. Außerdem werden in Anlehnung an das CAP-Theorem die Zusammenhänge zwischen den Kriterien Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit betrachtet.

1.3 Struktur

Im ersten Kapitel wird eine Zusammenfassung über die Arbeit gegeben. Anschließend wird motiviert, warum das Thema interessant und wichtig ist. Anschließend werden die Ziele dieser Arbeit vorgestellt und gezeigt, welche Aufgaben damit verbunden sind. Danach wird die Struktur der Arbeit vorgestellt. Im zweiten Kapitel werden alle relevanten Grundlagen abgehandelt. Zuerst geht

es um Grundlagen zum Thema Cloud Computing wie Vor- und Nachteile von Cloud Computing, Public, Private und Hybrid Clouds, Servicemodelle und Sicherheitsaspekte beim Cloud Computing. Danach werden die Grundlagen zu Service Level Agreements für Cloud Services vorgestellt. In der Folge werden die Konzepte der Shared Nothing Architektur, des CAP-Theorem sowie von ACID und BASE vorgestellt. Abschließend folgen die Grundlagen zur Pareto-Optimierung.

Im dritten Kapitel wird mittels einer Literaturrecherche ein Klassifikationsrahmen für Cloud Services in den sechs Bereichen Flexibilität, Kosten, „Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang“, „IT-Sicherheit & Datenschutz“, „Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit“ und „Wartbarkeit & Bedienbarkeit“ mit über einhundert Einzelkriterien gefüllt.

Im vierten Kapitel werden die Zusammenhänge zwischen den Zieldimensionen und Kriterien untersucht. Am Beispiel von Cloud Speicherdiensten wird untersucht, wie stark der Zusammenhang zwischen den Zieldimensionen Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" ist. Anschließend wird die Pareto-Front ermittelt. Auch wenn das Fallbeispiel Cloud Speicherdienste gewählt wurde, lässt sich die Vorgehensweise auch auf andere Cloud Dienste anwenden. Angelehnt an das CAP-Theorem folgt am Ende des vierten Kapitels eine Betrachtung der Zusammenhänge zwischen den Kriterien Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit.

Im fünften und letzten Kapitel werden Schlussfolgerungen zu dieser Arbeit gezogen. Neben der Zusammenfassung der Ergebnisse wird abgehandelt, welche Einschränkungen und Erweiterungsmöglichkeiten es gibt. Zum Schluss wird ein Ausblick auf die weitere Entwicklung des Themengebietes gegeben. Im Anhang befinden sich neben dem Quellenverzeichnis weitere relevante Abbildungen und Tabellen.

2 Grundlagen

2.1 Kapitelübersicht

In diesem Kapitel werden alle für diese Arbeit relevanten Grundlagen zusammen getragen. Zuerst wird geklärt, was Cloud Computing überhaupt ist. Danach werden die Vor- und Nachteile von Cloud Computing betrachtet. Es folgt eine Erklärung von Public, Private und Hybrid Clouds und der Servicemodelle. Als nächstes wird ein Überblick über Sicherheitsaspekte beim Cloud Computing gegeben. Danach werden die Service Level Agreements für Cloud Services genauer betrachtet und die Shared Nothing Architektur erklärt. In den Abschnitten CAP-Theorem, ACID und BASE geht es um grundlegende Eigenschaften, die ein Datenbanksystem oder ein verteiltes System haben sollte. Den Abschluss dieses Grundlagenkapitels bildet die Pareto-Optimierung.

2.2 Cloud Computing

Der Begriff Cloud Computing wird vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik wie folgt definiert [1]:

„Cloud Computing bezeichnet das dynamisch an den Bedarf angepasste Anbieten, Nutzen und Abrechnen von IT-Dienstleistungen über ein Netz. Angebot und Nutzung dieser Dienstleistungen erfolgen dabei ausschließlich über definierte technische Schnittstellen und Protokolle. Die Spannweite der im Rahmen von Cloud Computing angebotenen Dienstleistungen umfasst das komplette Spektrum der Informationstechnik und beinhaltet unter anderem Infrastruktur (z. B. Rechenleistung, Speicherplatz), Plattformen und Software.“

Das „National Institute for Standards and Technology“ (NIST) hat die fünf wichtigsten Charakteristika, die Cloud-Computing auszeichnen, aufgelistet [2]:

□ On-demand self-service: Der Kunde kann Serverzeit und Speicherplatz zu einem beliebigen Zeitpunkt und genau im benötigten Umfang erwerben.

- Broad network access: Auf die Cloud wird über ein Netzwerk zugegriffen. Der Zugriff kann von unterschiedlichen Plattformen wie PC, Mobiltelefon oder PDA erfolgen.
- Resource pooling: Der Cloud Service Provider teilt die Ressourcen seiner einzelnen Rechenzentren zwischen seinen verschiedenen Kunden auf. Der Kunde hat in Normalfall kein Wissen darüber, von welchen Rechenzentren die von ihm genutzten Ressourcen stammen.
- Rapid elasticity: Der Umfang der genutzten Ressourcen ist frei skalierbar. Bei Nutzungsschwankungen werden so viele Ressourcen zur Verfügung gestellt, wie tatsächlich benötigt werden. In vielen Fällen läuft die Skalierung komplett automatisch ab.

2.2.1 Vorteile und Nachteile von Cloud Computing

Im folgendem werden die wichtigsten Vor- und Nachteile von Cloud Computing stichpunktartig aufgezählt:

Vorteile:

- Höhere Verfügbarkeit des Services[3]
- Größere Flexibilität und skalierbare Ressourcen[3][4]
- Anpassung an Nutzungsschwankungen
- Kostenersparnis und verringerte Kapitalbindung[4]
- Ressourcen werden dann bereitgestellt, wenn sie angefragt werden(OnDemand)
- Es muss nur das bezahlt werden, was auch genutzt wird(Pay-as-you-go)
- Konzentration auf das Kerngeschäft wird möglich[4]

Nachteile:

- Abhängigkeit von einem Anbieter (Lock-In Effekt)[3]
- Datenübertragung kann Flaschenhals darstellen[3]

- Netzwerkzugang wird vorausgesetzt
- Fragwürdige Vertraulichkeit des Cloud Service Provider(CSP)[3]
- Abhängigkeit von den Schnittstellen der Cloud bei PaaS
- Probleme mit dem Datenschutz (Zugriffsmöglich von US-Behörden)
- Kontrolle wird abgegeben
- Datenübertragung ist eine potentielle Gefahrenquelle

2.2.2 Public, Private und Hybrid Clouds

Bei einer Public Cloud handelt es sich bei dem Anbieter einer Cloud und dem Nutzer dieser Cloud um zwei unterschiedliche organisatorische Einheiten [5]. Das bedeutet, eine Person oder eine Organisation stellt eine Cloud Infrastruktur zur Verfügung und eine andere Organisation oder eine andere Person nutzt die Cloud Infrastruktur. Dies setzt beim Nutzer eines solches Cloud Dienstes ein hohes Maß an Vertrauen in den Anbieter voraus. Zum einen, weil der Cloud-Anbieter selbst auf die Daten des Nutzer zugreifen könnte, zum anderen, weil der Anbieter nur unzureichende Schutzmaßnahmen ergriffen haben könnte. Dies könnte ermöglichen, dass sich Dritte Zugriff auf die Daten der Cloud Nutzer verschaffen. Besonders wenn sensible Daten in der Cloud gespeichert werden, kann so ein erheblicher Schaden für den Nutzer entstehen. Sicherheitsbedenken bei Public Clouds, die von US-Konzernen angeboten werden, sind besonders angebracht. US-Konzerne sind per Gesetz verpflichtet, US-Geheimdiensten auf Anfrage sämtliche in der Cloud gespeicherten Daten auszuhändigen. Dabei spielt es keine Rolle, aus welchem Land der Nutzer kommt oder in welchem Land die Server des Cloud Anbieters stehen.

Eine Private Cloud kann deutlich sicherer als eine Public Cloud sein. Bei einer Private Cloud handelt es sich bei dem Anbieter einer Cloud und dem Nutzer dieser Cloud um dieselbe organisatorische Einheit. Das bedeutet, eine Person oder eine Organisation stellt eine Cloud Infrastruktur zur Verfügung und dieselbe Organisation oder dieselbe Person nutzt diese Cloud Infrastruktur. Der große Vorteil bei einer Private Cloud ist, dass der Nutzer eine sehr viel größere

Kontrolle hat. Der Nutzer kann in diesem Fall selbst über die Struktur und die Sicherheitsvorkehrungen der Cloud entscheiden. Dies ermöglicht eine extrem sichere Cloud. Eine Private Cloud hat aber auch große Nachteile. Zum einen ist die Umsetzung sehr viel aufwendiger, als wenn einfach eine bereits existierende Public Cloud eines großen Anbieters verwendet wird. Bei einer Private Cloud muss sich der Nutzer selbst um die technische Infrastruktur wie Server kümmern, muss sich für die für seinen Anwendungsbereich richtige Cloud Struktur entscheiden und eine gute Sicherheitslösung für die Cloud implementieren. Außerdem erfordert eine Private Cloud ständige Wartung. Da eine Private Cloud nur von einer Organisation genutzt wird, verteilt sich die Auslastung sehr viel schlechter als bei einer Public Cloud. All das zusammen sorgt dafür, dass in den allermeisten Fällen eine Private Cloud höhere Kosten verursacht als eine Public Cloud. Auch wenn eine Private Cloud die Voraussetzungen für eine sichere Cloud bietet, ist sie dafür noch keine Garantie. Dadurch, dass sich der Kunde selbst um die Implementierung einer guten Sicherheitslösung kümmern muss, gibt es zahlreiche Fehlerquellen, welche die gesamte Sicherheit der Cloud zunichte machen können. Dabei kann bereits ein Fehler bei der Konzeption oder Umsetzung der Sicherheitslösung für eine unsichere Cloud sorgen. Das klassische Beispiel dafür ist ein technisch einwandfreies Sicherheitsframework, welches mit den besten Verschlüsselungsalgorithmen arbeitet. Nur leider steht der Server für die Cloud in einem öffentlich zugänglichen Büro. Bereits dieser eine Fauxpas macht die gesamte Cloud unsicher.

Zusätzlich zu Private und Public Clouds gibt es noch Hybrid Clouds. Von einer Hybrid Cloud spricht man, wenn in einer Cloud Infrastruktur sowohl eine Public Cloud als auch eine Private Cloud verwendet werden. Ziel einer Hybrid Cloud ist es die Kosteneffizienz der Public Cloud und das hohe Sicherheitspotential der Private Cloud miteinander zu vereinen. Typischerweise werden dabei sensible Daten in der Private Cloud gespeichert. Für die meist deutlich größere Datenmenge an unsensiblen Daten wird die kostengünstigere Public Cloud verwendet.

2.2.3 Servicemodelle (IaaS, PaaS, SaaS)

Infrastructure as a Service (IaaS)

Der Cloud Service Provider stellt nur die Infrastruktur zur Verfügung[1]. Dies beinhaltet in erster Linie die Ressourcen Rechenkapazität, Arbeitsspeicher und Datenspeicher. Der Kunde muss seinen komplett eigenen Service aufbauen. Er ist für die Wahl der Betriebssysteme und aller Anwendungen, die in der Cloud laufen sollen, selbst verantwortlich. Beim IaaS-Modell werden dem Kunden die wenigsten Aufgaben abgenommen. Dafür lassen sich mit diesem Servicemodell ganz individuell Anwendungen umsetzen, die genau den Kundenvorstellungen entsprechen.

Platform as a Service (PaaS)

Bei diesem Servicemodell wird dem Kunden eine Plattform zur Verfügung gestellt, bei der Hardware, Betriebssystem und die Schnittstellen vom Cloud Service Provider bereit gestellt werden[1]. Oft werden Services angeboten, die sich um eine automatische Skalierung der Ressourcen, um die Zugriffskontrolle und Datenzugriffe kümmern. Meistens werden den Entwicklern Programmierumgebungen und Laufzeitumgebungen, welche genau auf die Plattform abgestimmt sind, bereitgestellt[5]. Der Kunde kann in der Cloud eigene Programme umsetzen, ist dabei aber immer an die Vorgaben durch die Plattform gebunden, welches individuelle Einschränkungen mit sich bringen kann.

Software as a Service (SaaS)

Der Cloud Service Provider stellt fertige Anwendungen zur Verfügung[1]. Oft richten sich diese Angebote direkt an den Endanwender [5]. Der Cloud Service Provider ist bei den Gebieten, für die er Anwendungen anbietet, nicht begrenzt. Besonders verbreitet ist dieses Servicemodell aktuell bei Office-Programmen. Von der Textverarbeitung über Finanzverwaltung und Adressverwaltung bis zur Tabellenkalkulation stehen Anwendungen für eine große Bandbreite von Einsatzgebieten zur Verfügung.

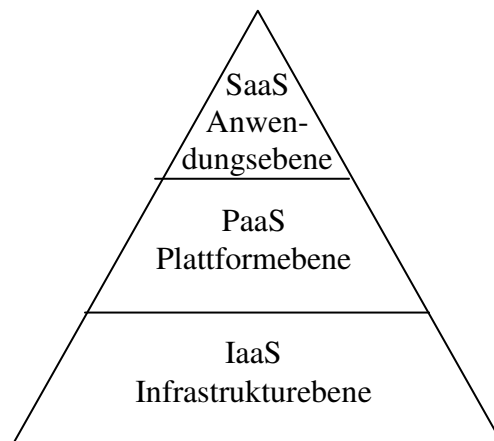


Abbildung 2.1 – Servicemodelle für Cloud Services
basierend auf der Grundlagendefinition des BSI[1]

2.2.4 Sicherheitsaspekte beim Cloud Computing

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik(BSI) ist die nationale Sicherheitsbehörde der Bundesrepublik Deutschland mit dem Aufgabenfeld ITSicherheit[6]. Das BSI wurde 1991 gegründet. Aktuell beschäftigen sich bei dem BSI mehr als 500 Mitarbeiter mit IT-Sicherheitsfragen. Einer der Leitfäden, die ausgearbeitet wurden, ist das Eckpapier „Sicherheitsempfehlungen für Cloud Computing Anbieter“[1]. Diese Ausarbeitung richtet sich ausdrücklich an alle „IT-affine Personen, die mit der Bereitstellung bzw. Nutzung von Cloud Services befasst sind.“

Nach dem BSI sind die sechs Sicherheitsbereiche der Cloud Architektur:

- Rechenzentrumssicherheit
- Server-Sicherheit
- Netzsicherheit
- Anwendungs- und Plattformsicherheit
- Datensicherheit
- Verschlüsselung und Schlüsselmanagement.

Für jeden dieser Bereiche hat das BSI zahlreiche Anforderungen ausgearbeitet,

welche ein Sicherheitskonzept für Cloud Computing abdecken muss. Darin liegt ein Kernbestandteil des Eckpapiers. Dabei werden drei Arten von Anforderungen unterschieden: Basisanforderungen, die für jede Cloud erfüllt sein sollten. Anforderungen für Bereiche mit hohem Schutzbedarf bei Vertraulichkeit sowie Anforderungen für Bereiche mit hohem Verfügbarkeitsbedarf. So ist es möglich auch für unterschiedliche Sicherheitsanforderungen geeignete Konzepte umzusetzen.

2.3 Service Level Agreements für Cloud Services

Ein Service Level Agreement (SLA) ist eine Vereinbarung zwischen einem Dienstleister und dem Kunden [10]. Mit einem SLA kann ein Dienstleister seine Leistungseigenschaften transparent seinen potentiellen Kunden darstellen. Kunden haben durch die Darstellung der Leistungseigenschaften eine Möglichkeit der gezielten Anbieterauswahl. Im Idealfall ist ein SLA ein Instrument, mit dem der Dienstleister sich dem Kunden transparent darstellen kann. So können Unklarheiten oder spätere Streitigkeiten über die Dienstleistung von vornherein vermieden oder zumindest verringert werden. In der Realität ist dies jedoch oft nicht gegeben. Ein Papier der Europäischen Kommission fasst die Forschungsergebnisse im Bereich Service Level Agreements für Cloud Computing zusammen [8]. Demnach werden mit der steigenden Anzahl von Cloud Service Providern SLAs immer wichtiger, damit Kunden den für sie passenden Dienstleister finden können. Allerdings fordern Kunden umfangreichere SLAs mit klareren Konditionen, einer besseren Unterscheidung der unterschiedlichen Service Level Qualitäten, einer ausführlicheren Betrachtung der rechtlichen Aspekte insbesondere im Bereich des Datenschutzes und mehr Aussagen zu Reporting, Servicenutzung und dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess des Anbieters.

Ein weiteres Problem sind die oft unzureichenden Haftungs- und Sanktionsregelungen. Viele kleine Cloud Service Provider versprechen ihren Kunden zum Beispiel ein sehr hohes Servicelevel. Wichtig für den Kunden ist was

passiert, wenn die im SLA zugesicherten Leistungseigenschaften und Servicequalität nicht eingehalten werden. Ein wichtiger Bestandteil von allen SLAs sollten darum die Haftungs- und Sanktionsregelungen sein. In der Praxis fehlt dieser Abschnitt oft komplett oder ist nur sehr kurz dargestellt. Einige meist kleinere und unbekanntere Cloud Service Provider garantieren in ihren SLAs 100% Verfügbarkeit. In den Haftungs- und Sanktionsregelungen finden sich dann jedoch keine Aussagen darüber was passiert, wenn die Zusage nicht eingehalten wird. Oder die Sanktion bei Nichteinhaltung des Leistungsversprechens ist nur minimal. Abhängig von anderen Punkten im SLA kann eine 99% Verfügbarkeitsgarantie besser sein als eine 100% Verfügbarkeitsgarantie. Durch diese Tatsache lassen sich SLAs nur schwer miteinander vergleichen. Ähnliches gilt für die meisten Punkte in SLAs. Außerdem fallen SLAs höchst unterschiedlich in ihrem Umfang aus. So sind viele Punkte, die in einem SLA geklärt werden, in einem anderen SLA überhaupt nicht erwähnt. Dadurch wird es für Kunden schwer SLAs als Instrument einzusetzen, um den für sie passenden Dienstleister zu finden. Damit verlieren SLAs einen Großteil ihrer Aussagekraft. Im dritten Kapitel dieser Arbeit werden die relevanten Eigenschaften für Cloud Service Provider ausgearbeitet. Im Idealfall sollte eine SLA all diese Punkte umfassen. In der Realität ist dies bisher nicht einmal ansatzweise der Fall.

Die Grundidee, SLA zu vereinheitlichen und diese maschinenlesbar zu machen, wurde schon häufig geäußert. Maschinenlesbare SLAs würden eine automatisierte und auf die vorher festgelegten Präferenzen des Kunden abgestimmte Auswahl eines Cloud Service Providers ermöglichen. Zuerst legt der Kunde für alle relevanten Kriterien eine Gewichtung fest. Die Implementierung kann dabei so erfolgen, dass nicht jedes Kriterium einzeln ausgewählt werden muss. Auch die Auswahl bestimmter Grundoptionen wie Kostenminimierung oder maximaler Datenschutz sind denkbar. Als nächstes werden die SLAs aller verfügbaren Cloud Service Provider ausgelesen. Danach wird abhängig von den gewählten Gewichtungen der für den Kunden optimale Cloud Service Provider berechnet. Eine zumindest teilweise Standardisierung der SLAs würde die Entwicklung

maschinenlesbarer SLAs deutlich vereinfachen. Probleme bei der Einführung maschinenlesbarer SLAs sind unter anderem uneinheitliche Terminologie, uneinheitlicher Umfang der SLAs und unklare oder ungenaue Aussagen über einzelne Aspekte der Servicequalität. Auch das bereits im vorherigen Abschnitt besprochene Problem, dass beispielsweise eine 99% Verfügbarkeitsgarantie von einem Cloud Service Provider besser sein kann als eine 100% Verfügbarkeitsgarantie von einem anderen Cloud Service Provider macht den automatischen Auswahlprozess sehr schwierig. Es gibt unterschiedliche Ansätze für maschinenlesbare Service Level Agreements. Eine Möglichkeit ist ein komplexes Ontologie-basiertes kontextsensitives Management System für Cloud Computing[9]. Eine andere Möglichkeit ist, den Aufbau, den Inhalt und die Terminologie von SLAs so weit zu standardisieren, dass das automatische Auswerten selber trivial wird und im Wesentlichen nur noch aus der Gewichtung und Summierung der einzelnen Punkte des SLA besteht. Bei der Vielzahl der Cloud Service Provider und unter Berücksichtigung der großen Uneinheitlichkeit aktueller SLAs ist jedoch fraglich, ob in absehbarer Zeit eine solche Standardisierung möglich ist.

2.4 Konzepte und Theoreme

Im Folgenden wird die Shared Nothing Architektur, das CAP-Theorem, sowie das ACID und BASE Konzept vorgestellt.

2.4.1 Shared Nothing Architektur

Bei der Shared Nothing Architektur handelt es sich um ein Konzept, welches auch beim Cloud Computing Anwendung findet. Jeder Knoten hat seinen eigenen Prozessor, seinen eigenen Speicher und eigene Daten[11]. Dadurch ist jeder Knoten in der Lage eigenständig und unabhängig von den anderen Knoten seine Aufgabe zu erfüllen. Mit der Shared Nothing Architektur werden dezentrale Systeme umgesetzt. Die Daten werden auf die einzelnen Knoten aufgeteilt. Die Knoten kommunizieren direkt von Knoten zu Knoten miteinander. Die Shared Nothing Architektur wurde mit der Weiterentwicklung des World Wide Web

bekannt. Ein großer Vorteil der Shared Nothing Architektur ist seine Skalierbarkeit.

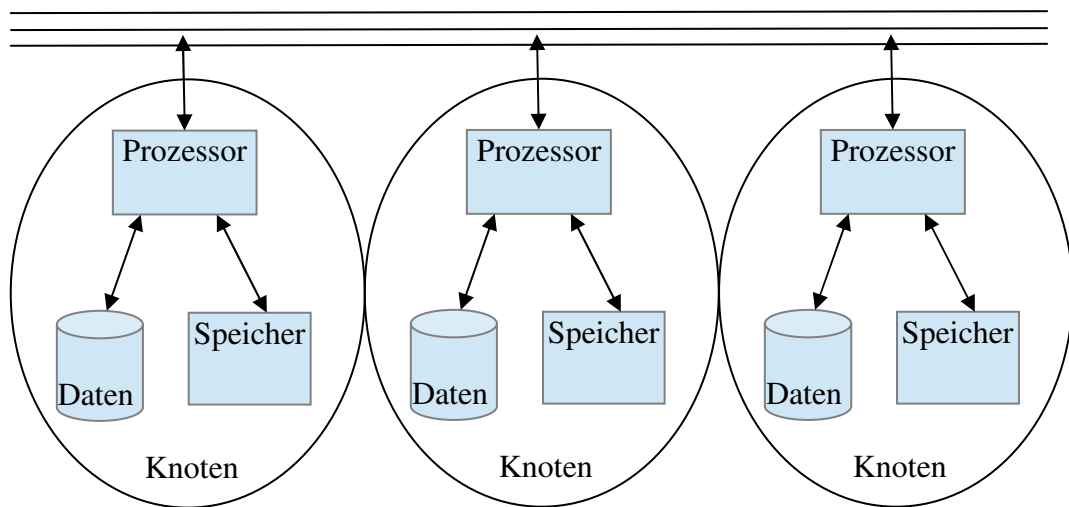


Abbildung 2.2 - Shared Nothing Architektur frei nach Garcia-Molina et al. [11]

2.4.2 CAP-Theorem

Das CAP-Theorem wird auch Brewers Theorem genannt, da es von Eric Brewer im Jahre 2000 aufgestellt wurde. Das Theorem besagt, dass von den drei Eigenschaften Konsistenz, Verfügbarkeit und Partitionstoleranz in einem verteilten System maximal zwei gleichzeitig erfüllt werden können[12]. Es ist also unmöglich alle drei Eigenschaften gleichzeitig zu gewährleisten. Im Jahre 2002 wurde von Gilbert und Lynch der Beweis des CAP-Theorem erbracht[13].

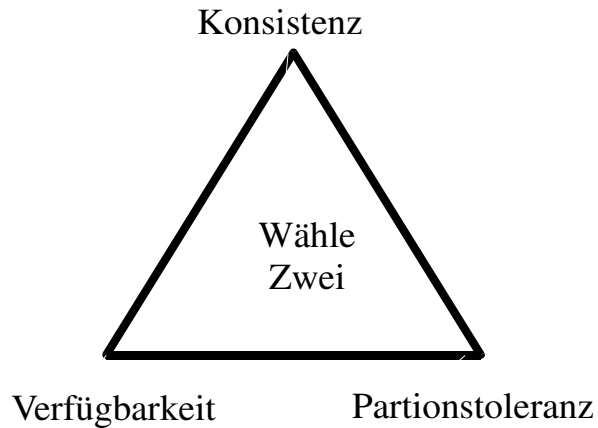


Abbildung 2.3 – CAP-Theorem von Brewer[12]

Maximale Verfügbarkeit ist gewährleistet, wenn jederzeit alle Anfragen beantwortet werden können. Um maximale Konsistenz zu gewährleisten ist es notwendig, dass alle Knoten zu jeder Zeit dieselben Daten sehen. Maximale Partitionstoleranz ist gegeben, wenn trotz Ausfall von Knoten oder Nachrichten das System in der Lage ist weiter zu arbeiten. Daraus ergeben sich drei Gruppen von Systemen.

Erstens, Systeme die Konsistenz und Verfügbarkeit garantieren. Darunter fallen klassische Datenbanken, das Lightweight Directory Access Protocol(LDAP) oder das xFS Dateisystem. Bei diesen Systemen ist die Partitionstoleranz nicht gewährleistet. Der Ausfall einzelner Knoten oder das Abhandenkommen von Nachrichten kann daher zum Ausfall des System führen.

Die zweite Gruppe von Systemen gewährleistet Konsistenz und Partitionstoleranz. Solche Systeme spielen vor allem im Finanzbereich eine wichtige Rolle. So ist es beispielsweise bei Geldabhebungen wichtig, dass alle Teilsysteme mit konsistenten Daten arbeiten. Sonst könnte der Betrag zuerst an Automat A abgehoben werden und anschließend noch einmal an Automat B, selbst wenn das Konto nach der Abhebung von Automat A schon leer ist. Ebenso wichtig wenn nicht sogar noch wichtiger für solche Systeme ist die Partitionstoleranz. Durch

einen Ausfall der Verbindung oder des Bankautomaten selber darf es nicht passieren, dass eine getätigte Abhebung nicht auf dem Konto erscheint. Bei solchen System ist die Verfügbarkeit nicht so wichtig und auch nicht immer gewährleistet. Ein Bankautomat außer Betrieb ist zwar ärgerlich, aber nicht so gravierend wie eine verschwundene Einzahlung oder eine doppelte Abbuchung.

Die dritte Gruppe von Systemen gewährleistet Partitionstoleranz und Verfügbarkeit. Darunter fällt das Coda-Dateisystem, die meisten Online-Tauschbörsen und Cloud Service Provider und das Domain Name System(DNS). DNS ist ein Verzeichnisdienst, der den Namensraum im Internet verwaltet. DNS ist auf vielen Tausend Servern verteilt und kann auch beim Ausfall größerer Servergruppen weiterarbeiten und gleichzeitig Verfügbarkeit garantieren. DNS zeichnet sich durch seine dezentrale, baumartige Struktur aus. Bis neue Informationen jedoch alle Hierarchiestufen dieses Baumes erreicht haben, kann es mehrere Stunden, teilweise sogar mehrere Tage dauern. Bei Systemen wie DNS ist die Konsistenz daher nicht sicher gestellt.

2012 veröffentlichten sowohl Gilbert und Lynch als auch Brewer einen Rückblick auf das CAP-Theorem und seine Auswirkungen[14][15]. Unter anderen stellt Brewer darin klar, dass der Trade-Off zwischen den drei Eigenschaften kontinuierlich verläuft. In der Praxis läuft es also nicht darauf hinaus sich für zwei der Eigenschaften zu entscheiden und die dritte komplett zu vernachlässigen. Die Frage ist oft, wie viel von den zwei wichtigsten Eigenschaften geopfert werden kann, um die dritte Eigenschaft auf ein für das Anwendungsgebiet praktikables Niveau zu steigern. Die Eigenschaften des CAP-Theorem finden sich in dieser Arbeit unter anderem in dem Klassifikationsrahmen für Cloud Services wieder.

2.4.3 ACID

Die vier Eigenschaften Atomarität(A), Konsistenzerhaltung(C), Isolation(I) und Dauerhaftigkeit(D) werden zusammen als ACID bezeichnet. Das englische Consistency(C) wird im Deutschen mit Konsistenzerhaltung(K) oder einfach nur Konsistenz(K) übersetzt. Darum findet man in deutschsprachiger Literatur teilweise statt ACID den Begriff AKID. Bei ACID handelt es sich um Eigenschaften, die von vielen Datenbanksystemen und verteilten Systemen angestrebt werden.

Atomarität bezeichnet die Eigenschaft, wenn Aktionen entweder komplett oder gar nicht ausgeführt werden. Wenn eine Aktion nicht vollständig ausgeführt werden kann, wird ein Rollback ausgeführt. Bei einem Rollback wird der Zustand vor der Aktion wieder hergestellt.

Mit Konsistenz ist in diesem Kontext eine innere Konsistenz gemeint. Die innere Konsistenz umfasst sowohl den Inhalt der Daten als auch die Beziehung der Daten zueinander. Nach dem Durchführen einer Aktion müssen die Daten wieder in konsistenter Form vorliegen.

Isolation beschreibt die Eigenschaft, dass Aktionen einzeln ausgeführt werden. Viele Datenbanksysteme arbeiten mit Schreibphasen, in denen die Daten verändert werden können und mit Lesephasen, wo nur ein ein Lesen der Daten möglich ist. Wenn von mehreren Benutzern Schreibaktionen gleichzeitig abgearbeitet werden, wird jede einzelne Aktion wie in einem simulierten Einbenutzerbetrieb abgearbeitet.

Die Eigenschaft Dauerhaftigkeit besagt, dass Daten nach dem Ausführen einer Aktion dauerhaft gespeichert bleiben. Daran darf auch eine Löschung des Hauptspeichers oder ein kompletter Absturz des Datenbanksystems nichts ändern. Viele Datenbanken realisieren die Dauerhaftigkeit unter anderem durch einen Transaktionslog. Die ACID Eigenschaften finden sich in dieser Arbeit unter

anderem in dem Klassifikationsrahmen für Cloud Services wieder.

2.4.4 BASE

Base steht für die Eigenschaften **B**asically **A**vailable, **S**oft State, **E**ventual Consistency. Die BASE Eigenschaften können auf Datenbanksysteme oder verteilte Systeme angewendet werden. Viele Anwendungen benötigen die strikten ACID-Eigenschaften nicht. Forumsbeiträge oder Facebook-Post können ruhig für kurze Zeitspannen inkonsistent sein. Im Gegensatz zu ACID muss bei BASE Konsistenz nicht nach Abschluss jeder Aktion gewährleistet sein. Bei Base wird Konsistenz vielmehr als Übergangsprozess betrachtet. Nur wenn es keine weiteren Aktualisierungen der Daten mehr gibt, bekommen ab einem zukünftigen Zeitpunkt alle das gleiche angezeigt. Der für diese Art der Konsistenz verwendete Begriff ist Eventual Consistency[43]. Bei BASE wird der Verfügbarkeit ein höherer Stellenwert eingeräumt als der Konsistenz. Basically Available steht nicht für eine perfekte aber für eine sehr hohe Verfügbarkeit. BASE setzt somit stärker auf Verfügbarkeit als ACID. Ebenfalls anders als bei ACID bleiben die Daten bei BASE nicht dauerhaft gespeichert[17]. Soft State bezeichnet, dass die Gültigkeit von Daten ablaufen kann und diese Daten aus der Datenbank entfernt werden. Um zu verhindern, dass relevante Daten verloren gehen, ist die richtige Datenbankpflege bei Soft State Systemen wichtig. Die BASE-Eigenschaften finden sich in dieser Arbeit unter anderem in dem Klassifikationsrahmen für Cloud Services wieder.

2.5 Pareto-Optimierung

In dieser Arbeit wird gezeigt wie der optimale Cloud Anbieter ermittelt werden kann. Dazu wird die Pareto-Optimierung eingesetzt. Die Pareto-Optimierung wird auch mehrkriterielle Optimierung genannt. Ziel der Pareto-Optimierung ist das Lösen von Optimierungsproblemen mit mehreren Kriterien. Das Pareto-Optimum ist erreicht, wenn kein Kriterium verbessert werden kann, ohne das sich ein anderes Kriterium verschlechtert. Abhängig von dem Optimierungsproblem gibt es unterschiedlich viele pareto-optimale Punkte. Die Summe aller optimalen

Punkte wird Pareto-Menge, Pareto-Front oder auch Skyline genannt. Zweidimensionale Optimierungsprobleme, also solche mit nur zwei Kriterien, lassen sich gut grafisch darstellen (Abbildung 2.4). Bei dreidimensionalen Optimierungsproblemen ist eine grafische Darstellung auch noch möglich. Ab vier Dimensionen können andere Darstellungsformen wie etwa ein Netzdiagramm zur Veranschaulichung eingesetzt werden. Eine tabellarische Darstellung ist aber bei vier- und mehrdimensionalen Optimierungsproblemen am üblichsten.

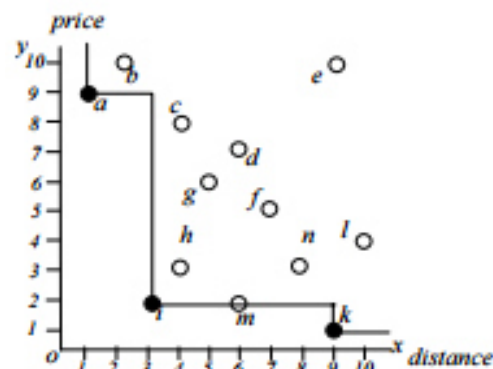


Abbildung 2.4 – Beispiel einer Pareto-Front (auch Skyline genannt) [47]

Die Nearest-Neighbor-Heuristik gilt bei der Ermittlung der Pareto-Front als besonders effizient[47]. Diese Heuristik basiert auf dem Teile und Herrsche Prinzip und setzt R-Bäume ein.

Besonders bei vielen Dimensionen gibt es oft sehr viele pareto-optimale Punkte. Bereits bei fünf bis zehn Dimensionen liegen oft 30% aller Datenpunkte auf der Pareto-Front[38]. Aus der Summe der pareto-optimalen Punkte die relevanten herauszufiltern stellt eine weitere Herausforderung dar. Lofi und Balke beschreiben in dem Paper „Preference Trade-Offs – Towards manageable Skylines“, wie die meist große Anzahl Punkte einer Skyline verkleinert werden kann[48]. Bei diesem Ansatz wird berücksichtigt, wie stark der Trade-off ist. Wenn beispielsweise ein Punkt existiert, bei dem eine minimale Verbesserung von einem Kriterium eine gleichzeitige riesige Verschlechterung eines anderen Kriterium mit sich bringt, wird dieser bei einer nach Lofi und Balke modifizierten

Skyline nicht berücksichtigt, auch wenn dieser Punkt pareto-optimal ist. Bei dieser Methode wird ein Regelsatz festgelegt, in welchem Verhältnis sich ein bestimmtes Kriterium verbessern muss, um die Verschlechterung eines anderen Kriteriums zu rechtfertigen. Wenn ein Kriterium nur leicht verbessert werden kann und sich dabei ein anderes Kriterium deutlich verschlechtert, gehört ein solches Datenset nach Lofi und Balke nicht zur Menge der relevanten Optima. Die Gefahr, die bei dieser Methode besteht, ist, dass auch Datenpunkte weg gefiltert werden, die in seltenen Situationen mit besonderen Rahmenbedingungen die beste Möglichkeit dargestellt hätten.

Selbst wenn die Anzahl der Punkte auf der Skyline verringert wurde, gibt es im Normalfall immer noch eine ganze Reihe von verbleibenden Punkten. Eine gängige Methode, um aus diesen Punkten einen auszuwählen ist die, eine Gewichtung der einzelnen Kriterien durchzuführen. Diese Gewichtung ist abhängig von den Präferenzen und Rahmenbedingungen. Ein Beispiel, wie eine solche Gewichtung aussehen kann, befindet sich im Abschnitt 4.6 „Auswahl des optimalen Anbieters“ dieser Arbeit.

3 Klassifikationsrahmen für Cloud Services

3.1 Kapitelübersicht

In diesem Kapitel geht es um eine Übersicht der verschiedenen Kriterien, die beim Cloud Computing eine Rolle spielen. Die Kriterien werden sechs unterschiedlichen Zieldimensionen zugeordnet. Bei diesen sechs Dimensionen handelt es sich um Flexibilität, Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz", "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit". Zusätzlich zu den abstrakten Kriterien werden in diesem Kapitel Evaluationskriterien vorgestellt. Mithilfe der Evaluationskriterien lässt sich überprüfen inwieweit die abstrakten Kriterien erfüllt sind.

3.2 Aufbau des Klassifikationsrahmens

In der Literatur findet man unterschiedliche Ansätze wie die relevanten Kriterien für Cloud Computing eingeteilt werden können. Es gibt unter anderen Einteilungen mit drei, sechs, sieben oder elf verschiedenen Kategorien. In diesem Kapitel wird eine Einteilung mit sechs unterschiedlichen Kategorien verwendet. Diese Art der Einteilung wurde auf einem Vortrag der 41. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik vorgestellt[18]. In dieser Arbeit wurde der Ansatz modifiziert und basierend auf einer ausführlichen Literaturanalyse mit zahlreichen weiteren Kriterien gefüllt [19][20][21][22][23][24][25][26][27][28][29][30][31][37].

#	Autoren	Titel der Publikation
[19]	Repschläger	Entscheidungsfindung im Cloud Computing – Konzeption und Analyse eines Modells zur Anbietersauswahl
[20]	Dempsey	Vendor selection and the buying process
[21]	Dickson	An analysis of vendor selection

		systems and decisions
[22]	Cloud Computing Use Case Discussion Group	Cloud Computing Use Cases: A white paper Version 4.0
[23]	Wagner, Ettenson und Parrish	Vendor selection among retail buyers: an analysis by merchandise division
[24]	Cheraghi, Dadashzadeh und Subramanian	Critical Success Factors For Supplier Selection: An Update.
[25]	Martens, Teuteberg und Gräuler	Design and implementation of a community platform for the evaluation and selection of cloud computing services: a market analysis
[26]	Waikar, Huynh, Cope und Tate	Evaluating key factors in supplier selection for micro-businesses: implications for buyer satisfaction
[27]	Doubrava und Münch	Cloud-Computing-SLAs
[28]	Garg, Versteeg und Buyya	A framework for ranking of cloud computing services
[29]	Repschläger und Zarnekow	Umfrage zur Anbietersauswahl & Markttransparenz im Cloud Computing
[30]	Chang, Yen und Chang	An analysis of IT/IS outsourcing provider selection for small- and medium-sized enterprises in Taiwan.
[31]	Koehler et al.	Customer Heterogeneity and Tariff Biases in Cloud Computing
[37]	Repschläger	Cloud Computing Framework zur Anbietersauswahl Version 1.1

Tabelle 3.1 – Übersicht der verwendeten Publikationen
für den Klassifikationsrahmen

Bei den sechs Zieldimensionen handelt es sich um Flexibilität, Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz", "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit". Jeder Zieldimension werden mehrere abstrakte Top Level Anforderungen zugeordnet. Jeder Top Level Anforderung wiederum werden mehrere Bewertungskriterien zugeordnet. Auf einer vierten Stufe könnte bestimmt werden, welche Dienste und welche Servicemodelle (Software-as-a-Service, Platform-as-a-Service, Infrastructure-as-a-Service) für die einzelnen Bewertungskriterien relevant sind. Auch könnten auf der 4. Stufe den Bewertungskriterien weitere Unterkriterien zugeordnet werden. Beispielsweise könnten dem Bewertungskriterium Interface die Unterkriterien intuitive Bedienbarkeit, leichte Zugänglichkeit aller Funktionen und Übersichtlichkeit zugeordnet werden.

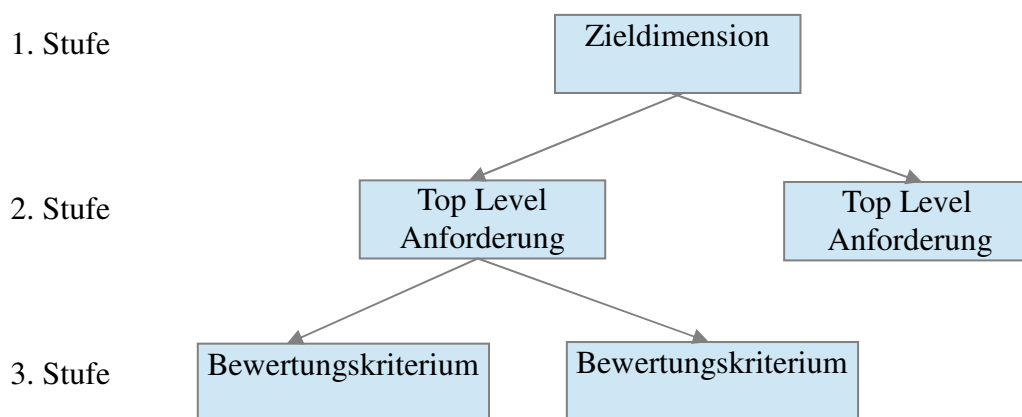


Abbildung 3.1 - Aufbau des Klassifikationsrahmens frei nach Repschläger [37]

Um die abstrakten Kriterien zu messen, werden konkrete Evaluationskriterien benötigt. Teilweise handelt es sich bei diesen Evaluationskriterien um quantitative Faktoren, die sich direkt in einer messbaren Kennzahl ausdrücken lassen. In vielen Fällen handelt es sich jedoch um qualitative Faktoren. Um dann eine konkrete Kennzahl zu gewinnen, ist es notwendig das Kriterium zu bewerten. Diese Bewertung kann beispielsweise mithilfe der Nutzwertanalyse erfolgen [32]. Das Ziel der Nutzwertanalyse ist eine möglichst objektive Gewinnung einer

Kennzahl. Es fließen jedoch auch immer subjektive Faktoren mit ein, die zu einer Verfälschung der Kennzahl führen können[33]. Der stichpunktartige Klassifikationsrahmen gibt für jedes Evaluationskriterium an, ob sich dieses Kriterium in Form von Geld, Zeit, einer anderen Einzelkennzahl oder mithilfe einer Nutzwertanalyse messen lässt. Hierbei wird nur die empfohlene Variante angegeben. In vielen Fällen sind auch andere Varianten möglich. Zum Beispiel bei den Zahlungsmöglichkeiten ist angegeben, dass sich diese mithilfe einer Nutzwertanalyse messen lassen. Für jede Zahlungsmöglichkeit wird festgelegt, wie wichtig diese ist und ob und inwieweit der entsprechende Cloud Service diese Zahlungsmöglichkeit unterstützt. Anschließend wird daraus eine Kennzahl gebildet. Die Nutzwertanalyse wird später in diesem Kapitel noch genauer erklärt. Alternativ zur Nutzwertanalyse kann auch einfach nur die Anzahl der Zahlungsmöglichkeiten gezählt werden. Ob es sich dabei um gängige Zahlungsmöglichkeiten handelt wird dann nicht ermittelt. Das Ergebnis wäre eine vergleichbar einfach zu gewinnende Einzelkennzahl, die im Vergleich zur Nutzwertanalyse jedoch nur eine geringe Aussagekraft bietet.

3.3 Klassifikationsrahmen (Zieldimensionen und Top Level Anforderungen)

Im Folgenden findet sich eine stichpunktartige Übersicht des Klassifikationsrahmens für Cloud Services mit den Zieldimensionen und Top Level Anforderungen. Anschließend wird jede der sechs Zieldimensionen mit den einzelnen Kriterien detailliert vorgestellt.

Flexibilität

- Interoperabilität & Portabilität
- Automatisierungsgrad
- Service-Dynamik
- Skalierbarkeit

Kosten

- Preismodell
- Kostenfaktoren
- Zahlungsweise

Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang

- Technologie
- Dienstmerkmale
- Service-Optimierung
- Hardware
- Performanz

IT-Sicherheit & Datenschutz

- Rechenzentrums-Sicherheit
- Datenschutz & Compliance
- Netzwerk-Sicherheit

Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit

- Zuverlässigkeit (Reliability)
- Vertrauenswürdigkeit (Confidentiality)
- Leistungsversprechen

Wartbarkeit & Bedienbarkeit

- Provider Management
- Service Management
- Transaktionsmanagement
- Webportal

Tabelle 3.2 - Klassifikationsrahmen (Zieldimensionen und Top Level Anforderungen)

3.4 Flexibilität

Bei der ersten Zieldimension handelt es sich um Flexibilität. Dazu gehören die Unterkategorien Interoperabilität & Portabilität, Automatisierungsgrad, Service-Dynamik und Skalierbarkeit. Kriterien, die in den Bereich Interoperabilität & Portabilität fallen sind Standardisierung, Daten-Portabilität, Netzwerkkonfiguration und Vorlaufzeit. Zum Automatisierungsgrad lassen sich die Kriterien Changes / Updates, Ressourcen-Skalierung und Systemmanagement zuordnen. Der Bereich Service-Dynamik umfasst die Bereitstellungszeit, Instanzindividualisierung, Einrichtungsdauer und die Vertragslaufzeit. Außerdem gehört zur Flexibilität auch die Skalierbarkeit. Zur Skalierbarkeit gehören die Kriterien Elastizität, Lastverteilung(Load Balancing), Linearität und Agilität.

Ein Evaluationskriterium, um die Interoperabilität zu messen, wäre die Benutzeroberfläche (Interface). Da es sich bei der Benutzeroberfläche jedoch um einen qualitativen Faktor handelt, ist eine Bewertung notwendig um eine konkrete Kennzahl zu gewinnen. Am Beispiel des Interface werde ich im Folgenden zeigen, wie mithilfe der Nutzwertanalyse für qualitative Faktoren konkrete Kennzahlen gewonnen werden können. Zuerst einmal müssen Kriterien ausgearbeitet werden, welche über die Güte einer Benutzeroberfläche entscheiden. Dies könnten intuitive Bedienbarkeit, leichte Zugänglichkeit aller Funktionen und Übersichtlichkeit sein. Als nächstes findet eine Gewichtung der Kriterien statt. Falls eine leichte Bedienbarkeit als besonders wichtig eingestuft wird, könnte dafür der Gewichtungsfaktor fünf angewendet werden, für die leichte Zugänglichkeit aller Funktionen der Gewichtungsfaktor drei und für eine gute Übersicht der Gewichtungsfaktor zwei. Durch das subjektiv beeinflusste Festlegen der Gewichtungsfaktoren zeigt sich, dass die Nutzwertanalyse keine 100% objektiven Kennzahlen liefern kann. Eine subjektive Beeinflussung ist bei qualitativen Faktoren jedoch immer gegeben. Durch die Nutzwertanalyse wird sichergestellt, dass diese subjektive Beeinflussung nicht unnötig groß ausfällt[32]. Nachdem die Kriterien und der Gewichtungsfaktor für jedes einzelne Kriterium festgelegt wurden, können die einzelnen Alternativen bewertet werden. Üblich ist

eine Bewertung auf einer Skala von 1 bis 10. Zur Verdeutlichung eine Tabelle, in der drei verschiedene Benutzeroberflächen miteinander verglichen werden. Für jede bewertete Benutzeroberfläche wird eine konkrete Kennzahl gewonnen. Die beste Kennzahl hat in diesem Beispiel Interface A mit 57 Punkten. Am schlechtesten hat Interface C mit 48 Punkten abgeschnitten.

	Gewichtungsfaktor	Interface A		Interface B		Interface C	
		Erfüllungsgrad	Ergebnis	Erfüllungsgrad	Ergebnis	Erfüllungsgrad	Ergebnis
Intuitive Bedienbarkeit	5	7	35	8	40	5	25
Leichte Zugänglichkeit aller Funktionen	3	2	6	3	9	5	15
Übersichtlichkeit	2	8	16	3	6	4	8
<u>Summe</u>			<u>57</u>		<u>55</u>		<u>48</u>

Tabelle 3.3 – Beispiel einer einfachen Nutzwertanalyse für Benutzeroberflächen

Weitere Evaluationskriterien, um die Interoperabilität zu messen, sind Grad der internen Integration (internal integration degree), Kompatibilität, Transparenz und Dokumentation. Die Portabilität lässt sich am besten anhand der Datenportabilität (portability of data) und der Serviceportabilität (service portability) messen. Konkrete Service-Dynamik Kriterien sind die Vorbereitungszeit(set-up time), Bereitstellungszeit (provisioning time) und Vertragsflexibilität. Um den Automatisierungsgrad zu messen, können als Bewertungskriterien Vertragsverlängerung, voreingestellte Nutzungslimits (set up usage limits) und automatische Ressourcenbuchung verwendet werden.

Flexibilität

- Interoperabilität & Portabilität
 - Schnittstellen-Standardisierung (Nutzwertanalyse)
 - Daten-Portabilität (Nutzwertanalyse)
 - Dienst-Portabilität (Nutzwertanalyse)
 - Transparenz (Nutzwertanalyse)
 - Dokumentation (Nutzwertanalyse)
 - Netzwerkkonfiguration (Nutzwertanalyse)
 - Grad der internen Integration (Nutzwertanalyse)
 - Kompatibilität (Nutzwertanalyse)
 - Vorlaufzeit (Zeit)
- Automatisierungsgrad
 - Changes / Updates (Nutzwertanalyse)
 - Vertragsverlängerung (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcen-Skalierung und Buchung (Nutzwertanalyse)
 - Nutzungsgrenzen (Einzelkennzahl)
 - Systemmanagement (Nutzwertanalyse)
- Service-Dynamik
 - Bereitstellungszeit (Zeit)
 - Instanzindividualisierung (Nutzwertanalyse)
 - Einrichtungsdauer (Zeit)
 - Vertragslaufzeit (Zeit)
 - Vertragsflexibilität (Nutzwertanalyse)
- Skalierbarkeit
 - Elastizität (Elasticity) (Einzelkennzahl)
 - Lastverteilung (Load-Balancing) (Nutzwertanalyse)
 - Linearität(Linearity) (Einzelkennzahl)
 - Agilität (Agility) (Einzelkennzahl)

Tabelle 3.4 – Flexibilität

3.5 Kosten

Die zweite Dimension sind Kosten. Unterteilen lässt sich diese Zieldimension in Preismodell, Kostenfaktoren und Zahlungsweise. Kriterien, die zum Preismodell gehören, sind Preisklasse, Fixkosten, variable Kosten, Preisstabilität (Kostenentwicklung), Preisoptionen, Preistransparenz, Zahlungsmöglichkeiten und Zahlungsmittel. Kostenfaktoren sind Kosten der Integration, Folgekosten durch Lock-In Effekte, Kosten für Speicherplatz, Kosten für Berechnungen, Kosten für Datenübertragung, Personalaufwand, Wartungskosten (Maintenance), Fortbildungskosten, Infrastrukturkosten, Opportunitätskosten und Vorlaufzeit. Zur Unterkategorie Zahlungsweise lassen sich die Kriterien Verrechnungsart, Zahlungsmöglichkeiten, Zahlungsmittel, Zahlungszeitpunkt.

Evaluationskriterien zur Messung des Preismodells sind Preistransparenz, Abrechnungsgenauigkeit (price granularity) und Preiselastizität (price resilience). Die Messung der Kostenfaktoren lässt sich einteilen in volumenbasierte Kosten (volume based costs), accountbasierte Kosten (account based costs), zeitbasierte Kosten (time based costs) und Buchungskonzepte (booking concept). Evaluationskriterien der Leistungsverrechnung sind Zahlungszeitpunkt und Zahlungsmethode.

Kosten

- Preismodell
 - Fixkosten (Geld)
 - variable Kosten (Geld)
 - Kostenentwicklung (Geld)
 - Preisoptionen (Nutzwertanalyse)
 - Preistransparenz (Nutzwertanalyse)
 - Preis-Granularität (Nutzwertanalyse)
- Kostenfaktoren
 - Kosten der Integration (Geld)
 - Folgekosten durch Lock-In Effekte (Geld)
 - Kosten für Speicherplatz (Geld)
 - Kosten für Berechnungen (Geld)
 - Kosten für Datenübertragung (Geld)
 - Personalaufwand (Geld)
 - Wartungskosten (Geld)
 - Fortbildungskosten (Geld)
 - Infrastrukturkosten (Geld)
 - Opportunitätskosten (Geld)
- Zahlungsweise
 - Verrechnungsart (Nutzwertanalyse)
 - Zahlungsmöglichkeiten (Nutzwertanalyse)
 - Zahlungsmittel (Nutzwertanalyse)
 - Zahlungszeitpunkt (Zeit)

Tabelle 3.5 - Kosten

3.6 Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang

Bei der dritten Zieldimension handelt es sich um Leistungsfähigkeit und Leistungsumfang. Dazu gehören die Unterkategorien Technologie, Dienstmerkmale, Service-Optimierung Hardware und Performance. Technologiekriterien sind Lastverteilung(Load-Balancing), Mandantenfähigkeit (Multi-tenancy), Virtualisierung, Netzzugang, Partitionstoleranz (Partition tolerance), Atomarität (Abgeschlossenheit), Isolation, Persistenz (Durability) und Konsistenzerhaltung. Zur Unterkategorie Dienstmerkmale gehören Funktionale Abdeckung , Benutzerfreundlichkeit , Individualisierbarkeit , Dienst- und Funktionspakete , Serviceorientierung , Betriebssystem , Instanztyp, Stagedienst und Add-On Services. Dauer von Wartungszyklen, Dauer von und Servicezyklen, Grad der Kundenintegration und Innovation der Cloud Technologie sind Kriterien der Unterkategorie Service-Optimierung. Zur Unterkategorie Hardware gehören Servertyp, Prozessortyp, Hardwarefeatures und Netzzugang. In den Bereich Performance gehören die Kriterien Bearbeitungszeit, Instanz-Kapazität, Antwortzeit (Verbindungsgeschwindigkeit) und Bandbreite der Datenübertragung.

Evaluationskriterien zur Messung von Servicemerkmalen sind funktionale Abdeckung (functional coverage), Benutzerfreundlichkeit (usability), Serviceorientierung (service orientation), Leistungsbündel (service bundles), Anpassbarkeit (customizability), Betriebssystem (operating platform) und Add-On Services. Der Bereich Service-Optimierung lässt sich anhand der Dauer von Wartungs- und Servicezyklen, der Innovation der Cloud Technologie sowie dem Grad der Kundenintegration messen. Evaluationskriterien zur Messung der Hardware sind Servertyp, Prozessortyp, Hardwarefeatures und Netzzugang. Um den Bereich Performance zu messen bietet sich die Rechenleistung und Rechengenauigkeit (computing quality), die Verbindungsqualität und die Instanz-Kapazität an.

Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang

- Technologie
 - Lastverteilung (Load-Balancing) (Nutzwertanalyse)
 - Mandantenfähigkeit (Multi-tenancy) (Nutzwertanalyse)
 - Virtualisierung (Nutzwertanalyse)
 - Partitionstoleranz (Partition tolerance) (Nutzwertanalyse)
 - Atomarität (Abgeschlossenheit) (Einzelkennzahl)
 - Isolation (Nutzwertanalyse) (Nutzwertanalyse)
 - Persistenz (Durability) (Nutzwertanalyse)
 - Konsistenzerhaltung (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcen-Sharing (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcen-Identifikation (Nutzwertanalyse)
- Dienstmerkmale
 - Funktionale Abdeckung (Nutzwertanalyse)
 - Benutzerfreundlichkeit (Nutzwertanalyse)
 - Individualisierbarkeit (Nutzwertanalyse)
 - Dienst- und Funktionspakete (Nutzwertanalyse)
 - Serviceorientierung (Nutzwertanalyse)
 - Betriebssystem (Nutzwertanalyse)
 - Instanztyp (Nutzwertanalyse)
 - Storagedienst (Nutzwertanalyse)
 - Add-On Services (Nutzwertanalyse)
- Service-Optimierung
 - Dauer von Wartungszyklen (Zeit)
 - Dauer von und Servicezyklen (Zeit)
 - Innovation der Cloud Technologie (Nutzwertanalyse)
 - Grad der Kundenintegration (Nutzwertanalyse)

- Hardware
 - Servertyp (Nutzwertanalyse)
 - Prozessortyp (Nutzwertanalyse)
 - Hardwarefeatures (Nutzwertanalyse)
 - Netzwerkzugang (Nutzwertanalyse)
- Performance
 - Antwortzeit (Zeit)
 - Bearbeitungszeit (Zeit)
 - Rechenleistung (Einzelkennzahl)
 - Rechengenauigkeit (Nutzwertanalyse)
 - Instanz-Kapazität (Einzelkennzahl)
 - Bandbreite der Datenübertragung (Einzelkennzahl)
 - Verbindungsqualität (Nutzwertanalyse)

Tabelle 3.6 - Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang

3.7 IT-Sicherheit & Datenschutz

Bei der vierten Dimension handelt es sich um IT-Sicherheit und Datenschutz. Dazu gehören die Unterkategorien Rechenzentrums-Sicherheit, Datenschutz und Compliance und Netzwerk-Sicherheit. Zur Rechenzentrums-Sicherheit gehören die Kriterien, Endpoint Security, Hardware-Sicherheit, Software-Sicherheit, Speichersicherheit und Datenverschlüsselung. Die Punkte Datensicherheit und Rechenzentrumstandort lassen sich dem Bereich Datenschutz und Compliance zuordnen. Zur Netzwerk-Sicherheit gehören die Übertragungssicherheit, Verbindungsmöglichkeiten und Verschlüsselung.

Die Datenzentrumssicherheit lässt sich aufteilen in Gebäudesicherheit Innen und Gebäudesicherheit Außen. Evaluationskriterien zur Messung der Netzwerksicherheit sind Verbindungsmöglichkeiten und Kommunikationssicherheit. Der Bereich Compliance kann mithilfe des Datenzentrumsstandortes, der Datensicherung und des Datenschutzes (data

protection) gemessen werden.

IT-Sicherheit & Datenschutz

- Rechenzentrums-Sicherheit
 - Gebäudesicherheit Außen (Nutzwertanalyse)
 - Gebäudesicherheit Innen (Nutzwertanalyse)
 - Endpoint Security (Nutzwertanalyse)
 - Software-Sicherheit (Nutzwertanalyse)
 - Speichersicherheit (Nutzwertanalyse)
 - Datenverschlüsselung (Nutzwertanalyse)
- Datenschutz & Compliance
 - Datenschutz (Nutzwertanalyse)
 - Rechenzentrumstandort (Nutzwertanalyse)
 - Transparenz des Datenstandorts (Nutzwertanalyse)
 - Datenlöschung (Nutzwertanalyse)
- Netzwerk-Sicherheit
 - Übertragungssicherheit (Nutzwertanalyse)
 - Verbindungsmöglichkeiten (Nutzwertanalyse)
 - Verschlüsselung (Nutzwertanalyse)

Tabelle 3.7 - IT-Sicherheit & Datenschutz

3.8 Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit

Die fünfte Zieldimension sind Vertrauenswürdigkeit und Ausfallsicherheit. Unterteilen lässt sich diese Zieldimension in Zuverlässigkeit (Reliability), Vertrauenswürdigkeit (Confidentiality) und Leistungsversprechen. Zur Unterkategorie Zuverlässigkeit gehören die Kriterien Notfallmanagement, Rechenzentren Redundanz und Netzwerk Redundanz. Zur Vertrauenswürdigkeit lassen sich Anbieter-Reporting, Leistungstransparenz, Auditing (Auditability) und Reputation zuordnen. Die Unterkategorie Leistungsversprechen besteht aus den Kriterien Verfügbarkeit, Konsistenz, Haftungs- und Sanktionsregelung.

Evaluationskriterien zur Messung von Zuverlässigkeit sind Netzwerk Redundanz, Datencenter Redundanz, Katastrophenmanagement und Datenwiederherstellung (disaster recovery management). Um Vertrauenswürdigkeit messbar zu machen, kann das Cloud Provider Profile, Reporting und Auditing verwendet werden. Leistungsversprechen lassen sich anhand der Verfügbarkeit, Haftung (liability) und der Ressourcengarantie (resource guarantee) messen.

Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit

- Zuverlässigkeit (Reliability)
 - Katastrophenmanagement (Nutzwertanalyse)
 - Rechenzentren Redundanz (Nutzwertanalyse)
 - Netzwerk Redundanz (Nutzwertanalyse)
 - Datenwiederherstellung (Nutzwertanalyse)
- Vertrauenswürdigkeit (Confidentiality)
 - Anbieter-Reporting (Nutzwertanalyse)
 - Cloud Provider Profile (Nutzwertanalyse)
 - Leistungstransparenz (Nutzwertanalyse)
 - Auditing (Nutzwertanalyse)
 - Reputation (Nutzwertanalyse)
 - Zertifizierungen (Nutzwertanalyse)
- Leistungsversprechen
 - Qualitätsversprechen (Nutzwertanalyse)
 - Verfügbarkeit (Nutzwertanalyse)
 - Konsistenz (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcengarantie (Nutzwertanalyse)
 - Haftungs- und Sanktionsregelung (Nutzwertanalyse)

Tabelle 3.8 - Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit

3.9 Wartbarkeit & Bedienbarkeit

Bei der sechsten und letzten Dimension handelt es sich um Wartbarkeit und Bedienbarkeit. Dazu gehören die Unterkategorien Provider Management, Service Management, Transaktionsmanagement und Webportal. Die Unterkategorie Provider Management umfasst die Kriterien Support, Kontakt- und Beratungsmöglichkeit und Internationalität. Dem Bereich Service-Betrieb lassen sich die Punkte Systemmanagement, Steuerungsfunktionen, Reporting, Monitoring und benötigte Fähigkeiten zuordnen. Der Unterbereich Transaktionsmanagement umfasst Beratung, Integration, Schulung und Migrationskennzahlen. Bedienbarkeit und Individualisierungsgrad gehören zur Unterkategorie Webportal.

Evaluationskriterien, um das Provider Management zu messen sind Support, Kontakt und Internationalität. Das Service Management lässt sich mittels der Kriterien Monitoring und Bedienung überprüfen. Zur Evaluation des Transaktionsmanagement eignen sich Consulting und Migrationskennzahlen.

Wartbarkeit & Bedienbarkeit

- Provider Management
 - Support (Nutzwertanalyse)
 - Kontakt (Nutzwertanalyse)
 - Internationalität (Nutzwertanalyse)
- Service Management
 - Systemmanagement (Nutzwertanalyse)
 - Steuerungsfunktionen (Nutzwertanalyse)
 - Monitoring und Reporting (Nutzwertanalyse)
 - Benötigte Fähigkeiten (Nutzwertanalyse)
- Transaktionsmanagement
 - Beratung (Nutzwertanalyse)
 - Integration (Nutzwertanalyse)
 - Schulung (Nutzwertanalyse)
 - Migrationskennzahlen (Nutzwertanalyse)
- Webportal
 - Bedienbarkeit (Nutzwertanalyse)
 - Individualisierungsgrad (Nutzwertanalyse)

Tabelle 3.9 - Wartbarkeit & Bedienbarkeit

4 Zusammenhänge der Dimensionen

4.1 Kapitelübersicht

Als nächstes werden in dieser Arbeit die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Zieldimensionen betrachtet. Dafür wird eine empirische Methode verwendet. Wie die Zusammenhänge untersucht werden können, zeigt dieses Kapitel exemplarisch anhand von Cloud Speicherdiensten. Die beschriebene Vorgehensweise lässt sich aber auch auf andere Cloud Dienstleistungen übertragen. Als Grundlage für die Untersuchung in diesem Kapitel dienen Tests von Cloud Speicherdiensten. In diesem Kapitel werden diese Testergebnisse aufbereitet, ausgewertet und interpretiert. Auf diese Weise können Informationen über die Zusammenhänge der Zieldimensionen zueinander gewonnen werden. Die gewonnenen Informationen gelten für Cloud Speicherdienste. Inwieweit sich die Ergebnisse auf andere Cloud Dienstleistungen übertragen lassen ist separat zu untersuchen. Die vorgestellte Herangehensweise lässt sich aber auf andere Cloud Dienstleistungen übertragen. Anschliessend wird in diesem Kapitel am Beispiel der Cloud Speicherdienste die Pareto-Front ermittelt. Am Ende dieses Kapitels wird das Einzelkriterium im Kontext zum CAP-Theorem betrachtet.

4.2 Verwendete Daten und Datenaufbereitung

Für die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Zieldimensionen werden 29 Cloud Speicherdienste miteinander verglichen. Als Datenmaterial dienen die Tests von Vetalio, einer großen Bewertungsseite für Onlinedienste[36]. Die Bewertungen erfolgten dabei nach einem fest definierten Testschema. Hauptverantwortlicher für die Durchführung dieser Tests war Martin Blöchinger. Insgesamt erfolgt eine Bewertung für jeden Cloud Dienst in sechs verschiedenen Bereichen. Hinzuweisen ist darauf, dass die verwendeten Tests, die als Grundlage für die Auswertung dienen, aus der Wirtschaft kommen. Dass die Daten nach wissenschaftlichen Grundsätzen erhoben werden, ist daher nicht absolut sicher. Dadurch könnte die Aussagekraft dieser Auswertung verringert werden. Die Entscheidung, auf Daten aus der Wirtschaft zurückzugreifen, wurde

getroffen, da zu dem Zeitpunkt dieser Arbeit keine vergleichbaren umfassenden Daten in ausreichender Menge aus wissenschaftlichen Quellen öffentlich zugänglich waren. Die Schaffung solcher Grundlagendaten in umfassender Form nach rein wissenschaftlichen Gesichtspunkten stellt eine Aufgabe für weitere wissenschaftliche Arbeiten da. Sollten solche Daten geschaffen werden, kann die in diesem Kapitel beschriebene Vorgehensweise zur Analyse der Daten direkt übernommen werden. Im weiteren Verlauf folgt die exemplarische Analyse der Zusammenhänge der Zieldimensionen von Cloud Speicherdiensten auf Basis von Datenmaterial aus der Wirtschaft.

Um die Tests als Datenmaterial verwenden zu können, wurde als erstes eine Aufbereitung der Daten vorgenommen. Um redundante Datensätze zu verhindern, wurde jeder Anbieter nur einmal berücksichtigt. Deshalb wurde von jedem Anbieter nur das Cloud Angebot mit der besten Durchschnittsnote berücksichtigt. Alle weiteren Cloud Dienste dieses Anbieters wurden für diese Auswertung aus dem Datenmaterial entfernt. Im Folgenden die Tabelle der Rohdaten aller 38 Datensätze vor der Bereinigung:

Anbieter	Vertrag/Kosten	Bedienung	Zugriff	Daten teilen	Sicherheit	Service
Telekom	100	85	95	80	85	88
TrendMicro	97	90	93	77	92	78
Livedrive	100	94	95	83	89	62
SugarSync	97	92	93	87	74	70
Livedrive2	96	89	93	74	90	70
SugarSync2	97	97	93	82	68	75
Fabasoft	90	85	95	67	93	73
Dropbox	92	91	90	68	70	91
TrendMicro2	85	85	93	78	85	75
Microsoft OneDrive	82	92	91	93	75	65
Telekom2	92	79	81	70	84	88
DriveOnWeb	85	88	85	84	91	58
Strato	82	79	95	60	87	85
Dropbox2	96	100	86	69	74	63
Wuala	84	79	84	65	87	84
DriveOnWeb2	77	85	86	74	94	67
Strato2	85	76	92	56	82	83
Syncplicity	78	81	88	84	78	65
Jottacloud	83	87	73	76	85	65
Cubby	97	83	70	77	82	55
Google	86	92	88	86	70	40
Copy	98	95	80	77	74	30
Adrive	96	76	86	65	60	70
CloudMe	87	84	90	62	70	55
SpiderOak	98	70	86	53	78	60
BitCasa	100	65	88	58	68	65
JustCloud	60	100	91	68	70	55
Wuala2	71	79	76	70	91	53
OwnCube	86	65	76	82	73	57
Rapid Share	92	96	61	38	58	83
Mediafire	87	80	70	78	62	50
Ubuntu One	93	60	88	40	73	60
Apple iCloud	78	87	67	35	74	72
GMX	77	70	75	40	91	40
Amazon Cloud Drive	88	86	66	35	56	62
WEB.DE(GMX2)	73	70	75	40	91	40
MyDrive	78	72	50	32	72	65
Mega	93	96	33	24	27	50

Tabelle 4.1 – Rohdaten von Cloud-Speicherdiensten[36]

Von den 38 Datensätzen verblieben nach dieser Bereinigung 29 Datensätze. Bei den sechs Testkategorien handelt es sich um Vertrag/Kosten, Bedienung, Zugriff, Daten teilen, Sicherheit und Service. Der in dieser Arbeit verwendete Klassifikationsrahmen verwendete zwar ebenfalls sechs Hauptkategorien. Diese sind mit den sechs Testkategorien aber nicht identisch. Es ist also notwendig die Testkategorien den Dimensionen des Klassifikationsrahmens zuzuordnen. Die Testkategorie Vertrag/Kosten kann dabei der Zieldimension Kosten zugeordnet

werden. Die beiden Testkategorien Bedienung und Service entsprechen der Zieldimension "Wartbarkeit & Bedienbarkeit". Die beiden Testkategorien Zugriff und Daten teilen entspricht der Zieldimension "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang". Die Testkategorie Sicherheit entspricht der Zieldimension "IT-Sicherheit & Datenschutz". Wurden einer Zieldimension zwei Testkategorien zugeordnet wird das arithmetische Mittel der beiden Testkategorien verwendet. Da der verwendete Klassifikationsrahmen umfangreicher ist als die Testdaten, bleiben zwei Zieldimensionen bei dieser Untersuchung unberücksichtigt. Dabei handelt es sich um Flexibilität und "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit". Die vier verbleibenden Zieldimensionen können mithilfe des Datenmaterials auf ihren Zusammenhang zueinander untersucht werden. Im Anhang findet sich eine Tabelle des Ausgangsdatenmaterials. Anschliessend eine Übersicht der aufbereiteten Daten:

Anbieter	Kosten	Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang	IT-Sicherheit & Datenschutz	Wartbarkeit & Bedienbarkeit
Telekom	100	87,5	85	86,5
TrendMicro	97	85	92	84
Livedrive	100	89	89	78
SugarSync	97	90	74	81
Fabasoft	90	81	93	79
Dropbox	92	79	70	91
Microsoft OneDrive	82	92	75	78,5
DriveOnWeb	85	84,5	91	73
Strato	82	77,5	87	82
Wuala	84	74,5	87	81,5
Syncplicity	78	86	78	73
Jottacloud	83	74,5	85	76
Cubby	97	73,5	82	69
Google	86	87	70	66
Copy	98	78,5	74	62,5
Adrive	96	75,5	60	73
CloudMe	87	76	70	69,5
SpiderOak	98	69,5	78	65
BitCasa	100	73	68	65
JustCloud	60	79,5	70	77,5
OwnCube	86	79	73	61
Rapid Share	92	49,5	58	89,5
Mediafire	87	74	62	65
Ubuntu One	93	64	73	60
Apple iCloud	78	51	74	79,5
GMX	77	57,5	91	55
Amazon Cloud Drive	88	50,5	56	74
MyDrive	78	41	72	68,5
Mega	93	28,5	27	73

Tabelle 4.2 – Aufbereitete Testdaten von Cloud-Speicherdiensten

4.3 Auswertung der Daten

In diesem Abschnitt werden die Testdaten ausgewertet und die Ergebnisse vorgestellt. Dazu werden die Dimensionen mittels Korrelationsanalyse miteinander verglichen. „Die Korrelation ermittelt den Grad der Stärke der Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen“[34]. So kann festgestellt werden, wie stark die einzelnen Zieldimensionen voneinander abhängig sind. Die Korrelationsanalyse dient also dazu, einen Zusammenhang zwischen den einzelnen Zieldimensionen festzustellen. Da nicht alle Werte normalverteilt sind, wird zur Korrelationsanalyse die Methode von Spearman verwendet. Dabei wird

die Rangkorrelation nach Spearman mit der Korrektur nach Horn für Rangbindung mit folgender Formel ermittelt[7][46]:

$$r_s = \frac{2 * \frac{n^3-n}{12} - T_x - T_y - \sum_i d_i^2}{2\sqrt{\left(\frac{n^3-n}{12} - T_x\right) \left(\frac{n^3-n}{12} - T_y\right)}}$$

Mit $T_{\bullet} = \sum_k (t_{\bullet,k}^3 - t_{\bullet,k})/12$. Dabei ist $t_{\bullet,k}$ die Anzahl der Beobachtungen mit gleichem Rang: einmal für die X Variable und einmal für die Y Variable.

Außerdem wird die beidseitige Signifikanz berechnet. Die Signifikanz ist die Irrtumswahrscheinlichkeit, also wie wahrscheinlich es ist, dass der gemessene Zusammenhang nur eine zufällige Anhäufung war. Die folgende Tabelle zeigt die Korrelation und die beidseitige Signifikanz an.

Merkmal 1	Merkmal 2	Korrelation	Signifikanz
Kosten	"Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang"	0,1	0,6
Kosten	"IT-Sicherheit & Datenschutz"	-0,07	0,73
Kosten	"Wartbarkeit & Bedienbarkeit"	0,02	0,93
"Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang"	"IT-Sicherheit & Datenschutz"	0,43	0,02
"Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang"	"Wartbarkeit & Bedienbarkeit"	0,32	0,1
"IT-Sicherheit & Datenschutz"	"Wartbarkeit & Bedienbarkeit"	0,19	0,33

Tabelle 4.3 – Korrelation und Signifikanz

4.4 Interpretation

Die Beurteilung des Korrelationskoeffizienten hängt von mehreren Faktoren wie der Stichprobengröße und dem Einsatzgebiet ab. Folgende Tabelle gibt daher nur eine grobe Einschätzung, wie der Korrelationskoeffizienten zu interpretieren ist [35].

Korrelation	Interpretation
$r_s \leq 0,2$	kein oder sehr geringer Zusammenhang
$0,2 < r_s \leq 0,5$	mäßiger Zusammenhang
$0,5 < r_s \leq 0,8$	starker Zusammenhang
$r_s > 0,8$	beinahe perfekter Zusammenhang

Tabelle 4.4 – Interpretation der Korrelation[35]

Die Kosten weisen zu den anderen drei Zieldimensionen nur eine geringe Korrelation auf. Die höchste Korrelation weisen die Kosten zu "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" aus. Aber selbst hier beträgt die Korrelation nur 0,1. Dies ist kein oder höchstens ein sehr geringer Zusammenhang. Die Signifikanz von 0,6 zwischen diesen beiden Dimensionen besagt, dass der gemessene Zusammenhang mit einer Wahrscheinlichkeit von 60% nur eine zufällige Anhäufung war. Die Korrelationen zwischen Kosten und "IT-Sicherheit & Datenschutz" sowie die Korrelation zwischen Kosten und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" ist sogar noch geringer. Es lässt sich feststellen, dass zwischen den Kosten und den anderen getesteten Zieldimensionen kein oder höchstens ein sehr geringer Zusammenhang besteht. Die einzelnen Zieldimensionen setzen sich jedoch aus vielen Kriterien zusammen. Die einzelnen Kriterien haben daher nur einen kleinen Einfluss auf die gesamte Zieldimension. Dennoch ist es trotzdem möglich, dass zwischen einzelnen Kriterien der Kostendimension und einzelnen Kriterien anderer Dimensionen ein hoher Zusammenhang besteht. Der Betrachtung der Zusammenhänge einzelner ausgewählter Kriterien zueinander findet im nächsten Kapitel statt.

Im Gegensatz zu den Kosten konnte für alle anderen untersuchten

Zieldimensionen ein Zusammenhang zueinander festgestellt werden. Der stärkste Zusammenhang besteht zwischen "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" und "IT-Sicherheit & Datenschutz". Die Korrelation beträgt 0,43. Dies ist ein mäßiger, aber trotzdem klar erkennbarer Zusammenhang. Die Signifikanz beträgt 0,02. Die Wahrscheinlichkeit, dass es sich nur um eine zufällige Anhäufung handelt beträgt also lediglich 2%. Es gibt also sehr wahrscheinlich einen Zusammenhang zwischen diesen beiden Dimensionen. Auch zwischen "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" und der "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" konnte mit einer Korrelation von 0,32 ein mäßiger, aber immer noch relativ klar erkennbarer Zusammenhang festgestellt werden. Die Signifikanz beträgt 0,1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit handelt es sich also nicht um eine zufällige Anhäufung. Zwischen "IT-Sicherheit & Datenschutz" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" konnte immerhin eine Korrelation von 0,19 gemessen werden. Dies ist an der Grenze zwischen einem geringen und einem mäßigen Zusammenhang. Die Signifikanz beträgt 0,33. Dies bedeutet, die Wahrscheinlichkeit, dass es sich nur um eine zufällige Anhäufung handelt, ist mir rund einem Drittel relativ groß.

Die Kosten weisen zu den anderen drei untersuchten Zieldimensionen keinen Zusammenhang auf. Die anderen Zieldimensionen haben untereinander alle zumindest einen fast mäßigen Zusammenhang zueinander. Im Folgenden eine tabellarische Übersicht der untersuchten Zusammenhänge:

	Leistung	Sicherheit	Bedienbar
Kosten	K	K	K
Leistung		M	M
Sicherheit			K - M

Tabelle 4.5 – Zusammenhänge der Zieldimensionen

Legende:

K = Kein oder nur sehr kleiner Zusammenhang

M = Mittlerer Zusammenhang

G = Großer Zusammenhang

4.5. Pareto-Optimierung

Nachdem die Korrelation und Signifikanz untersucht wurde, wird als nächstes eine Pareto-Optimierung durchgeführt, um die Menge aller optimalen Cloud-Speicherdienste zu ermitteln. Als Basis für die Pareto-Optimierung dient Tabelle 4.2 - Aufbereitete Testdaten von Cloud Speicherdiensten. Ziel der Pareto-Optimierung ist die Pareto-Front zu ermitteln. Auf der Pareto-Front liegen alle optimalen Punkte. Bei diesen optimalen Punkten ist es nicht möglich einen Wert weiter zu verbessern ohne einen anderen Wert zu verschlechtern. Für das Fallbeispiel in dieser Arbeit stellt die Pareto-Front die Menge aller optimalen Cloud Speicherdienste dar. Ein Speicherdienst gehört dann zur optimalen Menge, wenn es keinen anderen Speicherdienst gibt, der in allen Kriterien besser abschneidet. Um alle dominanten Punkte zu ermitteln, existieren bereits verschiedene Lösungen. Zum einen kann ein mathematisches Optimierungsprogramm wie AMPL eingesetzt werden [39]. Damit ist es durchführbar, auch noch deutlich größere Optimierungsprobleme als in diesem Fall zu lösen. Mehrere hundert Variablen und Tausende Datensätze sind möglich. Mit NEOS existiert auch ein sogar kostenloser Onlinedienst, welcher diese Art von Optimierungsproblemen lösen kann [40]. Bei NEOS ist genau wie bei AMPL auf die Einstellungen zu achten. Da beide Dienste in der Lage sind auch sehr große Optimierungsprobleme zu lösen, gibt es die Möglichkeit, nicht das tatsächliche Optimum sondern nur ein approximiertes Optimum ermitteln zu lassen. Dieser Näherwert kommt der optimalen Lösung zwar sehr nahe, kann sich aber doch von ihr unterscheiden. Darum ist bei der Lösung mit AMPL oder NEOS auf die richtige Einstellung zu achten, damit das tatsächliche Optimum ermittelt wird. Mit Shark gibt es ein Open Source Projekt zum Thema Optimierung[41]. Das Projekt steht unter der GNU General Public License Version 2.0. Die verwendete Programmiersprache ist C++. Der für dieses Optimierungsproblem relevante Algorithmus wird in FastNonDominatedSort.h beschrieben und befindet sich im Anhang dieser Arbeit. Außerdem ist es auch möglich, alle dominanten Datensätze mittels Excel zu ermitteln. Wie dies funktioniert wurde in dem Buch „Wirtschaftsmathematik - Problemlösungen mit EXCEL“ beschrieben[42]. Für

sehr große Optimierungslösungen ist die Excel-Lösung nicht geeignet. Das vorliegende Optimierungsproblem kann aber mit Excel gelöst werden. Die ermittelten dominanten Punkte und somit die Pareto-Front ist bei jeder der vier hier vorgestellten Lösungsmöglichkeiten identisch.

Bei vier Dimensionen wie in diesem Beispiel ist eine Darstellung aller dominanten Punkte auf der Pareto-Front in tabellarischer Form üblich (Tabelle 4.6).

Anbieter	Kosten	Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang	IT-Sicherheit & Datenschutz	Wartbarkeit & Bedienbarkeit
Telekom (a)	100	87,5	85	86,5
Livedrive (b)	100	89	89	78
TrendMicro (c)	97	85	92	84
SugarSync (d)	97	90	74	81
Dropbox (e)	92	79	70	91
Fabasoft (f)	90	81	93	79
MS OneDrive (g)	82	92	75	78,5

Tabelle 4.6 - Pareto-Front

Bei zwei Variablen ist eine klassische grafische Darstellung der Pareto-Front möglich. Abbildung 4.1 zeigt für den Unterraum Kosten und „Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang“ die typische graphische Darstellung bei nur zwei Dimensionen. Wenn die anderen Dimensionen nicht betrachtet werden, sind für diese beiden Dimensionen die Punkte e, d, und b optimal.

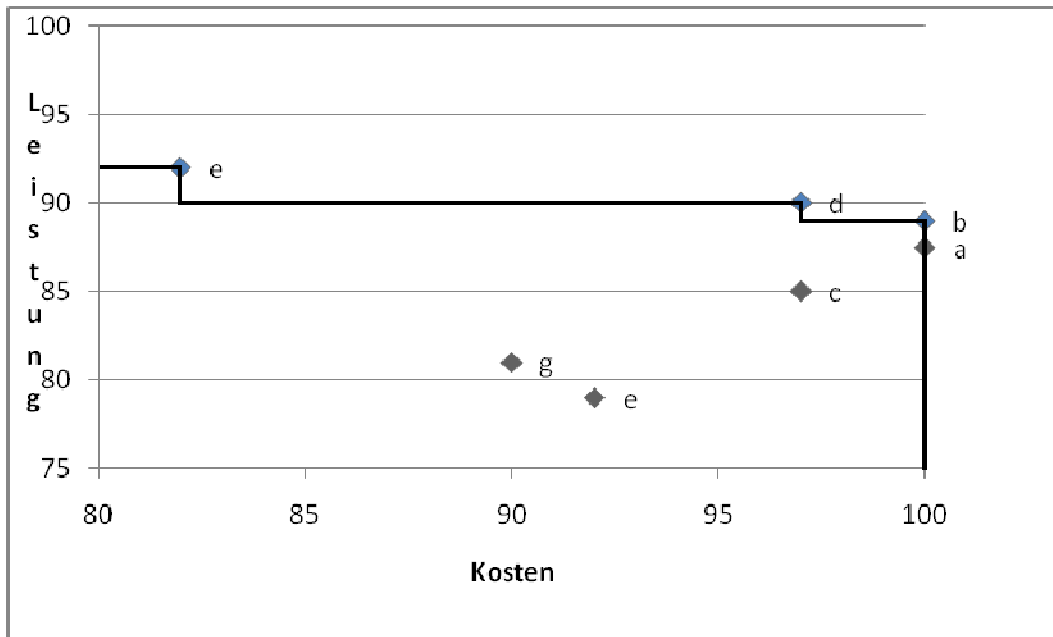


Abbildung 4.1 – Pareto-Front für die Dimensionen Kosten und Leistung

Bei vier und mehr Variablen kann die Pareto-Front hingegen nicht mehr direkt grafisch dargestellt werden. Eine Darstellung der einzelnen Pareto-optimalen Punkte ist aber z.B. mit einem Netzdiagramm möglich (Abbildung 4.2)

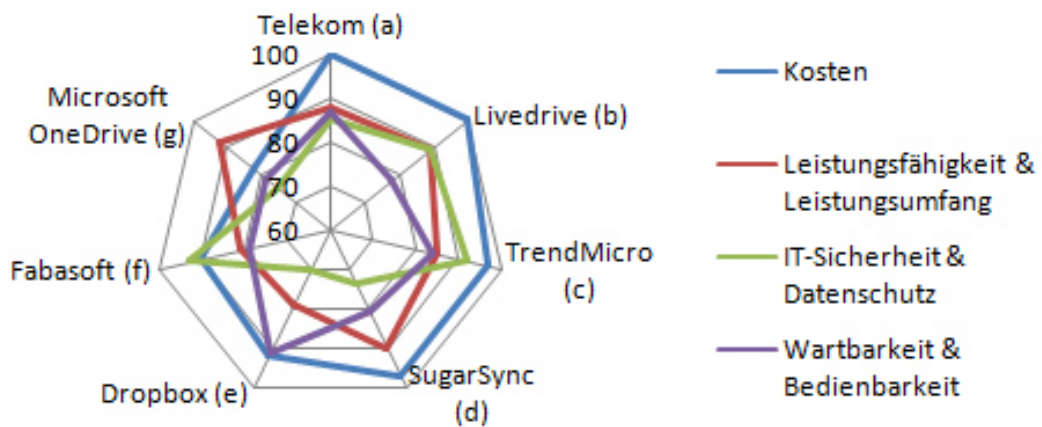


Abbildung 4.2 – Netzdiagramm

4.6. Auswahl des optimalen Anbieters

Die Pareto-Front ist die die Summe aller optimalen Punkte. Im Fallbeispiel ist jeder Punkt ein Cloud Speicherdienst. Auf der Pareto-Front liegen immer noch sieben optimale Punkte. Um zu ermitteln, welcher dieser Cloud Speicherdienste für eine konkrete Anwendung der am besten geeignetste ist, sind weitere Informationen notwendig. Eine gängige Vorgehensweise ist die, einzelne Kriterien mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren zu versehen. Für einen leistungsorientierten Kunden könnten die Variablen Kosten, "IT-Sicherheit & Datenschutz", und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" mit jeweils 0,15 und die Variable "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" mit 0,55 gewichtet werden. Für eine Kunden mit allgemeiner Ausrichtung könnten alle vier Variablen mit 0,25 gewichtet werden. Und Für einen Kunden mit einem Fokus auf Sicherheit könnte die Variable "IT-Sicherheit & Datenschutz" die Gewichtung 0,55 bekommen, während die Variablen Kosten, "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" und "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" mit jeweils 0,15 gewichtet werden. Bei diesen drei unterschiedlichen Gewichtungen handelt es sich nur um Beispiele. Abhängig von den Rahmenbedingungen und Präferenzen sind auch beliebige andere Gewichtungen möglich.

	Kosten	Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang	IT-Sicherheit & Datenschutz	Wartbarkeit & Bedienbarkeit
Leistungs-Fokus	0,15	0,55	0,15	0,15
Allgemeine Ausrichtung	0,25	0,25	0,25	0,25
Sicherheits-Fokus	0,15	0,15	0,55	0,15

Tabelle 4.7- Beispielhafte Gewichtungen für unterschiedliche Präferenzen

Um zu einen Endergebnis zu gelangen, welches die Präferenzen des Kunden widerspiegelt, muss jede Variable eines Punktes mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert und anschließend summiert werden. Die folgende Tabelle zeigt die nach dem Leistungs-Fokus, nach einer Allgemeinen Ausrichtung und nach dem Sicherheits-Fokus gewichteten Ergebnisse für alle pareto-optimalen Punkte. Für jede dieser drei unterschiedlichen Präferenzen ist ein anderer Punkt und somit

auch ein anderer Cloud Speicherdienst optimal.

Anbieter	Leistungs- Fokus	Allgemeine Ausrichtung	Sicherheits- Fokus
Telekom	88,85	89,75	87,85
Livedrive	89,00	89,00	89,00
TrendMicro	87,70	89,50	90,50
SugarSync	87,30	85,50	80,90
Dropbox	81,40	83,00	77,80
Fabasoft	83,85	85,75	88,65
Microsoft OneDrive	85,93	81,88	79,13

Tabelle 4.8 – Gewichtete Ergebnisse

In diesem Fallbeispiel wurde zuerst die Pareto-Front ermittelt und bei der weiteren Berechnung nur diese Punkte berücksichtigt. Das gleiche Ergebnis kann aber auch ohne die Pareto-Front gewonnen werden. Dazu werden direkt für alle Punkte die gewichteten Ergebnisse berechnet. Wenn jedoch vorher die Pareto-Front ermittelt wurde, braucht das gewichtete Ergebnis nur für die wenigen Punkte auf der Pareto-Front ermittelt werden. Da, insbesondere solange keine weiteren Kriterien hinzukommen, die Pareto-Front nur einmal berechnet werden muss, ist es meistens sinnvoll zuerst die Pareto-Front zu berechnen. Für die Berechnung der gewichteten Ergebnisse, welche die unterschiedlichen Präferenzen widerspiegeln, müssen dann nur die Punkte auf der Pareto-Front berücksichtigt werden. Darum wurde in diesem Fallbeispiel auch diese Vorgehensweise gewählt.

4.7 Zusammenhang zwischen Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit

Im Grundlagenkapitel wurde gezeigt, dass immer nur zwei der drei Anforderungen Konsistenz, Verfügbarkeit und Partitionstoleranz gleichzeitig erfüllt werden können. In diesem Abschnitt wird das Einzelkriterium Kosten in Kontext zu Brewers CAP-Theorem gestellt.

Zwischen Verfügbarkeit und Kosten gibt es einen Trade-off. Im Folgenden wird erläutert, warum minimale Kosten und maximale Verfügbarkeit nicht gleichzeitig erreicht werden können. Ein wichtiges Mittel zur Gewährleistung einer hohen

Verfügbarkeit ist Redundanz. Redundanz ist auf mehreren Ebenen möglich. Redundanz bei der Stromversorgung kann z.B. realisiert werden durch Notstromaggregate. Oder Redundanz in der Datenerhaltung, wobei die Daten mehrfach abgespeichert sind, im Idealfall in unterschiedlichen Datacentern. Redundanz erhöht die potentielle Verfügbarkeit, erhöht aber auch Kosten. Maximale Verfügbarkeit bei minimalen Kosten ist nicht erreichbar.

Zwischen Konsistenz und Kosten gibt es ebenfalls einen Trade-off. Hash-Funktionen zur Konsistenzkontrolle verbrauchen Rechenzeit, die Kosten verursacht. Zur Senkung der Fehlerrate bei der Speicherung und Übertragung von Daten wird die Vorwärtsfehlerkorrektur eingesetzt. Die dabei gezielt eingesetzte Redundanz und die benötigte Rechenleistung sorgen für weitere Kosten. Konsistenzprüfung zur Gewährleistung einer maximalen Konsistenz verursacht Kosten. Maximale Konsistenz bei minimalen Kosten ist nicht erreichbar.

Dank dem CAP-Theorem wissen wir bereits, dass Konsistenz und Verfügbarkeit gleichzeitig erreichbar sind. Minimale Kosten schließen hingegen sowohl Verfügbarkeiten als auch Konsistenz aus. Entweder lassen sich Verfügbarkeit und Konsistenz erreichen oder minimale Kosten. Der Zusammenhang zwischen Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit wird am folgenden Schaubild dargestellt.



Abbildung 4.3 - Zusammenhang zwischen Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit

5 Schlussfolgerungen

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das erste Ziel dieser Arbeit war die Erstellung eines möglichst vollständigen Klassifikationsrahmens mittels Literaturrecherche. Dieses Ziel konnte erreicht werden. Ein Klassifikationsrahmen für Cloud Services wurde in den Bereichen Flexibilität, Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz", "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" mit über 100 recherchierten Kriterien gefüllt. Eine tabellarische Übersicht des ausgearbeiteten Klassifikationsrahmens befindet sich im dritten Kapitel „Klassifikationsrahmen für Cloud Services“.

Hauptziel dieser Arbeit war es zu untersuchen, wie stark die einzelnen Zieldimensionen zusammenhängen. Dieses Ziel konnte anhand eines Fallbeispiels für Cloud Speicherdienste für die vier Zieldimensionen Kosten, "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang", "IT-Sicherheit & Datenschutz" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" realisiert werden. Zwischen den Kosten und den anderen Zieldimensionen konnte kein oder nur ein kleiner Zusammenhang festgestellt werden. Zwischen "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" und "IT-Sicherheit & Datenschutz" konnte ein mittelstarker Zusammenhang festgestellt werden. Ebenfalls ein mittelstarker Zusammenhang konnte zwischen den Zieldimensionen "Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit" festgestellt werden. Ein kleiner bis mittlerer Zusammenhang besteht zwischen den Zieldimensionen "IT-Sicherheit & Datenschutz" und "Wartbarkeit & Bedienbarkeit". Die in dieser Arbeit aufgezeigte Vorgehensweise zur Untersuchung der Zusammenhänge ist allgemein für Cloud Dienste anwendbar. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es zu zeigen, wie der optimale Cloud Dienst ermittelt werden kann. Auch dieses Ziel konnte erreicht werden, indem für das Fallbeispiel die Pareto-Front und gewichtete Ergebnisse berechnet wurden. Außerdem werden in dieser Arbeit in Anlehnung an das CAP-Theorem die Zusammenhänge zwischen den Kriterien Kosten, Konsistenz und

Verfügbarkeit betrachtet.

5.2 Einschränkungen

Der Klassifikationsrahmen für Cloud Services versucht alle für die Cloud Anbietersauswahl relevanten Kriterien aufzulisten. Ein Problem dabei ist die Entscheidung, welche Kriterien bereits in anderen Kriterien enthalten sind und darum nicht separat aufgelistet werden sollten. Insbesondere ist es bei vielen Kriterien möglich, diese in mehrere einzelne feingranulare Kriterien aufzuspalten. Umgekehrt lassen sich mehrere andere Kriterien zu einem etwas allgemeineren Kriterium zusammenfassen. Abhängig von dem Detaillierungsgrad und eventuellen Schwerpunkten sind auch Klassifikationsrahmen für Cloud Services mit anderen als den hier vorgestellten Kriterien möglich.

Die Zusammenhänge zwischen den Zieldimensionen wurden anhand eines Fallbeispiels von Cloud Speicherdiensten untersucht. Inwieweit sich die Ergebnisse auch auf andere Cloud Dienste übertragen lassen wurde nicht untersucht. Die beschriebene Vorgehensweise zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Zieldimensionen lässt sich aber allgemein auf Cloud Dienste anwenden. Außerdem wurden die Zieldimensionen Flexibilität und "Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit" nicht berücksichtigt. Des Weiteren stellt das Fallbeispiel mit den Cloud Speicherdiensten nur eine empirische Überprüfung dar. Eine theoretische Überprüfung fand nur für die Zusammenhänge zwischen den Einzelkriterien Kosten, Konsistenz und Verfügbarkeit statt. Für die übergeordneten Zieldimensionen wurde aufgrund der Komplexität jedoch keine theoretische Überprüfung durchgeführt. In dieser Arbeit wurden nur allgemeinere Lösungsmöglichkeiten zur Ermittlung optimaler Punkte vorgestellt. Diese Verfahrensweisen sind selbst bei deutlich komplexeren Problemen als dem Fallbeispiel in dieser Arbeit noch anwendbar. Für extrem umfangreiche Probleme gibt es jedoch hochspezialisierte Verfahrensweisen zur Pareto-Optimierung, die in dieser Arbeit nicht behandelt wurden.

5.3 Erweiterungsmöglichkeiten

Der ausgearbeitete Klassifikationsrahmen für Cloud Services besteht aus sechs Zieldimensionen, jeweils mehreren abstrakten Top Level Anforderungen, denen wiederum mehrere Bewertungskriterien zugeordnet sind. Der Klassifikationsrahmen könnte um eine vierte Stufe ergänzt werden. Auf der vierten Stufe könnte bestimmt werden, welche Dienste und welche Servicemodelle (Software-as-a-Service, Platform-as-a-Service, Infrastructure-as-a-Service) für die einzelnen Bewertungskriterien relevant sind. Auch könnten auf der 4. Stufe den Bewertungskriterien weitere Unterkriterien zugeordnet werden. Beispielsweise könnten dem Bewertungskriterium Interface die Unterkriterien intuitive Bedienbarkeit, leichte Zugänglichkeit aller Funktionen und Übersichtlichkeit zugeordnet werden.

Die Zusammenhänge zwischen den Zieldimensionen sind noch nicht theoretisch überprüft wurden. Außerdem wurden die Zusammenhänge zwischen den Zieldimensionen nur anhand von Cloud Speicherdiensten überprüft. Eine Überprüfung anhand von anderen Cloud Diensten bietet Raum für weitere wissenschaftliche Arbeiten. Bei einzelnen Kriterien wurden bisher nur bei wenigen theoretisch oder empirisch untersucht, in welchem Zusammenhang diese zueinanderstehen. Für die meisten der in dieser Arbeit aufgeführten Kriterien fand eine solche Überprüfung bisher noch nicht statt.

5.4 Nutzen

Zu wissen, welche Kriterien überhaupt relevant bei der Cloud Anbietersauswahl sind, ist die Grundlage, um den richtigen Anbieter zu ermitteln. Der mit über 100 Kriterien gefüllte Klassifikationsrahmen für Cloud Services erfüllt genau diese Aufgabe. Außerdem kann ein solcher Klassifikationsrahmen bei der schon seit längerem geforderten Vereinheitlichung von Service Level Agreements von Cloud Services eingesetzt werden.

Zwischen einzelnen Kriterien und auch zwischen den Zieldimensionen gibt es einen gewissen Trade-off. Das heißt, die Verbesserung eines Kriteriums kann die Verschlechterung eines anderen Kriterium mit sich bringen. Wissen über die Zusammenhänge und die verschiedenen Trade-offs ist wichtig, um zu wissen, welche Zielsetzungen überhaupt möglich sind. Ist es möglich, dass es einen Anbieter gibt, der gleichzeitig A und B maximiert hat? Oder gibt es einen Trade-off zwischen den beiden Kriterien? Und welchen Einfluss hat das auf Kriterium C? So konnte beispielsweise für die Cloud Speicherdienste herausgefunden werden, dass die Kosten nur einen sehr kleinen Einfluss auf die anderen untersuchten Zieldimensionen haben. Das heißt ein sehr leistungsfähiger und trotzdem kostengünstiger Speicherdienst ist möglich. Hingegen beeinflussen sich Sicherheit und Leistungsfähigkeit gegenseitig deutlicher. Ein maximal sicherer und gleichzeitig maximal leistungsfähiger Cloud Speicherdienst ist daher nicht möglich. Solches Wissen kann dem Kunden bei der Festlegung seiner Präferenzen zur Wahl des für ihn optimalen Cloud Anbieters helfen. Kenntnisse darüber, welche Kriterien welche anderen Kriterien in welcher Weise beeinflussen, kann auch als Ausgangspunkt für Verbesserungen an den Cloud Diensten selber genutzt werden.

Eine Pareto-Optimierung mit anschließender Gewichtung der Variablen wie in dieser Arbeit durchgeführt kann dazu eingesetzt werden, um für ganz bestimmte Präferenzen den optimalen Cloud Dienst zu ermitteln. Mit der steigenden Popularität von Cloud Computing und der somit steigenden Anzahl von Cloud Anbietern wird es immer wichtiger aus der Masse den optimalen Anbieter zu finden. Hierfür beschreibt diese Arbeit die notwendigen Vorgehensweisen.

5.5 Ausblick

Cloud Computing bietet viele technische und wirtschaftliche Vorteile. Eine auch in Zukunft anhaltende Verbreitung ist daher wahrscheinlich. Wenn immer mehr Cloud Anbieter auf den Markt kommen, wird es immer schwieriger den für einen bestimmten Anwender optimalen Anbieter auszuwählen. Technologien und Konzepte wie maschinenlesbare Service Level Agreements, die dabei helfen diese Aufgabe zu lösen, könnten in Zukunft mehr in den Vordergrund rücken. Auch das Geschäftsmodell des Cloud Brokers, welcher einen Cloud Provider an einen Kunden vermittelt, könnte mit der steigenden Zahl an Cloud Anbietern deutlich an Wichtigkeit gewinnen.

6 Anhang

6.1 Quellenverzeichnis

[1] Alex Didier Essoh, Clemens Doubrava und Isabel Münch. Sicherheitsempfehlungen für Cloud Computing Anbieter – Mindestanforderungen in der Informationssicherheit. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI. 2012.

[2] NIST. Definition of Cloud Computing.

[3] Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy H. Katz, Andrew Konwinski, Gunho Lee, David A. Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica und Matei Zaharia. Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing. UC Berkeley Reliable Adaptive Distributed Systems Laboratory, 2009.

[4] Gerald Münzl, Bernhard Przywara, Martin Reti, Jörg Schäfer, Karin Sondermann, Mathias Weber, Andreas Wilker, Prashant Barot, Bernd Becker, Oliver Bühr, Peter Burghardt, Kai Gutzeit, Andrea Habel, Frank Heuer, Norbert Jachmann, Michael Jaekel, Robert Koning, Achim Luhn, Jochen K. Michels, Jürgen Nestele, Michael Pauly, Bernd Siebers und Matthias Walczyk. Cloud Computing - Evolution in der Technik, Revolution im Business. BITKOM, 2009.

[5] Christian Baun, Marcel Kunze, Jens Nimis und Stefan Tai. Cloud Computing: Web-Basierte Dynamische IT-Services. 2. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

[6] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI.
https://www.bsi.bund.de/DE/DasBSI/dasbsi_node.html Stand: 23.04.2015

[7] Lothar Sachs. Angewandte Statistik. S.531. Springer. 2013. ISBN 978-3-540-

4055-9.

[8]Dimosthenis Kyriazis. Cloud Computing Service Level Agreements Exploitation of Research Results. European Commission Directorate General Communications Networks, Content and Technology Unit E2 - Software and Services, CLOUD, Brüssel, 2013.

[9]Taher Labidi, Achraf Mtibaa, Faiez Gargouri. Ontology-Based Context-Aware SLA Management for Cloud Computing. Model and Data Engineering. Springer International Publishing, 2014. 193-208.

[10]Philipp Wieder, Joe M. Butler und Wolfgang Theilmann. Service level agreements for cloud computing. Springer Science & Business Media, 2011.

[11]Hector Garcia-Molina, Jeffrey David Ullman und Jennifer Widom. Database Systems – The Complete Book. Second Edition, Pearson, 2009

[12]Eric A. Brewer. Towards robust distributed systems. Proceedings of the nineteenth annual ACM symposium on Principles of distributed computing Page 7 ACM New York, NY, USA. 2000.

[13]Seth Gilbert und Nancy A. Lynch. Brewer's conjecture and the feasibility of consistent, available, partition-tolerant web services. ACM SIGACT News 33.2 (2002): 51-59.

[14]Seth Gilbert und Nancy A. Lynch. Perspectives on the CAP Theorem. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012.

[15]Eric A. Brewer. CAP twelve years later: How the rules have changed. Computer 45.2 (2012): 23-29.

- [16]Theo Haerder und Andreas Reuter. Principles of transaction-oriented database recovery. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 15.4 (1983): 287-317.
- [17]Armando Fox, Steven D. Gribble, Yatin Chawathe, Eric A. Brewer und Paul Gauthier. Cluster-based scalable network services. Vol. 31. No. 5. *ACM*, 1997.
- [18]Jonas Repschläger, Stefan Wind und Rüdiger Zarnekow, Klassifikationsrahmen für die Anbieterauswahl in der Cloud. 41. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, Berlin, 2011.
- [19]Jonas Repschläger. Entscheidungsfindung im Cloud Computing – Konzeption und Analyse eines Modells zur Anbieterauswahl. Dissertation, Berlin, 2013.
- [20]William A. Dempsey. Vendor selection and the buying process. *Industrial Marketing Management* 7 (1978), 4, S. 257–267.
- [21]Gary W. Dickson. An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing* 2 (1966), 1, S. 5–17.
- [22]Miha Ahronovitz, Dustin Amrhein, Patrick Anderson, Andrew de Andrade, Joe Armstrong, Ezhil Arasan B, James Bartlett, Richard Bruklis, Ken Cameron, Mark Carlson, Reuven Cohen, Tim M. Crawford, Vikas Deolaliker, Pete Downing, Andrew Easton, Rodrigo Flores, Gaston Fourcade, Thomas Freund, Tom Hanan, Valery Herrington, Babak Hosseinzadeh, Steve Hughes, William Jay Huie, Nguyen Quang Hung, Pam Isom, Shobha Rani J, Sam Johnston, Ravi Kulkarni, Anil Kunjunny, Edmond Lau, Thomas Lukasik, Bob Marcus, Gary Mazzaferro, Craig McClanahan, Meredith Medley, Walt Melo, Andres Monroy-Hernandez, Ayman Nassar, Dirk Nicol, Lisa Noon, Santosh Padhy, Gilad Parann-Nissany, Greg Pfister, Thomas Plunkett, Ling Qian, Balu Ramachandran, Jason Reed, German Retana, Bhaskar Prasad Rimal, Dave Russell, Matt F. Rutkowski, Clark Sanford, Krishna Sankar, Alfonso Olias Sanz, Mark B. Sigler, Wil Sinclair,

Erik Sliman, Patrick Stingley, Phillip Straton, Robert Syputa, Robert J. Taylor, Doug Tidwell, Kris Walker, Kurt Williams, John M Willis, Yutaka Sasaki, Michael Vesace, Eric Windisch, Pavan Yara und Fred Zappert. Cloud Computing Use Cases A white paper Version 4.0, 2 July 2010.

[23]Janet Wagner, Richard Ettenson und Jean Parrish. Vendor selection among retail buyers: an analysis by merchandise division. *Journal of Retailing* 65 (1989), 1, S. 58–79.

[24]S. Hossein Cheraghi, Mohammad Dadashzadeh und Muthu Subramanian. Critical Success Factors For Supplier Selection: An Update. *Journal of Applied Business Research* 20 (2004), 2, S. 91–108.

[25]Benedikt Martens, Frank Teuteberg und Matthias Gräuler. Design and implementation of a community platform for the evaluation and selection of cloud computing services: a market analysis. Conference: 19th European Conference on Information Systems, ECIS 2011, Helsinki, Finland, June 9-11, 2011.

[26]Avinash M. Waikar, Minh Q. Huynh, Robert F. Cope und Uday S. Tate. Evaluating key factors in supplier selection for micro-businesses: implications for buyer satisfaction. *International Journal of Integrated Supply Management* 6 (2011), 3/4, S. 284.

[27]Clemens Doubrava und Isabel Münch. Cloud-Computing-SLAs. *BSI Forum* 2012, 2012. S. 36 – 46.

[28]Saurabh Kumar Garg, Steve Versteeg und Rajkumar Buyya. A framework for ranking of cloud computing services. *Future Generation Computer Systems* 29 (2013) 1012–1023.

[29]Jonas Repschläger und Rüdiger Zarnekow. Umfrage zur Anbieterauswahl &

Markttransparenz im Cloud Computing. 4. IT Operations Day, Berlin, 2011.

[30]She-I Chang, David C. Yen, Celeste See-Pui Ng und Wei-Ting Chang. An analysis of IT/IS outsourcing provider selection for small- and medium-sized enterprises in Taiwan. *Information & Management* 49 (2012), 5, S. 199–209.

[31]Philip Koehler, Arun Anandasivam, M. A. Dan und Christof Weinhardt. Customer Heterogeneity and Tariff Biases in Cloud Computing. *International Conference on Information Systems, ICIS 2010 Proceedings*. 2010.

[32]Christof Zangemeister. Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. *Diss. Techn. Univ. Berlin* 1970, 4. Aufl., München: Wittemann, ISBN 3-923264-00-3.

[33]Arnim Bechmann. *Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung*. Haupt, 1978, 1. Auflage, ISBN 978-3258026947

[34]Duden, Begriffsdefinition

[35]Medizinisch-Statistisches Lexikon. http://medistat.de/statistikberatung-glossar-artikel.php?id=Rangkorrelationskoeffizient_nach_Spearman Stand: 23.04.2015

[36]Martin Blöchinger. *Cloud Speicher im Vergleich*. Vetalio, <https://www.vetalio.de/cloud-speicher>, Stand: 23.04.2015

[37]Jonas Repschläger. *Cloud Computing Framework zur Anbietersauswahl* Version 1.1, *Framework zur Anbietersauswahl*. Technische Universität Berlin. 2013.

[38]Stephan Börzsönyi, Donald Kossmann und Konrad Stocker. The skyline operator. Data Engineering, 2001. Proceedings. 17th International Conference on. IEEE, 2001.

[39] AMPL, Streamlined Modeling Real Optimization <http://ampl.com/> Stand 23.04.2015

[40]NEOS. State-of-the-Art Solvers for Numerical Optimization. <http://www.neos-server.org/neos/> Stand: 23.04.2015

[41]SHARK, <http://sourceforge.net/projects/shark-project/> Stand: 23.04.2015

[42]Hans Benker. Wirtschaftsmathematik - Problemlösungen mit EXCEL, Vieweg Verlag, 2007, S285-S294.

[43]Werner Vogels. Eventually consistent. Communications of the ACM 52.1 (2009): 40-44.

[44]Ferdinand Pavel und Anselm Mattes. Cloud-Computing: Großes Wachstumspotenzial. DIW Wochenbericht 48(2010).

[45]Debbie Kane. Top 100 Cloud Services Providers 2014 Edition. 2014, <http://talkincloud.com/> Stand 23.04.2015

[46]Daniel Horn. A correction for the effect of tied ranks on the value of the rank difference correlation coefficient. Educational and Psychological Measurement, 3, 686-690. 1942.

[47]Dimitris Papadias, Yufei Tao, Greg Fu und Bernhard Seeger. An optimal and progressive algorithm for skyline queries. Proceedings of the 2003 ACM SIGMOD international conference on Management of data. ACM, 2003.

[48]Christoph Lofi und Wolf-Tilo Balke. Preference Trade-Offs-Towards Manageable Skylines. Grundlagen von Datenbanken. 2010.

6.2 Abbildungen

FastNonDominatedSort.h[41]

```
#ifndef SHARK_ALGORITHMS_DIRECTSEARCH_FASTNONDOMINATEDSORT_H
#define SHARK_ALGORITHMS_DIRECTSEARCH_FASTNONDOMINATEDSORT_H

#include <shark/Algorithms/DirectSearch/ParetoDominanceComparator.h>
#include <shark/Algorithms/DirectSearch/FitnessExtractor.h>
#include <vector>

namespace shark {

/**
 * \brief Implements the well-known non-dominated sorting algorithm.
 *
 *
 * \param Assembles subsets/fronts of mutually non-dominating individuals.
 * \param Afterwards every individual is assigned a rank by pop[i].rank() = fronNumber.
 * \param The front of dominating points has the value 1.
 *
 *
 * \param The algorithm is dscribed in Deb et al,
 * \param A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II
 * \param IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002
 *
 *
 * \param \tparam Extractor returning the fitness vector of an individual
 */
template<typename Extractor>
struct BaseFastNonDominatedSort {

    /**
     * \brief Executes the algorithm.
     *
     *
     * \param Afterwards every individual is assigned a rank by pop[i].rank() = fronNumber.
     * \param The front of dominating points has the value 1.
     *
     *
     * \param \param pop [in,out] Population to subdivide into fronts of non-dominated individuals.
     */
    template<typename PopulationType>
    void operator()(PopulationType &pop) {

        //dominance relation
        ParetoDominanceComparator<Extractor> pdc;

        //stores for the i-th point which points are dominated by i
        std::vector<std::vector<unsigned> > s(pop.size());
        //stores for every point how many points are dominating it
        std::vector<unsigned> numberOfDominatingPoints(pop.size(), 0);
        //stores initially the front of non-dominated points
        std::vector<unsigned> front;

        for (std::size_t i = 0; i < pop.size(); i++) {
            //check which points j are dominated by i and add them to s[i]
            //also increment n[j] for every i dominating j
            for (std::size_t j = 0; j < pop.size(); j++) {
```

```

        if (i == j)
            continue;

        int domination = pdc(pop[i], pop[j]);
        if ( domination > 1)//pop[i]> pop[j]
            s[i].push_back(j);
        else if (domination < -1)//pop[i]< pop[j]
            numberOfDominatingPoints[i]++;
    }
    //all non-dominated points form the first front
    if (numberOfDominatingPoints[i] == 0){
        front.push_back(i);
        pop[i].rank() = 1;//non-dominated points have rank 1
    }
}
//find subsequent fronts.
unsigned frontCounter = 2;
std::vector<unsigned> nextFront;

//as long as we can find fronts
//visit all points of the last front found and remove them from the
//set. All points which are not dominated anymore form the next front
while (!front.empty()) {
    //visit all points of the current front and remove them
    // if any point is not dominated, it is part the next front.
    for(std::size_t element = 0; element != front.size(); ++element) {
        //visit all points dominated by the element
        std::vector<unsigned int> const& dominatedPoints = s[front[element]];
        for (std::size_t j = 0; j != dominatedPoints.size(); ++j){
            std::size_t point = dominatedPoints[j];
            numberOfDominatingPoints[point]--;
            // if no more points are dominating this, add to the next front.
            if (numberOfDominatingPoints[point] == 0){
                nextFront.push_back(point);
                pop[point].rank() = frontCounter;
            }
        }
    }

    //make the new found front the current
    front.swap(nextFront);
    nextFront.clear();
    frontCounter++;
}
};

/** \brief Default fast non-dominated sorting based on the Pareto-dominance relation. */
typedef BaseFastNonDominatedSort< FitnessExtractor > FastNonDominatedSort;
}
#endif

```

Abbildung 6.1 – FastNonDominatedSort.h[41]

6.3 Tabellen

Korrelationen und Signifikanz(2)

			Korrelationen			
			Kosten	Leistungsfähigkeit_ Leistungsumfang	IT_Sicherheit_ Datenschutz	Wartbarkeit_ Bedienbarkeit
Spearman-Rho	Kosten	Korrelationskoeffizient	1,000	,102	-,066	,018
		Sig. (2-seitig)	.	,600	,732	,927
		N	29	29	29	29
	Leistungsfähigkeit_ Leistungsumfang	Korrelationskoeffizient	,102	1,000	,429	,315
		Sig. (2-seitig)	,600	.	,020	,096
		N	29	29	29	29
	IT_Sicherheit_ Datenschutz	Korrelationskoeffizient	-,066	,429	1,000	,186
		Sig. (2-seitig)	,732	,020	.	,333
		N	29	29	29	29
	Wartbarkeit_ Bedienbarkeit	Korrelationskoeffizient	,018	,315	,186	1,000
		Sig. (2-seitig)	,927	,096	,333	.
		N	29	29	29	29

Tabelle 6.1 – Korrelationen und Signifikanz(2)

Stichpunktartiger Klassifikationsrahmen

Flexibilität

- Interoperabilität & Portabilität
 - Schnittstellen-Standardisierung (Nutzwertanalyse)
 - Daten-Portabilität (Nutzwertanalyse)
 - Dienst-Portabilität (Nutzwertanalyse)
 - Transparenz (Nutzwertanalyse)
 - Dokumentation (Nutzwertanalyse)
 - Netzwerkkonfiguration (Nutzwertanalyse)
 - Grad der internen Integration (Nutzwertanalyse)
 - Kompatibilität (Nutzwertanalyse)
 - Vorlaufzeit (Zeit)
- Automatisierungsgrad
 - Changes / Updates (Nutzwertanalyse)
 - Vertragsverlängerung (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcen-Skalierung und Buchung (Nutzwertanalyse)
 - Nutzungsgrenzen (Einzelkennzahl)
 - Systemmanagement (Nutzwertanalyse)
- Service-Dynamik

- Bereitstellungszeit (Zeit)
- Instanzindividualisierung (Nutzwertanalyse)
- Einrichtungsdauer (Zeit)
- Vertragslaufzeit (Zeit)
- Vertragsflexibilität (Nutzwertanalyse)
- Skalierbarkeit
 - Elastizität (Elasticity) (Einzelkennzahl)
 - Lastverteilung (Load-Balancing) (Nutzwertanalyse)
 - Linearität(Linearity) (Einzelkennzahl)
 - Agilität (Agility) (Einzelkennzahl)

Kosten

- Preismodell
 - Fixkosten (Geld)
 - variable Kosten (Geld)
 - Kostenentwicklung (Geld)
 - Preisoptionen (Nutzwertanalyse)
 - Preistransparenz (Nutzwertanalyse)
 - Preis-Granularität (Nutzwertanalyse)
- Kostenfaktoren
 - Kosten der Integration (Geld)
 - Folgekosten durch Lock-In Effekte (Geld)
 - Kosten für Speicherplatz (Geld)
 - Kosten für Berechnungen (Geld)
 - Kosten für Datenübertragung (Geld)
 - Personalaufwand (Geld)
 - Wartungskosten (Geld)
 - Fortbildungskosten (Geld)
 - Infrastrukturkosten (Geld)

- Opportunitätskosten (Geld)
- Zahlungsweise
 - Verrechnungsart (Nutzwertanalyse)
 - Zahlungsmöglichkeiten (Nutzwertanalyse)
 - Zahlungsmittel (Nutzwertanalyse)
 - Zahlungszeitpunkt (Zeit)

Leistungsfähigkeit & Leistungsumfang

- Technologie
 - Lastverteilung (Load-Balancing) (Nutzwertanalyse)
 - Mandantenfähigkeit (Multi-tenancy) (Nutzwertanalyse)
 - Virtualisierung (Nutzwertanalyse)
 - Partitionstoleranz (Partition tolerance) (Nutzwertanalyse)
 - Atomarität (Abgeschlossenheit) (Einzelkennzahl)
 - Isolation (Nutzwertanalyse) (Nutzwertanalyse)
 - Persistenz (Durability) (Nutzwertanalyse)
 - Konsistenzerhaltung (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcen-Sharing (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcen-Identifikation (Nutzwertanalyse)
- Dienstmerkmale
 - Funktionale Abdeckung (Nutzwertanalyse)
 - Benutzerfreundlichkeit (Nutzwertanalyse)
 - Individualisierbarkeit (Nutzwertanalyse)
 - Dienst- und Funktionspakete (Nutzwertanalyse)
 - Serviceorientierung (Nutzwertanalyse)
 - Betriebssystem (Nutzwertanalyse)
 - Instanztyp (Nutzwertanalyse)
 - Stagedienst (Nutzwertanalyse)
 - Add-On Services (Nutzwertanalyse)

- Service-Optimierung
 - Dauer von Wartungszyklen (Zeit)
 - Dauer von und Servicezyklen (Zeit)
 - Innovation der Cloud Technologie (Nutzwertanalyse)
 - Grad der Kundenintegration (Nutzwertanalyse)
- Hardware
 - Servertyp (Nutzwertanalyse)
 - Prozessortyp (Nutzwertanalyse)
 - Hardwarefeatures (Nutzwertanalyse)
 - Netzwerkzugang (Nutzwertanalyse)
- Performance
 - Antwortzeit (Zeit)
 - Bearbeitungszeit (Zeit)
 - Rechenleistung (Einzelkennzahl)
 - Rechengenauigkeit (Nutzwertanalyse)
 - Instanz-Kapazität (Einzelkennzahl)
 - Bandbreite der Datenübertragung (Einzelkennzahl)
 - Verbindungsqualität (Nutzwertanalyse)

IT-Sicherheit & Datenschutz

- Rechenzentrums-Sicherheit
 - Gebäudesicherheit Außen (Nutzwertanalyse)
 - Gebäudesicherheit Innen (Nutzwertanalyse)
 - Endpoint Security (Nutzwertanalyse)
 - Software-Sicherheit (Nutzwertanalyse)
 - Speichersicherheit (Nutzwertanalyse)
 - Datenverschlüsselung (Nutzwertanalyse)
- Datenschutz & Compliance
 - Datenschutz (Nutzwertanalyse)

- Rechenzentrumstandort (Nutzwertanalyse)
- Transparenz des Datenstandorts (Nutzwertanalyse)
- Datenlöschung (Nutzwertanalyse)
- Netzwerk-Sicherheit
 - Übertragungssicherheit (Nutzwertanalyse)
 - Verbindungsmöglichkeiten (Nutzwertanalyse)
 - Verschlüsselung (Nutzwertanalyse)

Vertrauenswürdigkeit & Ausfallsicherheit

- Zuverlässigkeit (Reliability)
 - Katastrophenmanagement (Nutzwertanalyse)
 - Rechenzentren Redundanz (Nutzwertanalyse)
 - Netzwerk Redundanz (Nutzwertanalyse)
 - Datenwiederherstellung (Nutzwertanalyse)
- Vertrauenswürdigkeit (Confidentiality)
 - Anbieter-Reporting (Nutzwertanalyse)
 - Cloud Provider Profile (Nutzwertanalyse)
 - Leistungstransparenz (Nutzwertanalyse)
 - Auditing (Nutzwertanalyse)
 - Reputation (Nutzwertanalyse)
 - Zertifizierungen (Nutzwertanalyse)
- Leistungsversprechen
 - Qualitätsversprechen (Nutzwertanalyse)
 - Verfügbarkeit (Nutzwertanalyse)
 - Konsistenz (Nutzwertanalyse)
 - Ressourcengarantie (Nutzwertanalyse)
 - Haftungs- und Sanktionsregelung (Nutzwertanalyse)

Wartbarkeit & Bedienbarkeit

- Provider Management
 - Support (Nutzwertanalyse)
 - Kontakt (Nutzwertanalyse)
 - Internationalität (Nutzwertanalyse)
- Service Management
 - Systemmanagement (Nutzwertanalyse)
 - Steuerungsfunktionen (Nutzwertanalyse)
 - Monitoring und Reporting (Nutzwertanalyse)
 - Benötigte Fähigkeiten (Nutzwertanalyse)
- Transaktionsmanagement
 - Beratung (Nutzwertanalyse)
 - Integration (Nutzwertanalyse)
 - Schulung (Nutzwertanalyse)
 - Migrationskennzahlen (Nutzwertanalyse)
- Webportal
 - Bedienbarkeit (Nutzwertanalyse)
 - Individualisierungsgrad (Nutzwertanalyse)

Tabelle 6.2 - Stichpunktartiger Klassifikationsrahmen

Cloud Service Provider – Übersichtsliste

BUMI (Backup My Info!)

Connections for Business

Emerge Managed Solutions, LLC

American Technology Services, Inc. (ATS)

GetCloudServices

Green House Data

Long View Systems

Agosto

Managed Solution

CentraStage

Cirrity

Alert Solutions

dinCloud, Inc.
Unified Technologies, Inc.
IT Solutions Consulting, Inc.
DIVESTIT PTY LTD
Intelligence Partner
BlueWave Computing
Proxios
TestudoData
Green Fields Technology
CloudLock
CyberlinkASP
Ajubeo
nGenx Corporation
SIS, LLC
AppDirect
Peak
Blue Apache
acmeo cloud-distribution GmbH u Co KG
TekLinks, Inc.
TIG
Azzurri Communications Pty Ltd
Xtium
Xcentric
All Covered
Safe Systems, Inc.
SADA Systems
NetStandard Inc.
BroadCloud
Dataprise, Inc.
Logicalis US
Sonian
Corporate Technologies LLC
Perspecsys
Kaseya
SimpleSignal, Inc.
OffsiteDataSync
GreenPages-LogicsOne
Claris Networks

OS33
Artisan Infrastructure
Onix Networking
Eze Castle Integration
NeoNova Network Services
Cetrom Information Technology, Inc.
Skytap, Inc
Business Centric Services Group
Excel Micro, Inc.
NewVoiceMedia
Synoptek
Intronis, Inc.
Softchoice
Peak 10, Inc.
Arrow Electronics
HOSTING
NetEnrich, Inc.
Datapipe
SherWeb Inc.
Avanxo
Intility AS
Egnyte
Evolve IP
Cloud Sherpas
AppRiver
mindSHIFT Technologies, Inc.
Virtustream
Liaison Technologies
Ingram Micro Inc.
Tech Data Corporation
iomart Group plc
Carbonite Inc.
Computer Services, Inc. (CSI)
Intermedia
Claranet Ltd
LogMeIn, Inc.
D+H
DropBox

Arkadin
NetSuite
Rackspace
Workday
Citrix Systems
Google (Cloud/Enterprise)
SAP
Oracle (cloud IaaS)
Microsoft (online services division)
Amazon Web Services
Salesforce.com
IBM (cloud revenues)

Tabelle 6.3 – Übersichtsliste von Cloud Service Providern[45]

6.4. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Arbeit noch nicht als Abschlussarbeit an anderer Stelle vorgelegt habe.

Northeim, 27.04.2015

Alexander Gronemann-Habenicht