



Vergleich von Streamingframeworks: STORM, KAFKA, FLUME, S4

vorgelegt von

Eduard Bergen

Matrikel-Nr.: 769248

dem Fachbereich VI – Informatik und Medien –
der Beuth Hochschule für Technik Berlin vorgelegte Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (M.Sc.)

im Studiengang

Medieninformatik-Online (Master)

Tag der Abgabe 27. Oktober 2014

1. Betreuer	Herr Prof. Dr. Edlich	Beuth Hochschule für Technik
Gutachter	Herr Prof. Knabe	Beuth Hochschule für Technik

Kurzfassung

Mit der enormen Zunahme von Nachrichten durch unterschiedliche Quellen wie Sensoren (RFID) oder Nachrichtenquellen (RFD newsfeeds) wird es schwieriger Informationen beständig abzufragen. Um die Frage zu klären, welcher Rechner am häufigsten über TCP frequentiert wird, werden unterstützende Systeme notwendig. An dieser Stelle helfen Methoden aus dem Bereich des Complex Event Processing (CEP). Im Spezialbereich Stream Processing von CEP wurden Streaming Frameworks entwickelt, um die Arbeit in der Datenflussverarbeitung zu unterstützen und damit komplexe Abfragen auf einer höheren Schicht zu vereinfachen.

Abstract

Entwurf

Entwurf

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Grundlagen	3
2.1	Grundbegriffe	3
2.2	Technologie	5
2.3	Zusammenfassung	8
3	Analyse	9
4	Vorstellung Streaming Frameworks	17
4.1	Apache Storm	17
4.2	Apache Kafka	17
4.3	Apache Flume	17
4.4	Apache S4	17
4.5	Zusammenfassung	17
5	Anwendungsfall und Prototyp	19
6	Auswertung	21
6.1	Benchmark Ergebnisse	21
6.2	Erkenntnis	21
7	Schlussbetrachtung	23
7.1	Zusammenfassung	23
7.2	Einschränkungen	23
7.3	Ausblick	23

8 Verzeichnisse	25
Literaturverzeichnis	28
Internetquellen	30
Abbildungsverzeichnis	31
Tabellenverzeichnis	33
Quellenverzeichnis	35
 A Zusätze	 37
A.1 Abkürzungen	37
A.2 Quelltext	38
A.3 Installationsanleitung Aurora/Borealis	41

Entwurf

Kapitel 1

Einführung

Social media streams, such as Twitter, have shown themselves to be useful sources of real-time information about what is happening in the world. Automatic detection and tracking of events identified in these streams have a variety of real-world applications, e.g. identifying and automatically reporting road accidents for emergency services. [MMO⁺13]

Im Internet steigt das Angebot zu unterschiedlichen Informationen rapide an. Gerade in Deutschland wächst das Datenaufkommen, wie die Studie der IDC [Dig14, S. 2-3] zeigt, exponentiell. Dabei nimmt ebenfalls das Interesse an wiederkehrenden Aussagen über die Anzahl bestimmter Produkte, die Beziehungen zu Personen und die persönlichen Stimmungen zueinander zu. So wird in [Dat14] eine interaktive Grafik zum Zeitpunkt der Ansprache zur Lage der Union des Präsidenten der USA angezeigt. Je Zeitpunkt und Themenschwerpunkt wird in der Ansprache zeitgleich die Metrik Engagement zu den einzelnen Bundesstaaten aus den verteilten Twitternachrichten berechnet ausgegeben.

In der Infografik [Jam14b] von Josh James, Firma Domo wird ein Datenwachstum von 2011 bis 2013 um 14,3% veranschaulicht. Es werden unterschiedliche Webseiten vorgestellt. Dabei werden unterschiedlichen Arten von Daten, die pro Minute im Internet erzeugt werden gezeigt. In der ersten Fassung [Jam14a] waren es noch 2 Millionen Suchabfragen auf der Google-Suchseite [Goo14]. Die zweite Fassung gibt über 4 Millionen Suchanfragen pro Minute an. In Facebook [Fac14] konnten in der Fassung mehr als 680 Tausend Inhalte getauscht werden. In der zweiten Fassung werden mehr als 2,4 Millionen Inhalte pro Minute getauscht.

Um die Sicherheit bei Verlust einer Kreditkarte zu erhöhen und gleichzeitig die höchste Flexibilität zu erhalten, gibt es im Falle eines Schadens bei der von unterschiedlichen Orten gleichzeitig eine unerwünschte Banküberweisung stattfindet, für die Bank die Möglichkeit, die Transaktion aufgrund der Positionserkennung zurückzuführen [SCZ05, S. 3, K. Integrate Stored and Streaming Data].

Mit steigenden Anforderungen, wie in der Umfrage [Cap14, S. 8] durch schnellere Analyse, Erkennung möglicher Fehler und Kostenersparnis dargestellt, und damit einem massiven Datenaufkommen ausgesetzt, kann die herkömmliche Datenverarbeitung [CD97, S. 2, K. Architecture and End-to-End Process] durch das Zwischenlagern der Daten in einem Datenzentrum keine komplexen und stetigen Anfragen zeitnah beantworten [MMO⁺13, S. 2 K. Related Work: Big Data and Distributed Stream Processing]. Damit müssen Nachrichten, sobald ein Nachrichteneingang besteht, sofort verarbeitet werden können. Allen Goldberg stellt in [GP84, S. 1, K. Stream Processing Example] anhand eines einfachen Beispiels Stream processing zu deutsch

Verarbeitung eines Nachrichtenstroms ausgehend von loop fusion [GP84, S. 7, K. History] vor. Da Allen Goldbergs Beschreibung zu Stream processing in die Ursprünge geht, soll ein einfaches Modell eines Stream processing Systems für die weitere Betrachtung als Grundlage dienen.

So wird in [AAB⁺05, S. 2, K. 2.1: Architecture] die distributed stream processing engine Borealis vorgestellt und als große verteilte Warteschlangenverarbeitung beschrieben. Die Abbildung [AAB⁺05, S. 3, A. 1: Borealis Architecture] zeigt eine Borealis-Node mit Query processor in der Abfragen verarbeitet werden. Eine Borealis-Node entspricht einem Operator, in dem laufend Datentupel sequentiell verarbeitet werden. Mehrere Nodes sind in einem Netzwerk verbunden und lösen dadurch komplexe Abfragen. Damit die Komplexität, die Lastverteilung und somit die Steigerung der Kapazität für die Entwicklung von neuen Anwendungen vereinfacht werden, wurden Streaming frameworks entwickelt. Streaming frameworks stellen auf einer höheren Abstraktion Methoden zur Datenverarbeitung bereit.

Bisher werden einzelne Streaming frameworks separat in Büchern oder im Internet im Dokumentationsbereich der Produktwebseiten vorgestellt. Dabei werden vorwiegend Methoden des einzelnen Streaming frameworks erläutert und auf weiterführenden Seiten vertieft. Als Software Entwickler wird der Nutzen für die Streaming frameworks nicht sofort klar. Zum Teil sind die Dokumentationen veraltet, in einem Überführungsprozess einer neuen Version oder es fehlt ein schneller Einstieg mit einer kleinen Beispielanwendung.

In dieser Arbeit soll es eine Übersicht mit Einordnung und Spezifikation über die einzelnen Streaming frameworks Apache Storm [Mar13a], Apache Kafka [KNR13], Apache Flume [PMS13] und Apache S4 [GJM⁺13] geben. Dabei werden außerdem die Streaming frameworks diskutiert und verglichen.

Da viele Begriffe aus dem englischen Sprachraum kommen, wird der englische Begriff kurz erläutert und im weiterführenden Text kursiv gekennzeichnet. Kapitel werden eingeleitet und ausgeleitet.

Die Arbeit ist in zwei Bereiche geteilt. Im ersten Bereich werden Grundlagen geschaffen, es wird analysiert und die Streaming frameworks werden vorgestellt. Im zweiten Bereich werden die Streaming frameworks diskutiert und verglichen. Dabei wird ein praxisnaher Anwendungsfall vorgestellt. Und im Schlussteil wird zusammengefasst, die Erkenntnis vorgestellt und ein Ausblick gegeben.

Das erste Kapitel befasst sich mit der Einführung und im zweiten Kapitel werden die Grundlagen geschaffen. Dabei werden die Grundbegriffe und die zum Einsatz notwendige Technologie vorgestellt, eingeordnet und zusammengefasst. Im dritten Kapitel findet eine Analyse in Verbindung der gewonnenen Grundlagen statt. Kapitel Vier stellt einen großen Teil dar. Darin werden die einzelnen Streaming frameworks vorgestellt. Das Kapitel endet mit einer Zusammenfassung. In Kapitel Fünf wird ein Anwendungsfall vorgestellt, in dem die Streaming frameworks im Einsatz gezeigt werden. Das sechste Kapitel knüpft an das vorangegangene an und stellt die Diskussion und den Vergleich. Das letzte Kapitel Sieben enthält die Schlussbetrachtung mit einer Zusammenfassung, einer Erkenntnis und einem Ausblick. In Anhang A sind zusätzliche Inhalte und Quelltexte hinterlegt.

Kapitel 2

Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden die Begriffe Event, Stream, Processing aus der Informatik im Bereich der verteilten Systeme erläutert und in einen Zusammenhang zu Streaming frameworks gebracht. Dabei wird ein Grundkonzept für eine streambasierte Nachrichtenverarbeitung vorgestellt. Im weiteren Verlauf und maßgeblich in Kapitel 4 wird stets auf das Grundkonzept Bezug genommen. In der Einführung wurde die stream processing engine Borealis [AAB⁺05] als ein einfaches Modell eines Stream processing-Systems erwähnt. Zuerst werden im Unterkapitel 2.1 die wesentlichen Fachbegriffe vorgestellt. Anschließend wird im Unterkapitel 2.2 ein Zeitbezug zu verwandten Technologien gegeben und die Streaming frameworks aus Kapitel 4 werden eingeordnet. Das Kapitel 2 endet mit einer Zusammenfassung und leitet in das Kapitel 3 ein.

2.1 Grundbegriffe

Ein großer Teil der verwendeten Grundbegriffe sind in [TvS07] definiert. An dieser Stelle werden nur die wesentlichen Grundbegriffe vorgestellt. Ein Verteiltes System wird von Andrew S. Tanenbaum und Maarten van Steen in [TvS07, S. 19, K 1.1] grob definiert:

Ein verteiltes System ist eine Ansammlung unabhängiger Computer, die den Benutzern wie ein einzelnes kohärentes System erscheinen.

Verteilte Systeme bestehen also laut [TvS07] aus unabhängigen Komponenten und enthalten eine bestimmte Form der Kommunikation zwischen den Komponenten. Informationen werden zwischen Sender und Empfänger über ein Signal ausgetauscht. Dazu hat Claude E. Shannon in [Sha48, S. 2, A. 1] ein Diagramm eines allgemeinen Kommunikationssystems vorgestellt. In der genannten Abbildung wird das Signal in einem Kanal codiert übertragen. Dabei ist das Signal einem Umgebungsrauschen ausgesetzt. Durch Einsatz geeigneter Kodierverfahren in Übertragungsprotokollen können Übertragungsfehler festgestellt und behoben werden. Im schlimmsten Fall wird eine fehlerhaft übertragene Nachricht zum Beispiel innerhalb des Transmission Control Protocol (TCP) auf Open Systems Interconnection Model (OSI)-Modell Schichtebene 4 in [Uni94, S. 40, K. 7.4.4.6 Data transfer phase] neu übertragen. Der Kanal ist das Medium in [Sha48], um die Nachricht zu übertragen. Tanenbaum und van Steen beschreiben in [TvS07, S. 184, K. 4.4.1] ein kontinuierliches Medium Temperatursensor gegenüber einem diskreten Medium Quelltext als zeitkritisch zwischen Signalen. Shannon beschreibt in [Sha48, S. 3 und S. 34] ein kontinuierliches System als:

A continuous system is one in which the message and signal are both treated as continuous functions, e.g., radio or television. [...] An ensemble of functions is the appropriate mathematical representation of the messages produced by a continuous source (for example, speech), of the signals produced by a transmitter, and of the perturbing noise. Communication theory is properly concerned, as has been emphasized by Wiener, not with operations on particular functions, but with operations on ensembles of functions. A communication system is designed not for a particular speech function and still less for a sine wave, but for the ensemble of speech functions.

Ein Stream oder ein Datastream ist damit eine Folge von Signalen. Einem Signal entspricht ein Event und die Anwendung von Funktionen findet im Processing statt. Somit ist Event stream processing eine Signalfolgenverarbeitung in einem kontinuierlichen Medium. Weiterhin soll in diesem Zusammenhang von Event stream processing oder abgekürzt ESP benutzt werden.

Da zu Streams ebenfalls eine Paketierung von unterschiedlichen Substreams aus Audio, Video und Synchronisierungsspezifikation verstanden wird, wie in [TvS07, S. 191, letzter Absatz] mit dem Kompressionsverfahren 2 und 4 für Audio und Video Übertragung der Motion Pictures Expert Group (MPEG) gezeigt, soll an dieser Stelle keine tiefergehende Untersuchung in den Zusammenschluss unterschiedlicher Algorithmen zur Komprimierung der Substreams in einen Stream erfolgen.

Weiterhin beschreibt Muthukrishnan in [Mut10] (2010) mehrere Forschungsrichtungen in Datastreams. Darunter werden „[...] theory of streaming computation [...], data stream management systems [...], theory of compressed sensing [...],“ [Mut10, S. 2, Absatz 2] aufgezählt. In *streaming computation* wird an geringen Zugriffszeiten während mehrfachem Zugriff auf gegebener Datennachrichten geforscht. Mit einem *data stream management system* soll ein Zugriff, durch Einsatz von speziellen Operatoren auf nicht endende Datenquellen möglich sein. Und in der *theory of compressed sensing* wird nach geringen Zugriffsraten zum Aufteilen in Signalmustern unterhalb der Nyquist-Rate geforscht. So findet Streaming in der Signalverwaltung, Signalverarbeitung und Signaltheorie eine Anwendung.

Während Streams auf einem Prozessorsystem verarbeitet werden können, muss eine hohe Kapazität von Daten auf einem oder mehreren Multiprozessorsystemen in einer geringen Latenz verteilt berechnet werden können. Tanenbaum und van Steen stellen die Grundlagen der Remote Procedure Call (RPC)-Verwendung in [TvS07, S. 150, K. 4.2.1] vor. Abstraktionen der Schnittstelle zur Transportebene, wie diese auf OSI-Modell Ebene 4 durch TCP angeboten werden, bilden dabei eine Vereinfachung um Funktionen mit übergebenen Parametern auf entfernten Rechnern aufzurufen. Nach der entfernten Berechnung wird das Ergebnis sofort an den Client zurückgeschickt. Dabei ist der Client bei einem synchronen Nachrichtenmodell blockiert bis der Server geantwortet hat. Sobald die Berechnung durchgeführt wurde, wartet im asynchronen Nachrichtenmodell der Client nicht und wird erst nach Abschluß der Berechnung am Server vom Server informiert. Währenddessen können weitere Anfragen durch den Client auf den Server erfolgen.

Wie in [TvS07, S. 170, K. 4.3.2] vorgestellt, wurde durch den Einsatz von Warteschlangensystemen ein zeitlich lose gekoppelter Nachrichtenaustausch zwischen Sender und Empfänger möglich. Der Empfänger entscheidet selbst wann und ob eine Nachricht eines Senders von der Warteschlange abgeholt wird. Zusätzlich entsteht die Möglichkeit des Warteschlangensystems Nachrichten zwischenspeichern. Im Gegensatz zu RPCs haben Nachrichten in Warteschlangensystemen eine Adresse und können beliebige Daten enthalten.

Mehrere Server in einem Verbund bilden ein Cluster. In einem Cluster übernehmen einzelne Rechner-Knoten die Berechnung. Außerhalb der Rechner-Knoten gibt es einen Master-Knoten mit dem die Rechenaufgaben auf die Rechner-Knoten verteilt werden. Dazu wird von Tanenbaum und van Steen in [TvS07, S. 35, A. 1.6] ein Cluster-Computersystem in einem Netzwerk gezeigt. Diese Prinzip wird auch in den Streaming frameworks eingesetzt. In dem Kapitel 4 werden die einzelnen Frameworks im Detail vorgestellt. Die Streaming frameworks selbst bieten dabei ähnlich wie es bei den RPCs der Fall ist, eine Abstraktionsschicht um die Datenverarbeitung für den Entwickler zu vereinfachen. Dazu werden abstrakte Primitive und Operatoren für die Anwendung auf einem unterliegenden Cluster bereitgestellt.

Es wurden die Grundbegriffe eines Streaming Frameworks vorgestellt und eingeordnet. In Kapitel 2.2 wird ein Basis Streaming Framework als Modell vorgestellt. Außerdem werden die Streaming Frameworks Storm, Kafka, Flume und S4 kurz zum Basis Streaming Framework Modell in Zusammenhang gebracht. Die Technologie die dazu zum Einsatz notwendig ist, wird in eigenen Unterkapiteln vorgestellt.

2.2 Technologie

Mit den gewonnen Grundbegriffen werden in diesem Kapitel ein Modell eines Basis Streaming framework vorgestellt. Zuerst wird das Grundmodell und deren Komponenten gezeigt und beschrieben. Anschließend werden die Streaming frameworks Storm, Kafka, Flume und S4 mit dem Modell des Streaming frameworks in eine Beziehung gebracht und erläutert. Das Unterkapitel 2.2 endet mit weiteren Komponenten für Streaming frameworks und leitet in das Unterkapitel Zusammenfassung ein.

Ein Basis Modell für Streaming frameworks soll durch eine Stream Processing Engine (SPE) Aurora/Borealis [ACc⁺03] veranschaulicht werden. Im weiteren Verlauf wird zur Vereinfachung das Schlagwort *Aurora* anstatt SPE Aurora/Borealis verwendet. So besteht ein Modell in [ACc⁺03, S. 2, Abb. 1 Aurora system model] aus ankommenden Daten, den *Input data streams*, aus ausgehenden Daten, dem *Output to applications* und aus wiederkehrenden Abfragen, den *Continuous queries*. In Abbildung 2.1 wird ein Modell als Grundlage für weitere Betrachtungen zu Streaming frameworks vorgestellt. Dabei wird ein azyklisch gerichteter Graph im Zentrum als Verarbeitungseinheit mit linker und rechter Datenflussüberführung gezeigt.



Abbildung 2.1: Exemplarische Darstellung eines Basis Modells für Streaming frameworks

Dabei sind *Input data streams* eine Sammlung von Werten und werden von *Aurora* als eindeutiges Tupel mit einem Zeitstempel identifiziert. Innerhalb von *Aurora* können mehrere *Continuous*

queries gleichzeitig ausgeführt werden. Abbildung 2.1 stellt in der Mitte der Grafik zwischen Eingang und Ausgang der Datentupel mehrschichtige Ebenen als Repräsentation für mehrere *Continuous queries* dar.

Ein *Continuous query* besteht aus *boxes* und *arrows*. *Boxes* sind Operatoren um ankommende Datentupel in ausgehende Datentupel zu überführen. Durch die *Arrows* wird eine Beziehung zwischen den *Boxes* hergestellt. Ein komplexer Beziehungsgraph ist in eine Richtung gerichtet, enthält keine Zyklen, hat mehrere Startknoten und einen Endknoten. Für die weitere Datenverarbeitung können in einem *Continuous query* zusätzlich persistente Datenquellen in einer *Box* zur Transformation von Datentupeln hinzugefügt werden. Dazu wird in Abbildung 2.1 unterhalb der *Continuous queries* ein mehrschichtiger separater Bereich für die persistenten Daten dargestellt. Im Endknoten des azyklisch gerichteten Graphen werden die transformierten Datentupel für weitere Anwendungen als Ausgabestrom von Datentupeln bereitgestellt. Die Abbildung 2.2 stellt beispielhaft einen azyklisch gerichteten Graphen dar. Der dargestellte Graph enthält zwei Eingangsdatenquellen. Die obere Datenquelle wird zeitlich kurz vor dem Endknoten mit der unteren Datenquelle kombiniert. Die untere Datenquelle enthält wird nach der zweiten Transformation in zwei neue Datenquellen aufgespalten. Nach drei Transformationen wird die mittlere Datenquelle in die obere Datenquelle zeitlich an der sechsten Transformation überführt. Die untere Datenquelle wird mit der oberen Datenquelle an der siebten Transformation verbunden. Die letzte Transformation bildet den Endknoten.

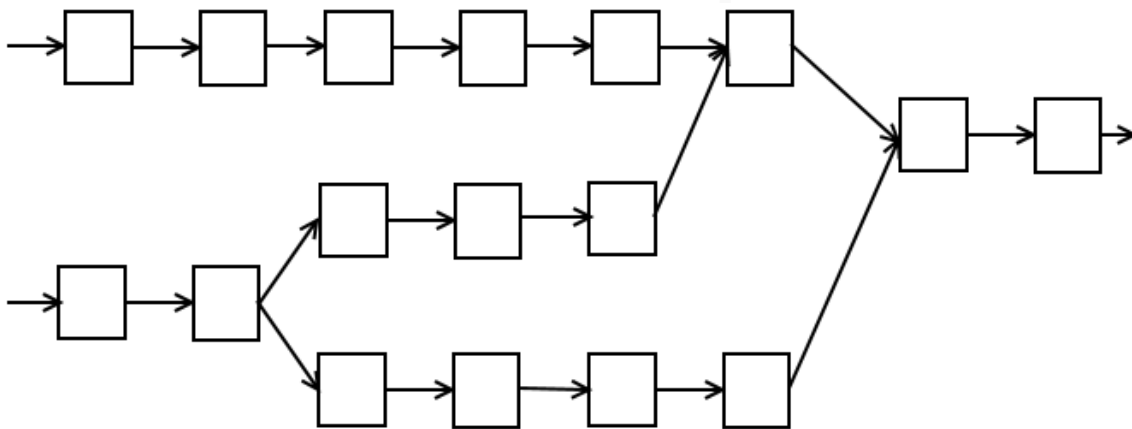


Abbildung 2.2: Darstellung eines azyklisch gerichteten Graphen

Das Datenmodell in *Aurora* besteht aus einem *Header*, dem Kopfbereich und Data, dem Datenteil als Tupel. Der Header in einem Basismodell besteht aus einem Zeitstempel. Mit dem Zeitstempel wird das Datenpaket eindeutig identifiziert und wird für das Monitoring in Quality of Service (QoS) als einen Dienst für die Güte eingesetzt. Im Gegensatz zu *Aurora* wird in der auf *Aurora* basierten Weiterentwicklung *Borealis* ein Vorhersagemodell für QoS zu jedem Zeitpunkt in einem Datenfluss möglich. Dazu wird jedem Datentupel ein Vector of Metrics (VM) hinzugefügt. Ein VM besteht aus weiteren Eigenschaften wie zum Beispiel Ankunftszeit oder Signifikanz. In [AAB⁺05, S. 3, Kap. 2.4 QoS Model] werden Vector of Metrics vorgestellt.

In *Borealis* gibt es statuslose Operatoren und Operatoren mit einem Status. Statuslose Operatoren sind Filter, Map und Union. Mit dem Filter kann eine Datenquelle nach bestimmten Bedingungen neue Datenquellen erzeugen. Der Map-Operator kann bestimmte Datentupel in einer Datenquelle transformieren wie zum Beispiel durch anreichern von Informationen. Mit dem Union-Operator können mehrere Datenquellen in eine Datenquelle zusammengeführt werden. Dazu wird ein Zwischenspeicher in der Größe $n + 1$ benutzt. In [Tea06b, S. 9, Abb. 3.1 Sample outputs from stateless operators] wird eine Übersicht über die drei Operatoren Filter, Map und Union anhand eines konkreten Beispiels dargestellt. Operatoren mit einem Status wie

Join und *Aggregate* werden in [Tea06b, S. 9, Kap. 3.2.2 Stateful Operators] als Berechnungen von speziellen Zeitfenstern, dem *window*, die mit der Zeit mitbewegen erläutert. In [Tea06b, S. 10, Abb. 3.2 Sample output from an aggregate operator] wird ein Schaubild zum Operator *Aggregate* mit der Funktion *group by*, *average* und *order* in einem *window* gezeigt. Dabei werden eingehende Datenquellen mit einem Schema nach Zeit, Ort und Temperatur in einem Zeitfenster von einer Stunde gruppiert nach Raum, gemittelt nach Temperatur und sortiert nach Zeit in eine ausgehende Datenquelle transformiert. In Abbildung 2.3 wird ein Abfrage-Diagramm in einer Stream Processing Engine dargestellt. Es werden zwei Sensoren S1 und S2 mit dem Union-Operator in einen Stream zusammengeführt. Der Stream wird von zwei Aggregate-Operatoren in einem Zeitfenster von 60 Sekunden getrennt und jeweils mit einem Filter-Operator reduziert. Durch den Join-Operator werden beide Stream in einem Zeitfenster von 60 Sekunden zu einem dritten Stream transformiert.



Abbildung 2.3: Stream Processing Engine

Datentupel in *Aurora* können aufgrund von technischen Fehlern, wie zum Beispiel Sensorausfall oder doppelter Parametrierung von mehreren Sensoren durch Hinzufügen, Löschen oder Aktualisieren verschiedene Versionen annehmen. Daher wurde das Datenmodell in *Borealis* im *Header* um einen Revisionstyp und einem Index erweitert. In separaten Speichern den Connection Points (CPs) werden die Revisionen der Datentupel als Historie gehalten. Die CPs sind direkt an einer Datenquelle angeschlossen. Operatoren können auf die CPs durch die Identifikatoren im *Header* auf benötigte Datentupel in der Historie zugreifen.

In den Streaming frameworks Storm, Kafka, Flume und S4 wird eine ähnliche Architektur wie sie im Referenzmodell von *Aurora* und *Borealis* vorgestellt wurde benutzt. Zwischen den Streaming frameworks gibt es trotzdem Unterschiede. Das Referenzmodell von *Aurora* und *Borealis* soll dem Verständnis bei der Vorstellung der Streaming frameworks im Kapitel 4 dienen und die Unterschiede aufzeigen. Mit der Einführung der Grundbegriffe und eines Referenzmodells soll nun das Kapitel Grundlagen im Unterkapitel 2.3 zusammengefasst werden.

2.3 Zusammenfassung

Im Kapitel Grundlagen wurden die Streaming frameworks in die Bereiche der Informationsverarbeitung in verteilten Systemen, der Signaltheorie und der wiederkehrenden Berechnung von Daten in Datenströmen eingeordnet. Dabei wurden aktuelle Forschungsbereiche aufgezeigt und es wurde ein Referenzmodell als Grundlage dargestellt. In der Beschreibung des Referenzmodells wurden die Primitive und die komplexen Operatoren vorgestellt. Weiterhin wurde ein Abfrage-Diagramm anhand eines azyklisch gerichteten Graphen gezeigt. Mögliche Fehlererkennung durch Qualitätssicherungsmaßnahmen wurden durch Vector of Metrics angesprochen. Fehlererkennungsmechanismen und Gütesicherung werden im Einzelnen im Kapitel 4 aufgezeigt. Bevor die Streaming frameworks vorgestellt werden, wird in Kapitel 3 die Umgebung und der Markt analysiert.

Entwurf

Kapitel 3

Analyse

In Kapitel 2 wurden für die weitere Betrachtung der Streaming frameworks notwendige Grundbegriffe erläutert und ein Referenzmodell wie in Abbildung 2.1 gezeigt vorgestellt. Zunächst wird der Markt anhand der Studie [MLH⁺13] im Kontext von Big Data in dem Streaming frameworks zum Einsatz kommt vorgestellt. Die Studie [MLH⁺13] wurde von Markl et al. im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2013 erstellt.

Zentrales Ziel der vorliegenden Studie ist eine qualitative und quantitative Bewertung des Ist-Zustandes sowie der wirtschaftlichen Potenziale von neuen Technologien für das Management von Big Data. Daraus werden standortspezifische Chancen und Herausforderungen für Deutschland abgeleitet. In der Studie werden insbesondere auch rechtliche Rahmenbedingungen anhand von Einzelfällen betrachtet. Die Studie beinhaltet zudem konkrete Handlungsempfehlungen. [MLH⁺13, S. 3]

Big Data wurde im Artikel [Lan01] von Laney 2001 in drei Dimensionen *volume*, *velocity* und *variety* eingeordnet. Die Dimension *volume* beschreibt den Umgang mit dem rasanten Anstieg an Datentransaktionen. *Velocity* gibt die Geschwindigkeit an und *variety* gibt die steigende Vielfalt der Daten an. In der Abbildung 3.1 werden die drei Dimensionen in einem Würfel dem *Big Data Cube* dargestellt. Die Abbildung 3.1 wurde aus [Mei12, S. 1, Abb. 1] in einfacher Form übernommen. So beschreibt Meijer *volume* von klein *small* nach groß *big*, *velocity* von ziehen *pull* nach drücken *push* und *variety* von komplexen strukturierten Daten Fremd-/Primärschlüssel *fk/pk* nach einfachen Zeigern auf Daten und Daten *k/v*. Das herkömmliche relationale Datenbanksystem ist in der Abbildung 3.1 unter den Koordinaten (*small*, *pull*, *fk/pk*) zu finden. Unter den Koordinaten (*small*, *pull*, *k/v*) wären Anwendungen zu finden, die das Konzept *Object-relational mapping (ORM)* implementieren. Beim Konzept *ORM* werden Objekte in relationalen Datenbanken abgebildet [Mei12, S. 1]. Die Streaming frameworks werden unter den Koordinaten (*big*, *push*, *fk/pk*) eingeordnet. Gegenüber den Streaming frameworks unter den Koordinaten (*big*, *pull*, *fk/pk*) befinden sich die Batch Processing Engines, wie zum Beispiel Apache Hadoop [res14a]. In der unteren linken Ecke (*big*, *pull*, *k/v*) werden Lambda Ausdrücke eingeordnet. Lambda Ausdrücken werden anonyme Methoden möglich. Damit können einfache Abfragen auf Sammlungen formalisiert werden. Der Compiler erzeugt zur Laufzeit die Methoden im Hintergrund. In Java stehen die Lambda Ausdrücke erst ab Version 8 zur Verfügung [res14b].

Relationale Datenbanksysteme stoßen im Zusammenhang der horizontalen Skalierung in der zentralisierten Systemarchitektur auf Probleme, wenn die Datenmenge die Kapazität einer Maschine übersteigt und dadurch das Ergebnis in keiner akzeptablen Zeit zurückgegeben wird



Abbildung 3.1: Darstellung Big Data Cube

[EFHB11, S. 30, Kap. 2.2.1]. So zeigt Edlich et al. in dem Buch [EFHB11] einen alternativen Ansatz Daten zu halten. Dabei wird der Begriff *NoSQL* als nicht relationales Datenbanksystem eingeführt und definiert [EFHB11, S. 2, K. 1.2]. In Verbindung mit horizontaler Skalierung, Replikation und niedriger Reaktionszeit wird in [EFHB11, S. 30, K. 2.2] das Consistency Availability Partition Tolerance (CAP)-Theorem erklärt. Beim CAP-Theorem besteht der Konflikt in der Konsistenz C. Es gilt zu Entscheiden ob die Konsistenz gelockert wird oder nicht. Bei einer lockeren Konsistenz und damit einer hohen Verfügbarkeit und Ausfalltoleranz können in einem Verbindungsausfall alte Zustände zurückgegeben werden. Falls nicht gelockert wird kann der Umstand in Kraft treten, sehr lange Reaktionszeiten zu erhalten. Daher wurde das Konsistenzmodell Basically Available, Soft State, Eventually Consistent (BASE) eingeführt. Es basiert auf einem optimistischen Ansatz. Eine Transaktion nimmt den Status konsistent nicht unmittelbar ein. Erst nach einer gewissen Zeitspanne ist die Transaktion konsistent. Dieses Verhalten wird als *Eventually Consistency* bezeichnet. Als Beispiel gibt Edlich et al. in [EFHB11, S. 33, K. 2.2.3] replizierende Knoten in einer Systemarchitektur an.

So wurden in der Studie [MLH⁺13] neben der Einführung in Big Data, Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken für die Branchen Handel, Banken, Energie, Dienstleistungen, Öffentlicher Sektor, Industrie, Gesundheitssektor, Marktforschung, Mobilitätsleistungen, Energie und Versicherungen als tabellarische Übersicht in [MLH⁺13, S. 105, Tab. 18] ausgegeben. In [MLH⁺13, S. 107, Abb. 54] werden Branchenschwerpunkte abgeleitet. Die genannte Abbildung wird im folgenden Zitat textuell erneut wiedergegeben:

1. Entwicklung neuartiger Technologien, um eine skalierbare Verarbeitung von

komplexen Datenanalyseverfahren auf riesigen, heterogenen Datenmengen mit hoher Datenrate zu realisieren

2. Senkung der Zeit und Kosten der Datenanalyse durch automatische Parallelisierung und Optimierung von deklarativen Datenanalysespezifikationen
3. Schaffung von Technologieimpulsen, die zur erfolgreichen weltweiten Kommerzialisierung von in Deutschland entwickelten, skalierbaren Datenanalyse-Systemen führen
4. Ausbildung von Multiplikatoren im Bereich der Datenanalyse und der skalierbaren Datenverarbeitung, welche die Möglichkeiten von Big Data in Wissenschaft und Wirtschaft tragen werden
5. Technologietransfer an Pilotanwendungen in Wissenschaft und Wirtschaft
6. Schaffung eines Innovationsklimas durch Konzentration von kritischem Big Data Know-how, damit deutsche Unternehmen und Wissenschaft nicht im Schatten des Silicon Valleys stehen
7. Interaktive, iterative Informationsanalyse für Text und Weiterentwicklung geeigneter Geschäftsmodelle zur Schaffung von Marktplätzen für Daten, Datenqualität und Verwertung von Daten
8. Datenschutz und Datensicherheit

[MLH⁺13, S. 107, Abb. 54]

Aus den abgeleiteten Schwerpunkten können mehrere Kriterien für die Betrachtung der Streaming frameworks in Kapitel 4 und des Referenzmodells in Kapitel 2.2 herangezogen werden. Zunächst werden die gewonnen Kriterien in einer Liste aufgezählt. Anschließend werden die einzelnen Kriterien als Bewertungskriterien für die weitere Untersuchung der Streaming frameworks definiert. Daraufhin werden die Bewertungskriterien auf das Referenzmodell angewendet.

Liste 3.1 - Bewertungskriterien:

- Architektur
- Prozesse und Threads
- Kommunikation
- Namenssystem
- Synchronisierung
- Pipelining und Materialisierung
- Konsistenz und Replikation
- Fehlertoleranz
- Sicherheit
- Erweiterung
- Qualität

Die ermittelten Bewertungskriterien aus Liste 3.1 unterstützen die Feststellung eines Streaming frameworks und des Referenzmodells. Damit die einzelnen Bewertungskriterien bei der Anwendung eindeutig und klar sind, werden diese zunächst definiert und zusätzlich erläutert.

Architektur stellt den verwendeten Architekturstil vor und ordnet in eine Systemarchitektur ein.

Prozesse und Threads zeigen die Anwendung von blockierendem oder nicht blockierendem Zugriff, also einer Verbindung zwischen Client und einem Server. Während der Betrachtung wird der Einsatz der verteilten Verarbeitung in der eingesetzten Architektur geprüft.

Kommunikation gibt die Form des Nachrichtenaustauschs zwischen Client und Servern an. Zum Austausch der Nachrichten kommen Nachrichtenprotokolle zum Einsatz. Dabei wird auf die Protokollschicht *Middleware*-Protokoll eingegangen. Im OSI-Modell entspricht die Sitzungs- und Darstellungsschicht einer *Middleware*-Schicht [TvS07, S. 148, Abb. 4.3 angepasstes Referenzmodell]. Dabei werden unterschiedliche Strategien RPC, Warteschlangensysteme, Kontinuierliche Systeme und Multicast Systeme, die beim Nachrichtenaustausch eingesetzt werden, innerhalb der *Middleware*-Protokolle eingeordnet. Außerdem wird das Verbindungsmodell, die Nachrichtenstruktur und der Einsatz einer Protokollversionierung vorgestellt. Weiterhin wird die Unterstützung von unterschiedlichen Nachrichtenkodierungen und Statusverwaltung betrachtet.

Namenssystem zeichnet den Ansatz eines Benennungssystems. Hierbei wird linear-, hierarchisch- oder attributbasiert klassifiziert.

Synchronisierung beschreibt die verwendeten Algorithmenarten.

Pipelining und Materialisierung gibt eine Technik an, ob komplexe Aggregate berechnet werden und innerhalb der Abfragen wieder benutzt werden können.

Konsistenz und Replikation zeigt die Skalierungstechnik auf und stellt die Verwaltung der Replikation vor.

Fehlertoleranz zeigt das verwendete Fehlermodell und stellt eine Strategie im Wiederherstellungsfall vor.

Sicherheit stellt das Konzept vor und beschreibt den Einsatz von sicheren Kanälen und der Zugriffssteuerung.

Erweiterung beschreibt Methoden weitere Systemarchitekturen anzuschließen.

Qualität zeigt das verwendete Modell für die Dienstgüte.

In der Liste 3.1 wurden Bewertungskriterien vorgestellt und definiert, die nun auf das Referenzmodell aus Kapitel 2.2 angewendet werden. In der Tabelle 3.1 wird eine Übersicht über die Bewertung zum Referenzmodell Aurora Borealis gegeben. Als Architektur wird strukturierte Peer-to-Peer-Architektur angegeben. In einer dezentralisierten Architektur, wie es die strukturierte Peer-to-Peer-Architektur ist, werden Nachrichten zwischen den Rechnerknoten die auch Peers genannt werden, mit Hilfe von verteilten Hashtabellen ausgetauscht. Dabei übernimmt bei Aurora Borealis ein Knoten den Master bei dem Nachrichten von den Verarbeitungsknoten zurückkommen. So wird in Abbildung 3.2 eine Anwendung gezeigt in der ein Server 1 die Datenverarbeitung auf zwei Datenverarbeitungsservern 2 und 3 ausführen lässt und das Ergebnis aus der Daten- und Verarbeitungsebene an einen Rechner 4 mit der Benutzerschnittstelle zurückschickt. [TvS07, S. 64, Kap. 2.2.2]

Aus der strukturierten Architektur folgt die Frage wie Prozesse untereinander kommunizieren. Die Prozesse kommunizieren entweder lokal oder entfernt asynchron über RPC. Anfragen von entfernten Prozessen werden automatisch lokal übersetzt. Ein Rechnerknoten stellt damit eine vollständige Verarbeitungseinheit dar. Der Prozess muss also gleichzeitig als Client und als Server arbeiten und ist dadurch symmetrisch. [Tea06a, S. 6, Kap. 2]

Kriterium	Bewertung
Architektur	Strukturierte Peer-to-Peer-Architektur
Prozesse und Threads	Interaktion symmetrisch
Kommunikation	Transportunabhängiges RPC
Namenssystem	Attributbasierte Benennung
Synchronisierung	Zentralisierter Algorithmus
Pipelining und Materialisierung	In/Out Attribut
Konsistenz und Replikation	Push-basiertes Monitoring
Fehlertoleranz	Replikation
Sicherheit	Nur Verfügbarkeitsprüfung
Erweiterung	Nur Eigenentwicklung
Qualität	Monitor, Optimierer, Vorausberechnen, Lokal und Global

Tabelle 3.1: Bewertung Referenzmodell Aurora Borealis

In der Kommunikation wird ein transportunabhängiges RPC angegeben [Tea06a, S. 7, Abb. 2.1]. So findet der Nachrichtenaustausch zwischen zwei entfernten Rechnern asynchron statt. Die entfernten Rechner entsprechen den Verarbeitungseinheiten. Zwischen einem führenden Rechner und einem entfernten Rechner werden zwei Nachrichten verschickt. Die erste Nachricht führt eine Aktion auf dem entfernten Rechner aus und die zweite Nachricht ist das Ergebnis das vom entfernten Rechner dem führenden Rechner zurück gegeben wird. Hierbei beschreibt Tanenbaum et al. in [TvS07, S. 158, Kap. 4.2.3] den Nachrichtenaustausch als verzögerter synchroner RPC. Das kontinuierliche Verarbeiten von Abfragen wird dabei von einem führenden Rechner der *Middleware*-Schicht übernommen. Dem führenden Rechner dem *Global Load Manager* [Tea06a, S. 28, Kap. 5] wird beim Start des Systems eine *Topology* übergeben. Die *Topology* enthält einen Ausführungsplan mit komplexen Abfragen. Der *Global Load Manager* verwaltet die Auslastung der entfernten Rechner und gleicht hohe Last durch Umverteilung der Aufgaben auf andere Rechner aus. Jeder Verarbeitungseinheit besteht aus einem *Availability Monitor* [Tea06a, S. 38, Abb. 7.2] dem Verfügbarkeitsmonitor, einem *Load Manager* der mit dem *Global Load Manager* kommuniziert und einem *QueryProcessor* der die Abfrage ausführt [Tea06a, S. 10, Kap 3.2].

Bei der Anwendung einer Verarbeitung in Aurora Borealis wird eine Konfiguration in einer Extensible Markup Language (XML)-Datei für die Verteilung der Abfragen benötigt. Im Quelltext A.1 wird eine Konfiguration für Zwei Verarbeitungseinheiten formuliert. Einer Verarbeitungseinheit wird die Abfrage *mycount* und der anderen Verarbeitungseinheit die Abfrage *myfilter* zugeordnet. Beide Verarbeitungseinheiten abonnieren den Eingangsstrom *stream Aggregate* und veröffentlichen den *stream Packet* an die angegebene Verteilungseinheit. Für die Abfrage wird eine zusätzlich XML-Datei verwendet. In der Konfiguration A.2 werden die Abfragen *mycount* und *myfilter* für die Zwei Verarbeitungseinheiten definiert. Die Abfrage wird im XML-Tag *borealis* ausgezeichnet. Mit dem XML-Tag *schema* werden komplexe Aurora Borealis Datentypen definiert.

Die Benennung wird durch Attribute gekennzeichnet. Zum Beispiel hat das Schema *Packet-Tuple* ein Feld mit dem Namen *time* und den primitiven Datentypen *int* in C objektorientierte Programmiersprache (C++). Es werden Sechs Feldtypen (*int*, *long*, *single*, *double*, *string*, *timestamp*) unterstützt [Tea06b, S. 17, Tab. 4.2]. Borealis erzeugt durch die *Marshalling*-Anwendung eine C++-Struktur *struct* vom Typ *TupleHeader* [Tea06b, S. 37, Kap. 5.2.1]. Die *Marshalling*-Anwendung kapselt die komplexe auf *Borealis* spezialisierte Networking, Messaging, Servers, and Threading Library (NMSTL) für C++ [Tea06b, S. 35, Kap. 5.2]. Der Quelltext A.3 zeigt die Methoden der *Marshalling*-Anwendung für die beschriebenen Konfigurationen A.1 und A.2. In der Abfrage der ersten Verarbeitungseinheit wird im XML-Tag *parameter* mit die Aggregatsfunktion *count()* die Anzahl der Pakete jede Sekunde nach Zeit sortiert. Die Tabelle in [Tea06b, S. 23, Tab. 4.5] zeigt eine Übersicht über die möglichen Aggregat-Parameter. Die zweite Abfrage filtert den Ausgabestrom aus der ersten Abfrage nach geraden Zeitwerten und gibt den Ausgabestrom *Aggregate* zurück. Die Abbildung 3.2 zeigt die Ausführung der Kommunikation.

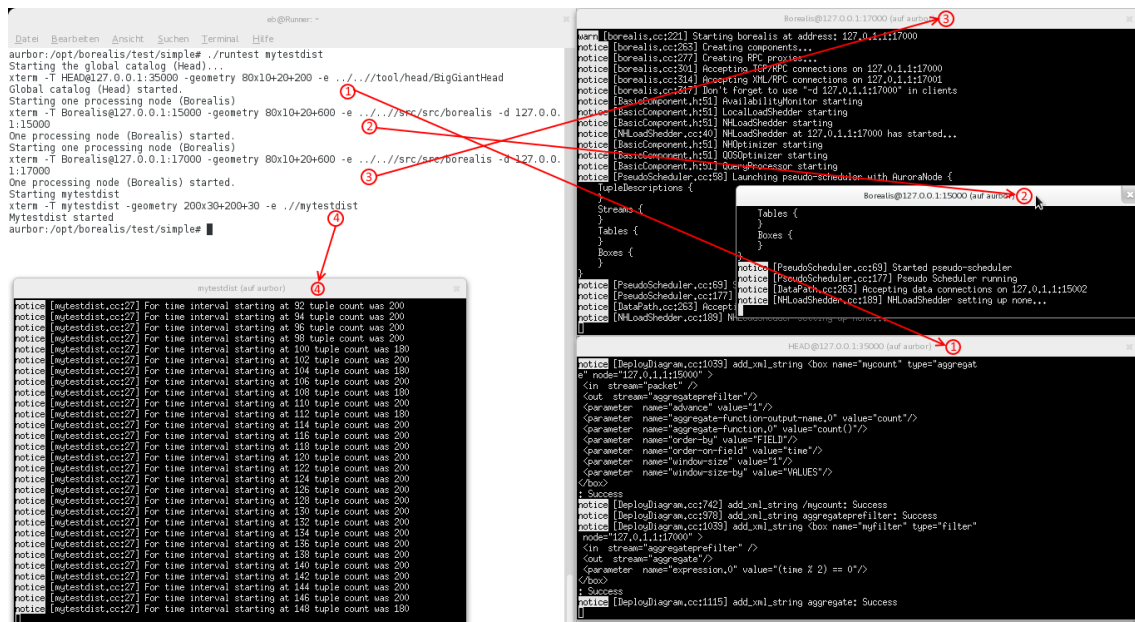


Abbildung 3.2: Aurora Borealis mit einem Master zwei Servern und einem Konsumenten

Pipelining wird durch den Einsatz von Eingangs- und Ausgangsström in Abfragen erreicht. In der Konfiguration A.2 wird von der ersten Einheit ein spezialisiertes Datentupel *AggregatePre-Filter* erzeugt und die zweite Einheit bezieht das Ergebnis und verändert es. Zusätzlich können über eine *Map*-Funktion in der Abfrage mehrere Datenströme erzeugt und komplex verarbeitet werden [Tea06b, S. 20, Kap. 4.9.1].

Die Konsistenz in den Verarbeitungseinheiten wird mit dem *Consistency Manager* erreicht. Durch die zusätzliche Komponente *Availability Monitor* werden Statusinformation zwischen den Einheiten ausgetauscht. Einzelne Verarbeitungseinheiten können repliziert werden. Die Konfiguration der Replikation wird in der Konfiguration A.1 hinzugefügt. Im Gegensatz zum XML-Tag *box* wird bei der Replikation *replica_set* verwendet. Die Abfrage wird ebenfalls dem *replica_set* zugeordnet. Innerhalb des *replica_set* werden einzelne *node*-Elemente mit Zieladresse hinterlegt. Durch die Replikation wird in Aurora Borealis Fehlertoleranz erreicht. [Tea06a, S. 34, Kap. 7]

In der Sicherheit werden keine Sicherheitsrichtlinien vorgestellt und angewendet. Die Kommunikation zwischen einzelnen Rechnern findet unverschlüsselt auf TCP-Ebene über RPC statt.

Eine Authentifizierung und Autorisierung wird nicht durchgeführt. Eine leichtgewichtete Kontrolle kann durch den *Consistency Manager* und dem *Availability Monitoring* als Protokollwerkzeuge angesehen werden. Für komplexe Kontrollen ist eine eigene Implementierung notwendig [Tea06a, S. 38, Kap. 7.2.2].

Erweiterungen können durch eigene Entwicklung in den bestehende Quelltext hinzugefügt werden. Methoden für weitreichende Abfragen in andere Umgebungen wie zum Beispiel Python sind nicht vorhanden. Eine umfangreiche Testabdeckung und eine gute Dokumentation für bestehende Methoden sind vorhanden. Das Erstellen von Aurora Borealis wurde bisher nur auf einer älteren Linux-Distribution durchgeführt. Der Quelltext in der letzten Version 2008 ist auf den Linux Compiler Version 3.1.1 angepasst und muss beim Einsatz der aktuellen Compiler-Version aktualisiert werden. Im Anhang A.3 wird eine ausführliche Anleitung zur Installation von Aurora Borealis in der aktuellen Version 2008 mit einer älteren Debian-Distribution vorgestellt. Der Quelltext von Aurora Borealis und die verwendete Debian-Version liegt im Verzeichnis *anhangSoftwareZusatz* bei. Eine lauffähige virtuelle Maschine steht ebenfalls im gleichen Verzeichnis bereit.

Die Qualität der Dienste wird in Aurora Borealis durch verschiedene Mechanismen erreicht. Lokal werden pro Rechneinheit mit dem *Local Monitor* Statuswerte von Central Processing Unit (CPU), Festplatte, Bandbreite und Energieversorgung erfasst und an den globalen *End-point Monitor* übertragen. Der *End-point Monitor* wertet die Qualität des Dienstes aus und führt eine Statistik pro Erfassung. Optimierte wird lokal durch den *Local Monitor* mit dem *Local* und *Neighborhood Optimizer* und global durch den *Global Optimizer*. Probleme werden durch die Monitore erkannt. Da jedem Datentupel ein *Vector of Metrics* dazugeschaltet ist und es möglich ist zusätzlich einen *Vector of Weights* (Lifetime, Coverage, Throughput, Latency) dazuschalten, ist eine Berechnung der Ursache eines QoS-Problems möglich. [AAB⁺05, S. 7, Kap. 5]

In der Analyse wurden die Vier Vs in *Big Data* vorgestellt und die Streaming frameworks wurden darin in einem Vergleich zu relationalen Datenbanksystemen eingeordnet. Weiterhin wurden die Konsistenz und die Verfügbarkeit im Zusammenhang von CAP und BASE vorgestellt. Mit der Studie [MLH⁺13] und [TvS07] wurden Bewertungskriterien in der Liste 3.1 erarbeitet. Abschließend wurde ausgehend von den Bewertungskriterien das Referenzmodell Aurora Borealis ausgewertet. In Kapitel 4 werden nun die Streaming frameworks vorgestellt und mit Bewertungskriterien in Liste 3.1 ausgewertet.

Entwurf

Kapitel 4

Vorstellung Streaming Frameworks

In Kapitel 2 und 3 wurden Grundlagen geschaffen, eine Analyse durchgeführt und ein Referenzmodell mit Bewertungskriterien vorgestellt und für die Anwendung auf die Streaming frameworks erläutert. In den folgenden Unterkapitel werden die einzelnen Streaming frameworks Apache Storm, Apache Kafka, Apache Flume und Apache S4 vorgestellt. Jedes Unterkapitel beginnt zuerst mit einer Übersicht über das Streaming framework. Anschließend wird kurz auf die Entstehung des Streaming frameworks bis zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Thesis eingegangen. Nach der kurzen Übersicht werden die Bewertungskriterien aus Liste 3.1 auf das Streaming framework angewendet. Dabei wird wie in der Analyse des Referenzmodells vorgegangen. Ein kurzer Vergleich zwischen dem Referenzmodell wird am Ende des Unterkapitels eines Streaming frameworks durchgeführt.

4.1 Apache Storm

In diesem Unterkapitel wird Apache Storm vorgestellt. Storm wurde von der Firma Backtype 2011 entwickelt. Im gleichen Jahr wurde die Firma von Twitter übernommen und der Quelltext auf Github veröffentlicht. [Mar13b]

Ab Version 0.9.1-incubating befindet sich Storm im Apache Incubation-Prozess [Fou13]. In der folgenden Tabelle wird eine Kurzübersicht über Apache Storm gegeben und erläutert. Anschließend werden die Bewertungskriterien aus Kapitel 3 in Apache Storm geprüft. Zuletzt wird mit dem Referenzmodell ein Zusammenhang veranschaulicht und zusammengefasst.

4.2 Apache Kafka

4.3 Apache Flume

4.4 Apache S4

4.5 Zusammenfassung

Entwurf

Kapitel 5

Anwendungsfall und Prototyp

Entwurf

Entwurf

Kapitel 6

Auswertung

6.1 Benchmark Ergebnisse

6.2 Erkenntnis

Entwurf

Entwurf

Kapitel 7

Schlussbetrachtung

7.1 Zusammenfassung

7.2 Einschränkungen

7.3 Ausblick

Entwurf

Entwurf

Kapitel 8

Verzeichnisse

Entwurf

Entwurf

Literaturverzeichnis

- [AAB⁺05] ABADI, DANIEL J, YANIF AHMAD, MAGDALENA BALAZINSKA, UGUR CETINTEMEL, MITCH CHERNIACK, JEONG-HYON HWANG, WOLFGANG LINDNER, ANURAG MASKEY, ALEX RASIN, ESTHER RYVKINA et al.: *The Design of the Borealis Stream Processing Engine*. In: *CIDR*, Band 5, Seiten 277–289, 2005.
- [ACc⁺03] ABADI, DANIEL J., DON CARNEY, UGUR ÇETINTEMEL, MITCH CHERNIACK, CHRISTIAN CONVEY, SANGDON LEE, MICHAEL STONEBRAKER, NESIME TATBUL und STAN ZDONIK: *Aurora: A New Model and Architecture for Data Stream Management*. The VLDB Journal, 12(2):120–139, August 2003.
- [Cap14] CAPITAL, KPMG: *Going beyond the data: Achieving actionable insight with data and analytics*, Januar 2014.
- [CD97] CHAUDHURI, SURAJIT und UMESHWAR DAYAL: *An overview of data warehousing and OLAP technology*. SIGMOD Rec., 26(1):65–74, März 1997.
- [Dig14] DIGITAL, EMC: *Digital universe around the world*, April 2014.
- [EFHB11] EDLICH, STEFAN, ACHIM FRIEDLAND, JENS HAMPE und BENJAMIN BRAUER: *NoSQL: Einstieg in die Welt nichtrelationaler Web 2.0 Datenbanken*. Hanser Fachbuchverlag, 2 Auflage, 2011.
- [GP84] GOLDBERG, ALLEN und ROBERT PAIGE: *Stream processing*. In: *Proceedings of the 1984 ACM Symposium on LISP and functional programming*, LFP '84, Seiten 53–62, New York, NY, USA, 1984. ACM.
- [Lan01] LANEY, DOUG: *3-D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety*. Application Delivery Strategies, 949:4, Februar 2001.
- [Mei12] MEIJER, ERIK: *Your mouse is a database*. Queue, 10(3):20, 2012.
- [MLH⁺13] MARKL, VOLKER, ALEXANDER LÖSER, THOMAS HOEREN, HELMUT KRCMAR, HOLGER HEMSEN, MICHAEL SCHERMANN, MATTHIAS GOTTLIEB, CHRISTOPH BUCHMÜLLER, PHILIP UECKER und TILL BITTER: *Innovationspotenzialanalyse für die neuen Technologien für das Verwalten und Analysieren von großen Datenmengen (Big Data Management)*, 2013.
- [MMO⁺13] MCCREADIE, RICHARD, CRAIG MACDONALD, IADH OUNIS, MILES OSBORNE und SASA PETROVIC: *Scalable distributed event detection for Twitter*. In: *2013 IEEE International Conference on Big Data*, Seiten 543–549. IEEE, October 2013.
- [Mut10] MUTHUKRISHNAN, S.: *Massive data streams research: Where to go*. Technischer Bericht, Rutgers University, March 2010.
-

- [SÇZ05] STONEBRAKER, MICHAEL, UĞUR ÇETINTEMEL und STAN ZDONIK: *The 8 requirements of real-time stream processing*. ACM SIGMOD Record, 34(4):42–47, 2005.
- [Sha48] SHANNON, CLAUDE E.: *A Mathematical Theory of Communication*. The Bell System Technical Journal, 27:379–423, 623–656, July, October 1948.
- [Tea06a] TEAM, BOREALIS: *Borealis application developer's guide*. Technischer Bericht, Brown University, May 2006.
- [Tea06b] TEAM, BOREALIS: *Borealis application programmer's guide*. Technischer Bericht, Brown University, May 2006.
- [TvS07] TANENBAUM, ANDREW S. und MAARTEN VAN STEEN: *Verteilte Systeme*. PEARSON STUDIUM, 2., Aufl. Auflage, 2007.
- [Uni94] UNION, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION: *Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The basic model*, 1994.
-

Internetquellen

- [Dat14] DATA, TWITTER: *State of The Union address 2014* URL: <http://twitter.github.io/interactive/sotu2014/#p1>, May 2014. Abgerufen am 12.05.2014.
- [Fac14] FACEBOOK: *Facebook* URL: <https://www.facebook.com/>, May 2014. Abgerufen am 12.05.2014.
- [Fou13] FOUNDATION, THE APACHE SOFTWARE: *Storm Project Incubation Status* URL: <http://incubator.apache.org/projects/storm.html>, September 2013. Abgerufen am 16.06.2014.
- [GJM⁺13] GOPALAKRISHNA, KISHORE, FLAVIO JUNQUEIRA, MATTHIEU MOREL, LEO NEUMEYER, BRUCE ROBBINS und DANIEL GOMEZ FERRO: *S4 distributed stream computing platform*. URL: <http://incubator.apache.org/s4/>, June 2013. Abgerufen am 30.06.2013.
- [Goo14] GOOGLE: *Google Search* URL: <https://www.google.de/>, May 2014. Abgerufen am 12.05.2014.
- [Jam14a] JAMES, JOSH: *Data Never Sleeps 1.0* URL: <http://www.domo.com/blog/wp-content/uploads/2012/06/DatainOneMinute.jpg>, May 2014. Abgerufen am 12.05.2014.
- [Jam14b] JAMES, JOSH: *Data Never Sleeps 2.0* URL: http://www.domo.com/blog/wp-content/uploads/2014/04/DataNeverSleeps_2.0_v2.jpg, May 2014. Abgerufen am 05.05.2014.
- [KNR13] KREPS, JAY, NEHA NARKHEDE und JUN RAO: *Apache Kafka is publish-subscribe messaging rethought as a distributed commit log*. URL: <http://kafka.apache.org/>, June 2013. Abgerufen am 29.06.2013.
- [Mar13a] MARZ, NATHAN: *Storm is a distributed realtime computation system*. URL: <https://github.com/nathanmarz/storm/wiki/Home/>, June 2013. Abgerufen am 29.06.2013.
- [Mar13b] MARZ, NATHAN: *Storm Proposal* URL: <http://wiki.apache.org/incubator/StormProposal>, September 2013. Abgerufen am 16.06.2014.
- [PMS13] PRABHAKAR, ARVIND, PRASAD MUJUMDAR und ERIC SAMMER: *Apache Flume distributed, reliable, and available service for efficiently operating large amounts of log data*. URL: <http://flume.apache.org/>, June 2013. Abgerufen am 29.06.2013.
- [res14a] *Apache Hadoop* URL: <http://hadoop.apache.org/>, June 2014. Abgerufen am 05.06.2014.
-

- [res14b] *Lambda Expressions URL:* <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/javaOO/lambdaexpressions.html>
June 2014. Abgerufen am 05.06.2014.

Entwurf

Abbildungsverzeichnis

2.1	Exemplarische Darstellung eines Basis Modells für Streaming frameworks . . .	5
2.2	Darstellung eines azyklisch gerichteten Graphen	6
2.3	Stream Processing Engine	7
3.1	Darstellung Big Data Cube	10
3.2	Aurora Borealis mit einem Master zwei Servern und einem Konsumenten . . .	14

Entwurf

Entwurf

Tabellenverzeichnis

3.1	Bewertung Referenzmodell Aurora Borealis	13
-----	--	----

Entwurf

Entwurf

Listings

A.1	Aurora Borealis Konfiguration für die Verteilung	38
A.2	Aurora Borealis Konfiguration für die Abfragen	38
A.3	Aurora Borealis Testanwendung	39

Entwurf

Entwurf

Anhang A

Zusätze

A.1 Abkürzungen

ANTLR	ANother Tool for Language Recognition. 43
BASE	Basically Available, Soft State, Eventually Consistent. 10
C++	C objektorientierte Programmiersprache. 14
CAP	Consistency Availability Partition Tolerance. 10
CP	Connection Point. 7
CPU	Central Processing Unit. 15
ESP	Event Stream Processing. 4
fk	foreign key. 9
ISO	International Organization for Standardization. 43
k	key. 9
MPEG	Motion Pictures Expert Group. 4
NMSTL	Networking, Messaging, Servers, and Threading Library. 14, 44
ORM	Object-relational mapping. 9
OSI	Open Systems Interconnection Model. 3, 4, 12

pk	primary key. 9
QoS	Quality of Service. 6, 15
RPC	Remote Procedure Call. 4, 5, 12, 13
SPE	Stream Processing Engine. 5, 7, 31
TCP	Transmission Control Protocol. 3, 4
v	value. 9
VM	Vector of Metrics. 6, 8
XML	Extensible Markup Language. 13, 14

A.2 Quelltext

Listing A.1: Aurora Borealis Konfiguration für die Verteilung

```
<?xml version="1.0"?>
<!DOCTYPE borealis SYSTEM "../../../src/src/borealis.dtd">

<deploy>
  <publish      stream="Packet"/>
  <subscribe    stream="Aggregate" endpoint="127.0.0.1:25000"/>

  <node    endpoint="127.0.0.1:15000" query="mycount" />
  <node    endpoint="127.0.0.1:17000" query="myfilter" />
</deploy>
```

Listing A.2: Aurora Borealis Konfiguration für die Abfragen

```
<?xml version="1.0"?>
<!DOCTYPE borealis SYSTEM "../../../src/src/borealis.dtd">

<!-- Borealis query diagram for: mytestdist.cc -->

<borealis>
  <input      stream="Packet"      schema="PacketTuple" />
  <output     stream="Aggregate"    schema="AggregateTuple" />

  <schema name="PacketTuple">
    <field name="time" type="int" />
    <field name="protocol" type="string" size="4" />
  </schema>

  <schema name="AggregateTuple">
    <field name="time" type="int" />
    <field name="count" type="int" />
  </schema>
```

```

    <box name="mycount"    type="aggregate" >
      <in    stream="Packet"    />
      <out    stream="AggregatePreFilter" />

      <parameter    name="aggregate-function.0"    value="count()" />
      <parameter    name="aggregate-function-output-name.0"
        value="count" />

      <parameter    name="window-size-by"          value="VALUES" />
      <parameter    name="window-size"             value="1" />
      <parameter    name="advance"                 value="1" />
      <parameter    name="order-by"                value="FIELD" />
      <parameter    name="order-on-field"          value="time" />
    </box>

    <box name="myfilter" type="filter">
      <in stream="AggregatePreFilter" />
      <out stream="Aggregate" />
      <parameter name="expression.0" value="(time % 2) == 0"/>
    </box>

  </borealis>

```

Listing A.3: Aurora Borealis Testanwendung

```

#include "args.h"
#include "MytestdistMarshal.h"

using namespace Borealis;

const uint32 SLEEP_TIME = 100;           // Delay between injections.
const uint32 BATCH_SIZE = 20;           // Number of input tuples per
    batch.
const uint32 PROTOCOL_SIZE = 4;         // Number of elements in
    PROTOCOL.

const string PROTOCOL[] = { string( "dns" ), string( "smtp" ),
    string( "http" ), string( "ssh" )
};

const Time time0 = Time::now() - Time::msecs( 100 );

////////////////////////////////////
//
// Print the content of received tuples.
//
void MytestdistMarshal::receivedAggregate( AggregateTuple *tuple )
{
    //.....

    NOTICE << "For time interval starting at "
        << tuple->time << " tuple count was " << tuple->count;

    return;
}

```

```

////////////////////////////////////
//
// Return here after sending a packet and a delay.
//
void MytestdistMarshal::sendPacket()
{
    int32      random_index;
    int32      timestamp;
    Time       current_time;
    //.....

    current_time = Time::now();

    timestamp = (int32)( current_time - time0 ).to_secs();
    if ( timestamp < 0 ) timestamp = 0;
    //DEBUG << "timestamp = " << timestamp << " current_time = " <<
        current_time;

    for ( uint32 i = 0; i < BATCH_SIZE; i++ )
    {
        random_index = rand() % PROTOCOL_SIZE;

        // This has to be in the loop scope so the constructor is rerun.
        Packet tuple;

        tuple._data.time = timestamp;
        setStringField( PROTOCOL[ random_index ], tuple._data.protocol,
            4 );

        // DEBUG << "time=" << tuple._data.time << " proto=" << tuple.
            _data.protocol;
        batchPacket( &tuple );
    }

    // Send a batch of tuples and delay.
    //
    //DEBUG << "call sendPacket...";
    sendPacket( SLEEP_TIME );

    return;
}

////////////////////////////////////
//
int main( int argc, const char *argv[] )
{
    MytestdistMarshal marshal;          // Client and I/O stream state.
    //
    // Maximum size of buffer with data awaiting transmission to Borealis
    //.....

    // Run the front-end, open a client, subscribe to outputs and inputs
    //
    // In this edited version, open will print a message and quit if an
    // error occurs.
    marshal.open();

    DEBUG << "time0 = " << time0;

```

```
// Send the first batch of tuples. Queue up the next round with a  
    delay.  
marshal.sentPacket();  
  
DEBUG << "run the client event loop...";  
// Run the client event loop. Return only on an exception.  
marshal.runClient();  
  
}
```

A.3 Installationsanleitung Aurora/Borealis

In dieser Anleitung wird die Installation von Aurora Borealis in kleinen Unterkapiteln vorgestellt. Diese Anleitung setzt ein Vorwissen in der Verwendung und Administration von Linux voraus. Zudem wird Erfahrung von Erzeugen von Anwendungen aus Quelltext benötigt. Zum Beispiel können Konflikte auftreten, wenn neue Versionen von Bibliotheken benötigt werden. Dabei müssen die Abhängigkeiten beachtet und abhängige Konflikte aufgelöst werden. Bevor das Erstellen der Anwendung beginnt werden zuerst die Voraussetzungen bestimmt und erläutert. Anschließend wird mit Quelltextfragmenten und Kommandozeilenausschnitten schrittweise die Eingabe und Ausgabe gezeigt.

A.3.1 Voraussetzungen am Betriebssystem

Die Installation von Aurora Borealis benötigt ein auf linuxbasiertes Betriebssystem. Auf dem Betriebssystem Microsoft Windows wurde eine Erstellung des Quelltextes von Aurora Borealis bisher nicht durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Anleitung wird versucht ein Ist-Zustand der Anwendung aufzunehmen. Für das Verteilte System Aurora Borealis wird die Linuxdistribution Debian benutzt.

A.3.2 Voraussetzung Erstellsystem

Einige Pakete bzw. Bibliotheken werden für das Erstellen von Aurora Borealis benötigt. Als Paketverwaltung wird unter Debian *apt* benutzt. Mit dem Befehl *apt-get* können Pakete dem Betriebssystem aus dem Standard Debian Paket-Repository hinzugefügt werden. Folgende Liste zeigt benötigte Pakete für das Erstellen von Aurora Borealis:

- build-essentials (gcc, g++, configure, make)
 - ccache
 - antlr
 - libxerces-c3.1 (Xerces-c: Used by Borealis to parse XML)
 - libtool
 - autoconf
 - automake
 - libdb5.1 (Berkeley-Db)
-

- glpk (GNU Linear Programming Kit)
- gsl (GNU Scientific Library - collection of routines for numerical analysis: used for predictive queries)
- opencv (open source computer vision: used for array processing)
- doxygen (serves to generate documentation)
- openjdk-7-jdk (java 7)

Da die letzte Version von Aurora Borealis aus dem Jahr 2008 ist, gibt es beim Erstellen mit neueren Versionen von *gcc* und *g++* Fehler. Damit die neue Version von *gcc* benutzt werden kann muss der Quelltext der Version aus 2008 angepasst werden. Eine erste Anpassung wurde versucht durchzuführen. Zum Beispiel sind bestimmte Standardmethoden direkt angegeben worden. Trotzdem wurden weiterführende Fehler gefunden. Als Fehler wird *missing #include* gemeldet. Im *borealis* Verzeichnis sind 239 *Makefiles* vorhanden. Alle *Makefiles* und die darin verbundenen Quelltext-Dateien müssen auf die neue Version geprüft werden. Eine Stabile Version mit den neuen Anpassungen kann nur durch effektive Testläufe gewährleistet werden. Um den Quelltext von Aurora Borealis nicht anzupassen kommt die ältere Version 4.0 von Debian zum Einsatz. In diesem Fall muss die Liste von benötigten Paketen angepasst werden:

- build-essentials (gcc, g++, configure, make)
- ccache
- antlr
- libxerces27 (Xerces-c: Used by Borealis to parse XML)
- libtool
- autoconf
- automake
- libdb (Berkeley-Db)
- glpk (GNU Linear Programming Kit)
- gsl (GNU Scientific Library - collection of routines for numerical analysis: used for predictive queries)
- opencv (open source computer vision: used for array processing)
- doxygen (serves to generate documentation)
- sun-java5-jdk (Java 1.5 von SUN)
- libexpat1-dev
- libreadline5-dev

A.3.3 Quelltext von Aurora Borealis herunterladen

Die Datei liegt nicht in einer öffentlichen Versionsverwaltung, sondern kann als Archive von der Brown University unter folgendem Link heruntergeladen werden: http://www.cs.brown.edu/research/borealis/public/download/borealis_summer_2008.tar.gz

Alternativ liegt der Quelltext und das Installationsmedium Debian 4.0 als International Organization for Standardization (ISO) 9660 Abbild im Ordner *anhangSoftwareZusatz*. Nachdem die Anwendung im Verzeichnis */opt* liegt kann sie im gleichen Verzeichnis entpackt werden. Im Verzeichnis liegen anschließend zwei Unterordner *borealis* und *nmstl*.

A.3.4 Kommandozeile Umgebungsvariablen festlegen

Unter Debian wird für die Kommandozeile die Shell *Bash* eingesetzt. Wenn eine Shell eröffnet wird, wird die Datei *.bashrc* im Benutzerverzeichnis aufgerufen. Darin werden Benutzerabhängige Konfigurationen abgelegt. Die Umgebungsvariablen für Aurora Borealis werden im folgenden Abschnitt gezeigt:

```
alias debug='export LOG_LEVEL=2'
alias debug0='export LOG_LEVEL=0'
export PATH=${PATH}:/opt/nmstl/bin:${HOME}/bin
export CLASSPATH='./usr/share/java/antlr.jar:$CLASSPATH'
export JAVA_HOME=$(readlink -f /usr/bin/javac | sed "s:/bin/javac::")
export PATH=${JAVA_HOME}/bin:${PATH}
export CXX='ccache g++'
export CVS_SANDBOX='/opt'
export INSTALL_BDB='/usr'
export INSTALL_GLPK='/usr'
export INSTALL_GSL='/usr'
export INSTALLANTLR='/usr'
export INSTALL_XERCESC='/usr'
export INSTALL_NMSTL='/usr/local'
export LD_LIBRARY_PATH='/usr/lib'
export ANTLR_JAR_FILE='/usr/share/java/antlr.jar'

mkdir -p bin
alias bbb='/opt/borealis/utility/unix/build.borealis.sh'
alias bbbt='/opt/borealis/utility/unix/build.borealis.sh -tool.head
-tool.marshall'
alias retool='/bin/cp -f ${CVS_SANDBOX}/borealis/tool/head/BigGiantHead
${HOME}/bin; /bin/cp -f ${CVS_SANDBOX}/borealis/tool/marshall/marshall
${HOME}/bin'
```

A.3.5 Notwendige Quelltext Anpassung

Beim Erzeugen wird unter anderen Paketen auch ANother Tool for Language Recognition (ANTLR) benutzt. Während der Erstellens findet ein Fehler auf. Bei der Konfiguration für das *Makefile* wurde ein Pfad fest einprogrammiert. Dieser feste Pfad wird nun durch einen Variable

in die Umgebungsvariable `ANTLR_JAR_FILE` ausgelagert. Dazu muss in der Datei `/opt/borealis/src/configure.ac` der Inhalt an der Stelle `ANTLR_JAR_FILE=` mit `$ANTLR_JAR_FILE` nach dem Gleichzeichen ausgetauscht werden.

A.3.6 Erzeugen von NMSTL

Borealis benutzt eine angepasste Version von NMSTL. Im Verzeichnis `/opt/nmstl` werden nun folgende Befehle nacheinander ausgeführt:

```
autoconf
./configure
make
make install
```

A.3.7 Erzeugen von Borealis

In das Verzeichnis `/opt/borealis` zurückspringen und folgende Befehle nacheinander ausführen:

```
bbb
bbbt
retool
make install
```

A.3.8 Zusätzliche Informationen

Der Support für Aurora Borealis ist seit 2008 eingestellt. Weitere Informationen stehen unter folgendem Link: <http://cs.brown.edu/research/borealis/public/install/install.borealis.html>