

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

Fakultät Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften

Masterstudiengang Informatik

Masterarbeit

zur Erlangung der akademischen Grades

Master of Science (M.Sc.)

Untersuchung und Optimierung verteilter geografischer Informationssysteme zur Verarbeitung Agrartechnischer Kennzahlen

Am Beispiel des aktuellen Standes bei Agri Con

Eingereicht von: Kurt Junghanns

Matrikelnummer: 59886

Leipzig 6. April 2015

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Thomas Riechert

Zweitprüfer: M. Sc. Volkmar Herbst

Bibliografische Angaben

Kurt Junghanns: Untersuchung und Optimierung verteilter geografischer Informationssysteme zur Verarbeitung Agrartechnischer Kennzahlen, Am Beispiel des aktuellen Standes bei Agri Con, 64 Seiten, 15 Abbildungen, 6 Tabellen, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Fakultät Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften

Masterarbeit, 2015

Satz: L^AT_EX

Abstrakt

Danksagung

Zuallererst gilt mein Dank der Agri Con. Ich bin bereits seit 2012 im Unternehmen tätig und habe dort auch meine Bachelor Arbeit verfassen dürfen. Neben der Eröffnung der beiden Arbeiten konnte ich neben meinem Studium als Werkstudent arbeiten und erste Praxiserfahrungen sammeln. Vielen Dank für die Möglichkeiten und das entgegengebrachte Vertrauen. Ich habe mich immer sehr wohl gefühlt und freue mich auf die weitere Zusammenarbeit. Speziellen Dank möchte ich an Volkmar Herbst aussprechen, da er mir in all den Jahren als Mentor hilfreich zur Seite stand. Weiterhin danke ich Herrn Professor Riechert für alle Ehrlichkeit und Professionalität während der Betreuung. Den größten Dank möchte ich aber meinen Eltern widmen, da sie mich nicht nur finanziell unterstützt haben sondern immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Inhaltsverzeichnis

Glossar	vi
Abkürzungsverzeichnis	ix
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xii
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	3
2.1 Datenbankmanagementsysteme	3
2.2 Geografische Datenverarbeitung	6
2.3 NoSQL	10
3 methodisches Vorgehen	20
4 Ausgangsszenario	27
4.1 Anforderungen	27
4.2 Ist-Stand	36
4.3 Stand der Forschung	37
5 Systemauswahl	40
5.1 GeoMesa	42
5.2 Postgres-XL	46

Inhaltsverzeichnis

5.3	Rasdaman	50
5.4	Zusammenfassung	54
6	Realisierung mit Postgres-XL	55
6.1	Verwendung	55
6.2	Entwurf	58
6.3	Implementierung	59
6.4	Tests	59
7	Fazit	64
7.1	Zusammenfassung	64
7.2	Wertung	64
7.3	Ausblick	64
A	Anhang	I
A.1	GeoTools Funktionalitäten	I
A.2	Postgres-XL Installationsskript	II
A.3	PI/R Installationsskript	II
A.4	PostGIS Installationsskript	III
A.5	Konfigurationsskript pgxcctl	III
A.6	Testdokument Funktionstests	IX
A.7	Mapfile Aggregation Punktdaten	IX
	Literaturverzeichnis	XI

Glossar

Bonitur landwirtschaftliche Beurteilung des Ackers und der Pflanzen zum Zwecke der Planung des Einsatzes von Dünger, Pestiziden, Fungiziden und Herbiziden.

Cascading Das Java Framework Cascading steht unter der Apache License dient der Erstellung komplexer Datenverarbeitungsabläufe. Dafür wird MapReduce indirekt in vereinfachter Form zugänglich gemacht.

EPSG-Code Dies ist eine vier- bis fünfstellige Ziffer zur eindeutigen Identifikation von räumlichen Referenzsystemen. Sie werden von der EPSG herausgegeben und finden weltweit Anwendung.

FastCGI FastCGI ist ein Standard zur Auslieferung von dynamischen Inhalten im Internet in Zusammenarbeit mit einem Webserver. Dabei wurde dieser Standard auf Durchsatz optimiert indem unter anderem der Interpreter nach Behandlung einer Anfrage im Arbeitsspeicher verbleibt und direkt nachfolgende Aufgaben übernimmt. Es wird als Weiterentwicklung des Common Gateway Interface (CGI) angesehen.

GeoServer Ist ein freier OGC konformer Mapserver der Open Source Geospatial Foundation, geschrieben in Java.

Manifold Internet Map Server Manifold ist eine proprietäre Produktpalette des gleichnamigen Unternehmens. Ein Produkt daraus ist der Internet Map Server, welcher Karten in Bildform aus räumlichen Daten erstellt und zur Verfügung stellt. Dies erfolgt über eine direkte Anwendung und eine Programmbibliothek.

Pig Als Apache Projekt dient Pig zur Abstraktion von Java MapReduce Jobs in der Sprache Pig Latin. Ziel ist eine Vereinfachung von MapReduce mit der gleichzeitigen Einbindung externer Funktionen.

Precision Farming Bedeutet eine individuelle Betrachtung und Bewirtschaftung einzelner Teile von Flurstücken, wodurch Unterschiede des Bodens und die variierende Ertragsfähigkeit innerhalb einer Nutzfläche berücksichtigt werden.

R Die plattformunabhängige Programmiersprache R steht unter der GNU General Public License und wird für statistisches Rechnen und dessen grafische Aufbereitung verwendet.

Scala Scala ist eine objektorientierte funktionale Programmiersprache mit einem statischen Typsystem und ist auf der JVM und LLVM lauffähig.

Spark Apache Spark steht unter der Apache License 2.0 und ist ein Framework zur Datenverarbeitung in Clustersystemen. Es tritt mit Hadoop in Konkurrenz und arbeitet mit HDFS, Apache Cassandra, OpenStack Swift, Amazon S3 und Accumulo zusammen.

Storm Apache Storm ist ein Framework speziell für Stapelverarbeitung von Datenströmen durch verteilte Prozesse. Es steht unter der Apache License 2.0

UMN MapServer Mapserver des OGC unter MIT Lizenz, Erstentwicklung durch Universität von Minnesota, welcher als CGI Modul und für verschiedene Sprachen bereitsteht.

VMware ESXi ESXi ist ein Hypervisor Stufe 1 des Unternehmens VMware und wird als Betriebssystem installiert.

VMware vSphere vSphere ist eine Sammlung von Systemen und Werkzeugen des Unternehmens VMware zur umfassenden Virtualisierung.

Web Coverage Service Ein OGC konformer Dienst zum Abruf von multi-dimensionalen Daten mit Zeit- und Raumbezug. Diese sind über eine eigene Syntax mit ihren Metadaten abrufbar.

Glossar

Web Processing Service Dieser OGC konformer Dienst ermöglicht die räumliche Analyse von Daten im geografischen Kontext. Dazu stellt der Dienst Clients Vorschriften und Modelle zur Verfügung.

Abkürzungsverzeichnis

ACID Atomicity, Consistency, Isolation und Durability

AHP Analytic Hierarchy Process

BSON Binary JSON

DBMS Datenbankmanagementsystem

DBS Datenbanksystem

EPSG European Petroleum Survey Group Geodesy

GDAL Geospatial Data Abstraction Library

GIS Geoinformationssystem

GPL General Public License

HDFS Hadoop File System

IPMI Intelligent Platform Management Interface

IS Informationssystem

JDBC Java Database Connectivity

JSON JavaScript Object Notation

JTS Java Topology Suite

Abkürzungsverzeichnis

LGPL Lesser General Public License

MPP Massively Parallel Processing

MTTF Mean Time to Failure

MVCC Multi Version Currency Control

ODBC Open Database Connectivity

ODBMS objektorientiertes Datenbankmanagementsystem

OGC Open Geospatial Consortium

SNMP Simple Network Management Protocol

TOPSIS Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

TPC Transaction Processing Performance Council

Abbildungsverzeichnis

2.1	Übersicht der Ausführung von Googles MapReduce	14
2.2	Aufbau Postgres-XL	18
2.3	Aufbau Rasdaman	19
3.1	Nutzungsstatistik der Wikipedia Seite spatial database	21
4.1	Aktuelle Infrastruktur bei Agri Con	36
4.2	Aufbau Wunsch-Stand	38
4.3	Antwortzeiten von GeoMesa und PostGIS	39
4.4	TPC-H Benchmark von PostgreSQL und Postgres-XL	39
5.1	Übersicht relevanter GIS Frameworks	41
5.2	Zeitleiste der contributor von GeoMesa	45
5.3	Zeitleiste der commits von GeoMesa	46
5.4	Zeitleiste der contributor von Postgres-XL	49
5.5	Zeitleiste der commits von Postgres-XL	49
6.1	Aufbau der Geräte des Testsystems	60
6.2	Aufbau der VMs des Testsystems	61

Tabellenverzeichnis

4.1	Wertungstabelle Funktionsumfang	33
4.2	Wertungstabelle Dokumentation	33
5.1	Wertungsmaßstab der einzelnen Metriken	42
5.2	Nutzwertanalyse GeoMesa	45
5.3	Nutzwertanalyse Postgres-XL	49
5.4	Nutzwertanalyse Rasdaman	53

1 Einleitung

Die Agri Con GmbH verwaltet als Akteur im Bereich [Precision Farming](#) täglich mehrere Millionen räumliche Daten. Diese Daten werden von mit moderner Technik ausgestatteten Landwirtschaftsmaschinen und durch die Verarbeitung durch firmeninterne und firmenexterne Mitarbeiter sowie Systeme erzeugt. Weiterhin fallen dadurch indirekt Vektor- und Rasterdaten an, welche gespeichert und anschließend verarbeitet werden. Aus den Quelldaten werden Vektordaten für beispielsweise Verteilung der Grunddüngung erzeugt. Rasterdaten werden für die Stickstoffdüngung oder auch „N-Düngung“ genannt verwendet, was unter anderem die Biomasse, die Nährstoffaufnahme und die Nährstoffverteilung beinhaltet. Diese Menge an Daten ist essentiell für das Unternehmen und dessen Kunden, weshalb diese strukturiert gespeichert und kostengünstig verarbeitet werden müssen. Nicht nur Agri Con steht vor dieser Notwendigkeit, sondern der Großteil der Unternehmen, die sich mit komplexen Geodaten beschäftigen, wie Monsanto, Google, Facebook, ESRI, OpenGEO, etc.

1.1 Zielsetzung

Die aktuellen Werkzeuge erfüllen nicht alle Anforderungen, wenn große Datenmengen zur Laufzeit bearbeitet werden müssen. Es ist zu untersuchen welche Vorteile alternative Datenhaltungssysteme bieten bzw. welche alternativen Herangehensweisen wie NoSQL und die verteilte Datenhaltung geeignet sind. Dafür sind existierende [Geoinformationssysteme \(GISs\)](#) zu untersuchen und deren Eignung für den in Kapitel 4 beschriebenen Anwendungsfall festzustellen. Die Schwerpunkte der Untersuchung sind die Möglichkeiten und die Leistungsfähigkeit der räumlichen Datenverarbeitung und nicht die Formen der Datendarstellung. Dabei werden NoSQL und Open-Source Frameworks bevor-

1 Einleitung

zugt untersucht. Aus geeigneten wird eines ausgewählt. Dieses wird speziell untersucht und eine prototypische Installation¹ erstellt. Schlussendlich soll eine Entscheidungsgrundlage anhand von bewerteten Qualitätsmerkmalen und des dargestellten Entwurfes für die teilweise Ersetzung des Ist-Standes gegeben werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn werden theoretische Grundlagen zu Datenbanken, geographischer Datenverarbeitung, NoSQL und Tests festgehalten. Daran schließt sich die Darstellung und Begründung des methodischen Vorgehens an. Anschließend definiert Kapitel 4 das Ausgangsszenario, für welches die Frameworks analysiert und getestet werden sollen, sowie die dazugehörigen Anforderungen. Darauf folgend bewertet eine Nutzwertanalyse ausgewählte Frameworks nach den Anforderungen des Anwendungsfalles. Das vorletzte Kapitel stellt das ausgewählte Framework unter den Punkten Installation, Schnittstellen sowie Verarbeitung dar und präsentiert den Entwurf sowie die Umsetzung des Prototypen. Dazu werden Funktions- und Leistungstest durchgeführt und ausgewertet. Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung, einer Empfehlung bzw. Wertung der Ergebnisse und einem Ausblick auf die zukünftige Handhabung der räumlichen Daten bei Agri Con.

¹Dabei kann eine Installation aus mehreren Frameworks bestehen und eigens implementierte Funktionalitäten enthalten

2 Grundlagen

Dieses Kapitel stellt die für die weiteren Ausführungen notwendigen Begriffe und Systeme vor. Entsprechend dem Titel dieser Arbeit werden Informationssysteme, geographische Datenverarbeitung und konkrete Systeme vorgestellt. Zu Informationssystemen wird über Datenbanken hingeführt. Die am Ende dieses Kapitels vorgestellten Systeme haben Bezug zu NoSQL, weshalb dieser und dazugehörigen Begriffe ebenso definiert werden.

Framework

Ein Framework ist eine Softwareumgebung zur wiederverwendbaren Herstellung einer Struktur oder Anwendung. Entweder werden Anwendung mit Frameworks vervollständigt oder aus daraus erstellt. In dieser Arbeit dienen Frameworks, oder auch Ordnungsrahmen genannt, zur Lösung spezieller Aufgaben und sind somit domänenspezifische Frameworks. Das heißt, dass notwendige Funktionen und Strukturen zur Lösung von speziellen Aufgaben bereits vorhanden sind, die konkreten Lösungen müssen jedoch mit Hilfe des Frameworks erstellt werden.

2.1 Datenbankmanagementsysteme

Grundlegende Kenntnisse zu Datenbankmanagementsystemen und deren Mechanismen sind Voraussetzung für das Verständnis von Informationssystemen.

2.1.1 Grundlegende Datenbankbegriffe

ACID

Die bekanntesten Vertreter von relationalen Datenbanksystemen wie Oracle, MySQL und PostgreSQL arbeiten transaktional nach **Atomicity, Consistency, Isolation und Durability (ACID)**. Dieser Begriff ist für Kapitel 2.3 notwendig.

MVCC

In grundlegenden relationalen Systemen werden Transaktionen verzögert oder sogar gesperrt, um Konsistenz und Isolation zu gewährleisten. **Multi Version Currency Control (MVCC)** erhöht die Effizienz des blockierenden Verhaltens. Dabei werden von jedem Objekt mehrere Versionen verwaltet. Neue Versionen entstehen durch Änderungen einer anderen. Eine Transaktion verwendet die zu Transaktionsbeginn aktuelle Version. Dadurch werden die allgemeinen Sperrverfahren (siehe [Kud07, S.266 ff.]) verbessert, indem lesende Transaktionen sich nicht gegenseitig blockieren und schreibende gegen lesende Transaktionen nicht mehr synchronisiert werden müssen. (vgl. [Kud07, S.270])

2.1.2 Indexstrukturen

Indexstrukturen oder Zugriffsstrukturen dienen dem effizienten Zugriff auf Dateneinträge. Ein Index ist nach [Kud07, S.284] ein Verzeichnis von Dateneinträgen der Form (k, k^*) , das den effizienten Zugriff auf allen Einträgen mit einem Suchschlüsselwert k erlaubt. Dabei bezeichnet k den Wert eines Suchschlüssels (auch Zugriffsattribut) und k^* den Verweis auf den Datensatz in der Datei, der k als Wert des Suchschlüssels enthält. Zugriffsstrukturen haben je nach Art und Umfang der Daten sowie entsprechend den Anforderungen an das **Datenbanksystem (DBS)** einen unterschiedlichen Aufbau. In der einfachsten Struktur unterscheidet man nach Indexen die direkt die Daten beinhalten, auf die Daten zeigen oder eine Menge von Adressen beinhalten. (siehe [Kud07, S.284])

2 Grundlagen

Die konkreten Indexstrukturen sind für die spätere Bewertung zu differenzieren.

Nach [Kud07, S.288] ist ein B-Baum ein dynamisch balancierter Indexbaum, bei dem jeder Indexeintrag auf eine Seite der Hauptdatei zeigt. Der Baum besitzt die Höhe h und die Ordnung m sowie die folgenden Eigenschaften:

1. Jeder Weg von der Wurzel zum Blatt hat die Länge h (balanciert)
2. Jeder Knoten enthält mindestens m Elemente (außer der Wurzel) und höchstens $2m$ Elemente (mindestens halbvolle Belegung)
3. Jeder Knoten ist entweder eine Blattseite oder hat höchstens $2m + 1$ Kinder (maximale Belegung)¹

Diese Struktur garantiert eine Belegung von 50%. Weiterhin beschreibt h die Anzahl der Seitenzugriffe als relevantes Maß für die Zugriffskosten und Datensätze n bedingen den Zugriff in maximal $\log_m(n)$ Seitenzugriffen. (vgl. [Kud07, S.288]) Eine Spezialisierung stellt der B+-Baum dar. Hierbei befinden sich die Dateneinträge ausschließlich in den Blattknoten. Die Blattknoten sind unidirektional verkettet.

R-Bäume dagegen sind balancierte Bäume und nach [Kud07, S. 523] organisieren sie k -dimensionale Rechtecke mithilfe überlappender Blockregionen. Diese Struktur wird folglich zur räumlichen Datenhaltung eingesetzt, da die Indexierung anhand räumlicher Informationen der Daten erfolgt. Ein Verzeichnisknoten besteht aus einem Tupel (ref, mur). ref steht für den Verweis auf den direkten Nachfahren und mur für das minimal umgebende Rechteck der Kindknoten. Datenknoten enthalten dagegen nur mur als eigentliches Geoobjekt. (vgl. [Kud07, S.523 ff.])

2.1.3 Mehrrechner-Datenbanksysteme

Nach [Kud07, S.394] wird bei einem Mehrrechner-Datenbanksystem (MDBS) die Datenbankverwaltungsfunktionen auf mehreren Prozessoren bzw. Rechnern ausgeführt. Kudraß ergänzt dies durch folgende Unterscheidungen:

Ein **Datenbankmanagementsystem (DBMS)** befindet sich auf eng gekoppelter Multiprozessor-Umgebung, was als shared everything bezeichnet wird. Die Verarbeitung erfolgt durch

¹[Kud07, S.284]

2 Grundlagen

mehrere Rechner mit jeweils einem **DBMS**, dabei ist der Externspeicher unter den beteiligten Rechnern partitioniert, *shared nothing* genannt. Und bei *shared disk* handelt es sich um mehrere lokal angeordnete, lose oder nah gekoppelte Rechner mit je einem **DBMS** und einer gemeinsamen Speicherzuordnung. Lokal verteilte Systeme werden als parallele Datenbanksysteme bezeichnet.

Ein Spezialfall stellen verteilte Datenbanksysteme dar. [Kud07, S.398] beschreibt Verteilte Datenbanksysteme (VDBS) als geografisch verteilte *Shared-Nothing* Systeme mit homogenen lokalen **DBMS**, die gemeinsam ein globales konzeptionelles DB-Schema unterstützen. Dagegen sind förderierte Datenbanksysteme (FDBS) ebenfalls geografisch verteilte *Shared nothing* systeme, wobei die beteiligten lokalen **DBMS** eine höhere Autonomie aufweisen, d.h. dass jeweils eine eigene lokale Datenbank mit lokalem DB-schema vorliegt. Die Unterscheidung zwischen VDBS und FDBS muss dabei speziell erfolgen.

2.1.4 Sharding

Bei Sharding von Datenbanken eine Relation in disjunkte Partitionen aufgeteilt, die auf verschiedenen Platten gespeichert werden. Vorteile dieser Methode sind Anfrageoptimierung durch Auslastung der Partitionen, Vereinfachung der Administration der Partitionen und parallele Verarbeitung. (vgl. [Kud07, S.296]) Dies setzt einen auf dieser Weise angepassten Query-Planer des **DBMS** voraus. Nach Kudraß wird ebenfalls nach drei Arten unterschieden. Konkret sind das Bereichspartitionierung, Round-Robin-Partitionierung und Hash-Partitionierung.

2.2 Geografische Datenverarbeitung

Diese spezielle Form der Datenverarbeitung berücksichtigt geografische und topologische Eigenschaften. Diese sind nach der Art und deren Bezug zueinander zu unterscheiden.

2.2.1 Bezugssysteme

Entsprechend [Kud07, S.506] erlauben Räumliche Bezugssysteme die Interpretation der gespeicherten Koordinaten als Beschreibung von Lage- und Ausdehnungsinformationen in einem Datenraum. Ein räumliches Bezugssystem besteht aus einem Koordinatensystem, einem Geltungsbereich und Angaben, die es erlauben, Daten aus unterschiedlichen Koordinatensystemen auf ein globales System abzubilden. Kudraß allgemeine Definition wird durch [Lan13, S.141 ff.] mit folgendem ergänzt:

Man unterscheidet Koordinatensysteme nach kartesisch, homogen, Kugeltransformation und Ellipsoidentransformation, wobei den kartesischen einer hoher Stellenwert zugeordnet wird. Allen Bezugssystemen wird zur Identifikation ein weltweit eindeutiger Code zugeordnet. Dieser ist ein von der European Petroleum Survey Group Geodesy (EPSG) vergebener so genannter EPSG-Code. Das auf einem Ellipsoiden basierende Bezugssystem World Geodetic System von 1984² wird von der Agri Con GmbH verwendet.

2.2.2 Datenformate

[Lan13, S.133] definiert räumliche Objekte bzw. Geoobjekte als Elemente die zusätzlich zu ihrer Sachinformationen geometrische und topologische Eigenschaften besitzen und zeitlichen Veränderungen unterliegen können. Dabei sind Geometrie, Topologie, Thematik und Dynamik kennzeichnend. Ein Geoobjekt enthält als Geometrie eine oder mehrere zwei- oder dreidimensionale Koordinaten, was die Lage, den Umfang und die Ausdehnung beschreibt. Zur Topologie zählt die Lange Umgebungen, Nachbarschaften, Teilmengen und Überlagerungen. Weiterhin werden Geoobjekte mit Sachinformationen gespeichert und je nach Anwendungsfall versioniert.(vgl. [Lan13, S.133])

einfache Geoobjekte

Ein Punkt besteht aus einer zwei- oder dreidimensionalen Koordinate und beliebigen Sach-, Topologie- und Dynamikinformationen. Mehrere Punkte bilden Linien. Bildet

²EPSG:4326

2 Grundlagen

eine Linie eine geschlossene Fläche, handelt es sich um ein Polygon. Außerdem können Gruppen von Linien und Polygonen gebildet werden und Multilines und Multipolygone bilden. Multipolygone werden oft verwendet um Löcher in Polygonen abzubilden oder komplexe Polygone zu vereinfachen.

Vektorenmodell

Es besteht die Möglichkeit eine Menge von Punkten als Vektoren aufzufassen und daraus topologische Objekte entstehen zu lassen. Um damit geografisch zu modellieren, ist eine Diskretisierung d.h. eine Zuordnung der Vektoren untereinander notwendig.

Rastermodell

Ein Raster löst einen rechteckigen Bereich mit in einem Koordinatensystem gleichmäßig angeordneten quadratischen Bildelementen bzw. Pixeln fester Größe auf. Geodaten werden ergo mit einer indizierten Matrix abgebildet. Ein geografischer Punkt wird näherungsweise durch ein einzelnes Pixel dargestellt. Linienzüge werden durch entsprechende Anordnungen zusammenhängender Pixel angenähert erfasst. Diese können dann z.B. durch Folgen von Indexpaaren (Zeile, Spalte) der zugehörigen Pixel beschrieben werden. Eine Fläche ist ebenfalls durch zusammenhängende Pixel darstellbar. Somit sind keine weiteren Zusatzinformationen zur Modellierung von Flächen wie im Vektormodell notwendig. (vgl. [Lan13, S.136]) Ein dreidimensionales Raster heißt Voxel.

Shapefile

Bei Bedarf

2.2.3 Operationen

Aggregation

TODO

Geostatistik

TODO

Resampling

Bei Bedarf

2.2.4 Geografisches Informationssystem

Ein **Informationssystem (IS)** ist eine Softwareumgebung zur umfassenden Verwendung von Daten. Es stellt Möglichkeiten der Erfassung, Speicherung und Verarbeitung zur Verfügung. Außerdem können die Daten analysiert, übertragen, angezeigt und gepflegt werden. Alle Daten und Ergebnisse daraus sind Gegenstand der Verwendung von Informationssystemen.

Wird ein **IS** im geografischen Kontext benötigt, wird ein dafür explizit programmiertes benötigt. Die geometrischen und topologischen Informationen der Geodaten müssen sich im **IS** widerspiegeln. So hat das System die topologischen Zusammenhänge zu berücksichtigen und die Daten bevorzugt optisch darzustellen.

Lange definiert **GIS** ähnlich:

Im Mittelpunkt der Geoinformatik stehen mit den Geoinformationssystemen raumbezogene Informationssysteme, die im Gegensatz zu den übrigen Informationssystemen Geoobjekte der realen Welt modellieren und diese in ein digitales Informationssystem abbilden [...]. Die Gegenstände eines Geoinformationssystems besitzen wie auch bei allen anderen Informationssystemen eine Thematik (und Dynamik). Das Besondere bei Geoinformationssystemen ist, dass Geoobjekte darüber hinaus Geometrie und Topologie als implizite und untrennbare Bestandteile aufweisen! Die Verarbeitung derartiger raumbezogener Informationen erfordert spezielle Werkzeuge bzw. Funktionen, die von den übrigen Informationssystemen nicht bereitgestellt werden [...].³

³[Lan13, S.337]

2.2.5 Java Bibliothek GeoTools

GeoTools ist eine in Java geschriebene Open Source Bibliothek welche Standardkonforme Operationen zur Verarbeitung von geografischen Daten bereitstellt. Die Implementation erfolgte nach Anforderungen des [Open Geospatial Consortium \(OGC\)](#), worauf beispielsweise Geometrien des [Java Topology Suite \(JTS\)](#) unterstützt werden und die OGC Filter Encoding Spezifikation von Attributen und räumlichen Filtern verwendet wird.(vgl. [[Geo15](#)]) Eine detaillierte Auflistung der Funktionalitäten ist im Anhang A.1 zu finden.

2.2.6 PostgreSQL mit Erweiterung PostGIS

PostGIS ist eine geografische Erweiterung der Objekt-relationalen Datenbank PostgreSQL. PostgreSQL wird dabei um geografische Datentypen, geografische Indizes und Funktionen erweitert. Konkret wird der Simple Feature Access Standard verwendet und um den Datentyp raster und weitere Funktionen zur Datenverarbeitung erweitert. (siehe [[OSG15b](#)]) Somit kann mit SQL direkt mit geografischen Daten gearbeitet werden. PostGIS steht unter der [General Public License \(GPL\)v2](#).

2.3 NoSQL

NoSQL ist ein Begriff, dessen Kontext die Abkehr von klassischen relationalen Systemen fordert oder zumindest ein Umdenken bestehender Strukturen, Vorgehen und Grundsätze anstrebt. Dies wird durch andere Abfragesprachen, nicht relationale Datenbanksysteme oder Neudefinitionen von Begriffen wie der Konsistenz zum Ausdruck gebracht. Zu den Gründen des Umdenkens zählen die im Web 2.0 anfallenden unstrukturierten Daten, welche kostenarm persistiert und Zugänglich gemacht werden müssen. Dafür wurden herkömmliche relationale Systeme nicht konzipiert. Die Menge an Daten und die geografische Verteilung dieser erzwang die Einführung neuer Methoden und Prinzipien. Der Ursprung wird in der Literatur verschieden hergeleitet, jedoch wird

immer zu den ersten Vertretern der NoSQL Bewegung Systeme mit einer anderen Abfragesprache und einfache Schlüssel-Hash Datenbanken gezählt. Auf einer Messe zu aktuellen Trends im Datenbankbereich wurde der Begriff NoSQL zuerst öffentlich für Lösungen dieser Bewegung verwendet (vgl. [Eva09]) und ist seitdem ein Sammelbegriff für eine hohe Anzahl an Systemen. Einen Überblick der bestehenden Systeme stellt Edlich auf einer eigenen Homepage bereit.⁴

NoSQL GIS

In Bezug auf NoSQL kann GIS wie in 2.2.4 definiert werden, jedoch muss das zugrunde liegende System nicht relational sein. Im Rahmen dieser Arbeit ist mit GIS ein System oder die Teilsysteme zur räumlichen Datenhaltung, Datenverarbeitung und Bereitstellung gemeint, unabhängig des Konsistenzbegriffes und der Abfragesprache.

2.3.1 Kategorisierung

Edlich unterscheidet NoSQL Datenbanken nach vier Kategorien. Jedoch kann eine eindeutige Zuteilung nicht für jedes System erfolgen, da Prinzipien verschiedener Kategorien auf eines zutreffen können. Für dieses Kapitel diene wesentlich [Edl11] als Quelle.

Key Value Datenbank

Key Value Datenbanken speichern Daten in Tupeln aus Schlüssel und Wert. Der Key ist eine Zeichenkette oder ein Hashwert und der Datentyp von Value ist beliebig im Rahmen der Datentypen der Datenbank. Datenzugriff erfolgt über Key. Es existiert keine einheitliche Abfragesprache. Erste Datenbanken die zu NoSQL zugeordnet werden sind Key Value Datenbanken. Konkret DBM und BerkleyDB. Aktuelle Vertreter sind Amazon Dynamo, Riak, Voldemort und Redis. Diese Datenbanken eignen sich für heterogene Daten, horizontale Skalierung und Schemafreiheit, da diese einfach strukturierten Daten sich in keiner Relation zueinander befinden.

⁴<http://nosql-database.org/>

Dokumentenbasierende Datenbank

Hierbei werden strukturierte Daten, hier Dokumente, unter einem Hash abgelegt und sind über diesen abrufbar. Diese Dokumente sind im großteil der dokumentenbasierten Datenbanken versioniert. Häufige Formate sind JavaScript Object Notation (JSON), Binary JSON (BSON) und YAML. Ziel ist hier schemafreie Daten zu speichern und den Zugriff zu skalieren. Dabei können zumeist keine Joins verwendbar. Bekannte Vertreter sind MongoDB, CouchDB und Terrastore.

Spaltenorientierte Datenbank

Im Gegensatz zu zeilenorientierten Datenbanken legen spaltenorientierte Datenbanken ihre Werte, hier Attribute einer Tabelle, spaltenweise ab. Dies eignet sich für OLAP und Data Warehouse, da Spalteneinfügungen kostengünstig und Garbage Collection effektiv ist. Dagegen besteht ein hoher Aufwand beim Lesen und Schreiben von zusammengehörigen Spaltendaten.

Googles Big Table erweitert diesen Ansatz und beschreibt es in dessen Paper wie folgt:

*A Bigtable is a sparse, distributed, persistent multi-dimensional sorted map. The map is indexed by a row key, column key, and a timestamp; each value in the map is an uninterpreted array of bytes.*⁵

Die mehrdimensionalen Tabellen oder Maps sind vom Format:

$n * [Domain/Keyspace] \times [item/Column Family] \times [Key \ x] * n * [key + Value]$ Googles Ansatz wurde OpenSource in HBase und Cassandra umgesetzt. Die konkrete Implementierung von Google wurde jedoch nicht veröffentlicht. HBase verwendet folgendes Format: Pro Table Zugriff auf Zeilen per Rowkey, diese enthalten Column Familys oder Spalten welche wiederum eine Map namens Column Qualifier mit Tupeln aus der Version als Schlüssel und ein Byte-Array als Wert besitzen.(vgl. [Hä13, S.13])

⁵[FC06, S.1]

Graphenbasierte Datenbank

Der bekannteste Vertreter der graphenbasierten Datenbanken ist Neo4J. Alle Daten und deren Beziehungen werden in Form von Graphen persistiert. Ein Graph besteht dabei aus Knoten und gerichteten Kanten. Knoten sind dabei strukturierte Objekte und Kanten Beziehungen zwischen den Objekten. Diese strukturierten Objekte sind Key Value Tupel. Kanten können typisiert sein. Somit lassen sich direkt Beziehungen zwischen Daten definieren, was sich für semantic web, social network, Bioinformatik und Internetrouting eignet.

Diese Datenbanken sind nur optional mit einem Schema versehen und besitzen keine einheitliche Abfragesprache. Auch sind im allgemeinen keine Joins vorgesehen.

2.3.2 Hadoop

Hadoop ist ein unter der Apache Lizenz 2.0 stehendes Java-Framework zur Datenhaltung und Verarbeitung von großen Datenmengen auf einem Verbund von mehreren Computern. Es basiert auf MapReduce und dem Dateisystem HDFS.

Das **Hadoop File System (HDFS)** ist ein verteiltes Dateisystem, welches keine besonderen Anforderungen an die Hardware stellt und für die Verwendung von mehreren hundert bis tausend Computern ausgelegt ist. Die in einem verteilten System teilnehmenden Computer heißen Knoten. Es besitzt eine hohe Fehlertoleranz und ist für den Einsatz auf kostengünstiger Hardware ausgelegt. Hoher Datendurchsatz und die Verwendung großer Dateien⁶ sind wesentliche Merkmale.(vgl. [Bor07, S.3]) Die Datei-Blöcke werden redundant auf die Knoten verteilt und sind mit Hilfe des Name-Node abrufbar.(vgl. [Hä13, S.7])

Die verteilte Verarbeitung übernimmt MapReduce. Entsprechend dem Namen entspringt der Name MapReduce aus der funktionalen Programmierung, in welcher die Funktionen „map“ und „reduce“ zum Einsatz kommen. So werden hier die Daten mit einer map-Funktion modifiziert gesammelt und mit reduce-Funktion aggregiert. Ein Master weist die Daten und Funktionen den Slaves zu, in diesem Zusammenhang werden die Slaves

⁶eine Datei kann mehrere Gigabyte bis mehrere Terrabyte groß sein und wird in Blöcke gleicher Länge aufgeteilt

2 Grundlagen

Worker genannt. Die Slaves führen die Funktionen mit den ihnen zugewiesenen Daten aus und speichern ihre Ergebnisse auf deren Festplatte ab. MapReduce wurde von Google definiert. In Abbildung 2.1 ist der beschriebene Ablauf dargestellt. Auch hier werden keine besonderen Anforderungen an die Hardware gestellt.(vgl. [JD04, S.3]) Hadoop



Abbildung 2.1: Übersicht der Ausführung von Googles MapReduce, Quelle: [JD04] S. 3

besitzt eine Master-Slave Architektur, wobei der Name-Node⁷ ankommende Anfragen bearbeitet und die Slave-Knoten organisiert. Hadoop ist per API verwendbar und bietet sich somit zur Stapelverarbeitung an. Es wird meist nur als Grundgerüst verwendet und mit Datenbanken wie HBase, MongoDB oder PostgreSQL sowie mit Frameworks für die Nutzung wie Hive, Pig, Spark oder Scalding erweitert.

Gegenüber der Möglichkeit auf unterschiedlicher Hardware direkt und gleichzeitig mit Terrabyte großen Daten zu arbeiten, steht die Kritik das MapReduce eine hohe IO auf Festplatten der einzelnen Systeme erzeugt, da alle Zwischenergebnisse auf den Festplatten abgelegt und anschließend gelesen werden.

⁷damit ist der Master-Knoten gemeint, auch Jobtracker genannt

2.3.3 ZooKeeper

Das Apache Projekt ermöglicht verteilten Prozessen über ZNodes miteinander zu kommunizieren. ZNodes sind Datenhalter, welche ihre Daten in einem Namensraum versionieren. Es wird häufig gleichzeitig mit Hadoop⁸ eingesetzt. Ziel ist dabei ein hoher Durchsatz, geringe Latenzen, Hochverfügbarkeit und effektiver Zugriff durch die Prozesse. Dabei verwaltet ZooKeeper eine geringe Datenmenge von einigen Kilobyte, da einzig Metainformationen von Interesse sind.⁹

2.3.4 Thrift

Thrift ist nach [Sofa] ein Framework zur Entwicklung skalierender Programmiersprachen übergreifender Dienste. Es verbindet einen Softwarestapel mit einer generativen Engine. Unterstützte Programmiersprachen sind C++, Java, Python, PHP, Ruby, Erlang, Perl, Haskell, C#, Cocoa, JavaScript, Node.js, Smalltalk, OCaml, Delphi und andere. Dabei muss sich der Entwickler nicht mit den einzelnen Schichten des OSI Modells beschäftigen und auch keine Eigenheiten der Programmiersprachen berücksichtigen. Es werden Datentypen, der Transport mit Thrift eigenen Protokollen, die Datenversionierung und Gegenstellen der Dienste durch das Thrift Framework bereitgestellt. Thrift wurde 2007 von Facebook freigegeben. [MSK07, S.1]

2.3.5 Accumulo

Hierbei handelt es sich um ein Apache Projekt, es ist eine Java Open-Source Implementation des BigTable Ansatzes von Google und wird seit 2008 entwickelt. Es verwendet Hadoop, ZooKeeper und Thift. Der BigTable Ansatz wird um Iteratoren, Zellenbezeichnungen, Constraints, physische Verteilungsmöglichkeiten einer dokumentbasierten Datenbank und die Unterstützung der gleichzeitigen Verwendung mehrerer HDFS namenodes erweitert. Weitere Funktionen sind folgende:

- Verwendung mehrerer Master

⁸siehe 2.3.2

⁹siehe [Sofb]

2 Grundlagen

- Verwendung einer eigenen Zeitsynchronisation
- Eingebaute temporäre Datenhaltung im Arbeitsspeicher
- Bereitstellung von Testimplementierungen per API

Es existieren weiterhin verschiedene Erweiterungen zum Datenmanagement und Änderung des Ordnungsrahmens zur Verfügung. [Sof14a]

2.3.6 GIS GeoMesa

GeoMesa ist eine unter Apache License Version 2.0 stehende geografische Datenbank der Firma LocationTech¹⁰ mit den Möglichkeiten der verteilten Verarbeitung und Versionierung von geografischen Daten. Dieses Framework ist in *Scala* geschrieben. Es erweitert Accumulo¹¹, unterstützt die GeoTools API und bietet ein Plugin für den Mapserver *GeoServer* an. Die Daten werden nach Geohash verwaltet. (vgl. [Fox14])

GeoMesa wird in Verbindung mit stream processing¹² und batch processing¹³ verwendet. Zur räumlichen Datenverarbeitung werden Scala Bibliotheken wie *JTS* und *GeoTools* eingesetzt. Vorrangig werden Vektordaten von GeoMesa verarbeitet, durch eine optionale Erweiterung sind auch Rasterdaten verwendbar. Datenimport wird *ingest* genannt, erfolgt über die Kommandazeile und unterstützt die Datenformate CSV, TSV und SHP. CSV, TSV, Shapefile, GeoJSON, and GML können dagegen über den selben Weg exportiert werden. Weiterhin erfolgt der Datenexport und -import über *Scala*. GeoMesa ist gedacht, um initial große Datenmengen per *Ingest* zu laden und diese anschließend mit Frameworks zur verteilten Datenverarbeitung wie *Spark* und dafür vorgesehenen Bibliotheken zu verarbeiten.

¹⁰<https://www.locationtech.org/>

¹¹siehe 2.3.5

¹²bspw. *Spark* oder *Storm*

¹³bspw. *Pig* oder *Cascading*

2.3.7 Postgres-XL

Postgres-XL ist ein frei verfügbares Clustersystem für PostgreSQL unter der Mozilla Public License. XL steht dabei für eXtensible Lattice, erweiterbarer Verbund. Damit soll es ermöglicht werden, mit PostgreSQL verteilt Schreiboperationen zu skalieren sowie parallele Datenverarbeitung auf mehreren physischen und virtuellen Systemen gleichzeitig zu betreiben. Dafür wird zur verteilten Datenhaltung **ACID** mit **MVCC** und zur parallelen Verarbeitung ein **Massively Parallel Processing (MPP)** Mechanismus eingesetzt. (siehe [Tra15b]) Die Postgres-XL Umgebung nutzt mehrere PostgreSQL Instanzen und bietet Schnittstellen für alle Instanzen an.

Abbildung 2.2 verbildlicht den Aufbau. Laut Abbildung wird als erstes ein Load-Balancer angesprochen und es existieren mehrere GTM Instanzen. Dies wird in der Dokumentation nicht belegt. Die Elemente sind nach [Tra15b] wie folgt beschrieben:

Global Transaction Manager Dient als Verwaltungselement der Transaktionen und realisiert **MVCC** über das System. Laut Dokumentation existiert genau ein GTM pro Cluster, um **MVCC** mit einem globalen Kontext realisieren zu können. Der GTM wird von jeder Coordinator Instanz angesprochen. Es wird jedoch zusätzlich pro physischem Knoten des Clusters ein GTM-Proxy empfohlen, welcher die Anfragen an den GTM bündelt.

Coordinator Jeder Coordinator dient als Eintrittspunkt in den Cluster, ruft von der GTM Instanz pro SQL Statement eindeutige Transaktionsnummern und globale Informationen ab sowie formuliert Subqueries für die relevanten DataNodes entsprechend seines Query-Planers.

Data Node Diese Elemente sind PostgreSQL Instanzen, welche die konkreten Daten vorhalten und das Transaktionsmanagement an den GTM abgegeben haben. Die Datenbanken und Tabellen der DataNodes werden entweder per partition verteilt oder repliziert. Anfragen können von verschiedenen Coordinators gleichzeitig in unterschiedlichen Sitzungen erfolgen. Auf Grund der Kapselung besitzt jeder Data Node seinen eigenen Kontext zur Transaktion.

Dabei besitzt jeder Coordinator und jeder DataNode einen ConnectionPool, welcher die Verbindungen verwaltet. Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit, besteht die Möglichkeit,

2 Grundlagen

für jedes Element im Cluster eine dazugehörige schlafende Instanz zu erzeugen, welche bei Ausfall der eigentlichen Instanz für diese einspringt. Jedes Element im Cluster ist einzeln zu konfigurieren, was zu $n * 3 + 1$ verschiedenen Konfigurationen bei n DataNodes führt. Zur Vereinfachung der Erstellung und Verwaltung eines Clusters sind neben den von PostgreSQL gelieferten Kommandozeilentools weitere durch Postgres-XL gegeben. Zur Erstellung und Verwaltung eines Clusters kann pgxc-ctl eingesetzt werden. Damit kann mit einer Konfigurationsdatei ein Cluster definiert sowie erstellt werden oder das Cluster mit einem Befehl um Knoten ergänzt werden. Ebenso sind Erweiterun-

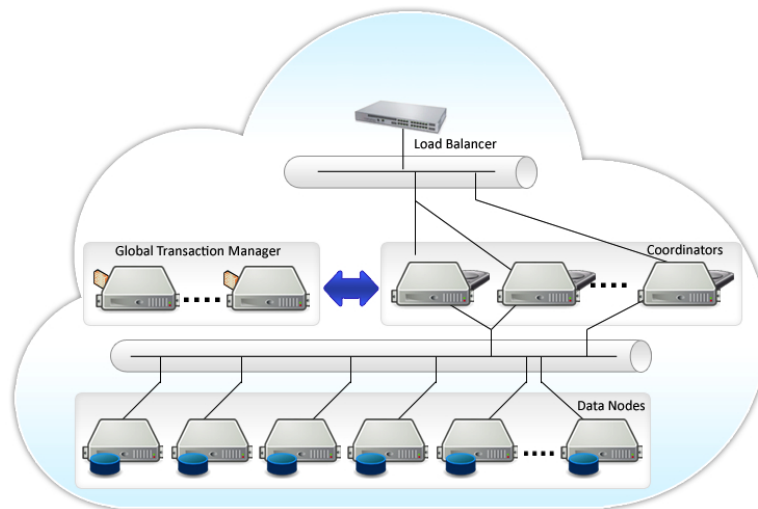


Abbildung 2.2: Aufbau Postgres-XL, Quelle: http://www.postgres-xl.org/wp-content/uploads/2014/04/xl_cluster_architecture1.jpg

gen wie PostGIS, DBLink oder PL/R installierbar. Es ist zu erwähnen, dass die Version 9.2.34 keine Trigger unterstützt.¹⁴

2.3.8 Array DBMS Rasdaman

Rasdaman ist ein Array-Datenbanksystem speziell zum speichern und verarbeiten von Rasterdaten. Es erweitert eine relationale Datenbank und wird mit multi-dimensionalität der Daten, einer eigenen SQL ähnlichen Abfragesprache, Parallelisierung und Skalierbarkeit in beliebigen Maßstab sowie OGC konformen Diensten beworben. Es ist als

¹⁴siehe <http://files.postgres-xl.org/documentation/intro-what-is.html>

2 Grundlagen

Client bzw. API unter der Lesser General Public License (LGPL) 3 und als Server unter der GPL 3 für Linux, MacOS und Solaris verfügbar. Als OGC konforme Dienste werden WMS 1.3, WCS 2.0, WCS-T 1.4, WCPS 1.0 und WPS 1.0 bereitgestellt. Die API kann in Java, C++ und über die eigene Abfragesprache rasql verwendet werden. (vgl. [OSG14]) Der beschriebene Aufbau ist unter Abbildung 2.3 dargestellt.

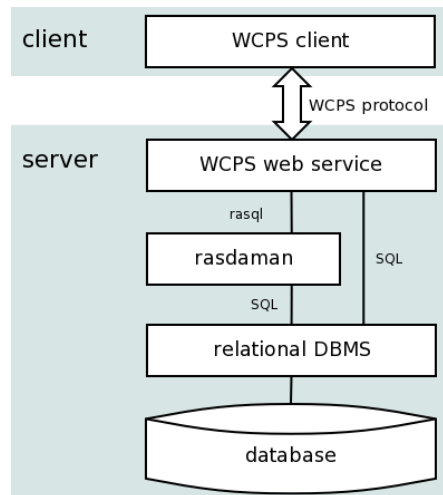


Abbildung 2.3: Aufbau Rasdaman, Quelle: <http://www.rasdaman.org/raw-attachment/wiki/Technology/wcps-stack.png>

Es besteht die Möglichkeit, Rasdaman zu einer bestehenden PostgreSQL zu installieren und direkten Datenaustausch zwischen den beiden Systemen zu ermöglichen. Weiterhin kann Rasdaman in Verbindung mit GDAL verwendet werden. Momentan existiert eine Community und eine Enterprise Variante. Dabei verfügt die Enterprise Variante über mehr Features wie beispielsweise Datenkomprimierung, Serververwaltung per Webbrowser, Laufzeitoptimierungen und verschiedene Datenbankschnittstellen. Von der verwendeten Datenbank wird BLOB als Datenbankinterner Datentyp verwendet. (vgl. [Ras14d])

3 methodisches Vorgehen

Das Thema "Untersuchung und Optimierung von verteilten geografischen Informationssystemen zur Verarbeitung agrartechnischer Kennzahlen" besteht aus vier Unteraufgaben:

Untersuchung bestehender Frameworks anhand von Qualitätsmerkmalen

Die erste Hälfte dieser Arbeit ist eine Softwareauswahl im Bereich der Datenverarbeitung. Es handelt sich dabei nicht um Anwendersoftware, wodurch keine empirischen Studien der Benutzung der Frameworks durch Anwender und keine Kopplung mit der Unternehmensstruktur notwendig ist. In diesem speziellen technischen Kontext sind wissenschaftliche Vorgehensweisen zur Softwareauswahl notwendig. Darin soll mit Mitteln des Softwarequalitätsmanagement und allgemein Prinzipien der Softwareentwicklung eine nachvollziehbare, auch auf ähnliche Projekte übertragbare und wissenschaftlich korrekte Vorgehensweise erreicht werden. Dafür geeignet ist eine Nutzwertanalyse.

Aus gegebenen Anforderungen¹ sind Qualitätsmerkmale zu erstellen. Davon ist die Mindestmenge welche zur Eignung eines Frameworks notwendig ist bzw. die notwendige Qualität zu definieren. Darauf aufbauend sind Qualitätsmetriken zu erstellen, welche die einzelnen Qualitäten messbar machen. Eine Menge von scheinbar geeigneten Frameworks ist anhand der definierten Metriken zu untersuchen. Dabei sind jedoch nur die für den Anwendungsfall relevanten Qualitäten zu untersuchen. Aus bekannten GIS Frameworks werden vielversprechende ausgewählt und somit die Menge der zu untersuchenden Frameworks erstellt. Diese Vorauswahl erfolgt anhand der Tabelle „Table of free systems especially for spatial data processing“ in [\[Wik15b\]](#). Nicht einheitlich

¹siehe 4.1

3 methodisches Vorgehen



Abbildung 3.1: Nutzungsstatistik von 90 Tagen der Wikipedia Seite „Spatial database“ nach [Wik15a]

messbare Kriterien zur Softwareauswahl wie Marktposition, Support und Community fließen in diese Bewertung nicht ein, werden jedoch im Sinne der Agri Con ergänzend festgehalten.

Wikipedia dient zur Vorauswahl der Frameworks als Quelle, da diese Website von Arbeitnehmern genutzt wird und somit diese Community die Tabelle aktuell und ausreichend vollständig hält. Der Unternehmensbezug ist in der Aufrufstatistik begründet, welche in Abbildung 3.1 dargestellt ist. So wurde die Website am Mittwoch dem 21.1.2015 250 mal, dagegen am Samstag dem 17.1.2015 111 mal aufgerufen. Allgemein ist an Tagen an Wochenenden etwa die Hälfte der Aufrufe pro Tag gegenüber Montag bis Freitag zu beobachten. Weiterhin war zu den Weihnachtsfeiertagen eine *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* wesentlich geringere Anzahl an Aufrufen zu verzeichnen: 1650 Aufrufe zwischen dem 22.12.2014 und 4.1.2015 im Gegensatz zu 3005 Aufrufe zwischen dem 8.12.2014 und 21.12.2014. Diese Aufrufstatistik belegt das die Nutzung der Website etwa zur Hälfte durch Arbeitnehmer erfolgt und somit für Unternehmen interessant ist.

Auswahl eines Frameworks

Aus der untersuchten Menge ist eines anhand der gemessenen Nutzwertes auszuwäh-

3 methodisches Vorgehen

len. Der Ist-Stand² der Agri Con ist über Jahre hinweg durch wachsende Anforderungen im technischen und organisatorischen Bereich entstanden. Aus diesem Grund ist die Auswahl eines Frameworks für den gesuchten Anwendungsfall aufwendig. Die Wahrscheinlichkeit der Eignung mehrerer Frameworks scheint daher nach der Einschätzung des Autors gering. Diese induktive Hypothese gilt es in dieser Teilaufgabe zu belegen. Eine detaillierte Bewertung der Frameworks anhand aller Qualitäten würde danach dazu führen, dass kein Framework geeignet erscheint. Deshalb ist die Nutzwertanalyse zunächst anhand deren Spezifikationen durchzuführen. Für derartige Entscheidungen kann stattdessen das Vorgehen **Analytic Hierarchy Process (AHP)** verwendet werden. Dabei werden verschiedene Alternativen für eine Anforderung entsprechend Kriterien hierarchisch bewertet. Schlussendlich wird der Wert einer Alternative über Matrizenberechnungen der Kriteriumswerte unter Berücksichtigung der Wertigkeit der einzelnen Kriterien und Unterkriterien erstellt. (siehe [Gau]) Dieser Entscheidungsvorgang ist für Szenarien geeignet, in welchen eine Vielzahl von etwa gleich geeigneten Alternativen vorliegt und die Bewertung eines Kriteriums Teilbewertungen anderer Alternativen berücksichtigen muss, um die beste Alternative herausarbeiten zu können. Dies ist im Szenario dieser Arbeit nicht gegeben:

- Die Menge an für den Vergleich verwendbaren Kriterien ist gering, da nur die Spezifikation als Quelle dienen soll.
- Die Kriterien sind zwar unterschiedlich zu werden, aber nicht direkt hierarchisch abbildbar.
- Defizite der Frameworks sind im Anschluss an die Auswahl zu implementieren, wobei der Aufwand abhängig von Kriterium und Framework ist. Eine Berücksichtigung dessen ist in **AHP** nicht gegeben.
- Die Menge an Alternativen ist gering.
- Die Alternativen unterscheiden sich in Hauptelementen wesentlich voneinander, wodurch die Bewertung eines Kriteriums bereits das Framework ausscheiden lassen kann.

²siehe 4.2

3 methodisches Vorgehen

Das Vorgehen **TOPSIS** eignet sich auf Grund der Ähnlichkeit zur Nutzwertanalyse ebenfalls. Die Ähnlichkeit besteht darin, dass beide Vorgehen Alternativen entsprechend ihrer Erfüllung oder dem Abstand zur schlechtesten und besten Möglichkeit bewerten. Der Autor entschied sich gegen **TOPSIS**, da die Nutzwertanalyse übersichtlicher und nachvollziehbarer erscheint sowie die Darstellung der abstrakten Entfernung zur bestmöglichen theoretischen Alternative keinen Erkenntnisgewinn darstellt. Dieser Abstand bildet nicht den Aufwand zum Erreichen des bestmöglichen Zustandes ab. Höchstwahrscheinlich müssen Funktionen manuell hinzugefügt werden. So kann der Abstand von Alternative A geringer sein als jener einer Alternative B, jedoch ist der Aufwand zur Umsetzung von A doppelt so hoch wie für B. Dieses Fehlen der Integration des Aufwandes macht den Abstand und somit **TOPSIS** uninteressant für diese Untersuchung.

Entwurf eines Prototypen

Das ausgewählte Framework ist detailliert zu untersuchen. Aus dieser Untersuchung soll ein Entwurf zum Einsatz bei der Agri Con entstehen. Dabei ist besonders dessen Architektur, die Konfiguration und fehlende Funktionalitäten zu beleuchten, welche mit nachträglicher Implementierung in das Framework einzubinden sind. Auf Grund der wesentlich unterschiedlichen Frameworks, kann vor der Auswahl keine konkrete Architekturempfehlung verwendet werden. Dieser Entwurf ist nach den Anforderungen und den Eigenheiten des Frameworks zu erstellen. Eine wesentliche Grundlage sind dabei Referenzimplementierungen und Guidelines des entsprechendem Rahmenwerkes.

Prototypische Implementierung

Der Entwurf wird schlussendlich umgesetzt und anhand der Funktions- und Leistungstests bewertet. Auch diese Bewertung erfolgt im Rahmen einer Nutzwertanalyse, jedoch Anhand des bestehenden Entwurfs und der gemessenen Daten aus den Tests. Ziel ist dabei die Eignung des Prototypen hinsichtlich des geforderten Einsatzzweckes darzustellen. Dafür werden die definierten Qualitäten herangezogen. Außerdem soll eine Einschätzung aus Entwicklersicht gegeben werden, welche Preis, Marktposition, Support und Community einschätzt. Diese Ergänzung ist notwendig, um weiterhin den Aufwand zur Einbindung des Frameworks in die Unternehmensstruktur und die Zukunftsfähigkeit einschätzen zu können.

3 methodisches Vorgehen

Für die grobe Nutzwertanalyse zur Auswahl eines Frameworks ist im nachfolgenden Kapitel die Darstellung des Ist-Standes sowie die Anforderungen an das Framework zu finden. Die Definition der Testfälle zur Datenerhebung für die detaillierte Nutzwertanalyse des Prototypen schließt sich daran an.

Es folgt die Definition der Tests abhängig des Anwendungsfalles. Die Ein- und Ausgaben sind in Kapitel 4.1 dargestellt. Die Tests müssen einerseits vergleichend sein, ergo bei unterschiedlichen Systemen die gleichen Merkmale testen und wiederholbar sein, andererseits die relevanten Merkmale testen.

Es handelt es sich somit um systematische Tests:

*Ein systematischer Test ist ein Test, bei dem
die Randbedingungen definiert oder präzise erfasst sind,
die Eingaben systematisch ausgewählt wurden,
die Ergebnisse dokumentiert und nach Kriterien beurteilt werden, die vor dem Test
festgelegt wurden.³*

Um die Systeme auf Softwarequalität, beschrieben auf Seite 28, zu testen, sind Funktionstests notwendig. Im folgenden bezieht sich „Systeme“ auf die untersuchten Frameworks. [Lud07] verweist auf Funktionstests auf Seite 455 wie folgt:

*Werden die Testfälle auf Basis der in der Spezifikation geforderten Eigenschaften
des Prüflings ausgewählt (z.B. Funktionalität, Antwortzeit), dann spricht man von
einem Block-Box-Test oder auch von einem Funktionstest (19.5).*

Dazu wird auf Seite 471 der Umfang des Funktionstestes wie folgt umrissen:

*Ein umfassender Black-Box-Test sollte
alle Funktionen des Programms aktivieren (Funktionsüberdeckung),
alle möglichen Eingaben bearbeiten (Eingabeüberdeckung),
alle möglichen Ausgabeformen erzeugen (Ausgabeüberdeckung),
die Leistungsgrenzen ausloten,
die spezifizierten Mengengrenzen ausschöpfen,
alle definierten Fehlersituationen herbeiführen.*

Im Rahmen dieser Arbeit soll dieser Umfang wie folgt begrenzt werden:

³[Lud07, S.446]

3 methodisches Vorgehen

Funktionsüberdeckung Zur Einschätzung der Eignung eines Systems für den Anwendungsfall sind ausgewählte Funktionen zu testen. Im allgemeinen besitzen die ausgewählten Systeme Funktionen die in diesem Rahmen nicht genutzt werden sollen, jedoch auch Funktionen die von Hand ergänzt werden müssen. Die notwendige Menge an Funktionen soll einzig getestet und somit abgedeckt werden.

Eingabeüberdeckung Auch hierbei stehen verschiedene von den Systemen bereitgestellte Schnittstellen und Austauschformate zur Verfügung, aber es sollen nur die relevanten untersucht werden.

Ausgabeüberdeckung siehe Eingabeüberdeckung

Leistungsgrenzen Dafür werden eigene Tests definiert und verwendet.⁴

Mengengrenzen Die zu untersuchenden Systeme eignen sich zum Speichern großer Datenmengen die mehrere Terabyte bis Petabyte umfassen. Da die vorhandenen Datenmengen diese Größe unterschreitet, müssen die Mengengrenzen nicht wesentlich getestet werden.

Fehlersituationen Es besteht nicht das Ziel die Fehleranfälligkeit als einzelnes Merkmal zu untersuchen, weshalb dafür keine Testfälle erstellt oder durchgeführt werden. Einzig die Korrektheit der Berechnungen wird überprüft, indem die Ergebnisse des aktuellen Ist-Standes zum Vergleich herangezogen werden.

Ein Kriterium der Untersuchung in dieser Arbeit ist die Leistung. Nach Kesselman in [Han95, S.20] ist Leistung die gewichtete Summation von Leistungsindizes, wobei ein Leistungsindex die Quantifizierung einer Eigenschaft eines Systems ist. Wesentliche Leistungsindizes sind Laufzeiten von einfachen oder komplexen Operationen. Es wird hier nur die spezielle Leistung gemessen, da ausgewählte Eigenschaften betrachtet werden und somit nicht die Leistung für einen allgemeinen Anwendungsfall. Es existieren vordefinierte Leistungstests, dabei sind jene des [Transaction Processing Performance Council \(TPC\)](#) sowie die Benchmarks 001, 007, HyperModel und Justitia zu nennen. Diese sind jedoch nicht für den zu untersuchenden Anwendungsfall geeignet, da sie die

⁴siehe 3

3 methodisches Vorgehen

allgemeine Leistungsfähigkeit und Effektivität messen und somit nicht die gesuchten Werte der GIS ermitteln.

Der in diesem Zusammenhang in der Literatur verwendete Begriff Benchmark ist hier jedoch ungeeignet, da die Software und nicht die Hardware untersucht werden soll:

*Benchmarking ist eine Methode der Analyse des Leistungsverhaltens von Rechensystemen anhand von Referenzprogrammen oder Sätzen von Referenzprogrammen (Benchmarks). Dabei wird das Leistungsverhalten verschiedener Rechensysteme in Relation gesetzt, um so Vergleichskriterien für Rechensysteme zu erhalten.*⁵

Eine hier betrachtete Leistungs- und Laufzeitmessung ist dabei wie folgt definiert:

*Unter Leistungsmessung versteht man die Beobachtung des Ablaufverhaltens eines Programms bei der Ausführung auf einem realen System. Das Ziel das dabei verfolgt wird, ist die Gewinnung von Erkenntnissen, die zur Optimierung eines Programms genutzt werden können.*⁶

Die aus der Leistungsmessung gewonnenen Erkenntnisse dienen hierbei als Qualitätsmerkmale und werden nach definierten Metriken gewichtet.

Gleichzeitig zur Durchführung der Leistungstests ist die Auslastung des Systems zu überwachen und zu protokollieren. Im Allgemeinen wird die Auslastung der CPU, der Anteil des reservierten Arbeitsspeichers und die Anzahl an Operationen auf der Festplatte überwacht. Die Durchführung unterscheidet sich je nach Betriebssystem und Art des logischen Systems. Jedoch ist darauf zu achten die eigentlichen Messungen nicht nennenswert zu beeinflussen. Ziel ist ein Kompromiss aus hochfrequenter Auflösung der Daten der Systemauslastung und dem dafür notwendigen Aufwand in Form von Rechenzeit. Außerdem ist die Auslastung des Systems vor dem Start der Leistungstests festzuhalten, um den Grundwert zu erhalten.

⁵[Han95, S.24]

⁶[Han95, S.28]

4 Ausgangsszenario

4.1 Anforderungen

Aktuelle Möglichkeiten der Datenerfassung über Sensoren und moderne Probenahmegeräte führen zu mehr und mehr Datensätzen, die für einen Landwirtschaftsbetrieb ausgewertet werden müssen. Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit, Daten Jahresübergreifend und betriebsübergreifend auszuwerten, um pflanzenbauliche Zusammenhänge über statistische Methoden untersuchen zu können. In den letzten 3 Jahren wurde beispielsweise nur zum Thema N-Versorgung¹ für einen Betrieb etwa 800 Datensätze mit 1,9 Mio Einträgen erfasst. Alle diese Daten haben einen räumlichen Bezug, sie müssen weiterverarbeitet, kartographisch aufbereitet und dargestellt werden.

Daraus ergeben sich verschiedenen Anforderungen an die Technologie, die für die Verarbeitung, Analyse und Darstellung verwendet wird:

- PostgreSQL mit PostGIS zum Datenimport und -export nutzbar
- Gruppieren und Filtern mit geringer Laufzeit
- parallele Berechnung² über große Datenmengen mit geringer Laufzeit
- Räumliche Berechnungen wie Verschneiden und Overlays
- nutzbare Schnittstelle zur Darstellung mit dem UMN MapServer

¹Stickstoffdüngung und -aufnahme

²hier Geostatistik

Konkret handelt es sich bei den Eingangsdaten um folgende:

Pflanzenbauliche Daten ³ Punktdaten

Basisdaten wie Feldgrenzen sowie Interpolationen ⁴ Vektordaten

Externe Satelliteninformationen und Multispektralanalysen Rasterdaten

4.1.1 Softwarequalität

Qualitätsmerkmale sind nach DIN 9126⁵ in [boo98, S.258 f.] Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, Effizienz, Änderbarkeit und Übertragbarkeit. Diese Merkmale werden durch Qualitätskriterien für jeden Anwendungsfall konkretisiert. Nachfolgend werden die Qualitätsmerkmale für diesen Anwendungsfall dargestellt und darauf die zu untersuchenden aufgelistet. Da die zu analysierenden Systeme eine Datenbank beinhalten, welche mit räumlichen Datentypen arbeitet, wurde die im Anhang C von [Hoh96] enthaltene Checkliste zur Auswahl eines Objektorientiertes Datenbankmanagementsystem (ODBMS) berücksichtigt.

Funktionalität

Das System stellt alle geforderten Funktionen mit den definierten Eigenschaften zur Verfügung.

- **Richtigkeit:** Ergebnisse sind korrekt oder ausreichend genau. Die originalen räumlichen Daten werden von Sensoren erfasst, in wessen Toleranzbereich die Ergebnisse der Verarbeitung durch das Framework liegen müssen.
- **Interoperabilität:** Es sind Schnittstellen zur Ein- und Ausgabe vorhanden. Dabei soll es sich um PostgreSQL Import sowie PostgreSQL und UMN MapServer Export handeln.
- **Funktionsumfang:** Mindestens die benannte und essentielle Menge an Funktionalitäten wird bereitgestellt. Dazu zählt: parallele Verarbeitung, Gruppierungs-, Filter-, Verschneidungs- sowie Overlayfunktionen, Geostatistik und Umrechnung

³Sensoren, Bodenuntersuchung, Bonitur, Logger

⁴Interpolationen als Ergebnis von Nährstoffverteilung und Bodenscanner

⁵DIN 9126 wurde durch ISO/IEC 25000 ersetzt, jedoch sind beide nur proprietär verfügbar

4 Ausgangsszenario

zwischen Koordinatensystemen und -formaten. Außerdem sind vorhandene Datentypen und Schemaversionierung von Interesse.

- **Ordnungsmäßigkeit:** Die Implementation des Systems und dessen Funktionen erfüllt Normen, Vereinbarungen, gesetzliche Bestimmungen und andere Vorschriften. Hierzu ist zu nennen, dass besonders Berechnungsfunktionen nach mathematischen Gesetzen implementiert sein müssen. Konkret sind Berechnungen der räumlichen Verarbeitung nach anerkannten definierten Algorithmen durchzuführen. Weiterhin sind Definitionen der Koordinatenreferenzsysteme⁶, die mathematisch korrekte deterministische sowie stochastische Interpolation und Interpolation nach Krige einzuhalten. Auch Allgemeine Anforderungen an DBMS wie Integritätssicherung, Datensicherheit, Mehrbenutzerbetrieb, Datenunabhängigkeit und Zugangssicherung müssen erfüllt werden.

Zuverlässigkeit

Nach [boo98, S.259] wird Zuverlässigkeit als die Fähigkeit einer Software ihr Leistungsniveau unter festgelegten Bedingungen über einen festgelegten Zeitraum bewahren definiert.

- **Fehlertoleranz:** Das System sollte auftretende Fehler des Tagesgeschäftes abfangen und weiterarbeiten. Besonders Fehler in den Quelldaten können zu Fehlern während der Ausführung von Berechnungen führen, was per sé abgefangen werden muss.
- **Wiederherstellbarkeit:** Auch die Möglichkeit bei einem schwerwiegendem den Zustand der abgebrochenen Operationen wiederherzustellen ist ein zu betrachtendes Qualitätskriterium.
- **Mean Time to Failure (MTTF):** Diese statische Kenngröße der erfahrungsgemäßen mittleren Lebensdauer ist für kritische Systeme relevant.

Benutzbarkeit

⁶siehe EPSG-Codes

4 Ausgangsszenario

Qualität des Zugangs für Benutzer sowie Eignung für eine oder mehrere Benutzergruppen.

- **Verständlichkeit**
- **Bedienbarkeit**
- **Dokumentation:** Eine ausführliche, aktuelle und korrekte Dokumentation ist Voraussetzung zur produktiven Verwendung.
- **Eignung:** Die angestrebte Benutzergruppe muss mit der aktuellen Benutzergruppe übereinstimmen. Die aktuelle Benutzergruppe ist Programmierer bzw. Administrator.

Effizienz

Effizienz ist das Verhältnis zwischen Auslastung der Hardware und erfolgreich bearbeiteten Aufgaben. Nach [Han95, S.21] ist Leistung paralleler Programme das Verhältnis des Speedups zur Anzahl der verwendeten Prozessoren. Wobei Speedup als Verhältnis der Ausführungszeiten zwischen der auf N Prozessoren ausgeführten parallelen Version eines Programms und der sequentiellen Version des Programmes definiert ist. Diese Definitionen treffen für die zu untersuchenden Systeme zu, da es sich um parallelisierende GIS handelt.

- **Zeitverhalten:** Oder auch Laufzeitverhalten genannt, dient allgemein zur Darstellung des Durchsatzes. Die Skalierung des Systems zählt hier dazu. Dies wird speziell durch zusätzliche Leistungstests beurteilt.
- **Verbrauchsverhalten:** Das Verhältnis aus erbrachter Leistung und dem dafür notwendig gewesenem Aufwand in Form von Hardwarenutzung.
- **Skalierbarkeit:** Anzahl der zu verwendenden Computer um nach dem Speedup eine Effizienzsteigerung im Gegensatz zum Einsatz bei einem Computer zu erreichen.

Änderbarkeit

4 Ausgangsszenario

Aufwand zur Verbesserung oder Anpassung der Umgebung und der Spezifikationen, auch Wartungsaufwand genannt.

- **Analysierbarkeit:** „Aufwand, um Mängel oder Ursachen von Versagen zu diagnostizieren oder um änderungsbedürftige Teile zu bestimmen.“ [boo98, S. 260]
- **Modifizierbarkeit:** Notwendiger Aufwand für Änderungen zum Ziele der Verbesserung und Fehlerbehebung.
- **Stabilität:** Wahrscheinlichkeit von ungewollten Auswirkungen durch Änderungen.
- **Prüfbarkeit:** Oder Testbarkeit als Merkmal, welches die Möglichkeiten und den Aufwand zum testen der originalen und geänderten Systeme darstellt.

Übertragbarkeit

Die Fähigkeit das System auf andere Hard- und Software sowie andere Vorgehensweisen zu migrieren.

- **Anpassbarkeit:** Möglichkeiten des unveränderten Systems Änderungen vorzunehmen.
- **Installierbarkeit:** Systemvoraussetzung und Aufwand zur Installation des Systems.

Nichttechnische Kriterien

Erweiterte Qualitätskriterien, welche nicht nach der DIN 9126 zugeordnet werden können.

- **Herstellerfirma und Produkt:** Dazu zählt die Marktposition, der Preis, die Produktplanung und der Service.

Die zu untersuchenden Qualitätskriterien für die Softwareauswahl sind Funktionsumfang, Fehlertoleranz, Dokumentation, Zeitverhalten, Analysier- und Modifizierbarkeit.

4.1.2 Qualitätsmetriken

Zu den wichtigen Qualitätsmerkmalen aus Kapitel 4.1.1 sind folgend Kriterien definiert, sowie je eine Bewertungsvorschrift und die geforderte Mindestbewertung für den Anwendungsfall angegeben.

Richtigkeit:

Berechnungen sind zu 100% korrekt. Ausnahme ist dabei die Berechnung von Koordinaten. Dabei haben die Ergebnisse bis acht Stellen nach dem Komma korrekt zu sein. Die statische Abbildung ist dabei [*korrekt, nicht korrekt*] nach [1,0] und die geforderte Mindestbewertung 1.

Interoperabilität:

Ist der Import und Export von räumlichen Daten aus PostgreSQL sowie eine Anbindungsmöglichkeit an den [UMN MapServer](#). Statische Abbildung:

[*Datenschnittstelle und UMN Schnittstelle vorhanden, Datenschnittstelle vorhanden, UMN Schnittstelle vorhanden, keine Schnittstelle vorhanden*] nach [12,7,5,0]

Der Bereich bis 12 soll die Wichtigkeit des Vorhandenseins der Schnittstellen verdeutlichen. Die geforderte Mindestbewertung ist 7.

Funktionsumfang:

Tabelle 4.1 gibt die Wertung bei Existenz der einzelnen Funktionen wieder. Existiert die Funktion nicht, ist die Wertung Null. Ein Zwischenwert bei eingeschränkter Funktionalität ist möglich. Maximale Wertung: 61 Es müssen mindestens geografische Datentypen, Filterfunktionen und parallele Verarbeitung vorhanden sein.

Fehlertoleranz:

Es gilt zu messen, ob Fehler bei einer Berechnung andere verschränkt gleichzeitig laufende Berechnungen beeinträchtigen. Aus diesem Grund wird Unabhängigkeit auf eins und Abhängigkeit auf null abgebildet. Die geforderte Mindestbewertung ist 1.

Dokumentation:

Vorhandene Dokumentation ist nach einzelnen Themen zu bewerten. Dabei kann ein maximaler Wert von 13 erreicht werden. Die geforderte Mindestbewertung ist 6.

4 Ausgangsszenario

Funktion	Wertung
parallele Verarbeitung	2
geografische Datentypen	14
Umrechnung zwischen Koordinatensystemen	10
Gruppierungsfunktionen	10
Verschneidungsfunktionen	4
Overlayfunktionen	4
Geostatistik	6
Filterfunktionen	10
Schemaversionierung	1

Tabelle 4.1: Wertungstabelle Funktionsumfang

Dokumentation zu	Wertung je Eintrag
Installation, Zeitverhalten	1
Funktionsumfang	2
Interoperabilität, Best practise, Anpassbarkeit	3

Tabelle 4.2: Wertungstabelle Dokumentation

Zeitverhalten:

Konkret wird eine Beschleunigung aufwendiger Vorgänge angestrebt. Die statische Abbildung auf Bezug auf die Laufzeiten des Ist-Standes:

[Zeit wird berschritten, Zeit ist gleich, Zeit wird unterschritten] nach [0, 1, 3]

Die Laufzeiten sind in Anhang ?? zu finden.

Modifizierbarkeit:

Mögliche Anpassungen des Frameworks hinsichtlich der folgenden Punkte erhöhen den Wert um eins:

Verwendung eigener Datentypen, Erstellung eigener Schnittstellen, Erstellung eigener Funktionen, Verwendung der Programmiersprachen Scala oder R, Anlegen eigener Berechnungsvorgängen zur späteren Abarbeitung

Die geforderte Mindestbewertung ist abhängig vom Funktionsumfang und der Interoperabilität. Jedoch sollten fehlende Funktionen und Schnittstellen erstellt werden können.

4.1.3 Testfälle

Zur definierten und wiederholbaren Erfassung der Erfüllung von speziellen Kriterien wie Funktionalität und Zeitverhalten, folgt die Definition der Funktions- und Lasttests.

Funktionstests

Nach der Definition in Kapitel 3 werden hiermit spezielle Funktionalitäten auf Vorhandensein und die Menge der Schnittstellen sowie der Austauschformate getestet. Diese Funktionstest sind nicht automatisiert für unterschiedliche Frameworks durchführbar. Deshalb werden sie manuell anhand der Spezifikation und des Quellcodes durchgeführt und die Ergebnisse tabellarisch festgehalten.

Folgende Schnittstellen sind zu testen:

- PostgreSQL
- PostGIS
- UMN MapServer

Als Austauschformat ist mindestens eines der folgenden Datentypen zum Datenaustausch notwendig:

- Simple Feature Access
- Objekte der JTS
- PostGIS geometry

Speziell in GIS gilt es die Koordinatenreferenzsysteme zu analysieren. Die EPSG Codes 3578 und 4326 werden im Anwendungsfall verwendet.

Für folgende Aufgaben sind die Funktionen zu analysieren:

- Umwandlung zwischen Koordinatensystemen
- Verschneidung von räumlichen Daten
- Interpolation

4 Ausgangsszenario

- Kriging
- topologische Filterung
- räumliche Filterung

Dabei ist stets zu berücksichtigen mit welchen Datentypen die Funktionen verwendet werden können.

Lasttests

Die Basis für die Erstellung von Lasttests ist Kapitel 4.2. Eine exakte Definition der Lasttests ist in diesem Kapitel nicht möglich, da das zu verwendende Framework noch nicht ausgewählt wurde und somit die darin zu verwendenden Werkzeuge und Daten nicht bekannt sind. Es werden jedoch die zu testenden Szenarien benannt.

Ein zu testendes Szenario ist die Aggregation von Daten. Dabei ist eine Menge von mehreren hundert Megabyte an Punktdaten mit den gegebenen Werkzeugen abzurufen und die Laufzeit zu messen. Die Werkzeuge sollten dabei eine Abfragesprache wie SQL und bei Vorhandensein der Schnittstelle der [UMN MapServer](#) sein. Über eine Abfragesprache sind neben der Laufzeit weitere Informationen abrufbar. Mit SQL kann das Vorgehen des Query Planers ausgegeben werden, was für die Auswertung herangezogen werden kann. Die Verwendung des [UMN MapServer](#) zielt auf eine anwendungsnahe Darstellung der Leistungsfähigkeit ab. Die hohe Leistungsfähigkeit des [UMN MapServer](#) für ein solches Szenario wurde bereits in [\[Jun12\]](#) dargestellt, sodass von einer hohen Auslastung des [DBMS](#) ausgegangen werden kann.

Analog zu diesem ersten Szenario ist ein weiterer zur Interpolation bzw. Kriging durchzuführen. Darin sollen Punktdaten zu Vektordaten mit Interpolation im Rahmen eines Krigings verarbeitet werden. Damit soll die Verarbeitungsleistung bewertet werden.

Da es sich bei den zu untersuchenden Frameworks um verteilte Systeme handelt, ist in allen Tests die Verteilung der Daten und der Verarbeitungsschritte zu berücksichtigen.

4.2 Ist-Stand

Die Durchführung einer Softwareauswahl zum teilweisen Ersatz eines bestehenden Systems setzt die Analyse des Systems voraus. In diesem Unterkapitel wird der Ist-Stand sowie der angestrebte Zustand nach Einbau des Prototypen dargestellt. Firmeninterne Schnittstellen mit dem Ist-Stand werden nicht konkretisiert, da sie den Anwendungsfall nicht schneiden.

In Abbildung 4.1 ist die Übersicht des Aufbaus ersichtlich. Das Herzstück bildet die objektrelationale Datenbank PostgreSQL mit der geografischen Erweiterung PostGIS. Diese dient zur Datenhaltung und wesentlich auch zur Datenverarbeitung. In den Programmiersprachen Delphi und R werden zusätzlich automatische Verarbeitungsvorgänge durchgeführt. Daten werden von extern und intern eingespeist. Dabei handelt es sich um Punkte, Vektoren und Raster mit dazugehörigen Metadaten. Im Rahmen der Datenverarbeitung werden Punktdaten interpoliert und mit Hilfe von Geostatistik Auswertungen aus originalen und verarbeiteten Daten erstellt. Die Darstellung der Daten erfolgt über UMN MapServer und Manifold Internet Map Server. Als zentrales Element enthält die Datenbank neben den agrartechnischen Kennzahlen alle weiteren Daten des Unternehmens. In dieser Betrachtung werden einzig die agrartechnischen Kennzahlen berücksichtigt.



Abbildung 4.1: Aktuelle Infrastruktur bei Agri Con

4 Ausgangsszenario

Es existiert eine Vielzahl von Vorgängen, welche zur Erhöhung der Useability in Hinsicht auf ihre Laufzeit verbessert werden können. Für die Bewertung der Frameworks und schließlich zum Entwurf des Prototypen, ist es notwendig eine Auswahl der zu untersuchenden Vorgängen zu treffen. Die Auswahl erfolgt durch Mitarbeiter der Agri Con und hat Vorgänge mit der längsten Laufzeit als Ergebnis. Dazu zählt das Laden von Daten zum Zwecke der Verarbeitung und Anzeige. Die größten Datenmengen sind bei Punkten aus dem N-Sensor Bereich zu finden. Die Anzeige der Punktdaten für einen Betrieb kann bis zu neun Sekunden dauern. Punktdaten aus dem Docu Bereich werden ebenfalls nach mehrere Sekunden ausgegeben. Die Punktdaten aus dem N-Sensor Bereich sind jedoch repräsentativ und werden deshalb betrachtet. Weiterhin zählt Interpolation zu diesen Vorgängen. Punkte und Fahrspuren werden mit einem angepassten Kriging interpoliert und als Vektoren und Raster abgespeichert. Dies wird mit einer R Bibliothek realisiert und bei großen Datenmengen Nachts angestoßen. Das spezielle Kriging im jeweiligen Framework zu implementieren ist aufwendig, weshalb ein unveränderter Kriging Algorithmus für den Vergleich verwendet werden muss, sofern R nicht verwendet werden kann.⁷ Diese zwei charakteristischen Vorgänge sind durch ein Framework zu realisieren.

Das Ziel ist es, ein Framework zusätzlich in den Ist-Stand zu integrieren. Es soll dabei die aufwendigen Vorgänge durchführen, als Permanentspeicher für historische Daten dienen und Daten zur späteren Anzeige aufbereiten und bereitstellen. Die aufwendigen Vorgänge werden in den Lasttests untersucht. In welcher konkreten Form das Framework als Speicher für historische und aufbereitete Daten dient, ist abhängig vom Framework. Auf Grund dessen ist dies nach Auswahl des Frameworks im Entwurf des Prototypen zu konkretisieren.

4.3 Stand der Forschung

Während der Tätigkeit bei Agri Con und durch die mehrfache Teilnahme an der internationalen Messe für freie geografischer Informationssysteme FOSSGIS⁸ gewann der

⁷Dieser Algorithmus wurde im Auftrag durch dritte erstellt.

⁸<http://www.foSSGIS.de/>

4 Ausgangsszenario

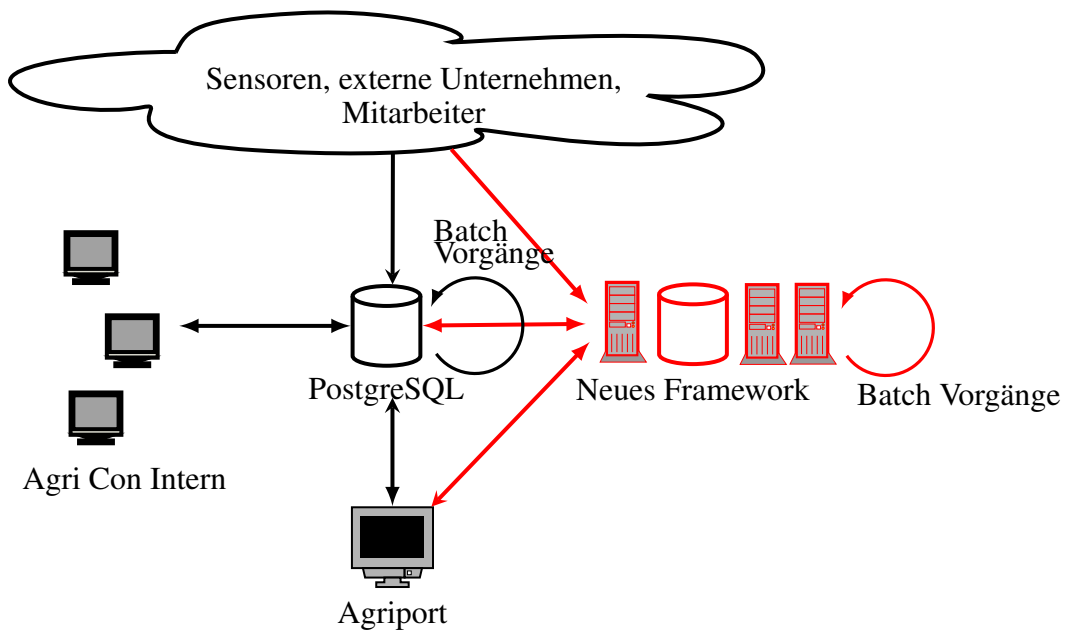


Abbildung 4.2: Übersicht des Aufbaus des Wunsch-Standes bei Agri Con

Autor den Eindruck, dass PostgreSQL mit PostGIS in der Regel als DBMS für GIS eingesetzt wird. Zwar existiert eine Vielzahl von Elementen zur Darstellung und Kartenverwaltung erzeugt aus den vorhandenen Daten, aber es scheint keine geeignete Alternative zur Datenhaltung und Verarbeitung von komplexen geografischen Daten zu geben.

Dieser Eindruck wurde durch die Literaturrecherche bestätigt. [Ahl13] vergleicht PostgreSQL nur mit Oracle Spatial

[Thu12] untersucht gängige NoSQL DBMS für Eignung mit geografischen Daten im Vergleich mit PostGIS und Oracle Spatial und kommt zu dem Schluss, dass es für einfache Datenobjekte in begrenzten Mengen nützlich ist (neo4j mit Funktionalitäten für kürzeste Strecke etc.), jedoch für allgemeine komplexe Projekte ungeeignet.

[Baa12] vergleicht Neo4J mit PostGIS und kommt auch zu dem Schluss, dass graphenbasierte Datenhaltung zwar Vorteile für Fragen wie den kürzesten Weg geeignet sind, aber NoSQL ist neu und hat im allgemeinen Anwendungsfall Schwächen.

Es existieren umfangreiche Arbeiten zur Verwendung von relationalen und NoSQL Systemen zur verteilten Verwendung, z.B. [Pon11],

Unternehmen werben mit höher Leistung als PostGIS:

4 Ausgangsszenario

GeoMesa: 10 bis 60 fache Antwortgeschwindigkeit bei GeoMesa gegenüber PostGIS
Postgres-XL: bis zu sechs fache Antwortdauer von PostgreSQL gegenüber Postgres-

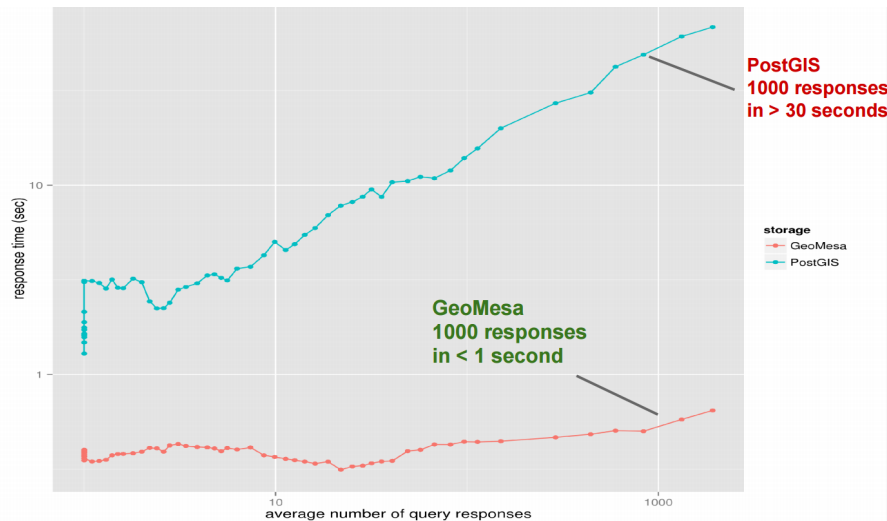


Abbildung 4.3: Antwortzeiten von GeoMesa und PostGIS, Quelle <http://de.slideshare.net/CCRinc/location-techdc-talk2-28465214> S.24

XL in einem TPC-H Benchmark

MPP Performance – DBT-1 (TPC-H)

TRANSATTICE

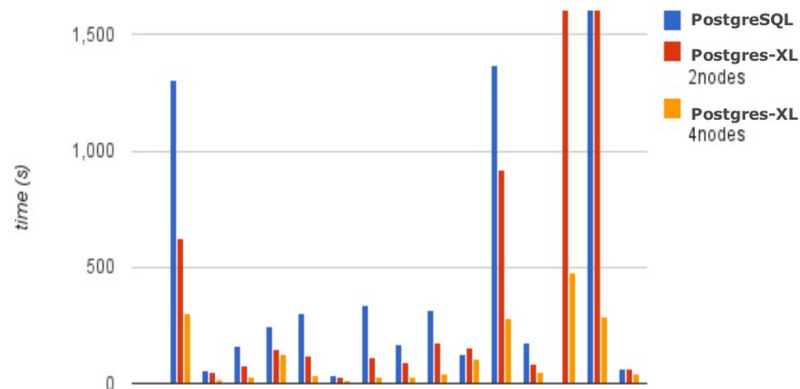


Abbildung 4.4: TPC-H Benchmark von PostgreSQL und Postgres-XL, Quelle http://de.slideshare.net/mason_s/postgres-xl-scaling S.12

5 Systemauswahl

Mit den unter 4.1.2 erstellten Metriken sind die Frameworks GeoMesa, Postgres-XL und Rasdaman zu vergleichen. Der Vergleich findet im Rahmen einer Nutzwertanalyse statt. Hierbei werden keine Daten von durchgeführten Tests herangezogen, sondern es wird anhand der Spezifikation der einzelnen Frameworks untersucht ergo eine Inspektion als Prüfmethode verwendet.

Die drei Frameworks wurden aus der Tabelle der Abbildung 5.1 ausgewählt. Darin sind GIS zur räumlichen Datenverarbeitung mit wesentlichen Eigenschaften wie PostgreSQL Schnittstelle und räumliche Datentypen aufgelistet. Entsprechend den Anforderungen wurden daraus drei Frameworks für die Nutzwertanalyse ausgewählt. Anforderung war dabei, dass Schnittstellen zu PostgreSQL und UMN MapServer gegeben sind.

Abbildung 5.1 stammt von der Wikipedia Seite https://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_database und ist für Unternehmen relevant, wie unter Kapitel 3 beschrieben. Der Autor erschuf die abgebildete Tabelle durch Recherche und stellte sie am 1.2.2015 in den Artikel. In der Annahme, dass unternehmensbezogene Besucher der Seite fehlendes ergänzen oder falsches korrigieren würden, dient diese zur Auswahl geeigneter Frameworks.

Tabelle 5.1 zeigt die für die Nutzwertanalyse notwendige Wertung der einzelnen Metriken. Die Metriken Richtigkeit, Fehlertoleranz und Zeitverhalten werden nicht in die Analyse aufgenommen, da sie über die Spezifikation nicht belegbar sind.

Für jedes Framework wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt und die dazugehörigen Tabellen dazu präsentiert. Zu jeder Metrik wird der erreichte Wert, die ungewichtete Erfüllung, die gewichtete Erfüllung und ein Kommentar angegeben. Die ungewichtete Erfüllung bezieht sich auf den maximal zu erreichenden Wert der Metrik, die gewichtete Erfüllung dagegen auf die Erfüllung der Metrik in Bezug auf Tabelle 5.1. Die

5 Systemauswahl

Table of free systems especially for spatial data processing

DBS	License	Distributed	Spatial objects	Spatial functions	PostgreSQL interface	UMN MapServer interface	Documentation	Modifiable	HDFS
AsierixDB	Apache License 2.0	yes	yes (custom)	center, radius, distance, area, intersect and cell	no	no	good in Google Code	own datatypes, functions and indexes	possible
ESRI GIS Tools for Hadoop	Apache License 2.0	yes	yes (own specific API)	yes (union, difference, intersect, clip, cut, buffer, equals, within, contains, crosses, and touches)	no	no	just briefly	forking	yes
GeoMesa (http://www.geomesa.org/)	Apache License 2.0	yes	yes (Simple Features)	yes (JTS)	no (manufacturable with GeoTools)	no	parts of the functions, a few examples	with Simple Feature Access in Java Virtual Machine and Apache Spark are all kinds of tasks solvable	yes
H2GIS (http://www.h2gis.org/)	GPL 3	no	yes (custom, no raster)	Simple Feature Access and custom functions for H2Network	yes	no	yes (homepage)	SQL	no
Ingres	GPL or proprietary	yes (if extension is installed)	yes (custom, no raster)	Geometry Engine, Open Source (http://trac.osgeo.org/geos/)	no	with MapScript	just briefly	with C and OME	no
Neo4J-spatial (https://github.com/neo4j-contrib/spatial)	GNU affero general public license	no	yes (Simple Features)	yes (contain, cover, covered by, cross, disjoint, intersect, intersect window, overlap, touch, within and within distance)	no	no	just briefly	fork or JTS	no
Postgres-XL (http://www.postgres-xl.org/) with PostGIS	Mozilla public license and GNU general public license	yes	yes (Simple Features and raster)	yes (Simple Feature Access and raster functions)	yes	yes	PostGIS: yes, Postgres-XL: briefly	SQL, in connection with R or Tcl or Python	no
PostgreSQL with PostGIS	GNU General Public License	no	yes (Simple Features and raster)	yes (Simple Feature Access and raster functions)	yes	yes	detailed	SQL, in connection with R	no
Rasdaman	server GPL, client LGPL, enterprise proprietary	yes	just raster	raster manipulation with rasql	yes	with Web Coverage Service or Web Processing Service	detailed wiki	own defined function in enterprise edition	no

Abbildung 5.1: Übersicht relevanter GIS Frameworks nach [Wik15b] vom 13.2.2015

5 Systemauswahl

Metrik	Gewichtung in %
Interoperabilität	30
Funktionsumfang	20
Dokumentation	35
Modifizierbarkeit	15

Tabelle 5.1: Wertungsmaßstab der einzelnen Metriken

Kommentarspalte dient der Darstellung des Erreichens der Mindestanforderungen. Der schlussendliche Nutzwert ergibt sich nach Zangemeister in [Ben13] aus der Summe der Produkte des Teilnutzens des jeweiligen Kriteriums mit der Gewichtung des Kriteriums. Der Teilnutzen ist hier der Prozentuale Anteil der erreichten Punktzahl an der maximalen Punktzahl des Kriteriums. Diese Prozentangabe wird als Wert mit der Gewichtung des Kriteriums multipliziert, woraus sich der Nutzwert für das Kriterium ergibt. Die Summe aller dieser Teilnutzwerte ergibt den Nutzwert des Frameworks für den Anwendungsfall.

5.1 GeoMesa

5.1.1 Interoperabilität

PostgreSQL - 7 Scala kann mit JDBC auf PostgreSQL zugreifen.

UMN MapServer - 0 UMN MapServer bietet Accumulo nicht als Quelle an und GeoMesa besitzt keine OGC konformen Dienste wie beispielsweise WMS.

Die Wertung für Interoperabilität ist somit 7 mit einer Erfüllung von 58%.

5.1.2 Funktionsumfang

Parallele Verarbeitung - 2 Verteilte Datenhaltung durch Accumulo auf HDFS und verteiltes sowie paralleles Rechnen mit beispielsweise Spark möglich. [Fox14]

5 Systemauswahl

Geografische Datentypen - 12 Vollständige Datentypen aus Simple Feature Access vorhanden. [Fox14]

Umrechnungsfunktionen - 10 Datenverarbeitung direkt in Spark mit GeoTools möglich. [OSG15a]

Gruppierungsfunktionen - 7 Funktionale Verarbeitung mit Scala immanent.

Verschneidungsfunktionen - 3 JTS stellt difference, union und symmetric difference zur Verfügung. [Viv, S.29 ff.]

Overlayfunktionen - 2 JTS stellt relate und overlay zur Verfügung.

Geostatistik - 0 Keine eingebaute Funktionalität.

Filterfunktionen - 10 Räumliche Filterung ist mit GeoTools möglich [Geo15]

Schemaversionierung - 0 Accumulo erlaubt entsprechend des BigTable Ansatzes ein dynamisches Datenbankschema, jedoch ohne Versionierung. Einzig erzeugte Datentypen, bestehend aus Simple Features, können in GeoMesa als Konstrukt persistiert werden.

Daraus ergibt sich ein Wert von 48, was 79% des maximal zu erreichenden Wertes ist.

5.1.3 Dokumentation

Installation - 1 Knappe Hinweise für GeoMesa auf [Eic14] vorhanden, dagegen ausführliche Anleitungen für Accumulo auf [Sof14b].

Zeitverhalten - 0 Keine Dokumentation vorhanden.

Funktionsumfang - 1 Konkrete Funktionalität von GeoMesa nur grob auf [Loc14a] angedeutet. MapReduce mit Accumulo ist ausführlich beschrieben. [Sof14b]

Interoperabilität - 1 Nicht explizit bei GeoMesa angegeben, aber Anbindungsmöglichkeiten mit Scala bzw. Java sind im allgemeinen ausführlich dokumentiert.

Best Practise - 0 Keine Dokumentation vorhanden.

5 Systemauswahl

Anpassbarkeit - 1 In [Loc14a] sind einige Anregungen zu finden. Beispielsweise die Erzeugung eigener Schemabestandteile. [Loc14b]

Das Qualitätskriterium Dokumentation wird für GeoMesa mit dem Wert 4, bzw. der Erfüllung von 31%, belegt.

5.1.4 Modifizierbarkeit

Verwendung eigener Datentypen - 0 Es sind eigene Schemas aber keine Datentypen erstellbar. [Loc14b]

Erstellung eigener Schnittstellen - 1 Indirekt über JDBC und ODBC möglich.

Erstellung eigener Funktionen - 1 Durch verschiedenste Frameworks zur Datenverarbeitung wie Spark beliebige Funktionen erstellbar.

Verwendung der Programmiersprachen Scala oder R - 1 GeoMesa ist in Scala geschrieben und kann mit dieser verwendet werden. R kann über das Tool SparkR und beim Einsatz von Hadoop über RHadoop verwendet werden.

Anlegen eigener Berechnungsvorgängen zur späteren Abarbeitung - 1 Mit einer Vielzahl von Tools möglich, bspw. Spark, Storm, Pig und Cascading.

Hier ist die Wertung 4 von 5 Punkten und damit 80%.

5.1.5 Zusammenfassung

Der Nutzwert von GeoMesa ist nach Tabelle 5.2 56.

Neben dem messbaren Nutzwert sind die nichttechnischen Kriterien zu nennen, welche auf die Auswahl eines Frameworks Einfluss haben. Dazu zählt die Herstellerfirma mit Marktposition, Produktplanung und Service sowie das Produkt in Hinsicht auf Preis, Lebendigkeit in Form von Entwickleraktivität und Größe der Benutzer.

<https://github.com/locationtech/geomesa> zählt am 17.2.2015 271 commits, 20

5 Systemauswahl

Metrik	erreichter Wert	Erfüllung in %	Kommentar	gewichteter Teilnutzen
Interoperabilität	7	58	Implementationen für beide Schnittstellen notwendig.	17
Funktionsumfang	48	79	Die meisten Funktionen sind nur mit Scala verfügbar, Mindestabdeckung jedoch gegeben.	16
Dokumentation	4	31	Mindestabdeckung nicht erfüllt.	11
Modifizierbarkeit	4	80	Mit Simple Features und Spark umfangreiche Problemlösungen erstellbar. Fehlende Funktionen können nachgerüstet werden.	12

Tabelle 5.2: Nutzwertanalyse GeoMesa

contributors und 186 branches. Eine solche hohe Anzahl an branches spricht normalerweise für eine hohe Nutzung und Lebendigkeit des Projektes. Jedoch wurde die Mehrzahl der branches nicht in den master Zweig übernommen. Das GeoMesa Projekt auf

Feb 16, 2014 – Feb 17, 2015

Contributions to accumulo1.5.x/1.x, excluding merge commits

Contributions: Commits ▾

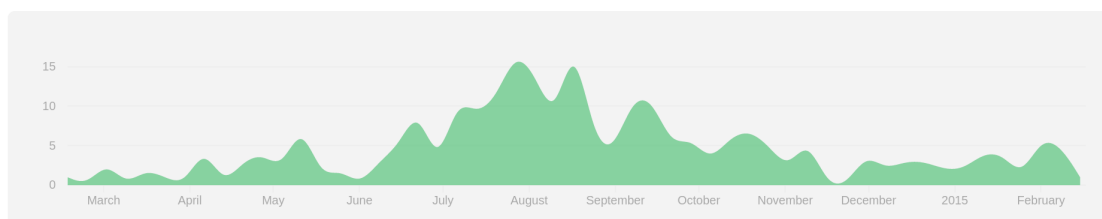


Abbildung 5.2: Zeitleiste der contributor von GeoMesa vom 17.2.2015 nach <https://github.com/locationtech/geomesa/graphs/contributors>

GitHub hat nach Abbildung 5.2 eins bis vier Stammprogrammierer und ist im zweiten und dritten Quartal gegenüber mit der doppelten Anzahl an contributors gegenüber den anderen Quartalen fragmentiert. Die drei contributors mit dem größten Anteil an Än-

5 Systemauswahl

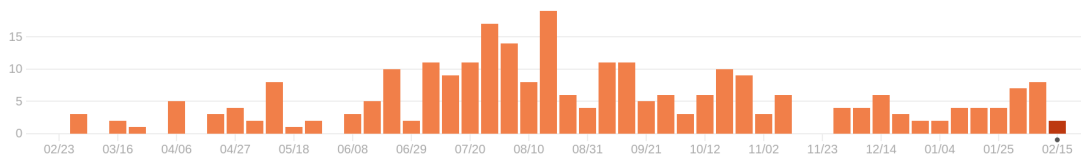


Abbildung 5.3: Zeitleiste der commits von GeoMesa vom 17.2.2015 nach <https://github.com/locationtech/geomesa/graphs/commit-activity>

derungen sind vorwiegend in Projekten von LocationTech aktiv was darauf schließen lässt, dass sie für das Unternehmen arbeiten. Daraus folgt das zum wesentlichen Teil das Unternehmen LocationTech das Projekt wartet. Die Anzahl der commits geht mit dem Verlauf der aktiven Programmierer einher. Abbildung 5.3 zeigt die selbe Quartalsweise Verteilung wie Abbildung 5.2. Dabei ist der Unterschied zwei zu neun commits pro Woche.

LocationTech ist eine Arbeitsgruppe der non-for-profit Stiftung Eclipse. In diesem Rahmen erhält diese Arbeitsgruppe 20 Mitglieder für Projektplanung und Projektumsetzung. Weiterhin findet die Finanzierung im Rahmen von Mitgliedschaft an der Arbeitsgruppe statt. Darin können Mitglieder je nach Beitrag Teile der Entscheidungsorgane der Arbeitsgruppe werden und Zugang zu Ergebnissen dieser erhalten. [Loc] LocationTech ist mit GeoMesa mitten in der Entwicklung und hat keine permanenten aktive Unterstützer. Dieser Stand spricht gegen eine Auswahl von GeoMesa zum produktiven Einsatz.

5.2 Postgres-XL

5.2.1 Interoperabilität

PostgreSQL - 7 PostgreSQL ist Bestandteil von Postgres-XL wobei die Datentypen vollständig verfügbar sind.

UMN MapServer - 5 Mit der Erweiterung PostGIS direkt als Quelle für UMN MapServer angebbbar. [Min14]

Die Wertung für Interoperabilität ist somit 12 mit einer Erfüllung von 100%.

5.2.2 Funktionsumfang

Parallele Verarbeitung - 2 Verteilte Datenhaltung mit partitioning der Daten und verschränkte parallele Datenverarbeitung mit MPP möglich. [Tra15a]

Geografische Datentypen - 14 Vollständige Datentypen aus Simple Feature Access sowie PostGIS raster vorhanden. [OSG15b]

Umrechnungsfunktionen - 10 Direkter Funktionsaufruf zur Umrechnung von und in beliebige EPSG Codes. [OSGa]

Gruppierungsfunktionen - 10 SQL in PostgreSQL mit der Erweiterung PostGIS erlaubt beliebige Querys mit geografischen Daten. [OSG15b]

Verschneidungsfunktionen - 3 Funktionsübersicht zeigt intersection, difference und symmetric difference. [OSGb]

Overlayfunktionen - 2 Funktionsübersicht zeigt relation und intersects. [OSGb]

Geostatistik - 2 Interpolation nur von Linie zu Punkt mit PostGIS möglich. Jedoch kann mit R oder C++ beliebige Geostatistik mit vorhandenen und eigenen Funktionen durchgeführt werden.

Filterfunktionen - 10 In SQL mit mehreren Funktionen möglich. [OSGb]

Schemaversionierung - 0 Nicht eingebaut. Mit eigenen Skripten nachrüstbar.

Daraus ergibt sich ein Wert von 53, was 87% des maximal zu erreichenden Wertes ist.

5.2.3 Dokumentation

Installation - 1 Knapp auf [Trab] beschrieben.

Zeitverhalten - 0 Keine Angaben.

Funktionsumfang - 2 Es existiert eine Übersicht zur Verwaltung eines Postgres-XL Clusters. Dazu ist die allgemeine Dokumentation zu PostgreSQL und PostGIS verfügbar. [Trac]

5 Systemauswahl

Interoperabilität - 2 Verweis auf Dokumentation von PostgreSQL und PostGIS sowie API auf [Traa] vorhanden.

Best Practise - 1 Einige Hinweise auf [Trac] vorhanden.

Anpassbarkeit - 3 [Trad] dokumentiert Erweiterung mit SQL, tcl, Perl und Python.

Das Qualitätskriterium Dokumentation wird für Postgres-XL mit dem Wert 9, bzw. der Erfüllung von 69%, belegt.

5.2.4 Modifizierbarkeit

Verwendung eigener Datentypen - 1 Mit PostgreSQL eigene Datentypen erstellbar.

Erstellung eigener Schnittstellen - 1 Für eigene Programme mit JDBC oder ODBC Daten verwendbar.

Erstellung eigener Funktionen - 1 Ebenso mit SQL möglich.

Verwendung der Programmiersprachen Scala oder R - 1 R kann direkt in SQL Funktionen eingebettet werden. Scala ist mit JDBC verwendbar.

Anlegen eigener Berechnungsvorgängen zur späteren Abarbeitung - 1 Hier sind Trigger und selbstständige Programme mit JDBC Nutzung zu nennen.

Hier ist die Wertung 5 von 5 Punkten und damit 100%.

5.2.5 Zusammenfassung

Aus Tabelle 5.3 ergibt sich ein Nutzwert von 86.

Dazu sind ebenso nichttechnische Faktoren zu berücksichtigen.

<https://github.com/snaga/postgres-xl> zählt am 17.2.2015 35.266 commits, 23 contributors und drei branches. Abbildung 5.4 zeigt einerseits, dass dieses Projekt seit 1998 besteht, andererseits dass die Zahl der aktiven contributors im Gegensatz der Jahre

5 Systemauswahl

Metrik	erreichter Wert	Erfüllung in %	Kommentar	gewichteter Teilnutzen
Interoperabilität	12	100	Analog des Ist-Standes.	30
Funktionsumfang	53	87	Mindestabdeckung erfüllt, jedoch sind Geostatistik und Versionierung nicht vorhanden.	17
Dokumentation	9	69	Dokumentation zu PostGIS ist sehr gut, zu Postgres-XL grob. Mindestabdeckung ist erfüllt.	24
Modifizierbarkeit	5	100	Vollständige Abdeckung vorhanden. Möglichkeiten sind in SQL gegeben.	15

Tabelle 5.3: Nutzwertanalyse Postgres-XL

Jul 7, 1996 – Feb 17, 2015

Contributions to master, excluding merge commits

Contributions: Commits ▾

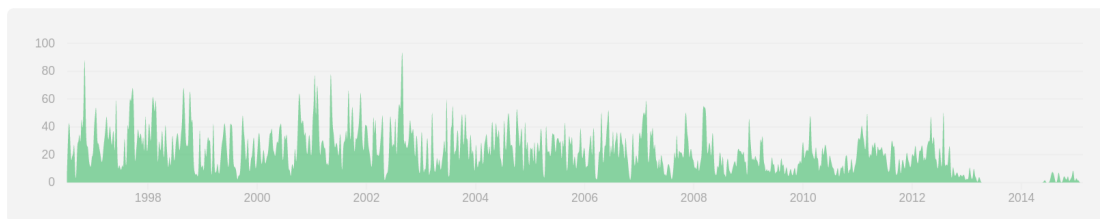


Abbildung 5.4: Zeitleiste der contributor von Postgres-XL vom 17.2.2015 nach <https://github.com/snaga/postgres-xl/graphs/contributors>

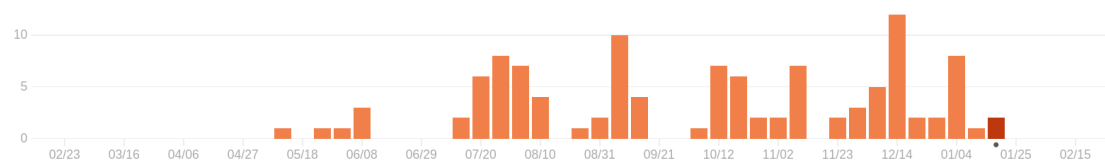


Abbildung 5.5: Zeitleiste der commits von Postgres-XL vom 17.2.2015 nach <https://github.com/snaga/postgres-xl/graphs/commit-activity>

1998 bis 2012 zu 2014/2015 in etwa ein viertel beträgt. Diese deutliche abrupte Abnahme der aktiven Programmierer deutet eine Veränderung im Projekt oder den Pro-

jektverantwortlichen an. Die commits des vergangenen Jahres sind in Abbildung 5.5 dargestellt. Danach wurden im ersten Halbjahr 2014 nur insgesamt 6 commits und im zweiten Halbjahr 2014 etwa täglich ein commit durchgeführt.

Das Unternehmen TransLattice¹ übernahm im Mai 2014 das Unternehmen StormDB. Die Übernahme schloss das Projekt Postgres bzw. Postgres-XC ein. (siehe [Tra13]) Dieses wurde darauf in Postgres-XL umbenannt und erweitert. Diese Änderung rief die Verringerung der contributors seit Anfang 2014 hervor. TransLattice verwaltet seitdem das Projekt und stellt technischen sowie theoretischen Support. Postgres-XL ist durch die langjährige Entwicklung empfehlenswert für den produktiven Einsatz. Jedoch ist die Aktivität der TransLattice Entwickler zu beobachten, da die Gefahr besteht das dieses Projekt vom Unternehmen nicht mehr gefördert wird und somit Fehler und Verbesserungen nicht eingepflegt werden und neue PostgreSQL Versionen nicht unterstützt werden.

5.3 Rasdaman

5.3.1 Interoperabilität

PostgreSQL - 7 PostgreSQL wird nach [Ras14a] unterstützt.

UMN MapServer - 0 Rasdaman bietet einzig Web Coverage Service und Web Processing Service Dienste an, diese können jedoch vom UMN MapServer der aktuellen Version 6.4 nicht verwendet werden.

Die Wertung für Interoperabilität ist somit 7 mit einer Erfüllung von 58%.

5.3.2 Funktionsumfang

Parallele Verarbeitung - 1 Parallele Server Instanzen verwendbar. In der kostenlosen Version keine Query Optimierung für mehrere Kerne und Instanzen vorhanden. [Ras14a]

¹<http://www.translattice.com/>

5 Systemauswahl

Geografische Datentypen - 2 Raster und Punkte sind für die räumliche Datenverarbeitung vorhanden. Dazu sind Arrays mit beliebig vielen Dimensionen verwendbar. [Ras14c]

Umrechnungsfunktionen - 0 Nur mit externer Bibliothek Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) für zwei-dimensionale Arrays möglich. [Ear14]

Gruppierungsfunktionen - 0 Laut Dokumentation der Funktionen keine Gruppierung möglich. [Ras15a]

Verschneidungsfunktionen - 1 Dagegen sind einfache Array Operationen vorhanden.

Overlayfunktionen - 1 Ditto.

Geostatistik - 0 Keine eingebaute Funktionalität.

Filterfunktionen - 5 Operationen für Array-Verarbeitung vorhanden.

Schemaversionierung - 0 Keine eingebaute Funktionalität.

Daraus ergibt sich ein Wert von 10, was 16% des maximal zu erreichenden Wertes ist.

5.3.3 Dokumentation

Installation - 1 [Ras15b] ist eigenes Installationsdokument.

Zeitverhalten - 0 Keine Dokumentation vorhanden.

Funktionsumfang - 2 Ist grob unter [Ras14a] beschrieben und detailliert in [Ras15a] aufgeführt.

Interoperabilität - 3 Interoperabilität mit PostgreSQL und API unter [Ras15a] verfügbar.

Best Practise - 1 Einzig Hinweise verfügbar. [Ras14b]

Anpassbarkeit - 1 Kein eigenständiges Dokument vorhanden, erschließt sich aber aus genannten Quellen.

5 Systemauswahl

Das Qualitätskriterium Dokumentation wird für Postgres-XL mit dem Wert 8, bzw. der Erfüllung von 62%, belegt.

5.3.4 Modifizierbarkeit

Verwendung eigener Datentypen - 0 Keine eigenen Datentypen erstellbar. Einzig die Verwendung von selbst definierten Arrays ist verfügbar.

Erstellung eigener Schnittstellen - 1 Über Java Database Connectivity (JDBC)/Open Database Connectivity (ODBC) in Java und C++ möglich.

Erstellung eigener Funktionen - 1 In der Abfragesprache rasql nicht möglich, dagegen mit API.

Verwendung der Programmiersprachen Scala oder R - 1 Scala mit API verwendbar.

Anlegen eigener Berechnungsvorgängen zur späteren Abarbeitung - 0 Nicht vorgesehen.

Hier ist die Wertung 3 von 5 Punkten und damit 60%.

5.3.5 Zusammenfassung

Aus Tabelle 5.4 ergibt sich ein Nutzwert von 51.

Die Statistiken der Entwicklung des Repository müssen händisch gewonnen werden, da es auf einem Trac Verwaltungssystem mit Git basiert. Das Repository ist unter kahlua.eecs.jacobs-university.de/rasdaman.git verfügbar. Es kann mit der Konsolenanwendung Git heruntergeladen und ausgewertet werden. So erhält man mit `git log --pretty=format:"%h - %an, %ad : %s" | tail -1` das der erste commit 2009 erstellt wurde:

0f1055b - Constantin Jucovschi, Tue Mar 31 06:18:54 2009 -0400 : Initial commit

5 Systemauswahl

Metrik	erreichter Wert	Erfüllung in %	Kommentar	gewichteter Teilnutzen
Interoperabilität	7	58	UMN MapServer Schnittstelle ist nicht vorhanden.	17
Funktionsumfang	10	16	Umfangreiche Rasterverarbeitung möglich. Kostenlose Version enthält keine Optimierungen. Abbildung von Simple Features auf Arrays mit Aufwand verbunden und nur bedingt sinnvoll. Mindestabdeckung wird nicht erfüllt.	3
Dokumentation	8	62	Mindestabdeckung erfüllt.	22
Modifizierbarkeit	3	60	Einfache Java und C++ API bietet zwar Erweiterungsmöglichkeiten, aber die Mindestabdeckung ist durch fehlende Datentypen nicht gegeben.	9

Tabelle 5.4: Nutzwertanalyse Rasdaman

Somit sind auch die commits des vergangenen Jahres ermittelbar. So wurden vom 19.2.2014 bis zum 19.2.2015 1949 commits durchgeführt. *git shortlog -sne* liefert dagegen alle Autoren der vorhandenen commits. Die Autoren der meisten commits sind Dimitar Misev mit 456, Piero Campalani mit 301 und Andrei Aiordachioaie mit 74 commits, Stand 19.2.2015 14:00 Uhr. Herr Misev ist laut seinem LinkedIn Profil auf <https://de.linkedin.com/in/dimitarmisev> Director of Product Development der rasdaman GmbH. Herr Campalani und Herr Aiordachioaie haben wie Herr Misev an der Jacobs Universität in Bremen studiert, arbeiten aber nicht bei der rasdaman GmbH.

Rasdaman ist laut der Meldung „Führender Rasterserver kostenfrei zum Download“ in [Ras12] seit September 2008 in einer freien Version verfügbar. Außerdem ist es aus Forschungsarbeiten der TU Darmstadt, der TU München und der Jacobs University Bremen entstanden. Förderer war dabei das Community Research and Development Information Service der EU. [Com98]

5.4 Zusammenfassung

Auf Grund der Ähnlichkeit von Postres-XL zum Ist-Stand erfüllt es nicht nur alle Mindestanforderungen, sondern erzielt auch den höchsten Nutzwert der untersuchten Frameworks. Der Nutzwert von 86 ist auf 86% Erfüllung der untersuchten Qualitätsmetriken abbildbar. Da die Anforderungen neben vorhandenen Qualitäten des Ist-Standes fehlende dessen enthalten, betont diese hohe Erfüllung die Eignung für zukünftige Anforderungen an Zeitverhalten und Modifizierbarkeit. Weiterhin spricht die Existenz seit 1996 für Postgres-XL. Einzig die Übernahme der Firma TransLattice und der damit einhergegangene Einbruch der Anzahl an commits und contributors ist negativ und für die Zukunft zu beobachten.

GeoMesa und Rasdaman sind für andere spezielle Anwendungsfälle geeignet. So ist Rasdaman in der kommerziellen Version bei verteilter Rasterdatenverarbeitung zu empfehlen. GeoMesa eignet sich auf Grund des BigTable Ansatzes für enorm große Datenmengen die im Peta Bereich liegen. So können diese Daten nicht nur gespeichert, sondern auch mit Scala und dazugehörigen Frameworks und Bibliotheken verteilt und parallel nach selbst erstellten Algorithmen und Vorgängen verarbeitet werden.

Die Systemauswahl hat nicht nur ein geeignetes Framework als Ergebnis, sondern auch ein Grundgerüst zur Beurteilung anderer Frameworks und Anwendungsfälle anhand von Nutzwertanalysen. In Folge ist Postgres-XL detailliert zu untersuchen und ein geeigneter Prototyp zu erstellen.

6 Realisierung mit Postgres-XL

6.1 Verwendung

Nach der theoretischen Vorstellung des Frameworks im Abschnitt 2.3.7 wird in diesem Unterkapitel die konkrete praktische Verwendung entsprechend den Abschnitten Installation, Schnittstelle und Verarbeitung dargelegt.

6.1.1 Installation

Systemvoraussetzungen

Die Dokumentation¹ verwendet hierbei deckungsgleich die offizielle Dokumentation zu den Systemanforderungen von PostgreSQL². Dabei wird ein Linux Betriebssystem, 155MB freien Festplattenspeicher für die Übersetzung, Installation und Erstellung eines leeren Datenbankclusters sowie eine Menge von Paketen genannt. Diese ist: GNU make, gcc, tar und zlib als benötigte sowie libperl oder libpython als optionale Pakete. Zusätzlich werden für die Erzeugung der Dokumentation oder über Übersetzung des Quellcodes weitere Pakete benötigt. Diese Anforderungen setzen eine Standard Installation voraus. Neben Linux Derivaten wird auch FreeBSD und Max OS X unterstützt. Die Prozessorarchitektur von Intel wird unterstützt, andere sind laut Dokumentation ebenso verwendbar. Im Rahmen dieser Arbeit konnte Postgres-XL auch auf einem Raspberry Pi 1 Model B, basierend auf einem ARMv6 Prozessor und dem Linux Derivat Raspbian, übersetzt und verwendet werden.

¹<http://files.postgres-xl.org/documentation/install-requirements.html>

²<http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/install-requirements.html>

Installation

Postgres-XL steht als RPM und direkt als Quellcode bereit. Davon verfügbare RPM Pakete sind jedoch von Mai 2014 und somit veraltet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der aktuelle Quellcode von github verwendet. Die Übersetzung des Quellcodes erfolgt mit einer im Linux Umfeld oft verwendeten configure, make und make install Routine. Der aktuelle Quellcode wird mit dem Kommandozeilen- und Versionsverwaltungstool git auf den Computer geladen und die darin enthaltene Datei configure mit zusätzlichen Parametern zum Zwecke der Einrichtung der anschließenden Installation ausgeführt. Die Ausführung von make übersetzt den Quellcode und der Parameter install kopiert die Übersetzungen in die mit configure festgelegten Ordner. Im Anhang A.2 ist das Skript zur Installation von Postgres-XL auf dem Testsystem zu sehen. Das Installationskript muss für andere Systemumgebungen angepasst werden, da Pfade und notwendige Pakete unterschiedlich sein können. Weiterhin ist zu erwähnen, dass Änderungen an der Kernel-Konfiguration vorzunehmen sind, jedoch ebenso abhängig von der Systemumgebung. Im Testsystem musste der Wert des für jede Anwendung nutzbaren geteilten Speichers erhöht werden, um Postgres-XL starten zu können.

Um das Kommandozeilentool pgxc_ctl nutzen zu können, muss im Quellcode Ordner in ./contrib/pgxc_ctl gewechselt und dort make sowie make install ausgeführt werden. damit wird das Tool übersetzt und in den in der vorangegangenen Installation festgelegten Ordner kopiert.

Einrichtung

Postgres-XL ist für den Einsatz in einem Cluster konzipiert. So muss die Installation für jeden Knoten vorgenommen werden. Die Einrichtung der einzelnen Knoten variiert je nach Art des Knotens, wobei ein Knoten entweder eine GTM Instanz oder mehrere Coordinator sowie DataNodes Instanzen mit einer GTM-Proxy Instanz enthält. Jede Instanz kann automatisiert mit pgxc_ctl oder manuell erstellt und konfiguriert werden. Das Testsystem wurde mit pgxc_ctl eingerichtet. Voraussetzung der Nutzung von pgxc_ctl ist der Zugang zu allen Knoten per SSH ohne Passwortabfrage für den selben Benutzer und die Vergabe eindeutiger Hostnames an die Knoten. Ist dies gegeben, kann pgxc_ctl in der Kommandozeile gestartet werden. Mit dem Kommando *prepare*

`config` erzeugt `pgxc_ctl` eine Konfigurationsdatei unter dem in der Umgebungsvariable `PGXC_CTL_HOME` festgelegten Ordner. In dieser Datei werden alle Elemente des Clusters definiert. Dazu zählt: GTM, GTM-Proxys, Coordinators und DataNodes. Außerdem können zu allen vier Typen Slaves definiert werden, welche bei Ausfall des Elementes dessen Aufgaben übernehmen. So wird pro Element das Arbeitsverzeichnis, der Name, der Host, der Port, optionale Konfigurationsparameter, `pg_hba` Einträge, `pgPool` Port und der Ordner der Logdateien festgelegt. Eine detaillierte Beschreibung befindet sich in der Dokumentation.³ Anhang A.5 enthält eine beispielhafte Konfigurationsdatei.

6.1.2 Schnittstelle

Der Zugriff auf Daten eines Postgres-XL Clusters erfolgt über die Coordinators. Dazu sind Programme und Tools aus dem PostgreSQL Umfeld zu verwenden. Dazu zählen JDBC, das Kommandozeilentool `psql` und das grafische Programm zur Datenbankverwaltung `pgAdminIII`. Ebenso sind die SQL Befehle bis auf ein paar Ausnahmen deckungsgleich. Diese Ausnahmen beziehen sich auf die Verteilung der Daten und Verwaltung des Clusters. Beispielsweise das SQL Statement *Create Table tblname (serial id, text data) Distributed by Hash(id)*; weicht durch die Ergänzung *Distributed by* vom PostgreSQL SQL Syntax ab. Jede Tabelle wird in jeder PostgreSQL Instanz erzeugt. Dabei werden die Daten entweder nach einem Attribut verteilt oder zwischen den Datenbankinstanzen gespiegelt. Das Schlüsselwort *Distributed* veranlasst eine Verteilung der Daten, *Replicate* dagegen eine Replikation der Tabelle über alle Nodes. Weiterhin zu erwähnen ist der Befehl *Create Node nodename With (TYPE=, HOST=, PORT=)*, welcher direkt als SQL Statement verwendet werden kann und dem Cluster einen Knoten hinzufügt. Analog dazu existiert der Befehl *Drop Node nodename* zum entfernen eines Knotens. Wurde das Cluster verändert, ist dies mit *Select * From pgxc_pool_reload()*; für alle Knoten zu propagieren. Weitere Abweichungen sind der Dokumentation zu entnehmen.⁴

³<http://files.postgres-xl.org/documentation/pgxc-ctl.html>

⁴siehe <http://files.postgres-xl.org/documentation/sql-commands.html>

Daten wurden mit dem Kommandozeilentool `pg_dump` aus dem Ist-Stand in das Testsystem überführt. Der Ist-Zustand verwendet PostgreSQL Version 9.3. Um Daten zwischen verschiedenen Versionen auszutauschen, muss der Zwischenstand der Datenbank im Textformat erstellt und dieser angepasst als SQL Anweisungen in das andere System eingespielt werden. Ein Datenaustausch mit der SQL Anweisung *Copy* oder der Erweiterung DBLink ist ebenso möglich. Diese Kompatibilität wird als erfüllter Funktionstest des Datenaustausches gewertet.

6.1.3 Verarbeitung

Die Datenverarbeitung erfolgt analog des Ist-Standes bei Agri Con. Mit der Installation⁵ von PostGIS als Erweiterung, können die vorhandenen SQL Funktionen übernommen werden, ebenso die R Bibliotheken des speziellen Krigings. Dafür ist neben R als Programmiersprache mit notwendigen Paketen auf den Systemen, PL/R als Erweiterung in Postgres-XL, zu installieren. Die Installation von PL/R mit dem Quellcode als Grundlage ist in Anhang A.3 zu finden.

6.2 Entwurf

Dieses Unterkapitel enthält die Definition des Postgres-XL Prototypen für den Einsatz bei der Agri Con. Doch zunächst werden die Gründe für diese Art des Entwurfs dargelegt.

Die Erfüllung der Anforderungen liegt bei Postgres-XL auf Grund der Beinhaltens von PostgreSQL bei 86%. Aus diesem Grund besteht die Möglichkeit einen Entwurf zu erzeugen, welcher wesentliche Aufgaben des Ist-Standes übernimmt oder den Ist-Stand ersetzt. Dagegen spricht das Trigger in der aktuellen Postgres-XL Version nicht verwendet werden können. Zwar können Trigger in Funktionen ausgelagert und bei Verwendung der Tabellen aufgerufen werden, aber dies würde einen erheblichen Implementationsaufwand bedeuten und nicht zu 100% die bestehende Funktionalitäten abbilden. Jedoch ist eine grundlegende Integration in den Ist-Stand notwendig. Dies ist in

⁵Skript siehe A.4

der Datenabhängigkeit der Bestandsdaten und der Eignung von Postgres-XL begründet. Entsprechend den Funktions- und Leistungstests sollte der Entwurf Quelldaten direkt empfangen, diese zu einem geeigneten Zeitpunkt nach der gegebenen Geostatistik und alle Daten dem Ist-Stand zur Verfügung stellen. Die Quelldaten beziehen sich auf betriebliche Daten, welche vom Ist-Stand verwaltet werden. Somit ist der Entwurf direkt mit dem Ist-Stand verbunden.

6.3 Implementierung

6.4 Tests

Die systematischen Tests werden in diesem Kapitel vorgestellt. Die Kriterien wurden in Kapitel 4.1.2 definiert, somit werden hier die Randbedingungen, Eingaben, Durchführung und Ergebnisse dargelegt.

6.4.1 Testumgebung

Die wesentliche Randbedingung Testumgebung wurde nach der Softwareauswahl und vor der Durchführung der Tests erstellt. Da es sich bei dieser Umgebung um gebrauchte Hardware aus dem Jahr 2007 handelt, sind einzig relative Aussagen der Leistung treffbar. Der Cluster wird mit Virtualisierung der einzelnen Knoten erstellt. Dafür steht ein IBM Rack Server x3850 M2 zur Verfügung, mit folgender Ausstattung: vier Xeon E7330 Quad-Core mit 2,4 GHz, 44GB DDR2 RAM, vier 500GB 2,5 Zoll SATA Festplatten von Western Digital mit 7.200 U/min und einem MR10k Raid-Controller. Als Virtualisierungssoftware kommt [VMware ESXi](#) in der kostenlosen Version 6.0 mit [VMware vSphere](#) 6.0 als Testversion zum Einsatz. Mit dieser Virtualisierungslösung ist es möglich, Ressourcen explizit und ausschließlich einer VM zuzuordnen. So werden die Prozessorkerne in Paaren und der Arbeitsspeicher direkt und mit exklusiver Verwendung den einzelnen VMs zugeordnet. Ziel dieser unter Abbildung 6.1 skizzierten Testumgebung ist es Postgres-XL mit der PostgreSQL Konfiguration des Ist Standes zu

6 Realisierung mit Postgres-XL

vergleichen, einen homogenen Cluster zu erzeugen und Aussagen über die Skalierbarkeit von Postgres-XL zu treffen. Die Ausstattung des Computers zur Verwaltung der Virtualisierung wird nicht definiert, da dies keinen Einfluss auf Messungen hat. Die VMs sind in Abbildung 6.2 dargestellt. Typ I enthält eine GTM Instanz und Typ II eine GTM-Proxy, eine Coordinator und zwei DataNode Instanzen. Dabei stehen sechs Typ II VMs zur Verfügung, wobei zur Beurteilung der Skalierbarkeit zwei bis sieben genutzt werden. Jede VM besitzt als Betriebssystem Ubuntu 14.04 LTS und alle für die Installation und Ausführung des Prototypen notwendigen Pakete. Weiterhin erhalten die Typ II VMs folgende Hardware Zuordnung: zwei Prozessorkerne, vier GB RAM und 100 GB Festplattenspeicherplatz. Typ I erhält dagegen zwei Prozessorkerne, vier GB RAM und 20 GB Festplattenspeicherplatz.

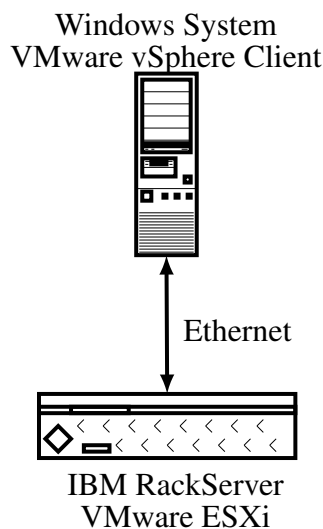


Abbildung 6.1: Aufbau der Geräte des Testsystems

Als Referenzsystem wird ein Ubuntu System mit PostgreSQL 9.3.5, PostGIS 2.1.5 und R sowie der Hardwareausstattung einer Typ II VM verwendet. Mit der Übereinstimmung der Hardware Ausstattung der VMs ist eine Vergleichbarkeit von PostgreSQL und Postgres-XL gegeben. Außerdem kann durch Verkleinerung und Vergrößerung des Clusters die Skalierbarkeit von Postgres-XL bewertet werden.

Die physischen Festspeicher des Testservers stehen den VMs nicht exklusiv zur Verfügung. Die Anzahl an Operationen pro Zeiteinheit auf diesem Medium soll für alle VMs

6 Realisierung mit Postgres-XL

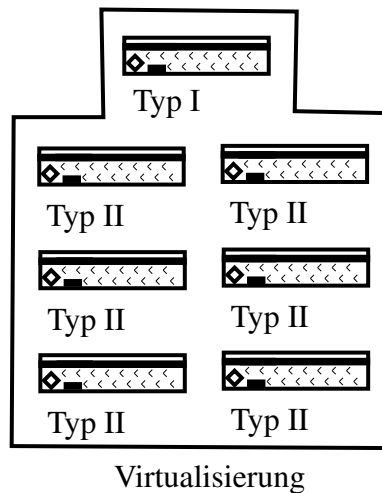


Abbildung 6.2: Aufbau der VMs des Testsystems

annähernd gleich sein. Als Kompromiss aus Verteilung der Last auf alle Festspeicher, Ausfallsicherheit und Kosten, werden die Festspeicher in einem RAID 5 Verbund zusammengefasst. So stehen 1,4 TB Festspeicher zur Verfügung. Um die Vergleichbarkeit der zeitlich abhängigen Messwerte zu gewährleisten, wird ESXi als Zeitgeber für alle VMs eingerichtet. Zur Überwachung der Auslastung der einzelnen VMs bietet VMware mit vSphere einfache Graphen für die zeitabhängige Auslastung der einzelnen Kerne, des Arbeitsspeichers und weiterer Komponenten. Diese Graphen besitzen als zeitliche Achse einen beliebigen Bereich bis zum momentanen Zeitpunkt. Damit sind historische Daten für einzelne VMs und ausgewählte Zeiträume nicht darstellbar. Deshalb wird zur Überwachung Zabbix eingesetzt. Zabbix ist ein freies Framework zur Überwachung von Computern und Netzwerken. Auf einem Zabbix Server werden Daten zentral von beliebigen Zabbix Clients empfangen. Dabei sind die Art der zu überwachenden Daten beliebig, standardmäßig wird die Systemauslastung und allgemeine Daten zum jeweiligen System an den Server gesendet. Dazu können eigene Skripts installiert werden und Protokolle wie [Simple Network Management Protocol \(SNMP\)](#) oder [Intelligent Platform Management Interface \(IPMI\)](#) zur Datenerhebung und Verwaltung genutzt werden. Ein Zabbix Server wird zur Analyse und Verwaltung der Zabbix Clients mit einem PHP Web-Frontend versehen. Über dieses Frontend können Clients konfiguriert, deren Status eingesehen, Diagramme zu erhobenen Daten definiert und angezeigt werden. Weiterhin

ist Zabbix ein Mehrbenutzer System und reagiert mit Funktionsaufrufen oder E-Mails auf definierte Ereignisse wie den Ausfall einzelner Clients.

6.4.2 Funktionstests

Im Abschnitt Prototypische Implementierung auf Seite 24 wurden die Funktionstests bereits als Black-Box Tests definiert und der Umfang im Kapitel 4.1.3 genauer festgesetzt. In diesem Abschnitt werden die Funktionstests für die Durchführung spezifiziert und deren Ergebnis festgehalten. Alle Funktionstests werden im Anhang A.6 in Form eines Testdokumentes⁶ zusätzlich dargelegt. Darin wird der Testfall beschrieben, die Testdaten konkretisiert, das Sollergebnis vordefiniert, das schlussendliche Ergebnis dargestellt und die Akzeptanz des Tests erläutert. Entsprechend der Reihenfolge der Testfälle im Anhang werden nachfolgend die Tests mit deren Durchführung und deren Ergebnissen präsentiert. Die Testfälle werden durchnummeriert und mit einem vorangestellten FT für Funktionstest bezeichnet. Dabei werden die Testfälle mit absteigender Priorität aufgelistet. Die Priorität hängt vom geschätzten Implementationsaufwand zur Behebung des Fehlschlages des Testfalles ab.

Die Schnittstellen sind nicht explizit zu testen, da Postgres-XL und PostgreSQL wie in Abschnitt 6.1.2 demonstriert direkt Daten austauschen können.

Da beide Systeme PostGIS 2.1.5 verwenden, sind die Austauschformate für geographische Daten identisch.

Mit PostGIS kann mit der Funktion `st_transform` direkt zwischen den Koordinatenreferenzsystemen umgerechnet werden:

```
select id, st_astext(st_transform(geom, 3857)) as transformed, st_srid(st_transform(geom, 3857)) as newsrid, st_astext(st_transform(st_transform(geom, 3857), 4326)) as original, st_srid(st_transform(st_transform(geom, 3857), 4326)) as srid from nutrients.samples limit 10;
```

So werden die Punkte der Tabelle `samples` im Schema `nutrients` mit dem EPSG Code

⁶ein Testdokument mit Testfällen in tabellarischer Form, wie es in der Softwareentwicklung zum Einsatz kommt

4326 zum EPSG Code 3857 sowie wieder zurück umgerechnet. Die Funktionsdeklaration lautet: *geometry ST_Transform(geometry g1, integer srid);* srid ist dabei ein EPSG Code aus der Tabelle SPATIAL_REF_SYS, welche 3911 Einträge im Testsystem enthält. geometry steht dagegen für einen beliebigen räumlichen Datentyp.

6.4.3 Leistungstests

Die hier verwendeten Leistungstests wurden ebenfalls in Kapitel 3 als spezielle Tests zur Messung der Leistungsfähigkeit und Effizienz definiert. Kapitel 4.1.3 beschreibt unabhängig des Testsystems die Arten der Leistungstests. Nachfolgend wird auf den Aufbau der Tests, deren Durchführung und deren Ergebnis eingegangen. Zusammenfassend ist das Ziel dieser Leistungstests, die spezielle Leistung gegenüber des Ist-Standes und die Skalierbarkeit von Postgres-XL zu ermitteln.

Analog des Testaufbaus der Bachelor Arbeit des Autors⁷ wird zur Generierung der Last das freie Java Programm JMeter verwendet, welches mehrere vorbereitete Anfragen parallel und verschränkt erzeugt sowie eine Auswertung der Laufzeiten zur Verfügung stellt.

Der erste Lasttest misst die Laufzeit zur Aggregation von Punktdaten aus der Tabelle nsensorlogs des Schemas n. Die Abfrage und Messung erfolgt mit dem SQL Statement *Select * From n.nsensorlogs Where farmid=1038;* sowie *Explain Analyze Select * From n.nsensorlogs Where farmid=1038;*. Die erste Query liefert die korrekten Daten und die Laufzeit⁸ und die zweite die Aufteilung des SQL Statements an die Knoten des Clusters. Zusätzlich erfolgt die Aggregation in einem gesonderten Test entsprechend des Anwendungsfalles mit dem UMN MapServer, mit der Darstellung als Karte als Ergebnis. Dafür wird der UMN MapServer mit einem Mapfile als FastCGI Modul verwendet, siehe Anhang A.7. Das Mapfile stellt Kartenausschnitte der Punktdaten dar. Die Karte wird dabei farbig anhand der Metadaten erzeugt.

⁷[Jun12]

⁸Sofern in PostgreSQL die Zeiterfassung mit timing eingeschaltet wurde.

7 Fazit

7.1 Zusammenfassung

7.2 Wertung

7.3 Ausblick

- auch Bezug auf Verarbeitung von ganzen Länderdaten mit dem System(en) - Darstellung als wichtige Komponente: Möglichkeiten und Performanz

A Anhang

A.1 GeoTools Funktionalitäten

Übersicht

[Geo15] listet die wichtigsten Funktionalitäten wie folgt auf:

- *A clean data access API supporting feature access, transaction support and locking between threads*
 - *Access GIS data in many file formats and spatial databases*
 - *Coordinate reference system and transformation support*
 - *Work with an extensive range of map projections*
 - *filter and analyze data in terms of spatial and non-spatial attributes*
- *A stateless, low memory renderer, particularly useful in server-side environments.*
 - *compose and display maps with complex styling*
 - *vendor extensions for fine control of text labels and color blending*
- *Powerful schema assisted parsing technology using XML Schema to bind to GML content*
The parsing / encoding technology is provided with bindings for many OGC standards including GML, Filter, KML, SLD, and SE.

Unterstützte Formate sind nach der selben Quelle:

A Anhang

- *raster formats and data access*
arcsde, arcgrid, geotiff, grassraster, gtopo30, image (JPEG, TIFF, GIF, PNG), imageio-ext-gdal, imagemosaic, imagepyramid, JP2K, matlab
- *Database “jdbc-ng” support*
db2, h2, mysql, oracle, postgres, spatialite, sqlserver
- *Vector formats and data access*
app-schema, arcsde, csv, dxf, edigeo, excel, geojson, org, property, shapefile, wfs
- *XML Bindings*
Java data structures and bindings provided for the following: xsd-core (xml simple types), fes, filter, gml2, gml3, kml, ows, sld, wcs, wfs, wms, wps, vpf. Additional Geometry, Filter and Style parser/encoders available for DOM and SAX applications.

A.2 Postgres-XL Installationsskript

LISTING A.1: Postgres-XL installation

```
sudo apt-get install bison flex libreadline6 libreadline6-dev \
libedit-dev make zlib1g libghc-zlib-dev jade
./configure
make
sudo make install
PATH=$PATH:/usr/local/pgsql/bin
export PATH
```

A.3 PI/R Installationsskript

LISTING A.2: PI/R installation

```
#install R:
```

A Anhang

```
#add source: deb http://ftp5.gwdg.de/pub/misc/cran/bin/linux/
ubuntu \
    trusty/
sudo apt-get update
sudo apt-get install r-base

#install Pl/R:
#copy plr src to postgres-xl/src/contrib
#cd there
make
sudo make install
psql -h localhost template1
create extension plr;
```

A.4 PostGIS Installationsskript

LISTING A.3: PostGIS installation

```
tar -xvzf postgis-2.1.5.tar.gz
cd postgis-2.1.5/
sudo apt-get install libproj0 libproj-dev libgeos-dev libxml2 \
    libxml2-dev libgdal-dev
./configure --with-pgconfig=/usr/local/pgsql/bin/pg_config
make
sudo make install
psql -h localhost --port=6661 -d agrodb -f \
    /usr/local/pgsql/share/extension/postgis--2.1.5.sql
```

A.5 Konfigurationsskript pgxcctl

LISTING A.4: Konfigurationsdatei pgxc-ctl

```
#!/usr/bin/env bash
```


A Anhang

```
pgxcInstallDir=$HOME/pgxc
#---- OVERALL
-----

#
pgxcOwner=$USER
pgxcUser=$pgxcOwner

tmpDir=/tmp
localTmpDir=$tmpDir

configBackup=n
configBackupHost=pgxc-linker
configBackupDir=$HOME/pgxc
configBackupFile=pgxc_ctl.bak

#---- GTM -----

#---- GTM Master -----

#---- Overall ----
gtmName=gtm
gtmMasterServer=ThinkCenter
gtmMasterPort=6660
gtmMasterDir=$HOME/data_gtm

#---- Configuration ---
gtmExtraConfig=none
gtmMasterSpecificExtraConfig=none
#---- GTM Slave -----

#---- Overall -----
gtmSlave=n
gtmSlaveName=gtmSlave
gtmSlaveServer=
gtmSlavePort=20001
gtmSlaveDir=$HOME/pgxc/nodes/gtm

#---- Configuration ----
```

A Anhang

```
gtmSlaveSpecificExtraConfig=none

#---- GTM Proxy -----
#---- Shortcuts -----
gtmProxyDir=$HOME/data_gtm_proxy

#---- Overall -----
gtmProxy=y
gtmProxyNames=(gtm_pxy1)
gtmProxyServers=(ThinkCenter)
gtmProxyPorts=(20001)
gtmProxyDirs=($gtmProxyDir)

#---- Configuration ----
gtmPxyExtraConfig=none
gtmPxySpecificExtraConfig=(none none none none)

#---- Coordinators -----

#---- shortcuts -----
coordMasterDir=$HOME/data_coordinator
coordSlaveDir=$HOME/pgxc/nodes/coord_slave
coordArchLogDir=$HOME/pgxc/nodes/coord_archlog

#---- Overall -----
coordNames=(coord1)           # Master and slave use the same
                                name
coordPorts=(6661)              # Master ports
poolerPorts=(20010)            # Master pooler ports
coordPgHbaEntries=(192.168.1.0/24)
#coordPgHbaEntries=(::1/128)   # Same as above but for IPv6
                                addresses

#---- Master -----
coordMasterServers=(ThinkCenter) # none means
                                this master is not available
coordMasterDirs=($coordMasterDir)
coordMaxWALsernder=1
coordMaxWALSenders=($coordMaxWALsernder)
```

A Anhang

```
#---- Slave -----
coordSlave=n
coordSlaveSync=y          # Specify to connect with
    synchronized mode.
coordSlaveServers=(node07 node08 node09 node06)
    # none means this slave is not available
coordSlavePorts=(20004 20005 20004 20005)
    # Master ports
coordSlavePoolerPorts=(20010 20011 20010 20011)
    # Master pooler ports
coordSlaveDirs=($coordSlaveDir $coordSlaveDir $coordSlaveDir
    $coordSlaveDir)
coordArchLogDirs=($coordArchLogDir $coordArchLogDir
    $coordArchLogDir $coordArchLogDir)

#---- Configuration files---
coordExtraConfig=coordExtraConfig      # Extra configuration
    file for coordinators.

                                           # This file will
                                           # be added to
                                           # all the
                                           # coordinators'
                                           # postgresql.
                                           # conf

cat > $coordExtraConfig <<EOF
#=====
# Added to all the coordinator postgresql.conf
# Original: $coordExtraConfig
log_destination = 'stderr'
logging_collector = on
log_directory = 'pg_log'
listen_addresses = '*'
max_connections = 100
EOF

# Additional Configuration file for specific coordinator master.
# You can define each setting by similar means as above.
coordSpecificExtraConfig=(none)
```

A Anhang

```
coordExtraPgHba=none
coordSpecificExtraPgHba=(none)

#----- Additional Slaves -----
#
# Please note that this section is just a suggestion how we
#   extend the configuration for
# multiple and cascaded replication.   They're not used in the
#   current version.
#
coordAdditionalSlaves=n           # Additional slave can be
#   specified as follows: where you
coordAdditionalSlaveSet=(cad1)    # Each specifies set of
#   slaves.   This case, two set of slaves are

cad1_Sync=n                       #
cad1_Servers=(node08 node09 node06 node07)  # Hosts
cad1_dir=$HOME/pgxc/nodes/coord_slave_cad1
cad1_Dirs=($cad1_dir $cad1_dir $cad1_dir $cad1_dir)
cad1_ArchLogDir=$HOME/pgxc/nodes/coord_archlog_cad1
cad1_ArchLogDirs=($cad1_ArchLogDir $cad1_ArchLogDir
#   $cad1_ArchLogDir $cad1_ArchLogDir)

#---- Datanodes -----

#---- Shortcuts -----
datanodeMasterDir=$HOME/data
datanodeSlaveDir=$HOME/pgxc/nodes/dn_slave
datanodeArchLogDir=$HOME/pgxc/nodes/datanode_archlog

#---- Overall -----
#primaryDatanode=datanode1
primaryDatanode=datanode1      #
#   Primary Node.
datanodeNames=(datanode1)
```

A Anhang

```
datanodePorts=(6663)      # Master ports
datanodePoolerPorts=(20012)  # Master pooler ports
datanodePgHbaEntries=(192.168.1.0/24)

#---- Master -----
datanodeMasterServers=(ThinkCenter)
datanodeMasterDirs=($datanodeMasterDir)
datanodeMaxWalSender=1
datanodeMaxWALSenders=($datanodeMaxWalSender)

#
# max_wal_senders
#
# configuration
# for each
# datanode

#---- Slave -----
datanodeSlave=n
datanodeSlaveServers=(node07 node08 node09 node06)      # value
# none means this slave is not available
datanodeSlavePorts=(20008 20009 20008 20009)      # value none
# means this slave is not available
datanodeSlavePoolerPorts=(20012 20013 20012 20013)      # value
# none means this slave is not available
datanodeSlaveSync=y      # If datanode slave is connected
# in synchronized mode
datanodeSlaveDirs=($datanodeSlaveDir $datanodeSlaveDir
# $datanodeSlaveDir $datanodeSlaveDir)
datanodeArchLogDirs=( $datanodeArchLogDir $datanodeArchLogDir
# $datanodeArchLogDir $datanodeArchLogDir )

# ---- Configuration files ---
datanodeExtraConfig=none
datanodeSpecificExtraConfig=(none none none none)
datanodeExtraPgHba=none
datanodeSpecificExtraPgHba=(none none none none)

#----- Additional Slaves -----
datanodeAdditionalSlaves=n
```

A Anhang

```
# dad1_Sync=n
# dad1_Servers=(node08 node09 node06 node07)      # Hosts
# dad1_dir=$HOME/pgxc/nodes/coord_slave_cad1
# dad1_Dirs=($cad1_dir $cad1_dir $cad1_dir $cad1_dir)
# dad1_ArchLogDir=$HOME/pgxc/nodes/coord_archlog_cad1
# dad1_ArchLogDirs=($cad1_ArchLogDir $cad1_ArchLogDir
#                   $cad1_ArchLogDir $cad1_ArchLogDir)

#---- WAL archives -----
walArchive=n
#
#                   End of Configuration Section
#
#=====

#=====
walArchiveSet=(war1 war2)
war1_source=(master)
wal1_source=(slave)
wal1_source=(additional_coordinator_slave_set
              additional_datanode_slave_set)
war1_host=node10      # All the nodes are backed up at the
                      # same host for a given archive set
war1_backupdir=$HOME/pgxc/backup_war1
wal2_source=(master)
war2_host=node11
war2_backupdir=$HOME/pgxc/backup_war2
#==<< End of future extension demonistration >> ==
```

A.6 Testdokument Funktionstests

A.7 Mapfile Aggregation Punktdaten

A Anhang

Testfall:	Vorhandene Schnittstelle zu PostgreSQL.
Beschreibung:	Ein direkter Datenaustausch muss mit PostgreSQL möglich sein. Dabei sollen Datenbankkonfigurationen und Daten übertragen und verwendet werden können.
Testdaten:	Zufällige Einträge aus farm.farms. Das Datenbankschema wird zunächst ohne die Daten übernommen.
Sollergebnis:	Die Schemata sind mit SQL create erzeugbar und die Daten werden ohne Fehler und ohne Umwandlung eingefügt.
Ist Ergebnis:	
Bestanden:	Nein

FT01

Testfall:	Vorhandene Schnittstelle zu UMN MapServer.
Beschreibung:	Das System muss im UMN MapServer als Datenquelle nutzbar sein.
Testdaten:	Mapfile zur Anzeige beispielhafter Schläge aus farm.fields der farmid 1177. Darin muss ein Ausschnitt mit 3 Schlägen zu sehen sein.
Sollergebnis:	Alle Schläge werden angezeigt.
Ist Ergebnis:	
Bestanden:	Nein

FT02

Testfall:	Datenaustausch nach PostGIS Format.
Beschreibung:	Daten sind in einem PostGIS Format zu übertragen und zu speichern.
Testdaten:	Zufällige Einträge aus farm.fields und n.sensorlogs. Das Datenbankschema wird zunächst ohne die Daten übernommen.
Sollergebnis:	Einträge aus den Tabellen werden ohne Umwandlung direkt in die Datenbank geschrieben.
Ist Ergebnis:	
Bestanden:	Nein

FT03

Testfall:	Umwandlung zwischen Koordinatenreferenzsystemen mit EPSG Codes 4326 und 3857.
Beschreibung:	Vorhandene räumliche Daten werden zwischen 4326 nach 3857 umgewandelt.
Testdaten:	Zufällige Einträge aus nutrients.samples.
Sollergebnis:	Einträge werden mit st_transform von 4326 nach 3857 und anders herum umgewandelt.
Ist Ergebnis:	
Bestanden:	Nein

FT04

Literaturverzeichnis

- [Ahl13] AHLERS, Jöhrn: *Untersuchung von Techniken verteilter Datenbanksysteme zur Speicherung und Abfrage von räumlichen Daten*, Jade Hochschule Oldenburg, Master Thesis, Mai 2013
- [Baa12] BAAS, Bart: *NoSQL spatial Neo4j versus PostGIS*, TU Delf, Universität Utrecht, Master Thesis, Mai 2012. – Geographical Information Management and Applications
- [Ben13] BENSBERG, Frank: *Nutzwertanalyse*. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/is-management/Management-von-Anwendungssystemen/Beschaffung-von-Anwendungssoftware/Nutzwertanalyse>. Version: 8 2013. – abgerufen am 11.1.2015
- [boo98] *Lehrbuch der Software-Technik. Software-Management, Software-Qualitätssicherung, Unternehmensmodellierung..* Bd. Bd. 2. Heidelberg : Spektrum Akad. Verl., 1998. – XX, 769 S. <http://www.bsz-bw.de/cgi-bin/ekz.cgi?SWB06262739>. – ISBN 3827400651
- [Bor07] BORTHAKUR, Dhruva: *The Hadoop Distributed File System, Architecture and Design* / The Apache Software Foundation. 2007. – Forschungsbericht
- [Com98] COMMUNITY RESEARCH AND DEVELOPMENT INFORMATION SERVICE: *RASDAMAN Report Summary*. http://cordis.europa.eu/result/rcn/20754_en.html. Version: 7 1998. – abgerufen am 19.2.2015

Literaturverzeichnis

- [Ear14] EARTHSERVER: *Rasdaman GDAL driver*. <http://earthserver.eu/trac/wiki/DocumentationGDALrasdaman>. Version: 8 2014. – abgerufen am 19.2.2015
- [Edl11] EDLICH, Stefan (Hrsg.): *NoSQL : Einstieg in die Welt nichtrelationaler Web 2.0 Datenbanken*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. München : Hanser, 2011. – XVIII, 392 S. <http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3791928&prov=M&dok%5Fvar=1&dok%5Fext=htm>. – ISBN 9783446427532
- [Eic14] EICHELBERGER, Chris: *GeoMesa Quick Start*. <http://www.geomesa.org/2014/05/28/geomesa-quickstart/>. Version: 5 2014. – abgerufen am 2.12.2014
- [Eva09] EVANS, Eric: *NOSQL 2009*. http://blog.sym-link.com/2009/05/12/nosql_2009.html. Version: 9 2009
- [FC06] FAY CHANG, Sanjay Ghemawat Wilson C. Hsieh Deborah A. Wallach Mike Burrows Tushar Chandra Andrew Fikes Robert E. G. Jeffrey Dean D. Jeffrey Dean: *Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data* / Google, Inc. 2006. – Forschungsbericht
- [Fox14] FOX, Anthony: *GeoMesa: Scaling up Geospatial Analysis*. http://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/march/article3.php. Version: 3 2014
- [Gau] GAUL, Wolfgang: *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. <http://marketing.wiwi.uni-karlsruhe.de/institut/viror/kaiman/kaiman/ahp/index.xml.html>. – abgerufen am 24.2.2015
- [Geo15] GEOTOOLS: *GeoTools*. <http://docs.geotools.org/latest/userguide/geotools.html>. Version: 2015. – abgerufen am 21.1.2015
- [Han95] HANSEN, Olav: *Leistungsanalyse paralleler Programme*. Heidelberg [u.a.] : Spektrum, 1995. – 200 S.. – ISBN 3860257072

Literaturverzeichnis

- [Hoh96] HOHENSTEIN, Uwe (Hrsg.): *Objektorientierte Datenbanksysteme : ODMG-Standard, Produkte, Systembewertung, Benchmarks, Tuning*. Braunschweig : Vieweg, 1996. – VII, 269 S.. – ISBN 3528055014
- [Hä13] HÄBERLEIN, Dan: *Migration und Extrahierung von Datensätzen mittels spaltenorientierten Datenbanken am Beispiel von Apache HBase*, Universität Leipzig, Bachelor Thesis, September 2013. – Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
- [JD04] JEFFREY DEAN, Sanjay G.: *MapReduce, Simplified Data Processing on Large Clusters* / Google, Inc. 2004. – Forschungsbericht
- [Jun12] JUNGHANNS, Kurt: *Analyse der OpenSource Mapserver GeoServer und MapServer für die Nutzung mit Agriport Mobile*, Hochschule Mittweida (FH), Bachelor Thesis, Oktober 2012. – Fakultät für Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik
- [Kud07] KUDRASS, Thomas (Hrsg.): *Taschenbuch Datenbanken : Mit ... 28 Tabellen*. München : Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl., 2007. – 582 S. <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz260569755inh.htm>. – ISBN 3446409440
- [Lan13] LANGE, Norbert d.: *Geoinformatik in Theorie und Praxis*. 3. Springer, 2013
- [Loc] LOCATIONTECH: *About*. <https://www.locationtech.org/about>. – abgerufen am 19.2.2015
- [Loc14a] LOCATIONTECH: *Tutorials*. <http://www.geomesa.org/tutorials/>. Version: 12 2014. – abgerufen am 7.12.2014
- [Loc14b] LOCATIONTECH: *Tutorials*. <http://www.geomesa.org/2014/10/09/geomesa-tools-features/>. Version: 10 2014. – abgerufen am 7.12.2014
- [Lud07] LUDEWIG, Jochen ; LICHTER, Horst (Hrsg.): *Software-Engineering : Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken*. 1. Aufl. Heidelberg : dpunkt-Verl., 2007. – XXI, 618 S. <http://bvbr.bib-bvb.de:8991/F?func=service&doc%5Flibrary=BVB01&doc%5Fnumber=>

Literaturverzeichnis

- 012989845&line%5Fnumber=0002&func%5Fcode=DB%5FRECORDS&service%5Ftype=MEDIA. – ISBN 3898642682
- [Min14] MINNESOTA, University of: *LAYER*. <http://mapserver.org/mapfile/layer.html>. Version: 2014. – abgerufen am 17.2.2015
- [MSK07] MARK SLEE, Aditya A. ; KWIATKOWSKI, Marc: *Thrift: Scalable Cross-Language ServicesImplementation / Facebook*. 2007. – Forschungsbericht
- [OSGa] OSGEO: *UpdateGeometrySRID*. <http://postgis.net/docs/manual-2.1/UpdateGeometrySRID.html>. – abgerufen am 12.2.2015
- [OSGb] OSGEO: *Using OpenGIS Standards*. <http://postgis.net/docs/manual-2.1/reference.html>. – abgerufen am 8.2.2015
- [OSG14] OSGEO LIVE: *Rasdaman*. http://live.osgeo.org/de/overview/rasdaman_overview.html. Version: 2014
- [OSG15a] OSGEO: *Geometry CRS Tutorial*. <http://docs.geotools.org/latest/tutorials/geometry/geometrycrs.html#coordinate-reference-system>. Version: 2 2015. – abgerufen am 12.2.2015
- [OSG15b] OSGEO: *Using OpenGIS Standards*. http://postgis.net/docs/manual-2.1/using_postgis_dbmanagement.html. Version: 2 2015. – abgerufen am 8.2.2015
- [Pon11] PONOMARENKO, Alexander: *Entwurf und Realisierung einer verteilten NoSQL-Anwendung*, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelor Thesis, Januar 2011. – Department Informatik
- [Ras12] RASDAMAN: *News-Archiv*. <http://www.rasdaman.com/News/archive.php>. Version: 2 2012. – abgerufen am 19.2.2015
- [Ras14a] RASDAMAN: *Features*. <http://www.rasdaman.org/wiki/Features>. Version: 12 2014. – abgerufen am 19.2.2015

Literaturverzeichnis

- [Ras14b] RASDAMAN: *Installation and Administration Guide*. http://rasdaman.org/browser/manuals_and_examples/manuals/doc-guides/inst-guide.pdf. Version: 12 2014. – abgerufen am 19.2.2015
- [Ras14c] RASDAMAN: *Introduction*. <http://www.rasdaman.org/wiki/Introduction>. Version: 4 2014. – abgerufen am 19.2.2015
- [Ras14d] RASDAMAN: *Welcome to rasdaman – the World’s Leading Array Database*. <http://www.rasdaman.org/>. Version: 2014
- [Ras15a] RASDAMAN: *Query Language Guide*. http://rasdaman.org/browser/manuals_and_examples/manuals/doc-guides/ql-guide.pdf. Version: 2 2015. – abgerufen am 19.2.2015
- [Ras15b] RASDAMAN: *Rasdaman Documentation*. <http://www.rasdaman.org/wiki/Documentation>. Version: 2 2015. – abgerufen am 19.2.2015
- [Sofa] SOFTWARE FOUNDATION APACHE: *Apache Thrift*. <https://thrift.apache.org/>. – abgerufen am 21.1.2015
- [Sofb] SOFTWARE FOUNDATION APACHE: *ZooKeeper Overview*. <https://cwiki.apache.org/confluence/display/ZOOKEEPER/ProjectDescription>. – abgerufen am 21.1.2015
- [Sof14a] SOFTWARE FOUNDATION APACHE: *Apache Accumulo Notable Features*. https://accumulo.apache.org/notable_features.html. Version: 2014. – abgerufen am 21.1.2015
- [Sof14b] SOFTWARE FOUNDATION APACHE: *Apache Accumulo User Manual Version 1.6*. https://accumulo.apache.org/1.6/accumulo_user_manual.html. Version: 5 2014. – abgerufen am 13.1.2015
- [Thu12] THURM, Benjamin: *Einsatz von NoSQL-Datenbanksystemen für Geodaten*, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Bachelor Thesis, Februar 2012. – Geoinformation und Vermessungswesen
- [Traa] TRANSLATTICE: *Client Interfaces*. <http://files.postgres-xl.org/documentation/client-interfaces.html>. – abgerufen am 8.2.2015

- [Trab] TRANSLATTICE: *Installation from Source Code*. <http://files.postgres-xl.org/documentation/installation.html>. – abgerufen am 8.2.2015
- [Trac] TRANSLATTICE: *Postgres-XL 9.2 Documentation*. <http://files.postgres-xl.org/documentation/>. – abgerufen am 8.2.2015
- [Trad] TRANSLATTICE: *Server Programming*. <http://files.postgres-xl.org/documentation/server-programming.html>. – abgerufen am 8.2.2015
- [Tra13] TRANSLATTICE: *TransLattice Acquires StormDB to Enhance TransLattice Elastic Database*. http://www.translattice.com/pr/TransLattice_Acquires_StormDB_to_Enhance_TransLattice_Elastic_Database.shtml. Version: 10 2013. – abgerufen am 19.2.2015
- [Tra15a] TRANSLATTICE: *Overview*. <http://www.postgres-xl.org/overview/>. Version: 2 2015. – abgerufen am 8.2.2015
- [Tra15b] TRANSLATTICE: *What is Postgres-XL?* <http://files.postgres-xl.org/documentation/intro-what-is.html>. Version: 2 2015. – abgerufen am 8.2.2015
- [Viv] VIVID SOLUTIONS: *JTS Topology Suite Technical Specification*. <http://www.vividsolutions.com/jts/bin/JTS%20Technical%20Specs.pdf>. – abgerufen am 3.3.2015
- [Wik15a] WIKIPEDIA: *Wikipedia article traffic statistics*. <http://stats.grok.se/en/latest90/spatial%20database>. Version: 2 2015. – abgerufen am 1.2.2015
- [Wik15b] WIKIPEDIA - LETZTE ÄNDERUNG TBOONX: *Spatial database*. https://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_database. Version: 2 2015. – abgerufen am 1.2.2015

Eidesstatliche Erklärung

Ich versichere, dass die Masterarbeit mit dem Titel „Untersuchung und Optimierung verteilter geografischer Informationssysteme zur Verarbeitung Agrartechnischer Kennzahlen“ nicht anderweitig als Prüfungsleistung verwendet wurde und diese Masterarbeit noch nicht veröffentlicht worden ist. Die hier vorgelegte Masterarbeit habe ich selbstständig und ohne fremde Hilfe abgefasst. Ich habe keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt. Diesen Werken wörtlich oder sinngemäß entnommene Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Leipzig, 6. April 2015

Unterschrift