



**Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin**

University of Applied Sciences

Bericht über Praktikumstätigkeit und Implementierung einer prototypischen Konvertierung von OSM zu OHDM

an der HTW Berlin

Fachbereich 4 - Informatik, Kommunikation und Wirtschaft,
Studiengang Angewandte Informatik

Zeitraum des Fachpraktikums

14.02.2022 - 14.05.2022

Vorname, Name	Stefan Sadewasser
Matrikelnummer	568158
Studiengang, Fachbereich	Angewandte Informatik, Fachbereich 4
E-Mail	stefan.sadewasser@student.htw-berlin.de
GitHub	https://github.com/SteSad

Inhaltsverzeichnis

I. Praktikumsplan, Datenbank, Konvertierung	6
1. Praktikum	7
1.1. Arbeitsauftrag	7
1.2. Planung	7
2. Datenbankserver	8
2.1. Multiple Datenbanken in PostgreSQL	10
2.2. Datenbank Fernzugriff	11
3. Konvertierung	13
3.1. OHDMConverter Java	13
3.2. Erkenntnis	15
 II. OHDMConverter als PostgreSQL Projekt	 16
4. Projektidee	17
4.1. osm2inter	17
4.2. inter2ohdm	18
4.3. Zusammenfassung	18
5. osm2pgsql	19
5.1. Intro	19
5.2. osm2pgsql Flags	19
5.3. Lua Script	20
5.4. Ausführung	25
6. psql	26
7. OHDM	27
7.1. Tabellen	27
7.2. Einfacher Insert	28
7.3. Join Insert	29
 III. Schlussbetrachtung	 30
8. Fazit	31
9. Zusätzliche Ergebnisse und Überlegungen	32
9.1. Laufzeitanalyse	32
9.2. Backgroundprocess	32
 Quellen	 33

IV. Anhang	34
Multiple Datenbanken in PostgreSQL	35
Curl Map Features	35
Expect Skript	35
Arbeiten mit Schlüssel-Wert-Paaren	36

Glossar

Bezeichnung

Erklärung

Flex Output

Die flexible Ausgabe ermöglicht, wie der Name schon sagt, eine flexible Konfiguration, die `osm2pgsql` mitteilt, welche OSM-Daten in Ihrer Datenbank gespeichert werden sollen und wo und wie genau. Sie wird durch eine Lua-Datei konfiguriert, die

- die Struktur der Ausgabetafeln definiert und
- Funktionen definiert, um die OSM-Daten auf das Datenformat der Datenbank abzubilden

(vgl. [`osm2pgsql-flex`])

Intermediate

Benennung für das Datenbankschema, das für die Konvertierung von einer OpenStreetMap Datei in eine Zwischendatenbank genutzt wird

Map Features

Schlüssel-Wert-Paar mit physischen Merkmalen zur Beschreibung eines OpenStreetMap Objektes

OHDMConverter

Auf Java basierte Applikation, die alle Portierungen der verschiedenen Datenbankschemata und Skripte enthält

OHM

HTW Berlin interne Bezeichnung für den physischen Server für das Open Historical Data Map Projekt

osm2inter

Abkürzung für die Konvertierungsmethode von einer OpenStreetMap Datei in eine Zwischendatenbank (Intermediate Datenbank)

osm2pgsql

Tool zur Konvertierung von OpenStreetMap Daten in eine PostgreSQL Datenbank

planet.osm

Raumbezogene Daten der gesamten Welt

psql

`psql` ist ein Terminal-basiertes Front-End für PostgreSQL. Es ermöglicht Ihnen, Abfragen interaktiv einzugeben, sie an PostgreSQL zu senden und die Abfrageergebnisse zu sehen. Alternativ kann die Eingabe auch aus einer Datei oder über Kommandozeilenargumente erfolgen. Darüber hinaus bietet `psql` eine Reihe von Meta-Befehlen und verschiedene Shell-ähnliche Funktionen, die das Schreiben von Skripten und die Automatisierung einer Vielzahl von Aufgaben erleichtern.(vgl. [10])

Abkürzungen

Bezeichnung	Erklärung
AP	Arbeitspaket
DB	Datenbank
DBMS	Database Management System
GUI	Graphical User Interface
HTW	Hochschule für Technik und Wirtschaft
OHDM	Open Historical Data Map
OSM	OpenStreetMap
PBF	Protocolbuffer Binary Format

Teil I.

Praktikumsplan, Datenbank, Konvertierung

1. Praktikum

1.1. Arbeitsauftrag

Im Rahmen des Praktikums sollte ein Linux-Server vor ein Kartenprojekt neu aufgesetzt werden. In Zusammenarbeit mit den Administratoren vor Ort musste ein PostGIS-Datenbankserver aufgesetzt werden. Danach sollte eine Datenbank (DB) aufgesetzt werden, die in Summe ca. 1 TByte Daten verwalten kann. Das Füllen der DBs würde über vorhandene Tools erfolgen. Die zusätzliche Aufgabe war es Studierende zu unterstützen, die an der Weiterentwicklung dieser Tools arbeiten. (Zitat aus einer Mail von Prof. Dr.-Ing. Thomas Schwotzer)

Die Arbeit sollte wie folgt aufgeteilt werden:

1. Dokumentation und Aufsetzen der Testumgebung
 - a) Dokumentation einer Installationsanleitung für die Benutzung des OHDMConverters zum Importieren von OpenStreetMap (OSM) Daten
 - b) Dokumentation der Einrichtung einer Testumgebung
 - c) Dokumentation wie in 1a für Windows und MacOS Systeme
2. Wiederaufsetzen des physischen OHM Servers
 - a) Aufsetzen 2 separater Datenbankserver auf dem physischen OHM Server
 - b) Importieren des planet.osm[1] Datensatzes im Produktivdatenbankserver
 - c) Formulierung eines Cron-Jobs zur Automatisierung
 - d) Importieren von OSM Daten von Deutschland im Integrationsdatenbankserver

1.2. Planung

Die Aufteilung wurde in separierten Arbeitspaketen festgehalten, welche dann im Planungskalender für ein oder zwei Kalenderwochen Bearbeitungszeit eingetragen wurden.

KW	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AP 1a														
	AP 1b													
			AP 2a											
				AP 2b										
						AP 1c								
								AP 2c						
									AP 2d					

2. Datenbankserver

Der Datenbankserver sollte mit 2 separaten PostGIS[2] Datenbanken erstellt werden. Die Erstellung und Einrichtung des Servers selbst geschah in enger Zusammenarbeit mit dem Laboringenieur Axel Wagner.

Der OHM Server wurde mit einem Ubuntu 20.04 in englischer Sprache und ohne Graphical User Interface (GUI) eingerichtet.

Des Weiteren wurden auf dem Server mehrere administrative Tools installiert, welche den Mitarbeitern beziehungsweise Laboringenieuren die Arbeit mit den Servern erleichtern.

1. aptitude <https://wiki.ubuntuusers.de/aptitude/>

ist eine Erweiterung der Paketverwaltung APT, aber im Gegensatz zu apt-get führt aptitude über Änderungen der installierten Pakete „genauer“ Buch, so dass nicht mehr benötigte Pakete automatisch erkannt und deinstalliert werden. Die Installationsgeschichte wird in ein Log geschrieben, wodurch später angezeigt werden kann, wann oder warum ein Paket installiert wurde.

2. openssh-server <https://wiki.ubuntuusers.de/SSH/#SSH-Server>

Die OpenSSH-Serverkomponente sshd wartet ständig auf Client-Verbindungen von einem der Client-Tools. Wenn eine Verbindungsanforderung auftritt, baut sshd die richtige Verbindung auf, je nachdem, welches Client-Tool die Verbindung herstellt. Wenn sich der entfernte Computer beispielsweise mit der ssh-Client-Anwendung verbindet, baut der OpenSSH-Server nach der Authentifizierung eine Fernsteuerungssitzung auf. Wenn ein entfernter Benutzer eine Verbindung zu einem OpenSSH-Server mit scp herstellt, initiiert der OpenSSH-Server-Daemon nach der Authentifizierung eine sichere Kopie von Dateien zwischen dem Server und dem Client.

3. net-tools

Eine Sammlung von Programmen, die den Basissatz der NET-3-Netzwerkdistribution für das Linux-Betriebssystem bilden. Dieses Paket enthält arp, hostname, ifconfig, ipmaddr, iptunnel, mii-tool, nameif, netstat, plipconfig, rarp, route und slattach.

4. git <https://wiki.ubuntuusers.de/Git/>

ist ein dezentrales Versionsverwaltungssystem.

5. nullmailer

ist ein reiner Weiterleitungs-MTA (Mail Transfer Agent). Das bedeutet, dass alle auf einem System eingehenden E-Mails an einen konfigurierten externen Mailserver weitergeleitet werden. Dies kann nützlich sein, wenn die Installation eines lokalen E-Mail-Servers nicht erwünscht oder nicht wirklich sinnvoll ist, aber zumindest die System-E-Mails müssen irgendwo hin weitergeleitet werden.

6. logwatch <https://wiki.ubuntuusers.de/Logwatch/>

ist ein in Perl geschriebenes Tool zur Analyse von Logdateien. Es soll Systemadministratoren helfen, die Übersicht über alle Vorgänge auf einem Serversystem zu behalten. Logwatch durchsucht die Logdateien des Systems und generiert eine Kurzfassung daraus, deren Gestaltung individuell konfiguriert werden kann. Diese kann dann entweder als Datei weiterverarbeitet oder zum Versenden an einen Mailserver weitergereicht werden.

7. apticron

ist ein kleines Shellskript zur automatischen Benachrichtigung über Paket-Updates per E-Mail.

8. fail2ban <https://wiki.ubuntuusers.de/fail2ban/>

ist ein Set aus Client, Server und Konfigurationsdateien, welches Logdateien überwacht, dort nach vordefinierten Mustern sucht und nach diesen temporär IP-Adressen sperrt.

Der OHM Server ist wie auch das Open Historical Data Map (OHDM) Projekt eine Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin Projekt, somit muss auch die Erreichbarkeit des Server aus dem HTW Netz gewährleistet werden. Dies wurde mit einem Bash Skript realisiert, das *iptables*¹ Einträge zur Port/IP Freigabe enthält (Beispiel der Freigabe von HTW Berlin interner IPs in Listing 2.1).

Listing 2.1.: Freigabe aller HTW Berlin interner IPs auf 2 verschiedenen Ports

```
1 iptables -A INPUT -s 141.45.0.0/16 -p tcp --dport 5433 -j ACCEPT
2 iptables -A INPUT -s 141.45.0.0/16 -p tcp --dport 5434 -j ACCEPT
```

Das OHDM Projekt benutzt als Database Management System (DBMS) PostgreSQL mit PostGIS[2] als Erweiterung.

Der erste Schritt, ist die Installation von PostgreSQL. Dieser lässt sich auf Ubuntu 20.04 wie in Listing 2.2 installieren.

Listing 2.2.: Installation PostgreSQL

```
1 sudo sh -c 'echo "deb http://apt.postgresql.org/pub/repos/apt $(lsb_release -
   cs)-pgdg main" > /etc/apt/sources.list.d/pgdg.list'
2 wget --quiet -O - https://www.postgresql.org/media/keys/ACCC4CF8.asc | sudo
   apt-key add -
3 sudo apt-get update
4 sudo apt-get -y install postgresql-14
5 # from 2022-02-24
```

Im Anschluss kann PostGIS[2] als eine räumliche Datenbankerweiterung für PostgreSQL (siehe Listing 2.3) installiert werden.

Listing 2.3.: Installation PostGIS

```
1 sudo apt-get install postgresql-14-postgis-3
2 sudo apt-get install postgresql-14-postgis-3-scripts
```

Während der Installationen sollte standardmäßig ein PostgreSQL Cluster[3] erstellt werden, welches folgende Daten besitzt:

Servername:	localhost	Port:	5432
Clustername:	main	Datenbankbenutzer:	postgres
Standarddatenbank:	postgres		
Datenbasis:	/var/lib/postgresql/14/main		
Datenbank log Datei:	/var/log/postgresql/postgresql-14-main.log		
Pfad zu den Konfigurationen:	/etc/postgresql/14/main/		

¹Verwaltungstool für IPv4-Paketfilterung und NAT - <https://linux.die.net/man/8/iptables>

2.1. Multiple Datenbanken in PostgreSQL

Mit PostgreSQL ist es möglich mehrere Datenbanken parallel laufen zu lassen.[4, 132 ff.] Anhand des Arbeitspaketes(vgl. Abschnitt 1.1 Punkt 2a) sollten 2 zusätzliche Cluster[3] auf dem OHM Server entstehen. Hierfür wurden bestehende beziehungsweise mitinstallierte Tools verwendet.

2.1.1. Cluster erzeugen

Zur Erzeugung eines neuen PostgreSQL Clusters[3] wird der Befehl in Listing 2.4 verwendet. Für eine detaillierte Beschreibung der Clusterdaten dient Listing 2.4 Zeile 3 als Vorlage. Weitere Überlegungen dazu in Abschnitt IV.

Listing 2.4.: Erzeugung eines PostgreSQL Clusters

```
1 sudo pg_createcluster [postgresql_version_number] [clustername] -p [port]
2 # Beispiel mit integration
3 sudo pg_createcluster 14 integration -p 5433
```

Durch die Verwendung des Befehls aus Listing 2.4 werden die Clusterdaten wie folgt erzeugt:

Servername:	localhost	Port:	5432
Clustername:	integration	Datenbankbenutzer:	postgres
Standarddatenbank:	postgres		
Datenbasis:	/var/lib/postgresql/14/integration		
Datenbank log Datei:	/var/log/postgresql/postgresql-14-integration.log		
Pfad zu den Konfigurationen:	/etc/postgresql/14/integration/		

Weitere Informationen unter:

http://manpages.ubuntu.com/manpages/trusty/man8/pg_createcluster.8.html

2.1.2. Cluster steuern

Ein start/stop oder restart lässt sich nun wie in Listing 2.5 realisieren.

Listing 2.5.: Steuerung des Clusters

```
1 sudo pg_ctlcluster [postgresql_version_number] [clustername] [start|stop|
   restart]
2 # Beispiel mit integration
3 sudo pg_ctlcluster 14 integration [start|stop|restart]
```

Auch hierzu gibt es weitere Informationen, die unter:

http://manpages.ubuntu.com/manpages/trusty/man8/pg_ctlcluster.8.html eingesehen werden können.

2.1.3. Cluster als Service registrieren

Eine Integration des erstellten Clusters[3] als Service kann in Listing 2.6 eingesehen werden. Dies wird benötigt um auch nach einem Server Neustart gewährleisten zu können das der Datenbankserver dieses Clusters[3] erreichbar ist.

Listing 2.6.: Registrierung des Clusters als System Service

```
1 sudo systemctl enable postgresql@[ postgresql_version_number ]-[ clustername ].  
   service  
2 # Beispiel mit integration  
3 sudo systemctl enable postgresql@14-integration.service
```

2.2. Datenbank Fernzugriff

Für eine Freigabe des Zugriffs auf die Datenbank von anderen Adressen als den localhost muss nicht nur der physische Server mit entsprechenden Freigaben eingestellt werden, sondern auch die Datenbank selbst.

Hierfür müssen die Konfigurationsdateien *postgresql.conf* und *pg_hba.conf* der Datenbank angepasst werden. Diese befinden sich im Pfad: `/etc/postgresql/[version_number]/[clustername]/` beziehungsweise am Beispiel integration: `/etc/postgresql/14/integration` (vgl. Unterabschnitt 2.1.1)

2.2.1. postgresql.conf

In der Datenbankkonfigurationsdatei können einige Anpassungen vorgenommen werden. In diesem Beispiel wird sich auf die Anpassung der Abgehörten IP Adressen beschränkt.

in den Grundeinstellungen ist ein PostgreSQL Datenbank Server so eingestellt das ein Zugriff auf die Daten nur Lokal möglich ist. Für die Möglichkeit eines Fernzugriffs auf die Daten muss der Eintrag (siehe Listing 2.7) geändert werden. Wie in den Kommentaren ersichtlich kann dabei auf 2 Varianten zurückgegriffen werden.

1. Freigabe einer Liste von IP Adressen die durch Komma separiert sind oder
2. Freigabe aller IP Adressen durch Benutzung „*“

Die 2. Variante sollte die fehlerfreie Freigabe von IP Adressen in den Firewall Einstellungen enthalten. Damit keine Sicherheitskonzepte verletzt werden.

Listing 2.7.: postgresql.conf Ausschnitt

```
1 # - Connection Settings -  
2  
3 #listen_addresses = 'localhost' # what IP address(es) to listen on;  
4 # comma-separated list of addresses;  
5 # defaults to 'localhost'; use '*' for all  
6 # (change requires restart)
```

2.2.2. pg_hba.conf

Die Einstellungen der Authentifizierungsmethode werden in der Datenbankkonfigurationsdatei *pg_hba.conf* definiert. In Listing 2.8 ist ein Ausschnitt einer solchen Datei auf einem Ubuntu 20.04 zu sehen. Diese definiert zum Beispiel in Zeile 2 eine Peer Authentifikation des Systembenutzers *postgres*.

Bei der Peer-Authentifizierungsmethode wird der Betriebssystem-Benutzername des Clients vom Kernel abgerufen und als zulässiger Datenbank-Benutzername verwendet (mit optionaler Zuordnung der Benutzernamen). Diese Methode wird nur bei lokalen Verbindungen unterstützt.(vgl. [5])

Listing 2.8.: pg_hba.conf Ausschnitt

```

1 # Database administrative login by Unix domain socket
2 local    all             postgres              peer\
3
4 # TYPE  DATABASE        USER            ADDRESS              METHOD
5
6 # "local" is for Unix domain socket connections only
7 local    all             all              peer
8 # IPv4 local connections:
9 host     all             all              127.0.0.1/32         scram-sha-256
10 # IPv6 local connections:
11 host     all             all              ::1/128              scram-sha-256
12 # Allow replication connections from localhost, by a user with the
13 # replication privilege.
14 local    replication     all              peer
15 host     replication     all              127.0.0.1/32         scram-sha-256
16 host     replication     all              ::1/128              scram-sha-256

```

3. Konvertierung

3.1. OHDMConverter Java

Der OHDMConverter diente als Projekthilfsprogramm um alle Portierungen einer Datei/-Schema in ein anderes zu realisieren.

Annahme: Da der OHDMConverter bis zum Beginn des Praktikums „nur“ mit kleineren oder Testdatensätzen getestet und validiert wurde, konnten einige Fehler nicht gefunden werden.

3.1.1. Import der planet.osm Datei

Die Hauptaufgabe war es das planet.osm[1] File in die PostgreSQL Datenbank zu importieren. Die Vorbereitung dieses Importes musste mit größter Sorgfalt bearbeitet werden, um:

- den fehlerfreien Ablauf zu gewährleisten,
- die Auslastung des physischen Servers so minimal wie möglich zu beschränken und
- Sicherheitskonzepte des physischen und des Datenbankservers einzuhalten.

Darüber hinaus musste auf die Größe der Datei berücksichtigt werden. Das heißt alle Tests fanden mit kleineren Dateien statt.

Tabelle 3.1.: Daten der planet.osm[1] Datei

Eigenschaft	Wert
Größe OSM Datei	115 GB
Größe der PBF[6] Datei	63 GB
Anzahl Nodes in der Datenbank[7]	7 663 759 219
Anzahl Ways in der Datenbank[7]	856 401 369
Anzahl Relations in der Datenbank[7]	9 879 181

Daten vom: 2022-05-03 23:59 UTC

3.1.2. Fehlverhalten beim Import

admin_level

Der Schlüssel `admin_level=*` beschreibt die Verwaltungsebene eines Merkmals innerhalb einer Regierungshierarchie. Er wird hauptsächlich für die Grenzen territorialer politischer Einheiten (z. B. Land, Staat, Gemeinde) zusammen mit `boundary=administrative` verwendet. Aufgrund kultureller und politischer Unterschiede entsprechen die Verwaltungsebenen verschiedener Länder nur annähernd einander. (vgl. [8])

Von OSM ist der Wert dieses Schlüssels als numerischer Wert zu speichern. Im OHDMConverter wurde auch von dieser Aussage ausgegangen, sodass für den Wert in Java ein Integer Wert angelegt wird und der Bedingung: Sollte der Wert nicht gelesen werden können wird das OSM Objekt verworfen.

Der Folgefehler daraus ist, dass alle OSM Objekte, die mit einem nicht numerischen Wert für den Schlüssel: `admin_level` eingetragen sind, nicht gelesen werden. Leider gibt es sehr viele dieser Objekte die für andere OSM Objekte wichtig sind, sodass im Umkehrschluss Objekt zu dem das Objekt gehört nicht mehr darstellbar sind beziehungsweise einen fehlerhaften Querverweis haben.

Abbruch

Der Import der OSM Datei in die PostgreSQL Datenbank wurde nicht vollständig ausgeführt. Anhand der log Dateien konnte ein Aussage zur Menge der nicht betrachteten OSM Objekte und einem weiteren Fehler getroffen werden. Die beiden letzten Zeilen der Log Datei von `osm2inter`, allerdings für die Dokumentation aufbereitet, kann in Listing 3.1 eingesehen werden.

Listing 3.1.: Letzte zwei Zeilen des logs des Importes von `osm2inter`

```

1 nodes: 7,505,830,920
2 ways: 836,886,605
3 relations: 2,382,475
4 elapsed time: 9 : 5 : 58 : 30
5 throwable caught in startElement:
6 java.lang.StringIndexOutOfBoundsException:
7 begin 1, end 0, length 1

```

Zum Zeitpunkt des Importes waren laut:

https://taginfo.openstreetmap.org/reports/database_statistics

7565505545 Nodes, 844325562 Ways und 9742774 Relations in der planet.osm[1] Datei enthalten. Somit fehlten der Datenbank:

60 000 000 kurz	60 Mio, das entspricht	0,8%	Nodes
8 000 000 kurz	8 Mio, das entspricht	0,9%	Ways
7 000 000 kurz	7 Mio, das entspricht	75,5%	Relations

3.2. Erkenntnis

Aufgrund der gravierenden Fehler (vgl. Unterabschnitt 3.1.2) im OHDMConverter wurde die Lösung als Java Applikation verworfen. Dies geschah in Rücksprache mit dem Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Thomas Schwotzer, welcher die Grundlegende Idee OSM Daten in die OHDM Datenbank zu importieren, als reines PostgreSQL Projekt umsetzen wollte.

Das OHDM Projekt beziehungsweise der OHDMConverter als Java Applikation läuft bereits seit einigen Jahren kann aber mit den aktuellen Mitteln nicht stabil genug implementiert werden, auch in absehbarer Zeit nicht.

Somit wurde die Projektidee neu definiert.

Teil II.

OHDMConverter als PostgreSQL Projekt

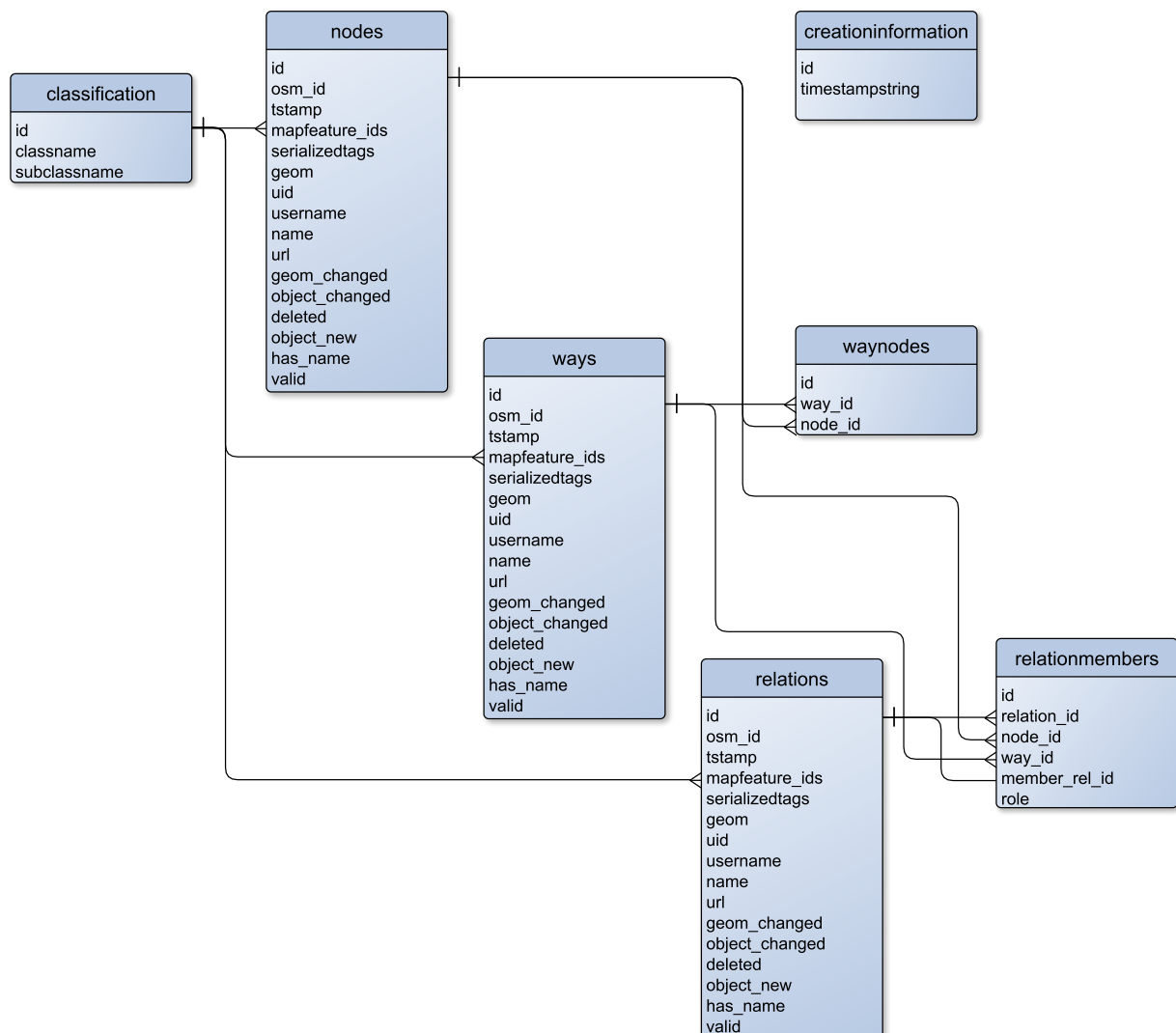
4. Projektidee

Die Grundidee von OHDM ist immer noch die selbe, kurz es sollen OSM Daten um die Dimension Zeit erweitert werden. Auch bleiben die bestehenden Datenbankschemata gleich. Die größte Änderung ist die Implementierung.

4.1. osm2inter

Für den Import von OSM Dateien soll ein bestehendes Tool „osm2pgsql“^[9] verwendet werden. osm2pgsql^[9] ist dafür ausgelegt OSM Daten in eine PostGIS Datenbank zu importieren.

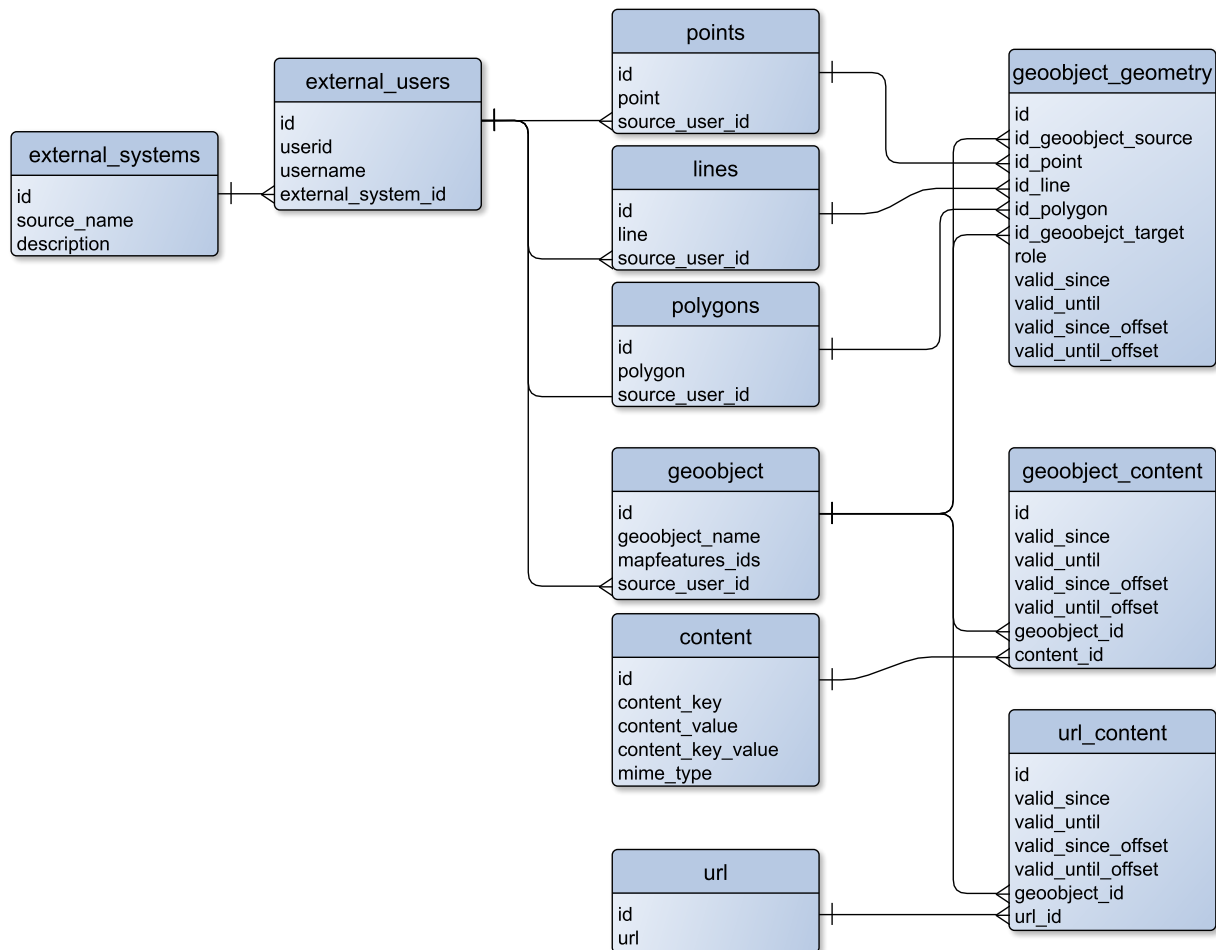
Abbildung 4.1.: Entity Relationship Diagramm der Intermediate Datenbank



4.2. inter2ohdm

Die Konvertierung der Intermediate Datenbank soll mithilfe von SQL Scripts realisiert werden. Hierbei soll, wenn möglich das Tool „psql“ [10] eingesetzt werden.

Abbildung 4.2.: Entity Relationship Diagramm der OHDM Datenbank



4.3. Zusammenfassung

Die beiden Datenbankschemata Intermediate (vgl. Abbildung 4.1) und OHDM (vgl. Abbildung 4.2) sollen beibehalten werden. Allerdings soll jetzt mehr mit den Bordmittel von OSM und PostgreSQL gearbeitet werden.

Die neue Projektidee musste mit bestehenden Datenstrukturen arbeiten, da sonst auch alle anderen Teilprojekte einer Anpassung bedurften.

5. osm2pgsql

5.1. Intro

Als Importkomponente kann osm2pgsql[11] sehr vielseitig eingesetzt werden. Innerhalb des Projektes löst osm2pgsql den OHDMConverter zum importieren von OSM in die Intermediate Datenbank ab. Zusätzlich lassen sich mit dem osm2pgsql nicht nur XML basierte OSM Dateien importieren sondern auch PBF und BZ2 Container. Allgemein sind PBF Datei zu bevorzugen, da sie nur ungefähr halb so groß, wie die XML basierenden OSM Dateien sind.[12]

Den größten Vorteil von osm2pgsql bietet die Benutzung des „Flex Output“. Hierbei wird die Konvertierung mit einem Lua Script angepasst.

Die Installation kann auf dem GitHub Repository über die Readme.md eingesehen werden.

5.2. osm2pgsql Flags

Für den fehlerfreien Import sind mehrere Flags notwendig. In der nachfolgenden Tabelle 5.1 sind diese einzeln aufgelistet mit einer entsprechenden Erklärung.

Tabelle 5.1.: Flags

Flag	Beschreibung
-H, --host=HOST	Hostname des Datenbankservers oder Standort des Unix-Domänen-Sockets
-P, --port=PORT	Port des Datenbank-Servers
-U, --user=USERNAME	Datenbank-Benutzer
-W, --password	Passwortabfrage erzwingen
-d, --database=DB	Datenbankname oder PostgreSQL Konnektivitätsstring
--log-level=LEVEL	Einstellen der Protokollstufe (debug, info (default), warn, or error)
-x, --extra-attributes	Attribute (Benutzername, Benutzerkennung, Änderungssatzkennung, Zeitstempel und Version) einschließen
-O, --output=OUTPUT	Spezifiziert den Output z.B.: flex, postgresql (Standard), gazetteer und null
-S, --style=STYLE	Dies gibt an, wie die Daten in die Datenbank importiert werden, ihr Format hängt von der Ausgabe ab. In diesem Flag muss das Lua Script angegeben werden
-c, --create	Spezifiziert die osm Datei

5.3. Lua Script

Für den Import in das bestehende Intermediate Schema wird ein Lua Script benötigt, welches den Import von OSM Daten in die Intermediate Datenbank spezifiziert.

Für eine bessere Erklärung wird das Lua Script in drei Abschnitte unterteilen:

1. Tabelleninitialisierung
2. Hilfsfunktionen und Variablen
3. Prozessfunktionen

Diese Beschreibung ist projektspezifisch, weitere Informationen zur Verwendung des Lua Script können unter folgendem Link eingesehen werden:

<https://osm2pgsql.org/doc/manual.html#the-flex-output>

5.3.1. Tabelleninitialisierung

Im Lua Script werden erforderliche Tabellen wie in Listing 5.1 angelegt. Dies wird benötigt um die Tabelle zu spezifizieren.

Listing 5.1.: Initialisierung eine Tabelle für alle nodes

```

1  tables.nodes = osm2pgsql.define_table({
2      name = 'nodes',
3      ids = { type = 'node', id_column = 'osm_id' },
4      columns = {
5          { column = 'id', sql_type = 'bigserial', create_only = true },
6          { column = 'tstamp', sql_type = 'timestamp' },
7          { column = 'mapfeature_ids', type = 'text' },
8          { column = 'serializedtags', type = 'hstore' },
9          { column = 'geom', type = 'point', projection = 4326 },
10         { column = 'uid', type = 'text' },
11         { column = 'username', type = 'text' },
12         { column = 'name', type = 'text' },
13         { column = 'url', type = 'text' },
14         { column = 'geom_changed', type = 'bool' },
15         { column = 'object_changed', type = 'bool' },
16         { column = 'deleted', type = 'bool' },
17         { column = 'object_new', type = 'bool' },
18         { column = 'has_name', type = 'bool' },
19         { column = 'valid', type = 'bool' }
20     },
21     schema = SCHEMA_NAME
22 })

```

Listing 5.1 Zeile 4 spezifiziert den osm Typ für den die Tabelle angelegt werden soll (in dem Fall, für alle nodes) und die ID der node wird in die Spalte „osm_id“ eingetragen.

Zeile 6 erzeugt eine Spalte mit einem eindeutigen Integer Wert, welcher mit einem weiteren SQL Script in einen „Primary Key“ verändert werden kann.

Die Einträge Zeile 7 - 20 definieren die weiteren Spalten der Tabelle „nodes“, welche mit einer Prozess Funktion beschrieben werden.

Des Weiteren kann wie in Zeile 22 ein Schema definiert werden, in die diese Tabelle geschrieben wird.

5.3.2. Hilfsfunktionen und Variablen

Map Features

Listing 5.2.: Deklaration einer Lua Tabelle für die mapfeatures

```

1  local map_features = {
2      'admin_level', 'aerialway', 'aeroway', 'amenity', 'barrier', 'boundary',
3      'building', 'craft', 'emergency', 'geological', 'healthcare', 'highway',
4      'historic', 'landuse', 'leisure', 'man-made', 'military', 'natural',
5      'office', 'place', 'power', 'public-transport', 'railway', 'route',
6      'shop', 'sport', 'telecom', 'tourism', 'water', 'waterway'
7  }

```

In Listing 5.2 werden die sogenannten „Map Features“^[13] definiert.

OpenStreetMap stellt physische Merkmale am Boden (z. B. Straßen oder Gebäude) mithilfe von Tags dar, die an seine grundlegenden Datenstrukturen (nodes, ways und relations) angehängt sind. Jedes Tag beschreibt ein geografisches Attribut des Features, das von diesem bestimmten nodes, ways oder dieser relations angezeigt wird.

Der aktuelle Stand beschreibt zusätzlich im Lua Script eine CSV importierte Tabelle der händisch inserierten Map Features.

(mehr Ideen: Abschnitt IV)

Hilfsfunktion für name, mapfeatures, serializedtags und url

Die Hilfsfunktion in Listing 5.3 (nächste Seite) analysiert das übergebene Objekt und gibt vier Werte zurück.

name Der primäre Name: im allgemeinen der prominenteste ausgeschilderte Name oder der gebräuchlichste Name in der/den Landessprache(n).

mapfeatures Eine Lua Tabelle, welche ein key-value Paar enthält. Diese Tabelle enthält alle tags welche eine Übereinstimmung mit der map_features Lua Tabelle (siehe Listing 5.2) haben. Der Rückgabetyt ist ein String, der alle IDs der classification Tabelle, Semikolon separiert, enthält.

serializedtags Eine Lua Tabelle mit alle object.tags, welche nicht direkt für die weitere Konvertierung benötigt werden.

url Bei der Analyse der osm Dateien wurde festgestellt, dass eine url beziehungsweise Webseitenreferenz auf verschiedene Arten eingetragen werden kann. Dieses Problem wurde ebenfalls mit der Hilfsfunktion `get_tag_quadruple()` realisiert.

Der *goto* Befehl entspricht in diesem Beispiel dem *continue* in Java.

Zusätzlich dienen die Zeilen 23 - 42 der Vereinfachung der Tabelleneinträge. Alle Variablen die nil sind werden in PostgreSQL mit NULL eingetragen, somit entfällt eine String Vergleich um leere Einträge zu finden. Es kann direkt nach ISNULL oder NOTNULL im SQL Statement gefragt werden.

Listing 5.3.: Hilfsfunktion zur osm object.tag Verarbeitung

```

1  local function get_tag_quadruple(object)
2  — table with classcodes from the mapfeatures
3  local features = {}
4  — declation with one entry '-1' when the osm object has not a mapfeature
5  table.insert(features, '-1')
6  local ser = {}
7  local url = nil
8  local name = object:grab_tag('name')
9  — Iterate over each tag from the osm object
10 for key, value in pairs(object.tags) do
11   — find url or website entry
12   if key == 'url' then
13     url = object:grab_tag(key)
14     goto continue
15   elseif key == 'website' then
16     url = object:grab_tag(key)
17     goto continue
18   elseif osm2pgsql.has_suffix(key, ':url') then
19     url = object:grab_tag(key)
20     goto continue
21   elseif osm2pgsql.has_suffix(key, ':website') then
22     url = object:grab_tag(key)
23     goto continue
24   end
25
26   if list_contains(map_features, key) then
27     — osm object.tag is defined as a mapfeature
28     features = get_classcode(key, value, features)
29     goto continue
30   else
31     — osm object.tag is not very relevant,
32     — therefore it is stored in serializedtags table
33     ser[key] = value
34     goto continue
35   end
36   :: continue ::
37 end
38 — If the table is empty, an empty table should not be saved.
39 — Instead, the value is set to nil (PostgreSQL NULL)
40 if next(ser) == nil then
41   ser = nil
42 end
43 — to save the Lua table as text in PostgreSQL Database,
44 — the table entries concat with ';' as delimiter
45 return name, table.concat(features, ';'), url, ser
46 end

```

5.3.3. Prozessfunktionen

Damit die nodes, ways, relations spezifisch in die gewünschten Tabellen eingetragen werden, müssen die Lua Funktionen `osm2pgsql.process_node` `osm2pgsql.process_way` `osm2pgsql.process_relation` entsprechend aufgerufen werden.

Beispielhaft wurde die definierte Funktion `osm2pgsql.process_relation` siehe nächste Seite in Listing 5.4 aufgeführt. Diese enthält:

Tabelle 5.2.: Kurze Zeilen Beschreibung von Listing 5.4

Name	Zeilen-nummern	Beschreibung
<code>get_tag_quadruple()</code>	2	Erstellung von vier Variablen mit einer Hilfsfunktion (siehe Unterunterabschnitt 5.3.2)
<code>tables.relations:add_row()</code>	3-18	Fügt ein osm Objekt entsprechend der Tabelleninitialisierung (beispielhaft Unterabschnitt 5.3.1) in eine Tabelle ein. Hierbei wird die id automatisch vergeben und eine Geometrie anhand der Bestehenden Daten erzeugt.
Schleife über alle relationmembers	19-49	Alle nodes, ways, relations, die im tag <i>members</i> vermerkt sind werden in eine separate Tabelle <i>relationmembers</i> eingetragen. Für die Eindeutigkeit wird der Typ des <i>members</i> abgefragt.

Die Prozessfunktionen für nodes und ways sieht ähnliches aus, mit dem Unterschied, dass die `osm2pgsql.process_node` Funktion keine zusätzlichen *members* besitzt und in `osm2pgsql.process_way` die Einträge der ways nur aus nodes bestehen.

Listing 5.4.: Hilfsfunktion zur osm object.tag Verarbeitung

```

1  function osm2pgsql.process_relation(object)
2  local object_name, object_features, object_url, object_serializedtags =
   get_tag_quadtuple(object)
3
4  tables.relations:add_row({
5      name = object_name,
6      url = object_url,
7      tstamp = reformat_date(object.timestamp),
8      mapfeatures = object_features,
9      serializedtags = object_serializedtags,
10     geom = { create = 'area' },
11     uid = object.uid,
12     username = object.user,
13     geom_changed = false,
14     object_changed = false,
15     deleted = false,
16     object_new = false,
17     has_name = false,
18     valid = false
19 })
20 for _, member in ipairs(object.members) do
21     — if type is a node
22     if member.type == "n" then
23         tables.relationmembers:add_row({
24             relation_id = object.id,
25             node_id = member.ref,
26             way_id = nil,
27             member_rel_id = nil,
28             role = member.role
29         })
30     end
31     — if type is a way
32     if member.type == "w" then
33         tables.relationmembers:add_row({
34             relation_id = object.id,
35             node_id = nil,
36             way_id = member.ref,
37             member_rel_id = nil,
38             role = member.role
39         })
40     end
41     — if type is a relation
42     if member.type == "r" then
43         tables.relationmembers:add_row({
44             relation_id = object.id,
45             node_id = nil,
46             way_id = nil,
47             member_rel_id = member.ref,
48             role = member.role
49         })
50     end
51 end
52 end

```


5.4. Ausführung

Alle vorherigen Sektionen beschreiben die wichtigen Teile des Befehls zum Import von OSM Daten in die Intermediate Datenbank. Der Prozess des Importes kann nun wie folgt ausgeführt werden.

Listing 5.5.: Beispiel eines „osm2pgsql“ Befehls mit dem osm2inter.lua Skript und dem Minimalbeispieldaten littlemap.osm

```
1  osm2pgsql \
2  --host=localhost \
3  --port=5432 \
4  --user=postgres \
5  --password \
6  --database=ohdm \
7  --log-level=info \
8  --extra-attributes \
9  --output=flex \
10 --style=/osm2inter/osm2inter.lua \
11 --create /osm2inter/littlemap.osm
```

Hinweis: Die Dateien müssen mit absoluten Pfaden angegeben werden, oder im Verzeichnis des Datenbanknutzers gespeichert werden.

6. psql

psql ist ein terminalbasiertes Frontend für PostgreSQL. Es ermöglicht Ihnen, Abfragen interaktiv einzugeben, sie an PostgreSQL auszugeben und die Abfrageergebnisse anzuzeigen. Alternativ kann die Eingabe aus einer Datei erfolgen. Darüber hinaus bietet es eine Reihe von Meta-Befehlen und verschiedene shell-ähnliche Funktionen, um das Schreiben von Skripten und die Automatisierung einer Vielzahl von Aufgaben zu erleichtern.[10]

Für die Ausführung von psql werden in diesem Beispiel Flags benötigt die in Tabelle 6.1 aufgeführt sind.

Tabelle 6.1.: flags

Flag	Beschreibung
-H, --host=HOST	Hostname des Datenbankservers oder Standort des Unix-Domänen-Sockets
-P, --port=PORT	Port des Datenbank-Servers
-U, --user=USERNAME	Datenbank-Benutzer
-W, --password	Passwortabfrage erzwingen
-d, --dbname=DB	Datenbankname oder PostgreSQL Konnektivitätsstring
-c , --command=command	Spezifiziert den ausführbaren Kommandostring
-f, --file=filename	Ermöglicht die Verwendung von Dateien als Quelle für Befehle.

Listing 6.1.: Beispiel eines „psql“ Befehls mit dem postprocess.sql Skript

```

1  psql \
2  --host=localhost \
3  --port=5432 \
4  --username=postgres \
5  --password \
6  --dbname=ohdm \
7  --file=/osm2inter/osm2inter_postprocess.sql

```

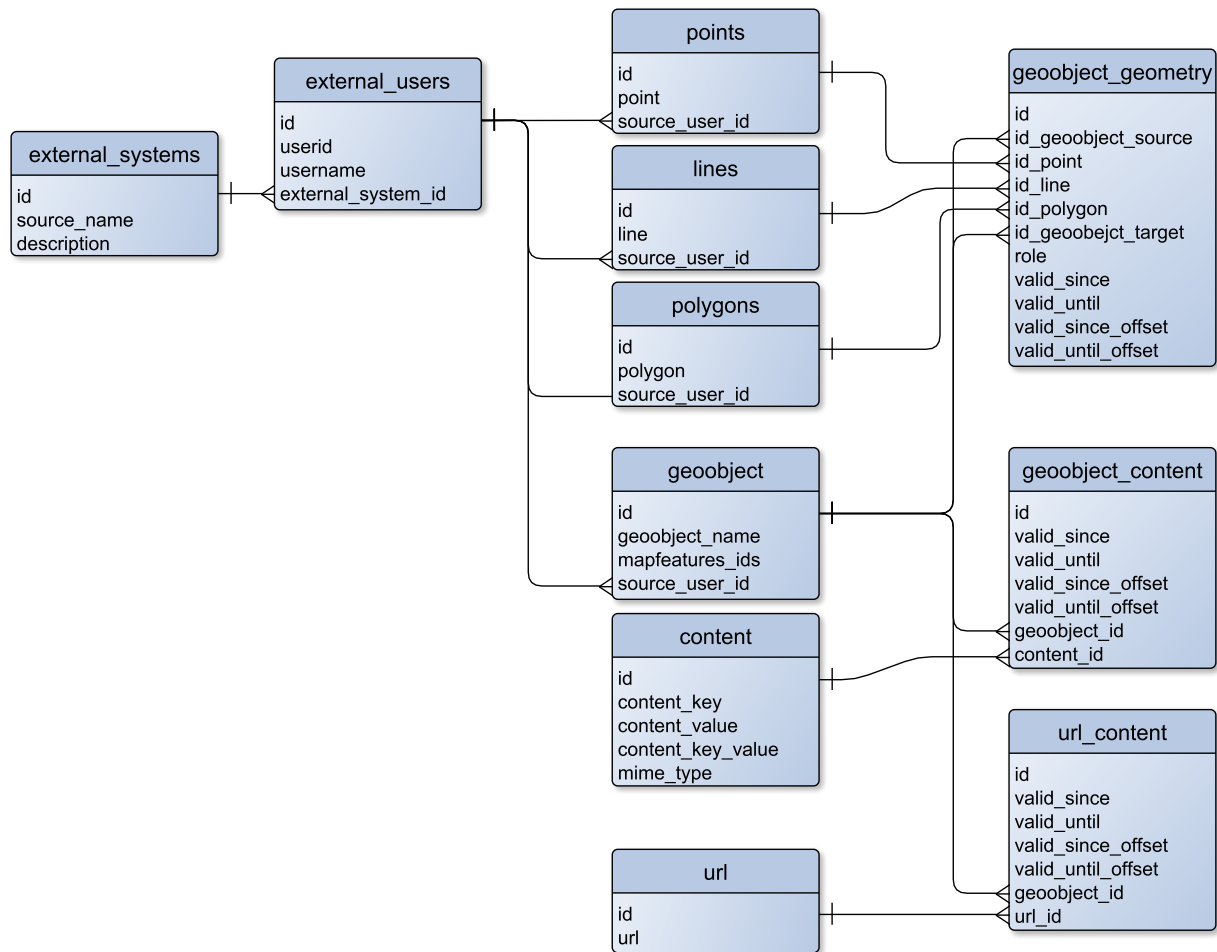
Hinweis: Die Dateien müssen mit absoluten Pfaden angegeben werden, oder im Verzeichnis des Datenbanknutzers gespeichert werden.

7. OHDM

Die Konvertierung wird ausschließlich mit einem PostgreSQL Scripts realisiert¹, das mit `psql[10]` gelesen wird. Nachfolgend wird diese Script in drei Teile gesplittet.

7.1. Tabellen

Abbildung 7.1.: OHDM Entity Relationship Modell



gleich der Abbildung 4.2

Im ersten Teil des PostgreSQL Scriptes werden alle Tabellen (siehe Abbildung 7.1) erzeugt, die Spaltennamen gesetzt mit deren Datenbankvariablentypen und die Primärschlüssel Eigenschaften eingetragen. Beispielhaft für diesen Vorgang ist in Listing 7.1 zu sehen, wie die Tabelle „geobject_geometry“ initialisiert wird.

¹Link zum PostgreSQL Script im OHDMConverter Repository
<https://github.com/OpenHistoricalDataMap/OHDMConverter/blob/SteSad/inter2ohdm/inter2ohdm.sql>

Listing 7.1.: Erzeugung der „geoobject_geometry“ Tabelle

```
1 CREATE TABLE IF NOT EXISTS ohdm.geoobject_geometry
2 (
3     id BIGSERIAL NOT NULL,
4     id_geoobject_source BIGINT,
5     id_point BIGINT,
6     id_line BIGINT,
7     id_polygon BIGINT,
8     id_geoobject_target BIGINT,
9     role VARCHAR,
10    valid_since DATE,
11    valid_until DATE,
12    valid_since_offset BIGINT,
13    valid_until_offset BIGINT,
14    CONSTRAINT geoobject_geometry_pkey PRIMARY KEY (id)
15 );
```

7.2. Einfacher Insert

Mehrere Tabellen werden mit simplen SQL Queries initialisiert. Im Beispiel der Tabelle „external_users“ werden lediglich die Tabelleneinträge von allen *nodes*, *ways* und *relations* vereinigt. Diese Vereinigungsmenge enthält alle Einträge, die zur Initialisierung der „external_users“ Tabelle benötigt werden. (vgl. Listing 7.2)

Listing 7.2.: Insert Statement für die „external_users“ Tabelle

```
1 INSERT INTO ohdm.external_users(userid, username)
2 (
3     SELECT uid::BIGINT, username FROM inter.nodes
4     UNION
5     SELECT uid::BIGINT, username FROM inter.ways
6     UNION
7     SELECT uid::BIGINT, username FROM inter.relations
8 );
```

7.3. Join Insert

Die meisten weiteren Initialisierungen werden mithilfe eines JOIN² Statements realisiert. Hierbei wird eine Vereinigungsmenge gebildet, die abhängig von einer Spalte der beider zu vereinenden Tabellen ist. In Listing 7.3 wird eine spezielle Initialisierung aufgezeigt, welche alle Relationen der Intermediate Datenbank in Verbindung mit der „relationmembers“ Tabelle in die „geoobject_geometry“ Tabelle der OHDM Datenbank einfügt.

Listing 7.3.: Insert Statement für die „geoobject_geometry“ Tabelle auf Basis von allen Relationen der Intermediate Datenbank

```
1  INSERT INTO ohdm.geoobject_geometry (  
2      id_geoobject_source ,  
3      id_polygon ,  
4      id_geoobject_target ,  
5      role ,  
6      valid_since ,  
7      valid_until  
8  )  
9  (  
10     SELECT source.id, p.id, target.id, rm.role , r.tstamp, CURRENT_TIMESTAMP  
11     FROM inter.relations AS r  
12     JOIN inter.relationmembers AS rm ON r.osm_id = rm.relation_id  
13     JOIN ohdm.geoobject AS source ON r.name = source.geoobject_name  
14     JOIN ohdm.polygons AS p ON geom = p.polygon  
15     JOIN inter.relations AS re ON re.osm_id = rm.way_id  
16     JOIN ohdm.geoobject AS target ON re.name = target.geoobject_name  
17 );
```

²vgl. <https://www.postgresql.org/docs/current/tutorial-join.html>

Teil III.

Schlussbetrachtung

8. Fazit

Die Implementation des Prototyps ist soweit abgeschlossen, wodurch auch bestehende Tools des OHDMConverters weiterhin das OHDM Datenbankschema verwenden können.

Im Praktikum wurde viel Wissen erlernt das für den späteren Berufsalltag von Nutzen sein wird:

- Der Umgang mit mehreren Komponenten,
- Aneignung von Fähigkeiten zur Benutzung von Komponenten durch Lesen der Dokumentationen,
- Vertiefung des Wissens im Bereich Datenbank für PostgreSQL,
- Umgang mit der Skriptsprache Lua

9. Zusätzliche Ergebnisse und Überlegungen

9.1. Laufzeitanalyse

Tabelle 9.1.: Laufzeitanalyse

Laufzeit	Max	Min	Durchschnitt	Median
Sekunden	138	108	128.16	128
Minuten:Sekunden	02:18	01:48	02:08	02:08

9.2. Backgroundprocess

Im ersten Versuch des Importprozess als Backgroundprocess zu starten wurde folgende Fehlermeldung geloggt.

sudo: a terminal is required to read the password; either use the `-S` option to read from standard input or configure an askpass helper

Somit müssen bei dem Backgroundprocess zwei Dinge beachtet werden:

1. Die Authentifizierung mit der Datenbank muss per Passwort erfolgen, das heißt dies muss gegebenenfalls in der Konfiguration geändert werden.
2. Der User welcher den Backgroundprocess ausführt muss entsprechende Rechte in der Datenbank besitzen.
3. `psql[10]` und `osm2pgsql[9]` müssen mit dem Flag „-W“ ausgeführt werden, um sicherzustellen das die Passwordeingabe erfolgen muss.
4. Das Passwort muss einmalig eingegeben oder zu Ausführung hinterlegt werden.

Hierfür kann ein expect (siehe Abschnitt IV) oder Python Skript geschrieben werden.

9.2.1. Python Skript

Das Python Skript wurde bisher so implementiert, dass ein Datenbankparameter im selben Verzeichnis hinterlegt werden muss. In dieser Datenbankparameter JSON Datei sind alle Parameter der Datenbank, sowie des Nutzers zu vermerken (Beispiel ...)

Listing 9.1.: Beispiel einer JSON Datei für die Datenbankparameter

```

1  {
2    "servername": "localhost",
3    "port": "5432",
4    "username": "postgres",
5    "password": "my_password",
6    "database": "ohdm"
7  }
```


Quellen

Bücher

- [4] Simon Riggs und Gianni Ciolli: PostgreSQL 14 Administration Cookbook Over 175 Proven Recipes; English; *OLC*: 1306056111; Birmingham: Packt Publishing, Limited, 2022; ISBN: 9781803240787; URL: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/PublicFullRecord.aspx?p=6938281> (besucht am 11.05.2022).

Onlinehandbücher

- [1] Planet OSM; URL: <https://planet.openstreetmap.org/> (besucht am 10.05.2022).
- [2] PostGIS 3.0.0 Handbuch; URL: <https://postgis.net/docs/manual-3.0/postgis-de.html> (besucht am 11.05.2022).
- [3] Creating a Database Cluster; en; Feb. 2021; URL: <https://www.postgresql.org/docs/9.5/creating-cluster.html> (besucht am 03.05.2022).
- [5] 21.9. Peer Authentication; en; Feb. 2022; URL: <https://www.postgresql.org/docs/14/auth-peer.html> (besucht am 04.05.2022).
- [6] DE:PBF Format – OpenStreetMap Wiki; URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:PBF_Format (besucht am 04.05.2022).
- [7] OpenStreetMap Taginfo; URL: https://taginfo.openstreetmap.org/reports/database_statistics (besucht am 04.05.2022).
- [8] Key:admin_level – OpenStreetMap Wiki; URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:admin_level (besucht am 04.05.2022).
- [9] Home - osm2pgsql; URL: <https://osm2pgsql.org/> (besucht am 04.05.2022).
- [10] pgsql; en; Nov. 2017; URL: <https://www.postgresql.org/docs/9.2/app-psql.html> (besucht am 28.04.2022).
- [11] Osm2pgsql Manual - osm2pgsql; URL: <https://osm2pgsql.org/doc/manual.html> (besucht am 22.04.2022).
- [12] PBF Format – OpenStreetMap Wiki; URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/PBF_Format (besucht am 06.05.2022).
- [13] OpenStreetMap - Map features; en; Nov. 2017; URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features (besucht am 28.04.2022).

Teil IV.

Anhang

Multiple Datenbanken in PostgreSQL

Die Alternative zur Erstellung eines PostgreSQL Clusters[3] ist die Verwendung von initdb[3], allerdings gibt mit dieser Variante einige Herausforderungen die mit `pg.createcluster` leichter beziehungsweise überhaupt zu bewältigen waren.

1. Steuerung des Clusters[3] für die Serververwaltung
2. Cluster als Service auch nach einem Neustart des Server starten

Curl Map Features

Um die Arbeit mit den Map Features[13] zu erleichtern, müsste man ein curl Skript implementieren, dass die Tabelleneinträge auf der Map Features[13] Webseite ausliest und in eine csv Datei oder ähnliches schreibt.

Damit wäre es im Anschluss möglich die csv Datei als Grundlage für ein Insert Statement der classification Tabelle zu verwenden.

Expect Skript

Zum aktuellen Zeitpunkt habe ich es leider nicht mehr geschafft ein funktionierendes Expect Skript zu formulieren. Allerdings müssten die Befehle mit „spawn“ ausgeführt werden und im Anschluss mit `expect "Password" {send "password"}` das Passwort des Datenbanknutzers eingetragen werden.

Arbeiten mit Schlüssel-Wert-Paaren

Eine Überlegung während der Probleme mit den Map Features war die Benutzung der „hstore“ oder „JSON“ Einträge. „hstore“ muss als Erweiterung hinzugefügt werden und mit „JSON“ kann seit PostgreSQL 9.2 benutzt werden.

Die Überlegung war die ausgelesenen Schlüssel-Wert-Paare aus dem OSM Objekt in die PostgreSQL Datenbank als Schlüssel-Wert-Paar („hstore“ oder „JSON“) zu speichern. Welches Format ist fast egal, denn in Lua handelt es sich um eine Tabelle die vom osm2pgsql Tool sowohl als „hstore“ und auch als „JSON“ in der Datenbank gespeichert werden kann. Der Ablauf ist also auch ungefähr gleich:

1. Einlesen des OSM Objektes mit:

```
1 <node [...] >
2   <tag k="barrier" v="gate"/>
3 </node>
4
```

2. Speichern in der Lua Tabelle:

```
1 mapfeature["barrier"] = "gate"
2
```

3. Importieren in PostgreSQL Datenbank:

hstore
„barrier“=>„gate“

json
„barrier“:„gate“

Im Anschluss mussten diese mit der Map Features Tabelle verglichen werden und die dazugehörigen „classcodes“ eingetragen.

Beispielhaft für „hstore“ würde ein PostgreSQL Update Statement wie in Listing 2 aussehen:

Listing 2.: PostgreSQL Statement mit hstore Werten

```
1 UPDATE nodes SET classcodes = (
2   SELECT id FROM classifaction
3   WHERE nodes.hstore <@ hstore(classname, subclassname)
4 )
5
```

Allerdings ist bei größeren Datensätzen die Laufzeit eines solchen Statements sehr hoch. Beim Versuch dieses Statement für die raumbezogenen Daten von Berlin zu verwenden, wurde dieser nach 4 Stunden Laufzeit abgebrochen.