

# Der Einsatz von OpenStreetMap-Daten in der akademischen Informatik-Ausbildung

Jörg Roth  
Ohm-Hochschule Nürnberg  
Kesslerplatz 12, 90489 Nürnberg  
Joerg.Roth@Ohm-hochschule.de

**Abstract:** Die Themen rund um ortsbezogene Anwendungen und Dienste gewinnen in der akademischen Ausbildung zunehmend an Bedeutung und sind mittlerweile Bestandteil vieler Studienpläne. In entsprechenden Veranstaltungen lernen Studierende den Umgang mit großen Mengen vektorbasierter Geodaten. Entsprechende Lehrveranstaltungen vorzubereiten, stellt die Lehrenden oft vor technische Herausforderungen. Durch das OpenStreetMap-Projekt (OSM) ist zumindest die Versorgung mit großen Mengen von Geodaten relativ leicht möglich. OSM sammelt Geodaten im Rahmen eines Community-Projektes und stellt sie vektorbasiert zur Verfügung. Lizenzkosten entfallen. Die Daten sind sehr aktuell und haben teilweise einen größeren Detaillierungsgrad als kommerziell vertriebene Geodaten. In diesem Beitrag werden die Erfahrungen, Probleme und Lösungsansätze aus zwei Jahren Einsatz von OSM-Daten in der Lehre dargestellt.

## 1 Nutzung von OpenStreetMap-Daten für Lehrveranstaltungen

Der Umgang mit Geodaten und die Entwicklung ortsbezogener Dienste ist eine zunehmend wichtige Fertigkeit; daher finden viele entsprechende Lehrveranstaltungen Einzug in Studienpläne der akademischen Informatikausbildung. In Spezialvorlesungen, Studienprojekten oder Abschlussarbeiten werden Themen wie Routenplanung, das Generieren von Kartenausgaben, der Umgang mit räumlichen Datenbanken oder Aspekte der Software-Entwicklung auf mobilen Endgeräten behandelt.

Der zeitliche Rahmen von Lehrveranstaltungen erfordert, dass notwendige Geodatenbestände schon hinreichend weit aufbereitet sind, damit Studierende sich nicht mit aufwändigen Tätigkeiten des Imports oder der Datenablage beschäftigen müssen. Das *Hybris*-Projekt [Roth08] hat daher zum Ziel, eine allgemeine Plattform für den Import, die Bearbeitung sowie die Bereitstellung von Geodaten für ortsbezogene Dienste anzubieten. Die im Projekt entwickelte Umgebung unterstützt zahlreiche Import-Formate; in diesem Beitrag wird die Datenübernahme aus dem OpenStreetMap-Datenbestand [OSM] beschrieben.

OpenStreetMap (im Folgenden auch *OSM* genannt) stellt Geodaten kostenfrei zur Verfügung. Die Daten sind sehr aktuell und haben teilweise einen größeren Detaillierungsgrad als kommerziell vertriebene Geodaten. Neben vektorbasierten Daten können auch vorberechnete Karten als Bilddateien übernommen werden. Über eine HTTP-Schnittstelle können Vektor-Daten in einer Fläche von bis zu ca. 1000 km<sup>2</sup> direkt aus der OpenStreetMap-Datenbank geladen werden. Über so genannte *Planet Files* [OSMPLA] kann der gesamte Vektor-Datenbestand in einem XML-Format übertragen werden. Planet Files gibt es für verschiedene Ausschnitte des Datenbestandes, so z.B. für einzelne Staaten oder Teile von Staaten (in Deutschland z.B. für Bundesländer).

Für Lehrveranstaltungen bietet sich die Übernahme der Planet Files an, da damit der volle Zugriff auf alle gesammelten Daten in eigenen Anwendungen möglich ist. Einen eigenen Datenbestand zu pflegen, erfordert zwar gegenüber dem Online-Zugriff einen erhöhten Aufwand, man kann aber verschiedene geometrische und inhaltliche Suchen realisieren und ist nicht auf die reduzierten Möglichkeiten der Online-Schnittstelle von OSM angewiesen. Darüber hinaus ist man zeitlich von den ständigen Änderungen des OSM-Datenbestandes entkoppelt. Daher wird eine Datenübernahme vor einer Lehrveranstaltung durchgeführt und die Daten werden während der Veranstaltung nicht mehr aktualisiert.

Die Übernahme des Datenbestandes ist nicht trivial und betrifft neben rein geometrischen Konvertierungen vor allem die Objektklassifikation. Folgende Nachteile der Planet Files müssen beim Import berücksichtigt werden:

- Geometrische Objekte sind in OSM redundanzfrei abgelegt, d.h. Flächen und Linienzüge enthalten nur Referenzen auf Punktobjekte. Das ist zwar für die Übertragung vorteilhaft, für eine Weiterverarbeitung ist das aber hinderlich, da in sich vollständige Geometrien erforderlich sind.
- Viele wichtige inhaltliche, geometrische und topologische Eigenschaften liegen verstreut vor oder müssen erst berechnet oder zusammengetragen werden.
- Die Klassifikation von Geo-Objekten in OSM ist sehr feingranular, erlaubt zu viele Freiheitsgrade bei der Kennzeichnung und verursacht Missverständnisse. Eine effiziente Suche nach Objektklassen und Oberklassen oder eine automatische Auswertung der Klassifikationsbeschreibungen wird nicht unterstützt.

Diese Probleme werden durch ein Übernahmeverfahren in Hybris behoben. Damit kann der Lehrende relativ einfach große Mengen von Geodaten für Lehrveranstaltungen zur Verfügung stellen. Studierende haben Zugriff auf die Daten in einer geeigneten Form und können sich auf die inhaltlichen Aufgaben konzentrieren.

## 2 Der Ansatz für die Datenbereitstellung in Lehrveranstaltungen

Eine wichtige Entscheidung bei der Entwicklung der Hybris-Umgebung war, dass alle Komponenten im Rahmen von Lehrveranstaltungen entwickelt oder modifiziert werden können. Modifizierbare Komponenten sind beispielsweise der räumliche Index der Datenbank, der Mechanismus zur Kartendarstellung, die Berechnung topologischer Informationen und die Wegeplanung. Hierbei ist es vorteilhaft, dass im Wesentlichen auf die Einbindung externer Software-Komponente verzichtet wird, da diese entweder nicht als Quelle vorliegen oder die Komponenten so komplex sind, dass die notwendigen Anpassungen nicht im Rahmen einer Lehrveranstaltung erlernt werden können.

Die zweite wichtige Entscheidung war, auf eine räumliche Datenbank zu verzichten und eine nicht-räumliche Standard-SQL-Datenbank zu verwenden. Die notwendige Client-Umgebung auf den Arbeitsplätzen der Studierenden ist einfach zu installieren; insbesondere existieren Umgebungen für mobile Endgeräte. Die Geometrien von Geodaten werden im *Well-Known-Binary*-Format [Herr05] abgelegt. Damit steht eine Fülle von Software-Bibliotheken zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Im Rahmen des Imports wird ein eigener räumlicher Index angelegt – der so genannte *Extended Split Index* [Roth09b]. Über eine kleine Java-Bibliothek können räumliche Anfragen formuliert werden. So können Studierende ohne Installation einer Datenbank-Komponente auf einen zentralen Geodatenbestand zugreifen [Roth09a]. Diese Bibliothek leistet auch das *objektrelationale Mapping*, so dass die Geodaten direkt als Objektinstanzen im Laufzeitsystem der Anwendung zur Verfügung stehen. Die Bibliothek umfasst lediglich 1.4 MB (inkl. JDBC-Treiber und Geometrie-Bibliothek JTS [Aq03]). Die räumliche Suche ist selbst über einen DSL-Zugriff effizient.

Eine Authoring-Umgebung erlaubt es dem Lehrenden, weitere Beispieldaten in den Datenbestand lokal einzufügen. Es können auch kleinere Anteile des Datenbestandes zu Testzwecken exportiert werden.

## 2.1 Schritte der Datenübernahme

OpenStreetMap verwendet für den Datenexport über die Planet Files ein XML-Format. Jede Datei enthält Einzelpunkte (genannt *nodes*), Linienzüge und Flächen (genannt *ways*) sowie zusammengesetzte Objekte (genannt *relations*). Die Speicherung ist redundanzfrei: Linien und Flächen enthalten nur die Referenzen auf die Einzelpunkte, wobei bei gemeinsamen Grenzen jeder Einzelpunkt nur einmal abgelegt wird. Die *relations* sind Zusammenfassungen von Linien, Flächen oder Punkten zu inhaltlich zusammengehörigen Objekten. Grenzverläufe (bestehend aus Einzelgrenzen) oder inhaltlich zusammengefasste Wege (z.B. Radwanderwege) fallen darunter. Auch deren Zusammensetzung erfolgt über Referenzen auf Einzelobjekte. Ein Überblick über die Mengen in dem OSM-Datenbestand zeigt Tabelle 1 (links). Die Übernahme wird in mehreren Phasen durchgeführt (Abb. 1). Die erste Phase besteht aus folgenden Schritten:

- *Auflösen von Referenzen*: In Linienzügen, Flächen und zusammengesetzten Objekte werden die Referenzen auf Position und Flächen durch Kopien ersetzt. Als Resultat wird jedes Geo-Objekt durch eine eigene vollständige Geometrie beschrieben.
- *Abbildung auf ein eigenes Klassifizierungsschema*: Das OSM-Schema zur Klassifikation von Geo-Objekten ist in der Form nicht geeignet. Daher wird dieses Schema auf ein eigenes Schema abgebildet (siehe Abschnitt 2.2).
- *Vergabe von Namen*: OSM unterstützt verschiedene Namenseinträge für ein Objekt. Um einen einzigen Namen zuzuordnen, wird der relevante Namenseintrag identifiziert.
- *Berechnung weiterer geometrischer Eigenschaften*: In OSM gibt es keine Auszeichnung für geschlossene Polygonzüge. Flächen müssen durch Vergleich von Anfangs- und Endpunkt identifiziert werden. Für Punkte und Linien wird zusätzlich eine Flächengeometrie berechnet. Hierzu wird die Breite aus der Klassifizierung abgeleitet.
- *Einordnen in den Strukturbaum*: Zur weiteren Segmentierung der großen Datenmengen wird ein so genannter *Strukturbaum* verwendet [Roth06]. Der Strukturbaum kann im weitesten Sinn wie ein Verzeichnisbaum eines Dateisystems betrachtet werden und erlaubt, dass man Unterbäume separat durchsuchen oder Teile eines Baumes in eigene Datenbestände exportieren kann.

Tabelle 1: Übersicht über die Mengen in Planet Files und resultierenden Datenbanken  
(Planet File germany.osm, Stand Juli 2010)

OSM-Planet-Datei (Eingabe)		Hybris-Daten (Ausgabe)		
Größe der XML-Datei	10 GB	Geo-Objekte	Punkobjekte	2,1 Mio.
Anzahl der XML-Tags	147 Mio.		Linienobjekte	4,3 Mio.
Punktobjekte ( <i>nodes</i> )	45 Mio.		Flächenobjekte	2,1 Mio.
Linien, Flächen ( <i>ways</i> )	6 Mio.		Objekte insgesamt	8,5 Mio.
Zusammengesetzte Obj. ( <i>relations</i> )	97 000	Topologie	Straßen und Wege	3,4 Mio.
			Kreuzungspunkte	5,0 Mio.
			Kanten (unidirekt.)	13,9 Mio.
		Kartenkacheln	Anzahl insgesamt	62 Mio.
			Größe der Dateien	635 GB

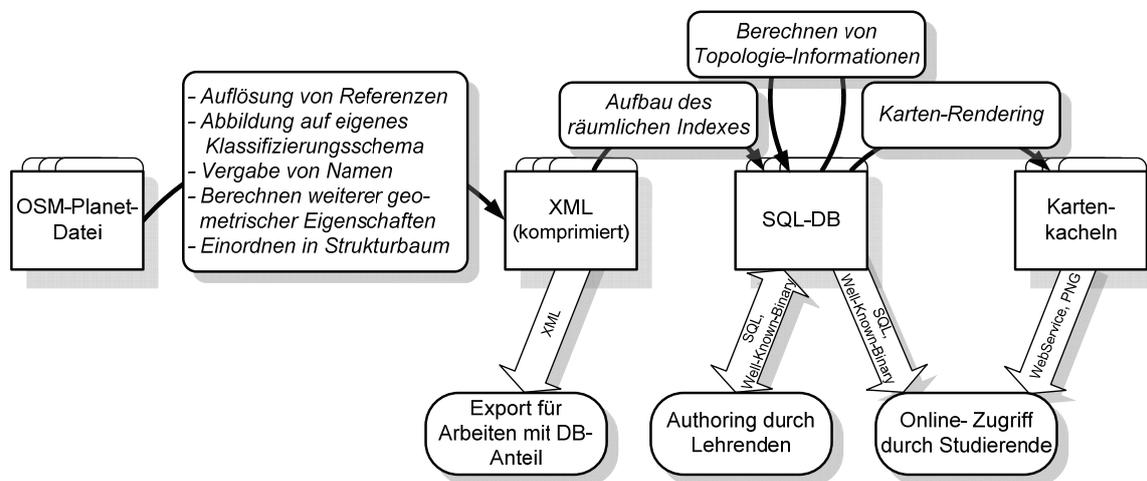


Abbildung 1: Schritte bei der Datenübernahme

Das Resultat der ersten Phase wird als komprimiertes XML exportiert und kann danach in die Geodatenbank importiert werden. Typischerweise wird diese XML-Ausgabe nicht im Rahmen einer Lehrveranstaltung verwendet. Nur in Fällen, in denen Studierende die Datenbankstruktur selbst definieren sollen, werden diese XML-Dateien an Studierende herausgegeben.

In der nächsten Phase wird beim Import in die Datenbank der räumliche Index aufgebaut. Die restlichen Phasen arbeiten dann nur noch auf der Geodatenbank.

- *Berechnung von Topologie-Informationen*: Es wird ein Graph aus Knoten und Kanten berechnet, der zur Straßennavigation benutzt werden kann.
- *Karten-Rendering*: Es werden Kartenkacheln in verschiedenen Zoom- und Winkelstufen berechnet, die für eine Kartenanwendung verwendet werden können.

Einen Überblick über die Mengen der Ausgabe vermittelt Tabelle 1 (rechts).

## 2.2 Problemfeld OSM-Klassifikationen

Durch eine sinnvolle Objektklassifikation sollte eine Anwendung oder ein Dienst leicht solche Objekte selektieren können, die für eine spezielle Funktion interessant sind. OpenStreet-

Map betrachtet auch die Klassifikation von Objekten als Community-Prozess [OSMMF]. Das ist einerseits ein Vorteil, da sich das Schema an den schnell wachsenden Bestand neuer Objekttypen anpassen kann. Andererseits ist es ein Nachteil, wenn das Schema von Software ausgewertet werden soll, da auch diese ständig angepasst werden muss.

OpenStreetMap bietet ein einfaches Verfahren an, Objekte zu klassifizieren, indem beliebig viele Paare von *Schlüssel-Wert* (jeweils eine Zeichenkette) eingetragen werden. Diese Paare unterliegen keiner Restriktion, müssen also nicht aus einer festen Liste stammen. Jeder Teilnehmer, der einen Datensatz beisteuert, kann beliebige Paare eintragen. Bezüglich vieler Objekttypen gibt es Konsens über sinnvolle Richtlinien für die Zusammensetzung von Paaren, die Einhaltung der Richtlinien wird aber nicht technisch überprüft.

Es ist offensichtlich, dass eine automatische Weiterverarbeitung von Geo-Objekten nur dann funktioniert, wenn eine konsistente Auszeichnung der Objekte durch die Ersteller erfolgt. Der Vorschlag für eine Vereinheitlichung wird mit Hilfe von Diskussionsforen ständig weiterentwickelt und kann wie folgt skizziert werden:

- Es gibt einen Hauptschlüssel, der die allgemeine Klassifikation des Objektes beschreibt, z.B. **highway** für Straßen oder **amenity** für Einrichtungen.
- Zu dem ersten Schlüssel gibt es jeweils einen vorgeschlagenen Satz von Werten. Zu **highway** gibt es beispielsweise die Vorschläge **highway=secondary** für Landstraßen oder **highway=residential** für Innerortstraßen.
- Weitere Klassifikationen zum Objekt können in zusätzlichen Paaren hinterlegt werden. Zu bestimmten Haupt-Paaren gibt es konkrete Vorschläge für weitere Paare. Darüber hinaus gibt es Paare, die Informationen *über* das Objekt (z.B. die Maximalgeschwindigkeit) angeben.

Leider gibt es oft mehrere Varianten, denselben Objekttyp zu beschreiben. Beispielsweise kann *Bistro* auf die drei Arten 1. **amenity=bistro**, 2. **shop=bistro** und 3. **amenity=restaurant/cuisine=bistro** beschrieben werden. Für viele Objekttypen gibt es ähnliche Mehrfachauszeichnungen. Weitere Nachteile des OSM-Schemas zur Klassifikation sind:

- Der Hauptschlüssel ist nicht syntaktisch erkennbar, da die Reihenfolge der Schlüssel nicht vorgeschrieben ist.
- Man kann syntaktisch nicht erkennen, ob ein Schlüssel den Objekttyp (z.B. Innerortsstraße) oder Informationen *über* das Objekt (z.B. die Maximalgeschwindigkeit) enthält.
- Eine Suche nach bestimmten Klassen ist immer eine Suche in Zeichenketten.
- Es gibt keine einfache Beziehung der Schlüssel zu Oberbegriffen, wie *Gebäude*, *Verkehr*, *Vegetation*. Für bestimmte Anwendungen müssen aber Oberbegriffe recherchierbar sein.

Darüber hinaus gibt es Probleme durch den Community-Prozess. Häufig gibt es keinen Konsens und die Diskussion ist noch im Gange oder bestimmte Objekttypen sind so neu, dass noch keine Diskussion begonnen wurde. Beitragende kennen auch die aktuellen Absprachen oft nicht (die sich leider ständig ändern) und verwenden eine eigene oder veraltete Klassifikation. Schließlich ist die Zuordnung oft ein inhaltliches Problem, da ein Objekt mehrere Eigenschaften gleichzeitig haben kann. Als Beispiel: ein Fußweg, auf dem auch Radfahren möglich

ist, kann durch `highway=cycleway/ footway=yes` oder `highway=footway/cycleway=yes` beschrieben werden. Schließlich erfordern neue Auszeichnungen eine großflächige Überarbeitung des alten Datenbestandes – das erfolgt aber oft sehr verzögert.

Für einen eigenen Datenbestand ist diese Art der Auszeichnung daher ungeeignet. Aus diesen Gründen wird für den importierten Datenbestand ein eigenes Hybris-Klassifikationsschema verwendet. Es wird permanent weiterentwickelt, indem periodisch die OSM-Klassifikationen ausgewertet und häufig vorkommende Schlüsselpaare untersucht werden. Der Aufbau orientiert sich am ATKIS-Katalog [ATKIS] der Landesvermessungsämter der aber viel zu wenige Klassen unterscheidet. Wie ATKIS verwendet das Hybris-Klassifikationsschema aber einen einzelnen Zahlenwert, um Klassen zu definieren. Die erste Ziffer gibt eine Hauptklasse an, z.B. *organisatorisch*, *bebaute Fläche* oder *offene Fläche*. Ist für ein Objekt eine genauere Klassifikation möglich, so wird eine weitere Ziffer verwendet. Man kann bis zur maximalen Stellenzahl (derzeit fünf) weitere Stellen verwenden und erhält eine immer genauere Klassifikation. Durch die Ziffernvergabe entsteht eine einfache baumartige Zuordnung von Klassen und Unterklassen.

Als Beispiel: *Italienisches Restaurant* bekommt den Schlüssel 24142 zugeordnet mit den Oberklassen: 24140: *Restaurant (mediterrane Küche)*, 24100: *Gastronomie*, 24000: *Kommerzielle Nutzung* und 20000: *Bebaute Fläche*.

Derzeit werden 565 Klassen unterschieden. Tabelle 2 zeigt die Hauptklassifikation und die häufigsten Unterklassen der Hybris-Klassifikation. Die Klassennummer kann in eine Indexspalte der Datenbank geschrieben werden, so dass eine schnelle Suche nach Objekten von bestimmten Klassen durchgeführt werden kann. Dadurch dass sich die Aufteilung in Klassen und Unterklassen auf die Nummernkreise überträgt, kann auch effektiv nach bestimmten Oberklassen gesucht werden, was auf den ursprünglichen OSM-Klassifikationen schwierig ist. Als Beispiel:

- Suche nach italienischen Restaurants: `SELECT * WHERE CLASS=24142`
- Restaurants mit mediterraner Küche: `...WHERE CLASS BETWEEN 24140 AND 24149`
- beliebige Restaurants: `...WHERE CLASS BETWEEN 24110 AND 24179`

Tabelle 2: Klassen der Hybris-Klassifikation

Hauptklasse	Bedeutung	Anteil %	Häufigste Unterklasse	Bedeutung
1****	Organisatorisches Objekt	1,3	18109	Beschriftung Dorf
2****	Bebaute Fläche	24,5	29200	Schrebergärten
3****	Offene Fläche	56,5	35141	Innerortstraße
4****	Gewässer	2,1	41210	Fluss
5****	Vegetation	2,8	51100	Wald (unspezifiziert)
6****	Geologische Formation	0,2	63600	Erhebung (unspezifiziert)
9****	Sonderobjekte	0,7	92400	Historische Anlage (unspezifiziert)
0****	Keine Zuordnung möglich	12,1	-	

In dem importierten Datenbestand wird die OSM-Klassifikation zwar mitgespeichert, für effiziente Suchen wird aber die Hybris-Klassifikation eingesetzt. Das ist effektiv, da die OSM-Klassifikation erst dann verwendet wird, wenn die Objekte *nach* einer Suche aus der Datenbank geladen wurden, um weitere Eigenschaften über Objekte zu erfahren. Damit wird die OSM-Kennzeichnung nicht als Suchschlüssel für Datenbankabfragen verwendet.

Die Abbildung von OSM-Beschreibungen auf die Hybris-Klassifikation erfolgt regelbasiert. Ein Regel-Interpreter wertet dazu derzeit über 500 Regeln aus und definiert neben der Hybris-Klassifikationsnummer auch den Objektnamen, die Position im Strukturbaum und geometrische Eigenschaften wie die Straßenbreite, die in OSM-Geometrien nicht definiert wird.

### 2.3 Werkzeuge

Für die Modifikation der lokalen Datenbank steht die Authoring-Umgebung *depro* zur Verfügung [Roth08], mit der komfortabel die Geometrien oder Klassifikationen geändert werden können. Über ein Plug-In-Konzept können Entwickler eigene Funktionen zur Modifikation des Datenbestandes integrieren. Zurzeit existieren schon Plug-Ins zur statistischen Auswertung des gesamten Datenbestandes nach geometrischen und inhaltlichen Gesichtspunkten, zum Refactoring des Strukturbaums sowie zum Abspalten von Datenbeständen aus dem Gesamtdatenbestand. Das letztgenannte Plug-In kann z.B. verwendet werden um kleinere Datenbanken zu Testzwecken zu generieren oder extern zu installieren. Darüber hinaus kann durch Import-Plug-Ins der Datenbestand durch andere Quellen erweitert werden.

Für Studierende steht als Hilfsmittel die *dorenda*-Umgebung zur Kartendarstellung zur Verfügung. Eine Client-Umgebung (Abb. 2) erlaubt die Darstellung der Kartenkacheln, die per Webservice vom zentralen Datenbestand geladen werden. Zum Debugging eigener Koordinaten-Berechnungen können Positionen und Pfade über eine einfache Schnittstelle eingeblendet werden.

## 3 Erfahrungen

Die beschriebene Umgebung wurde über mehrere Semester in der Fakultät Informatik der Ohm-Hochschule Nürnberg eingesetzt. Die Lehrveranstaltungen waren die Spezialvorlesungen "Ortsbezogene Anwendungen und Dienste", "Das Mobile Internet", mehrere Gruppenprojekte sowie zahlreiche Abschlussarbeiten. Hierbei wurden Plattformkomponenten wie der räumliche Index [Bey09, Ker10] sowie die Authoring-Umgebung entwickelt oder verbessert. Es entstanden aber auch kleinere Projekte wie die Navigation (Fahrzeuge, Fußgänger), die automatische Generierung von Text-Beschreibungen zu georeferenzierten JPG-Bildern oder von Beschreibungen aus GPS-Logs.

Die Erfahrungen der Studierenden waren überwiegend positiv. Das Erlernen des Umgangs mit großen Mengen von Geodaten wurde hervorgehoben. Insbesondere die kurze Einarbeitungszeit im Rahmen der Lehrveranstaltung demonstrierte, dass der Geodatenbestand in der aktuellen Form sehr gut geeignet ist, relativ schnell eigene ortsbezogene Dienste zu entwickeln. Von den Studenten wurde darüber hinaus begrüßt, dass der Zugriff auf den zentralen Geodatenbestand von vielen Betriebssystemplattformen aus stabil funktionierte. Auch die Entwicklung auf einem Heimarbeitsplatz über DSL war dabei möglich.

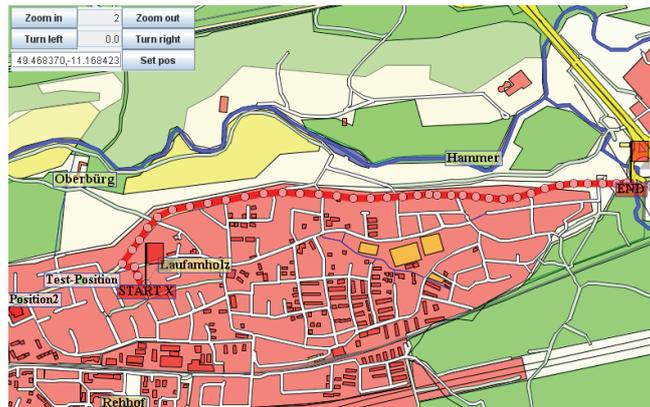


Abbildung 2: Die dorenda-Umgebung zur Kartendarstellung

## 4 Fazit

Durch die Geodatenbestände von OpenStreetMap stehen viele Möglichkeiten offen, Geodaten in Lehrveranstaltungen einzusetzen. Diverse Festlegungen unterliegen einem Community-Prozess. Insbesondere die Klassifikation von Objekten schränkt die automatische Auswertung durch Anwendungen stark ein. In diesem Beitrag wurde ein Ansatz dargestellt, OpenStreetMap-Daten für eigene Lehrveranstaltungen zu übernehmen. Hierbei werden geometrische und inhaltliche Eigenschaften sowie die Klassifikation auf ein eigenes Schema abgebildet. Möglichkeiten der Weiterverarbeitung und Fusionierung mit weiteren Datenbeständen stehen zur Verfügung. Schließlich wird ein effizienter Abfragemechanismus zur Verfügung gestellt, der auf Standard-SQL basiert, daher für viele Plattformen einsetzbar ist. Die Effektivität des Ansatzes wurde durch verschiedene Studentenprojekte demonstriert.

## Referenzen

- [Aq03] Aquino, J.: JTS Topology Suite, Technical Specifications, Vivid Solutions, 2003
- [ATKIS] Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV): ATKIS Homepage, <http://www.atkis.de/>
- [Bey09] Beyer, M.: Konzeption und Realisierung eines Geospatial Add-Ons für SQL, Diplomarbeit, Ohm-Hochschule Nürnberg, März 2009
- [Herr05] Herring, J. (ed.): OpenGIS Implementation Specification for Geographic information – Simple feature access - Part 1: Common architecture, OGC, 2005
- [Ker10] Kerschner, M.: Effizienzsteigerung des räumlichen Extended Split Index, Bachelorarbeit, Ohm-Hochschule Nürnberg, April 2010
- [OSM] OpenStreetMap, <http://www.openstreetmap.org/>
- [OSMMF] OSM Map Features, [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map\\_Features](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features)
- [OSMPLA] OpenStreetMap excerpts for Europe, <http://download.geofabrik.de/osm/>
- [Roth06] Roth, J.: Modelling Geo Data for Location-based Services, 3. GI/ITG KuVS Fachgespräch "Ortsbezogene Anwendungen und Dienste", 7.-8. Sept. 2006, Berlin, Institut für Informatik der Freien Universität Berlin
- [Roth08] Roth, J.: Managing Geo Data for Location-based Services – The Hybris Framework, 4th Annual Meeting on Information Technology & Computer Science (ITCS 2008), Stuttgart, 20. Feb. 2008
- [Roth09a] Roth, J.: Verwaltung geographischer Daten mit Hilfe eines Add-ons für Standard-Datenbanken, Verwaltung, Analyse und Bereitstellung kontextbasierter Informationen, GI Informatik 2009, Lübeck, 29.9.2009, 2041-2055
- [Roth09b] Roth, J.: The Extended Split Index to Efficiently Store and Retrieve Spatial Data With Standard Databases, IADIS International Conf. Applied Computing 2009, Rom, 19.-21. Nov. 2009, Vol. I