

# Webbasiertes Energie-Informationssystem für urbane Räume

E. Spinnräker, D. Koschwitz, F. Kirchmann, J. Frisch, C. van Treeck

**Zusammenfassung** Im Zuge der Entwicklung nachhaltiger urbaner Energiekonzepte und der Modernisierung bestehender Energiesysteme rückt das Informationsmanagement als zentrales Element der Digitalisierung im Energiesektor in den Fokus. Um Planungs- und Energieversorgungsunternehmen relevante Gebäude- und Netzparameter im Ist-Zustand und simulierte Szenarien unter Einbindung des Nutzerverhaltens zugänglich zu machen, wird in diesem Beitrag eine Webapplikation vorgestellt, die an ein Datenmanagementsystem und verschiedene Software-Tools angegliedert ist. Neben den aufzubauenden Schnittstellen bestehen Anforderungen an die Webapplikation, Inhalte, wie eine Kartenansicht des urbanen Raums oder Messdaten und Kennwerte von Bauwerken sowie technischen Anlagen darstellen zu können. Um das Energie-Informationssystem weiter zu flexibilisieren, wird die Webapplikation für mobile Endgeräte optimiert. In diesem Zusammenhang liegt auch ein besonderes Augenmerk auf verschiedenen Performancetests. In diesem Beitrag wird die erste Version dieser Webapplikation im Kontext eines Energie-Informationssystems vorgestellt und erste Ergebnisse in der Umsetzung, insbesondere auf mobilen Endgeräten vor dem Hintergrund performancetechnischer Kennwerte dargestellt.

## Web-based energy information system for urban areas

**Abstract** With the development of sustainable urban energy concepts and the modernization of existing energy systems, information management as a key element of digitalization concerning the energy sector moves into focus. This article presents a web application affiliated with a data management system and various software tools to enable the current state and simulated scenarios of relevant building and network parameters for planning and energy supply companies while considering user behavior. In addition to programming interfaces, requirements concerning the visualization such as a map view of urban areas or measurement data and key values of buildings and technical facilities are presented. Special attention is attributed to various performance tests to enhance the flexibility of the energy information system. This article presents a first version of the web application in the context of an energy in-

formation system and initial results of the implementation on mobile devices are given, taking performance-related key values into consideration.

## 1 Einleitung

Für die nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden und Stadtquartieren mit Wärme, Kälte und Strom bedarf es ganzheitlicher Energiekonzepte, die städtebauliche und technische Aspekte im Einklang mit den Bedürfnissen der Nutzer berücksichtigen. Aufgrund des strukturellen Wandels in der Energieversorgung müssen Entscheidungen darüber getroffen werden, ob eine dezentrale, eine zentrale Energieerzeugung oder eine Kombination aus beidem sinnvoll ist. Zusammen mit einem hohen Sanierungsbedarf der Bestandsgebäude, voraussichtlich notwendiger Neubauten und dem Ziel vorwiegend regenerative und emissionsarme Energien in die Versorgungsinfrastruktur zu integrieren, sind ganzheitliche Energiekonzepte für urbane Räume zu entwickeln. Um Planungs- und Versorgungsunternehmen relevante Gebäude- und Netzparameter im Ist-Zustand und simulierte Szenarien unter Einbindung des Nutzerverhaltens zugänglich zu machen, soll ein webbasiertes Energie-Informationssystem zur Verfügung gestellt werden, das neben der georeferenzierten Visualisierung von urbanen Räumen auch weitergehende Informationen zu Messwerten und Simulationsergebnissen bereitstellt.

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Entwicklung einer Weboberfläche mit Schnittstellen zu vorhandenen Simulations- und Auswertungstools vorgestellt, die auf Grundlage einer bestehenden objektorientierten PostgreSQL Datenbank und dem Datenbankschema „3D City Database“ [1] mit GIS-Anbindung basiert. Die Weboberfläche soll die Anforderungen erfüllen, Stadtquartiere zu visualisieren, einen Zugang zu relevanten Gebäude- und Netzinformationen ermöglichen sowie durch definierte Schnittstellen vorhandene Planungs- und Simulationssoftware aufrufen können. Hierdurch können weitergehende Optimierungsrechnungen durchgeführt und die wesentlichen Ergebnisse dargestellt werden.

Anhand des Forschungsprojekts „EnEff-Campus Living Roadmap“ (FKZ: 03ET1352A), gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des sechsten Energieforschungsprogrammes, mit dem Ziel der Entwicklung eines ganzheitlichen, sich dynamisch anpassenden Energiekonzepts werden erste Ergebnisse im Betrieb der Weboberfläche vorgestellt und Funktionalitäten erläutert. Mittels installierter Sensoren, die in den einzelnen Gebäudekomplexen der betreffenden Liegenschaft verortet sind, können die Gebäude und technischen Einrichtungen nicht nur virtuell auf der Weboberfläche georeferenziert abgebildet, sondern auch Messdaten dargestellt werden. Im Folgenden wird zunächst der Aufbau und die Implementierung der Weboberfläche vorgestellt, um anschließend das Anwendungsbeispiel, basierend auf den Daten des genannten Projekts, darzulegen. Im weiteren Verlauf rücken die Optimierungen hinsichtlich der Entwick-

Eric Spinnräker, M. Sc.

spinnraeker@e3d.rwth-aachen.de

Daniel Koschwitz, M. Sc.

koschwitz@e3d.rwth-aachen.de

Felix Kirchmann

felix.kirchmann@rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Jérôme Frisch

frisch@e3d.rwth-aachen.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Christoph van Treeck

treeck@e3d.rwth-aachen.de

RWTH Aachen University,

Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen E3D

Mathieustraße 30, 52074 Aachen

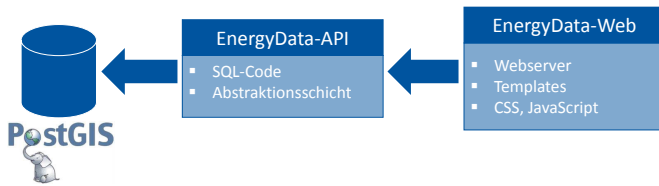


Bild 1. Komponenten der Webapplikation (Pfeile stellen Abhängigkeiten dar)  
Fig. 1.

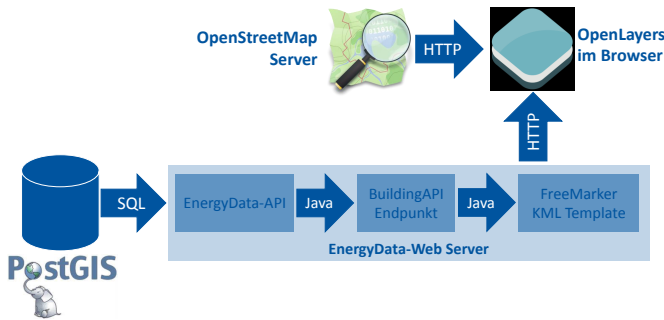


Bild 2. Datenfluss beim Abruf der Karte, Pfeile in Flussrichtung  
Fig. 2.

lung der Weboberfläche und der Umsetzung auf mobilen Endgeräten in den Fokus.

## 2 Aufbau und Implementierung eines webbasierten Energie-Informationssystems

### 2.1 Datenbank

Das Projekt „EnEff:Campus – Living Roadmap“ hat die Zielsetzung, Methoden und Softwaretools zu entwickeln, die den Betrieb und die städtebauliche Planung von Liegenschaften und ihrer Energiesystem mithilfe dynamischer Simulationswerkzeuge begleiten. Um Informationen über die Liegenschaften zu speichern und auszulesen, ist ein passendes Datenbanksystem entwickelt worden, das über entsprechende Schnittstellen angesteuert werden kann. Bei dem verwendeten Datenbanksystem handelt es sich um eine PostgreSQL – Datenbank, ein objektrelationales Datenbanksystem, das als zentrales Datenablagensystem fungiert. Es bildet somit die Grundlage für die Verwendung verschiedener Programme, beispielsweise zur thermisch energetischen Analyse oder zur Visualisierung der Liegenschaft und ermöglicht es, Daten des Monitorings abzuspeichern. Dadurch kann das Ziel der Entwicklung einer „Living Roadmap“ zur dynamischen energetischen Abbildung des Forschungszentrums Jülich erreicht werden. Basierend auf dem international anerkannten Austauschformat für 3D-Städtedaten CityGML wird das von der TU München und TU Berlin entwickelte Datenbankschema „3D City Database“, welches den Im- und Export von CityGML-Daten mittels 3D-CityDB-konformen Im- und Exporten ermöglicht, als Grundlage verwendet und kontinuierlich erweitert [1]. Diese auf CityGML bezogene Erweiterungen werden als sogenannte CityGML Application Domain Extensions (ADE) bezeichnet, wobei die EnergyADE (Erweiterung für energetische Aspekte) [2] und die UtilityNetworksADE (Erweiterung für die Modellierung von Versorgungsnetzen) [3] verwendet und in der bestehenden Datenbank implementiert sind [4]. Letztlich können alle Daten, die für eine Erfassung eines Stadtquartiers oder einer größeren Liegenschaft

notwendig sind, sinnvoll abgelegt und unter anderem über ein Geoinformationssystem (bspw. QGIS) oder der nachfolgend vorgestellten, am Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen E3D entwickelten, Weboberfläche visualisiert werden.

### 2.2 Realisierung des webbasierten Energieinformationssystems

Aufgrund von möglichen zukünftigen Änderungen im Datenbankschema wurde das webbasierte Energieinformationssystem modularisiert aufgebaut. Die Abspaltung des für den Datenbankzugriff verantwortlichen Teils des Programms stellt sicher, dass die Webanwendung unabhängig und ohne Kenntnis des restlichen Codes entwickelt und gewartet werden kann.

Die Anwendung ist diesbezüglich in zwei Teile „EnergyData-API“ und „EnergyData-Web“ aufgeteilt. Bild 1 zeigt die Abhängigkeiten der einzelnen Komponenten.

EnergyData-API ist dabei eine Abstraktionsschicht für die PostGIS-Datenbank, auf der die Anwendung basiert. Sie enthält den gesamten datenbankspezifischen Code und stellt selber eine Java-API bereit, mit der andere Komponenten auf die Gebäude, Sensoren und Messwerte in der Datenbank zugreifen können.

Die zweite Komponente EnergyData-Web visualisiert die von der EnergyData-API bereitgestellten Daten in Form eines Webinterfaces. Die Gebäudeübersicht wird in EnergyData-Web mithilfe der OpenLayers-Bibliothek realisiert. Diese wird verwendet, um eine interaktive Karte bereitzustellen, die im Vordergrund die Gebäudedaten und im Hintergrund eine Straßenkarte zeigt. Letztere wird aktuell vom OpenStreetMap-Projekt bereitgestellt. Um die Funktionsweise der Karte zu veranschaulichen, zeigt Bild 2 den Datenfluss beim Abruf von Kartendaten aus beiden Quellen.

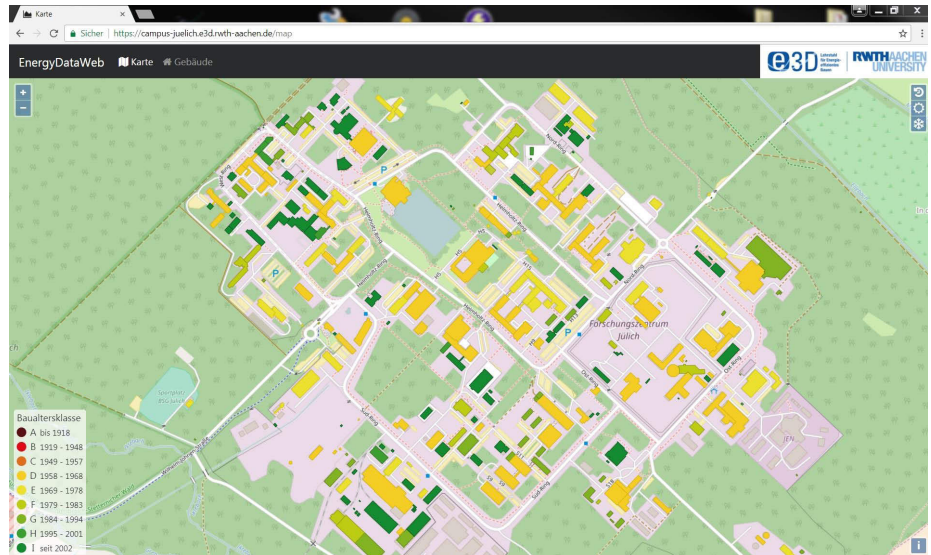
Der Datenfluss für die Darstellung der Gebäudegeometrien aus der PostGIS-Datenbank geht aus dem unteren Teil von Bild 2 hervor. Zum Zugriff auf die Datenbank bindet EnergyData-Web die EnergyData-API als Bibliothek ein. EnergyData-API fragt dann mittels SQL die Gebäudedaten und -geographie ab, wobei die PostGIS-Datenbank bereits die Gebäudeumrisse in Keyhole Markup Language (KML)-Polygone konvertiert. Falls gewünscht, kann PostGIS die Umriss dabei zusätzlich mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus vereinfachen (Abschnitt 3). Sobald die Abfrage abgeschlossen ist, gibt EnergyData-API diese Daten als Java-Objekte an den Endpunkt weiter. Dieser sammelt daraus die für die Karte relevanten Informationen, wozu zu jedem Gebäude neben dem Umriss auch das Baujahr, der spezifische Heiz- und Kühlenergieverbrauch sowie die installierten Sensortypen gehören. Anschließend werden die Daten für jedes Gebäude in einer separaten Key-Value-Map zusammengefasst. Schließlich werden die übergebenen Daten in ein KML-Dokument integriert. Die so erzeugte KML-Datei wird dann über HTTP durch OpenLayers abgerufen, welches die darin enthaltenen Gebäude als Overlay über einer Straßenkarte darstellt. Neben der Karte sind auf der Webseite Schaltflächen vorhanden, die es dem Nutzer ermöglichen, die vorhandenen Gebäude zum Beispiel nach Baualtersklasse einzufärben (Bild 3).

Im Zuge der Aktivierung der Schaltfläche, ruft der in die Webseite integrierte JavaScript-Code die OpenLayers-API auf, um die Einfärbung (in diesem Beispiel nach dem in der

KML-Datei vorhandenen Baujahr) für jedes Gebäude entsprechend anzupassen. Ähnlich wie bei der Kartenansicht sind die Messwertgraphen ebenfalls mittels JavaScript im Browser implementiert. Um die Messwerte abzurufen, lädt eine JavaScript-Bibliothek diese asynchron im Hintergrund als CSV-Datei vom Server. Die Logik für die Umwandlung der Daten ins Zielformat (hier: CSV) wird als Java-Code in den Endpunkt integriert. Damit soll der zusätzliche Rechenaufwand für die Ausführung eines Template vermieden werden. **Bild 4** zeigt beispielhaft die Darstellung von Messdaten im Webbrowser.

### 3 Optimierungen im Zuge der Entwicklung

Im Zuge der Evaluierung der grafischen Performance sind zunächst Vereinfachungen in den Geometriedarstellungen vorzunehmen, damit Bildbewegungen bei der Anwendung der Webapplikation nicht zu große Einschränkungen bedingen. Dahingehend werden die Gebäudegeometrien unter Anwendung des Douglas-Peucker-Algorithmus vereinfacht. Der von Douglas und Peucker 1973 veröffentlichte Algorithmus approximiert einen beliebigen Kantenzug, wobei das Resultat bei kleinerer oder gleicher Punktezahl dem Original möglichst ähnlich sehen soll. Hierzu wird ein maximaler Abstand (die Toleranz  $\epsilon$ ) angegeben, den die Punkte der ausgegebenen Approximation zum eingegebenen Kantenzug haben dürfen. Der Algorithmus verarbeitet dann rekursiv die Daten und gibt eine Teilmenge der eingegebenen Punkte aus, die diese Eigenschaft erfüllen [5]. **Bild 5** zeigt beispielhaft wie sich verschiedene Toleranzwerte bei der Vereinfachung der Gebäudegeometrie auf ihre Darstellung auswirken. Hierbei ist hervorzuheben, dass die Vereinfachungen bis zu einer Toleranz von  $\epsilon = 1$  m nur bei sehr genauer Betrachtung auffallen. Bei  $\epsilon = 1$  m und  $\epsilon = 2$  m fällt bereits auf, dass die Gebäude vereinfacht wurden (so wird beispielsweise das runde Bauwerk auf ein Oktagon approximiert), die grobe Form der Gebäude wird aber beibehalten. Ab  $\epsilon = 4$  m ist dies nicht mehr gegeben. Bei dieser Toleranz wird zum Beispiel das L-förmige Gebäude am oberen Rand des gezeigten Kartenabschnitts zu einem Viereck vereinfacht. Um eine flexible Nutzung des Energie-Informationssystems zu ermöglichen, wurde die Weboberfläche, insbesondere vor dem Hintergrund der vereinfachten Gebäudedarstellung durch Anwendung des Douglas-Peucker Algorithmus auch auf mobilen Endgeräten getestet. **Bild 6** zeigt Anzahl von Bildern pro Sekunde (Frames Per Second, FPS) bei



**Bild 3.** Darstellung von Gebäuden auf Quartiersebene über das webbasierte Energie-Informationssystem, eingefärbt nach Baualtersklassen  
Fig. 3.



**Bild 4.** Beispielhafte Darstellung von Messdaten über das webbasierte Energie-Informationssystem  
Fig. 4.

Scrollen über die Kartendarstellung auf einem mobilen Endgerät. Je höher diese Zahl ausfällt, desto geringer ist grundsätzlich eine vom Benutzer beobachtbare Verzögerung.

In Anbetracht der Performance bei Bildbewegungen ist bei diesem Vergleich festzuhalten, dass sich die Frame Rate um circa 20 Prozent erhöhen lässt. Dabei ist zu beachten, dass dieses Messergebnis zunächst nicht verallgemeinert werden kann, da es unter anderem abhängig von der Zoomstufe, dem Browser, dem eingesetzten Mobilgerät sowie den dargestellten Gebäudedaten ist. Dennoch zeigt dieser Fall, dass eine Vereinfachung der Kartendaten einen messbaren positiven Einfluss auf die Frame Rate und somit die Benutzbarkeit haben kann.

Neben der Darstellung von Gebäudegeometrien auf urbaner Ebene, sind auch detaillierte Messdaten abrufbar (Bild 4). Da einige der Sensoren seit mehreren Jahren in 5-Minuten-Intervallen Messwerte aufzeichnen, kann bereits die Abfrage der Daten eines einzigen Sensors hunderttausende



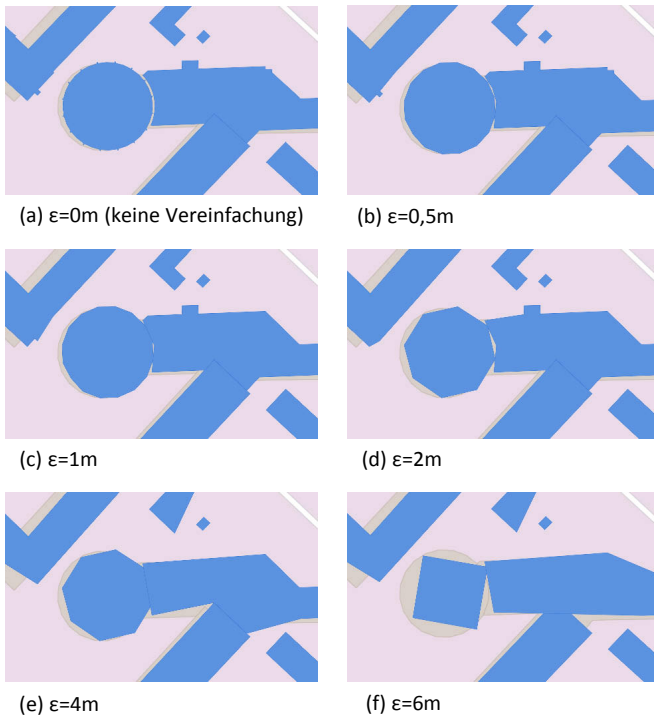


Bild 5. Gebäudegeometrie nach Vereinfachung mithilfe des Douglas-Peucker-Algorithmus und verschiedenen Toleranzen  $\varepsilon$  in Metern  
Fig. 5.

Messpunkte zurückliefern. Somit ist es durchaus denkbar, dass die für die Abfrage benötigte Zeitspanne vom Anwender als Verzögerung wahrgenommen werden kann. Deswegen wurde untersucht, ob die Auswahl einer bestimmten Methode die Abfragedauer reduziert. Hierzu wurden versuchsweise die Daten eines Sensors mit verschiedenen Methoden abgerufen. Zu jeder Methode wurde ab Abfragebeginn gemessen, wie viel Zeit bis zur Rückgabe des ersten Messwerts benötigt wird und wie lange es dauert, bis alle Messwerte abgerufen wurden. Dabei wurde einerseits der Fall betrachtet, dass in einer einzigen SQL-Abfrage mittels UNION ALL die Daten durch den Datenbankserver zusammengefügt werden (Methode: Union), da die Daten in Ta-

bellen pro Jahr gehalten werden. Andererseits wurde auch der Fall ausgewertet, dass die Anwendung mehrere SQL-Abfragen parallel startet und die Daten von der Anwendung zusammengefügt werden, wobei maximal  $n \in \mathbb{N}$  Abfragen parallel laufen (Methode:  $n$  Threads). Der Sonderfall  $n = 1$  Thread beschreibt hierbei das Abfrageverhalten mit der Methode, in der die Anwendung die Abfragen sequenziell ausführt und zusammenfügt, das heißt ohne Parallelisierung.

**Bild 7** zeigt die Abfragedauer von Sensormesswerten unter Verwendung verschiedener Abfragemethoden.

Es geht hervor, dass unter diesen Bedingungen, das datenbankseitige Zusammenfügen der Daten (Union-Methode) langsamer ist, als wenn die Daten durch die Anwendung mit  $n \in [1, \dots, 4]$  Threads abgerufen und zusammengefügt werden. In letzterem Fall fällt zudem auf, dass die Abfragedauer mit steigender Threadanzahl  $n$  ebenfalls steigt – die kürzeste Abfragedauer wurde also in diesem Versuch mit  $n = 1$  Threads beobachtet. Zumindest bei der momentan in diesem Projekt verwendeten Konfiguration erscheint es also sinnvoll, die Messwerte sequenziell abzufragen und innerhalb der Anwendung zusammenzufügen.

#### 4 Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Energie-Informationssystem umfasst neben der standardisierten Datenhaltung eine webbasierte Visualisierung eines Stadtquartiers. Durch die Kartendarstellung und die Möglichkeit die Gebäude nach unterschiedlichen Kriterien einzufärben (bspw. Baualtersklasse, spezifischen Energieverbrauchskennwert, etc.) sowie den Abruf von Messreihen können Stakeholdern jederzeit aktuelle Information von urbanen Räumen zu Verfügung gestellt werden. Durch die Abspaltung des auf die Datenbank verantwortlichen Teil des Programms, kann die Webanwendung unabhängig und ohne tiefe Kenntnis des restlichen Codes entwickelt und gewartet werden. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, die Webanwendung auch bei anderen Datenbankschemata anzuwenden.

Zukünftig wird die Webanwendung auch als Schnittstelle für den direkten Aufruf von Simulations- und Auswertungs-

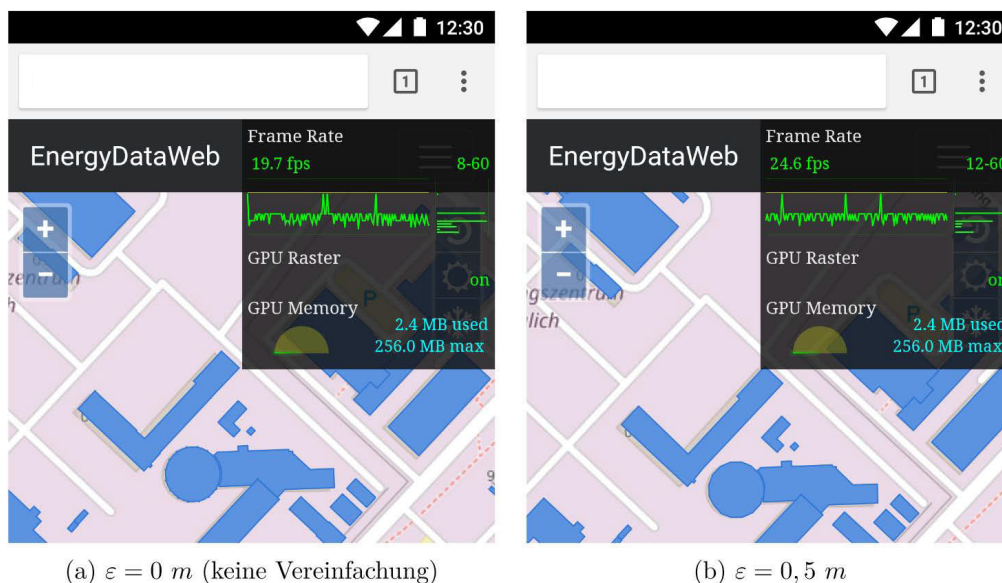


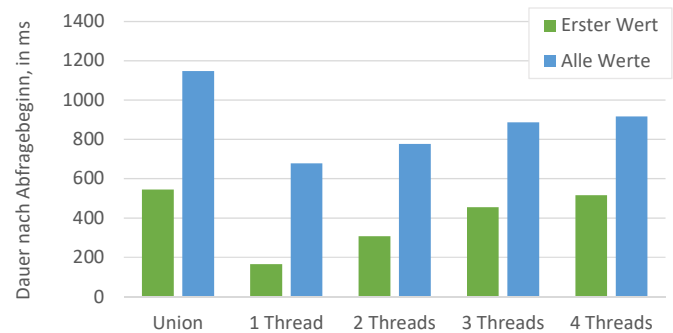
Bild 6. Frames pro Sekunde (FPS) beim Scrollen über die Kartendarstellung auf einem mobilen Endgerät  
Fig. 6.

tools fungieren. Durch die Webanwendung als Schnittstelle können Optimierungsrechnungen (bspw. Ermittlung von optimierten Sanierungsreihenfolgen [6] und die daraus resultierenden Heizlastprognosen [7], [8]) durchgeführt und die wesentlichen Ergebnisse anschließend visualisiert werden. Hierdurch entsteht eine vollständige Toolkette, welche zur Analyse, Information und Dokumentation von urbanen Räumen dient. Das virtuelle Abbild kann schließlich sowohl als Planungshilfsmittel für die Energieerzeugung und -verteilung als auch als Werkzeug zur Bewertung von Maßnahmen

und zur konsequenten Zielverfolgung für Einspar- und Effizienzversprechen verwendet werden.

### Danksagung

Die Autoren danken dem deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die finanzielle Unterstützung des Projekts "EnEff:Stadt, EnEff:Campus: LivingRoadmap: Entwicklung eines Energieversorgungskonzeptes mit modellbasierter prädiktiver Regelung anhand einer Living Roadmap am Beispiel des Forschungszentrums Jülich" (FKZ: 03ET1352A) im Rahmen des sechsten Energieforschungsprogrammes. Ein besonderer Dank gilt insbesondere den mitwirkenden Projektpartnern –namentlich dem Forschungszentrum Jülich und dem Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik (EBC)- bei der Erhebung und Speicherung der verwendeten Daten.



**Bild 7. Abfragedauer von Sensormesswerten unter Verwendung verschiedener Abfragemethoden**  
Fig. 7.

### Literatur

- [1] Kolbe, T. H.; Gröger G.; und Plümer L.: CityGML: Interoperable Access to 3D City Models. In: van Oosterom, P.; Zlatanova S.; Elfriede M. (Hrsg.): .Geoinformation for Disaster Management. Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 883–899.
- [2] Nouvel, R.; Kaden, R.; Bahu, J.-M. et al.: Genesis of the CityGML Energy ADE. In: Proceedings of International Conference CISBAT 2015 – Future Buildings and Districts – Sustainability from Nano to Urban Scale, 2015, pp. 931–936.
- [3] Becker T.; Nagel C.; Kolbe T. H.: Semantic 3D Modeling of Multi-Utility Networks in Cities for Analysis and 3D Visualization. In: Pouliot, J.-cynthe et al. (Hrsg.): Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 41–62.
- [4] Fliegner, C.; Brüntjen, M.-A.; Frisch, J.; van Treeck, C.: Database Development with 3D-CityGML- and Energy ADE – Schema for City-District-Simulation Modelling. In: BauSIM 2016.
- [5] Douglas, D. H.; Peucker, T. K.: Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. In: Cartographica, Vol. 10 (1973), Iss. 2, pp. 112–122.
- [6] Spinnräker, E.; Koschwitz, D.; Markovic, R.; Frisch, J.; van Treeck, C.: Software-supported identification of an economically optimized retrofit order by minimizing life-cycle costs using a genetic algorithm including constraints. In: Proceedings of International Conference CISBAT 2017 – Future Buildings and Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale.
- [7] Koschwitz, D.; Brüntjen, M.-A.; Frisch, J.; van Treeck, C.: Software zur Planung thermischer Energieversorgungssysteme. In: BTGA Almanach, 2017, S. 18-20.
- [8] Koschwitz, D.; Brüntjen, M.-A.; Chivite, A.; Frisch, J.; van Treeck, C.: Softwaregestützte Wärmebedarfsermittlung bei Informations- und Ressourcenknappheit. In: BauSIM 2016.