Open eQuarter

Forschungsbericht - Kurzfassung -

Projekt: Nachhaltige und energieeffiziente Bestandsentwicklung von Stadtquartieren - Entwicklung eines Analyse- und Planungstools zur energetischen Bewertung und Sanierung von Stadtquartieren (Open eQuarter)

Projektdurchführung: Universität der Künste Berlin
Institut für Architektur und Städtebau
Fachgebiet Versorgungsplanung und Versorgungstechnik

DMSW Partnerschaft von Architekten, Berlin

Projektleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Nytsch-Geusen

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Architekt Werner Kaul (UdK Berlin)
Dipl.-Ing. Architekt Philipp Wehage (dmsw)
Dipl.-Ing. Michael Färber (dmsw)

Stand: 30. Dezember 2015

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt,- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: II 3-F20-11-1-158 /SWD-10.08.18.7 - 12.51)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Gefördert mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, und Raumforschung

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung und Ziel

2 Aktueller Forschungsstand

3 Entwicklung der Software
- 3.1 Anforderungsanalyse 3
- 3.2 Entwicklungskonzept 3
- 3.3 Generische Kenndaten 4
- 3.4 Datenakquise (Open eQuarter MOLE) 5
- 3.5 Datenbank (Open eQuarter FOX) 7
- 3.6 Webfrontend (Open eQuarter CROW) 7

4 Quartiersanalyse
- 4.1 Datenerfassung/GIS-Datenmanagement zur Quartiersanalyse 8
- 4.2 Das Untersuchungsgebiet 8
- 4.3 Querschnittsachse Fuldastraße 9

5 Toolanwendung und Validierung
- 5.1 Erste Anwendungserfahrungen 11
- 5.2 Erzielbare Resultate 11
- 5.3 Mögliche Fehlerquellen 11
- 5.4 Validierung in der Querschnittsachse Fuldastraße 12
- 5.5 Anwendung auf das gesamte Untersuchungsgebiet 13

6 Anwendung auf Sanierungsszenarien
- 6.1 Szenario 1: Gebäudehüllensanierung und Fernwärmeausbau 15
- 6.2 Szenario 2: Gebäudehüllensanierung und Flächenpotentiale „Solarthermie” 15
- 6.3 Bestandsanalyse 16
- 6.4 Pontentialanalyse 16
- 6.5 Bewertung 16

7 Zusammenfassung
- 7.1 Statistische Erzeugung generischer Eingangsdaten 19
- 7.2 Konnektivität und Interaktivität 19
- 7.3 Open Source Konzeption 20
- 7.4 Quartiers- und Querschnittanalyse 20
- 7.5 Variantenuntersuchung 20
- 7.6 Aufwandsbetrachtung 21
- 7.7 Ausblick 21

Literaturverzeichnis

1 Veranlassung und Ziel

Ziel des des Forschungsvorhabens “Nachhaltige und energieeffiziente Bestandsentwicklung von Stadtquartieren - Entwicklung eines Analyse- und Planungstools zur energetischen Bewertung und Sanierung von Stadtquartieren (Open eQuarter)” war die Entwicklung einer Software-Umgebung, die den energetischen Status eines Blocks, eines Quartiers, eines Stadtteils oder einer ganzen Stadt bei möglichst geringem Erfassungsaufwand zeit- und gebäudegenau abbilden kann.

Darüber hinaus soll sie Vorhersagen über die Auswirkungen

- baulicher, gebäudetechnischer und infrastruktureller Maßnahmen,
- Änderungen der Versorgungsstrukturen
- sozialer und ökonomischer Veränderungen, aber auch
- politischer und konzeptioneller Zielsetzungen

auf das jeweilige Untersuchungsgebiet ermöglichen. Das zu entwickelnde Softwarepaket sollte die Nutzung eines Geoinformationssystems einschliessen sowie plattformunabhängig und kostenfrei sein.

*Abbildung 1.1: Untersuchungsgebiet *Open eQuarter* (VPT 2015)*

Parallel zur Entwicklung der Software-Tools wurde ein typisches Stadtquartier “von Hand” analysiert. Umfang und Art der Erhebung orientierten sich vor allem an den Erfordernissen der Softwareentwicklung. Hierfür wurde ein Quartier im Berliner Stadtteil Neukölln (s. Abbildung 1.1) ausgewählt, dass aufgrund seiner typisch großstädtischen Blockstruktur und einer großen Bandbreite unterschiedlicher Gebäudearten und -alter für die Verifizierung der in *Open eQuarter* berechneten Ergebnisse besonders geeignet erschien.

Das Projekt wurde so strukturiert, dass Quartiersanalyse und Programmentwicklung über fast die gesamten Projektlaufzeit in Wechselwirkung standen.

2 Aktueller Forschungsstand

Mit dem politischen Willen, Energie intelligent, vorausschauend und ressourcenschonend zu erzeugen und zu verwenden, gewinnt die Entwicklung von Werkzeugen für die energetische Beurteilung mittlerer und großer Siedlungsräume im Rahmen immer komplexerer Anforderungen zunehmend an Bedeutung. Zur Entwicklung einer Methodik zur GIS-gestützten energetischen Bewertung von Stadtquartieren und Siedlungsräumen wurden zunächst die Ergebnisse aktueller Forschungsprojekte recherchiert und hinsichtlich ihres Nutzens für die Entwicklung von „Open eQuarter“ betrachtet (Kaul u. a. 2015).

Der Fokus der betrachteten Forschungsarbeiten liegt überwiegend auf der Aus- und Bewertung der Daten sowie der Visualisierung der Ergebnisse. Die Beschaffung und Erfassung der notwendigen Gebäudedaten stellt angesichts der Anzahl der zu berücksichtigenden Gebäude für alle vorgestellten Ansätze ein Problem dar. Dem Aufwand der detaillierten Erhebung wird entweder durch den Rückgriff auf Vergleichsdaten aus bereits untersuchten Quartieren oder - und das ist die übliche Vorgehendweise - durch erhebliche Abstraktion, d.h. weitgehende Typisierung bzw. Klassifizierung jedes einzelnen Gebäude begegnet. Allerdings werfen beide Methoden Probleme auf:

- Das enge Korsett der Typisierung führt zu einer Vielzahl von Sonderfällen. Allein im Untersuchungsgebiet in Berlin-Neukölln waren nach erster Abschätzung rund ein Viertel der Gebäude nicht klar kategorisierbar.
- Zusätzlich vorhandene Informationen bleiben unberücksichtigt.
- Es fehlen Redundanzmechanismen, die eine fehlerhafte Einordnung offensichtlich werden lassen und gegebenenfalls korrigieren.
- Spätestens für die Entwicklung detaillierter Sanierungskonzepte werden möglichst genaue Informationen über die einzelnen Gebäude notwendig. Dies macht in der Regel umfangreiche Nacherhebungen notwendig.
- Mit steigendem Abstraktionsgrad sinkt die Auflösung der Analyse. Entsprechend werden die Resultate der Bewertungen großräumlicher und pauschaler.

Angesichts dieser Ausgangslage stand im Rahmen von *Open eQuarter* zunächst die Entwicklung einer allgemeinen Methodik zur Datenakquise im Vordergrund, die diese Nachteile nicht aufweist.

Open eQuarter liefert eine Grundauswahl von Analysemöglichkeiten und Szenarien. Im Rahmen des Open-Source-Gedanken wurden jedoch Schnittstellen definiert, die die einfache Einbindung beliebiger Auswertungsmethoden von dritter Seite ermöglichen.

Zur Fortführung und zukünftigen Erweiterung dieser Konzeption sollen die Ergebnisse mittelfristig in eine einheitliche, allgemein zugängliche Gebäudedatenbank einfließen. Sie soll zunächst den Open-eQuarter-Quartierswerkzeugen als Datenquelle dienen, in der Perspektive aber auch durch Fremdanwendungen nutzbar sein.

3 Entwicklung der Software

3.1 Anforderungsanalyse

In der Vorbereitungsphase des Projektes wurden zunächst Grundlagen ermittelt. Dazu gehörte neben der Identifikation der relevanten Akteure und der Tätigkeitsprofile auch Befragungen zur technischen Ausstattung, zu Betriebssystemen und verwendeter Software.

Abbildung 3.1: Anforderungen an die Softwareumgebung (VPT 2015)

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden die Randbedingungen für die Entwicklung von *Open eQuarter* eingegrenzt (siehe Abbildung 3.1) und nach Arbeitsfeldern aufgeteilt.

Weitere Schlussfolgerungen aus der Anforderungsanalyse:

- Sanierungsszenarien stellen grundsätzlich nichts anderes als wiederholte Quartiersanalysen unter veränderten Randbedingungen dar.
- Eine abschließende Bewertung wird von *Open eQuarter* ausdrücklich nicht erstellt. Bei aller Parametrisierung bleibt es Aufgabe fachlich vorgebildeter Spezialisten, aus den mit *Open eQuarter* gewonnenen Erkenntnissen die richtigen Schlüsse zu ziehen.

Sämtliche Softwarekomponenten sollten per definitionem Open Source bzw. kostenlos verfügbar sein.

3.2 Entwicklungskonzept

Die Anforderungen an die Kompetenz der jeweiligen Anwender variiert erheblich. Mit Blick auf die Benutzbarkeit der zu entwickelnden Software wurden die Arbeitsfelder nach diesem Kriterium aufgeteilt

(siehe Abbildung 3.2). Der Datenaustausch erfolgt über eine gemeinsame, auch von außen zugänglichen Datenbanklösung[1] (*Open eQuarter FOX*).

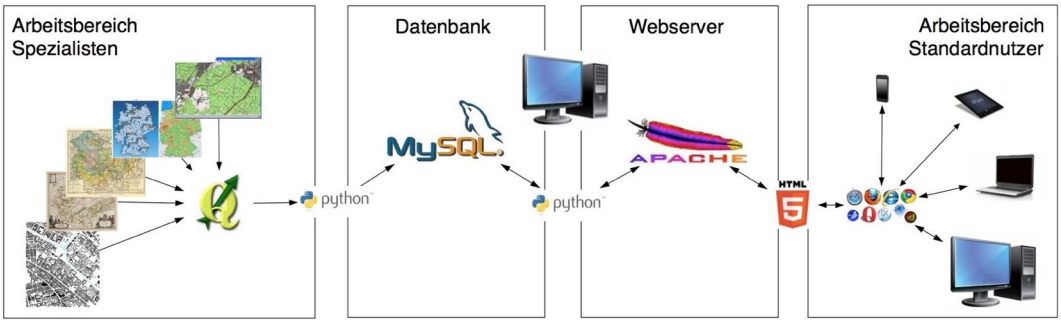

*Abbildung 3.2: *Open eQuarter* Anwendungsstruktur (VPT 2015)*

Für die Informationsaquise und die Datenaufbereitung wurde mit *Open eQuarter MOLE* ein python-basiertes Open-eQuarter-Plug-In für das Open-Source Geo-Informations-System *QGIS* entwickelt, das dem GIS-Spezialisten die notwendigen Hilfsfunktionen zur Verfügung stellt und die Resultate weitgehend selbsttätig in die entsprechenden Open-eQuarter-Datenbanken (zunächst direkt im GIS) einpflegt.

Die Ergebnisse werden in eine zentrale Datenbank (*Open eQuarter FOX*) exportiert und stehen so jederzeit systemunabhängig je nach Bedarf etwa für die algorithmische Weiterverarbeitung[2] oder die grafische Aufbereitung zur Verfügung.

Der Client *Open eQuarter CROW* wurde als Webanwendung definiert, so dass sich die Anforderung an Soft- und Hardware auf Endanwenderseite auf das Vorhandensein eines zeitgemäßen Webbrowsers beschränkt (Kaul u. a. 2015).

3.3 Generische Kenndaten

Betrachtet man ein Einzelgebäude, so ist es mit relativ überschaubarem Zeitaufwand möglich, die notwendigen spezifischen Informationen für eine zuverlässige energetische Beurteilung zusammenzutragen. Handelt es sich dagegen um hunderte oder sogar tausende von Gebäuden, so wird diese detaillierte Eingangsdatenakquise spätestens unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zum unlösbaren Problem.

Die teilautomatische Erzeugung energetischer Gebäudeprofile aus möglichst wenigen Eingangsinformationen in Verbindung mit frei abrufbaren Geodaten hat sich daher zu einem der Kernthemen des Projektes entwickelt.

Eine der Grundvorraussetzungen für die Entwicklung von *Open eQuarter* war die Annahme, dass für die Gesamtheit des Untersuchungsgebietes selbst bei großen Informationslücken mit Hilfe statistisch ermittelter generischer Parametersätze zuverlässige Ergebnisse erzielt werden könnten. Im Extremfall sollten hierfür als Basisinformation die Grundflächen aller Gebäude, demographische Kenndaten (z.B. Bevölkerungsdichte) und ggf. noch die geographische Lage ausreichen. Mit jeder zusätzlichen Information könnten ein oder mehrere dieser Durchschnittsparameter dann gebäudeweise aktualisiert werden. Auf

[1] Da alle untersuchten Nutzergruppen über Internetzugang verfügen, erschien eine Kopplung auf diesem Wege sinnvoll.
[2] z. B. als Eingangsdaten für energetische Gebäude-, Block- oder Quartiersimulationen

diese Weise bestimmt die Quellenlage lediglich den Grad der Differenzierung und nicht mehr die Beurteilungsfähigkeit an sich.

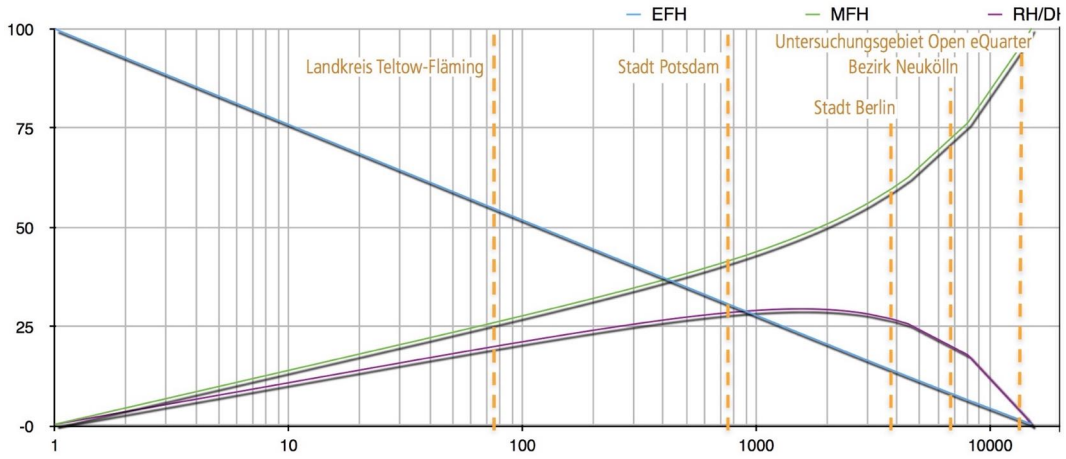

Abbildung 3.3: Verteilung der Wohngebäude-Archetypen nach Einwohnerdichte (VPT 2015, Datenbasis: Zensus 2011/Statistisches Bundesamt Destatis)

Um die notwendigen generischen Parameter zu ermitteln, wurde eine Reihe flächendeckend vorhandene Datenerhebungen (Zensus 2011 (Destatis 2012), IWU-Gebäudeindex (Diefenbach u. Loga 2011) u.a.) gezielt nach geeigneten Zusammenhängen durchsucht. In der weiteren Projektarbeit wurden diese Zusammenhänge genauer untersucht und anhand von Vergleichsdaten validiert. Kategorisierungen wurden dabei soweit wie möglich durch eindeutige Bestimmungsgleichungen ersetzt. (Kaul u. a. 2015).

3.4 Datenakquise (Open eQuarter MOLE)

Als Werkzeug für die Datenakquise wurden die im Anwendungsentwurf konzipierten Mechanismen mit der Skriptsprache *Python* in Form des Plugins *Open eQuarter MOLE* für das frei verfügbare Geo-Informations-System *Quantum GIS*,[1] kurz *QGIS* implementiert.

Wesentlich für die Umsetzung des Programmkonzepts ist die Möglichkeit, auch georeferenzierte Rasterdaten in die Bewertung einbeziehen zu können. Für den Umgang mit solchen Quellen wurde es notwendig, spezielle Caching-Methoden und Farb-Dekoder zu entwickeln (Kaul u. a. 2015).

Für die erfolgreiche Weiterentwicklung der Open Source Tools von *Open eQuarter* innerhalb der freien Programmierer-Community verfügt *Open eQuarter MOLE* über ein einfach zu handhabendes Erweiterungssystem. Sämtliche Import-, Konvertierungs- und Auswertungsfunktionen wurden in Form dieser sogenannten *Open eQuarter Extensions* realisiert.

Layered Information Akquisition (LIA) - Das Konzept

Der Schwerpunkt von *Open eQuarter MOLE* liegt in der Entwicklung einer allgemeinen Methodik zur gebäudegenauen Extraktion von Informationen aus beliebigen georeferenzierbaren Quellen mit Hilfe des

[1] siehe Projektseite unter http://www.qgis.org

Geo-Informations-Systems (GIS). Im Ergebnis sollen zu jedem Gebäude des zu untersuchenden Quartiers individuelle Parameter- und Attribut-Datensätze vorliegen. Dazu wurde das Layerkonzept (*Layered Information Akquisition (LIA)*, siehe auch Abbildung 3.4) entwickelt.

Im ersten Schritt wird das Quartier mit Hilfe von *Open eQuarter MOLE* räumlich definiert. Der „Kartenstapel“ (s. Abbildung 3.4) wird nun üblicherweise aus einem Hausumringe-Layer (im Tool ”Building Outlines“), den Hauskoordinaten und beliebig vielen Informationslayern zusammengestellt. Letztere werden aus verschiedensten georeferenzierten Quellen[1] mit Hilfe der QGIS-Werkzeuge oder durch inhaltsspezifische *Open eQuarter Extensions*[2] importiert (Kaul u. a. 2015).

Im Ergebnis steht für die zu untersuchende Landfläche gewissermaßen eine in Informationslayer diskretisierte zusätzliche Dimension zur Verfügung (siehe auch Abbildung 3.4).

Needle-Request (NR) - Die Durchstich-Analyse

Die Informationsabfrage gestaltet sich jetzt einfach. Bildlich gesprochen setzt *Open eQuarter MOLE* eine Nadel auf der Hauskoordinate jedes einzelnen Gebäudes an und durchsticht den gesamten Ebenenstapel senkrecht zur Oberfläche. Die am Durchstichpunkt auf den Informationslayern gefundenen Eigenschaften (Farben, Attribute, Flächen, Koordinaten usw.) bleiben bildlich gesprochen an der Nadel hängen und werden zunächst als Attribut an das entsprechende Hauskoordinaten-Objekt angehängt (*Needle-Request*)[3].

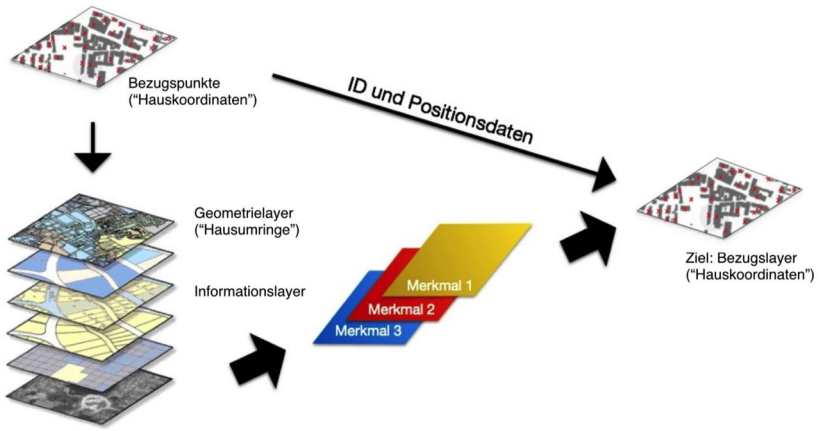

Abbildung 3.4: Informationssammlung per Durchstichanalyse (VPT 2015)

Im Anschluss werden die gesammelten Informationen durch Anwendung der für jede Quellenart in der entsprechenden *Open eQuarter Extension* hinterlegten Rechenvorschrift (Import-Extension) quantifiziert und in die Gebäudedatenbank eingepflegt.

[1] Dabei kann es sich um CAD-Daten, Bild-Daten, Datenbanken, Tabellen, Web-Services oder sogar Papierkarten oder einfache Listen handeln.
[2] Als “Extensions” werden funktionale Erweiterungen zum Modul Open eQuarter MOLE bezeichnet.
[3] Für diesen Vorgang wird das QGIS Plugin *Point Sampling Tool* von Borys Jurgiel verwendet. Siehe hierzu: http://hub.qgis.org/projects/pointsamplingtool

3.5 Datenbank (Open eQuarter FOX)

Mit Blick auf die derzeitige Entwicklung im Bereich der Geodatenbanken - insbesondere der Standardisierung und Weiterentwicklung der Beschreibungssprache GML und des darauf basierenden Informationsmodells CityGML - wurde auf die Festlegung auf eine spezifisches Datenbanksystem versichtet. Vielmehr wurde *Open eQuarter FOX* lediglich als Datenmodell zu Gunsten einer offeneren Lösung definiert.

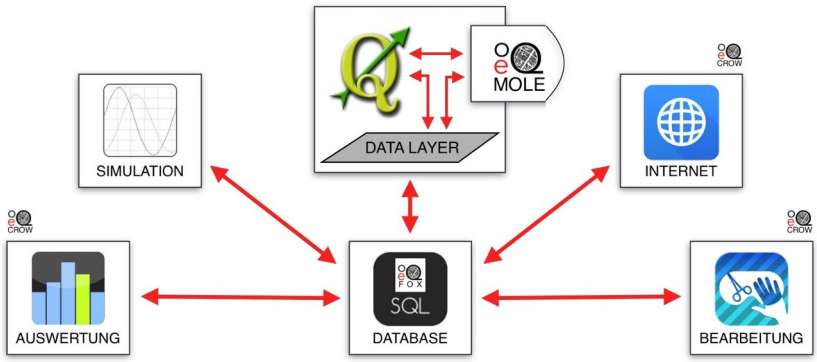

Abbildung 3.5: Darstellung der Dateninfrastruktur für Open eQuarter (VPT 2015)

Während der Datenakquisition und der nachfolgenden Datenanalyse dient zunächst ein dedizierter Vektorlayer mit einfacher Attributtabelle zur Datenhaltung. Mit Hilfe der Exportfunktionalität von *QGIS* werden die generierten Gebäudedaten anschließend gespeichert oder an die zentrale Geodatenbank übertragen (in Abbildung 3.5 ist *Open eQuarter FOX* beispielsweise als typische SQL-Datenbank ausgelegt). Die so externalisierten Daten stehen nun ihrerseits für die Bearbeitung und Weiterverwendung zur Verfügung. *Open eQuarter MOLE* kann diesen Pool wiederum als Akquitionsquelle wie auch als Ziel nutzen.

In der aktuellen Version stellt *Open eQuarter* die ermittelten Daten im geoJSON-, SQLite- und csv-Format zur Verfügung. Damit können die Ergebnisse von *Open eQuarter* einerseits problemlos in die zentrale Datenbank[1] oder in externe Applikationen übernommen, andererseits aber auch mit Hilfe entsprechender Frameworks[2] direkt auf mobilen Endgeräten dargestellt und bearbeitet werden.

3.6 Webfrontend (Open eQuarter CROW)

Im Rahmen des Anwendungsentwurfes wurde die Notwendigkeit formuliert, über Netzwerkverbindungen - sowohl lokal, als auch per Internet - mit der *Open eQuarter Datenbank* projektweise zu interagieren. Dies versetzt den Standardnutze in die Lage, von der Sichtung der Analyseergebnisse über die Definition von Szenarien bis hin zur mobilen Erfassung von Gebäudedaten in *Open eQuarter* umfassend Einfluss zu nehmen.

Im Rahmen des Projektes wurde ein rudimentärer Client (*Open eQuarter CROW*) entwickelt, der einerseits die Machbarkeit eines maßgeschneiderten Webfrontends und andererseits die diesbezüglichen Möglichkeiten in *Open eQuarter* demonstriert.

[1] z.B. *Open eQuarter FOX*
[2] wie etwa “openlayers” (http://openlayers.org) oder “geoDjango” (http://geodjango.org)

4 Quartiersanalyse

Über die Analyse eines typischen Stadtquartiers wurden georeferenzierte Quartiersdaten in den Erstellungsprozess des Software-Tools *Open eQuarter* eingebracht, die als zuverlässige inhaltliche Referenz dienen und schließlich eine Validierung von genutzten Parametern und Berechnungen ermöglichten.

Das Untersuchungsquartier befindet sich im Stadtteil Berlin-Neukölln und ist aufgrund seiner typisch großstädtischen Blockstruktur und einer großen Bandbreite unterschiedlicher Gebäudearten und -alter für die Verifizierung der in *Open eQuarter* berechneten Ergebnisse besonders geeignet.

4.1 Datenerfassung/GIS-Datenmanagement zur Quartiersanalyse

Als Grundlage der Quartiersanalyse dienten Daten zur Beschaffenheit des Untersuchungsquartiers, die bereits aus vorherigen Untersuchungen (Hempel u. a. 2010) zur Verfügung standen. Neben Aussagen zur städtebaulichen und energetischen Beschaffenheit des Quartiers war hierbei die Nutzbarkeit vorhandener Daten und Datenquellen für Geoinformationssysteme und damit für eine weitere Verwendung im zu entwickelnden GIS-Tool von Wichtigkeit. Um spätere Vergleichbarkeit mit einem aus vielen differenzierten „Datenschichten“ angelegten Tool zu ermöglichen, bot sich die Informationssammlung in Form einer GIS-Datenbank im für die Software-Entwicklung gewählten Zielsystem an.

Im Rahmen der Quartiersanalyse wurden die vorliegenden GIS-Rohdaten mit inhaltlichen Daten der zuständigen verwaltenden Stellen auf geeignete Weisen verknüpft und hinsichtlich städtebaulichen und energetischen Themen wie Stadtraumtypologie, Gebäudealter, Geschossigkeit, Gebäudetypologie, Nutzungstypologie, Gebäudezustand, Energieversorgungssysteme, Bevölkerungsstruktur, Erwerbstätigkeit und Eigentümerstruktur untersucht.

4.2 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt in Berlin-Neukölln und bildet den nördlichen Bereich eines Sanierungsgebietes im Norden des Bezirks. Die Größe beträgt ca. $3km^2$. Es grenzt im nördlichen Bereich an die Bezirke Kreuzberg-Friedrichshain und Treptow-Köpenick. Markante Gebietsmerkmale stellen die Sonnenallee als innerstädtische Hauptverkehrsader mit Einzelgewerbe im südlichen Bereich und die Wasserläufe des Landwehrkanals und Neuköllner Schifffahrtskanals im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes dar.

Im Untersuchungsgebiet wohnen 30.663 Personen. Mit 24.000 Ew/km^2 handelt es sich um ein sehr dicht besiedeltes Stadtgebiet. Die durchschnittliche GFZ liegt bei 2,5, varriert innerhalb des Untesuchungsgebietes jedoch stark.

Mit rund 12.522 Personen bzw. rund 40% stellt die Gruppe der 27–45-jährigen Personen die Mehrheit der Bewohner. in diesem Alter. Gleichzeitig waren nur rund 10% der Bewohnern über 65 Jahre alt. Ein über-

durchschnittlich großer Teil der Bevölkerung hat einen Migrantionshintergrund. Die Quote der Empfänger von staatlichen Transferleistungen liegt deutlich über dem Berliner Durchschnitt.

69% der Gebäude befinden sich in Privatbesitz, 19% im Besitz von Wohnungsunternehmen. Bei rund 40% der privaten Eigentümer handelt es sich um Eigentümergemeinschaften, also typischen Streubesitz.

Die durchschnittliche Miete liegt mit 7–8 $Euro/m^2$ auf dem unteren Niveau mittlerer Wohnlagen, der Kaufpreis für Eigentumswohnungen bleibt leicht unter dem Berliner Durchschnitt von 2.500 $Euro/m^2$.

Der kommunal festgelegt Bodenrichtwert im gesamten Gebiet war mit 410$Euro/m^2$ Wohnbaufläche bei einer Geschossflächenzahl von 2,5 ausgewiesen.

Abbildung 4.1: Untersuchungsgebiet in Berlin-Neukölln (Grundlage Geoportal Berlin/ DOP20RGB 2014)

Vorrangig im Gebiet vertreten sind Wohngebäude, anderweitige Nutzungen spielen als reine Gewerbe (4%), Gemeinbedarf (3%) oder Mischnutzung zwischen Wohnen und Gewerbe (2%) eine untergeordnete Rolle.

Die Literaturrecherche ergab, dass die Energieversorgung im Untersuchungsgebiet von Fernwärme dominiert wird. Dabei bleibt die Energieversorgung der nicht mit Fernwärme belieferten Gebäude offen, da hier großmaßstäbliche Erfassungen ohne Erfolg waren.

4.3 Querschnittsachse Fuldastraße

Für den Vergleich mit den Ergebnissen von *Open eQuarter* wurde es notwendig, möglichst viele Einzelgebäude genauer zu betrachten. Eine detaillierte bautechnisch-energetische Aufnahme sämtlicher 1.000 Gebäude im Quartier war jedoch angesichts des Aufwands für Begehungen und Erfassung von vornherein unrealistisch. Daher wurde eine *Querschnittsanalyse* durchgeführt.

Mit der *Fuldastraße* wurde ein Straßenzug ausgewählt, der die baulichen, energetischen und demographisch-ökonomischen Verhältnisse des Gesamtgebietes gut repräsentiert. Als Ergebnis dieser Ausschnittsunter-

suchung standen zahlreiche gebäudegenaue Daten zur Verfügung. Im Rahmen der Detailerhebung wurde der Gebäudebestand erfasst und Volumen sowie energetisch relevante Hüllflächen ermittelt. Weitere Informationen zum Zustand der Gebäudehülle, zu Fassadenöffnungen und zu vorherrschenden Energieversorgungssystemen kamen hinzu.

Abbildung 4.2: Öffnungsanteile Fassaden Fuldastraße 19-23 – Ansicht von der Straße (DMSW 2015)

Neben der Ermittlung der konstruktiven Merkmale (siehe z.B. Abbildung 4.2) beinhaltete die detaillierte Erfassung der Gebäudedaten in der Querschnittsachse die Erfassung der technischen Gebäudeausrüstung und der Versorgungsträger. Im Verlauf der Fulda-/Onckenstraße fanden sich alle klassischen Energieversorgungssysteme des 20. Jahrhunderts. Zentrale Systeme auf Nachbarschaftsebene (Fernwärme in Gebäudeensembles des Siedlungsbaus), zentrale Systeme mit hausweiser Versorgung (Fernwärme, Gas Zentralheizung), sowie dezentrale Systeme mit etagenweiser bzw. wohnungsweiser Versorgung (Gas-Etage, Elektro) bis hin zu unsanierten Restbeständen mit Kohlheizung und Kombination mit Elektroheizungen.

Der Heizenergieverbauch in der Fuldastraße wurde bei Eigentümern und Verwaltern erfragt. Insgesamt lagen zum Schluss Informationen zu 20 von 62 Gebäuden vor. Der ermittelte - auf Grund der mangelnden Mitwirkungsbereitschaft der Eigentümer nicht repräsentative - Heizenergieverbrauch lag auf einem relativ niedrigem und mittlerem Niveau zwischen 55 und 153 kWh/m^2a (siehe auch Kapitel 5, Abbildung 5.3, rechts).

5 Toolanwendung und Validierung

Für die Validierung wurde *Open eQuarter* zunächst in verschiedenen Informationstiefen auf den Querschnitt Fuldastraße angewandt. Die Ergebnisse wurden anschließend mit den in der Querschnittanalyse ermittelten Verbrauchsdaten verglichen.

Im Anschluss sollten die Ergebnisse der Querschnittanalyse auf den Querschnitt und das gesamte Quartier hochgerechnet und den Ergebnissen der Berechnung des gesamten Quartiers mit *Open eQuarter* gegenüber gestellt werden.

5.1 Erste Anwendungserfahrungen

Die Anwendung des Tools *Open eQuarter MOLE* gestaltet sich unkompliziert und stringent. Der implementierte Workflow-Manager führt den Anwender durch die einzelnen Arbeitsschritte (Kaul u. a. 2015).

5.2 Erzielbare Resultate

Open eQuarter MOLE liefert in der Grundversion[1] einen energetischer Kartensatz zu verschiedenen energetischen Aspekten des Quartiers in gebäudegenauer Auflösung. Abbildung 5.1 zeigt z.B. die auf Basis der genannten statistischen Zusammenhänge ermittelte wahrscheinliche Bauteilqualität (U-Wert Dach) zum Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes bzw. heute bei durchschnittlicher Sanierungstätigkeit auf.

5.3 Mögliche Fehlerquellen

Während des Probebetriebs zeigten sich systematische Abweichungen, die jedoch direkt auf die Qualität der Quellen zurückzuführen waren:

- Fehlerhafte Georeferenzierung, Folge: Fehlerhafte Datenauslesung beim Needle Request
- Zu grobe Kategorisierung, Folge: Fehlerhafte Ergebnisse bei der Parametrisierung (Durchschnittbildung)
- Uneinheitliche Gebäude-Identifikation, Folge: Fehlerhafte Zuweisungen zu den einzelnen Objekten

[1] Die Ausgaben werden wie die Importe in Erweiterungen (Extensions) definiert. Weitere Auswertungen können über benutzerdefinierte Extensions jederzeit in *Open eQuarter MOLE* eingebunden werden.

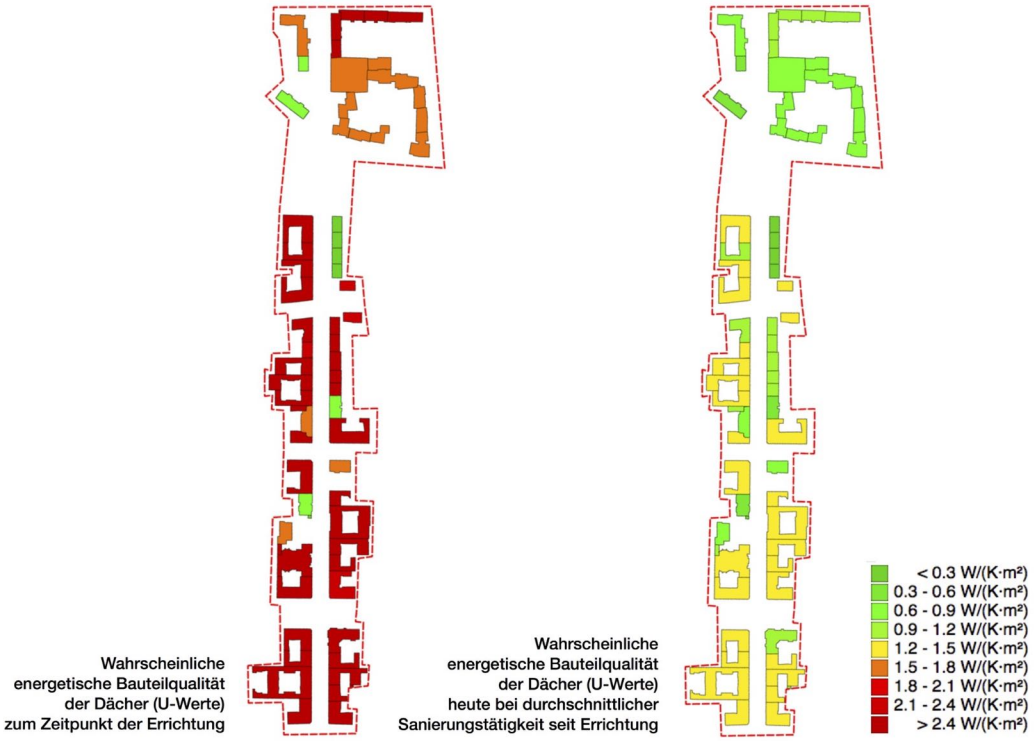

Abbildung 5.1: Von Open Quarter ermittelte U-Werte für die Dächer des Querschnittsgebietes (VPT 2015)

5.4 Validierung in der Querschnittsachse Fuldastraße

Um die Zuverlässigkeit des Verfahrens zu überprüfen wurde das Querschnittsgebiet um die Fuldastraße in drei bzw. vier Informationsstufen untersucht. Die Stufen unterschieden sich dabei lediglich in der Anzahl und Art der verwendeten Informationslayer:

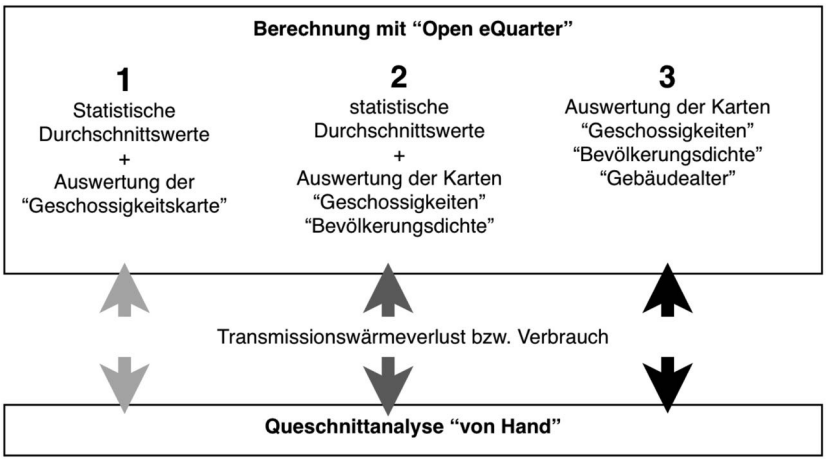

*Abbildung 5.2: Validierungsmethodik *Open eQuarter* (VPT 2015)*

Mit den bereits beschriebenen Methoden wurde nun der Heizwärmebedarf der einzelnen Gebäude in

Open eQuarter berechnet und den in der Querschnittsanalyse ermittelten Verbrauchsdaten gegenübergestellt.

Abbildung 5.3 dokumentiert, wie sich die Hinzunahme und Auswertung zusätzlicher georeferenzierter Informationen auf das Ergebnis von *Open eQuarter MOLE* auswirkt. Während die Resultate der ausschließlich mit statistischen Parametern gerechneten Stufe 1 sich noch weit von den tatsächlich vorgefundenen Verbräuchen unterscheiden, nähern sich diese bereits bei Hinzunahme der *Geschossigkeitskarte* in Stufe 2 und der *Bevölkerungsdichtekarte* in Stufe 3 deutlich an. Die Berücksichtigung der Gebäudealterskarte in Stufe 4 führt zu einer nochmaligen Verbesserung des Ergebnisses.

Abbildung 5.3: Berechneter Heizwärmebedarf für die untersuchten Informationstiefen im Vergleich zum ermittelten Heizenergieverbrauch der Querschnittsanalyse (VPT 2015)

Die “händische” Quartieranalyse bleibt aus im Kapitel *Quartiersanalyse/Querschnittsachse Fuldastraße* genannten Gründen trotz erheblichen Aufwands lückenhaft. Die Hochrechnung der erfassten Daten auf den gesamten Querschnittbereich bzw. sogar auf das ganze Quartier erscheint unter diesen Bedingungen nicht zielführend. Dagegen kann *Open eQuarter MOLE* auf Grund des statistisch untermauerten Ansatzes selbst hier schon erste Abschätzungen liefern.

5.5 Anwendung auf das gesamte Untersuchungsgebiet

Im Anschluss wurde *Open eQuarter* unter Anwendung der Karten für *Geschossigkeit*, *Bevölkerungsdichte* und *Gebäudealter* auf das gesamte Untersuchungsgebiet angewandt.

Abbildung 5.4: Mit Open eQuarter MOLE berechneter wohnflächenbezogener Heizenergiebedarf für alle Gebäude des Quartiers (VPT 2015)

Abbildung 5.4 zeigt beispielhaft an Hand der wohnflächenbezogenen Heizenergiebedarfe der Gebäude des Untersuchungsgebietes, dass *Open eQuarter MOLE* bereits mit dieser geringen Anzahl von Quellen differenzierte Ergebnisse erzielt.

Die Zusammenstellung der Ergebnisse in Abbildung 5.5 dokumentiert die Leistungsfähigkeit des Ansatzes und zeigt, dass der Heizenergiebedarf des Quartiers bereits durch moderate Sanierung deutlich reduziert werden kann. Bei einer flächendeckenden Optimierung der Bauteilqualitäten (Bodenplatte $0,6 W/m^2K$, Wand $0,8 W/m^2K$, Dach $0,4 W/m^2K$ und Fenster $1,2 W/m^2K$) werden statt 310.118 MWh/a nur noch 167.317 MWh/a benötigt. Dies entspricht einer Energieeinsparung von 46%.

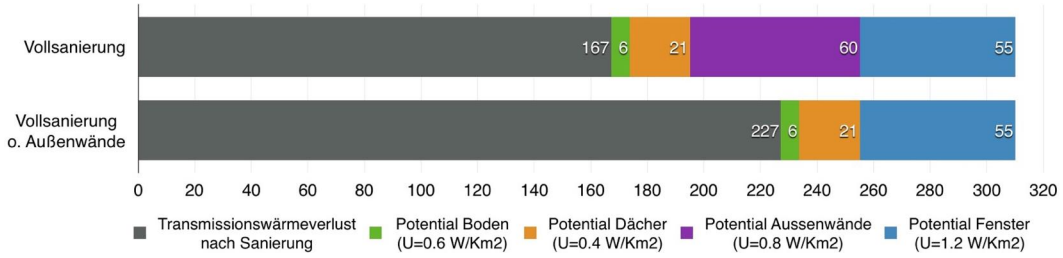

Abbildung 5.5: Mit Open eQuarter MOLE berechnete Sanierungspotentiale für den Heizenergiebedarf des gesamten Quartiers bei moderater energetischer Sanierung (in GWh/a, VPT 2015)

Selbst ohne die aufwändige energetische Optimierung der Außenwände könnte der Bedarf demnach deutlich reduziert werden (siehe Abbildung 5.5).

6 Anwendung auf Sanierungsszenarien

Für das Projekt wurden zwei Quartier-Szenarien entworfen, anhand derer der Nutzen von *Open eQuarter* überprüft werden soll.

6.1 Szenario 1: Gebäudehüllensanierung und Fernwärmeausbau

Durch Verbesserungen der Gebäudehüllen soll zunächst der Heizwärmebedarf des Quartiers deutlich reduziert werden. Zweites Ziel ist die Verdichtung der Fernwärmeanschlüsse und damit die nachhaltige und ressourcenschonenden Beheizung möglichst vieler Gebäude.

6.2 Szenario 2: Gebäudehüllensanierung und Flächenpotentiale „Solarthermie"

Wie in Szenario 1 sollen auch hier zunächst die energetische Qualität der Gebäudehüllen optimiert werden. Auf dieser Basis werden anschließend sich die Möglichkeiten für die unter Nutzung von *Solarthermie* in Verbindung mit der Implementation eines Solarwärmenetzes mit zentraler Siedlungsspeicher mit Nahwärmenetz abgeschätzt.

Abbildung 6.1: Mit Open eQuarter MOLE berechneter wohnflächenbezogener Transmissionswärmevelust HT' für alle Gebäude des Quartiers vor der energetischen Sanierung (VPT 2015)

6.3 Bestandsanalyse

Als Ausgangsbasis wurde mit *Open eQuarter MOLE* zunächst die energetische Qualität für alle Gebäude des Quartiers festgestellt. Abbildung 6.1 zeigt den Auszug für den wohnflächenbezogenen Transmissionswärmeverlust H'_T aus dem Ausgabekartensatz des Tools.

6.4 Pontentialanalyse

Es wird für beide Szenarien angenommen, dass sämtliche Gebäude saniert und als Ergebnis verbesserte energetische Bauteilqualitäten (Bodenplatte $0,3W/m^2K$, Wand $0,4W/m^2K$, Dach $0,2W/m^2K$ und Fenster $1,0W/m^2K$) erreicht werden.

Der sanierte Zustand wurde mit *Open eQuarter MOLE* als Variante berechnet. Abbildung 6.2 zeigt emplarisch die Kartenausgabe von *Open eQuarter MOLE* für den wohnflächenbezogenen Transmissionswärmevelust im sanierten Zustand.

Abbildung 6.2: Mit Open eQuarter MOLE berechneter wohnflächenbezogener Transmissionswärmevelust HT' für alle Gebäude des Quartiers nach der energetischen Sanierung (VPT 2015)

6.5 Bewertung

Die für die Probeszenarien angesetzte flächendeckende Sanierung würde zu einer erheblichen Reduzierung des Heizwärmebedarfs für das Untersuchungsquartier führen.

Open eQuarter MOLE veranschlagt für den sanierten Zustand rund 125 GWh/a, was eine Verbesse-

rung von rund 60% entspräche. Selbst ohne die aufwändige Dämmung der Aussenwände würde eine Reduktion von 31% erreicht.

Szenario 1: Fernwärmeausbau

In der graphischen Aufbereitung ergeben sich für Szenario 1 die in Abbildung 6.3 dargestellten Potentiale.

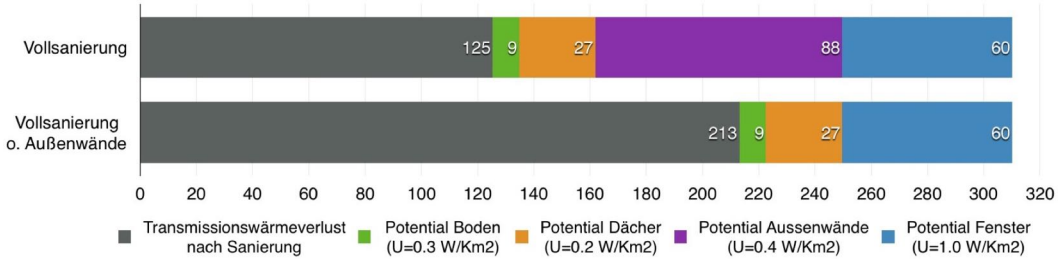

Abbildung 6.3: Mit Open eQuarter MOLE berechnete Sanierungspotentiale für den Heizenergiebedarf des gesamten Quartiers (in GWh/a, VPT 2015)

Die deutliche Verminderung des Heizenergiebedarfes durch die Gebäudesanierung auf rund zwei Fünftel des Ursprungsbedarfes würde u.a. zu einer Entlastung des vorhandenen Netzes führen. Damit könnten bereits mit den bestehenden Trassen mehr Hausanschlüsse realisiert werden.

Die eigentliche Planung des Fernwärmeausbaus kann allerdings nun anhand von entsprechendem Kartenmaterial erfolgen, das Aussagen über die Gebäude mit FW-Anschluß und Trassenlage im ist-Zustand liefert.

Die Implementierung geeigneter Mechanismen zum Umgang mit Streckennetzen und zur Netzentflechtung ist in *Open eQuarter* zwar prinzipiell möglich und könnte ggf. in Form entsprechender Ergänzungsmodule umgesetzt werden, war jedoch nicht Bestandteil des Projekts.

Szenario 2: Solarthermie

Für die Berechnung der für Solarthermiekollektoren nutzbaren Fläche wurden zunächst Karten aus dem Solaratlas Berlin herangezogen. Für die Nutzung mit *Open eQuarter MOLE* erwies sich dieses Material jedoch als ungeeignet, da es pauschal für alle nutzbaren Dächern der Stadt die Eignung annimmt und von 100% nutzbarer Fläche ausgeht. Für die Ermittlung der nutzbaren Dachflächen und der installierbaren Solarflächen wurde daher ein einfaches empirisches Modell entwickelt ((Kaul u. a. 2015, 5.3.1)).

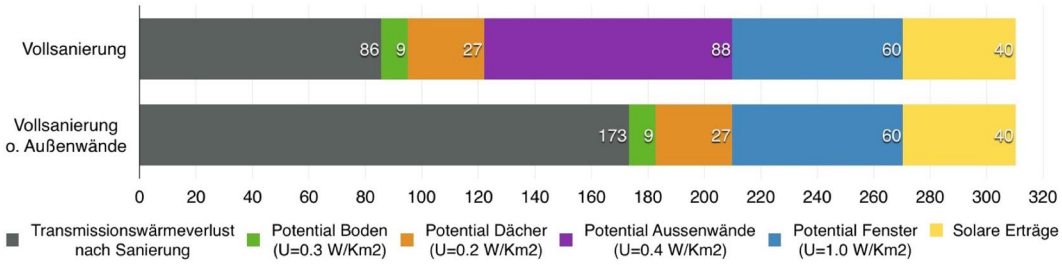

Abbildung 6.4: Mit Open eQuarter MOLE berechnete Sanierungspotentiale für den Heizenergiebedarf des gesamten Quartiers unter Einbeziehung der Nutzung von Solarthermie (in GWh/a, VPT 2015)

Im Verbund eines solaren Wärmenetzes kalkuliert *Open eQuarter MOLE* für den angenommenen Sanierungszustand eine Deckungsrate von 32% (Berechnungen siehe (Kaul u. a. 2015)). Abbildung 6.4 zeigt die Potentiale für das Gesamtquartier unter Einbeziehung der flächendeckenden Nutzung von Solarthermie auf den Dächern. In Abbildung 6.5 ist dargestellt, welchen Beitrag die flächendeckende Nutzung von Solarthermie zum Heizenergiebedarf der Einzelgebäude leisten könnte.

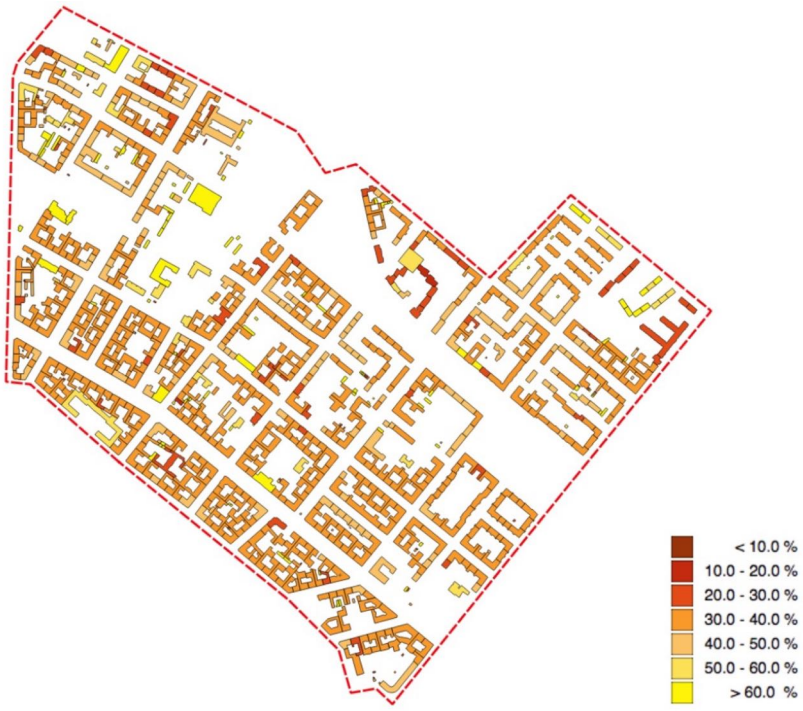

Abbildung 6.5: Mit Open eQuarter MOLE berechnete erreichbare solare Deckungsrate je Gebäude bei flächendeckender Nutzung von Solarthermie (VPT 2015)

Es konnte gezeigt werden, das *Open eQuarter MOLE* durch die Abschätzungen mit Hilfe der vorgestellten Methodik (z.B. für die zu beheizenden Flächen und Volumen und die energetische Qualität der Gebäude in verschiedenen Sanierungsständen oder auch die solar nutzbaren Fläche) wertvolle Hinweise zur Speicherplanung geben kann. Darüber hinaus könnten im GIS geeignete Freiflächen, wie sie auch in der "händische" Quartiersuntersuchungen vorgefunden wurden, auf ihre Eignung überprüft werden.

Bestimmte ursprünglich angedachte Berechnungsmodule wie Hilfestellungen zur Netzneuplanung und Trassenführung durch die Berücksichtigung von Kartenmaterial wie z.B. der Abwasser-Versorgung und Entsorgung, der Informationstechnik (z.B. Glasfaserleitung) oder der Elektroleitungen (Mittelspannung, Hochspannung, Bahnen) müssen in die Zukunft verschoben werden, da dass vorrangige Ziel von *Open eQuarter* in der Entwicklung und Implementierung einer Methodik zur Datenerfassung und -analyse innerhalb einer GIS-Umgebung im Gebäudebereich lag.

7 Zusammenfassung

Open eQuarter zeigt neue Möglichkeiten zur Quartieranalyse und -bewertung auf. Die Nutzung eines Geoinformationssystems (*GIS*) ermöglicht die örtlich referenzierte Akquisition und Auswertung zahlreicher entsprechender Datenquellen. Es konnte nachgewiesen werden, dass das Konzept der Überlagerung georeferenzierter Datenquellen verschiedenster Art mit Hilfe der *Layered Information Akquisition (LIA)* und der anschließende *Needle Request (NR)* geeignet sind, eine gebäudedifferenzierte Informationsbasis ohne größeren Erhebungsaufwand zu generieren.

Deutlich wurde jedoch auch, dass die Qualität der erzielten Ergebnisse wesentlich von der Kategorisienaufteilung innerhalb der Quellen und der Güte ihrer Georeferenzierung abhängt.

Für die großräumliche Anwendung und den standardisierten Austausch von Daten fehlt ein einheitliches und allgemein anerkanntes Schlüsselsystem zur Erzeugung weltweit eindeutiger Gebäude-IDs.

7.1 Statistische Erzeugung generischer Eingangsdaten

Durch die Auswertung vorhandener statistischer Daten aus dem Zensus 2011 (Destatis 2012) und den Untersuchungen zu einer “Nationalen Gebäudetypologie” des Instituts für Wohnen und Umwelt (Diefenbach u. Loga 2011) konnte eine ganze Reihe korrelativer Zusammenhänge - wie etwa die Abhängigkeit der Geschossigkeit von der Bevölkerungsdichte - identifiziert werden. Für weitere Daten wie etwa die Wärmedurchgangskoeffizienten in Abhängigkeit vom Gebäudealter zeigten sich Zusammenhänge, die aufgrund von Singularitäten wie etwa historischen Ereignissen nicht funktional abgebildet werden konnten. Hier wurden Lookup-Tabellen erstellt.

Auf diese Weise werden bereits bei lückenhafter Datenlage differenzierte Berechnungen energetischer Kenndaten aus einer minimalen Anzahl von Mindestparametern (Grundrissgeometrie, Baujahr und Bevölkerungsdichte und ggf. Geschossigkeit) möglich.

7.2 Konnektivität und Interaktivität

Die exemplarische Implementierung eines grundfunktionalen internet-tauglichen Clients, der auch auf Mobilgeräten nutzbar ist, belegt die Interaktionsfähigkeit des Konzeptes. Es ermöglicht sowohl den Abruf der eingespeisten Geoinformationen, der berechneten Gebäudeparameter und der quartierbezogenen Summationen, wie auch die Erzeugung von Varianten und die mobile Erfassung von Gebäudeparametern.

7.3 Open Source Konzeption

Die Open Source Konzeption des Projektes eröffnet die Möglichkeit zur Weiterentwicklung von *Open eQuarter*. Hierzu wurde ein offenes Erweiterungs-System entwickelt, das über sogenannte *Open eQuarter Extension* die Einbindung vielfältiger Import-, Analyse- und Auswertungsmechanismen ermöglicht. Im Rahmen des Projektes wurden basierend auf den Ergebnissen der statistischen Auswertungen beispielhaft *Extensions* zur Berechnung energetischer Gebäudekenndaten implementiert.

7.4 Quartiers- und Querschnittanalyse

Projektbegleitend wurde eine konventionelle Quartiers- und Querschnittanalyse durchgeführt. Nach Sichtung zahlreicher Quellen wurden die Informationen im Geoinformationssystem *QGIS* aufgearbeitet und bewertet. So entstand ein umfassendes Bild des Untersuchungsgebietes in Berlin Neukölln (siehe Kapitel 6.2). Neben stadtplanerischen Aspekten wie Lage, Nutzung, Baukonstruktionen und Baualtersstruktur konnten auch Erkenntnisse zu energetischen Aspekten (z.B. der Art der Heizenergieversorgung) gewonnen werden. Zusätzlich wurden sozioökononischen Parameter wie etwa Eigentumsverhältnisse und Altersstruktur der Nutzer untersucht.

Für den Vergleich mit den Ergebnissen von *Open eQuarter* wurde es notwendig, möglichst viele Einzelgebäude genauer zu betrachten. Eine detaillierte bautechnisch-energetische Aufnahme sämtlicher 1.000 Gebäude im Quartier war jedoch angesichts des Aufwands für Begehungen und Erfassung von vornherein unrealistisch. Daher wurde eine *Querschnittsanalyse* durchgeführt. Mit der *Fuldastraße* wurde ein Straßenzug ausgewählt, der die baulichen, energetischen und demographisch-ökonomischen Verhältnisse des Gesamtgebietes gut repräsentiert. Als Ergebnis dieser Ausschnittsuntersuchung standen zahlreiche gebäudegenaue Daten zur Verfügung (siehe Kapitel 6.3).

Die parallel zur Programmentwicklung durchgeführte Quartiers- und Querschnittanalyse “von Hand” hat sich als wertvolle Ergänzung zur konzeptionellen Arbeit erwiesen. Zum einen konnten die Untersuchungen vor Ort gezielt auf die Bedürfnisse der Implementierung und Validierung abgestimmt werden. Zum anderen lieferte die Arbeit im Quartier wichtige Impulse für die inhaltliche Ausgestaltung der Softwarelösung.

7.5 Variantenuntersuchung

Die entwickelte Software ist in der Lage, eine Quartieranalyse durchzuführen und darauf aufbauend verschiedene Sanierungsszenarien durchzuspielen. Im Projekt wurden exemplarisch zwei Szenarien betrachtet. Zum einen die Gebäudehüllensanierung und Fernwärmeausbau mit Anschlussverdichtung sowie zum anderen die quartiersbezogene Solarthemienutzung mit saisonalem Siedlungsspeicher.

7.6 Aufwandsbetrachtung

Die Querschnittanalyse *Fuldastraße* erforderte für 70 betrachtete Gebäuden rund 140 Arbeitsstunden bzw. 17 Personentage. Dennoch blieb das Ergebnis lückenhaft. Im Gegensatz dazu konnte mit *Open eQuarter MOLE* bereits nach rund 1 Stunde ein erstes vollständiges und differenziertes Ergebnis geliefert werden.

Hochgerechnet auf das Gesamtquartier würde die manuelle Erfassung bei erheblichen Erhebungslücken damit etwa 1900 Arbeitsstunden bzw. ca 237 Personentage erfordern. *Open eQuarter* benötigte im Rahmen der Szenarienuntersuchung mit 5 Stunden für die Berechnung und etwa 2 Stunden Nebenaufwand insgesamt etwa einen Personentag.

Bei Ansatz des gesetzlichen Mindestlohns von 8,50 Euro netto, also rund 15,50 Euro Vollkosten ergibt der finanzielle Vergleich:

- Manuelle Quartiersanalyse:
  - 3100 Euro /100 Gebäude
  - lückenhaftes Ergebnis
- Erhebung mit *Open eQuarter*:
  - 11,50 Euro /100 Gebäude
  - vollständige Datenbasis

Selbst bei unvollständiger Quellenlage ist *Open eQuarter* damit deutlich wirtschaftlicher als die bekannten Ansätze (siehe hierzu Kapitel 2.1). Als konkurrenzfähig dürfte sich lediglich die Betrachtung mit Hilfe von Vergleichsquartieren erweisen - dies allerdings ohne die Möglichkeit, gebäudeweise aufzulösen.

7.7 Ausblick

Die Weiterentwicklung des *Open eQuarter* Projektes erscheint lohnenswert. Angesichts der offenen Architektur ergeben sich folgende Arbeitsfelder:

- Fortführung der statistischen Auswertung mit dem Ziel, weitere zuverlässige Zusammenhänge zu identifizieren.
- Definition von *Importextensions* zur Verarbeitung weiterer Quellenarten
- Implementierung weiterer *Open eQuarter Extensions* zur Auswertung und Aufbereitung
- Anbindung an weitere Geodatenstandards. Mit Blick auf umfassendere Projekte wie CityGML erscheint u.a. die Einbindung des GML-Formates wünschenswert.
- Entwicklung eines erweiterten Webclients, der die Möglichkeiten von *Open eQuarter* vollständig nutzt.
- Validierung an Hand gut dokumentierter größerer Planungsräume

Literaturverzeichnis

[Destatis 2012]

Destatis ; Statistische Ämter das Bundes und der Länder (Hrsg.): *Zensus 2011*. https://www.zensus2011.de/DE/Home/home_node.html, [21.03.2013]. Version: 2012

[Diefenbach u. Loga 2011]

Diefenbach, Nikolaus ; Loga, Tobias ; Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt (Hrsg.): Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU / Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt. 2011. – Forschungsbericht

[Hempel u. a. 2010]

Hempel, Hans-Jürgen ; Gersmeier, Olaf ; Kummel, Olivia ; Köppen, Lars: *Vorbereitende Untersuchungen zur Stadterneuerung Maybachufer - Elbestraße Berlin Neukölln*. Version: 2010. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/staedtebau/foerderprogramme/stadterneuerung/de/kottbusser/download/einladung_26_11_09.pdf, Abruf: 2015-10-02

[Kaul u. a. 2015]

Kaul, Werner ; Färber, Michael ; Nytsch-Geusen, Christoph ; Wehage, Philipp: Nachhaltige und energieeffiziente Bestandsentwicklung von Stadtquartieren - Entwicklung eines Analyse- und Planungstools zur energetischen Bewertung und Sanierung von Stadtquartieren (Open eQuarter) / University of Arts Berlin and DMSW Architects, Berlin. 2015. – Forschungsbericht