

Städtische Energiesystemanalyse unter Verwendung öffentlich zugänglicher Daten

Kai Mainzer, Russell McKenna, Wolf Fichtner

Workshop „Urbane Energiesystemmodelle“, Karlsruhe, 12.11.2015

INSTITUT FÜR INDUSTRIEBETRIEBSLEHRE UND INDUSTRIELLE PRODUKTION (IIP),
LEHRSTUHL FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT



Agenda

- Einführung & Motivation
- Daten für die Modellierung städtischer Energiesysteme
- Methodik: Bestandserfassung, Potenziale, Optimierung
- Beispielhafte Ergebnisse
- Kritische Würdigung
- Zusammenfassung und Ausblick

Einführung & Motivation

- Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“
 - 5 Städte erproben Konzepte zur Steigerung der Energieeffizienz
 - Begleitforschung IIP: Querschnittsauswertung, Charakterisierung der verwendeten **Modelle** und insb. Bewertung der **Übertragbarkeit**, damit Lösungen auch auf andere Städte übertragen werden können
- Benötigte Daten für die einzelnen Modelle sind üblicherweise nicht verfügbar: Dateneinkauf (z.B. Sinus-Milieus), eigene Erhebungen, Kooperationen mit Stadtwerken o.ä. die nur im Einzelfall möglich sind
- Für übertragbare Modelle müssen daher frei verfügbare Datenquellen genutzt werden
- Viele Daten sind nicht direkt vorhanden, können aber aus frei verfügbaren Daten abgeleitet/berechnet werden



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Förderkennzeichen 03SF0415B

Daten für die Modellierung städtischer Energiesysteme

Benötigte Daten

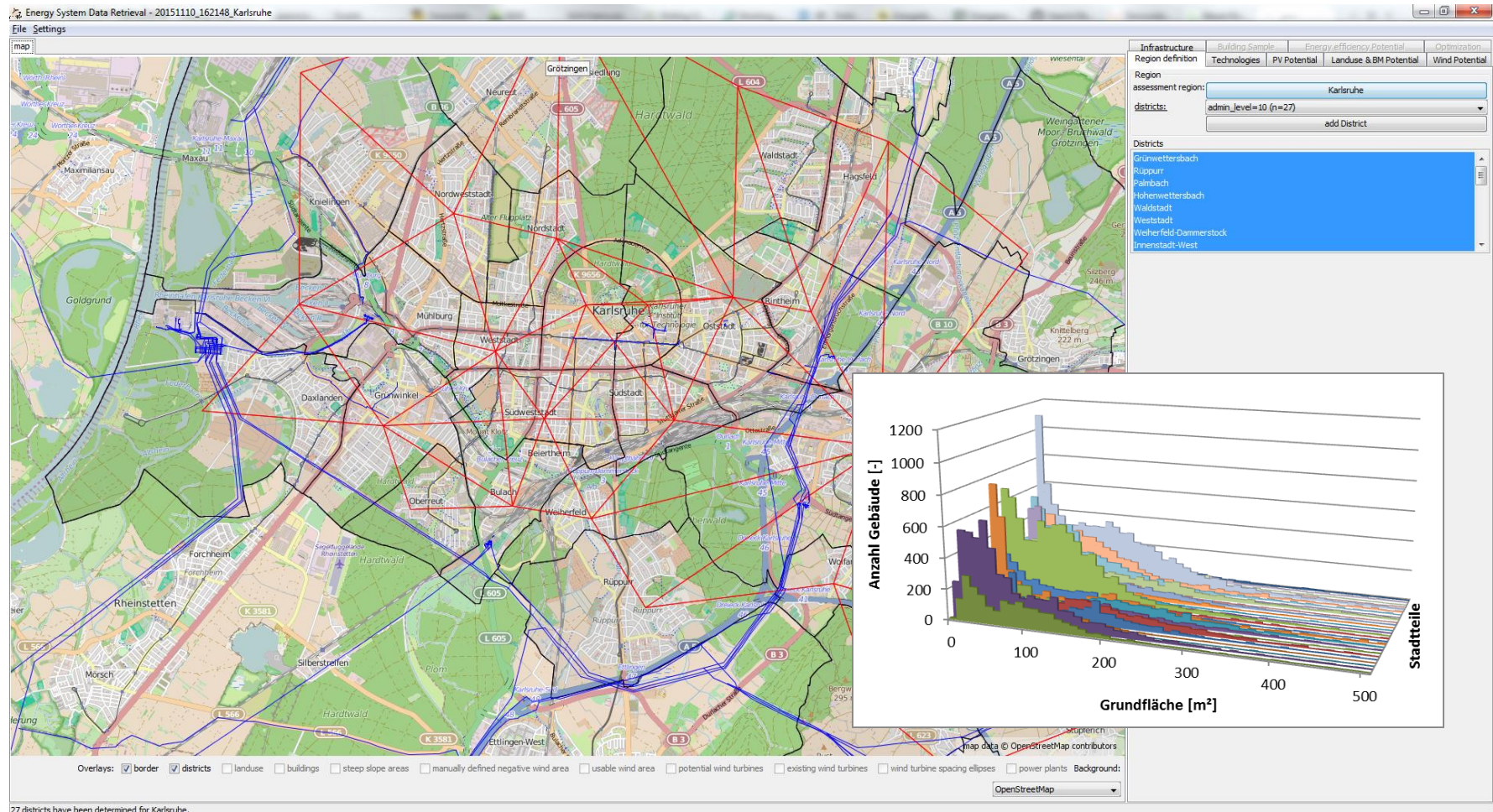
- Nachfrage
 - Strom, Raumwärme, Warmwasser
- Technologiebestand
 - Gebäude, Wärmeversorgung, EE, Infrastruktur
- Verfügbare Technologien
 - Umwandlungseffizienz, Kosten, zukünftige Entwicklung
- Potenziale für EE
 - PV, Wind, Biomasse

mögliche Quellen

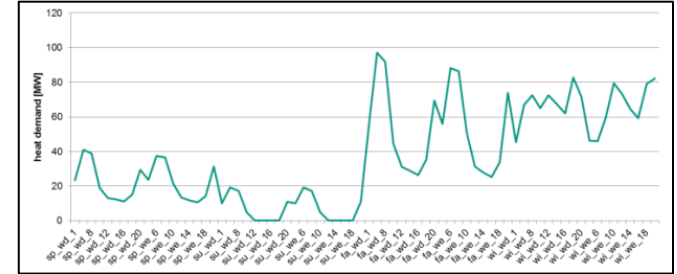
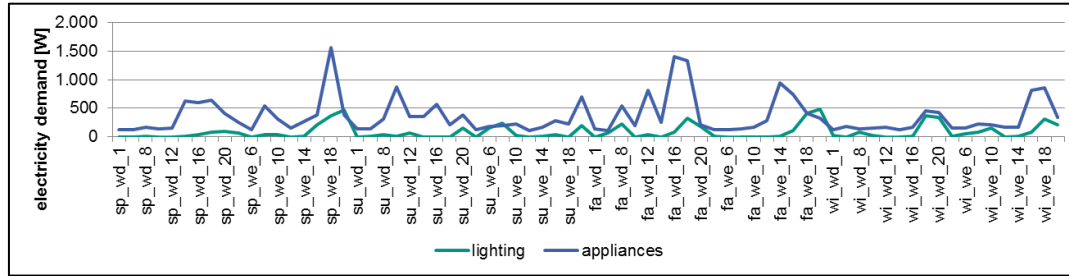
- Öffentliche Statistiken
 - Gebäudebestand, Sozialstruktur⁽¹⁾
- Klimadaten
 - Temperatur, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeiten⁽²⁾
- Technologiedatenbanken
- Geodaten
 - Gebäude, Landnutzung, Infrastruktur, Topographie⁽³⁾
- Marktdaten
 - Strom, Gas, Kohle⁽⁴⁾
- Wissenschaftliche Studien

(1): z.B. Zensus 2011, IWU; (2): z.B. MACC-RAD, MERRA; (3): z.B. OSM, Bing, SRTM; (4): z.B. EEX

Methodik – Infrastruktur und Gebäudebestand



- Infrastruktur: Wahlweise Nutzung OSM-Daten / eigene Anpassung
- Gebäude: Kombination Gebäude-Typologie & tatsächliche Größen



■ Stromnachfrage

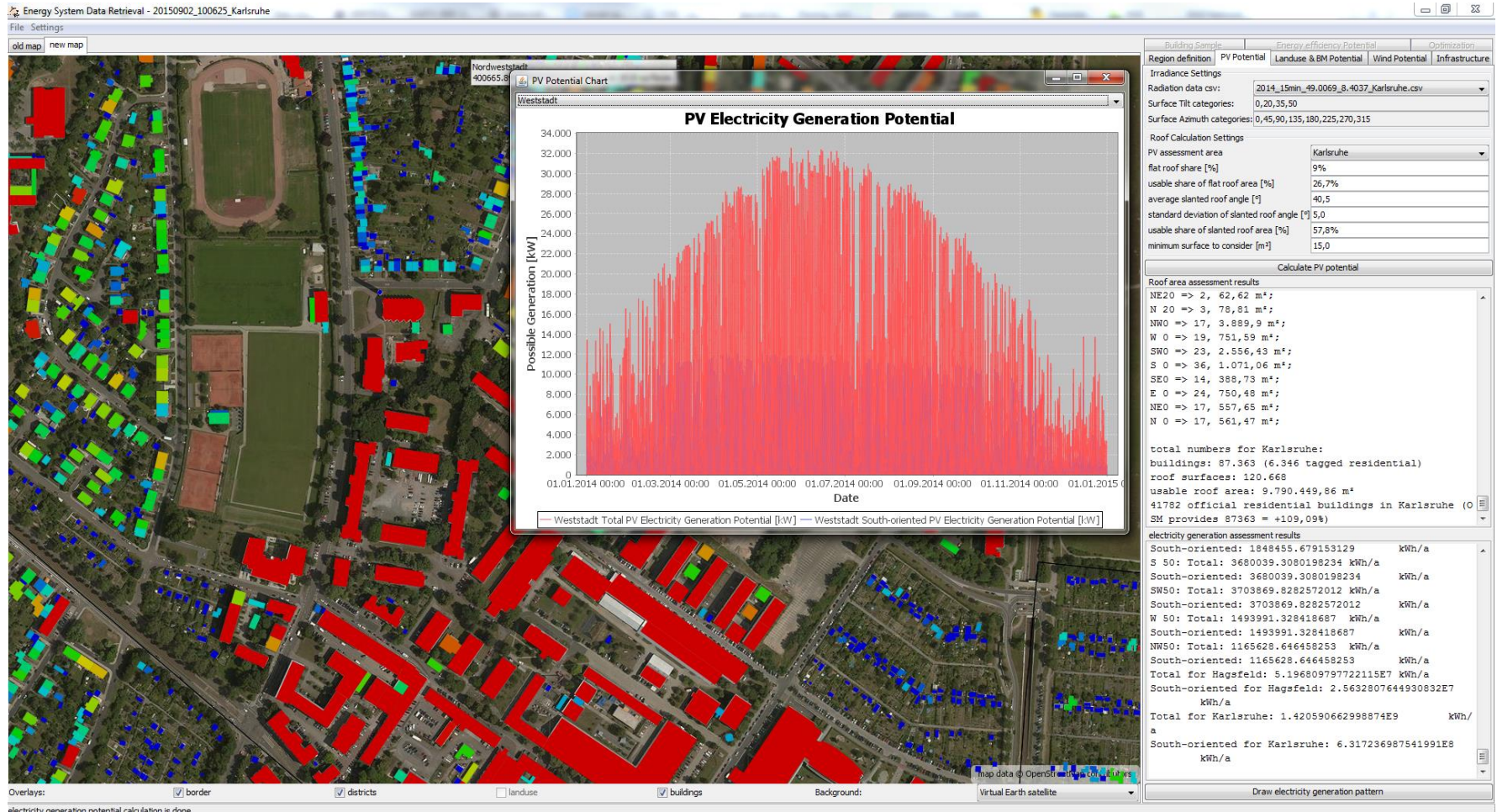
- Verwendung eines aktivitätsbasierten Simulationsmodells zur Berechnung des Nachfrageverhaltens einzelner Haushalte⁽¹⁾
- Statistische Abschätzung auf Basis von Kennzahlen für andere Sektoren⁽²⁾

■ Wärmenachfrage

- Berechnung basierend auf Gebäudetypologie und Größe sowie Sanierungszustand
- Andere Sektoren: statistische Kennzahlen

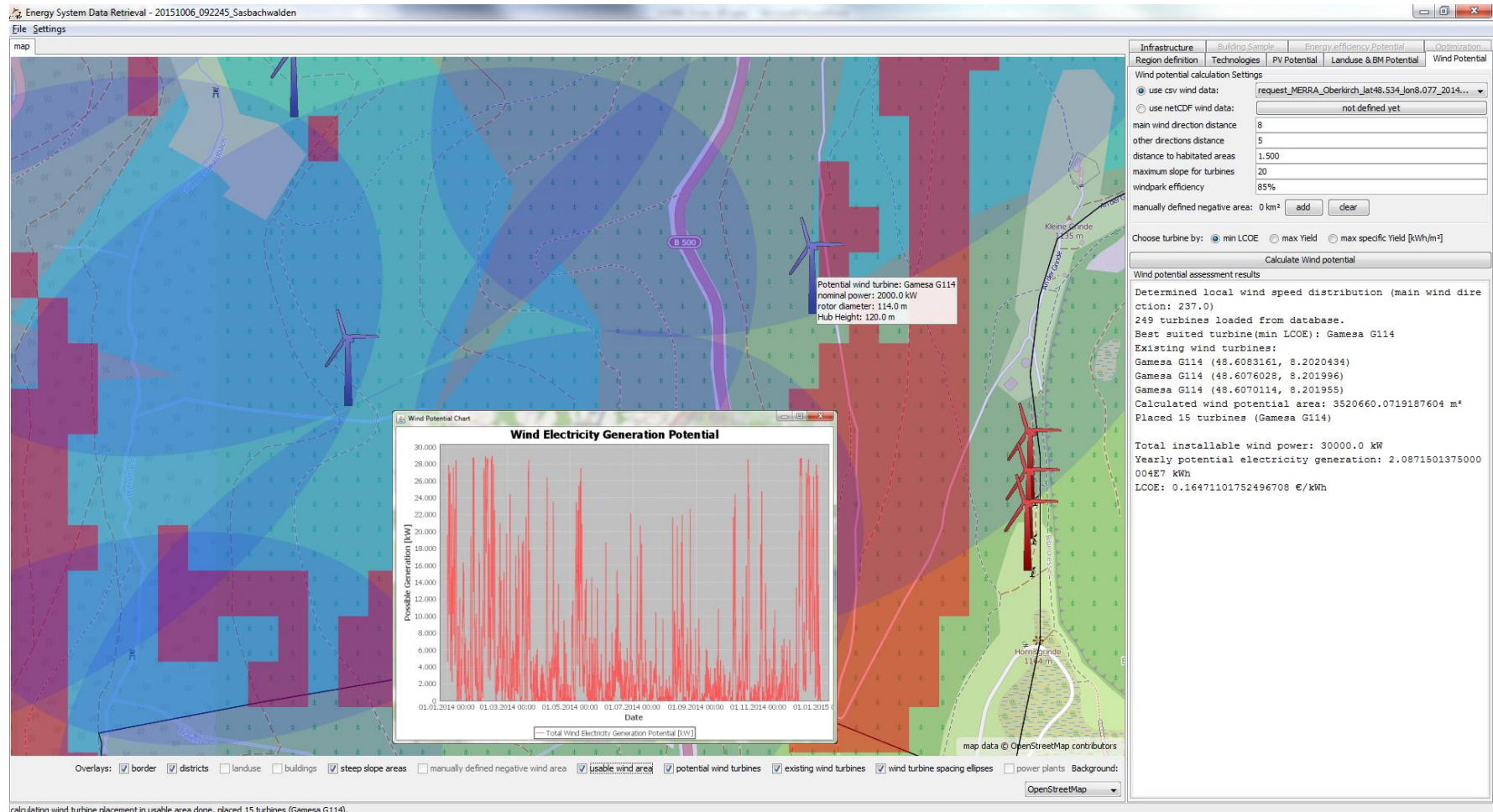
(1): Richardson 2010; (2): Killinger 2015

Methodik – Potenziale für Photovoltaik



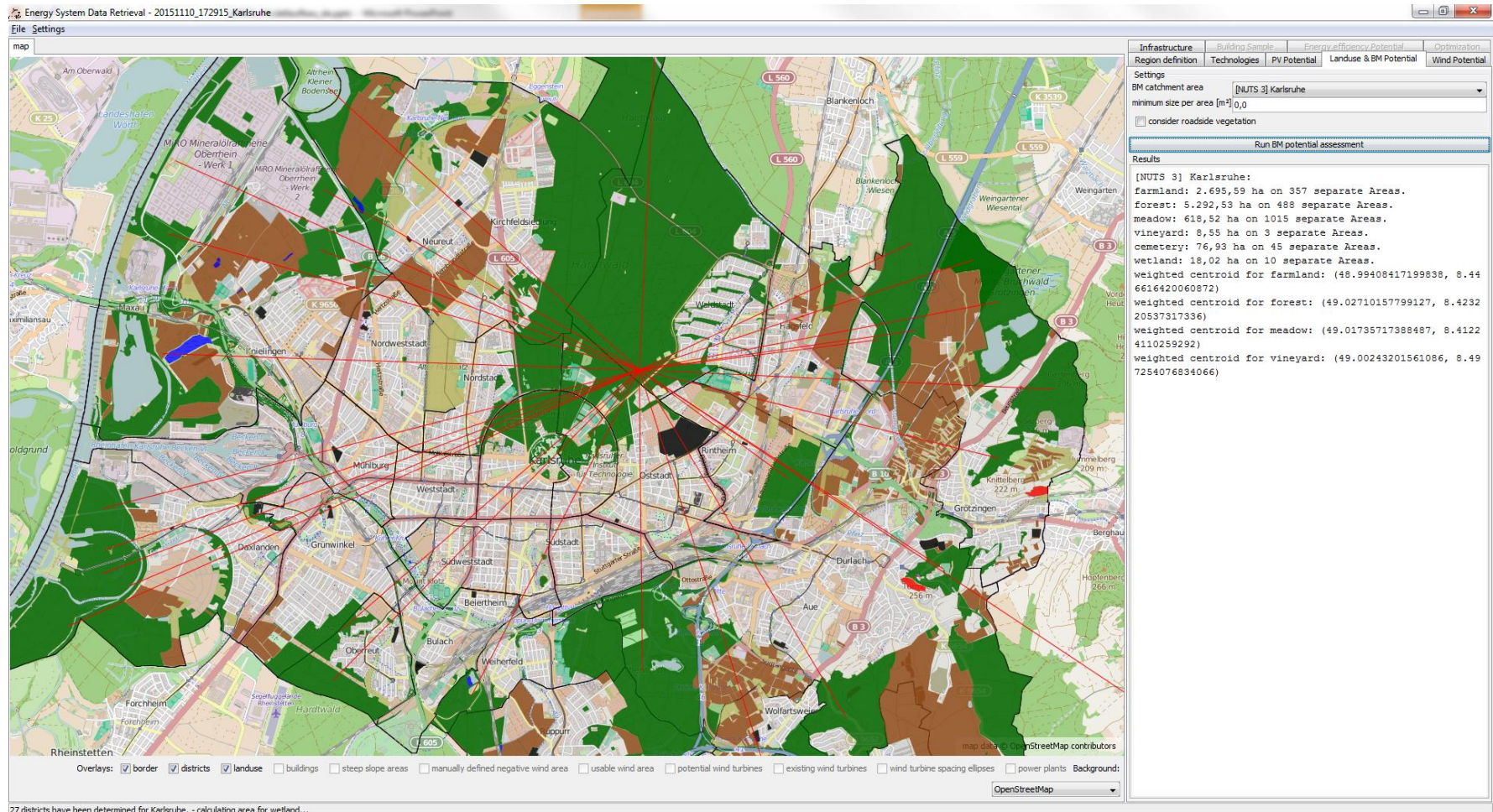
- Berechnung verfügbarer Dachflächen
- Einstrahlungssimulation der direkten & diffusen Globalstrahlung

Methodik – Potenziale für Windkraft



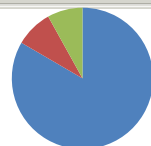
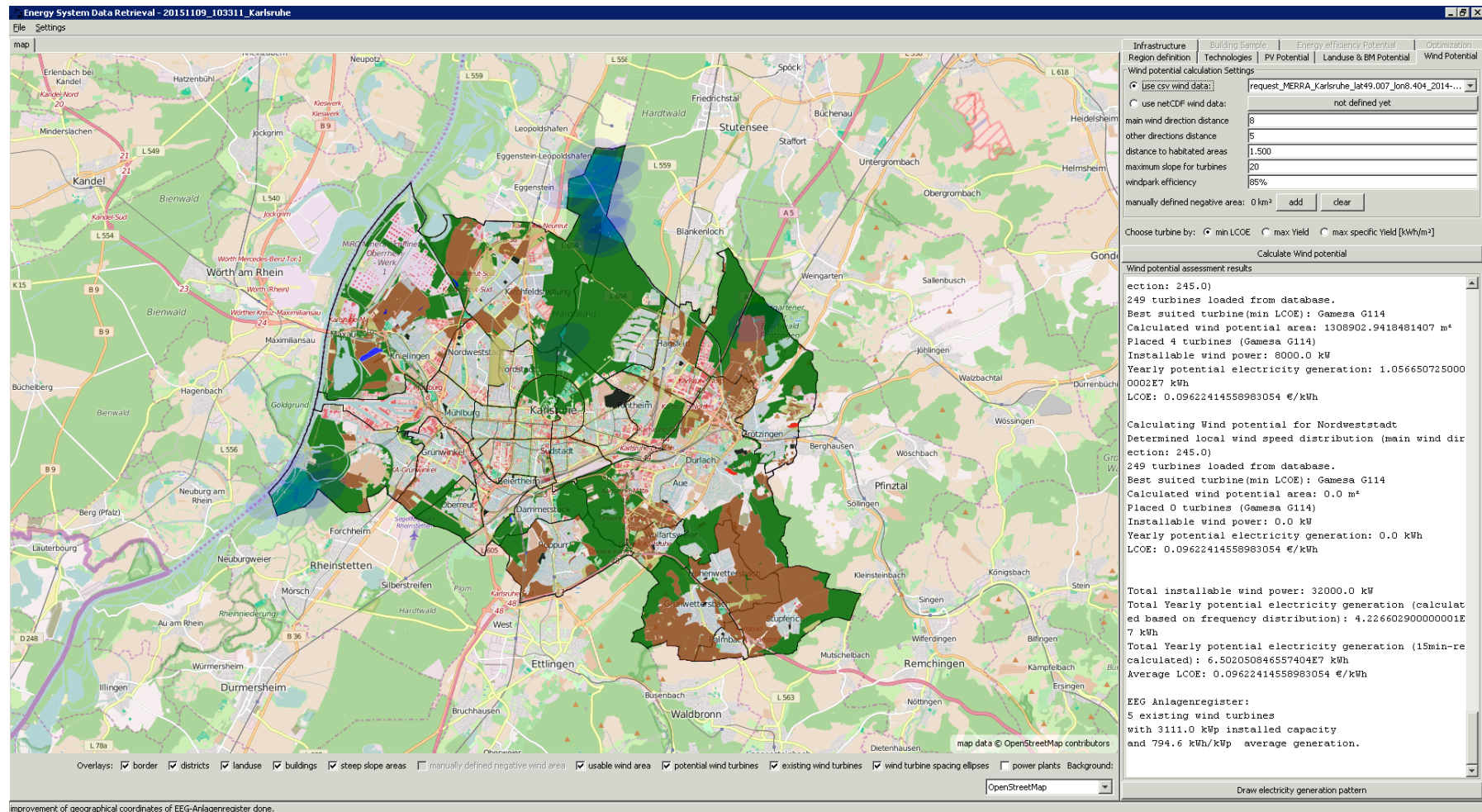
- Windhäufigkeitsverteilung -> Turbineneignung
- Topographie, gebaute Umwelt, Mindestabstände -> Geländeeignung

Methodik – Potenziale für Biomasse



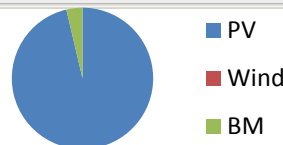
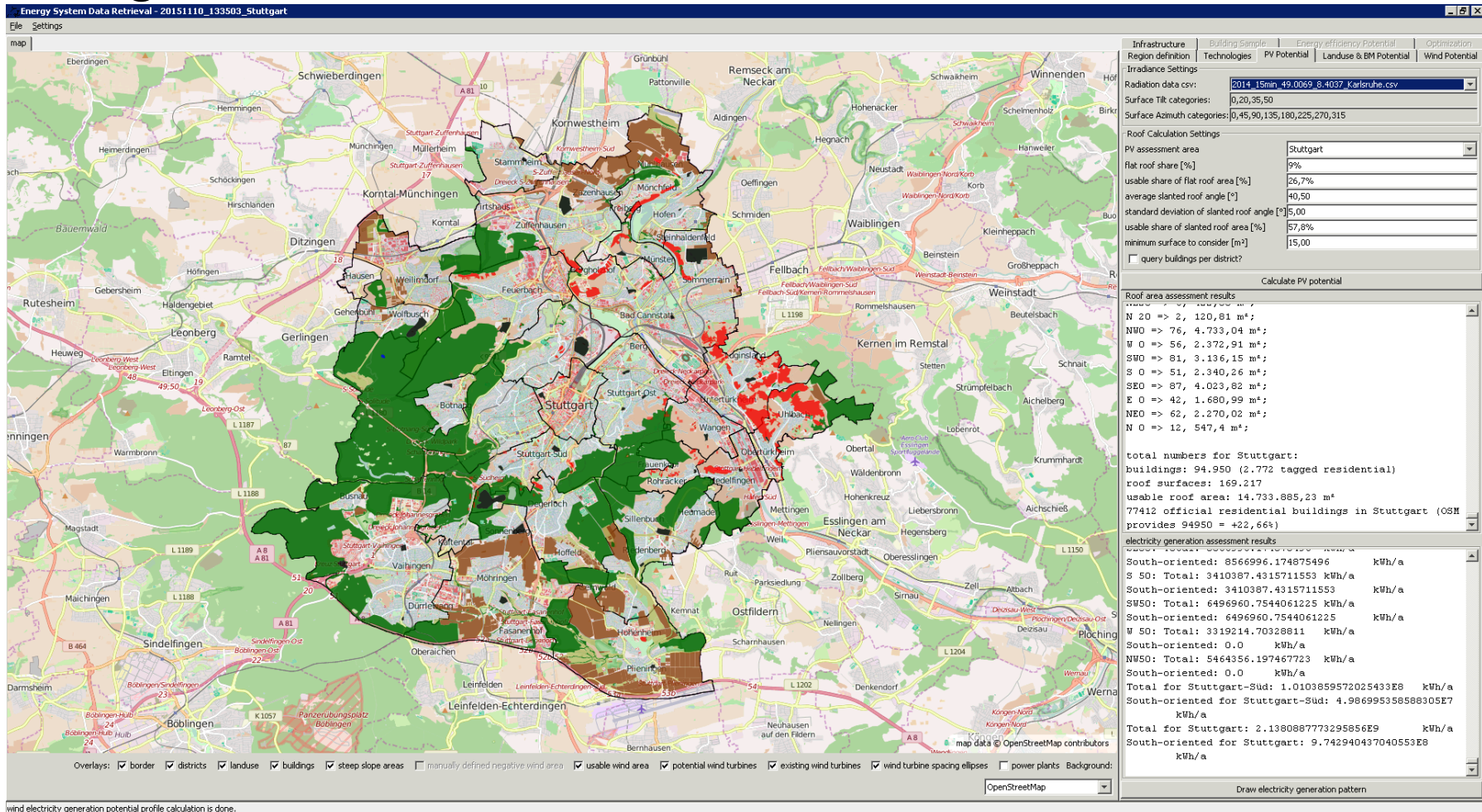
- Flächenverfügbarkeit (Acker-, Wald-, Wiesenflächen)
- Minimierung Transportwege -> Standorte für HKW, BGA

Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung Karlsruhe

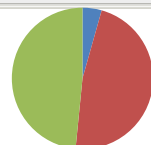
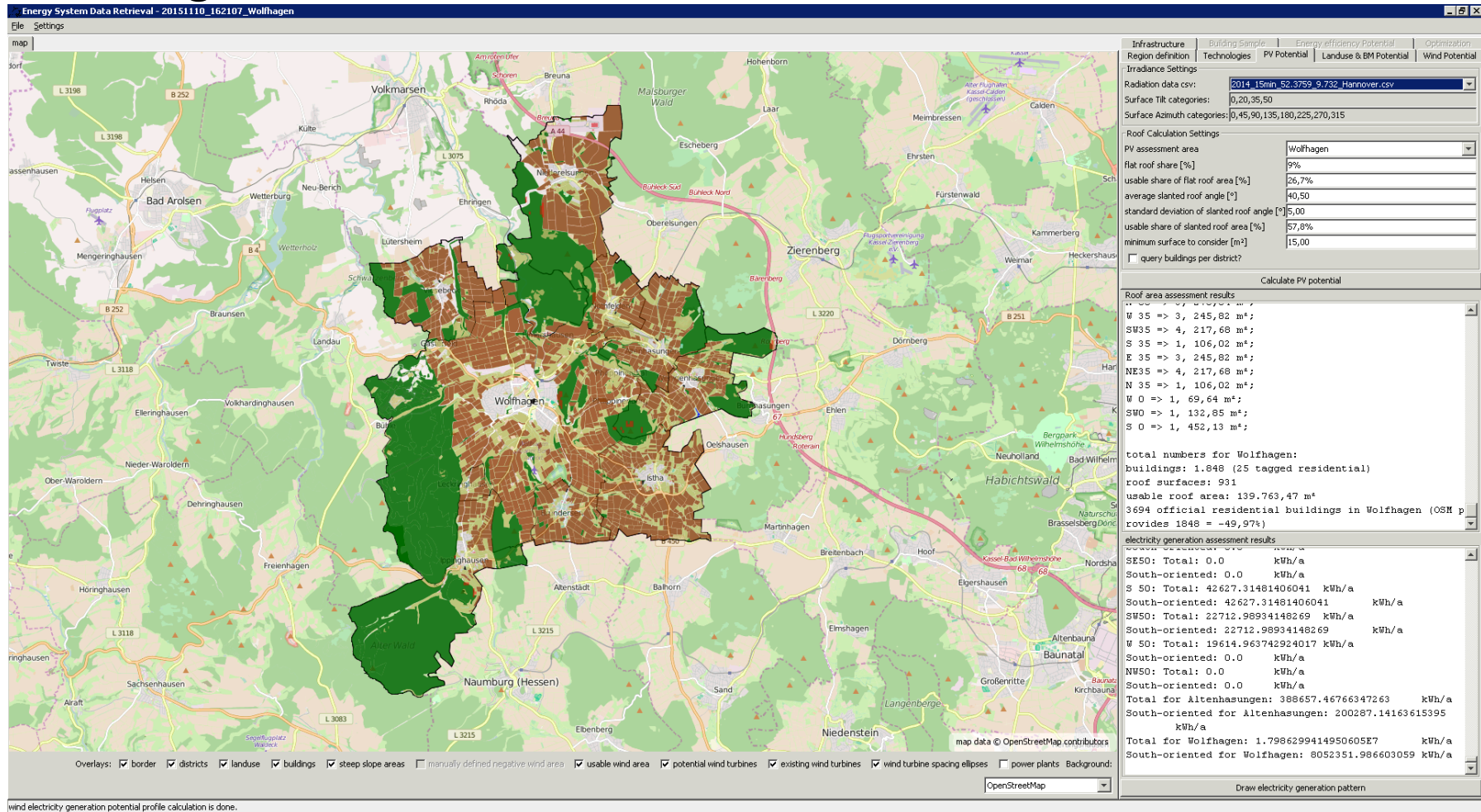


■ PV
■ Wind
■ BM

Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung Stuttgart

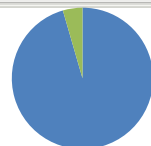
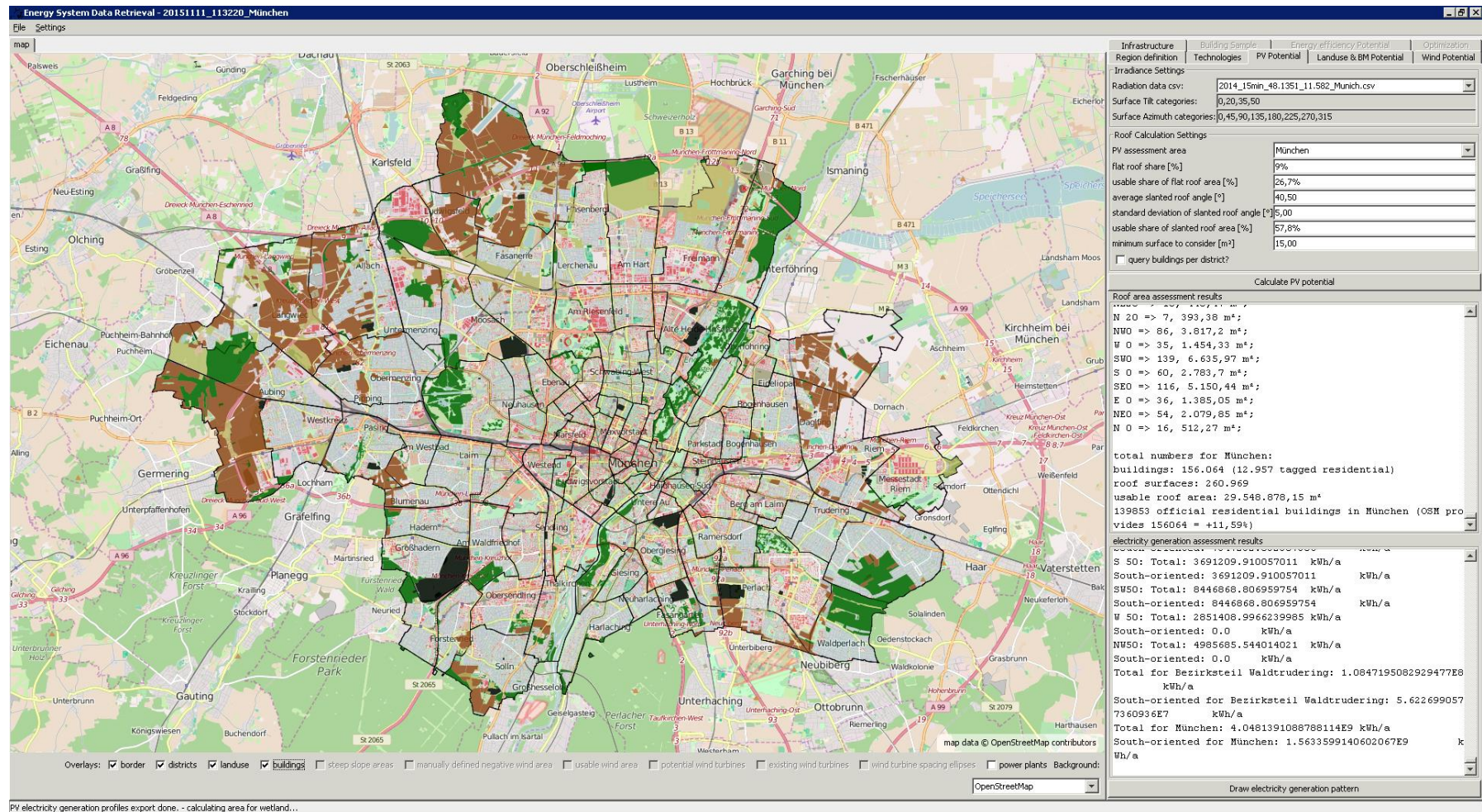


Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung Wolfhagen



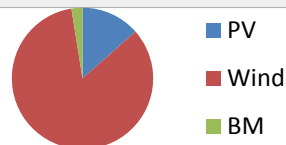
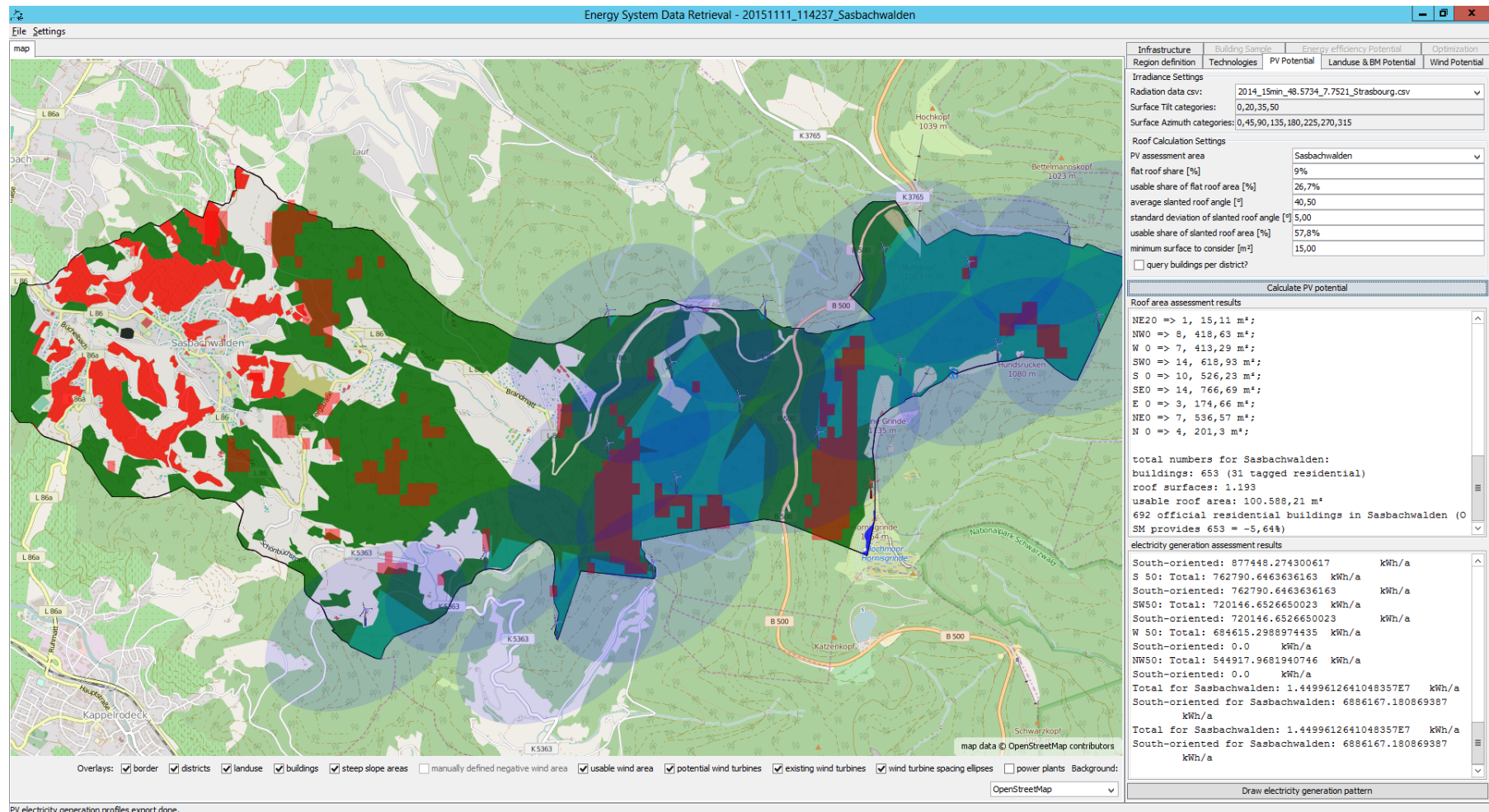
■ PV
■ Wind
■ BM

Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung München

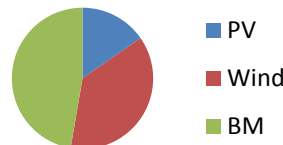
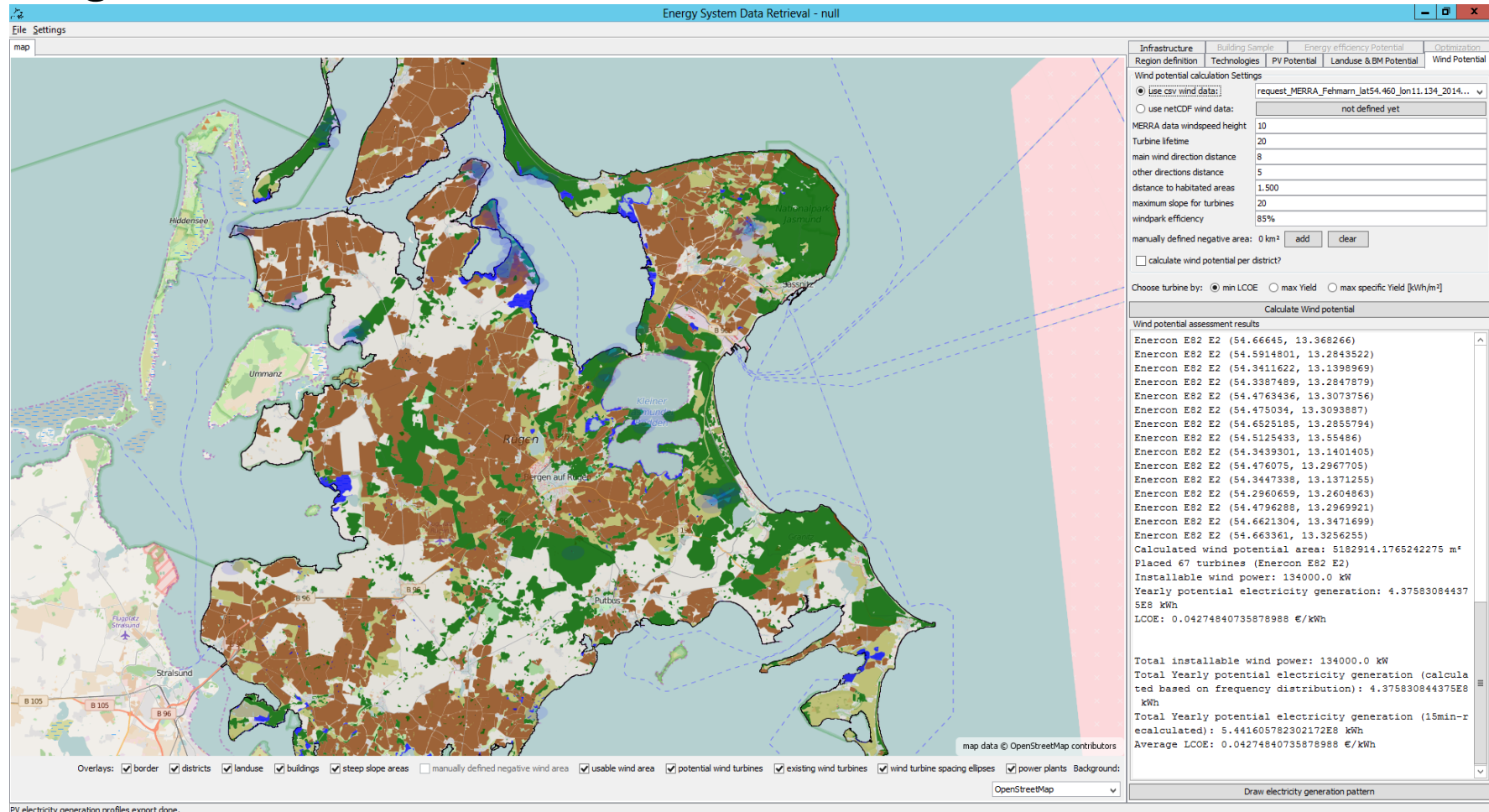


■ PV
■ Wind
■ BM

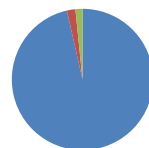
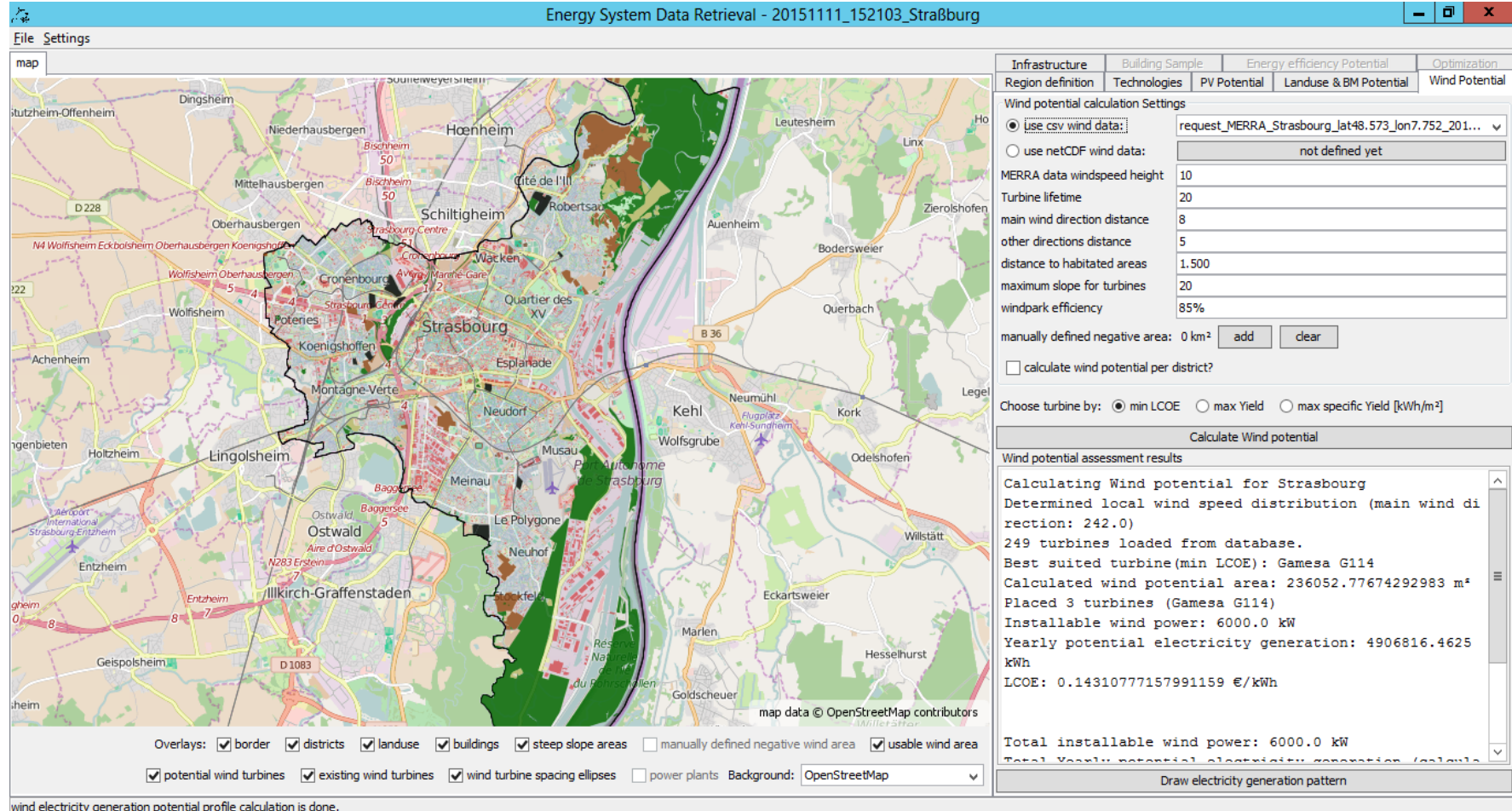
Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung Sasbachwalden



Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung Rügen

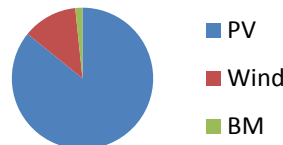
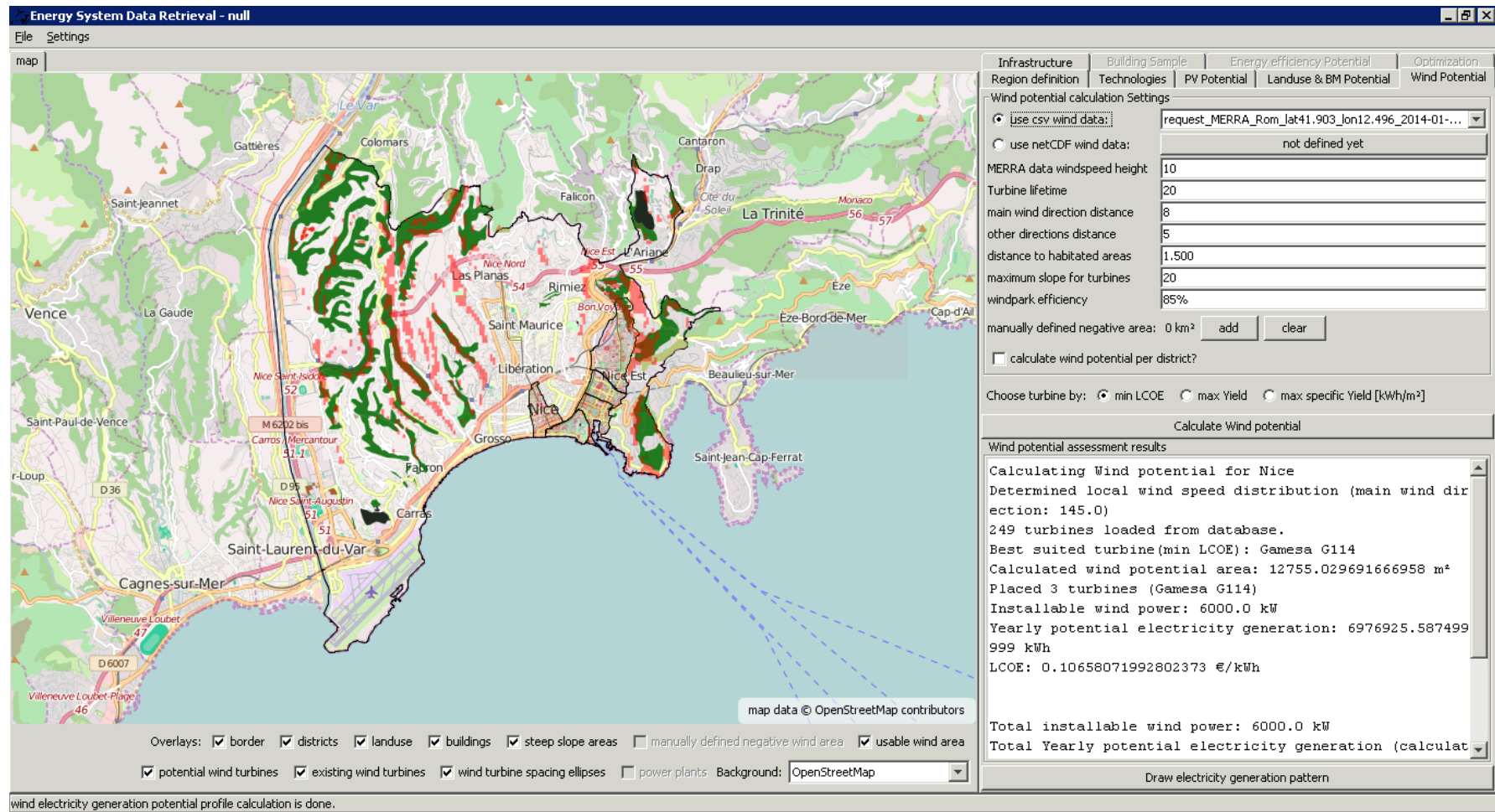


Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung Straßburg

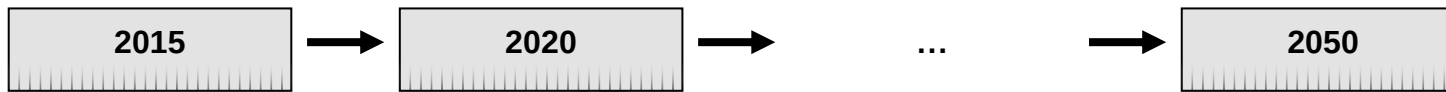


■ PV
■ Wind
■ BM

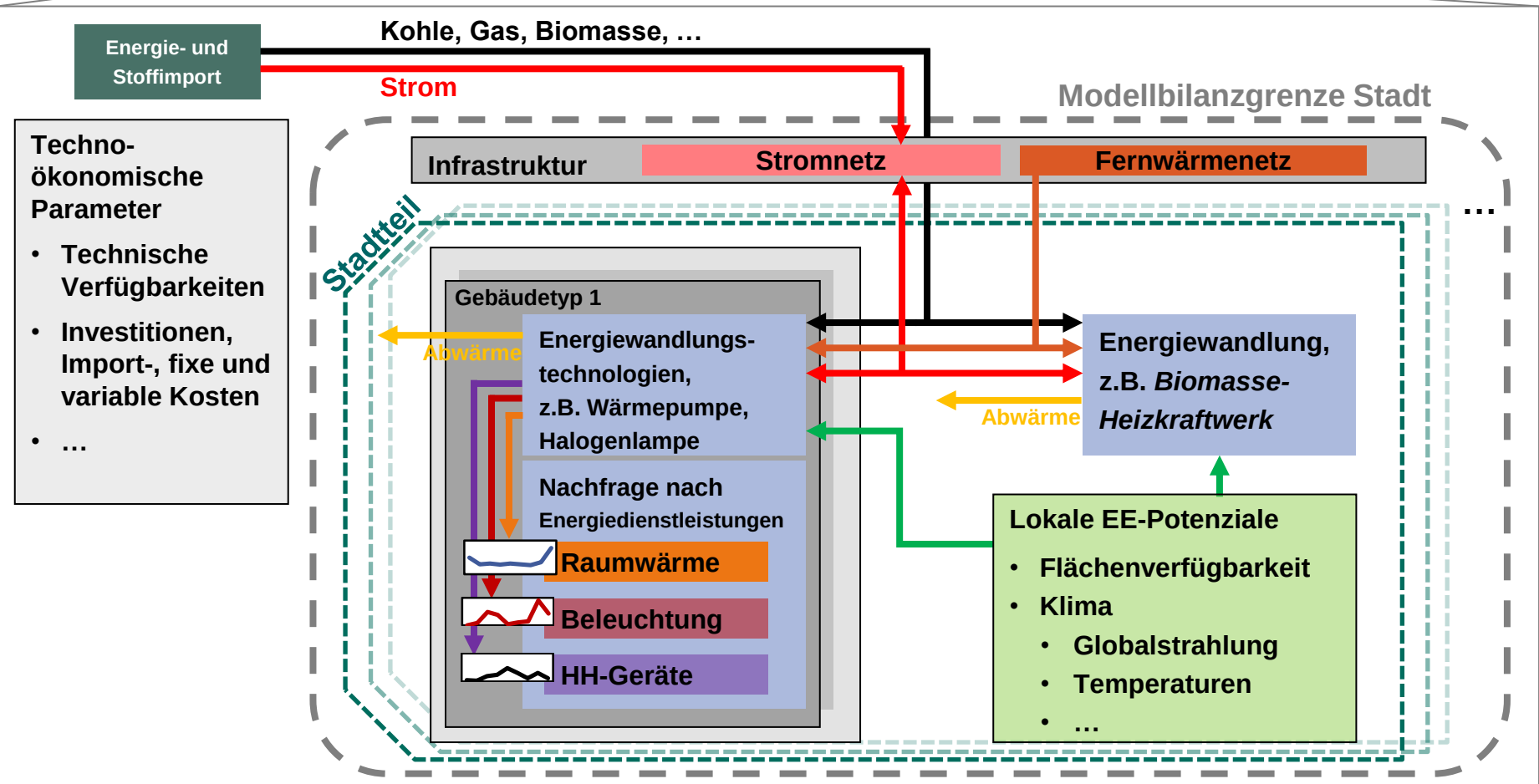
Beispielhafte Ergebnisse – Datenermittlung Nizza



Methodik – Techno-ökonomische Optimierung des städtischen Energiesystems

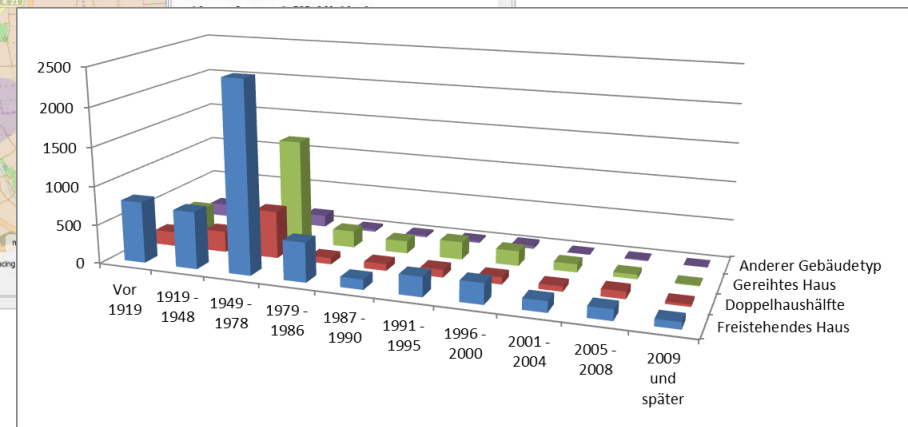
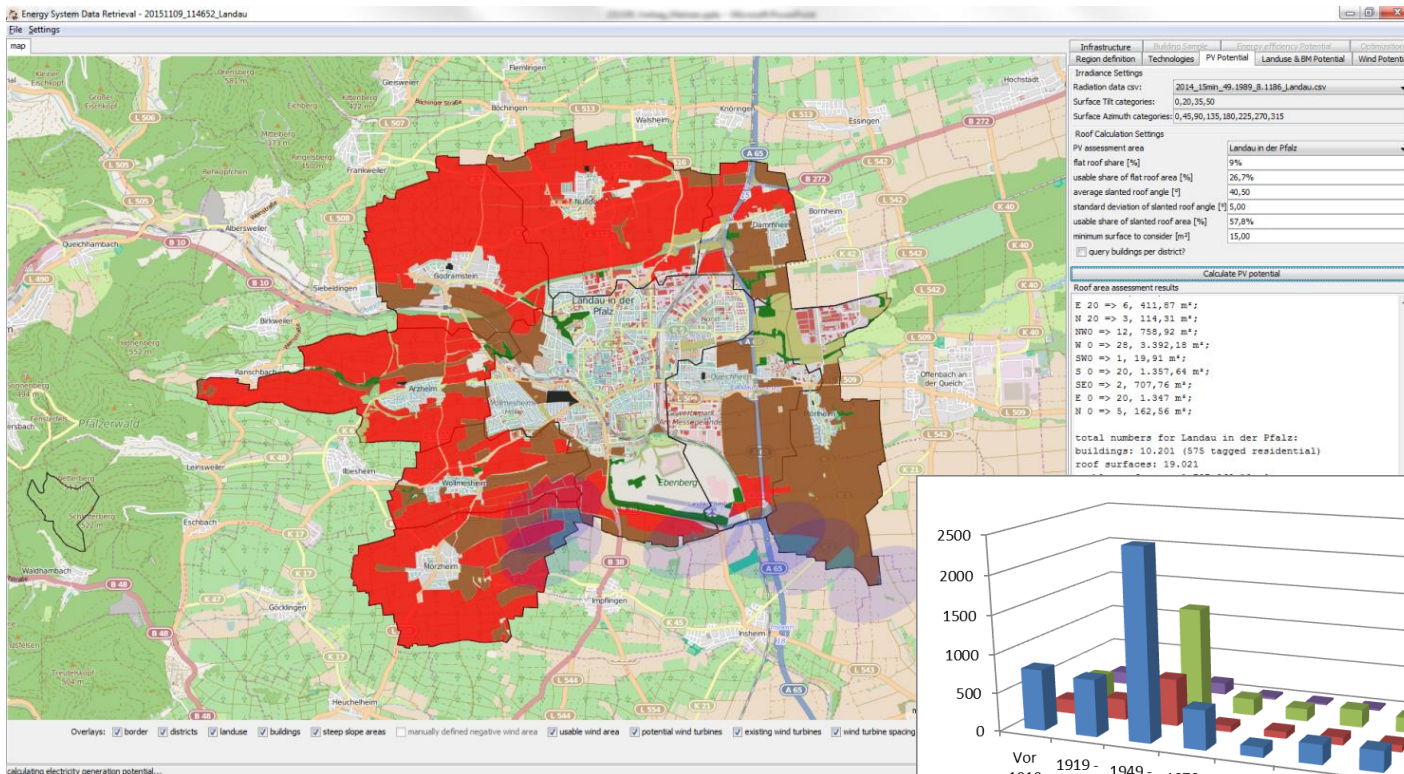


8 Modelljahre,
72 Zeitscheiben



Beispielhafte Ergebnisse - Optimierung

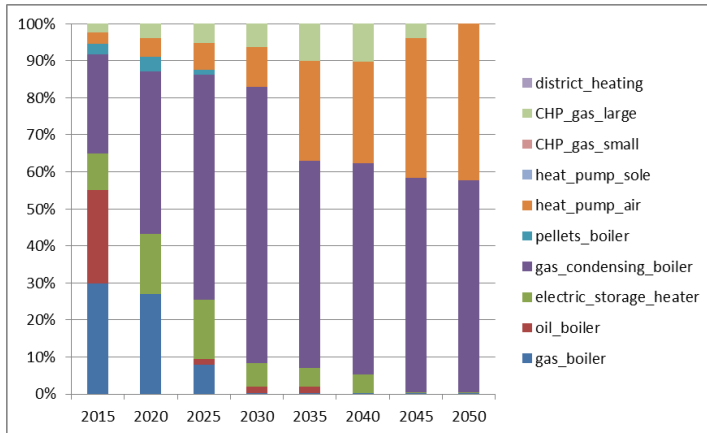
- Landau in der Pfalz: 43.000 Einwohner, 10.500 Wohngebäude
- Starkes Engagement lokaler Akteure: „Energiekonzept Südpfalz“



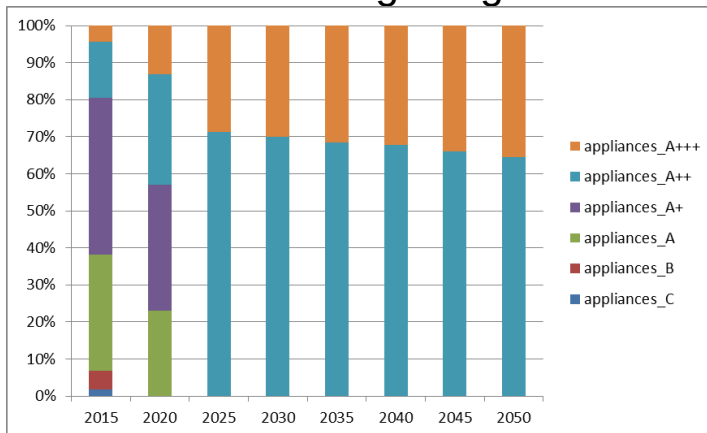
Beispielhafte Ergebnisse – Optimierung Referenzszenario

- Moderater Anstieg der Brennstoffpreise
- Keine Emissionsminderungsziele

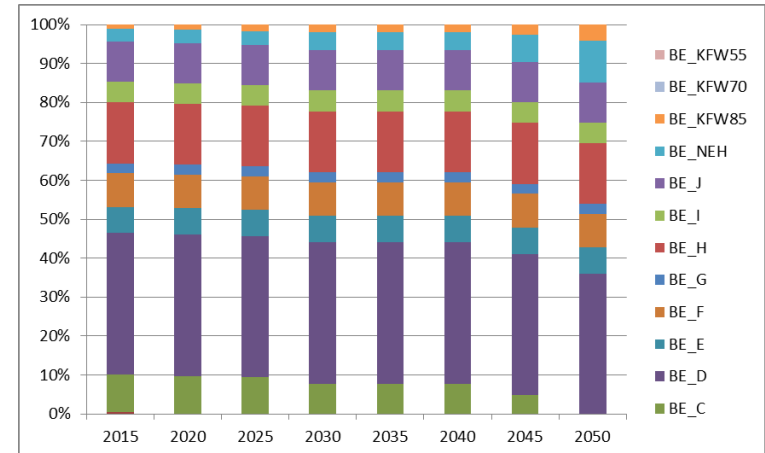
Beispielhafte Ergebnisse – Optimierung Referenzszenario



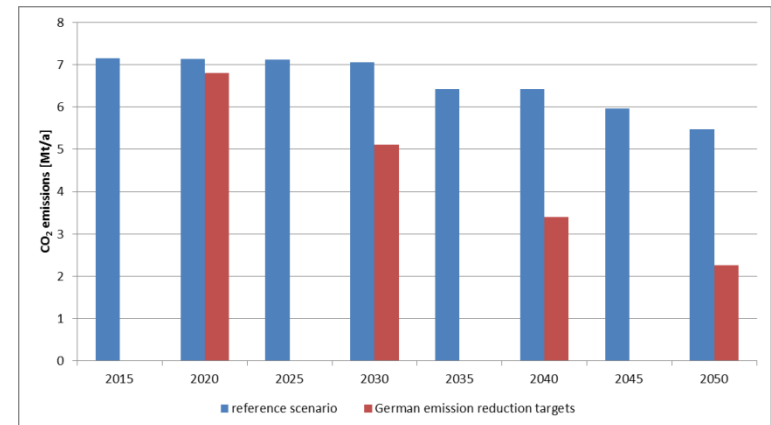
■ Gaskessel und Wärmepumpen werden bevorzugt eingesetzt



■ A++ Gerätestandard am weitesten verbreitet



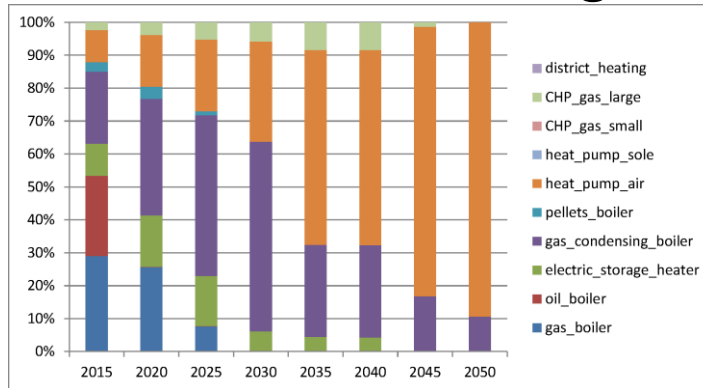
■ Keine “aktive” Gebäudesanierung



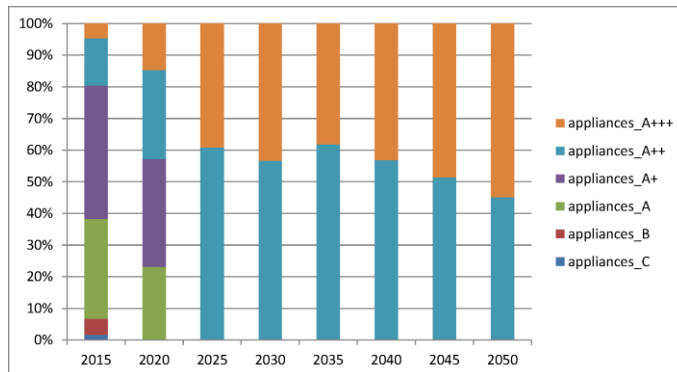
■ Emissionsminderung nicht ausreichend zur Zielerreichung

➤ Zu geringe Investitionen in nachhaltige Technologien => Ziele nicht erreicht

Beispielhafte Ergebnisse – Optimierung Emissionsminderungsszenario

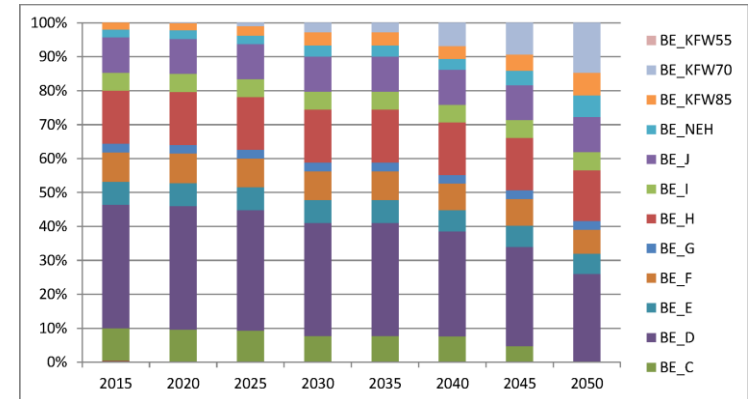


Verstärkte Nutzung effizienter Wärmepumpen

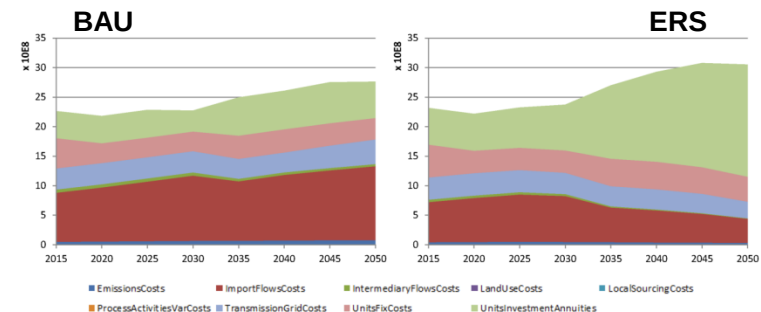


Gesteigerter Anteil der effizientesten Geräteklasse A+++

- Ein Entwicklungspfad, der die Erreichung der Ziele der Bundesregierung ermöglicht, kann mit vergleichsweise geringen Kosten erreicht werden



Aktive Gebäudesanierung auf effizientere Standards

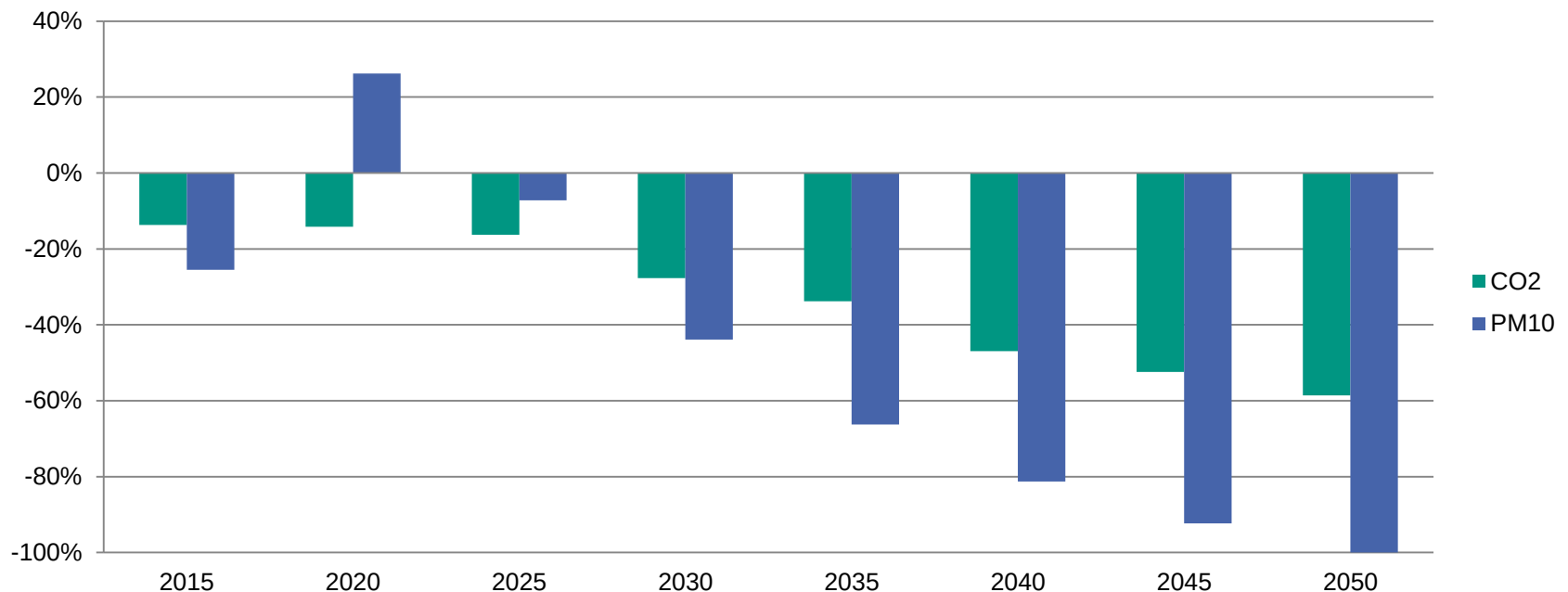


- Höhere Investitionen werden (teilweise) durch geringere Brennstoffkosten ausgeglichen. Gesamtkosten: +4.88%

Beispielhafte Ergebnisse – Szenarienvergleich

■ Emissionsminderungs- vs. Referenzszenario:

- CO₂-Emissionen: -37,5%
- PM₁₀-Emissionen: -38,7%
- Energieimporte: -23,4% (v.A. Gas)
- Gesamtkosten: +4,88% (entspricht 121 €/tCO₂)



Kritische Würdigung

- Perfekte Voraussicht: keine Unsicherheiten
- Makro-ökonomische Perspektive: nicht zwingend übereinstimmend mit Perspektive(n) der lokalen Akteure
 - (beschränkt-rationales) Verhalten einzelner Akteure nicht berücksichtigt
- Keine Aussage, wie der optimale Pfad angereizt werden könnte
- Unberücksichtigt:
 - Subventionen und andere politische Anreize
 - neue Technologien
- Informationen zur Energie-Infrastruktur sind meist stark eingeschränkt, modellendogener Infrastrukturausbau macht vor diesem Hintergrund wenig Sinn
- Sensitivität in Bezug auf Qualität der Eingangsdaten bisher nicht ausführlich quantifiziert

Zusammenfassung und Ausblick

- Modelle zur städtischen Energiesystemanalyse müssen frei verfügbare Daten verwenden, um universell übertragbar zu sein
- Viele Daten können aus frei zugänglichen Quellen abgeleitet werden
- Auf dieser Basis wurde ein Optimierungsmodell zur Analyse städtischer Energiesysteme entwickelt, welches eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung abbildet und sowohl angebots- als auch nachfrageseitige Technologien optimiert
- Anwendung des Modells in einer Fallstudie zeigt mögliche Ergebnisse:
 - Emissionsminderungsziele werden im Referenzfall nicht erreicht
 - (kosten-)optimaler Investitionspfad zur Erreichung der Ziele konnte aufgezeigt werden
- Weitere Arbeiten:
 - Weiterentwicklung der Bestimmung von Potenzialen für EE (z.B. Auswertung von Satellitenbildern zur Erkennung von Dachformen)
 - Abbildung weiterer Szenarien (z.B. bzgl. Preis- und Technologieentwicklung)
 - Anwendung für weitere Fallstudien, Vergleich der Ergebnisse und möglicherweise Ableitung von generischen Aussagen für bestimmte kommunale Profile
 - Implementierung von Sensitivitätsanalysen
 - Fortschreibung der technischen Entwicklung

Quellen

- Zensus 2011
Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Zensusdatenbank Zensus 2011. <https://ergebnisse.zensus2011.de/>
- IWU
Loga, T.; Diefenbach, N.; Stein, B.; Born, R.: TABULA – Scientific Report Germany –: Further Development of the German Residential Building Typology. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). 02.11.2012. www.building-typology.eu
- MACC-RAD
MINES ParisTech / Transvalor S.A.: MACC-RAD: Time series of solar radiation data. <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/macc-rad>
- MERRA
[MINES ParisTech / Transvalor S.A. 2015] MINES ParisTech / Transvalor S.A.: MERRA re-analysis Web service. <http://www.soda-pro.com/web-services/meteo-data/merra>
- OSM
OpenStreetMap-Mitwirkende: OpenStreetMap. <http://www.openstreetmap.org/>
- Bing
Microsoft: Bing Maps. <http://www.maps.bing.de>
- SRTM
Jet Propulsion Laboratory: Shuttle Radar Topography Mission. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- EEX
European Energy Exchange AG: EEX Homepage. <http://www.eex.com/>
- Wärmemonitor 2014
Michelsen, C.: Wärmemonitor Deutschland 2014: Rückläufiger Energiebedarf und lange Sanierungszyklen: DIW Wochenbericht Nr. 41.2015. DIW Berlin ; ista Deutschland GmbH. 2015. Abruf: 26.10.2015
- Richardson 2010
Richardson, I.; Thomson, M.; Infield, D.; Clifford, C.: Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model. In: Energy and Buildings 42 (2010), Nr. 10, S. 1878–1887. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.05.023
- Killinger 2015
Killinger, S.; Mainzer, K.; McKenna, R.; Kreifels, N.; Fichtner, W.: A regional optimisation of renewable energy supply from wind and photovoltaics with respect to three key energy-political objectives. In: Energy (2015). DOI: 10.1016/j.energy.2015.03.050
- Dillenberger 1994
Dillenberger, Christof; Escudero, Laureano F.; Wollensak, Artur; Zhang, Wu (1994): On practical resource allocation for production planning and scheduling with period overlapping setups. In: European Journal of Operational Research 75 (2), S. 275–286. DOI: 10.1016/0377-2217(94)90074-4