

Hochdetailliertes Baummodell und Solarpotentialanalyse zum Einsatz von gebäudeintegrierter Photovoltaik am Beispiel von München

[Bruno Willenborg](#)

Technische Universität München

Fakultät für Luftfahrt, Raumfahrt und Geodäsie

Lehrstuhl für Geoinformatik

b.willenborg@tum.de

[Markus Münzinger](#), [Martin Behnisch](#), [Hanna Poglitsch](#)

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IöR), Dresden

m.behnisch@ioer.de, m.muenzinger@ioer.de



Motivation

Projekt Standard BIPV (Kooperation TUM – IÖR)

- Deutschlandweite Abschätzung von PV-Potentialen für gebäudeintegrierte Photovoltaik

→ Besonderer Fokus auf Fassaden



Was brauchen wir dafür?

- Analysewerkzeug, das die Verschattung der umliegenden **Bebauung**, **Vegetation** und des **Geländes** in 3D berücksichtigt

→ Massenhaft hochgenaue 3D-Daten von Gebäuden, Vegetation, Gelände für stat. Hochrechnungen



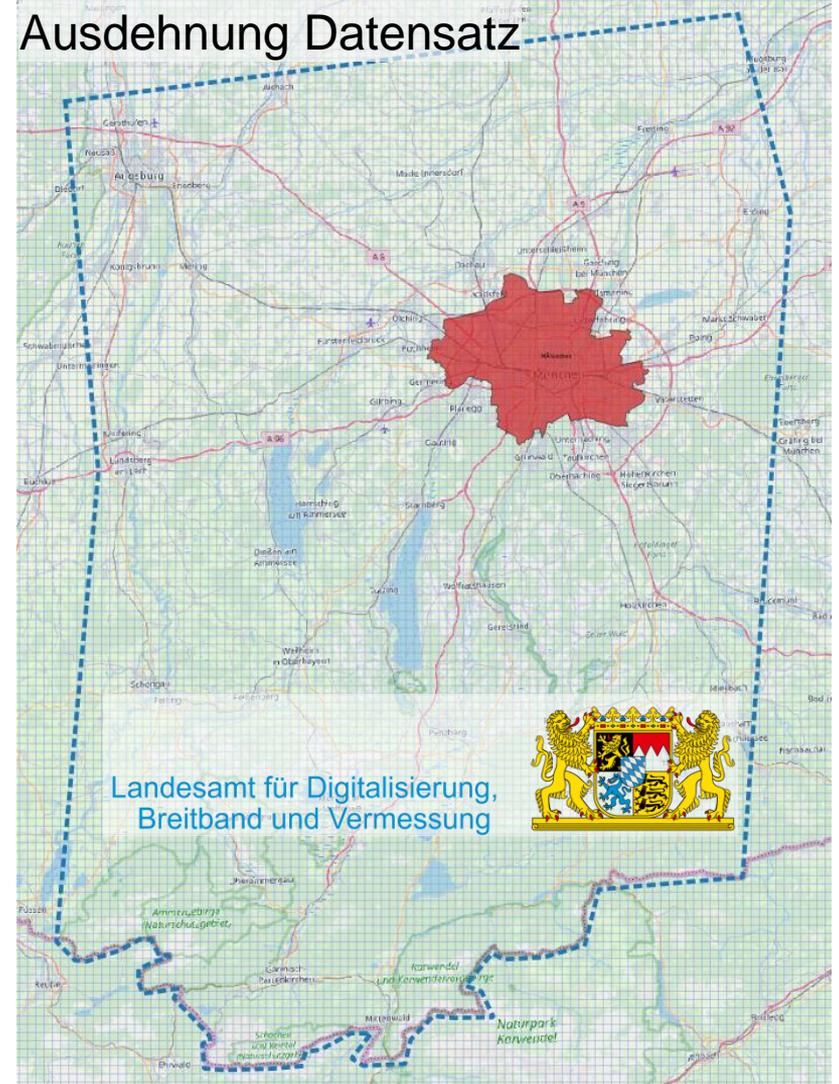
Datengrundlage

Verwendete Datensätze

- LoD1 und LoD2 Gebäudemodell (CityGML)
- Digitales Geländemodell, 1 m
- Multispektrale Luftbilder
- LiDAR Punktwolke

Fokusgebiet Stadt München

- > 312 000 Gebäude
- > 2 100 000 Vegetationsobjekte
- DGM1 im Nahbereich 1,5 km
- DGM25 mit einem Umgriff von 20 km



Modellierung des urbanen Baumbestand für semantische 3D-Stadtmodelle

Eingangsdaten Modellierung des urbanen Baumbestandes

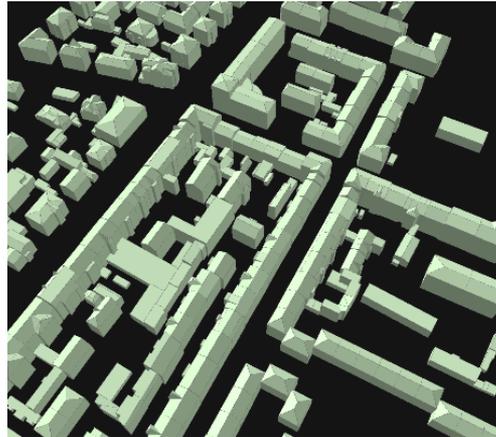
LiDAR-Punktwolke

Punktdichte min. 4 Pkt./m²
Bodenpunkte klassifiziert



3D-Stadtmodell

Level of Detail (LoD) 2
CityGML



Orthophoto

Multispektral (RGBI)
20 cm Bodenaufösung



Identifikation von Gebäuden

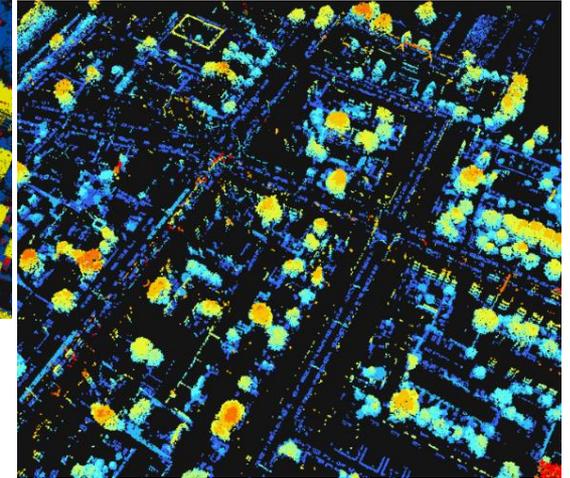
- Klassifikation über 3D-Stadtmodell
- Klassifikation über Koplanarität der Punkte
- Überkronungen von Gebäuden bleiben in Punktwolke enthalten
- Punktwolke enthält noch verschiedene anthropogene Objekte



Klassifizierte Punktwolke

- Potentielle Baumpunkte
- Identifiziert über Stadtmodell
- Koplanar und nicht im Stadtmodell

Gefilterte Punktwolke



Berechnung des normalisierten Digitalen Oberflächenmodells (nDOM)

- Wandlung in Raster ermöglicht die Kombination mit spektralen Informationen aus dem DOP
- Normalisierung der Punktwolke an DGM
- Oberflächenmodell mit Wert des höchsten Punktes in jeder Zelle
- Zellgröße 0,5 m
- Anwendung eines Höhenschwellwerts von 2 m



Aus gefilterter Punktwolke berechnetes nDOM

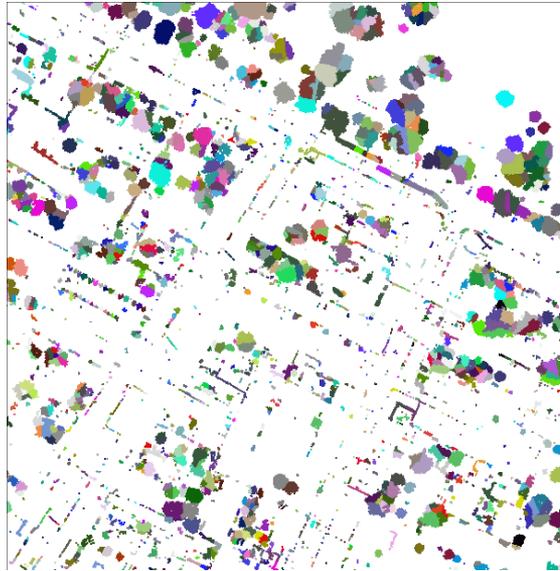
Segmentierung und Klassifikation Baumbestand

Watershed – Segmente

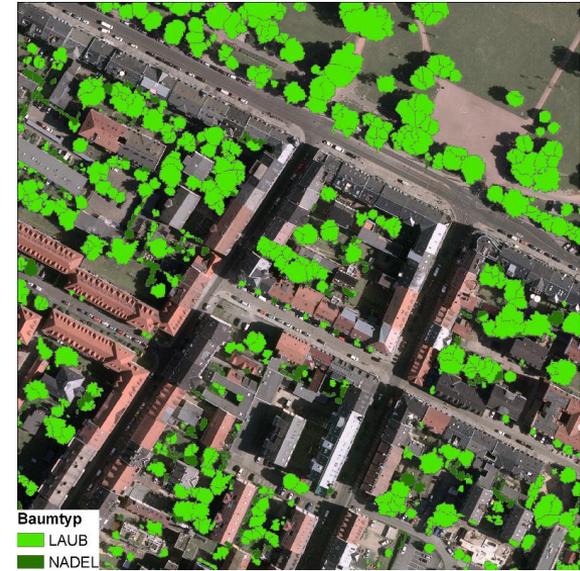
- Annäherung an Kronenform
- Klassifikation anhand mehrerer Merkmale

Berechnete Merkmale:

- Mittlere Anzahl an Reflexionen
- Mittlerer NDVI
- Kompaktheit des Segments gewichtet mit der Größe
- Differenz zwischen erstem und letztem Puls



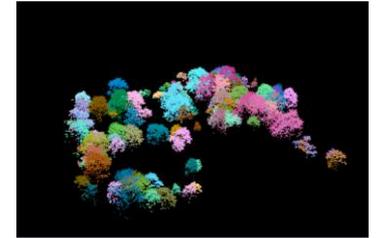
Watershed - Segmente



Klassifizierter Baumbestand

Modellierung der Bäume

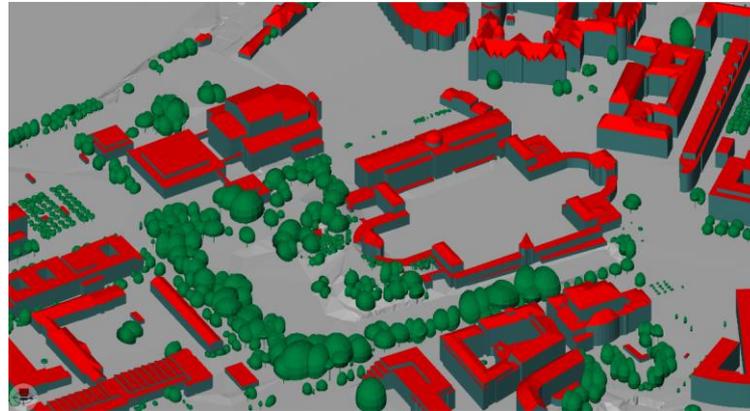
- Segmentierung der Punktwolke in Einzelbäume anhand der Watershed - Segmente
- Berechnung der Parameter für jeden Baum aus der Punktwolke, Nutzung der 3D-Information
- Parametrisierte Modellierung in CityGML als *SolitaryVegetationObjects* über implizite Geometrien



Segmentierte Punktwolke



Quelle: Google Earth (2019)



3D-Stadtmodell mit integrierten

Bäumen



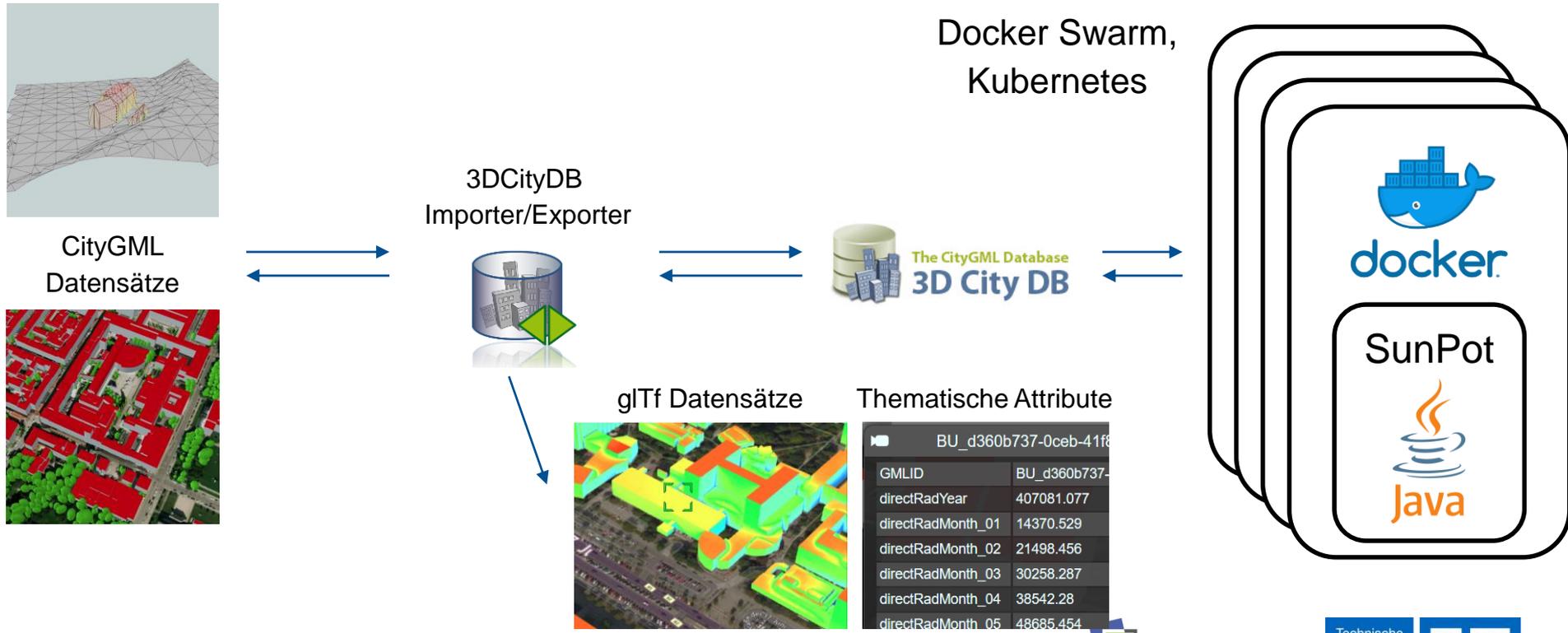
Leibniz Institute of
Ecological Urban and
Regional Development

Technische
Universität
München



Cloud-basierte Solarpotentialanalyse mit semantischen 3D-Stadtmodellen

Cloud Architektur für Skalierbarkeit



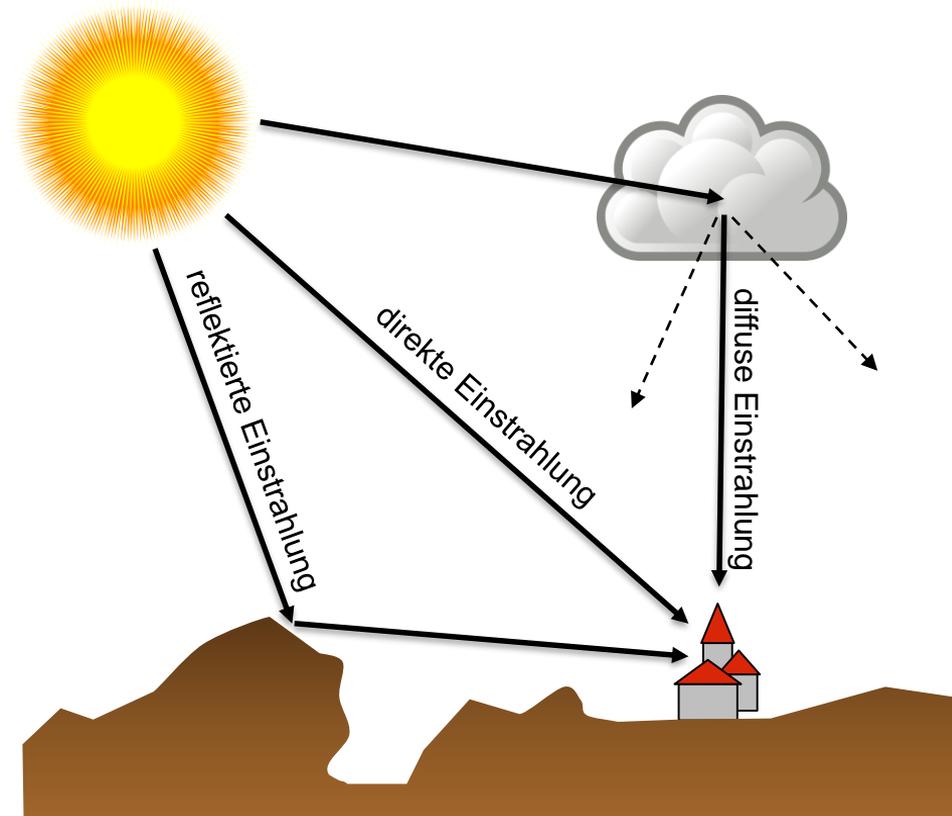
Komponenten des Solarmodells

Einstrahlungstypen

- Direkte solare Einstrahlung
- Diffuse solare Einstrahlung
- Reflektierte Strahlung → nicht berücksichtigt

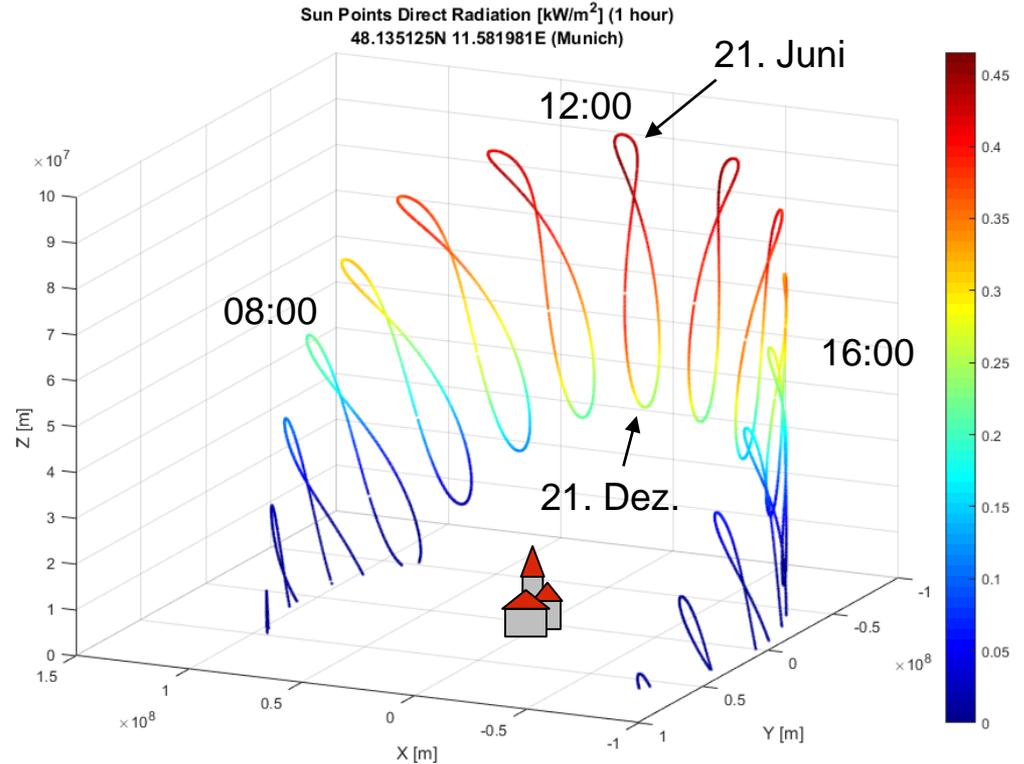
Semantisches 3D-Stadtmodell (CityGML)

- Sichtbarkeitsanalyse unter Berücksichtigung von:
 - Gebäude
 - DGM
 - Vegetationsobjekte
 - Wenn verfügbar, weitere Featureklassen, wie z.B. Gebäudeinstallationen, Verkehrsobjekte, ...



Direkte solare Einstrahlung

- Sonnenpositionen im 100.000 km Radius um das 3D-Stadtmodell
- Variable Konfiguration der Zeitschritte:
 - Hier stündlicher Sonnenstand
- Hoher Einfluss auf Rechengenauigkeit und Performance



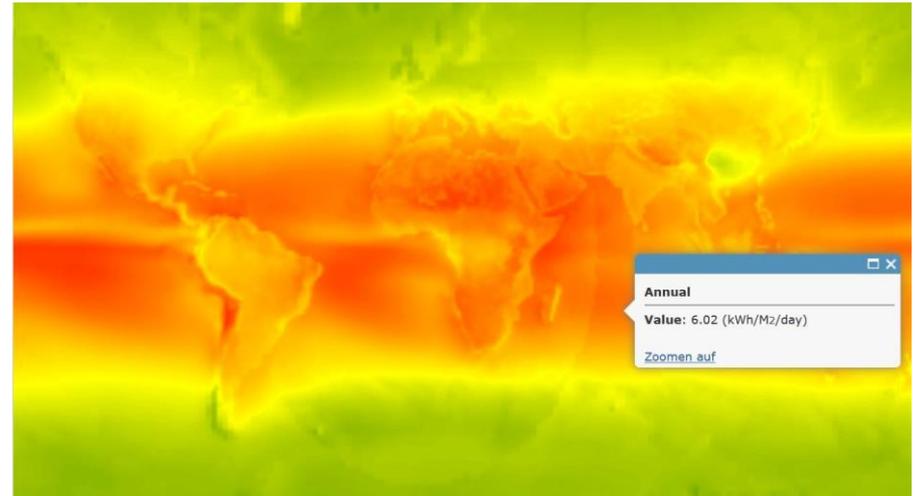
Kalibrierung des Solarmodells

Datenquelle: NASA Atmospheric Science Data Center



22-jährige Mittelwerte für die diffuse und globale solare Einstrahlung

- Satellitenmessungen
 - Global verfügbar
 - Abfrage über LAT/LON Koordinaten
- ➔ Automatische Kalibrierung für die **lokalen atmosphärischen Bedingungen** für jeden Ort weltweit



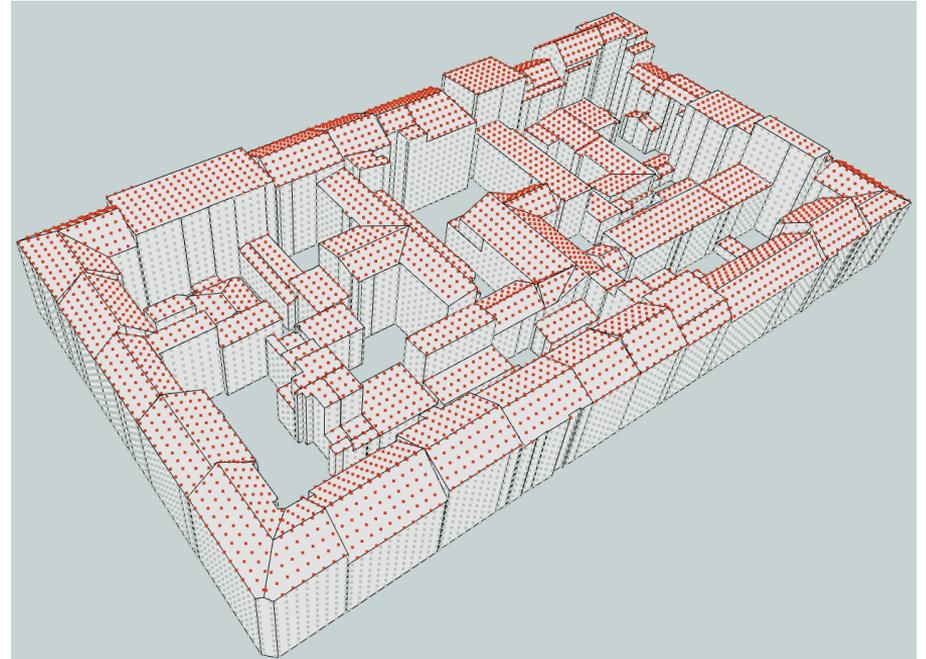
Punktgitter auf Gebäuden

Punktwolke auf den Wand- und Dachflächen der Gebäude

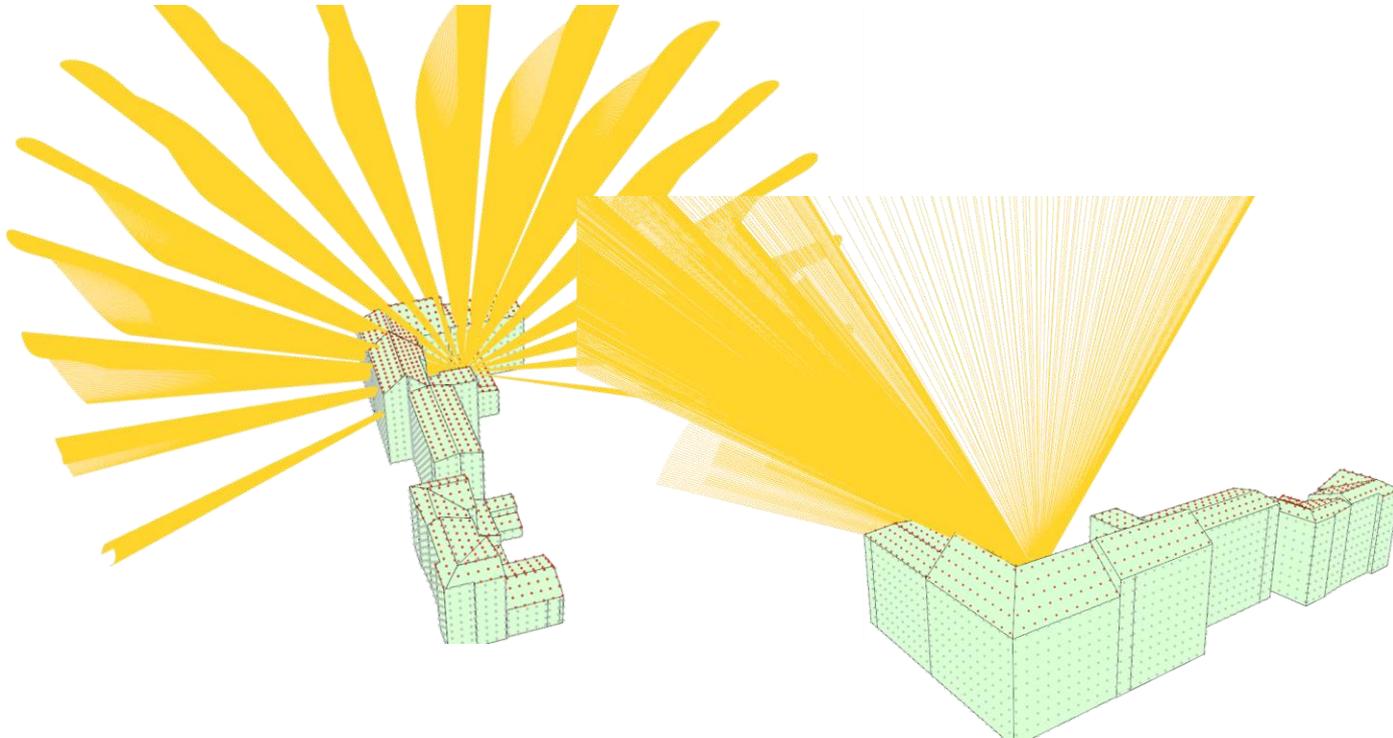
Variable Konfiguration der Punktdichte

Standard Punktabstand: 2 m

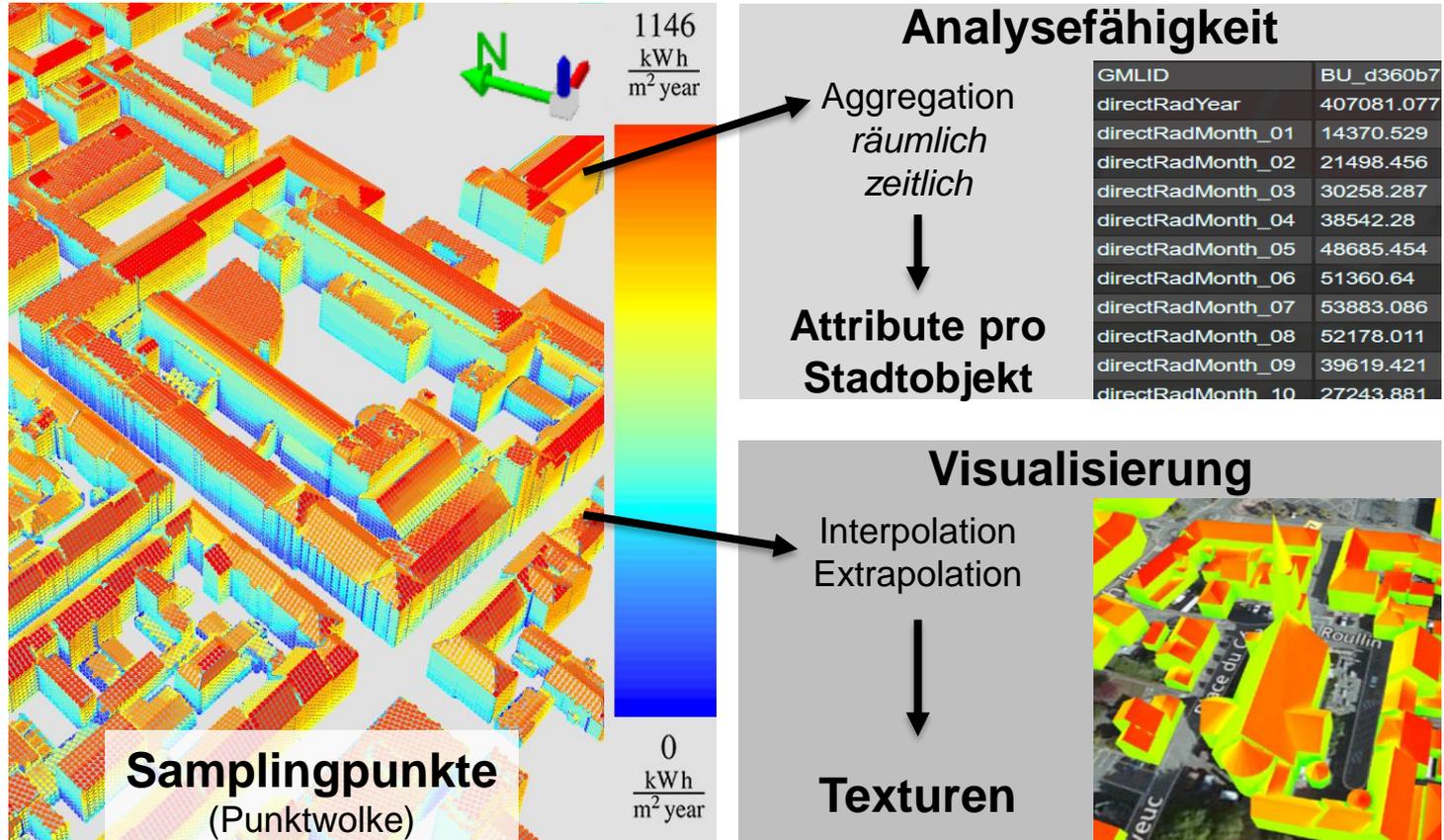
Punktgitter Erzeugung auf allen Features des Stadtmodells möglich: Straßen → Hitzeinseln finden



3D-Sichtbarkeitsanalyse mittels Ray-Casting

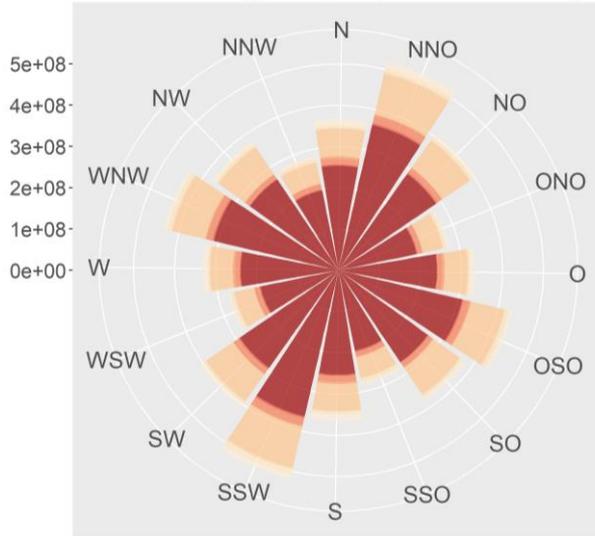


Ergebnisverarbeitung im semantischen 3D-Stadtmodell

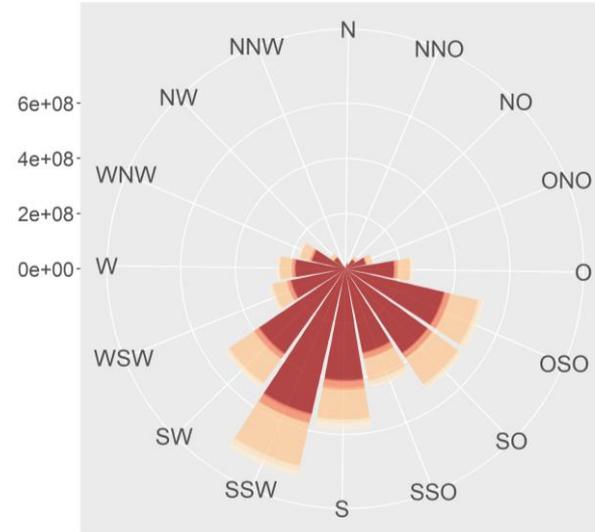


Detailanalyse zu PV-Potentialen

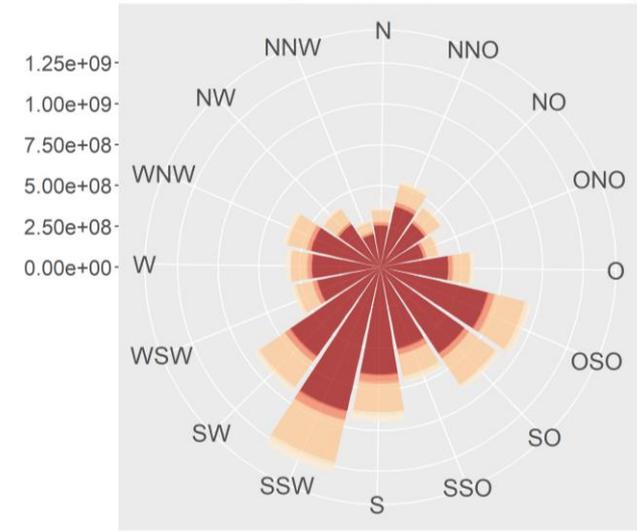
Diffusstrahlung kWh (Jahr) nach Ausrichtung



Direktstrahlung kWh (Jahr) nach Ausrichtung



Globalstrahlung kWh (Jahr) nach Ausrichtung



Gebäudetyp

- Beherbergung und Gastronomie
- Bildung
- Büro und Verwaltung
- Gebäude der technischen Erschliessung/Infrastruktur
- Gewerbe und Industrie
- Handel und Dienstleistung

- Heilbehandlung
- kein Gebäude/bauliche Anlagen/Bauwerke/Einrichtungen/Sonstiges
- Kultur und Unterhaltung
- Sonstige Nichtwohngebäude
- Sport
- Wohngebäude

www.ioer-monitor.de



Leibniz Institute of
Ecological Urban and
Regional Development

Technische
Universität
München



Livedemo – 3D Web Client Solarpotentialanalyse Stadt München mit Vegetation

GoogleChrome für beste Performance:

[LINK](#)

Geomassendaten: Lessons learned

Die flächendeckende, freie Verfügbarkeit aller 3D-Geobasisdaten ermöglicht:

- großräumige, statistisch belastbare Fallstudien
- Die Kombination mehrere Datensätze zur Schaffung von Mehrwerten, wie z.B. dem Baummodell

Semantische 3D-Stadtmodelle eignen sich gut als Datenintegrationsplattform für Geoanalysewerkzeuge.

Cloudtechnologie ermöglicht die Skalierung von Geoanalysetools für die massenhafte Verarbeitung von Geodaten.

Zeitaufwand: Datenvorbereitung >> Simulationsdauer

