Richtlinie zum „Software-Sprint“

OpenPV – Wir berechnen das Solarpotential deines Gebäudes direkt im Browser

---

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Großhauser Heidler Kotthoff Pöppel GbR

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS24S17 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Kurze Darstellung der Aufgabenstellung und Motivation

Solaranlagen leisten einen bedeutenden Beitrag zur Energiewende. Deutschland strebt an, die installierte PV-Leistung bis 2030 zu verdreifachen. Hierbei spielen Dach- und Balkonanlagen eine essenzielle Rolle, da sie eine dezentrale Energieversorgung ermöglichen, ohne zusätzlichen Flächenverbrauch zu verursachen. Insbesondere durch Balkonkraftwerke ist es auch Mieter*innen ohne eigenes Wohneigentum möglich, einen erheblichen Teil des genutzten Stroms selbst zu erzeugen.

Doch vielen möglichen Nutzer*innen fehlt das Hintergrundwissen, um die Eignung ihres Gebäudes für Photovoltaik einschätzen zu können. Hier wollen wir mit OpenPV helfen, um eine einfache Analyse des PV-Potentials am eigenen Gebäude vornehmen zu können. Das Ziel von OpenPV ist es, Deutschlandweit mit einem Klick das Solarpotential von Gebäuden basierend auf einer Adresse zu simulieren und anwendergerecht darzustellen.

Um dies zu erreichen, wurden folgende Ziele definiert:

- Erstellung einer Website für die Visualisierung des Gebäude-Solarpotenzials für Nutzer*innen ohne technisches Vorwissen mit intuitivem User Interface.
- Datenintegration der Gebäudedaten für möglichst viele Bundesländer
- Integration von Geländemodell und Vegetationsdaten (Laserdaten)

- Erstellung von reproduzierbaren Datenworkflows
- Erstellung eines JavaScript Packages für den Simulationscode, um die Wiederverwendbarkeit in anderen Anwendungen zu erleichtern
- Einbindung kommunaler und fachspezifischer Akteure für Feedback und Testing der Website

Beitrag des Projektes zu den Zielen der Förderinitiative „Software-Sprint“

Zum Ziel **Civic Tech** trägt OpenPV bei, indem es zur Partizipation an der Energiewende durch eine eigene Dach- oder Balkon-PV-Anlage anregt. Durch einen eigenen Beitrag zur Energiewende wird auch die Legitimität der Energiewende gestärkt. Weiterhin stellt es einen Schritt in der Nutzbarmachung der offenen Geodaten dar. Die entwickelte Software macht es möglich, Kataster- und andere Geodaten dreidimensional im Browser zu visualisieren und mit ihnen zu interagieren.

Außerdem trägt OpenPV zu einer **nachhaltigen Umstellung** unserer Energieversorgung auf erneuerbare Energien bei, da es den Ausbau von Gebäudesolaranlagen fördert.

Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

Die Website OpenPV

Zentrales Ergebnis unseres Projektes ist der Bau und die Bereitstellung der Website www.openpv.de. Dort können Nutzer*innen anhand eines einfachen Workflows das solare Potential ihres Gebäudes ermitteln.

Schritt 1: Das eigene Gebäude auswählen

Auf der Startseite von OpenPV wird im ersten Schritt ein Gebäude für die Simulation ausgewählt. Dies kann entweder über die Eingabe und Suche einer Adresse erfolgen, oder durch das Zoomen und Auswählen auf der Landkarte. Durch einen Linksklick auf das Gebäude wird ein Menü angezeigt, durch welches die Simulation gestartet werden kann.

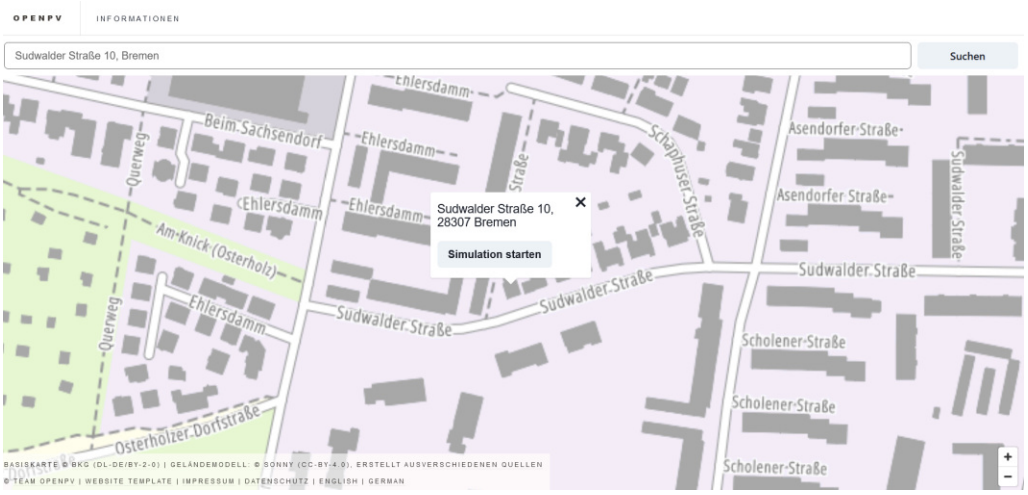


Abbildung: Im ersten Schritt wird das Gebäude über die Karte ausgewählt und die Simulation gestartet.

Schritt 2: Simulation starten

Ist die Simulation gestartet, werden für das ausgewählte Gebäude alle relevanten Daten in den Browser geladen. Dies sind die 3D-Gebäudedaten des gewählten Gebäudes und der Gebäude aus der Nachbarschaft, das Geländemodell, sowie Daten zur Vegetation (falls vorhanden). Für die Betragsberechnung werden anschließend zwei Verschattungssimulationen durchgeführt, eine mit direkter und eine mit diffuser Einstrahlung. Für die direkte Einstrahlung wird über 100 zufällig gewählte Sonnenstände im Jahr gemittelt. Diese Zahl kann in den Optionen angepasst werden. Anhand der Koordinaten des Gebäudes werden die Klimadaten des Standorts vom deutschen Wetterdienst (DWD) verwendet, um die Einflüsse des lokalen Klimas zu berücksichtigen. Für die Verschattung werden das gewählte Gebäude sowie die Gebäude der direkten Nachbarschaft verwendet. Die Verschattung durch Hügel und Berge wird mit Hilfe eines Geländemodells mit einer Auflösung von 30m berücksichtigt. Die Verschattung durch Bäume kann nur in Bundesländern einbezogen werden, welche Daten zur Vegetation (Laserpunktwolken) offen zur Verfügung stellen. Das ist zum Beispiel in Bayern der Fall. Wenn Vegetation auf der Website angezeigt wird, so wird es auch für die Verschattungssimulation berücksichtigt. Wenn die Simulation beendet ist, wird das Ergebnis im Browser dargestellt. Dafür wird das gewählte Gebäude entsprechend des berechneten solaren Potentials eingefärbt. Zur besseren Orientierung werden auch das Gelände, eine Karte, die Gebäude der Nachbarschaft sowie die vorhandene Vegetation angezeigt.

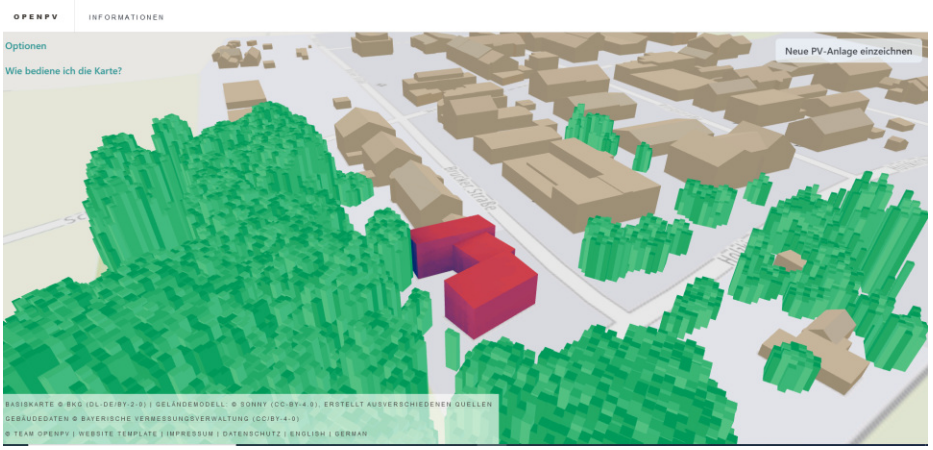


Abbildung: Nachdem die Simulation beendet ist, wird das Gebäude in 3D auf einer Karte angezeigt. Die Einfärbung des Gebäudes richtet sich dabei nach dem solaren Potential.

Schritt 3: PV-Anlage einzeichnen

Im nächsten Schritt kann über den Button “Neue PV-Anlage einzeichnen” eine Solaranlage auf dem Dach oder an der Fassade eingezeichnet werden. Durch das Einzeichnen der Eckpunkte kann so eine oder mehrere Solaranlagen mit beliebiger Form angelegt werden. Basierend auf der vorangegangenen Simulation wird anschließend ein geschätzter jährlicher Stromertrag für die eingezeichnete Anlage angegeben.

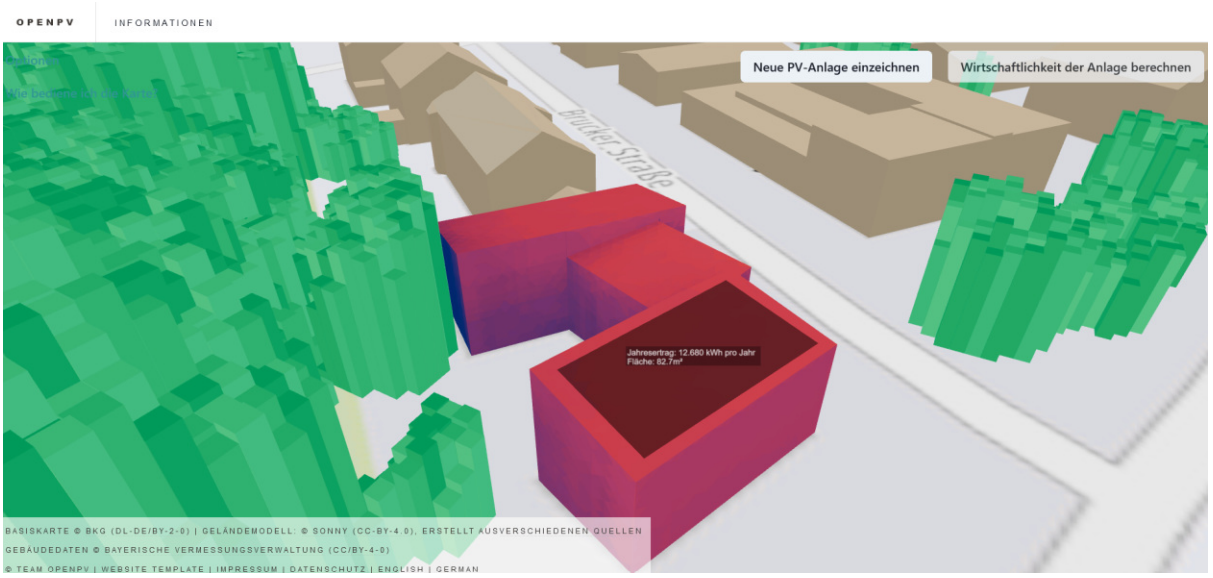


Abbildung: Über den Button “Neue PV-Anlage einzeichnen” kann eine Anlage eingezeichnet und der jährliche Ertrag ermittelt werden.

Schritt 4: Wirtschaftlichkeit der Anlage bestimmen

Für die eingezeichneten Anlagen kann im letzten Schritt eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt werden. Dabei werden ein Standardlastprofil mit dem jährlichen Verbrauch skaliert und ein Standarderzeugungsprofil mit der Leistung der Solaranlage skaliert. Anschließend wird für eine einjährige Zeitreihe mit stündlicher Auflösung der Verbrauch mit der Stromerzeugung abgeglichen. Falls ein Speicher vorhanden ist, kann dieser verwendet werden, um überschüssigen Strom zu speichern oder um Strom bereitzustellen. Die

Energie, welche mit Solaranlage nicht mehr vom Netz bezogen werden muss, wird anschließend mit dem Strompreis multipliziert, um die Wirtschaftlichkeit zu berechnen.

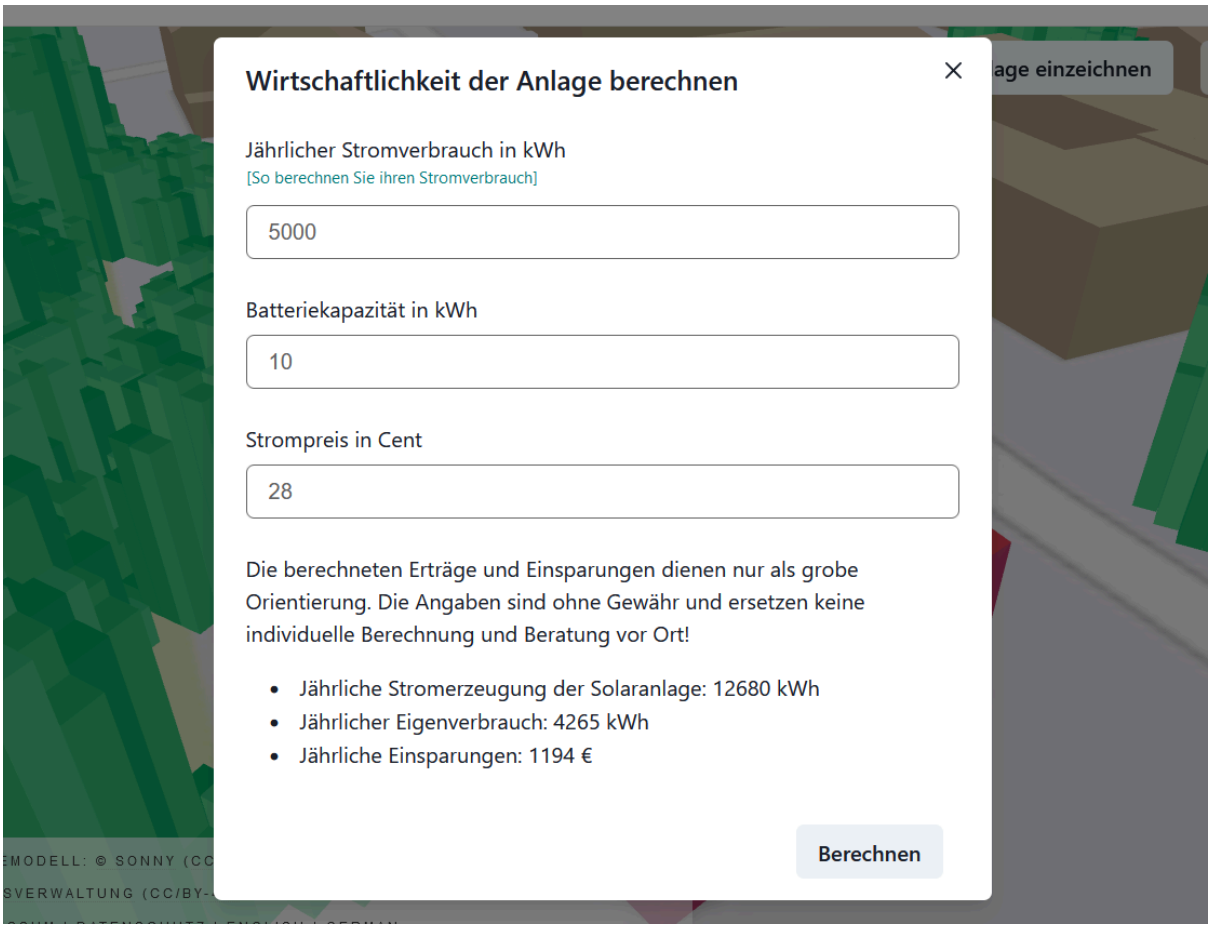


Abbildung: Die Wirtschaftlichkeit der Anlage berechnet sich durch Standardlastprofile, einen jährlichen Stromverbrauch, die Kapazität eines Stromspeichers sowie der Preis pro kWh Strom des Haushaltes.

Sammlung und Verarbeitung offener Daten

Im Rahmen unseres Projekts bildeten die LoD2-Daten der Gebäude die wichtigste Datenquelle für die Sammlung und Verarbeitung offener Daten. Eine Herausforderung stellte dabei die föderale Struktur Deutschlands dar, da alle Bundesländer über eigene Portale zur Bereitstellung dieser Daten verfügen. Unser Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderung umfasste mehrere Schritte. Zunächst erfolgte der Download der Daten von jedem einzelnen Bundesland. Anschließend harmonisierten wir diese Daten in ein einheitliches Format, wofür wir uns für die Geodatenbank PostgreSQL/PostGIS entschieden. Der letzte Schritt bestand im Export der harmonisierten Daten in das 3D Tiles Format, um ein einheitliches Laden im Browser zu ermöglichen. So gelang es uns während der Projektlaufzeit, Daten aus 14 von 16 Bundesländern zusammenzuführen.

Neben den LoD2-Daten der Gebäude griffen wir auf weitere Datenquellen zurück, um unser Projekt zu vervollständigen. Eine dieser zusätzlichen Quellen war das digitale

Geländemodell. Auch war kein einheitliches, offenes Geländemodell für Deutschland verfügbar. Als Lösung nutzten wir den zusammengeführten Datensatz des österreichischen Nutzers "Sonny", der sich als wertvolle Alternative erwies.

Darüber hinaus integrierten wir LiDAR-Daten in unser Projekt, primär zur Extraktion von Vegetationsinformationen. Diese Daten waren jedoch nicht für alle Bundesländer verfügbar. Als Proof of Concept führten wir die Integration und Analyse der LiDAR-Daten beispielhaft für Bayern durch, was uns wichtige Erkenntnisse für mögliche zukünftige Erweiterungen des Projekts lieferte.

Verschattungssimulation im Browser

Eine zentrale Innovation unseres Projekts liegt in der Verschattungssimulation, die vollständig clientseitig im Browser des Nutzers durchgeführt wird. Diese physikalische Simulation umfasst mehrere komplexe Schritte. Zunächst generieren wir mögliche Sonnenstände zu verschiedenen Zeitpunkten während eines Jahres. Anschließend wird für jeden Dach- und Fassadenpunkt des Gebäudes simuliert, ob er zu diesen Zeitpunkten durch das Gebäude selbst, andere Gebäude oder Vegetation verschattet wird. Diese Werte werden dann mit den durchschnittlichen Einstrahlungsdaten für den Standort des Gebäudes verrechnet, wodurch sich die erwartete jährliche Sonneneinstrahlung für jeden Punkt auf dem Gebäude berechnen lässt.

Da es sich hierbei um aufwändige Berechnungen handelt, greifen wir auf WebGL zurück. Diese Technologie ermöglicht es uns, die Berechnungen auf der Grafikkarte auszuführen, was zu einer deutlich schnelleren Verschattungssimulation führt. Durch diesen innovativen Ansatz können wir präzise Ergebnisse in Echtzeit liefern, ohne auf serverbasierte Berechnungen angewiesen zu sein.

Durch die komplett clientseitige Simulation können wir auf der einen Seite die Menge der anfallenden personenbezogenen Daten minimieren und ein Höchstmaß an Datenschutz gewährleisten. Auf der anderen Seite wird dadurch der Rechenaufwand für die Bereitstellung der Seite minimiert, was eine einfache Skalierung auf eine größere Nutzerbasis erlaubt.

Verbreitung der Ergebnisse

Für die Verbreitung unserer Ergebnisse wählten wir verschiedene Wege:

- Die entstandene Website könnte in Zukunft einen relevanten Baustein für kommunale Energie- und Solarplanung darstellen. Aus diesem Grund suchten wir bereits während der Förderzeit das Feedback von kommunalen Akteuren. In Bremen wurde der Kontakt mit der örtlichen Energieagentur aufgenommen, welche für die Solarkampagne der Stadt zuständig ist. In einem gemeinsamen Treffen zusammen mit der Stadtverwaltung wurde der mögliche Einsatz von OpenPV im kommunalen Kontext diskutiert sowie die Unterschiede zu bestehenden Tools herausgearbeitet. In weiteren Treffen wurden mit der PV-Agentur der Stadt München die Bedürfnisse für einen Zuschnitt der Software auf Bürger*innen als Nutzer diskutiert. Der Fokus hierbei war es die Darstellung auf für fachfremde Nutzer*innen intuitiv zu gestalten.

Beispiele hierfür sind die Überarbeitung des Farbschemas und die Möglichkeit, PV-Module mit Standardgrößen zu platzieren (noch in Entwicklung).
- Feedback von Fachanwendern wurde durch Kontakte zu Solar2030 e.V. eingeholt, wobei hier insbesondere auf die Differenzierungsmerkmale von OpenPV Wert gelegt wurde. Auf der einen Seite soll OpenPV durch die 3D Visualisierung und die Einbindung von Vegetation ein realistischeres Bild als die 2D-Solarpotenzialkataster geben. Auf der anderen Seite ist OpenPV vor allem als Visualisierungs- und nicht als detaillierte Planungssoftware gedacht.
- Sehr hilfreiches Feedback konnten wir durch die Verbreitung der Ergebnisse auf der Social-Media Plattform mastodon erreichen. Die aktive Community aus den Bereichen Softwareentwicklung, Geoinformationssystemen und Solarenergie lieferte uns einige Kommentare und Verbesserungsvorschläge, welche noch während der Förderzeit umgesetzt wurden oder deren Umsetzung nach der Förderzeit geplant ist.

Zielgruppe, Nutzen und mögliche Weiterentwicklungen

Nutzen für Zielgruppen

Unsere hauptsächliche Zielgruppe sind Menschen mit Interesse an einer eigenen PV-Anlage. Diese Personen müssen nicht zwingend einen technischen Hintergrund haben. Auf unserer Website www.openpv.de können Sie in einfachen Schritten das solare Potential ihres Gebäudes ermitteln und eine grobe Wirtschaftlichkeitsberechnung für ihr eigenes Haus oder den eigenen Balkon erstellen.

Als weitere, kleinere Zielgruppe ergeben sich Entwickler*innen, welche selbst an browserbasierten Tools zur PV-Prognose arbeiten. Mit der Veröffentlichung unseres zentralen Simulationscodes als einfach installierbares NPM Package kann die Entwicklung von neuen Solarkatastern beschleunigt werden.

Weiterentwicklung von OpenPV nach der Förderzeit

Neben kleineren Bugfixes möchten wir OpenPV gerne für weitere Regionen nutzbar machen. Dies beinhaltet die beiden noch fehlenden Bundesländer Saarland und Mecklenburg-Vorpommern sowie andere Länder, welche 3D-Gebäudedaten offen zur Verfügung stellen. Um dies zu ermöglichen, sind wir auf der Suche nach weiteren Organisationen als Partnerinnen für eine zukünftige Zusammenarbeit.

Persönliche und fachliche Weiterentwicklung

Durch die Förderung von OpenPV im Prototypefund und die Gründung einer GbR konnten wir als Team stark profitieren. Wir haben uns grundlegende Gedanken über unsere Organisation und Zusammenarbeit gemacht und diese durch die GbR Gründung in einem festen Rahmen abgesichert.

Fachlich haben wir durch die konkrete Produktentwicklung ebenfalls profitiert. Neben der lehrreichen Erstellung der großen Codebase und der Zusammenarbeit an dieser Codebase im Team haben wir uns auch in den Themenbereichen der automatisierten Datenverarbeitung, des Hosting, sowie den Themen Usability und User Experience weiterentwickelt.

Kurze Darstellung der Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Ein zentrales Ziel unserer PV-Simulation war die Berücksichtigung von Verschattung durch Bäume. Zwar stellen einige Bundesländer wie Bayern LiDAR-Daten zur Verfügung, doch die Extraktion von Vegetation und Bäumen aus den Pointclouds mithilfe von Machine Learning erwies sich aufgrund der enormen Datenmengen als ineffizient und unzuverlässig. Daher wurde stattdessen eine Methode entwickelt, bei der Multiple-Return-Punkte als Vegetationspunkte extrahiert und anschließend in ein Vegetations-Höhenmodell umgewandelt werden.

Zu Beginn war geplant, die Gebäude direkt in einem Webmapping-Tool wie Maplibre oder Cesium anzuzeigen. Es stellte sich jedoch heraus, dass die verfügbaren Einbindungsmöglichkeiten zu limitiert waren und insbesondere bei der Nutzung von Cesium eine unzureichende Performance auftrat. Aus diesem Grund wurde die Einbindung einer Karte in eine selbst entwickelte 3D-Ansicht als alternative Lösung verfolgt.

Kurze Angabe von Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Website: www.openpv.de und www.openpv.eu

Github Organisation: https://github.com/open-pv

NPM Package: https://www.npmjs.com/package/@openpv/simshady

Kurze Erläuterung zur Einhaltung der Arbeits- und Kostenplanung

Aufgrund von nicht eingeplanten Umständen konnte Korbinian Pöppel deutlich weniger Zeit für die Umsetzung des Projektes einbringen. Glücklicherweise waren die Kompetenzen für diese Arbeiten auch bei anderen Mitgliedern unserer Gruppe vorhanden. Aus diesem Grund wurden große Teile der geplanten Arbeitspakete von Korbinian Pöppel hauptsächlich auf

Florian Kotthoff, teilweise auch auf Martin Großhauser und Konrad Heidler, übertragen. Damit änderte sich die Arbeits-, nicht aber die vorangegangene Kostenplanung.

Kurze Darstellung von etwaigen Ergebnissen bei anderen Stellen

Es gab keine Entwicklungen anderer Personen oder Institutionen, welche einen Einfluss auf unsere Arbeiten oder Zielsetzungen hatten.