



UNIVERSITÄT LEIPZIG

Institut für Informatik

Fakultät für Mathematik und Informatik

Computational Humanities

Sonnenkraft neu kartiert: Bundesweite Visualisierung und Möglichkeiten zur Analyse der Solarpotentialentwicklung in Deutschland

Seminararbeit

vorgelegt von:

Finn Kliewe, Nicko Kornetzky, Sebastian Löblein

Betreuer:

Dr. Thomas Efer

Eingereicht am:

31.10.2024

© 2024

Dieses Werk einschließlich seiner Teile ist **urheberrechtlich geschützt**. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Hintergründe	1
1.2. Motivation	2
1.3. Vision	2
2. Projekt	4
2.1. Daten	4
2.1.1. Datengrundlage	4
2.1.1.1. Marktstammdatenregister	4
2.1.1.2. Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes	5
2.1.2. Datenverarbeitung	6
2.1.2.1. Marktstammdatenregister	6
2.1.2.2. Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes	7
2.2. Tech-Stack	9
2.2.1. Frontend	9
2.2.2. Backend	10
2.2.3. Technischer Ausblick	10
3. Ergebnisse	12
4. Gesellschaftliche Herausforderungen	17
4.1. Umweltauswirkungen	17
4.2. Wirtschaftliche Bedenken	18
4.2.1. Private Solaranlagenprojekte	18
4.2.2. Industrielle Solarprojekte	20
Literatur	22

1. Einleitung

1.1. Hintergründe

Die Nutzung erneuerbarer Energien ist in Deutschland in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen und ist heute ein zentraler Bestandteil der Energieversorgung. Im Jahr 2023 wurde erstmals die Hälfte des gesamten Stromverbrauchs durch Erneuerbare Energien gedeckt, wobei die Solarenergie mit 22,5 % einen bedeutenden Anteil ausgemacht hat [1].

Die Nutzung von Solarenergie in Deutschland stand in der Vergangenheit vor zahlreichen politischen und technologischen Herausforderungen. Ein Wendepunkt war der Zeitraum zwischen 2005 und 2010, als ein verstärkter politischer Wille, sichtbar durch das Pariser Klimaabkommen und das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), zu mehr Investitionen und technologischen Verbesserungen führte. Das EEG war maßgeblich für die Förderung von Photovoltaikanlagen verantwortlich. Das Gesetz führte zu einer substanzuellen Veränderung des Energiemixes und ermöglichte eine stärkere Verbreitung erneuerbarer Energien in Deutschland [2].

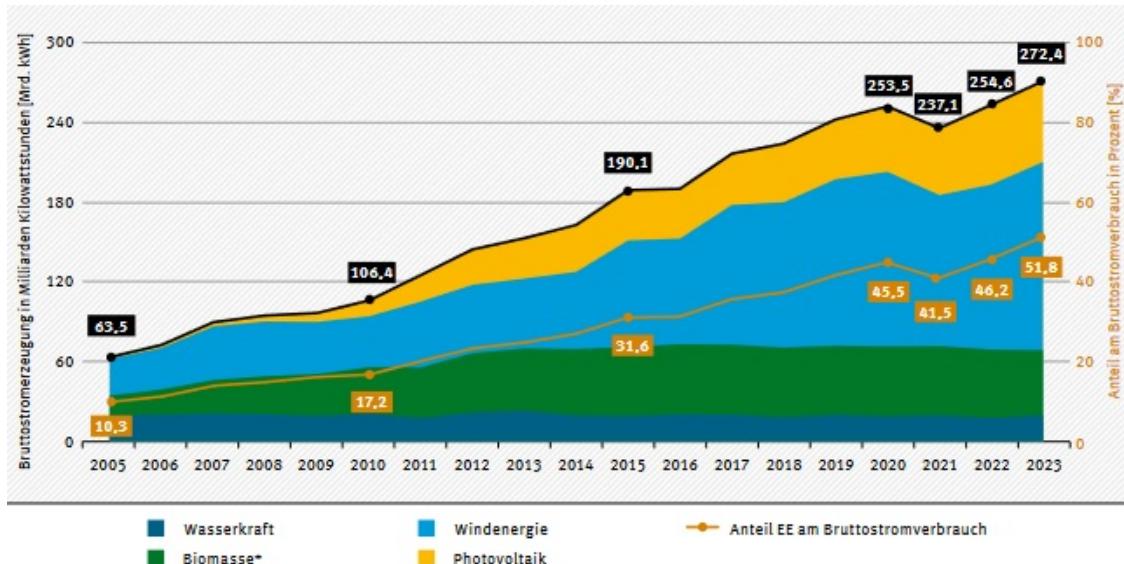


Abbildung 1.1.: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien [1]

Im Laufe der Zeit wurden Solarmodule immer effizienter und kostengünstiger, sodass die Installation von Photovoltaikanlagen für Privathaushalte und Unternehmen immer attraktiver wurde. Dies führte zu einer breiten gesellschaftlichen Akzeptanz und einem Boom bei der Nutzung der Solarenergie. Technologische Fortschritte haben die Solarenergie wettbewerbsfähig gemacht und ihre Integration in das bestehende Energiesystem erleichtert. Nach Angaben des Fraunhofer ISE ist Solarenergie heute die günstigste Form der Stromerzeugung in Deutschland [3].

1. Einleitung

Deutschland entwickelt sich immer mehr zu einem Solarland, was sich nicht nur in der steigenden Anzahl installierter Photovoltaikanlagen widerspiegelt, sondern auch in den klimatischen Bedingungen, die die Nutzung der Sonnenenergie begünstigen. Im Jahr 2022 schien die Sonne in Deutschland über 2000 Stunden, wodurch es das sonnenreichste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen war [4]. Besonders bemerkenswert ist der langfristige Trend: Seit 1951 hat die durchschnittliche Sonnenscheindauer um rund 10 % zugenommen, was den Standort Deutschland für die Nutzung der Solarenergie attraktiver macht.

1.2. Motivation

Ziel unseres Projektes ist es, eine detaillierte und umfassende Kartierung von solaren Energieerzeugungsanlagen in Deutschland zu erstellen und diese Daten auf einer interaktiven, benutzerfreundlichen Deutschlandkarte zu visualisieren. Der aktuelle Stand der solaren Stromerzeugung soll auf nationaler Ebene transparent und zugänglich gemacht werden.

Die geplante Visualisierung ermöglicht es, die geografische Verteilung der Solarenergieanlagen sowie deren Leistung und das vorhandene Potenzial anschaulich darzustellen, wobei das Potenzial sowohl die tatsächlich vorhandene Sonneneinstrahlung als auch die daraus mit den Anlagen erzeugbare Strommenge umfasst. Dadurch erhalten Entscheidungsträger, Planer und Bürger die Möglichkeit, fundierte Entscheidungen über den Ausbau und die Nutzung der Solarenergie zu treffen. Die Transparenz und der einfache Zugang zu diesen Informationen fördern zudem die gesellschaftliche Akzeptanz und Unterstützung für erneuerbare Energien. Darüber hinaus stärkt die verbesserte Informationsverfügbarkeit die Bürgerbeteiligung und trägt zur Demokratisierung und Dezentralisierung des Energiemarktes bei, was wiederum die lokale Wirtschaft durch die Schaffung von Arbeitsplätzen und die Förderung von Investitionen unterstützt [5].

1.3. Vision

Im Rahmen des Projektes soll eine interaktive Karte entstehen, die alle im Marktstammdatenregister registrierten Solarprojekte in Deutschland visualisiert und durch die Integration von Sonnenstrahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes eine fundierte Analyse des Solarenergiepotenzials ermöglicht. Nutzer können gezielt Regionen auswählen und detaillierte Informationen zu den dort vorhandenen Solarprojekten abrufen, einschließlich der installierten Leistung, der erzeugten Strommenge und der genauen Standortverteilung.

1. Einleitung

Langfristig könnte die Plattform auf europäischer Ebene ausgeweitet werden, um ein „Marktstamm-datenregister für Europa“ zu schaffen. Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz könnten weiterführende Analysemöglichkeiten entwickelt werden, um die optimalen Standorte mit dem größten Potenzial zu identifizieren und Prognosen für einzelne Solarprojekte basierend auf historischen Daten zu erstellen. Diese Erweiterungen würden die Effizienz und Planungssicherheit im Bereich der Solarenergie weiter erhöhen.

2. Projekt

2.1. Daten

2.1.1. Datengrundlage

2.1.1.1. Marktstammdatenregister

Für die Visualisierung der Solarprojekte und einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand des Ausbaus und der Energieerzeugung durch Solarenergie in Deutschland haben wir die Daten aus dem Marktstammdatenregister (Stand Juni 2024) gescraped [6]. Dieses Register wird von der Bundesnetzagentur verwaltet und dient als zentrale Datenbank für alle relevanten Energieerzeugungs- und Speicheranlagen in Deutschland. Seit Juli 2017 ist die Registrierung solcher Anlagen durch Inkrafttreten der Marktstammdatenregisterverordnung verpflichtend. Diese gesetzliche Regelung stellt sicher, dass eine umfassende, einheitliche und verlässliche Datenbasis zur Verfügung steht, die wir für unser Projekt nutzen können. [7]

Jede Anlage im Marktstammdatenregister ist mit einer eindeutigen ID versehen und wird mit detaillierten Informationen beschrieben. Dazu zählen unter anderem Angaben zum Energieträger, technische Informationen wie Brutto- und Nettonennleistung, Speicherkapazität oder thermische Nutzleistung, der Betriebsstatus, das Inbetriebnahmedatum sowie Standortinformationen (Bundesland, Postleitzahl und Ort). In einigen Fällen sind zudem genaue Adressen und Koordinaten verfügbar. Der Datensatz umfasst über fünf Millionen Anlagen verschiedener Energieträger, darunter Solarenergie, Energiespeicher, Erdgas, Wind und Wasser. Die große Mehrheit der Einträge (73.4%) entfällt dabei auf Solaranlagen (Abb. 2.1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Anschaffung und der Betrieb von Solaranlagen für Privatpersonen relativ unkompliziert ist und staatlich gefördert wird. Beispielsweise können Photovoltaikanlagen auf Hausdächern oder Balkonen installiert werden, was im Vergleich zu größeren Projekten wie Wasserwerken oder Windkraftanlagen wesentlich weniger komplex ist. Solche großflächigen Projekte erfordern in der Regel erhebliche Investitionen, umfangreiche Genehmigungsverfahren und detaillierte Projektplanungen, die oft nur von großen Energiekonzernen realisiert und verwaltet werden können.

Die Daten des Marktstammdatenregisters sind für unser Projekt von großer Bedeutung, da sie eine umfassende und verlässliche Grundlage für die Visualisierung und Analyse der Solarprojekte in Deutschland bieten.

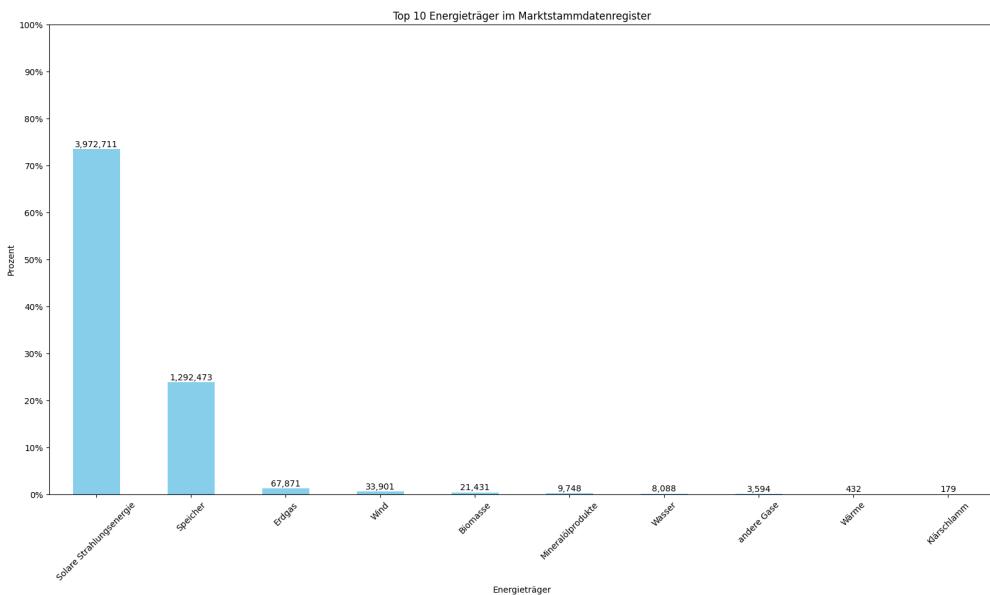


Abbildung 2.1.: Verteilung der Energieträger im Markstammdatenregister Datensatz

2.1.1.2. Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes

Zur Visualisierung des Potenzials der Solarenergieerzeugung in Deutschland, das unmittelbar von der verfügbaren Sonneneinstrahlung bestimmt wird, nutzen wir Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) [8]. Zum Zeitpunkt des Projektstartes standen uns für den Zeitraum Januar 2016 bis Juni 2024 monatliche und jährliche Strahlungsdaten des DWD für das gesamte Bundesgebiet zur Verfügung. Diese Daten, die im ASCII-Rasterformat bereitgestellt werden, messen die Summe der direkten Sonneneinstrahlung auf die horizontale Ebene in kWh/m² für den gegebenen Zeitraum. Die Rasterdaten enthalten genaue Koordinateninformationen zur Georeferenzierung und ermöglichen somit die präzise Darstellung der Strahlungswerte auf unserer Karte (Abb. 3.6).

Im Kontext von Solarenergie, ist es insbesondere interessant auch die Veränderung der Sonneneinstrahlung sowohl im saisonalen als auch im langfristigen Verlauf zu visualisieren und zu analysieren. Aufgrund verbesserter Luftqualität und veränderten Wolkenmustern sind in den letzten Jahren signifikante Veränderungen in der Sonneneinstrahlung zu beobachten [9]. Beispielsweise lag die Anzahl der Sonnenstunden in Deutschland im Jahr 2022 mit 2041 Stunden um 31,1 % über dem Jahressoll im Vergleich zur Referenzperiode von 1961 bis 1990 (Abb. 2.2) [10].

Die Strahlungsdaten werden aus einer Kombination von Bodenmessungen an DWD-Stationen und Satellitendaten des CMSAF (Climate Monitoring Satellite Application Facility) Projekts gewonnen. Die Bodenmessungen stammen von einem flächendeckenden Netzwerk von DWD-Stationen, die kontinuierlich die direkte Sonneneinstrahlung erfassen. Ergänzt werden diese punktuellen Messungen durch die flächendeckenden Satellitendaten des CMSAF, die eine umfassende Erfassung der

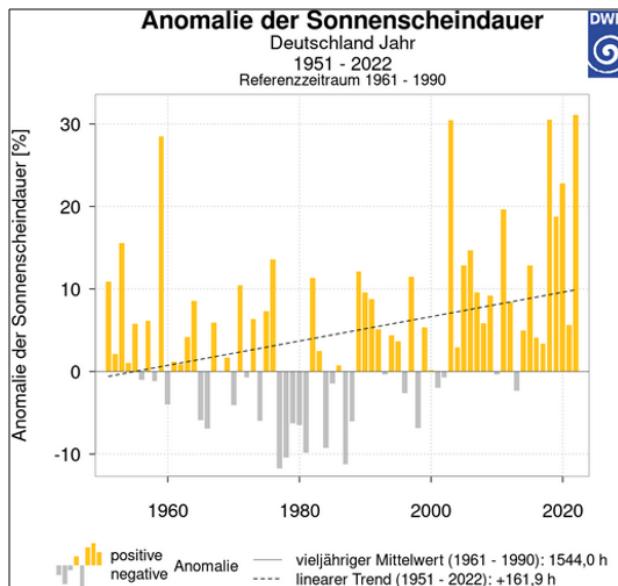


Abbildung 2.2.: Anomalie der Sonnenscheindauer in Deutschland (1951-2022) [4]

Strahlungswerte über ganz Deutschland ermöglichen. Diese Kombination aus Boden- und Satellitendaten sorgt für eine besonders hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Strahlungsmessungen. Somit verfügen wir auch hier über qualitativ hochwertige Daten, die sich ideal für eine präzise Visualisierung und fundierte Analyse eignen.

2.1.2. Datenverarbeitung

2.1.2.1. Marktstammdatenregister

Um eine solide und einheitliche Datengrundlage für die spätere Visualisierung der solaren Energiegewinnungseinheiten in Deutschland zu schaffen, waren zunächst mehrere Schritte der Datenvorverarbeitung erforderlich. Dazu wurden zuerst 226 CSV-Dateien, die aus dem Marktstammdatenregister gescraped wurden, zu einem umfassenden Gesamtdatensatz zusammengeführt. Jede Datei enthielt Informationen zu 25.000 Einheiten mit jeweils 50 Attributen. Aufgrund der großen Datenmenge und zur Beschleunigung der Verarbeitungsprozesse entschieden wir uns, die Datenvorverarbeitung auf dem Scientific Computing Cluster der Universität Leipzig mittels Python durchzuführen.

Nach der Konsolidierung der einzelnen Dateien zu einem Gesamtdatensatz erfolgte eine gezielte Filterung, um die für unser Projekt relevanten Einträge zu extrahieren. Der Fokus lag dabei auf Anlagen mit solaren Energieträgern, die sich entweder im Betriebsstatus „in Betrieb“ oder „in Planung“ befanden. Einträge mit fehlenden Werten in relevanten Spalten wurden ausgeschlossen, um die Datenqualität sicherzustellen. Der resultierende Datensatz umfasste schließlich 3.897.669 Einträge und 16 Spalten.

Anschließend wurden verschiedene Datenbereinigungsschritte durchgeführt, darunter die Vereinheitlichung von Betreibernamen, die Formatierung von Datumsspalten und die Korrektur von 4-stelligen Postleitzahlen, bei denen die führende Null fehlte.

Für die präzise Darstellung der Anlagen auf unserer interaktiven Karte sind geografische Koordinaten erforderlich. Im ursprünglichen Datensatz enthielten jedoch nur etwa 5 % der Einträge genaue Koordinatenangaben, bei den übrigen Einträgen waren die entsprechenden Spalten nicht befüllt. Um sicherzustellen, dass unser Datensatz durch die fehlenden Koordinateninformationen nicht wesentlich dezimiert wird, haben wir uns entschlossen, die fehlenden Koordinaten mithilfe der verfügbaren Postleitzahl-Spalte zu approximieren.

Hierfür verwendeten wir zwei Mapping-Dateien [11, 12], die deutsche Postleitzahlen und die zugehörigen geografischen Koordinaten enthielten, um die Standorte der Anlagen approximativ zu ermitteln. Um eine spätere Aggregation der Daten auf Landkreisebene zu ermöglichen, fügten wir dem Datensatz zusätzlich eine Spalte für den Landkreis hinzu, die wir anhand einer weiteren Mapping-Tabelle und der Postleitzahl bestimmten [13].

Nach der Ergänzung der fehlenden Koordinaten und der Zuordnung der Landkreise filterten wir den Datensatz abschließend so, dass nur Einträge mit vollständigen Angaben zu Landkreis, Postleitzahl und Koordinaten verblieben. Der finale Datensatz umfasste schließlich 3.895.226 Einträge. Im Anschluss konvertierten wir den Datensatz in das für unsere Anwendung erforderliche GeoJSON-Format.

2.1.2.2. Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes

Um die Strahlungsdaten des DWD für unsere Anwendung optisch ansprechend darzustellen, war es notwendig, die bereitgestellten ASC-Rasterdaten in farbige GeoTIFF-Dateien umzuwandeln und einer Vorverarbeitung zu unterziehen. GeoTIFFs bieten den Vorteil, dass jedem Rasterwert entsprechende Koordinaten im Koordinatenreferenzsystem zugeordnet sind und sich so präzise auf einer Karten visualisieren lassen. In diesem Fall enthalten die Rasterwerte Information über die Strahlungsintensität in dem jeweiligen Zeitraum in kWh/m² und liegen im EPSG:31467 System vor.

Die webgescrapten ASC-Dateien wurden zunächst mithilfe der GDAL-Bibliothek in das GeoTIFF-Format konvertiert. Hierbei wurden wichtige Parameter festgelegt: die Behandlung von No-Data-Werten, die Definition des Koordinatensystems (EPSG:3857) und die Festlegung des Datentyps der

Rasterwerte auf Byte. Anschließend erstellten wir auf Basis der minimalen und maximalen Rasterwerte individuelle Farbtabellen für jeden Zeitraum, um die Strahlungswerte visuell zu kodieren, wobei hohe Strahlungswerte durch tendenziell rötliche und niedrige Strahlungswerte durch blaue Farbtöne dargestellt werden. Die ursprünglichen Grauwerte der GeoTIFFs, die im Bereich von 0 (Schwarz für minimale Strahlung) bis 255 (Weiß für maximale Strahlung) lagen, wurden mithilfe der erstellten Farbtabellen in RGB-Werte transformiert und anschließend die Georeferenzierung auf das in unserer Anwendung verwendete Koordinatensystem (ESPG:3857) angepasst.

Diese Farbcodierung ermöglicht eine anschauliche und differenzierte Darstellung der Strahlungsintensität in Deutschland für die betrachteten Zeiträume. Die Verwendung farbiger GeoTIFFs verbessert nicht nur die Interpretierbarkeit der Daten, sondern steigert auch die Nutzerfreundlichkeit unserer Applikation, indem komplexe Strahlungsmuster intuitiv erfasst werden können.

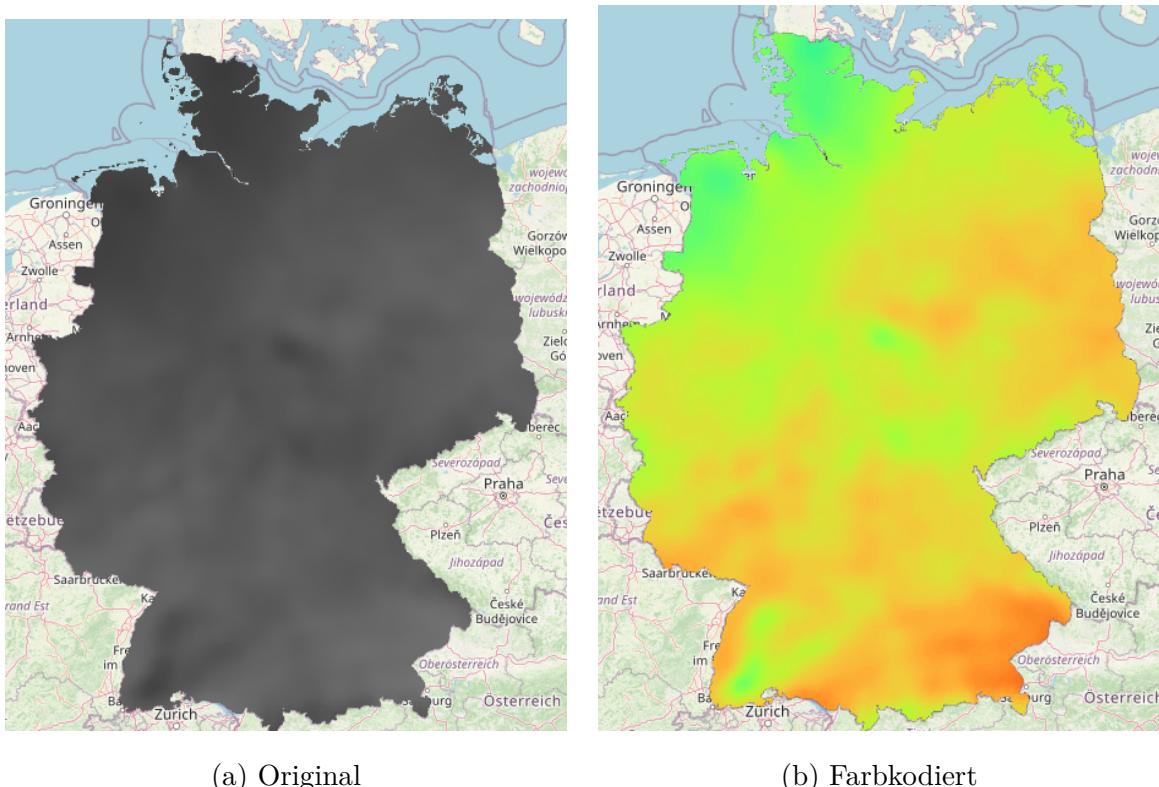


Abbildung 2.3.: Farbkonvertierung Strahlungsdaten (Juli 2023)

2.2. Tech-Stack

2.2.1. Frontend

- **OpenLayers:** Diese JavaScript-Bibliothek bildet die Basis für die interaktive Karte und die Visualisierung von Solaranlagen, Bundesländern und Landkreisen. Sie unterstützt umfangreiche Benutzerinteraktionen wie Selektion und Zoom. Um Performance-Probleme bei der Darstellung einer großen Anzahl von GeoJSON-Features und Solaranlagen-Icons zu vermeiden, haben wir eine spezielle Zoom-Strategie implementiert: Ab einem Zoom-Level von 11 werden die Solarpanels in einer Region zu einem einzelnen Sonnen-Icon aggregiert. Beim weiteren Hineinzoomen werden die individuellen Solarpanels mit je einem Icon angezeigt. Diese Lösung gewährleistet eine flüssige Benutzererfahrung auch bei großen Datenmengen.
- **Layer-Management:** Die Anwendung unterstützt die Anzeige verschiedener Layer, die durch Benutzerinteraktionen ein- und ausgeblendet werden können. Dazu gehören Layer für Bundesländer, Landkreise und Strahlungsdaten auf monatlicher und jährlicher Basis. Je nach aktivem Layer können über Pop-up-Anzeigen detaillierte Informationen zu Bundesländern, Landkreisen oder spezifischen Solaranlagen abgerufen werden.
- **Feature-Informationsbox:** Eine dynamische Informationsbox listet die vom Benutzer ausgewählten GeoJSON-Features wie Landkreise, Bundesländer oder Solarpanels auf. Das zuletzt ausgewählte Feature wird immer auf der ersten Seite angezeigt, während vorherige Auswahlen chronologisch auf den folgenden Seiten dargestellt werden. Diese Box bietet eine Übersicht der ausgewählten Features und ermöglicht den Vergleich wichtiger Kennzahlen sowie das Ausführen von Data-Warehouse-Operationen wie die Durchführung Solarpotenzialanalysen oder das Laden von Solaranlagen in den gewählten Regionen.
- **Benutzeroberfläche und Interaktivität:** Wir verwenden Bootstrap zur Gestaltung der Benutzeroberfläche, einschließlich modaler Dialoge, Popovers und Bedienelemente. Dies verbessert die Benutzerfreundlichkeit und ermöglicht eine intuitive Interaktion mit der Karte und den Daten.
- **Datenverarbeitung im Frontend:** Das Frontend implementiert eine Fassade, die es ermöglicht, verschiedene Arten von GeoJSON-Elementen als Features zu behandeln und einheitlich zu verarbeiten. Dies erleichtert die Integration neuer Datenquellen und erweitert die Flexibilität der Anwendung.

2.2.2. Backend

- **Flask:** Als Backend-Framework dient Flask, ein beliebtes Python-Webframework. Es fungiert als zentrale Schnittstelle für die Verarbeitung und Bereitstellung der Solarpanel-Daten sowie Strahlungsinformationen. Flask führt wichtige Data-Warehouse-Operationen durch, wie die Aggregation und Berechnung von Daten, und generiert GeoJSON-Dateien, die an das Frontend gesendet werden.
- **Caching und Performance:** Um die Ladezeiten zu verkürzen und die Serverlast zu reduzieren, werden die in einer Session initial geladenen GeoJSON-Dateien im Flask-Cache zwischengespeichert. Dadurch werden nachfolgende Anfragen deutlich beschleunigt, was besonders relevant ist, da die Dateien teilweise bis zu 5 GB groß sind. Die Caching-Strategie verhindert redundante Berechnungen und verbessert die Skalierbarkeit der Anwendung.
- **Datenfluss und API:** Das Backend folgt einer klassischen Client-Server-Architektur und stellt eine RESTful API bereit. Beispielsweise kann ein Benutzer das Bundesland Bayern als Input übermitteln, woraufhin der Server die entsprechenden Solarpanels in Bayern als GeoJSON zurückgibt.
- **Interaktion mit externen Datenquellen:** Das Backend integriert Daten des DWD, insbesondere Strahlungsdaten, die in die Analysen einfließen. Diese Daten werden verarbeitet und in Formaten bereitgestellt, die vom Frontend visualisiert werden können.

2.2.3. Technischer Ausblick

- **3D-Visualisierungen mit Cesium:** Es wäre möglich, Cesium zu integrieren, um detailliertere 3D-Visualisierungen von Solarpanels und anderen Geodaten zu ermöglichen. Dies könnte die Darstellung von Gelände, Gebäuden und Solaranlagen in drei Dimensionen erlauben und die Benutzererfahrung noch interessanter gestalten.
- **Erweiterte Datenbankintegration mit MongoDB:** Die Einführung von MongoDB als NoSQL-Datenbank könnte die Speicherung und effiziente Abfrage der Daten verbessern.
- **Erweiterte Funktionen:** Neben der möglichen Implementierung zusätzlicher Zeichen- und Markierungsfunktionen wären tiefere Data-Warehouse-Operationen denkbar, einschließlich komplexerer Analysen des Solarpotenzials und der approximativen Berechnung der Energiegewinnung durch Solarkraft auf Basis von Strahlungsdaten sowie der relevanten Eigenschaften der Anlagen, wie Nettonennleistung und Anzahl der Module, innerhalb einer Region.

- **Performance-Optimierungen:** Um die Ladezeiten zu verkürzen, ließe sich eine Segmentierung der Daten nach Bundesländern und Landkreisen realisieren, sodass nicht das gesamte GeoJSON auf einmal geladen werden müsste.

3. Ergebnisse

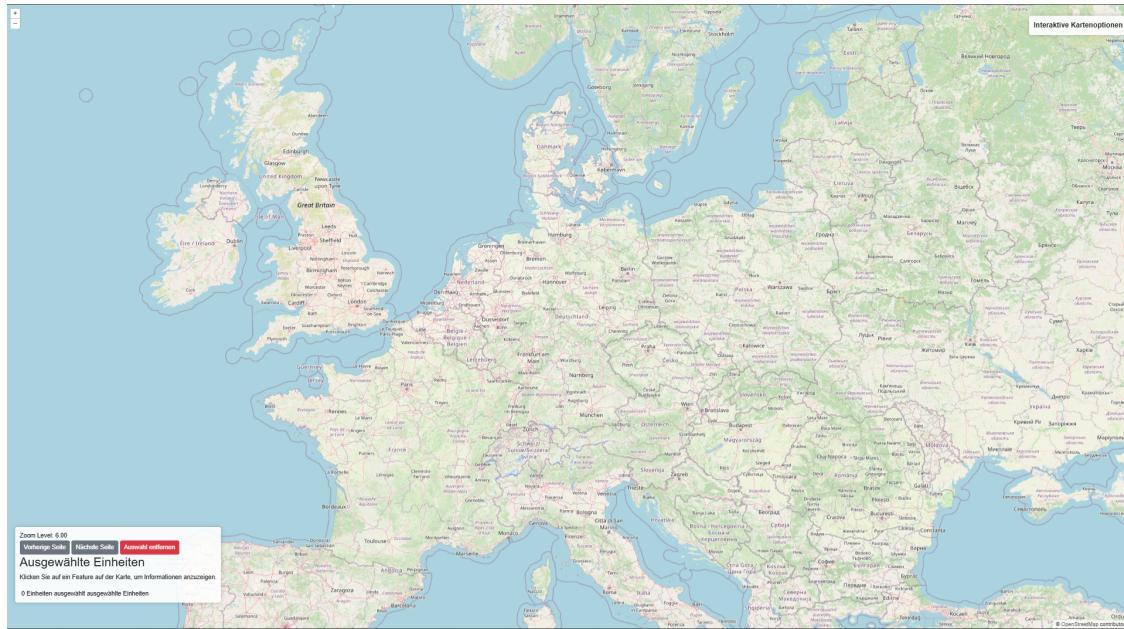


Abbildung 3.1.: Startbildschirm der Anwendung

Der Startbildschirm unserer Anwendung zeigt eine interaktive Karte von Deutschland. In der rechten oberen Ecke befindet sich ein Dropdown-Menü, über das verschiedene Aktionen ausgeführt werden können (Abb. 3.2). Der Nutzer kann sich die Bundesländer anzeigen lassen, spezifische Solarprojekte auf Landkreis- oder Bundeslandebene laden und Sonnenstrahlungsdaten abrufen. In der linken unteren Ecke befindet sich eine Informationsbox, die zunächst leer ist. Sobald der Nutzer ein Solarprojekt oder eine Verwaltungseinheit auswählt, füllt sich diese Box automatisch mit den entsprechenden Informationen wie die Anzahl der Solarprojekte in dieser Region oder Details zum ausgewählten Solarprojekt. Zusätzlich werden in der Box dynamisch die aktuelle Zoomstufe, die Koordinaten sowie die Strahlungswerte des angeklickten Pixels angezeigt. Diese Informationen passen sich dem jeweils aktiven Layer an und aktualisieren sich, sobald der Benutzer auf ein Pixel in der Karte klickt.

3. Ergebnisse



Abbildung 3.2.: Interaktive Kartenoptionen

Die interaktiven Kartenoptionen sind in drei Abschnitte unterteilt. Die erste Box „Organisationseinheiten“ ermöglicht das Ein- und Ausblenden von Landkreisen und Bundesländern. In der zweiten Box „Solarpanels“ können aggregierte Informationen zu Solarprojekten pro Bundesland oder Landkreis angezeigt werden, wie z.B. die Anzahl der Module und die Summe der Bruttonennleistung aller Projekte in der Region. Darüber hinaus können Solaranlagen für ausgewählte Gebiete, wie z.B. den Landkreis Leipzig, geladen und im Detail mit Standort und Informationen angezeigt werden. In der dritten Box „Strahlungsinformation“ können Jahr und Monat ausgewählt werden, um die Strahlungsinformationen als Farbüberlagerung auf die Karte zu projizieren (Abb. 3.6). Zu jeder Box existiert ein Info-Icon welches bei Auswahl einen kurzen Text und eine Beschreibung der möglichen Operationen enthält.

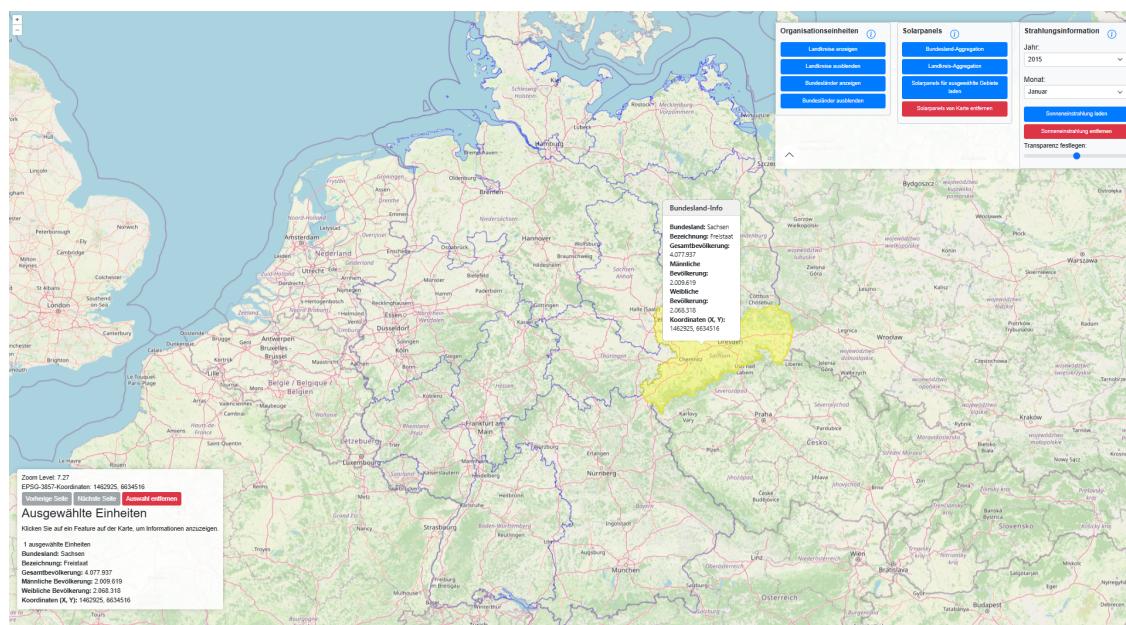


Abbildung 3.3.: Auswahl von Bundesländern auf der Karte

3. Ergebnisse

Wenn das Bundesländer-Layer aktiviert ist, können einzelne Bundesländer auf der Karte ausgewählt werden. Im Beispiel wurde Sachsen ausgewählt, das daraufhin gelb hervorgehoben. Dies zeigt dem Nutzer visuell, welche(s) Gebiet(e) aktuell für Data-Warehouse-Operationen markiert sind. Gleichzeitig öffnet sich ein Popup-Fenster mit detaillierten Informationen über das Bundesland, einschließlich der Gesamtbevölkerung, unterteilt in männliche und weibliche Einwohner. Zusätzlich werden die ausgewählten Daten in der Infobox unten links angezeigt.

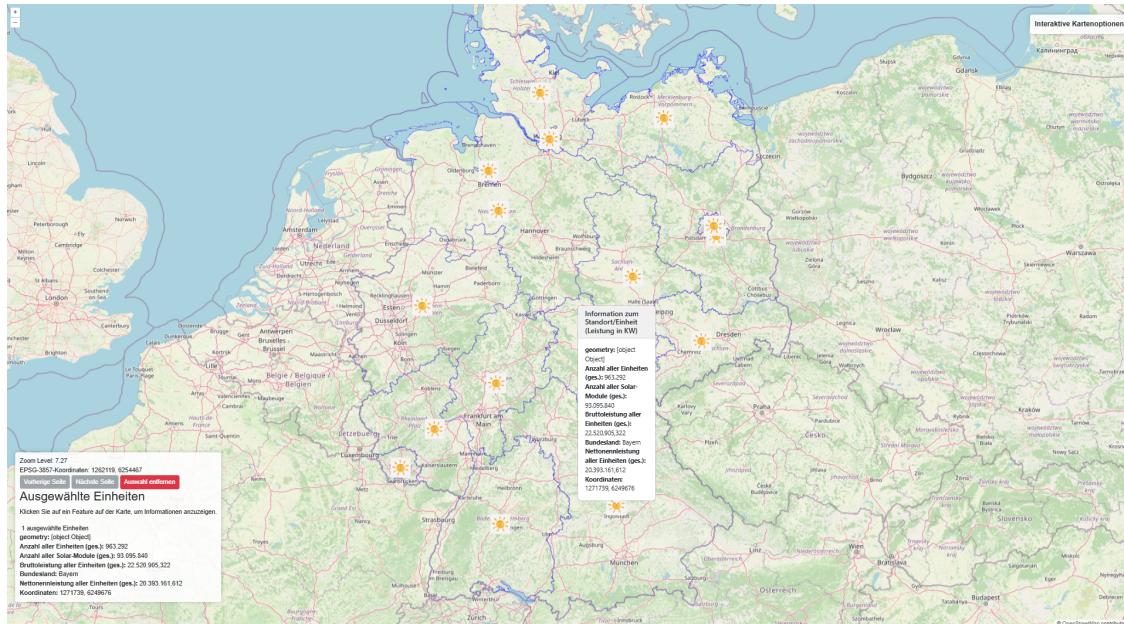


Abbildung 3.4.: Bundesland-Aggregation mit interaktiven Icons

Wenn die Aggregation nach Bundesländern in den interaktiven Kartenoptionen aktiviert wird, erscheint auf der Karte für jedes Bundesland ein anklickbares Icon. Beim Anklicken öffnet sich ein Popup, das aggregierte Informationen für das jeweilige Bundesland anzeigt, darunter die Gesamtzahl der Solarmodule, die Brutto-Nennleistung und weitere relevante Daten zu Solarprojekten. Diese Informationen werden ebenfalls in der Info-Box angezeigt. Alle beschriebenen Funktionen sind zudem auf Landkreisebene verfügbar.

3. Ergebnisse

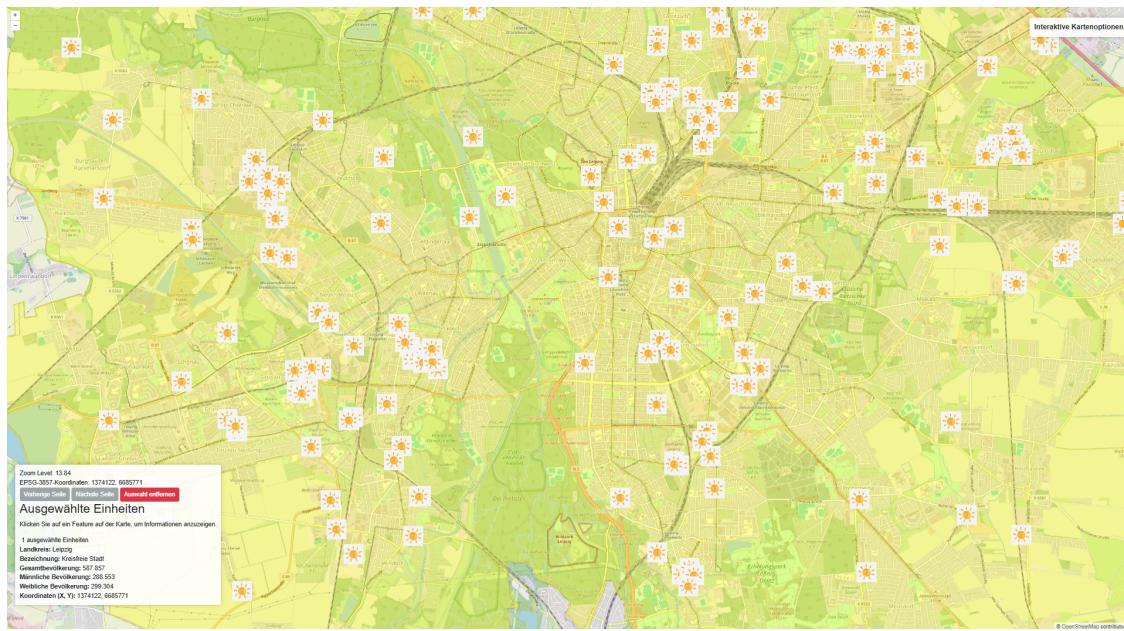


Abbildung 3.5.: Detaillierte Ansicht der Solaranlagen

Nach Auswahl und Vergrößerung des Landkreises Leipzig erscheinen auf der Karte die einzelnen Solaranlagen mit ihren genauen Standorten. Jedes Icon kann angeklickt werden und über Popups können detaillierte Informationen zu den Solaranlagen abgerufen werden. In der Infobox können die ausgewählten Solarprojekte nun miteinander verglichen werden.

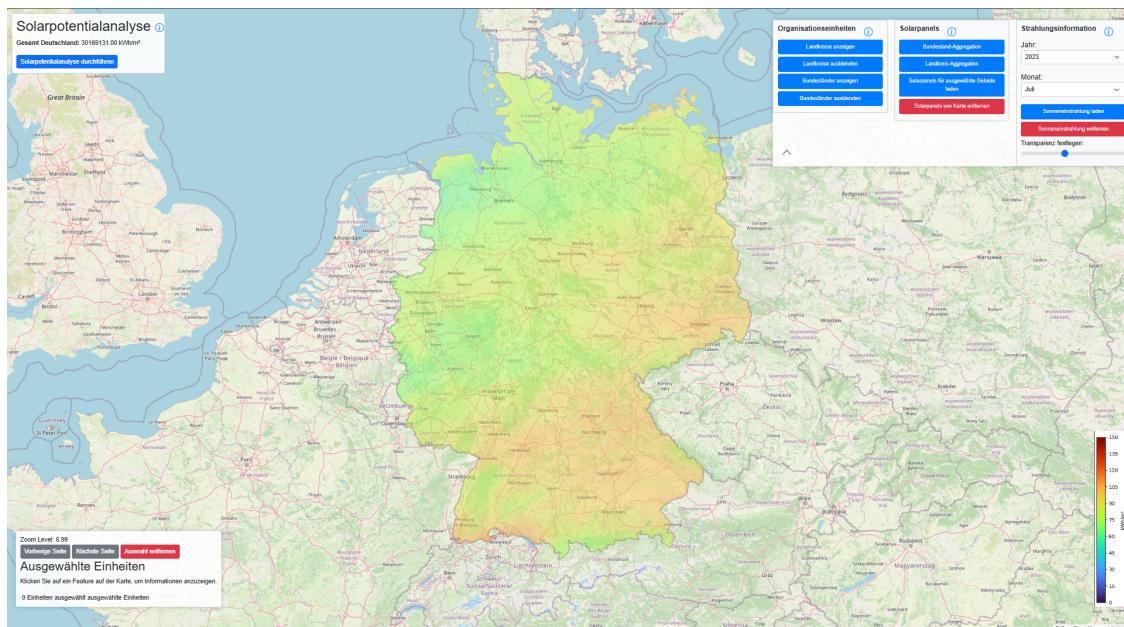


Abbildung 3.6.: Sonneneinstrahlung Overlay

Hier wurde in den interaktiven Kartenoptionen Juli 2023 ausgewählt, wodurch ein farbiger Layer der Sonneneinstrahlung über die Deutschlandkarte gelegt wird. Die Transparenz des Layers ist standardmäßig auf 50 % eingestellt, kann aber vom Benutzer angepasst werden. Auf der rechten

3. Ergebnisse

Seite erscheint eine Farbskala, die anzeigt, wie viel kWh/m² die jeweilige Farbe repräsentiert, sodass Unterschiede der Sonneneinstrahlung zwischen den verschiedenen Regionen klar erkennbar sind. Zudem öffnet sich am oberen linken Bildschirmrand das Fenster Solarpotentialanalyse, welches die Globalstrahlung für ganz Deutschland in kWh/m² für den ausgewählten Monat oder Jahr anzeigt.

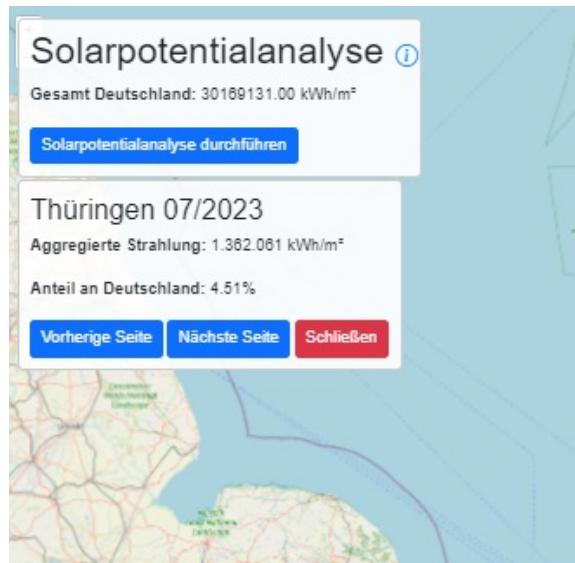


Abbildung 3.7.: Solarpotentialanalyse

Werden Bundesländer oder Landkreise angewählt und anschließend der Button „Solarpotentialanalyse durchführen“ geklickt, wird im Backend die Summe der Solarstrahlung für jeweils alle Pixel in den ausgewählten Regionen für den aktuellen Zeitraum berechnet. In einem separaten Fenster wird für jede Region die aggregierte Solarenergie sowie dessen prozentualer Anteil im gesamtdeutschen Vergleich dargestellt.

Anhand der angezeigten Daten kann der Nutzer nun beurteilen, ob das vorhandene Solarpotenzial in den jeweiligen Regionen effektiv genutzt wird. Dabei helfen ihm die Informationen in der Info-Box, die zusätzliche Details zu den Bundesländern oder Landkreisen bereitstellt. So kann er beispielsweise Bayern, das Bundesland mit der höchsten Sonneneinstrahlung, mit Schleswig-Holstein vergleichen. Durch den Abgleich des verfügbaren Solarenergiepotenzials mit der Anzahl der bestehenden Solarprojekte und anderen relevanten Kennzahlen erhält der Nutzer ein umfassendes Bild über die tatsächliche Nutzung der Solarenergie. Dies ermöglicht es ihm, Regionen zu identifizieren, in denen das Solarpotenzial noch nicht ausgeschöpft ist, und bietet Anhaltspunkte für weitere Investitionen oder Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien.

4. Gesellschaftliche Herausforderungen

Der Ausbau der Solarenergie in Deutschland ist von zentraler Bedeutung für die Energiewende, jedoch mit zahlreichen Herausforderungen verbunden. Technologische Hürden wie die Effizienzsteigerung und der Ressourcenverbrauch, wirtschaftliche Bedenken hinsichtlich der Anfangsinvestitionen und der Rentabilität sowie ökologische Auswirkungen, insbesondere auf Landnutzung und Biodiversität, machen den Ausbau komplex. Trotz dieser Schwierigkeiten zeigt die deutsche Bevölkerung eine hohe Bereitschaft, sich diesen Herausforderungen zu stellen. Laut einer aktuellen Umfrage des KfW-Energiewendebarometers halten 92 % der befragten Deutschen einen schnelleren Ausbau der erneuerbaren Energien für wichtig [14].

4.1. Umweltauswirkungen

Solarenergie wird allgemein als eine der saubersten und nachhaltigsten Energiequellen angesehen, hat aber auch einige Umweltauswirkungen, die berücksichtigt werden müssen:

In Deutschland wird zunehmend über die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Solarenergie diskutiert, da Investoren für Photovoltaikanlagen oft höhere Pachten zahlen als für die konventionelle landwirtschaftliche Nutzung. Diese Entwicklung könnte sich langfristig auf die Verfügbarkeit von Ackerflächen für die Nahrungsmittelproduktion auswirken. Es entsteht ein Spannungsfeld zwischen der Förderung erneuerbarer Energien und der Aufrechterhaltung der landwirtschaftlichen Produktion, das eine kritische Auseinandersetzung mit nachhaltiger Landnutzung erfordert. [15]

Des Weiteren ist die Herstellung von Solaranlagen mit einem hohen Ressourcenverbrauch verbunden, denn für die Produktion von Photovoltaikmodulen werden große Mengen an Materialien wie Silizium, Silber, Glas und Aluminium benötigt. Diese Rohstoffe müssen energieintensiv gewonnen und verarbeitet werden, was einen erheblichen ökologischen Fußabdruck hinterlässt. Angesichts der steigenden Nachfrage nach Solarenergie gewinnt das Recycling von Solarmodulen zunehmend an Bedeutung, um den Verbrauch neuer Ressourcen zu minimieren und die Umweltbelastung zu reduzieren. [16]

Dabei ermöglichen Fortschritte in der Recyclingtechnologie heute die Rückgewinnung von bis zu 95 % der in Solarmodulen verwendeten Materialien. Dies betrifft insbesondere Glas, Aluminium und Silizium, die in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden können. Trotz dieser positiven Entwicklungen bestehen weiterhin Herausforderungen, z. B. hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und

4. Gesellschaftliche Herausforderungen

Effizienz der Recyclingprozesse. Eine gut entwickelte Kreislaufwirtschaft im Bereich der Solarenergie könnte jedoch dazu beitragen, den Ressourcenverbrauch langfristig zu senken und die Nachhaltigkeit von Photovoltaikanlagen deutlich zu verbessern. [16]

Darüber hinaus können Solarparks einen wichtigen Beitrag zur Förderung der Biodiversität leisten und Energiegewinnung mit Naturschutz verbinden. Die Flächen unter und zwischen den Solarmodulen bieten geschützte, weniger intensiv genutzte Bereiche und schaffen so Lebensräume für eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten. Durch die gezielte Bepflanzung mit heimischen Pflanzenarten, sowie das Anlegen von Blühstreifen und Hecken können Solarparks die Artenvielfalt deutlich erhöhen. Diese ökologischen Maßnahmen machen Solarparks zu wertvollen Rückzugsgebieten für Insekten, Vögel und andere Tiere. Durch den Schutz vor landwirtschaftlicher Nutzung und Störungen kann sich eine vielfältige Vegetation entwickeln, die wiederum wichtige Lebensräume und Nahrungsquellen bietet. Solarparks sind somit ein gelungenes Beispiel dafür, wie erneuerbare Energieerzeugung und Naturschutz miteinander verbunden werden können. Sie bieten nicht nur eine nachhaltige Energiequelle, sondern tragen auch aktiv zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität bei. Mit der richtigen Planung und Pflege können diese Anlagen zu ökologischen Nischen werden, von denen sowohl die Umwelt als auch die Artenvielfalt profitieren. In einer nachhaltigen Energieversorgung könnten Solarparks daher eine doppelte Rolle spielen: als Produzenten sauberer Energie und als Förderer der Biodiversität.[17]

4.2. Wirtschaftliche Bedenken

Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Solarenergie sind sowohl auf privater als auch auf industrieller Ebene von großer Bedeutung. Die Entscheidung für Solarprojekte hängt nicht nur von ökologischen Überlegungen ab, sondern auch von finanziellen Aspekten, die die Rentabilität und Effizienz solcher Investitionen betreffen. Dieser Abschnitt befasst sich mit den wirtschaftlichen Aspekten privater und industrieller Solarprojekte am Beispiel des Solarparks Witznitz (Leipzig), Europas größtem privaten Solarpark ohne staatliche Förderung.

4.2.1. Private Solaranlagenprojekte

Private Solarprojekte wie Balkonkraftwerke oder größere Photovoltaikanlagen auf Hausdächern stellen eine große Investition dar. Die hohen Anfangskosten können abschreckend wirken, insbesondere für Haushalte mit begrenztem Budget. Eine typische Solaranlage für ein Einfamilienhaus kostet je nach Größe und Qualität der Module zwischen 10.000 und 25.000 Euro [18]. Auch wenn

staatliche Förderungen und Steuererleichterungen helfen können, diese Investition zu reduzieren, bleibt die finanzielle Anfangsbelastung ein großer Faktor bei der Entscheidung für oder gegen eine solche Anlage.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Anschaffung einer privaten Solaranlage ist die Amortisationszeit. Sie gibt an, wie lange es dauert, bis sich die Investition durch die eingesparten Stromkosten amortisiert hat. Die Amortisationszeit hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von der Größe der Anlage, der geografischen Lage und der Sonneneinstrahlung, der Höhe der Einspeisevergütung und der Entwicklung der Strompreise. In Deutschland liegt die Amortisationszeit typischerweise zwischen 9 und 15 Jahren [19]. Allerdings gibt es Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung der Energiepreise, was die Berechnungen komplexer macht.

Die Wirtschaftlichkeit privater Solaranlagen hängt auch stark von der Effizienz der verwendeten Solarmodule ab. Hochwertige Module können mehr Energie aus der gleichen Fläche gewinnen und sind langlebiger, was ihre Wirtschaftlichkeit erhöht. Neueste Entwicklungen auf dem Markt, wie bifaciale Module, die sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite Licht einfangen, können die Effizienz weiter steigern und damit die Amortisationszeit verkürzen. Allerdings sind solche fortgeschrittenen Technologien oft mit höheren Anschaffungskosten verbunden. [20]

Balkonkraftwerke, kleinere Solaranlagen für Mietwohnungen, sind für viele Mieter:innen eine kostengünstige Option, da sie in der Anschaffung zwischen 600 und 1.200 Euro kosten und einfach zu installieren sind. Trotz der geringeren Investitionskosten ist die Amortisationszeit dieser Anlagen aufgrund der begrenzten Leistung deutlich länger. Die Wirtschaftlichkeit hängt stark vom individuellen Stromverbrauch und der Sonneneinstrahlung ab, was die tatsächlichen Einsparungen beeinflusst. Gleichzeitig können Balkonkraftwerke, die eine Leistung von bis zu 800 Watt erreichen, insbesondere in kleinen Haushalten einen wichtigen Beitrag zur Deckung des Eigenverbrauchs leisten. Ihre Flexibilität, insbesondere durch die einfache Installation und den geringen Platzbedarf, macht sie vor allem in urbanen Gebieten attraktiv [21, 22].

Es besteht zwar die Möglichkeit, überschüssigen Strom ins öffentliche Netz einzuspeisen, allerdings ist die Einspeisevergütung mit ca. 8,2 Cent pro Kilowattstunde sehr gering. Zudem ist für die Einspeisung ein spezieller Stromzähler erforderlich und es müssen technische und administrative Anforderungen erfüllt werden, die oft in keinem Verhältnis zu den möglichen Einnahmen stehen. Für die meisten Nutzer:innen von Balkonkraftwerken ist es daher wirtschaftlich sinnvoller, den erzeugten Strom vollständig selbst zu verbrauchen, um direkt die Stromkosten zu senken und gleichzeitig einen persönlichen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Dazu bestehen Sicherheitsbedenken, insbesondere bei unsachgemäßer Installation, die zu Problemen führen könnten. Die wachsende

Beliebtheit von Balkonkraftwerken zeigt jedoch, dass viele Menschen bereit sind, in erneuerbare Energien zu investieren, auch wenn die finanziellen Vorteile nicht sofort ersichtlich sind [22, 21].

Grundsätzlich bieten private Solarstromprojekte, von großen Photovoltaikanlagen auf Hausdächern bis hin zu Balkonkraftwerken, eine vielversprechende Möglichkeit, einen aktiven Beitrag zur Energiewende zu leisten und langfristig die Energiekosten zu senken. Trotz hoher Anfangsinvestitionen und zum Teil langer Amortisationszeiten sind sie für viele Haushalte attraktiv, vor allem wegen der staatlichen Förderung und der steigenden Effizienz moderner Solarmodule. Die Entscheidung für eine solche Anlage sollte jedoch gut überlegt sein und sowohl finanzielle als auch technische Faktoren berücksichtigen, um den größtmöglichen Nutzen zu erzielen.

4.2.2. Industrielle Solarprojekte

Industrielle Solarprojekte wie der Solarpark Witznitz südlich von Leipzig demonstrieren die enorme Skalierbarkeit und den wirtschaftlichen Einfluss, den solche Anlagen erreichen können. Der Solarpark Witznitz, der auf einem ehemaligen Braunkohleabbaugebiet errichtet wurde, erstreckt sich über eine Fläche von ca. 700 Fußballfeldern und umfasst 1,1 Millionen Solarmodule mit einer Gesamtleistung von 605 Megawatt. Mit einem Investitionsvolumen von 500 Millionen Euro ist er einer der größten privatwirtschaftlichen Solarparks Europas und versorgt bis zu 360.000 Menschen mit Strom. Das Projekt zeigt, wie ehemalige Industrieflächen für nachhaltige Energieprojekte umgenutzt werden können und stellt damit eine sinnvolle Nutzung von Konversionsflächen dar. [23]

Trotz ihrer Größe und ihres potenziellen wirtschaftlichen Nutzens werfen Großprojekte wie der Solarpark Witznitz kritische Fragen nach Verteilungsgerechtigkeit und Partizipation auf. Der gesamte erzeugte Strom wurde bereits im Voraus an den Energiekonzern Shell verkauft, der ihn unter anderem an Microsoft weiterleitet, um dessen Rechenzentren zu versorgen. Während Shell damit sein Ziel verfolgt, bis 2050 CO₂-neutral zu wirtschaften, bleibt die lokale Bevölkerung, die in unmittelbarer Nähe des Solarparks lebt, außen vor und profitiert nicht direkt von der erzeugten Energie. Kritiker, darunter Vertreter:innen der lokalen Gemeinden, argumentieren, dass eine direkte Beteiligung der Anwohner:innen oder eine Senkung der lokalen Strompreise möglich gewesen wäre, um auch die lokale Bevölkerung an den Vorteilen der Energiewende teilhaben zu lassen. Zwar sollen die umliegenden Gemeinden durch erhöhte Gewerbesteuereinnahmen und Zahlungen an eine gemeinnützige Stiftung, die lokale Vereine unterstützt, von den Erträgen des Solarparks profitieren, doch werden diese Maßnahmen als unzureichend angesehen, um den Mangel an direkter Beteiligung und Zugang zu günstigem Strom auszugleichen. [23, 24]

4. Gesellschaftliche Herausforderungen

Ein weiteres Problem ist die intransparente Gewinnverteilung. Obwohl der sächsische Ministerpräsident Michael Kretschmer die Bedeutung des Projekts für die Region und die Energiewende lobte, bleibt unklar, warum nicht von Anfang an Maßnahmen zur direkten Beteiligung der Anwohner:innen ergriffen wurden. Es wird kritisiert, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen, die eine solche Beteiligung ermöglichen könnten, erst nach Projektbeginn geschaffen wurden. Dies wirft die Frage auf, inwieweit solche Großprojekte tatsächlich im Sinne der lokalen Bevölkerung umgesetzt werden. [24, 23]

Der Solarpark Witznitz wirft dazu auch wichtige Fragen der Umweltgerechtigkeit und Landnutzung auf. Während die Umwandlung eines ehemaligen Braunkohleabbaugebiets in einen Solarpark grundsätzlich positiv zu bewerten ist, muss sichergestellt werden, dass die ökologischen und sozialen Belange der lokalen Bevölkerung berücksichtigt werden. Es ist wichtig, dass solche Projekte nicht nur den wirtschaftlichen Interessen großer Konzerne dienen, sondern auch die Bedürfnisse und Rechte der Anwohner:innen berücksichtigen. Dies könnte durch neue Modelle der Bürgerbeteiligung und eine gerechte Verteilung der Gewinne erreicht werden, um die Akzeptanz solcher Projekte langfristig zu sichern und die Energiewende auf eine breitere Basis zu stellen.

Industrielle Solarprojekte wie der Solarpark Witznitz haben das Potenzial, einen wichtigen Beitrag zur Energiewende zu leisten, müssen aber auch sozial und ökologisch gerecht gestaltet werden. Nur durch eine ausgewogene Berücksichtigung aller Interessen können solche Projekte langfristig erfolgreich und gesellschaftlich akzeptiert sein.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt. *Erneuerbare Energien in Deutschland Daten zur Entwicklung im Jahr 2023*. Hrsg. von Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare. 2024. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2024_uba_hg_erneuerbareenergien_dt.pdf.
- [2] Felix Christian Matthes. „Energy transition in Germany: a case study on a policy-driven structural change of the energy system“. In: *Evolutionary and Institutional Economics Review* 14.1 (2017). PII: 66, S. 141–169. ISSN: 1349-4961. DOI: 10.1007/s40844-016-0066-x.
- [3] Harry Wirth. *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*. Hrsg. von Fraunhofer ISE. 3.4.2024. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/recent-facts-about-pv-in-germany.html> (besucht am 08.08.2024).
- [4] Markus Übel. *Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Thema des Tages - Die Sonne machte 2022 Überstunden - Endbilanz*. Hrsg. von DWD. DWD. 8/08/2024. URL: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2023/1/14.html (besucht am 08.08.2024).
- [5] Elliot Bailey. *Social Benefits of Solar Energy: Exploring the Positive Impact on Society*. 4/09/2023. URL: <https://solvoltaics.com/social-benefits-of-solar-energy/> (besucht am 08.08.2024).
- [6] Bundesnetzagentur. *Marktstammdatenregister*. Hrsg. von Bundesnetzagentur. Bundesnetzagentur. 23/08/2024. URL: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/ErweiterteOeffentlicheEinheitenubersicht> (besucht am 23.08.2024).
- [7] Forum Verlag Herkert. *Meldepflicht im Marktstammdatenregister (MaStR): Vorteile und Sanktionen für Betreiber*. 20/10/2024. URL: <https://www.forum-verlag.com/blog-es/registrierungspflicht-im-marktstammdatenregister> (besucht am 20.10.2024).
- [8] DWD. *Index of /climate_environment/CDC/grids_germany/monthly/radiation_direct*. Hrsg. von DWD. 23/08/2024. URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/monthly/radiation_direct/ (besucht am 23.08.2024).
- [9] Wetterdienst.de. *Die Entwicklung der Globalstrahlung - Wetterdienst.de*. 20/10/2024. URL: https://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Thema_des_Tages/5365/die-entwicklung-der-globalstrahlung (besucht am 20.10.2024).

- [10] Annett Püschel. *Das Strahlungsjahr 2022*. Hrsg. von DWD. 2023. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/download_strahlungsbericht_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=7#:~:text=Das%20Jahr%202022%20liegt%20152,um%20139%20kWh%2Fm2%20ab.
- [11] GeoNames. 27/08/2024. URL: <https://download.geonames.org/export/dump/> (besucht am 27.08.2024).
- [12] iteufel. *German Zip codes with coordinates and names*. 27/08/2024. URL: <https://gist.github.com/iteufel/af379872bbc3bf5261e2fd09b681ff7e> (besucht am 27.08.2024).
- [13] API — Open Data im Rhein-Kreis Neuss. 28/10/2024. URL: <https://opendata.rhein-kreis-neuss.de/api/explore/v2.1/console> (besucht am 28.10.2024).
- [14] KfW Group, Hrsg. *Germans show broad support for the expansion of renewable energy / KfW*. en. 7/08/2024. URL: https://www.kfw.de/About-KfW/Newsroom/Latest-News/News-Details_756353.html (besucht am 08.08.2024).
- [15] Johanna Wahl. „Sollten Solaranlagen auch auf Agrarland stehen?“ In: *tagesschau.de* (13. März 2024). URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/agrarflaechen-nutzung-anbau-nahrung-photovoltaik-100.html> (besucht am 09.08.2024).
- [16] Lorenz Storch Br. „Wie umweltschädlich sind Photovoltaik-Anlagen?“ In: *tagesschau.de* (26. Sep. 2021). URL: <https://www.tagesschau.de/wissen/technologie/photovoltaik-recycling-101.html>.
- [17] Eva Seipel. „Solarparks: Die überraschenden Helfer der Biodiversität“. In: *Utopia GmbH* (16. Jan. 2022). URL: https://utopia.de/ratgeber/solarparks-die-ueberraschenden-helfer-der-biodiversitaet_282384/ (besucht am 09.08.2024).
- [18] Wegatech. *Photovoltaik Kosten: Was kostet eine Photovoltaikanlage?* 15/08/2024. URL: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/kosten-und-wirtschaftlichkeit/photovoltaikanlagen/> (besucht am 18.08.2024).
- [19] Wegatech. *Photovoltaik Amortisation beim Anlagenkauf* / Wegatech. 15/08/2024. URL: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/kosten-und-wirtschaftlichkeit/amortisation/> (besucht am 18.08.2024).
- [20] Solarenergie.de. *Bifaziale PV-Module: effektiv und leistungsstark*. 18/08/2024. URL: <https://solarenergie.de/solarmodule/arten/bifaziale-module> (besucht am 18.08.2024).
- [21] Finanzfluss. *Balkonkraftwerk: Geld & CO₂ sparen – Wie rentabel ist das wirklich?* 8/04/2024. URL: <https://www.finanzfluss.de/blog/balkonkraftwerk/> (besucht am 18.08.2024).

- [22] NDR. „Balkonkraftwerk: Was kostet es und lohnt sich die Mini-Solaranlage?“ In: *NDR* (14. Mai 2024). URL: <https://www.ndr.de/ratgeber/verbraucher/Balkonkraftwerk-Lohnt-sich-die-Mini-Solaranlage-und-was-kostet-sie,solaranlagen108.html> (besucht am 18.08.2024).
- [23] Pierre Gehmlich. „Witznitz: Welche Umweltfolgen hat der riesige Solarpark?“ In: *MDR* (10. Feb. 2024). URL: <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen/leipzig/leipzig-leipzig-land/solar-park-witznitz-folgen-umwelt-tiere-100.html> (besucht am 09.08.2024).
- [24] Pv Magazine. *Grüner Strom aus Sachsen: Europas größter Solarpark wurde eröffnet.* 2024. URL: <https://www.pv-magazine.de/unternehmensmeldungen/gruener-strom-aus-sachsen-europas-groesster-solarpark-wurde-eroeffnet/> (besucht am 18.08.2024).