



Hochschule Karlsruhe  
Technik und Wirtschaft  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



# Bachelorthesis

im Studiengang „Kartographie und Geomatik“

Erstellung eines GIS-basierten landesweiten Solarkatasters  
für Freilandflächen in Baden-Württemberg  
und Durchführung einer Solarpotenzialanalyse

von:  
Michael Oßwald  
Matrikelnummer: (30055)

Februar 2013





**Themenblatt der Bachelorthesis**  
für Michael Oßwald

**Thema:**

Erstellung eines GIS-basierten landesweiten Solarkatasters für Freilandflächen in Baden-Württemberg und Durchführung einer Solarpotenzialanalyse

**Ausgangslage:**

Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft hat die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) beauftragt, einen „Potenzialatlas Erneuerbare Energien für Baden-Württemberg“ zu erstellen.

Neben den Themenbereichen Wasser- und Windkraft soll auch ein landesweites Solar- und Freilandflächenkataster für Photovoltaik bereitgestellt werden, wodurch interessierte Bürger und Kommunen Aufschluss darüber erhalten, welche Frei- und Dachflächen zur Installation von Photovoltaikanlagen geeignet sind.

Auf Grund der bestehenden Datengrundlagen der LUBW sollen zunächst Kriterien für Freiflächen erarbeitet werden, über welche dann die entsprechenden Gebiete aus der Datengrundlage selektiert werden können, um diese dann mit dem Amtlichen Liegenschaftskataster (ALK) zu verschneiden.

Des Weiteren soll am Ende ein Wirtschaftlichkeitsrechner in der Visualisierung vorhanden sein. Für die Ergebnisdarstellung selbst ist eine Visualisierung mittels der Software „map.apps“ der Firma con terra geplant.

**Zu bearbeitende Punkte:**

- Erläuterung der Grundlagen der Photovoltaiktechnologie
- Analyse bereits bestehender Projekten zu Potenzialanalysen
- Überblick über Softwarearchitektur und Datengrundlagen der LUBW
- Definition der Kriterien für Freilandflächen
- Ermittlung von Potenzialflächen anhand von drei Beispielgemeinden
- Verschneidung der Potenzialflächen mit der amtlichen Liegenschaftskarte (ALK)
- Einbindung in den Potenzialatlas Erneuerbare Energien der LUBW
- Erstellung eines Wirtschaftlichkeitsrechners für Freilandflächen

Bearbeitungszeit: 3 Monate

---

Prof. Dr. Detlef Günther-Diringer  
(betreuender Hochschulprofessor, 1. Prüfer)

Ausgabe der Bachelorarbeit: 15.11.2012

Abgabe der Bachelorarbeit: 15.02.2013

---

Dipl.-Agrarbiologe Manfred Müller  
(betreuender Mitarbeiter der LUBW, 2. Prüfer)

---

---

## Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe. Sämtliche aus anderen Quellen und Hilfsmittel entnommenen Informationen sind auch als solche kenntlich gemacht.

Karlsruhe, den 15. Februar 2013

Michael Oßwald

## Danksagung

Hier möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Detlef Günther-Diringer (Hochschule Karlsruhe) und Herrn Biologiedirektor Manfred Müller (LUBW) für die Betreuung dieser Arbeit sowie Thomas Beck von der Firma Smart Geomatics für dessen fachliche Unterstützung bedanken. Auch möchte ich den Mitarbeitern des Referats 53.2 der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, insbesondere allen Mitarbeitern des Projektes „Potenzialatlas Erneuerbare Energien“, für ihre Geduld und Kollegialität meinen Dank für die tatkräftige und sowohl fachliche als auch technische Unterstützung dieser Arbeit ausdrücken.

Besonderer Dank gilt meiner Familie, die mir das Studium ermöglicht und mich in jeder Situation unterstützt hat.



# Inhaltsverzeichnis

|   |      |
|---|------|
| Erklärung. . . . .  | III  |
| Danksagung. . . . .   | III  |
| Abbildungsverzeichnis. . . . .                                      | VII  |
| Tabellenverzeichnis. . . . .  | VIII |
| Abkürzungsverzeichnis. . . . .                                      | IX   |
| <br>  |      |
| 1 Einleitung. . . . .   | 1    |
| 1.1 Motivation und Zielsetzung. . . . .                             | 1    |
| 1.2 Methodik. . . . .   | 2    |
| <br>  |      |
| 2 Grundlagen der Solarenergie. . . . .                              | 3    |
| 2.1 Definition. . . . .   | 3    |
| 2.2 Vor- und Nachteile. . . . .                                     | 4    |
| 2.3 Solarthermie . . . . .  | 6    |
| 2.3.1 Definition. . . . .   | 6    |
| 2.4 Photovoltaik. . . . .   | 7    |
| 2.4.1 Definition. . . . .   | 7    |
| 2.4.2 Technische Grundlagen. . . . .                                | 8    |
| <br>  |      |
| 3 Betrachtung schon bestehender Projekte. . . . .                   | 11   |
| 3.1 Solare Effizienz auf Hausdächern (LUBW). . . . .                | 11   |
| 3.2 Solarpotenzial-Analyse (IP SYSCON). . . . .                     | 12   |
| 3.3 Hessisches Solarkataster Informationssystem . . . . .           | 13   |
| 3.4 PV-GIS. . . . .   | 14   |
| <br>  |      |
| 4 Einbindung in den Potenzialatlas Erneuerbare Energien. . . . .    | 17   |
| 4.1 Definition des „Erneuerbare Energien Atlas“-Projektes. . . . .  | 17   |
| 4.2 Datenbankmodell. . . . .  | 17   |
| 4.3 Visualisierung und Veröffentlichung. . . . .                    | 19   |
| <br>  |      |
| 5 Technik- und Datengrundlagen. . . . .                             | 21   |
| 5.1 LUBW. . . . .   | 21   |
| 5.1.1 ArcGIS. . . . .   | 21   |
| 5.1.2 Digitales Geländemodell. . . . .                              | 22   |
| 5.1.3 Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK). . . . .              | 23   |
| 5.1.4 Umweltinformationssystem (UIS BW). . . . .                    | 23   |
| 5.1.5 Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS). . . . .   | 25   |
| 5.2 Smart Geomatics. . . . .  | 27   |
| 5.2.1 Ermittlung und Berechnung der nutzbaren Einstrahlung. . . . . | 27   |
| 5.3 Mögliche Visualisierungswerkzeuge. . . . .                      | 28   |
| 5.3.1 Silverlight. . . . .  | 28   |
| 5.3.2 OpenLayers. . . . .   | 29   |
| 5.3.3 Map apps. . . . .   | 30   |
| <br>  |      |
| 6 Ermittlung des Solarpotenzials. . . . .                           | 31   |
| 6.1 Auswahl der Testgemeinde . . . . .                              | 31   |
| 6.1.1 Friesenheim. . . . .  | 32   |
| 6.1.2 Münstertal / Schwarzwald. . . . .                             | 33   |
| 6.1.3 Schöntal. . . . .   | 34   |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.2   | Ausschluss- und Potenzialkriterien. . . . .                         | 35 |
| 6.2.1 | Gesetzliche Vorgaben. . . . .                                       | 35 |
| 6.2.2 | Freiflächenkriterien. . . . .                                       | 36 |
| 6.2.3 | Vergleich Datenbankbestand - Kriterien. . . . .                     | 39 |
| 6.3   | ArcGIS-Werkzeuge. . . . .   | 47 |
| 6.3.1 | Analysis Toolbox. . . . .   | 47 |
| 6.3.2 | Cartography Toolbox. . . . .  | 49 |
| 6.3.3 | Conversion Toolbox. . . . .   | 49 |
| 6.3.4 | Data Management Toolbox. . . . .                                    | 49 |
| 6.3.5 | Spatial Analyst Toolbox. . . . .                                    | 51 |
| 6.4   | Durchführung und Ergebnisse. . . . .                                | 54 |
| 6.4.1 | Klassifizierung der Grundlagendaten. . . . .                        | 54 |
| 6.4.2 | Verschneidung mit geeigneten und nicht geeigneten Gebieten. . . . . | 56 |
| 6.4.3 | Erstellung der Strahlungsraster und Potenzialberechnung. . . . .    | 65 |
| 6.4.4 | Klassifizierung von Potenzialklassen. . . . .                       | 67 |
| 7     | Erstellung des Solarkatasters. . . . .                              | 69 |
| 7.1   | Verschneidung mit der ALK und gemeindeweise Darstellung. . . . .    | 69 |
| 7.2   | Ergebnis: Solarkataster. . . . .                                    | 70 |
| 8     | Visualisierung der Ergebnisse. . . . .                              | 73 |
| 8.1   | Raumbezogene Darstellung auf Basis von Map apps. . . . .            | 73 |
| 8.2   | Wirtschaftlichkeitsrechner. . . . .                                 | 75 |
| 9     | Zusammenfassung und Ausblick. . . . .                               | 77 |
| 9.1   | Zusammenfassung der Arbeit. . . . .                                 | 77 |
| 9.2   | Blick in die Zukunft. . . . .                                       | 78 |
| 10    | Literaturverzeichnis. . . . .                                       | 79 |
| 11    | Anhang. . . . .   | 83 |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abb. 1: Kupferstich auf dem Titelblatt des Thesaurus opticus. . . . .                              | 3  |
| Abb. 2: In Dachziegel integrierte Solarzellen (Schema). . . . .                                    | 5  |
| Abb. 3: Als Dachziegel verwendete Solarzellen. . . . .   | 6  |
| Abb. 4: Antikes Glasgefäß - Erwärmung durch umgelenkte Sonneneinstrahlung. . . . .                 | 6  |
| Abb. 5: Schematische Funktionsdarstellung einer thermischen Solaranlage. . . . .                   | 7  |
| Abb. 6: Schematische Funktionsdarstellung einer Photovoltaikanlage. . . . .                        | 8  |
| Abb. 7: Schematische Darstellung einer Silicium-Solarzelle. . . . .                                | 9  |
| Abb. 8: Solare Effizienz auf Hausdächern - Ausschnitt Hochschule Karlsruhe. . . . .                | 11 |
| Abb. 9: Solarpotenzial auf Hausdächern - Ausschnitt Bahnhofplatz Frankfurt (Oder). . . . .         | 12 |
| Abb. 10: Solarpotenzial auf Hausdächern - Ausschnitt Osthafen Frankfurt am Main. . . . .           | 13 |
| Abb. 11: Benutzeroberfläche PV-GIS. . . . .  | 14 |
| Abb. 12: Ergebnis der Berechnung des Solarpotenzials mittels PV-GIS. . . . .                       | 15 |
| Abb. 13: Datenbankmodell des Potenzialatlas-Projektes. . . . .                                     | 18 |
| Abb. 14: Unterschied zwischen DOM und DGM. . . . .   | 22 |
| Abb. 15: Digitales Geländemodell der Gemeinde Friesenheim. . . . .                                 | 22 |
| Abb. 16: ALK-Ausschnitt der Gemeinde Friesenheim. . . . .  | 23 |
| Abb. 17: Übersicht über das UIS BW. . . . .  | 24 |
| Abb. 18: Übersicht über das RIPS. . . . .  | 26 |
| Abb. 19: Darstellung des Radwegenetzes der LUBW mittels Silverlight . . . . .                      | 28 |
| Abb. 20: Mapapps . . . . .   | 30 |
| Abb. 21: Wappen der Gemeinde Friesenheim. . . . .  | 32 |
| Abb. 22: Gemeindegebiet Friesenheim, Schummerung. . . . .  | 32 |
| Abb. 23: Wappen der Gemeinde Münstertal/Schwarzwald. . . . .                                       | 33 |
| Abb. 24: Gemeindegebiet Münstertal/Schwarzwald, Schummerung . . . . .                              | 33 |
| Abb. 25: Wappen der Gemeinde Schöntal. . . . .   | 34 |
| Abb. 26: Gemeindegebiet Schöntal, Schummerung. . . . .   | 34 |
| Abb. 27: Funktionsweise Clip-Tool. . . . .   | 47 |
| Abb. 28: Funktionsweise Split-Tool . . . . .   | 47 |
| Abb. 29: Funktionsweise Erase-Tool . . . . .   | 48 |
| Abb. 30: Funktionsweise Buffer-Tool. . . . .   | 48 |
| Abb. 31: Funktionsweise Aggregate Polygon-Tool. . . . .  | 49 |
| Abb. 32: Funktionsweise Multipart to Singlepart-Tool . . . . .                                     | 50 |
| Abb. 33: Funktionsweise Merge-Tool . . . . .   | 50 |
| Abb. 34: Funktionsweise Dissolve-Tool. . . . .   | 51 |
| Abb. 35: Funktionsweise Raster Calculator. . . . .   | 52 |
| Abb. 36: Beispieleinstellungen des Area Solar Radiation-Tools . . . . .                            | 53 |
| Abb. 37: Suchraum entlang der Autobahn 5 in Friesenheim . . . . .                                  | 54 |
| Abb. 38: Suchraum entlang einer Schienenstrecke in Friesenheim . . . . .                           | 55 |
| Abb. 39: Suchraum auf Altlastflächen (links) und Deponien (rechts). . . . .                        | 55 |
| Abb. 40: Suchraum auf Flächen mit einer Ackerzahl kleiner 30 in Münstertal. . . . .                | 56 |
| Abb. 41: Model zur Verschneidung einzelner Vektordatensätze . . . . .                              | 56 |
| Abb. 42: Ablauf zur Verschneidung einzelner Vektordatensätze in ArcMap nach Methode Nr. 1. . . . . | 57 |
| Abb. 43: Model zur Verschneidung der Oberbegriffe mit den Suchräumen. . . . .                      | 57 |
| Abb. 44: Ablauf zur Verschneidung einzelner Vektordatensätze in ArcMap nach Methode Nr. 2. . . . . | 58 |
| Abb. 45: Verschneidung der Negativflächen mit den Suchräumen nach Methode Nr. 3 . . . . .          | 59 |
| Abb. 46: Vorhandene Suchräume in Friesenheim. . . . .  | 61 |
| Abb. 47: Vorhandene theoretisch nutzbare Flächen in Friesenheim. . . . .                           | 61 |
| Abb. 48: Vorhandene Suchräume in Münstertal . . . . .  | 62 |
| Abb. 49: Vorhandene theoretisch nutzbare Flächen in Münstertal. . . . .                            | 63 |
| Abb. 50: Vorhandene Suchräume in Schöntal . . . . .  | 64 |
| Abb. 51: Vorhandene theoretisch nutzbare Flächen in Schöntal. . . . .                              | 64 |

|  |    |
|--|----|
| Abb. 52: Model zur Umwandlung von durch „Zonal Statistics“ erstellten Rastern . . . . .            | 66 |
| Abb. 53: Ermittlung der solaren Einstrahlung und Zuweisung der theoretisch nutzbaren Flächen . . . | 67 |
| Abb. 54: Potenzialflächen innerhalb und über mehrere Flurstücke erstreckt. . . . .                 | 69 |
| Abb. 55: Potenzialfläche mit solarpotenzialanalytischen Ergebnissen. . . . .                       | 70 |
| Abb. 56: Solarkataster-Übersicht für die Gemeinde Friesenheim. . . . .                             | 71 |
| Abb. 57: Solarkataster-Übersicht für die Gemeinde Münstertal. . . . .                              | 71 |
| Abb. 58: Solarkataster-Übersicht für die Gemeinde Schöntal. . . . .                                | 72 |
| Abb. 59: Konfigurationseinstellungen. . . . .  | 73 |
| Abb. 60: Webanwendung Potenzialatlas Erneuerbare Energien der LUBW. . . . .                        | 74 |
| Abb. 61: Wirtschaftlichkeitsrechner für Dachflächen der LUBW. . . . .                              | 75 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Ermittelte Freiflächenkriterien (Detaildarstellung). . . . .                                       | 39 |
| Tabelle 2: Vergleich der ermittelten Kriterien mit Datenbestand der LUBW . . . . .                            | 46 |
| Tabelle 3: Landesweite Übersicht über Anteile an theoretisch nutzbaren und auszuschließenden Flächen. . . . . | 60 |
| Tabelle 4: Übersicht über Flächenanteile innerhalb der Gemeinde Friesenheim. . . . .                          | 60 |
| Tabelle 5: Übersicht über Flächenanteile innerhalb der Gemeinde Münstertal. . . . .                           | 62 |
| Tabelle 6: Übersicht über Flächenanteile innerhalb der Gemeinde Schöntal. . . . .                             | 63 |
| Tabelle 7: Übersicht Solarpotenzial der Gemeinde Friesenheim. . . . .   | 67 |
| Tabelle 8: Übersicht Solarpotenzial der Gemeinde Münstertal. . . . .  | 67 |
| Tabelle 9: Übersicht Solarpotenzial der Gemeinde Schöntal. . . . .  | 67 |

## Abkürzungsverzeichnis

|          |   |   |
|----------|---|---|
| ALB      | - | Automatisiertes Liegenschaftsbuch                                     |
| ALK      | - | Automatisierte Liegenschaftskarte                                     |
| CAFM     | - | Computer-Aided Facility Management                                    |
| DGM      | - | Digitales Geländemodell   |
| DOM      | - | Digitales Oberflächenmodell   |
| EEG      | - | Erneuerbare Energien Gesetz   |
| FGDB     | - | File Geodatabase  |
| GIS      | - | Geographisches Informationssystem                                     |
| KWp      | - | Kilowatt Peak   |
| LEisenbG | - | Landeseisenbahngesetz   |
| LGL BW   | - | Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg    |
| LUBW     | - | Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg |
| MWh/a    | - | Megawattstunden pro Jahr  |
| PV/FV    | - | Photovoltaik/Fotovoltaik  |
| PV GIS   | - | Photovoltaic Geographical Information System                          |
| RIPS     | - | Räumliches Informations- und Planungssystem                           |
| UDO      | - | Umwelt-Daten und -Karten Online                                       |
| UIS BW   | - | Umweltinformationssystem Baden Württemberg                            |
| UM       | - | Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft                   |

---

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Zielsetzung

Der Klimawandel schreitet langsam, aber unaufhörlich voran. Doch obwohl sich die Mehrheit der Klimaforscher einig ist, dass der Mensch für den überwiegenden Anteil der Entstehung und des Voranschreitens des Klimawandels verantwortlich ist, ist es doch auch dieser Mensch, der mit seinem nachhaltigem Denken und Handeln diesem Wandel Einhalt gebieten könnte. Die Folgen eines ungehinderten Anstieges der Erdtemperatur wären schließlich fatal: Schmelzende Gletscher, ansteigende Meeresspiegel, stärkere und/oder häufigere Wetterextreme (z.B. Dürren), sowie die daraus resultierenden Ausbreitungen von Seuchen und Parasiten.

Mit dem Loslassen fossiler Energiequellen und der Umstellung auf eine regenerative und nachhaltige Energieversorgung könnte diesem unheilvollen Wandel in vielerlei Hinsicht entgegengetreten werden: Nicht nur könnten Unmengen an CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden, auch bestünde eine gewisse Unabhängigkeit, da potenzielle Wasser-, Wind- und Solarenergie nahezu unendlich verfügbar sind.

Schon im Jahr 2008 zeigte das Bundesumweltministerium (BMU) in einer Leitstudie auf, dass die Stromversorgung in Deutschland bereits 2020 zu knapp einem Drittel aus regenerativen Energien bestehen könnte. Auch andere Institutionen wie das Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) oder das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) sind der Ansicht, dass bis zum Jahr 2050 die Energieversorgung in Deutschland vollständig durch erneuerbare Energien gedeckt sein kann, ohne dass sich dies gleichzeitig belastend auf die Wirtschaft auswirken würde.

Jedoch ist das technische Potenzial zur Nutzung regenerativer Energien bei Weitem noch nicht genutzt, wie der Potenzialatlas der Agentur für Erneuerbare Energien aus dem Jahr 2010 zeigt. Nur etwa 0,005% der Landesfläche (etwa 1700 Hektar) werden derzeit mit Solarparks auf Freilandflächen im Hinblick auf die Energiewende genutzt [WIKI\_1].

Im Juli 2012 hat das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM) die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) beauftragt, einen „Potenzialatlas Erneuerbare Energien für Baden-Württemberg“ zu erstellen. Dies soll die einzelnen Kommunen beim Ausbau der regenerativen Energien unterstützen, indem auf leicht zugängliche Weise unter anderem der Bestand und das Potenzial für eine jede Gemeinde abrufbar sein sollen, wie Umweltminister Franz Untersteller am 4. Juli 2012 in Stuttgart verkündete [UM\_1]. In diesem Potenzialatlas sollen landesweite, gemeindeweise sowie detaillierte Ansichten über Bestand und Potenzial bezüglich der verschiedenen Arten der regenerativen Energiegewinnung dargestellt werden. So sollen zum Beispiel ein landesweites Solar- und Freiflächenkataster für Photovoltaik sowie die laufenden Untersuchungen zur Nutzung der Windkraft in einem „Suchraumkataster“ erfasst und im Internet bereitgestellt werden.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, für den Potenzialatlas Erneuerbare Energien die für den Ausbau von PV-Freilandanlagen erforderlichen Kriterien zu erarbeiten, die theoretisch nutzbaren Flächen durch GIS-technische Operationen zu ermitteln, für diese Flächen Eigenschaften wie Nennleistung, Jahresertrag, CO<sub>2</sub>-Reduktion etc. zu bestimmen sowie die Einbindung in die Internetanwendung „Potenzialatlas Erneuerbare Energien für Baden-Württemberg“ zu beschreiben. Weiterhin sollen die Grundlagen der Photovoltaiktechnologie erläutert werden und zum Schluss ein zukunftsweisender Ausblick gegeben werden.

Das Ergebnis wird mit einer schriftlichen Ausarbeitung dokumentiert und im Rahmen eines Kolloquiums präsentiert.

## 1.2 Methodik

Die grundlegenden Gedanken bei der Erstellung des Solarkatasters sollten die selben Gedanken wie bei jeder anderen Arbeit auch sein:

Was ist das Ziel dieser Arbeit?

Wie kann dieses Ziel erreicht werden?

Welche Dinge werden für dieses Vorhaben benötigt?

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung einer landesweiten Darstellung von Flächen, welche in photovoltaischer Hinsicht zur Erzeugung erneuerbarer Energien genutzt werden können. Dabei sollen einerseits die potenziell nutzbaren Flächen als solche sowie die dazugehörigen Flurstücke der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) als Ergebnisdatensätze vorliegen.

Um dieses Ziel zu erreichen, muss erarbeitet werden, welche Flächen als potenziell nutzbar in Frage kommen und welche Flächen als Ausschlusskriterium gezählt werden. Sogenannte Suchräume müssen also definiert und erstellt werden. Sind diese vorhanden, so ist in Bezug auf die Ausschlussflächen die Suche nach eventuellen Einschränkungen der Suchräume der nächste Schritt. Hierbei empfiehlt es sich, einerseits nach schon bestehenden Projekten dieser Art und andererseits nach Gesetzesvorgaben zur allgemeinen Bebauung im Hinblick auf die definierten Suchräume zu recherchieren. Die Darstellung dieser Ergebnisse können der Übersicht und Handhabung wegen am besten in tabellarischer Form zusammengefasst werden, wodurch der sogenannte Kriterienkatalog für Freiflächen entsteht.

Sind die Kriterien erstellt, so ist zu prüfen, welche dieser Themen in der Datenbank der LUBW auch tatsächlich als Datensätze vorliegen. Werden im Datenbankbestand Datensätze gefunden, die vorher noch nicht im Kriterienkatalog definiert wurden, so werden diese nachträglich in den Katalog mit aufgenommen. Sofern die Daten aufbereitet werden müssen, ist dies vor der GIS-technischen Verschneidung vorzunehmen. Im Hinblick auf Freiflächen müssen hauptsächlich Abstandspuffer erstellt werden, die zu bestimmten Gebieten oder Gebäuden eingehalten werden müssen.

Wenn alle benötigten Datensätze vorbereitet sind, müssen die Negativflächen von den Suchräumen subtrahiert werden. Das danach noch bestehende Ergebnis stellt die theoretisch nutzbaren Flächen dar, welche von keinerlei Einschränkungen betroffen sind.

Nach der Berechnung der nutzbaren Flächen werden mittels weiterer GIS-technischer Operationen die Werte der einfallenden Solarstrahlung ermittelt, um diese dann in Eignungsklassen zu klassifizieren. Eine anschließende räumliche Verschneidung mit der ALK soll die einzelnen Flurstücke, welche mit den theoretisch nutzbaren Flächen lagegleich sind, selektieren und in einem eigenen Datensatz speichern.

Das somit erstellte Solarkataster soll dann über eine ausgewählte Webanwendung und als Teil des „Potentialatlas Erneuerbare Energien für Baden-Württemberg“ im Internet veröffentlicht werden.

## 2 Grundlagen der Solarenergie

### 2.1 Definition

Der Ausdruck Solarenergie (oder Sonnenenergie) bezeichnet allgemein die von der Sonnenstrahlung ausgehende Energie, welche durch eine entsprechende Umwandlung als elektrischer Strom, Wärme oder chemische Energie für den Menschen nutzbar gemacht werden kann. Die Sonne selbst gilt mit einer von der Erde jährlich empfangenen Energiemenge von etwa  $1,5 \cdot 10^{18}$  kWh als der größte Lieferant regenerativer Energien, obwohl dies nur ein Bruchteil der Menge an Energie ist, welche die Sonne insgesamt von sich gibt. Dennoch entspricht allein diese Energiemenge schon mehr als dem 10.000 fachen des Weltenergiebedarfes ( $1,4 \cdot 10^{14}$  kWh im Jahr 2010) [WIKI\_2].

Diese Art der Energie nutzen zu wollen ist kein neuzeitlicher Gedankengang. Schon in die Zeit um 1500 v. Chr. wurden von den Ägyptern transparente Glasgefäße hergestellt, die aufgrund ihrer Opazität die Sonnenstrahlen durchließen, woraufhin der Inhalt erwärmt wurde. Auch die Verwendung von Spiegeln zum Konzentrieren von Brennstrahlen findet in der Antike bereits in den Schriften von Plutarch (45-125) Erwähnung. So sollen konzentrierte Sonnenstrahlen dazu gedient haben, dass heilige Feuer der Göttin Veta wieder zu entfachen, wenn es einmal ausgegangen sein sollte. Eine der ersten wissenschaftlichen Abhandlungen zu diesem Thema verfasste der griechische Mathematiker Euklid um 300 v. Chr. mit seiner Schrift über die Optik und die darin enthaltene Theorie der sphärischen Spiegel [SOL\_1]. Weiterhin berichten Überlieferungen davon, wie mittels Brennsiegeln von Archimedes von Syrakus die Segel von feindlichen Flotten in Brand gesetzt haben soll (s. Abb.1) [WIKI\_3].



Abb. 1: Kupferstich auf dem Titelblatt des Thesaurus opticus  
Quelle: [WIKI\_3]

Die Grundsteine für die heutigen wissenschaftlichen Forschungen im Bereich der Solarenergie wurden allerdings erst Jahrhundert später im 18. Jahrhundert von Wissenschaftlern wie H.B. de Saussure und A.B. Mouchot gelegt. Aufgrund der Erfindung des Autos und dem damit extrem gestiegenen Bedarf an Erdöl wurde die Weiterentwicklung der Solarenergie jedoch Ende des 19. Jahrhunderts mehr und mehr vernachlässigt. Auch nach der ersten Ölkrise 1973 musste sich die Solarenergie vorerst geschlagen geben, da das Bewusstsein für regenerative Energien zwar gewachsen war, der Fokus aber immer mehr verstärkt auf der Entwicklung der Kernenergie lag [SOL\_1].

Nach Nuklearkatastrophen wie in Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) hingegen wuchs in der Bevölkerung weltweit das Interesse an alternativen Energiequellen, wodurch neben Windkraft, Wasserkraft und der Energiegewinnung durch Biomasse und Geothermie auch wieder die Entwicklung der Nutzung von Solarenergie voran schreitet.

## 2.2 Vor- und Nachteile

### Vorteile:

Der bedeutendste Vorteil der Solarenergie ist wohl der, dass eine Solaranlage zur Umwandlung in nutzbaren Strom lediglich die einfallende Sonnenstrahlung benötigt. Diese wird jede Sekunde durchgehend und kostenfrei von der Sonne der Erde zur Verfügung gestellt. Zwar wird dies nicht für immer der Fall sein, jedoch liegt das Erlöschen der Sonnenenergie (und das damit verbundene Ende dieser Energiezufuhr) in einer, der menschlichen Vorstellungskraft übersteigenden, so weit entfernten Zukunft, dass diese Energiequelle heutzutage als unerschöpfliches Maß geltend gemacht werden kann. Aufgrund dieser Tatsache wird die Stromgewinnung durch Solarenergie auch zu den **regenerativen** Energien gezählt.

Da bei der Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie weder Lärm noch CO<sub>2</sub>-Emissionen, die die Menschen, die Umwelt oder das Klima belasten können, entstehen, ist diese Art der Energiegewinnung auch gleichzeitig als sehr **umweltfreundlich** anzusehen. Durch verstärkten Einsatz ist es sogar möglich, schon bestehende Umweltproblematiken und -risiken einzuschränken.

Des Weiteren steigt durch die Erzeugung von Solarstrom die **Unabhängigkeit** der einzelnen Verbraucher gegenüber den großen Netzbetreibern wie z.B. Amprion oder TransnetBW in Deutschland. So sind im Falle einer im Besitz befindlichen Solaranlage zum Einen keine langen Transportwege mehr vom Kraftwerk bis zum Verbraucher vorhanden, bei denen durch den Transport als solchen schon Energie verbraucht wird, und zum Anderen müssen, durch die Stabilität kleinerer Energiequellen bedingt, keine großen Reservekapazitäten bei einem eintretenden Stromausfall bereitgehalten werden.

Die Installation einer Solaranlage auf dem eigenen Hausdach ist prinzipiell für jedermann machbar, da hierfür keine amtliche Genehmigung erforderlich ist. Eine Ausnahme bilden hierbei historische und denkmalgeschützte Gebäude, da hier das optische Erscheinungsbild des Gebäudes mit berücksichtigt werden muss. Gleichzeitig ist man in den Anwendungsmöglichkeiten nicht beschränkt: So können Solaranlagen sowohl im Sinne der **Photovoltaik** (Stromerzeugung durch Lichtenergie) als auch **Solarthermie** (Wärmegewinnung durch Lichtenergie) betrieben werden [WIKI\_4].

Von Vorteil ist weiterhin, dass Reinigungs- und Wartungsaufwand **eher gering** sind. Auch beläuft sich die Garantie vieler Hersteller im Durchschnitt auf ca. 20 Jahre [SOL\_2].

Auch können die Module im Falle von PV-Freilandanlagen aufgrund ihrer Aufständigung im optimalen Winkel zur Sonneneinstrahlung ausgerichtet werden und bieten hier im Gegensatz zu auf Dächern installierten Solarmodulen eine herausragende Flexibilität. Auch ist eine Zweitnutzung wie z.B. Beweidung möglich, da der Boden durch die Aufständigungen nicht versiegelt wird (siehe Klärle et al., S. 277).

### Nachteile:

Grundsätzlicher Nachteil für die Installation einer Solaranlage sind die für Solarzellen und komplette PV-Anlagen anfallenden noch sehr hohe Kosten, die potenzielle Investoren und Interessenten von vorneherein schon abschrecken können. Zu beachten sind neben den reinen Materialkosten (Solarmodule, Wechselrichter, andere Komponenten) auch die Montage- und Betriebskosten [WIKI\_5].

Als Beispiel dient hier eine Solaranlage für ein Einfamilienhaus, welches etwa 4000 Kilowattstunden Strom pro Jahr benötigt [SOL\_3]:

- Kosten für Module: Im Durchschnitt zwischen 1,46 und 2,09 Euro pro Watt Peak  
=> insgesamt zwischen 5.840 und 8.360 Euro
- Kosten für Wechselrichter: 2000 Euro
- Kosten für sonstige Bauteile: ca. 10% der Gesamtkosten
- Montagekosten: Pro installiertem Kilowatt Peak (kWp) zwischen 120 und 180 Euro  
=> insgesamt zwischen 480 und 720 Euro + Planungs- und Dokumentationskosten
- Laufende Kosten: Gering. Etwa 2 Prozent der Anschaffungskosten  
=> insgesamt zwischen 240 und 280 Euro.

Die Kosten einer Photovoltaikanlage für ein typisches Einfamilienhaus können somit durchschnittlich zwischen 12.000 und 14.000 Euro liegen.

Obwohl die Stromerzeugung aus Solaranlagen wie erläutert ein sehr umweltfreundliches Verfahren ist werden zum Bau von Solarzellen viele Chemikalien und andere umweltschädigende Materialien wie z.B. toxisches oder karzinogenes Cadmium, Arsen bzw. deren Verbindungen und Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid verwendet. Daraus resultieren unter anderem ein hoher Aufwand bezüglich des Arbeitsschutzes bei der Herstellung von Solarmodulen sowie bei der Entsorgung alter Solarmodule [SOL\_4].

Auch sind Solaranlagen den unterschiedlichen Wetterbedingungen und Jahreszeiten unterworfen. So ist die Sonneneinstrahlung nicht in konstantem Maße gegeben, da immer mit einem gewissen Unterschied zwischen Zeiträumen mit mehr und weniger Sonnentagen zu rechnen ist.

Aufgrund des heutigen Entwicklungsstandes ist es auch leider noch nicht möglich, die gesamte von der Sonne aus einfallende Strahlung nutzbar zu machen. Der Wirkungsgrad, welcher das Verhältnis zwischen der abgegebenen elektrischen Leistung und der eingestrahnten Leistung darstellt, befindet sich aber trotz dieser Tatsache in steter Weiterentwicklung: So erreichten Solarmodule in den 80er-Jahren einen Wirkungsgrad von etwa 8 Prozent, während er heute im Durchschnitt bei etwa 13-14 Prozent liegt. Somit kann man von einer fortlaufenden Entschärfung dieses Nachteiles ausgehen [WIKI\_6].

Zu erwähnen ist noch, dass eine auf dem Dach installierte Solaranlage auch rein optisch wohl nicht jedermanns Sache ist. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit, die Solarmodule direkt in die einzelnen Dachziegel integrieren zu lassen [SOL\_5], was auch diesen Punkt zu einem eher geringen Nachteil verkommen lässt.

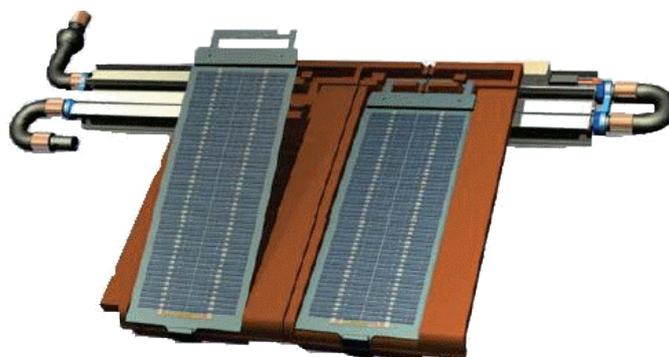


Abb. 2: In Dachziegel integrierte Solarzellen (Schema)  
Quelle: [SOL\_5]

Zusammenfassend lässt sich aber sagen, dass trotz der hohen Investitionskosten die Vorteile einer Solaranlage die Nachteile schon aus umwelt- und klimabeträchtlicher Sicht bei Weitem übersteigen. Sieht man von den Kosten ab, so bleibt eine nachhaltige Möglichkeit der regenerativen Energiegewinnung, die einerseits einen Beitrag zur Umwelt leistet und andererseits durch ihre geringen Reinigungs- und Wartungskosten nach der Installation keine wirtschaftlich bedenkliche oder gar negativen Aspekte aufwirft.



Abb. 3: Als Dachziegel verwendete Solarzellen  
Quelle: [SOL\_6]

## 2.3 Solarthermie

### 2.3.1 Definition

Der Begriff Solarthermie bezeichnet die Umwandlung von Sonnenenergie in thermische Energie, die man sowohl passiv als auch aktiv genutzt verwenden kann. Während die passive Nutzung sich weitestgehend darauf beschränkt, dass ein Gebäude oder der Wohnraum nur durch die Sonne und ohne die Nutzung weiterer Technik erwärmt wird, wird bei der aktiven Nutzung die Sonnenenergie über Kollektoren gesammelt, um sie so für das Heizsystem oder die Warmwasseraufbereitung eines Gebäudes verwenden zu können.

Schon in der Antike haben beispielsweise ägyptische Architekten die Ausrichtung des zu erstellenden Gebäudes der tagesüblichen Sonnenlaufbahn angepasst, indem Türen so positioniert wurden, dass sie zur Mittagszeit auf der sonnenabgewandten Seite lagen. Auf aktive Weise wurde die Solarthermie von den Ägyptern schon etwa 1500 v. Chr. genutzt, indem sie Behältnisse aus Glas herstellten, deren Inhalt durch die über einen Hohlspiegel umgelenkten Sonnenstrahlen erwärmt wurde [SOL\_1].

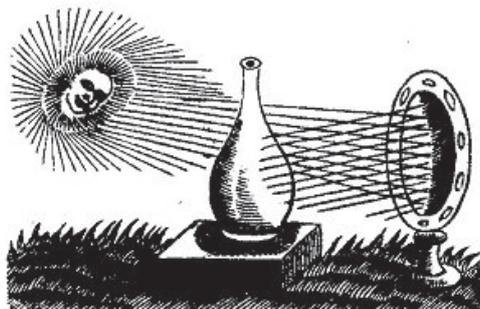


Abb. 4: Antikes Glasgefäß - Erwärmung durch umgelenkte Sonneneinstrahlung  
Quelle: [SOL\_1]

Um Sonnenenergie in thermisch nutzbare Energie umzuwandeln werden sogenannte Sonnenkollektoren verwendet. Aufgrund der Tatsache, dass sich diese Arbeit bei der Umwandlung von Lichtenergie in nutzbare Energie auf Photovoltaikanlagen bezieht, werden Aufbau und Wirkungsweise von Solarthermieanlagen nur schematisch beschrieben. Sie bestehen im Prinzip aus folgenden Bestandteilen:

- Einem Kollektor (Eigentliche Umwandlung von Sonneneinstrahlung in Wärme)
- Einem Solarwärmespeicher (Speicherung nicht sofort genutzter Wärme)
- Dem verbindenden Solarkreislauf (Transport der Wärme vom Kollektor in den Speicher)

Da auch bei dieser Technologie, wie bei Photovoltaikanlagen, ein gewisser Energieverlust vorhanden ist, ist eine entsprechende Wärmedämmung des Absorbers gegenüber seiner Umgebung notwendig. Dennoch erreichen thermische Solaranlagen heutzutage schon einen Wirkungsgrad von durchschnittlich 75-80 Prozent, was den von Photovoltaikanlagen bei Weitem überschreitet [WIKI\_7].

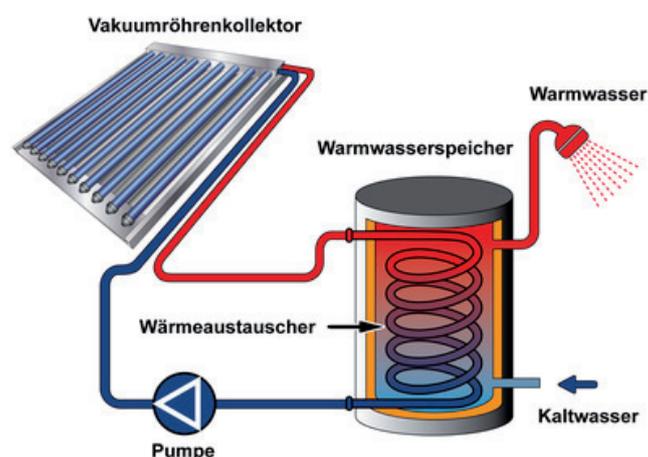


Abb. 5: Schematische Funktionsdarstellung einer thermischen Solaranlage  
Quelle: [SOL\_7]

## 2.4 Photovoltaik

### 2.4.1 Definition

Photovoltaik bezeichnet die Umwandlung von Sonnenenergie in nutzbare elektrische Energie. Die Umwandlung erfolgt dadurch, dass Sonnenlicht auf sogenannte Solarzellen trifft, dort in Gleichstrom umgewandelt und danach entweder in das Hauptstromnetz eingespeist oder zur eigenen Verwendung verwendet wird [WIKI\_8].

Hauptsächlich wird sie auf der Erde unter anderem auf Dachflächen, Freiflächen und z.B. Parkscheinautomaten oder Taschenrechnern eingesetzt. Allerdings findet das Prinzip der Photovoltaik auch in der Raumfahrt mit sogenannten Sonnensegeln seit 1958 Verwendung.

### 2.4.2 Technische Grundlagen

Elementare Bestandteile einer PV-Anlage sind:

- Solarmodule (Umwandlung von Sonneneinstrahlung in Gleichstrom)
- Wechselrichter (Umwandlung von erzeugtem Gleichstrom in Wechselstrom)
- Netzanschluss (Einspeisung ins öffentliche Stromnetz oder eigene Verwendung)

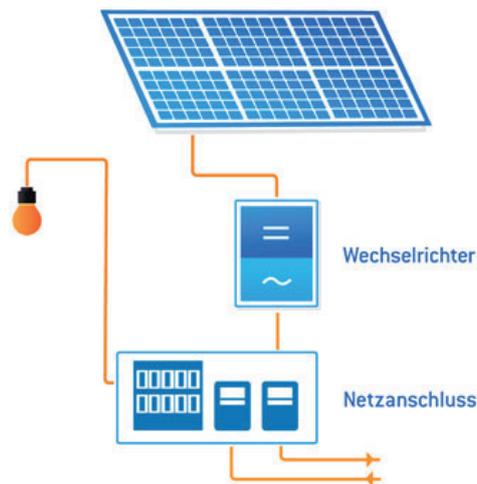


Abb. 6: Schematische Funktionsdarstellung einer Photovoltaikanlage  
Quelle: [SOL\_8]

Das Kernstück einer PV-Anlage bilden die Solarmodule, da in ihnen die eigentliche Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie stattfindet. Charakteristisch für solche Module sind die elektrischen Kennlinien, welche von der Verschaltung der einzelnen Solarzellen abhängig ist. Da Solarmodule im Freien platziert werden, müssen gewisse mechanische Forderungen an sie gestellt werden. So muss unter anderem für transparente, strahlungs- und witterungsbeständige Abdeckungen sowie für den Schutz der einzelnen Solarzellen vor mechanischen Einflüssen oder Feuchtigkeit gesorgt sein, um eine einwandfreie Leistung garantieren zu können. Alle Module für eine Photovoltaikanlage werden im Gesamten als Solargenerator bezeichnet [WIKI\_9].

Der typische Aufbau eines Solarmoduls umfasst nachfolgende Bestandteile:

- Eine Glasscheibe (Schutz gegen Hagel und Verschmutzung)
- Eine transparente Kunststoffschicht (Einbettung von Solarzellen)
- Mono- oder polykristalline Solarzellen (durch Lötbandchen elektrisch miteinander verschaltet)
- Rückseitenkaschierung mit einer witterungsfesten Kunststoffverbundfolie
- Anschlussdose mit Freilaufdiode bzw. Bypassdiode und Anschlussterminal
- Aluminiumprofil-Rahmen (Schutz der Glasscheibe bei Transport, Handhabung und Montage, für die Befestigung und für die Versteifung des Verbundes)
- Individuelle Seriennummer auf dem Rahmen unveränderbar eingebettet

Die Solarzellen selbst bilden in einem Modul den eigentlichen Ort, in dem die einfallende Sonnenenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Der Umwandlungsvorgang beruht auf dem im Jahre 1839 von Alexandre Bequerel entdeckten Photoeffekt, unter welchem man die Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung versteht [SOL\_11].

Als Material für die Herstellung von Solarzellen wird hauptsächlich Silicium verwendet, da es unter anderem den Vorteil bietet, das zweithäufigste chemische Element zu sein (ca. 15% Anteil an der gesamten Erde) und darüber hinaus bei der Verarbeitung durchaus umweltverträglich ist. Weiterhin zählt Silicium zu den Halbleiterelementen, was bedeutet, dass es aufgrund seiner elektrischen Leitfähigkeit sowohl als Leiter als auch als Nichtleiter betrachtet werden kann. Weiterhin können Halbleiter durch Zufuhr von Licht und Wärme elektrisch leitfähig werden, während sie bei tiefen Temperaturen jedoch isolierend wirken. Bei der Energiezufuhr durch Licht und Wärme entstehen weiterhin sogenannte freie Ladungskörper (Elektronen und Löcher, siehe Abbildung 7), für die, um nutzbare elektrische Energie zu erzeugen, ein internes elektrisches Feld notwendig ist, um sie in unterschiedliche Richtungen zu lenken [WIKI\_10].

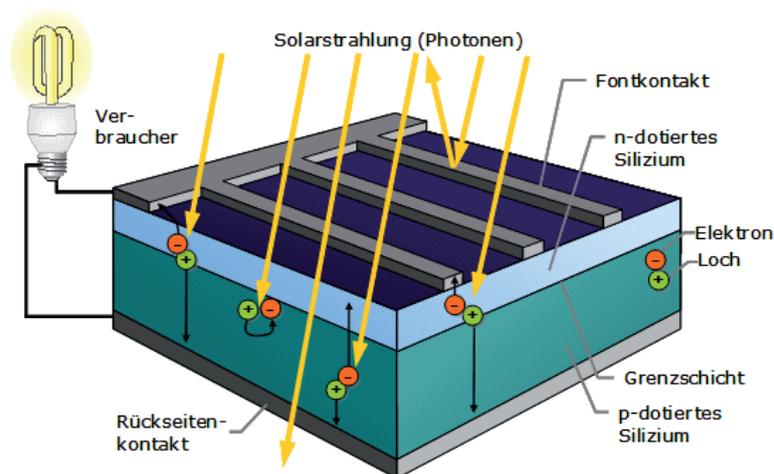


Abb. 7: Schematische Darstellung einer Silicium-Solarzelle  
Quelle: [SOL\_9]

Die Entstehung eines solchen elektrischen Feldes wird durch einen p-n-Übergang an der Grenzschicht zwischen zwei Halbleitermaterialien erzeugt. Diese Schicht wird durch gezielte „Dotierung“ der Materialien erstellt. Für gewöhnlich wird die Oberflächenschicht negativ- (n), die Schicht darunter positiv- (p) dotiert. Wenn in dieser Grenzschicht nun Photonen einfallen und somit Elektronen-Loch-Paare erzeugt werden (=> Photoeffekt), so werden durch das elektrische Feld die Löcher zum untenliegenden p-Material beschleunigt und umgekehrt die Elektronen zum n-Kontakt auf der (sonnenzugewandten) Oberseite.

Ein Teil der Ladungsträger geht in Wärme verloren, der übrige erzeugte Strom kann direkt von Verbrauchern genutzt, gespeichert oder in das Stromnetz eingespeist werden.

Möchte man Solarzellen aufgrund ihrer Materialbeschaffenheit und/oder Eigenschaften unterscheiden, so ist das gängigste Kriterium die Materialdicke, wobei nach Dickschicht- und Dünnschichtzellen unterschieden wird.

Alternative Kriterien können aber auch die verwendeten Materialien (Halbleitermaterialien CdTe, GaAs oder Kupfer-Indium-Selen-Verbindungen, weltweit am häufigsten jedoch Silicium) oder die Kristallstruktur (mono-/polykristallin oder amorph) sein.

Weiterhin muss bei PV-Modulen im Hinblick auf die Solarpotenzialanalyse neben dem Wirkungsgrad (siehe Kap. 2.2) die Performance Ratio berücksichtigt werden (für Anwendung siehe Kap. 6.4.3). Sie stellt ein vom Standort unabhängiges Maß der qualitativen Eignung einer PV-Anlage dar und wird deshalb auch häufig Qualitätsfaktor genannt [SOL\_10].

Die prozentuale Angabe bezeichnet den trotz des Energieverlustes von der produzierten Gleichstrommenge bis hin zur Einspeisung in das Wechselstromnetz nutzbaren Faktor, welcher bei aktuell entwickelten Solarmodulen bei 80 - 90% liegt.

### 3 Betrachtung schon bestehender Projekte

#### 3.1 Solare Effizienz auf Hausdächern (LUBW)

Die LUBW bietet über die Internetplattform „Solare Effizienz auf Hausdächern“ die für Solaranlagen wichtige Information bezüglich der potenziellen Eignung. Mittels eines GIS-gestützten Rechenmodells kann anhand von grundlegenden Daten wie Dachneigung, Ausrichtung, solarer Einstrahlung sowie topografischer Karten, Gebäude- und Laserscandaten für jedes Hausdach der theoretisch erreichbare Solarertrag errechnet werden. Die berechneten Ergebnisse werden in drei verschiedenen Klassen im Online-Kartendienst der LUBW angezeigt: „sehr gut geeignet“, „gut geeignet“ und „vor Ort zu prüfen“. Untersuchte Gebäude werden weiterhin mit einer gelben Kontur versehen. Die Ergebnisse selbst sollen jedoch nur einem orientierenden Charakter dienen. Für eine präzise Ertrags- bzw. Kostenkalkulation müssen an jedem Dach separate Ermittlungen stattfinden.

Bisher wurde das Verfahren nur für einen Teil der Landesfläche in Baden-Württemberg durchgeführt. Maßgebend für die Auswahl von Häusern ist eine Grundfläche von 50 m<sup>2</sup> sowie eine nutzbare Dachfläche von mindestens 15 m<sup>2</sup>. Durch unvollständige Datengrundlagen oder komplizierte Standortverhältnisse konnten auch nicht immer sämtliche Gebäude innerhalb eines Untersuchungsgebietes berechnet werden. Auch wurde das Verfahren bisher nur für einen Teil der Landesfläche durchgeführt.

Die Darstellung der Ergebnisse wird über den interaktiven Kartendienst UDO der LUBW zur Verfügung gestellt [LUBW\_1]. Als Hintergrundinformationen dienen die Kartengrundlage des RIPS und die Orthofotos des LGL BW. Neben der grafischen Darstellung lassen sich, sofern vorhanden, die Angaben zu Dachneigung, -fläche und der potenziellen Einstrahlung in kW/a durch Anklicken des entsprechenden Gebäudes anzeigen.

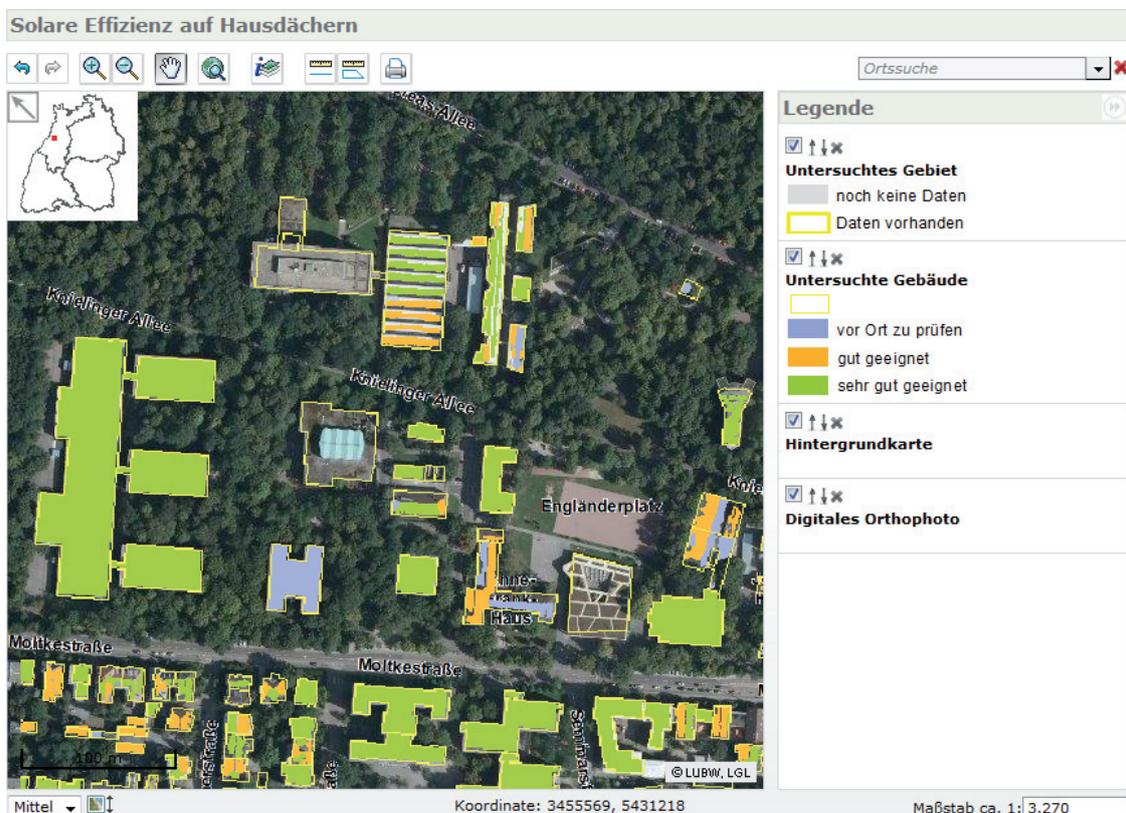


Abb. 8: Solare Effizienz auf Hausdächern - Ausschnitt Hochschule Karlsruhe  
Quelle: [LUBW\_1]

### 3.2 Solarpotenzial-Analyse (IP SYSCON)

Auch die IP SYSCON GmbH bietet neben Kernkompetenzen wie Gebäude-/Liegenschafts-/Grünflächen-, Straßenmanagement, Geobasisdaten, Planung sowie Umwelt und Naturschutz ein Verfahren zur Berechnung des theoretisch nutzbaren Solarpotenzials auf Dachflächen. Als ein schon länger als 20 Jahre ,sowohl bundes- als auch europaweites handelndes, bestehendes Unternehmen bietet IP SYSCON als GIS- und CAFM-Software- und Dienstleistungsunternehmen ein weitreichendes Niederlassungskonzept im Bereich kommunaler/öffentlicher Verwaltungen sowie bei privatwirtschaftlichen Auftraggebern [IPS\_1].

Das Potenzial und die solare Nutzung werden mittels der Methode „publicSOLAR“ berechnet. Mittels dieser kann das Energiepotenzial für jedes Dach ermittelt werden. Als Basis hierfür dient ein digitales Oberflächenmodell, während über hochgenaue Einstrahlungsanalysen die solare Einstrahlung und Abschattungen berechnet werden.

Mittels eines durch diese Berechnungen erstelltem Solarkataster werden Hausbesitzer auf einer „anwenderfreundlichen Solardach-WebSite“ inklusive Wirtschaftlichkeitsrechner über die solare Eignung und Wirtschaftlichkeit einer Solarnalage auf dem eigenen Hausdach informiert [IPS\_2].

Die grafische Darstellung unterscheidet sich im Wesentlichen nicht von der in UDO der LUBW. Als Klassifizierung für nutzbare Flächen auf Dächern dienen die Bezeichnungen „sehr gut“, „gut“ und „bedingt“. Werden einzelne Flächen mittels Klick ausgewählt, so werden spezifische Angaben zu potenziellem Stromertrag, möglicher CO<sub>2</sub>-Einsparung und zu installierenden KWP-Leistung präsentiert. Als Hintergrund werden im großmaßstäbigen Bereich Orthofotos verwendet.

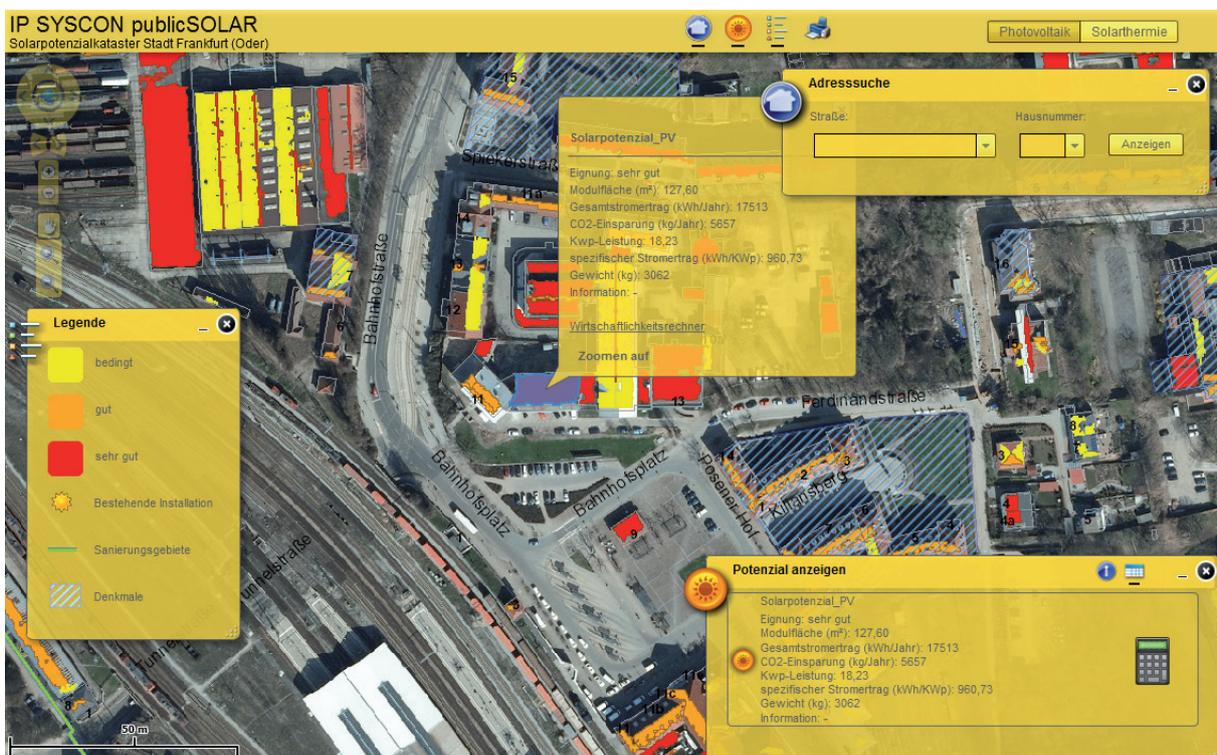


Abb. 9: Solarpotenzial auf Hausdächern - Ausschnitt Bahnhofplatz Frankfurt (Oder)  
Quelle: [IPS\_3]

### 3.3 Hessisches Solarkataster Informationssystem

Im Jahr 2011 wurde beim Hessischen Energiegipfel das Ziel festgelegt, den Energiebedarf an Strom und Wärme im Land bis 2050 zu 100% aus erneuerbaren Energiequellen zu decken [HES\_1]. Auf dem Weg des Ausbaus dieser Art der Energieerzeugung wird mit dem Solardachkataster ein wichtiges Werkzeug bereitgestellt, woran interessierte Bürger sich bei der Planung einer Solaranlage orientieren können [HES\_2]. Auch hier ist eine präzise Erhebung der Tatsachen vor Ort unerlässlich, sollte es zu konkreten Planungen kommen.

Auskunft soll über die Eignung des Daches zur Installation einer Solaranlage (Die Unterteilung erfolgt auch hier wieder in „sehr gut geeignet“, „gut geeignet“ und „bedingt geeignet“), sowie den passenden Modultyp, potenziellen Stromertrag und CO<sub>2</sub>-Einsparung gegeben sein. Momentan ist die Auswahl an Kommunen mit verfügbaren Daten noch auf ein Pilotgebiet mit 32 Kommunen begrenzt, soll aber mit der Zeit auf das gesamte Land Hessen ausgedehnt werden.

Wie bei den Darstellungen der LUBW und IP SYSCON können auch hier per Klick auf die Fläche Angaben zur Eignung, Modulfläche, Stromertrag [kWh/a], CO<sub>2</sub>-Einsparung [kg/a] und Modulempfehlung angezeigt werden. Angaben zur Dachneigung oder Ausrichtung gibt es hier dagegen nicht.

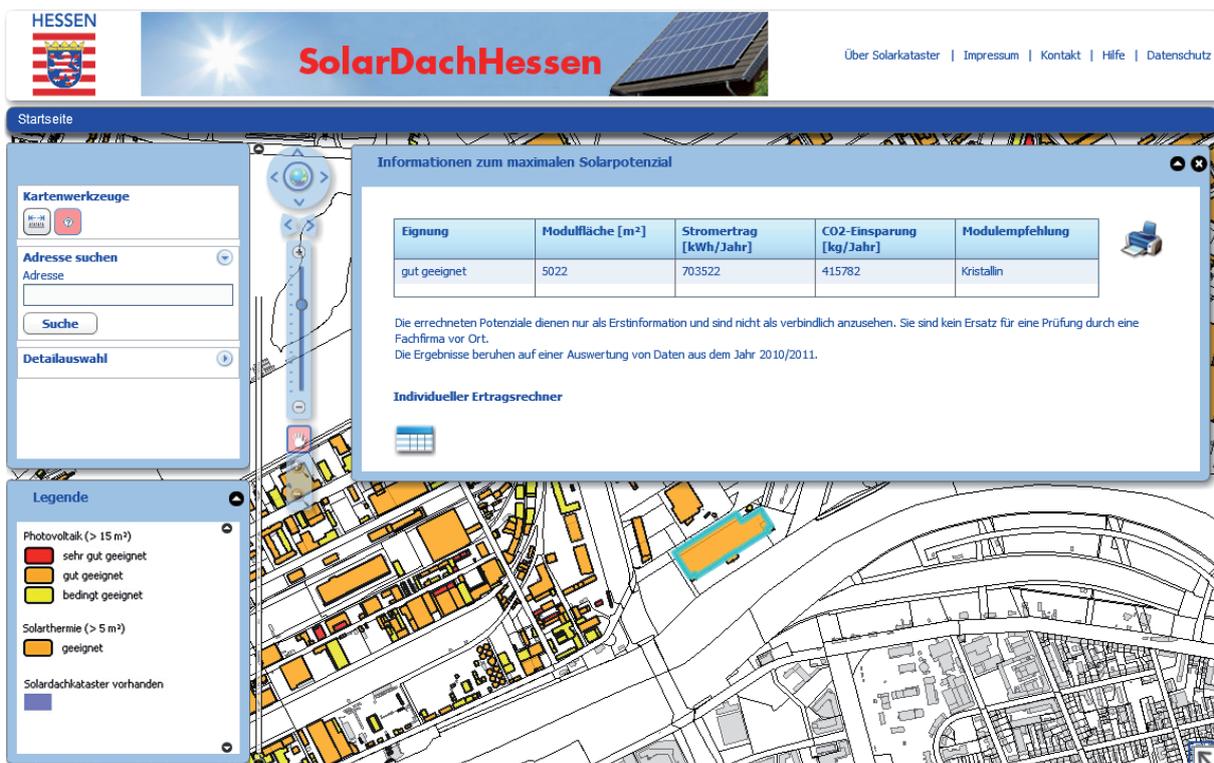


Abb. 10: Solarpotenzial auf Hausdächern - Ausschnitt Osthafen Frankfurt am Main  
Quelle: [HES\_2]

## 3.4 PV-GIS

Das „Photovoltaic Geographical Information System“ basiert auf Einstrahlungsdatenbanken, die durch genaue und europaweite Messungen zustande gekommen sind. Das Internetangebot wird von der Europäischen Kommission kostenlos zur Verfügung gestellt.

Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Projekten werden bei PV-GIS für eine Solarpotenzialberechnung mehrere Einstellung benötigt [PVGIS\_1] (siehe Abbildung 11):

- Einstrahlungsdatenbank (Wahl zwischen „Classic PVGIS“ und „Climate-SAF PVGIS“)
- FV - Technologie (Kristalline, CIS, CdTe oder sonstige Dünnschichtmodule)
- Installierte FV-Leistung (Standardmäßig auf 1 kWp, wodurch Ertragsprognose auf 1 kWp umgerechnet wird. Der Vergleich mit anderen Standorten wird so vereinfacht)
- Geschätzte Systemverluste (Verlustwert in Prozent, bei dem Kabelverluste oder Umwandlungsverluste berücksichtigt sind)
- Montagemöglichkeiten (Freistehend oder Gebäudeintegriert)
- Neigung (Neigung des Daches)
- Neigung optimieren (Optimiert bei Aktivierung die Neigung für gegebenen Standort)
- Azimuth (Himmelsausrichtung der Anlage)
- Azimuth optimieren (Optimiert bei Aktivierung die Ausrichtung für gegebenen Standort)
- Tracking Optionen (Berechnet prognostizierte Ertragsbeute für evtl. nachgeführte Anlage)
- Horizontdatei (Auswahl spezieller Datei für eigenen Horizontverlauf oder verschattende Elemente)
- Grafik zeigen (Zeigt zusätzliches Liniendiagramm an)
- Zeige Horizont (Zeigt Verlauf der topographischen Geländedaten an)

The screenshot displays the PVGIS Interactive Maps interface. The main map shows Europe with a color-coded solar radiation scale from 200 to 2000 kWh/m². The right-hand panel contains configuration options for PV system estimation, including technology selection (Monatliche Einstrahlung, Tägliche Einstrahlung), installed power (1 kWp), system losses (14%), and mounting options (Freistehende). It also includes settings for tilt (35 degrees), azimuth (0 degrees), and output formats (Webseite, Textdatei, PDF). A 'Berechnen' button is visible at the bottom of the panel.

Abb. 11: Benutzeroberfläche PV-GIS  
Quelle: [PVGIS\_2]

Das Ergebnis der Berechnung wird in einer separaten Tabelle ausgegeben und enthält neben den örtlichen Koordinatenangaben die Leistung des Photovoltaiksystems sowie die prozentual erwarteten Energieverluste. Weiterhin werden für jeden Monat Energie-/Elektrizitätsproduktion, durchschnittliche Tagessumme und die durchschnittliche globale Einstrahlungssumme pro Quadratmeter ausgegeben.

Zwar können hier nicht wie bei den anderen Projekten einzelne Dachflächen betrachtet werden, jedoch können bei PV-GIS mehr spezifische Angaben selbst eingegeben werden als bei anderen genannten Projekten. Dies ergibt natürlich detailliertere Ergebnisse bezüglich der Solarproduktion, setzt allerdings auch ein fundierteres Wissen voraus, welches für die Auswertung der errechneten Daten und deren Nutzung benötigt wird.

**PVGIS Schätzung der Solarenergieproduktion**

Ort: 48°8'4" Nord, 11°34'43" Ost, Höhe: 524 m ü. d. M.,

Benutzte Sonnenstrahlungsdatenbank: PVGIS-classic

Nominelle Leistung des FV-Systems: 1.0 kW (Kristallin Silizium)  
 Geschätzte Verluste von der Temperatur: 7.3% (mit Einfluss der lokalen Aussentemperatur)  
 Geschätzter Verlust durch Reflexionseffekte: 2.9%  
 Andere Verluste (Kabel, Inverter usw.): 10.0%  
 Gesamtverluste des FV Systems: 19.0%

| Festes System: Neigung=35°, Orientierung=0° |             |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Monat                                       | $E_d$       | $E_m$       | $H_d$       | $H_m$       |
| Jan   | 1.55        | 48.1        | 1.75        | 54.2        |
| Feb   | 2.35        | 65.7        | 2.70        | 75.7        |
| Mär   | 3.00        | 92.9        | 3.57        | 111         |
| Apr   | 3.58        | 107         | 4.42        | 133         |
| Mai   | 3.98        | 123         | 5.05        | 157         |
| Jun   | 3.86        | 116         | 4.98        | 150         |
| Jul   | 4.12        | 128         | 5.35        | 166         |
| Aug   | 3.81        | 118         | 4.91        | 152         |
| Sep   | 3.22        | 96.7        | 4.03        | 121         |
| Okt   | 2.53        | 78.5        | 3.07        | 95.1        |
| Nov   | 1.65        | 49.5        | 1.91        | 57.4        |
| Dez   | 1.15        | 35.6        | 1.30        | 40.2        |
| <b>Jahresdurchschnitt</b>                   | <b>2.90</b> | <b>88.3</b> | <b>3.59</b> | <b>109</b>  |
| <b>Total für Jahr</b>                       |             | <b>1060</b> |             | <b>1310</b> |

$E_d$ : Durchschnittliche tägliche Energieproduktion des Systems (kWh)  
 $E_m$ : Durchschnittliche monatliche Elektrizitätsproduktion mit diesem System (kWh)  
 $H_d$ : Durchschnittliche Tagessumme globaler Einstrahlung pro Quadratmeter auf den Modulen des gewählten System (kWh/m<sup>2</sup>)  
 $H_m$ : Durchschnittliche globale Einstrahlungssumme pro Quadratmeter auf den Modulen des Systems (kWh/m<sup>2</sup>)

Abb. 12: Ergebnis der Berechnung des Solarpotenzials mittels PV-GIS  
 Quelle: [PVGIS\_2]

---

---

## 4 Einbindung in den Potenzialatlas Erneuerbare Energien

### 4.1 Definition des „Erneuerbare Energien Atlas“-Projektes

Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft hat die LUBW Mitte des Jahres 2012 beauftragt, einen Potenzialatlas für erneuerbare Energien zu entwickeln, um die einzelnen Gemeinden in Hinsicht auf die Nutzung selbiger zu unterstützen. Umweltminister Franz Untersteller selbst sprach: „Wir brauchen das Engagement von Städten und Gemeinden, damit die Energiewende gelingen kann.“ (Quelle: Pressemitteilung des UM vom 4. Juli 2012) [UM\_1].

Der Atlas soll eine wichtige Rolle bei den Zielen spielen, bis zum Jahr 2020 sowohl etwa 38 Prozent des Energiebedarfes des Landes Baden-Württemberg durch Wind-, Solar-, Biomasse- und Wasserenergie zu erzeugen, als auch die Treibhausgasemissionen um 25 Prozent zu verringern. Für einen guten Überblick über die landesweite Situation wäre somit auch gesorgt.

Zum anderen sollen auch die einzelnen Gemeinden eine Übersicht über die für die regenerative Energieerzeugung nutzbaren Flächen, die Höhe des potenziellen Ertrages und dessen Anteil am Gesamtstromverbrauch erhalten. Dadurch soll der Potenzialatlas zu einem Werkzeug ausgebaut werden, mit dem sich auch für interessierte Bürger und Planungsträger Möglichkeiten und Fortschritte beim Ausbau der erneuerbaren Energien längerfristig dokumentieren, bilanzieren und fortschreiben lassen. Die Einbindung in das Internetangebot der baden-württembergischen Umweltverwaltung soll primär über das Energieportal Baden-Württemberg des UM (<http://www.energie.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/811/>), verknüpft mit einem zugehörigen Daten- und Kartendienst im Angebot der LUBW erfolgen.

Beschlossen wurde dieses Projekt im „Forum Energiewende“, einer gemeinsamen Arbeitsplattform von Landkreistag, Städtetag, Gemeindetag und Umweltministerium. In dem zur fachlichen und organisatorischen Unterstützung einberufenen Fachbeirat sind neben den im Forum Energiewende vertretenen Institutionen die Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA), die regionalen Energieagenturen, die Regionalverbände, das Statistische Landesamt, die Verbände der Kommunal- und Energiewirtschaft sowie der Landesnaturschutzverband vertreten.

### 4.2 Datenbankmodell

Um einen schnellen Zugriff und eine bestmögliche Performance zu erreichen, werden die aufbereiteten Datensätze zu jedem Energiethema in die UIS-Datenbank geladen. Für die Veröffentlichung im Internet ist geplant, sowohl den Bestand als auch das Potenzial zu einem jeden Thema (Wind, Wasser, Solar etc.) darzustellen, was bedeutet, dass pro Thema je zwei Datensätze erstellt werden müssen.

Abbildung 13 zeigt den ersten Entwurf des Datenbankmodelles vom 21.11.2012, welcher noch vor den aktuellen Anforderungen stand und zurzeit die einzige grafische Darstellung ist. Dort ist noch zu sehen, dass ursprünglich geplant war, zum Thema Solarenergie nur eine Tabelle anzulegen, in der sämtliche Angaben sowohl zu Dach- als auch Freilandflächen vorhanden sein sollten.

Der aktuelle Stand (Anfang Februar 2013) besteht darin, dass jedes Thema seine eigene Tabelle zugewiesen bekommt und zwischen Dach- und Freilandsolaranlagen unterschieden wird. Die Tabellen basieren auf einer gemeindeweisen Darstellung und enthalten neben allgemeinen Daten zu jeder Gemeinde Informationen zur potenziellen Leistung, dem Jahresertrag, den Eignungsklassen und anderen themenspezifischen Angaben. Aufgrund weiterer Aktualisierungen kann keine Garantie für etwaige Änderungen in der Datenbankstruktur gegeben werden.



### 4.3 Visualisierung und Veröffentlichung

Aufgrund der vorliegenden Datengrundlagen und den Bedürfnissen nach Aktualität, schnellem Zugriff und Erreichbarkeit wird die Veröffentlichung, wie in 4.1 erwähnt, primär über das Energieportal Baden-Württemberg des UM mit dem dazugehörigen Daten- und Kartendienst der LUBW erfolgen. Eine Printversion ist diesbezüglich nicht angedacht. Zu bedenken ist natürlich, dass sich der Potenzialatlas sowohl an fachkundiges als auch fachfremdes Publikum wendet und dementsprechend aufgebaut und präsentiert werden muss. Dies bedeutet, dass unkundige Besucher auf den möglichst ersten Blick sämtliche erwarteten Informationen verständlich angezeigt bekommen soll. Kartenbildschirm und weitere geplante Menüpunkte, Tabellen etc. sollen so angeordnet werden, dass Übersichtlichkeit und Informationsgehalt auf bestmögliche Art miteinander einher gehen.

Da der Potenzialatlas aber auch an ein fachkundiges Publikum mit erweitertem Hintergrundwissen gerichtet sein soll, ist es notwendig, zusätzliche spezifische Informationen zu präsentieren, mit denen z.B. Bürger, die sich nur über die Eignung ihres Daches bezüglich der Installation einer Solaranlage informieren wollen, weniger anzufangen wissen als Investoren, die eine PV-Freilandanlage planen und somit auch von vorneherein auf Angaben zu Ertrag, Stromverbrauch etc. angewiesen sind.

Die Anforderung an die Programmierung des Potenzialatlases liegen somit hauptsächlich darin, sämtliche Informationen für beide Zielgruppen (unkundig und fachkundig) sowohl übersichtlich als auch bei Bedarf detailliert darzustellen. Dies ist jedoch nicht Teil dieser Arbeit, da neben PV-Freilandanlagen auch die Themen PV-Dachanlagen, Wind- und Wasserenergie aufbereitet und dargestellt werden müssen. Der Umfang dieser Arbeit beschränkt sich unter dem hier genannten Gesichtspunkt auf die Erhebung und Aufbereitung der Daten zu PV-Freilandanlagen sowie der Darstellung in einem geeigneten Kartendokument. Das Kartendokument und die darin enthaltene Themenstruktur werden nach vollendeter Arbeit nur noch in die entstehende Webanwendung eingebunden.



---

## 5 Technik- und Datengrundlagen

### 5.1 LUBW

Die LUBW stellt das Kompetenzzentrum des Landes Baden-Württemberg hinsichtlich Fragen des Umwelt- und Naturschutzes, des technischen Arbeitsschutzes, des Strahlenschutzes sowie der Produktsicherheit dar [LUBW\_2]. Verschiedene Messnetze liefern den rund 550 Angestellten Daten über den Zustand und die Veränderung von Luft, Wasser, Boden sowie der Flora und Fauna. Die daraus gewonnenen Daten stehen nicht nur der Politik oder anderen Unternehmen, sondern auch interessierten Bürgern zur Verfügung. Weiterhin werden die Messergebnisse von Experten der LUBW genau bewertet, geprüft und dokumentiert, während die LUBW selbst auch mit Beratung und Unterstützung der Landesregierung sowie Umwelt- und Naturschutzverbänden zur Seite steht. Auch wird zusammen mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft regelmäßig ein Bericht über den Zustand der Umwelt in Baden-Württemberg veröffentlicht. Während der Hauptsitz der LUBW sich in Karlsruhe befindet, gibt es weiterhin noch das Institut für Seeforschung in Langenargen am Bodensee sowie eine Außenstelle des Informationstechnischen Zentrums Umwelt in Stuttgart.

Aufgrund des vorhandenen Fachpersonals und dem umfangreichen Bestand an Geobasisdaten kann die LUBW als idealer Kandidat geltend gemacht werden, den geplanten Potenzialatlas zufriedenstellend zu entwickeln und umzusetzen.

Auf die für diese Arbeit benötigten Werkzeuge und Datenbestände wird in den nachfolgenden Unterkapiteln Bezug genommen.

#### 5.1.1 ArcGIS

ArcGIS ist der Oberbegriff für eine Produktreihe, bestehend aus sich ergänzenden Softwareprodukten (Desktop GIS, Server GIS, Online GIS, Mobile GIS, Esri Data). Zusammengenommen bietet diese Produktfamilie nahezu unbeschränkte Möglichkeiten der Geodatenverarbeitung und -darstellung. Da für diese Arbeit nur Desktop GIS aktiv und Server GIS im Hintergrund benötigt sind, werden sich nachfolgende Definitionen auf diese beiden Produkte beschränken. Nähere Erläuterungen zu diesen und den anderen Produkten finden sich auf der Homepage von Esri [GIS\_1]

ArcGIS Desktop wird zur Erzeugung, Nutzung und Ausgabe von raumbezogenen Daten verwendet. Abgesehen von den Produktskalierungen (ArcView, ArcEditor und ArcInfo) sind folgende Hauptprogramme enthalten:

- ArcCatalog (Datenverwaltung)
- ArcMap (Visualisierung und Editieren von zweidimensionalen Karten)
- ArcGlobe (Visualisierung und Editieren von dreidimensionalen Karten)
- ArcScene (Spezielle 3D Visualisierung und Analyse)

Da der Potenzialatlas mittels zweidimensionalen Karten präsentiert werden soll sind aus obrigem Angebot nur ArcMap und ArcCatalog verwendet worden.

ArcGIS Server, ursprünglich als Software zur Bereitstellung von Geodiensten gedacht, gehört seit Version 9.2 (2006) auch ArcSDE (Erweiterung von Datenbankmanagementsystemen (DBMS) um räumliche Datenverwaltung) an. Über ArcGIS Server können unter anderem Karten-, Geoprocessing-, Geodaten- und Geometriedienste bereitgestellt und angeboten werden. Während als Standardprotokoll SOAP und REST [REST] dienen, ist ein per Webinterface bedienbarer Generator für Anwendungen (siehe auch Web ADF bei esri.com) beinhaltet. ArcGIS Server dient hierbei dem direkten Bereitstellen der Kartendienste, die für die Präsenz des Potenzialatlases im Internet benötigt werden [WIKI\_11].

### 5.1.2 Digitales Geländemodell

Ein digitales Geländemodell (DGM) dient als Repräsentation der natürlichen Erdoberfläche. Die Beschreibung erfolgt durch eine repräsentative Menge von Geländepunkten, wodurch Höheninformationen maßstabsunabhängig und datenverarbeitungsgerecht vorliegen.

Nach einem Zitat der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (ADV 2004) entspricht ein DGM folgender Definition:

„Datenbestand zur höhenmäßigen Beschreibung des Geländes. Es besteht aus regelmäßig oder unregelmäßig verteilten Geländepunkten, die die Höhenstruktur des Geländes hinreichend repräsentieren – optional ergänzt durch morphologische Strukturelemente (z.B. Geländekanten, markante Höhenpunkte).“ [WIKI\_12]

Weiterhin können unstetige Bereiche der Oberfläche durch Strukturinformationen wie Bruchkanten, Geripplinien, Aussparungsflächen oder Störungslinien in der Oberfläche beschrieben werden.

Zu beachten ist, dass sich das DGM von dem Digitalen Oberflächenmodell (DOM) grundlegend unterscheidet. Wird beim DGM nur die eigentliche Erdoberfläche angezeigt, so beinhaltet das DOM sowohl die Erdoberfläche als auch alle darauf befindlichen Objekte wie Häuser oder z.B. Bäume.

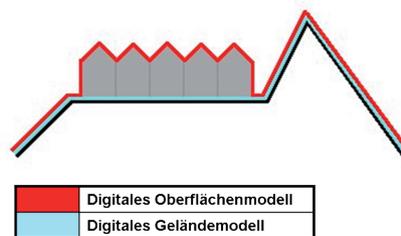


Abb. 14: Unterschied zwischen DOM und DGM  
Quelle: [WIKI\_12]

Das DGM liegt bei der LUBW in folgenden Rasterweiten vor: 1m, 5m, 25m, 50m, 100m und 200m. Diese Daten werden benötigt, um in späteren Schritten dieser Arbeit die solare Einstrahlung mittels ArcGIS-spezifischer Werkzeuge zu berechnen. Da für jedes Pixel ein Höhenwert, Hangneigung und Ausrichtung des Geländes vorliegen, können in einem ersten Schritt die über einen bestimmten Zeitraum einfallende Strahlung sowie in einem weiteren Schritt der theoretisch nutzbare Wert dieser Strahlung berechnet und anschließend klassifiziert werden.



Abb. 15: Digitales Geländemodell der Gemeinde Friesenheim

### 5.1.3 Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK)

Die ALK ist der digitale Nachfolger der analogen Liegenschaftskarte/Flurkarte/Stadtgrundkarte/Schätzungskarte in den Katasterämtern Deutschlands [WIKI\_13]. Sie stellt zusammen mit dem Automatisierten Liegenschaftsbuch (ALB) das Liegenschaftskataster [KAT] dar.

Das Liegenschaftskataster selbst stellt eine flächendeckende Beschreibung aller Flurstücke des Landes und somit Informationen über geometrische Lage, bauliche Anlagen, Art der Nutzung und Größe dar. Eingesehen kann es von jedermann werden, der berechnete Interessen wie zum Beispiel Baugesuchen vorzuweisen hat. Auch können öffentlich bestellte Vermessungsingenieure für z.B. die Erstellung eines amtlichen Lageplans Auszüge aus dem Katasterwerk zur Verfügung gestellt bekommen.

Die ALK enthält im Gegensatz zu dem ALB als Bestandteil des Liegenschaftskatasters in digitaler Form die Informationen zu sämtlichen Flurstücken in grafischer Form bereit. Das ALB ist in sofern wichtig, da es auch die Informationen zu den Acker-/Bodenzahlen der einzelnen Flurstücke enthält, die für die später beschriebene Arbeit vonnöten sind.

Aus der ALK werden für die Enddarstellung dann solche Flurstücke selektiert, die potenziell nutzbare Flächen für PV-Freilandanlagen ganz oder zum Teil enthalten. Dies soll der Übersicht und Erkennbarkeit dienen, da interessierten Nutzern des Atlases so nicht nur die tatsächlich nutzbaren Flächen, sondern auch die amtlichen festgelegten Flurstücksgrenzen aufgezeigt werden.



Abb. 16: ALK-Ausschnitt der Gemeinde Friesenheim

### 5.1.4 Umweltinformationssystem (UIS BW)

Das Umweltinformationssystem Baden Württemberg (UIS BW) bezeichnet die Bereitstellung moderner und leistungsfähiger Informationstechnik, um umfangreiche Umweltdaten aus verschiedenen Quellen zu erschließen und wirkungsvoll an interessierte Zielgruppen zu vermitteln. Da das Landesumweltinformationsgesetz seit 2006 den freien Zugang zu aktuellen Umweltinformationen garantiert, koordiniert das UM mittels des UIS BW landesweit die Verarbeitung von Umweltdaten in sämtlichen umweltrelevanten Bereichen [UM\_2].

Sowohl die Dienststellen der Landesverwaltung als auch des kommunalen Bereichs zählen in erster Linie zu den Nutzern des UIS, wobei auch die Information der interessierten Öffentlichkeit an Wichtigkeit gewinnt.

Das UIS BW selbst setzt sich aus vielen verschiedenen Komponenten zusammen, wobei man diese in drei Hauptkategorien unterteilen kann (siehe Abb. 17):

- Basiskomponenten
- Fachkomponenten
- Übergreifende Komponenten

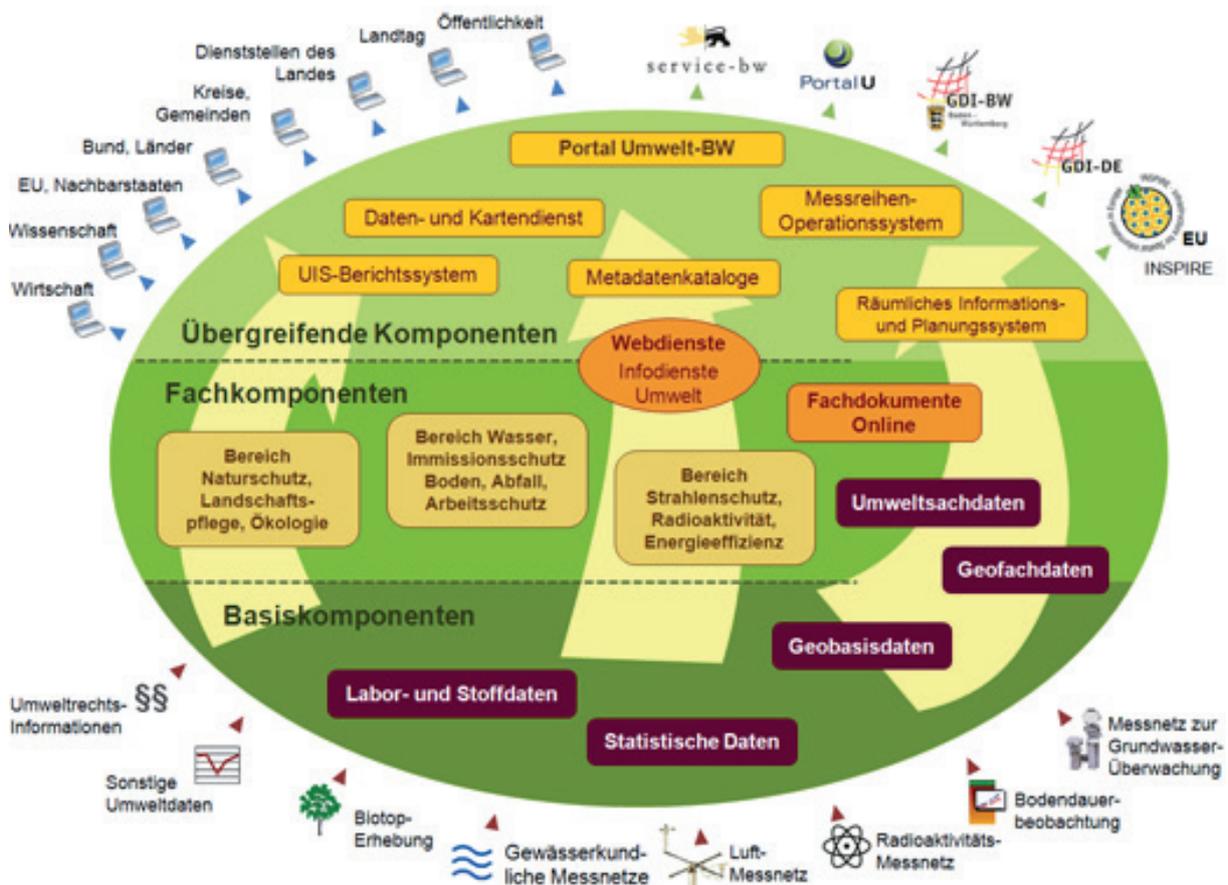


Abb. 17: Übersicht über das UIS BW  
Quelle: [UM\_3]

Zur effektiven Nutzung existiert weiterhin eine Beschreibung durch Metadaten beispielsweise im Umweltdatenkatalog. Auch findet sich über das Umweltportal Baden-Württemberg ein Zugang zu allen im Internet verfügbaren Umweltinformationen des Landes. Der Umwelt-Daten und-Karten Online Dienst bietet weiterhin Zugriff auf Mess- und Erhebungsdaten sowie digitale Kartenbestände der LUBW und/oder dem LuK-Verbund Land/Kommunen

Die für diese Arbeit konkret benötigten Geodaten befinden sich in der Referenzdatenbank des Räumlichen Informations- und Planungssystems (RIPS), welches einen wesentlichen Bestandteil des UIS BW darstellt und im nachfolgenden Punkt näher erläutert wird.

#### 5.1.5 Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS)

Wie schon erwähnt, macht das Räumliche Informations- und Planungssystem einen bedeutenden Teil des UIS BW aus. Seine Hauptaufgaben bestehen im Wesentlichen aus [LUBW\_3]:

- Bereitstellung der Geobasisdaten für die Fachkomponenten und das UIS-Berichtssystem
- Organisation und Betrieb eines Datenpools mit Geobasis- und Geofachdaten
- Entwicklung von Geodatenbanken und Diensten für Fachanwendungen

Als Herzstück ist die themenübergreifende UIS-Referenzdatenbank anzusehen, welche Informationen aus allen umweltrelevanten Fachsystemen des Landes beinhaltet. Weiterhin zählen auch öffentliche Kartendienste wie UDO dazu, welche beispielsweise Bürger über die aktuelle Situation der Umwelt informieren oder auch bei Planungsprozessen oder der Entscheidung bei Infrastrukturmaßnahmen eingesetzt werden.

Einen weiteren Schwerpunkt stellt der Aufbau einer anwenderfreundlichen und robusten Geodateninfrastruktur für das ressortübergreifende UIS, die Aufbereitung und Bereitstellung von Geodaten sowie die Unterstützung beim Einsatz von GIS-Programmen aller UIS-Anwender und Dienststellen dar.

Darüber hinaus bietet das RIPS auch spezielle Dienste für verschiedene Verwaltungseinrichtungen des Landes an und spielt eine tragende Rolle im Rahmen des Aufbaus einer einheitlichen Geodateninfrastruktur sowie beim Geodatenmanagement und der Bereitstellung von Geobasis- und Geofachdaten.

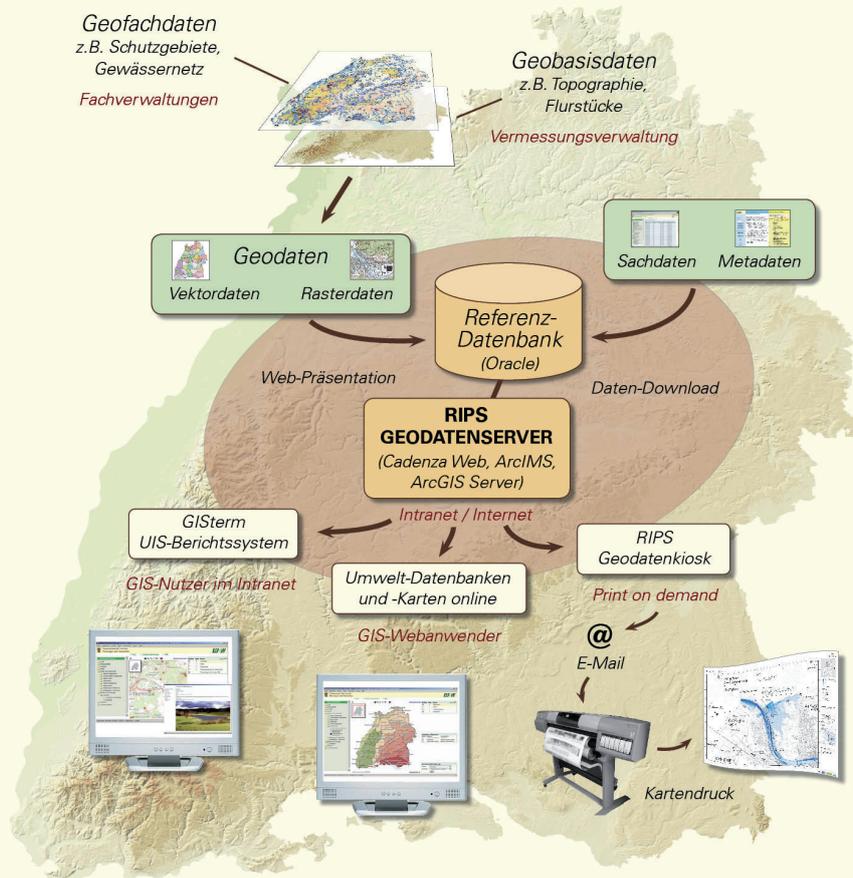
Sämtliche für die Solarpotenzialermittlung benötigten Basisdaten sind der Referenzdatenbank des UIS entnommen.

# UIS BW

## Umweltinformationssystem

### Baden-Württemberg

#### RÄUMLICHES INFORMATIONS- UND PLANUNGSSYSTEM (RIPS)



RIPS führt Geofachdaten und Geobasisdaten des IuK-Verbunds Land/Kommunen zusammen.  
 Der RIPS Geodatenserver ermöglicht allen UIS-Nutzern den Zugriff auf raumbezogene Daten.  
 RIPS stellt Werkzeuge zur Verknüpfung von Geodaten und Sachdaten bereit.



© Umweltministerium Baden-Württemberg, 2006

Abb. 18: Übersicht über das RIPS  
 Quelle: [LUBW\_4]

### 5.2 Smart Geomatics

Ein junges Software- und Dienstleistungsunternehmen im Bereich der Geoinformatik [SMART\_1], welches sich folgendermaßen beschreibt:

*„Innovation und Serviceorientierung sind Grundpfeiler, auf denen ein erfolgreiches Unternehmen aufbaut. Für den ökonomischen Einsatz zukunftsweisender Produkte sowie Leistungen ist eine kompetente und umfassende Beratung notwendig. Unser Motto: Ein System funktioniert nur dann, wenn seine Einführung, Wartung und der Kundenservice höchste Priorität haben. Dies erreichen wir durch Engagement, Motivation und fachspezifisches Know-how“* [SMART\_2]

Ziele im Hinblick auf erneuerbare Energien sind die Ermittlung von Potenzialen und die Schaffung von Werkzeugen, mit denen Aspekte wie die Versorgungssicherheit oder Unabhängigkeit von Energieimporten in der Praxis umgesetzt werden können.

Als Methoden für die Solar-Potential-Analyse dienen beispielsweise ein durch Laserscanner erstelltes, hochauflösendes digitales Geländemodell. Zudem liegen bereits flächendeckend alle Grundrissinformationen aus dem Amtlichen Liegenschaftskataster vor, für Industriegebäude, öffentliche Gebäude sowie Wohngebäude beispielsweise in digitalen Karten und Datenbanken.

Darauf aufbauend wurde ein Analysealgorithmus entwickelt, der in einer komponentenbasierten Standalone Application integriert ist. Das Gesamtmodell der Software gliedert sich in mehrere Module. Damit lassen sich alle Rechenschritte, um die Eignung von Dachflächen zur Nutzung von Solarenergie festzustellen, nahezu vollständig automatisieren.

#### 5.2.1 Ermittlung und Berechnung der nutzbaren Einstrahlung

Um nach der Ermittlung der theoretisch nutzbaren Flächen Berechnungen bezüglich der einfallenden Strahlung und deren darauf folgenden Nutzung durchführen zu können, werden von Smart Geomatics Spezifikationen und Rechenwege zur Verfügung gestellt. Somit lassen sich folgende Werte anhand der Flächengröße, Hangneigung, Ausrichtung und einfallender Strahlung berechnen:

- Kilowatt Peak (Größe einer Anlage)
- Ertragsrechnungen für Freilandflächen
- CO<sub>2</sub>-Reduktion

Die genauen Formeln werden im Zuge der eigentlichen Potenzialberechnung (siehe Kap. 6.4.5) anhand konkreter Beispiele näher erläutert. Des Weiteren ist ein Wirtschaftlichkeitsrechner geplant, der von Smart Geomatics entwickelt und danach bei der Ergebnisdarstellung des Potenzialatlasses mit eingebunden werden soll.

## 5.3 Mögliche Visualisierungswerkzeuge

### 5.3.1 Silverlight

Microsoft Silverlight ist ein kostenloses Browser-Plug-In, welches laut Microsoft selbst eine völlig neue Welt multimedialer Inhalte im Web eröffnet und auf einer reduzierten Version des .NET-Frameworks basiert. Das Plug-In bzw. die einzelnen Anwendungen müssen vom Server heruntergeladen und installiert werden, damit sie im Browser ausgeführt werden können.

Die aktuellste Version ist die am 09.12.2011 veröffentlichte Version 5, welche neben Performanceverbesserungen eine komplette 64-Bit-Unterstützung sowie Microsofts „Trusted Application“-Modell beinhaltet. Bei diesem Modell ist es möglich, bestimmte Aktionen von zertifizierten Anwendungen direkt im Browser auszuführen [SILVER].

Als „Nachteil“ ist hier primär die Tatsache zu nennen, dass für die Darstellung im eigenen Browser das Plug-In heruntergeladen und installiert werden muss. Hierbei entsteht natürlich im Gegensatz zu anderen Webanwendungen, wie z.B. Map apps (siehe Kap. 5.3.3), ein zusätzlicher Aufwand, der für manche Benutzer von vorneherein schon abschreckend wirken könnte.

Dies schmälert gezwungenermaßen leider auch das allgemein angestrebte Zielpublikum, da nicht jeder Benutzer bedenkenlos neue Plug-Ins auf dem eigenen Rechner installieren möchte.

Weiterhin benutzt die LUBW Silverlight für die Darstellung ihres Radwegenetzes (siehe Abb. 19).

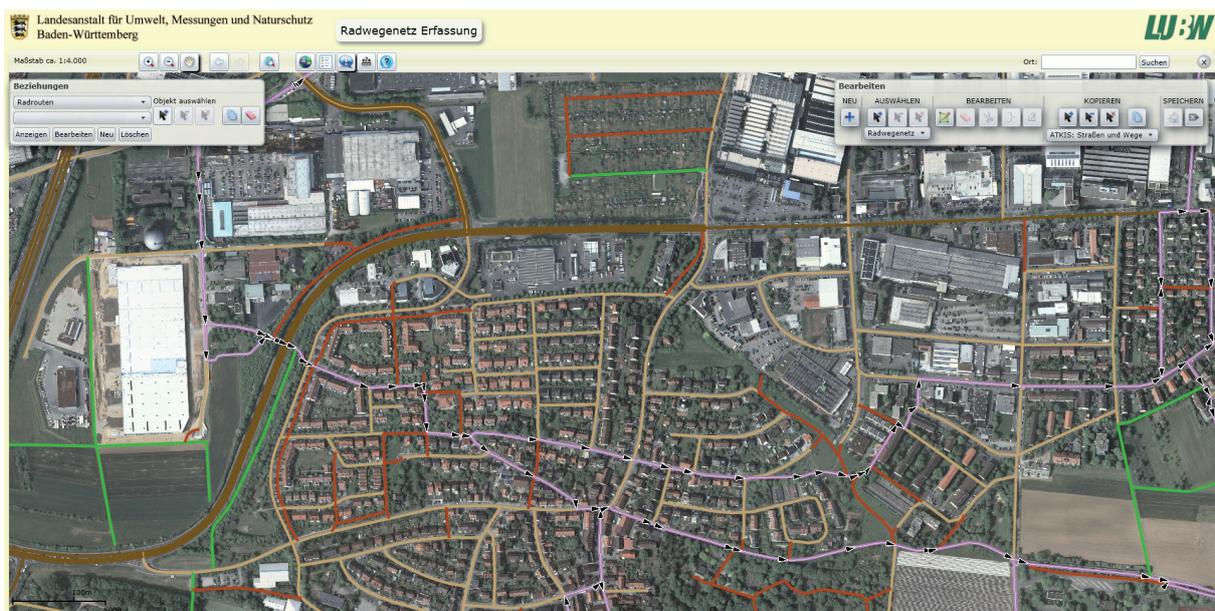


Abb. 19: Darstellung des Radwegenetzes der LUBW mittels Silverlight

### 5.3.2 OpenLayers

Hierbei handelt es sich einerseits um eine JavaScript-Bibliothek, mit welcher aufbereitete Geodaten in Webbrowsern angezeigt werden können, und andererseits um eine Programmierschnittstelle zur clientseitigen Entwicklung unabhängig vom Server [OL]. Eine gewisse Unabhängigkeit von der benutzten Serversoftware entsteht durch die Implementierung mehrerer Schnittstellen wie z.B. „Web Feature Service“ und „Web Map Service“ (beide in standardisierten Formaten des Open Geospatial Consortiums). Möglich ist aber auch die Einbindung geschlossener Formate wie Google Maps, Yahoo Maps oder Virtual Earth.

OpenLayers selbst gibt als Zielgruppe Anwender und Entwickler an, welche eine Karte oder kartenbasierte Anwendung im Internet darstellen möchten und ist dank seiner Open Source-Lizenzbestimmung für jedermann frei zugänglich. Beispielsweise können Kacheln von Karten und Marker aus jeglicher Quelle angezeigt werden. Verwendung findet es unter anderem bei OpenstreetMap, dem Schweizerischen Geoportal des Bundes oder als Grundlage des Energie-Atlas Bayern [EAB].

Für den Endnutzer stehen die typischen Webmappingelemente wie eine Maßstabsleiste, Pan-, oder Navigationsfunktionen zur Verfügung. Auch können wie schon erwähnt selbst Marker platziert werden, sofern das Endprodukt von der Programmierung hierfür ausgelegt wird.

Anders als Map apps (siehe Kap. 5.3.3), welches eine zusätzliche grafische Oberfläche zur Gestaltung von Webanwendungen aufweist, spricht OpenLayers eher ein Zielpublikum mit Entwicklerhintergrund an, was unter anderem auch durch die große zugehörige Community belegt ist.

### 5.3.3 Map apps

Mit der Software Map apps hat die Firma con terra eine standardisierte Integrationsplattform und einen Baukasten zur Erstellung von Geo-Apps entwickelt, die laut con terra in den Punkten Einfachheit, Effizienz, Mobilität und Anwenderfreundlichkeit hervorsteicht. Über vorgefertigte Bausteine können auch von Personen mit wenig oder keiner Programmiererfahrung anschauliche kartographische Webanwendungen erstellt werden. So können neben Karten als solchen, Werkzeugen und weiteren Optionen nur die benötigten Teile verwendet werden, um individuelle Anwendungen zu erstellen. Map apps basiert auf der JavaScript API, über welche z.B. bei der späteren Darstellung auf Kartendokumente aus ArcGIS zugegriffen wird.

Da für Map apps zur Nutzung im Internet weder Plug-Ins wie bei Silverlight noch programmiertechnische Kenntnisse wie bei OpenLayers zur Erstellung von Anwendungen benötigt werden, ist das angedachte Zielpublikum sehr breit gefächert. Mit den richtigen Kenntnissen ist jedoch auch eine entwicklungs-technische Bearbeitung machbar, die dementsprechend mehr Möglichkeiten bietet. Somit bietet Map apps sowohl für Entwickler, als auch Anwender ohne Programmierfähigkeiten und ohne Installation eines zusätzlichen Plug-Ins einfache und übersichtliche Methoden zur Gestaltung einer GIS-basierten Webanwendung an [MAPAPP].

Aufgrund der oben genannten Tatsachen sowie einer modernen Oberfläche wird Map apps von der LUBW dazu verwendet, den Potenzialatlas Erneuerbare Energien zu erstellen und anschließend im Internet zu präsentieren.

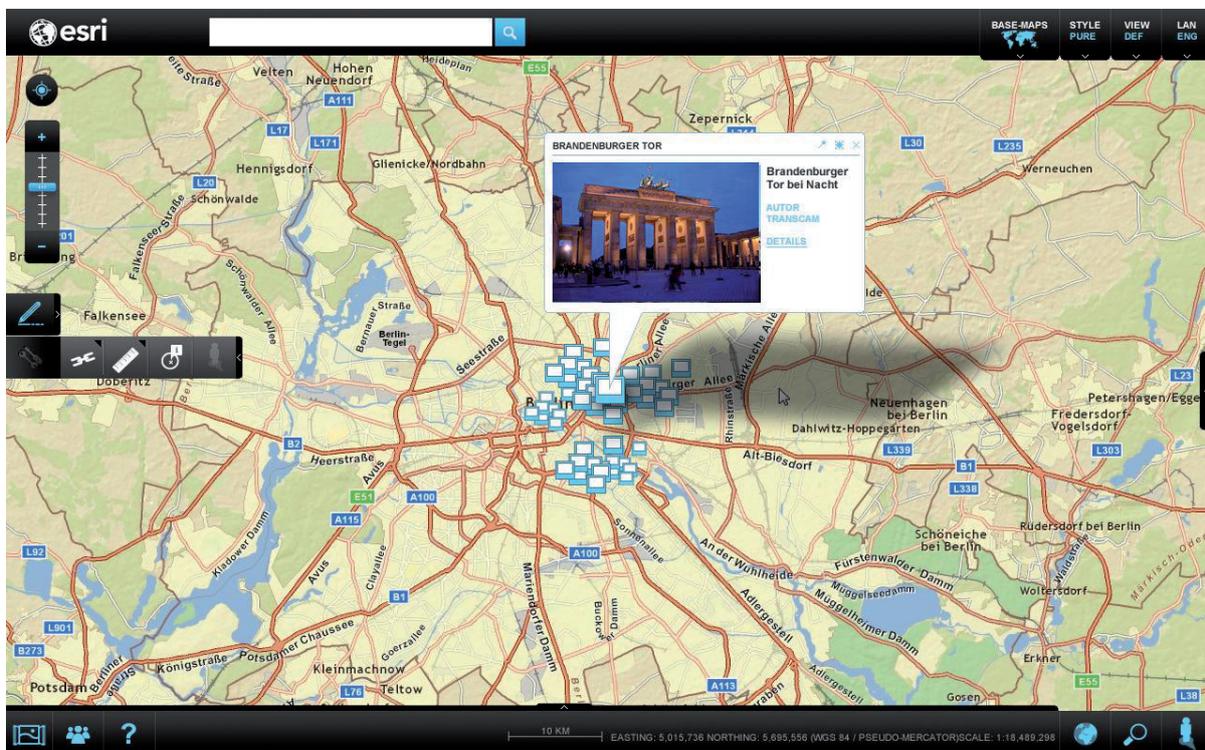


Abb. 20: Map apps  
Quelle: Folien zum Map apps-Vortrag in der LUBW der Firma Conterra

---

## 6 Ermittlung des Solarpotenzials

Im Sinne des Erneuerbaren Energie-Projektes soll in der Endanwendung das Solarpotenzial für alle bestehenden und theoretisch nutzbaren Freilandflächen das Solarpotenzial bestimmt und nach der Eignung klassifiziert werden. Um dies in dieser Arbeit zu veranschaulichen, werden drei unterschiedlich charakteristische Gemeinden ausgewählt, um die Umsetzung der Methodik zu verdeutlichen.

Nach der Wahl der Testgemeinden folgen die Definitionen für die potenziell nutzbaren sowie die auszuschließenden Flächen. Dabei ist es wichtig, die gesetzlichen Vorgaben zu beachten, da aufgrund des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) für PV-Anlagen auf bestimmten Flächen spezifische Vergütungen für den erzeugten Strom gelten [EEG\_2] (siehe Kap. 6.2.1). Sind sämtliche Vorgaben und Kriterien erfüllt, müssen diese noch mit dem tatsächlichen Datenbankbestand der LUBW verglichen werden, um anschließend mittels ArcGIS aufbereitet zu werden.

Eine Auflistung aller benötigten ArcGIS-Werkzeuge findet sich in Kapitel 6.3 . Neben einer kurzen Definition des „Tools“ wird auch ein konkretes Anwendungsbeispiel aufgezeigt. In der eigentlichen Hauptarbeit müssen die aufbereiteten Daten dann klassifiziert und miteinander verschnitten werden. Ziel ist es, von den positiven Suchräumen die theoretisch nutzbaren Flächen zu extrahieren, indem man Suchräume mit den sogenannten Negativflächen verschneidet.

Sobald die Flächen im Vektorformat vorliegen, werden diese aus dem digitalen Geländemodell extrahiert, für die dann vorhandenen Rasterzellen die Strahlungswerte berechnet, danach mittels statistischer Werkzeuge aggregiert und anschließend wieder in Vektorflächen umgewandelt. Als Ergebnis soll eine Fläche im Vektorformat vorliegen, welche den durchschnittlichen Strahlungswert der darin befindlichen Rasterzellen aufweist und dementsprechend klassifiziert werden kann.

Im letzten Schritt werden dann die ermittelten Flächen mit der ALK verschnitten, woraus dann das Solarkataster für Freilandflächen definiert wird.

### 6.1 Auswahl der Testgemeinden

Um die Berechnung für das komplette Land Baden-Württemberg beispielhaft darzustellen, ist es vonnöten, drei Gemeinden auszuwählen, deren Geländebeschaffenheiten sie zusammen als aussagekräftige Beispiele ausweisen. Die Gemeinden weisen landschaftliche Charakteristika der Rheinebene, Vorgebirgszone, höheren Zonen des Schwarzwaldes sowie des Jagsttales auf.

## 6.1.1 Friesenheim

Die Gemeinde Friesenheim besitzt eine geographische Ausdehnung von der Rheinebene über die Vorgebirgszone hin bis in den Schwarzwald. Sie besitzt also ein eher komplex geprägtes geographisches Bild, was sie als Testgemeinde in hohem Maße qualifiziert. Zusätzlich fließt der Fluss Schutter durch das Gebiet. Die vorhandenen Nachbargemeinden sind: Lahr, Seelbach, Biberach, Gengenbach, Hohberg, Neuried und Meißenheim [WIKI\_16].



Abb. 21: Wappen der Gemeinde Friesenheim  
Quelle: [WIKI\_16]

Friesenheim besitzt mit einer Fläche von etwa 47 km<sup>2</sup> und 12 653 Einwohnern einen Gesamtstromverbrauch von 93 632 MWh/a. Der dabei bestehende Anteil der erneuerbaren Stromproduktion beträgt acht Prozent bzw. etwa 7 668 MWh/a. 4 030 MWh/a werden dabei von Solaranlagen erzeugt, die übrigen 3 638 MWh/a durch Biomasse. Eine Unterscheidung der Solaranlagen in Dach- und Freilandanlagen ist auf der Homepage von [www.energymap.info](http://www.energymap.info) jedoch nicht gegeben [ENG\_1].

(Stand: 07.10.2012)



Abb. 22: Gemeindegebiet Friesenheim, Schummerung

### 6.1.2 Münstertal / Schwarzwald

Die Gemeinde Münstertal hat eine geographische Ausdehnung von Staufen im Breisgau bis hinauf in den Schwarzwald. Sie besitzt mit 524 m ü. NN ein eher bergig geprägtes geographisches Bild. Das Gelände ist weiterhin geprägt in mehrere Seitentäler, besitzt eine Ausdehnung in Richtung des Berges Belchen, über den Ortsteil Stohren in Richtung des Freiburger Hausberges Schauinsland und über die Münsterhalde in Richtung Badenweiler [WIKI\_17].



Münstertal besitzt mit einer Fläche von etwa 68 km<sup>2</sup> und 5 211 Einwohnern einen Gesamtstromverbrauch von 38 561 MWh/a. Der dabei bestehende Anteil der erneuerbaren Stromproduktion beträgt nur drei Prozent bzw. etwa 1 250 MWh/a. 676 MWh/a werden dabei von Solaranlagen erzeugt, die übrigen 574 MWh/a durch Wind-, Wasserkraft und Biomasse. Eine Unterscheidung der Solaranlagen in Dach- und Freilandanlagen ist auf der Homepage von [www.energymap.info](http://www.energymap.info) jedoch nicht gegeben [ENG\_2]. (Stand: 07.10.2012)

Abb. 23: Wappen der Gemeinde Münstertal/  
Schwarzwald  
Quelle: [WIKI\_17]



Abb. 24: Gemeindegebiet Münstertal/Schwarzwald, Schummerung

## 6.1.3 Schöntal

Die Gemeinde Schöntal befindet sich auf einer Höhe von 200 bis 334 Metern im Jagsttal und in den Seitentälern des Sindelbaches sowie des Erlenbaches und der Kessach. Während im Norden der Neckar-Odenwald-Kreis mit Ravenstein und Adelsheim angrenzen, befindet sich im Westen der Landkreis Heilbronn mit Jagsthausen und Widdern. Nachbargemeinden sind: Weißbach, Forchtenberg, Ingelfingen und Krautheim [WIKI\_18].

Friesenheim besitzt mit einer Fläche von etwa 82 km<sup>2</sup> und 5 910 Einwohnern einen Gesamtstromverbrauch von 43 734 MWh/a. Der dabei bestehende Anteil der erneuerbaren Stromproduktion beträgt vierzig Prozent bzw. etwa 17 369 MWh/a. 4 286 MWh/a werden dabei von Solaranlagen erzeugt, die übrigen 13 083 MWh/a durch Wind-, Wasserkraft und Biomasse. Eine Unterscheidung der Solaranlagen in Dach- und Freilandanlagen ist auf der Homepage von [www.energymap.info](http://www.energymap.info) jedoch nicht gegeben [ENG\_3]. (Stand: 07.10.2012)



Abb. 25: Wappen der Gemeinde Schöntal  
Quelle: [WIKI\_18]

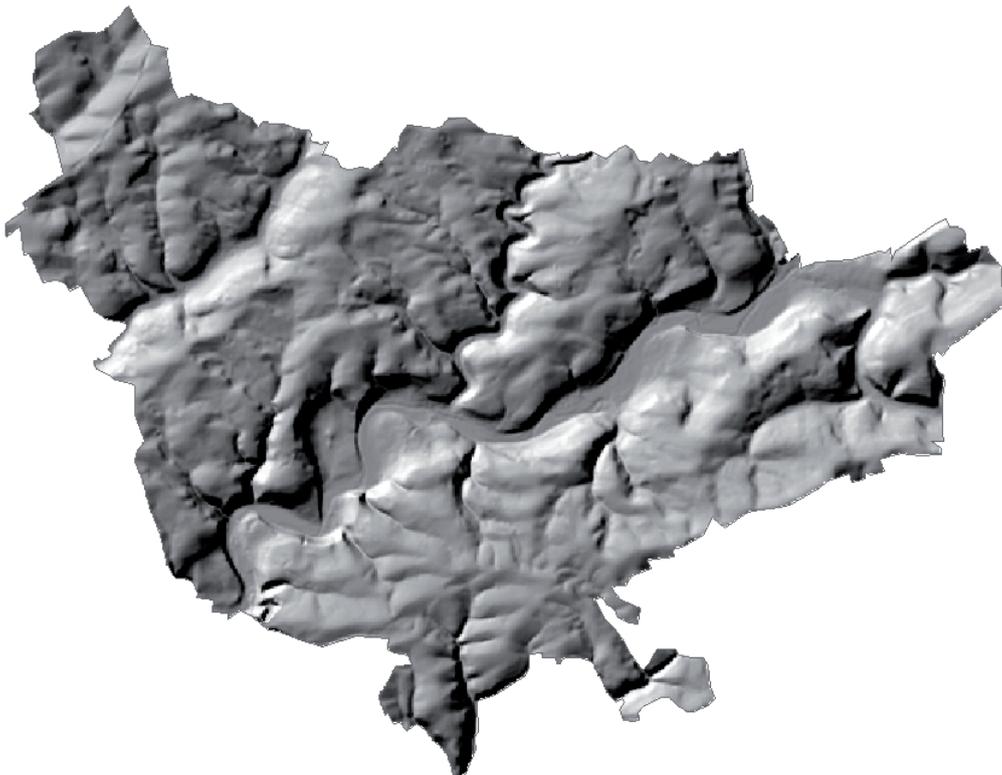


Abb. 26: Gemeindegebiet Schöntal, Schummerung

### 6.2 Ausschluss- und Potenzialkriterien

#### 6.2.1 Gesetzliche Vorgaben

Seit dem Jahr 2000 ersetzt das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)) das noch damals vorhandene Stromeinspeisungsgesetz. Durch seine gesetzlichen Vorgaben besitzt es infolgedessen einen entsprechend großen Anteil an der gesamten Energiewende, regelt beispielsweise die Einspeisevergütung und garantiert, dass Netzbetreiber in jedem Fall den Strom von Produzenten, auch bei kleinen Anlagen, abnehmen.

Laut §1 des EEG [EEG\_1] ist der Zweck dieses Gesetzes, eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu gewährleisten, die Kosten der Energieversorgung herabzusetzen, fossile Energieressourcen zu schonen und gleichzeitig die weitere Forschung und Entwicklung der Erneuerbaren Energie-Technologien zu gewährleisten. Aufgrund dessen sind in §1 Absatz 2 konkrete Ziele formuliert, den Anteil erneuerbarer Energien auf folgende Werte zu erhöhen:

- 35 Prozent spätestens bis zum Jahr 2020
- 50 Prozent spätestens bis zum Jahr 2030
- 65 Prozent spätestens bis zum Jahr 2040
- 80 Prozent spätestens bis zum Jahr 2050

§32 Absatz 1 [EEG\_2] regelt des Weiteren, wann einer PV-Anlage auf Freilandflächen Einspeisevergütungen zustehen. Eine Vergütung besteht, wenn die Anlage:

- 1. in, an oder auf einem Gebäude oder einer sonstigen baulichen Anlage angebracht ist und das Gebäude oder die sonstige bauliche Anlage vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie errichtet worden ist,*
- 2. auf einer Fläche errichtet worden ist, für die ein Verfahren nach § 38 Satz 1 des Baugesetzbuchs durchgeführt worden ist, oder*
- 3. im Bereich eines beschlossenen Bebauungsplans im Sinne des § 30 des Baugesetzbuchs errichtet worden ist und*
  - a) der Bebauungsplan vor dem 1. September 2003 aufgestellt und später nicht mit dem Zweck geändert worden ist, eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie zu errichten,*
  - b) der Bebauungsplan vor dem 1. Januar 2010 für die Fläche, auf der die Anlage errichtet worden ist, ein Gewerbe- oder Industriegebiet im Sinne der §§ 8 und 9 der Baunutzungsverordnung ausgewiesen hat, auch wenn die Festsetzung nach dem 1. Januar 2010 zumindest auch mit dem Zweck geändert wurde, eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie zu errichten, oder*
  - c) der Bebauungsplan nach dem 1. September 2003 zumindest auch mit dem Zweck der Errichtung einer Anlage zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie aufgestellt worden ist und sich die Anlage*

*aa) auf Flächen befindet, die längs von Autobahnen oder Schienenwegen liegen, und sie in einer Entfernung bis zu 110 Metern, gemessen vom äußeren Rand der befestigten Fahrbahn, errichtet worden ist,*

*bb) auf Flächen befindet, die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans bereits versiegelt waren, oder*

*cc) auf Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung befindet und diese Flächen zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans nicht rechtsverbindlich als Naturschutzgebiet im Sinne des § 23 des Bundesnaturschutzgesetzes oder als Nationalpark im Sinne des § 24 des Bundesnaturschutzgesetzes festgesetzt worden sind.*

*(Auszug aus §32 EEG)*

### 6.2.2 Freiflächenkriterien

Wie in §32 des EEG [EEG\_2] zu sehen ist, sind nur wenige bestimmte Bereiche als Potenzialfläche nutzbar: Flächen längs einer Autobahn oder Schienenstrecke bis zu 110 Metern, bereits versiegelte Flächen und Konversionsflächen. Bevor nun direkt Datensätze aus der UIS-Datenbank extrahiert werden, empfiehlt es sich, eine genaue Aufstellung der Themen vorzunehmen, die in die Berechnungen mit einfließen sollen. Zu diesem Zweck wird nach schon bestehende Projekte/Ansichten etc. zum Thema PV-Freiflächenkriterien recherchiert.

Zu nennen sind hauptsächlich die Definitionen von Prof. Dr. Martina Klärle, Ansprechpartnerin für das Projekt „ERNEUERBAR KOMM!“ [ERK] der Fachhochschule Frankfurt am Main, Position und Definitionen des „BUND“ Baden-Württemberg zur Solarstromerzeugung, insbesondere PV-Freiflächenanlagen, Definitionen einer Solarstudie von „LÄNGST & VOERKELIUS die LANDSCHAFTSARCHITEKTEN“ [LVL], Kriterien aus „Grundlagen zur regionalplanerischen Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen“ von bosch und partner [BP], den „Grundlagen zur regionalplanerischen Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen“ von ARGE Monitoring [ARGE] und diversen Regionalplänen.

Auf Basis dieser öffentlich verfügbaren Dokumente wurde im Rahmen dieses Projektes eine eigene, kombinierte Liste mit für PV-Freilandanlagen zutreffenden Kriterien geschaffen. Tabelle 2 zeigt auf folgenden Seiten die ermittelten Kriterien, Angaben zur Freihaltung oder Nutzung dieser Flächen und - sofern notwendig - die erforderlichen Abstandpuffer, die zu dem entsprechenden Kriterium eingehalten werden müssen. Zur besseren Übersicht sind vier Oberbegriffe gebildet worden, denen die Einzelkriterien zugeordnet wurden. Infolgedessen können per ArcGIS später alle vorhandenen Daten in den jeweiligen Oberbegriffen zusammengeführt werden, um den Rechenaufwand nicht unnötig zu vergrößern.

Als Oberbegriffe für Ausschluss. bzw. Negativflächen sind definiert:

- Siedlungsflächen
- Infrastruktur
- Rohstoffsicherung
- Freiraum

| Kriterium  | Freihaltung         | Abstandspuffer |
|--|---------------------|----------------|
| <b>Siedlung:</b>   |                     |                |
| <b>Siedlungsflächen allgemein (Bestand und Planung)</b>  | Nutzung/Freihaltung | spezifisch     |
| Allgemeines Wohngebiet / Wohnbauflächen  | Freihaltung         | 100 m          |
| Bauhof   | Freihaltung         | 0 m            |
| Einzelhäuser und Splittersiedlungen  | Freihaltung         | 100 m          |
| Erwerbsgartenbau   | Freihaltung         | 0 m            |
| Festplatz  | Freihaltung         | 0 m            |
| Feuerwehr  | Freihaltung         | 0 m            |
| Gärtnerei  | Freihaltung         | 0 m            |
| Gewerbegebiete   | Freihaltung         | 0 m            |
| Grünflächen allgemein  | Freihaltung         | 50 m           |
| Historische Anlage   | Freihaltung         | 0 m            |
| Industriegebiet  | Freihaltung         | 0 m            |
| Kern-, Dorf- und Mischgebiete  | Freihaltung         | 100 m          |
| Kindergarten   | Freihaltung         | 100 m          |
| Kirchen und kirchlichen Zwecken dienende Gebäude und Einrichtungen   | Freihaltung         | 100 m          |
| Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten, Alten- und Seniorenheime   | Freihaltung         | 100 m          |
| Öffentliche Verwaltung   | Freihaltung         | 0 m            |
| Regionalplanerisch abgestimmte Bereiche für Siedlungserweiterung   | Freihaltung         | 500 m          |
| Schule   | Freihaltung         | 100 m          |
| Sozialen Zwecken dienende Gebäude und Einrichtungen  | Freihaltung         | 100 m          |
| Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen   | Freihaltung         | 0 m            |
| Störungsempfindliche Grün- und Erholungsflächen (z.B. Friedhöfe, Kleingärten, Parkanlagen, Spielplätze, Campingplätze) | Freihaltung         | 100 m          |
| Nicht störungsempfindliche Grün- und Erholungsflächen (z.B. Sportplätze)   | Freihaltung         | 100 m          |
| <b>Infrastruktur:</b>  |                     |                |
| Bundes- und Landesstraßen  | Freihaltung         | 20 m           |
| Bundes- und Landesstraßen Puffer   | Nutzung             | 110 m          |
| Kreisstraßen   | Freihaltung         | 20 m           |
| Kreisstraßen Puffer  | Nutzung             | 110 m          |
| Bahn-/Gleisanlagen (ehemalig)  | Nutzung             | 0 m            |
| Evtl. freie Gewerbegebietsflächen  | Nutzung             | 0 m            |
| Feld- und Waldwege   | Freihaltung         | 0 m            |
| Flughäfen, Verkehrslandeplätze, Segelflugplätze  | Freihaltung         | 100 m          |
| Fußwege  | Freihaltung         | 50 m           |
| Hochspannungsfreileitungen ab 110 kV   | Freihaltung         | 100 m          |
| Nähe Umspannstationen (Hochspannung)   | Nutzung             | 0 m            |
| Parkplätze   | Freihaltung         | 0 m            |
| Radwege  | Freihaltung         | 50 m           |
| Schienenstrecken   | Freihaltung         | 20 m           |
| Schienenstrecken Puffer  | Nutzung             | 110 m          |
| Truppenübungsplätze  | Freihaltung         | 0 m            |

|   |             |       |
|---|-------------|-------|
| Ver- und Entsorgungsflächen   | Freihaltung | 0 m   |
| Verkehrsbegleitflächen  | Freihaltung | 0 m   |
| Sonstige Verkehrsflächen in Bestand und Planung<br>(Plätze, Seiten-, Rand- und Sicherheitsstreifen,<br>Böschungen, Rinnen und Gräben, Brücken,<br>Unterführungen, Treppen und Rampen) | Freihaltung | 0 m   |
| <b>Rohstoffsicherung:</b>   |             |       |
| Konzession/Abbaustandort für oberflächennahe<br>Rohstoffe   | Freihaltung | 0 m   |
| Lagerflächen (Holzlager, Baumaterial)   | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für den Rohstoffabbau  | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für die Sicherung von<br>Rohstoffvorkommen   | Freihaltung | 0 m   |
| <b>Freiraum:</b>  |             |       |
| Ackerland   | Nutzung     | 0 m   |
| Ackerland mit einer Ackerzahl < 30  | Nutzung     | 0 m   |
| Ackerland mit Ackerzahlen > 70  | Freihaltung | 0 m   |
| Ausgleichs- und Ökokontoflächen   | Freihaltung | 10 m  |
| Biosphärengebiete   | Freihaltung | 0 m   |
| Biotope   | Freihaltung | 0 m   |
| Bodendenkmale   | Freihaltung | 0 m   |
| Brachland   | Nutzung     | 0 m   |
| Bundeswasserstraßen und Gewässer 1. Ordnung (mit<br>Freihalte-Abstand laut Landesnaturschutzgesetz)   | Freihaltung | 0 m   |
| FFH-Gebiete   | Freihaltung | 0 m   |
| Flächen in räumlichem Zusammenhang mit<br>Windkraftanlagen im Außenbereich  | Nutzung     | 0 m   |
| Fließgewässer   | Freihaltung | 120 m |
| Geschützte Landschaftsbestandteile  | Freihaltung | 0 m   |
| Grünland  | Nutzung     | 0 m   |
| Grünland, das zuvor Ackerland war   | Nutzung     | 0 m   |
| Grünzäsuren   | Nutzung     | 0 m   |
| Hecke, Gebüsch  | Freihaltung | 10 m  |
| Hochwertige landwirtschaftliche Flächen   | Freihaltung | 0 m   |
| Lärmschuttenrichtungen  | Nutzung     | 0 m   |
| Landschaftsprägende Höhenrücken und Kuppen  | Freihaltung | 0 m   |
| Landschaftsschutzgebiete  | Freihaltung | 0 m   |
| Moor/ Sumpfgebiete  | Freihaltung | 0 m   |
| NATURA 2000   | Freihaltung | 0 m   |
| Naturdenkmale   | Freihaltung | 0 m   |
| Naturschutzgebiete  | Freihaltung | 0 m   |
| Öd- und Unland  | Nutzung     | 0 m   |
| Regionale Schwerpunkten des archäologischen<br>Denkmalschutzes  | Freihaltung | 0 m   |
| Sonderkultur, Streuobst   | Freihaltung | 10 m  |
| Stehende Gewässer   | Freihaltung | 120 m |
| Überschwemmungsgebiete  | Freihaltung | 0 m   |
| Versiegelte Flächen   | Nutzung     | 0 m   |

|   |             |       |
|---|-------------|-------|
| Vogelschutzgebiete  | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz                        | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für Erholung   | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für Forstwirtschaft  | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für Landwirtschaft   | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für Naturschutz und Landschaftspflege                        | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für regionalbedeutsame Windkraftanlagen                      | Freihaltung | 0 m   |
| Vorranggebiete für Verteidigung   | Freihaltung | 0 m   |
| Wald-/Forstgebiete  | Freihaltung | 100 m |
| Wasser- u. Heilquellenschutzgebiete Zone I - IV(bestehend und im Verfahren) | Freihaltung | 0 m   |

Tabelle 1: Ermittelte Freiflächenkriterien (Detaildarstellung)

### 6.2.3 Vergleich Datenbankbestand - Kriterien

Nachdem nun ein Überblick über die gewünschten Kriterien geschaffen ist, kann diese Tabelle mit den in der UIS-Datenbank tatsächlich vorhandenen Datensätzen verglichen werden. Die gefundenen Datensätze selbst werden danach aus der Datenbank extrahiert und für die weiteren Berechnungen lokal in einer File Geodatabase (FGDB) gespeichert. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse hierfür auf.

Anmerkung: Einige Einträge in Tabelle 2 werden doppelt angezeigt. dies ist der Fall, da diese Themen einmal als separater Datensatz und einmal in den ALK-Nutzungsdaten vorhanden sind Eine enstprechende textliche Erläuterung findet sich bei den jeweiligen Datensätzen.

| Datensatz aus UIS-DB:                       | Äquivalentes Freiflächenkriterium:   | Vereinbarkeit:   |
|---|--|--|
| Abfalldeponie                               | Deponie / Deponie (ehemalig)   | Positivfläche  |
| Ackerland                                   | Ackerland  | Nur Ackerland mit einer Bodengrundzahl <30 wird als Positivfläche berücksichtigt. Ackerflächen mit einem Wert darüber werden als ungeeignet eingestuft |
| Gartenland                                  | Erwerbsgartenbau / Gärtnerei   | Negativfläche  |
| ALK-Gebäude                                 | Allgemeines Wohngebiet / Wohnbauflächen  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)  |
| Ackerland (aus ALK-Nutzung)                 | Ackerland  | Nur Ackerland mit einer Bodengrundzahl <30 wird als Positivfläche berücksichtigt. Ackerflächen mit einem Wert darüber werden als ungeeignet eingestuft |
| Altwasser (aus ALK-Nutzung)                 | Stehende Gewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)  |
| Bach (aus ALK-Nutzung)                      | Fließgewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)  |
| Bahngelände (aus ALK-Nutzung)               | Industrie- /Gewerbegebiet  | Negativfläche  |
| Bauplatz (aus ALK-Nutzung)                  | Siedlungsflächen allgemein (Planung)   | Negativfläche  |
| Betriebsfläche Abbauwand (aus ALK-Nutzung)  | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche  |
| Betriebsfläche                              | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche  |
| Entsorgungsanlage (aus ALK-Nutzung)         | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche  |
| Betriebsfläche Halde (aus ALK-Nutzung)      | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche  |
| Betriebsfläche Lagerplatz (aus ALK-Nutzung) | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche  |
| Brachland (aus ALK-Nutzung)                 | Brachland  | Positivfläche  |
| Campingplatz (aus ALK-Nutzung)              | Störungsempfindliche Grün- und Erholungsflächen (z.B. Friedhöfe, Kleingärten, Parkanlagen, Spielplätze, Campingplätze) | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)  |
| Flugplatz (aus ALK-Nutzung)                 | Flughäfen, Verkehrsladepunkte, Segelflugplätze   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)  |
| Fluß (aus ALK-Nutzung)                      | Fließgewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)  |

|   |  |                                       |
|---|--|---------------------------------------|
| Friedhof (aus ALK-Nutzung)  | Störungsempfindliche Grün- und Erholungsflächen (z.B. Friedhöfe, Kleingärten, Parkanlagen, Spielplätze, Campingplätze)   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m) |
| Gartenland (aus ALK-Nutzung)  | Erwerbsgartenbau / Gärtnerei   | Negativfläche                         |
| Gebäude- und Freifläche Erholung (aus ALK-Nutzung)                  | Grün- und Erholungsflächen (Störungsempfindliche und nicht störungsempfindlich)  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m) |
| Gebäude- und Freifläche Gewerbe und Industrie (aus ALK-Nutzung)     | Industrie- /Gewerbegebiet  | Negativfläche                         |
| Gebäude- und Freifläche Handel und Wirtschaft (aus ALK-Nutzung)     | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche                         |
| Gebäude- und Freifläche Land- und Forstwirtschaft (aus ALK-Nutzung) | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche                         |
| Gebäude- und Freifläche Öffentliche Zwecke (aus ALK-Nutzung)        | Siedlungsflächen allgemein (Bestand)   | Negativfläche                         |
| Gebäude- und Freifläche Wohnen (aus ALK-Nutzung)                    | Allgemeines Wohngebiet / Wohnbauflächen  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m) |
| Gebäude- und Freifläche zu Entsorgungsanlagen (aus ALK-Nutzung)     | Ver- und Entsorgungsflächen  | Negativfläche                         |
| Gebäude- und Freifläche zu Versorgungsanlagen (aus ALK-Nutzung)     | Ver- und Entsorgungsflächen  | Negativfläche                         |
| Gehölz (aus ALK-Nutzung)  | Wald-/Forstgebiete   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m) |
| Graben (aus ALK-Nutzung)  | Sonstige Verkehrsflächen in Bestand und Planung (Plätze, Seiten-, Rand- und Sicherheitsstreifen, Böschungen, Rinnen und Gräben, Brücken, Unterführungen, Treppen und Rampen) | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m) |
| Grünanlage (aus ALK-Nutzung)  | Grünflächen allgemein  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 50m)  |
| Grünland (aus ALK-Nutzung)  | Grünland   | Positivfläche                         |

|                                      |  |  |
|--------------------------------------|--|--|
| Hafen (aus ALK-Nutzung)              | Industrie- /Gewerbegebiet  | Negativfläche  |
| Heide (aus ALK-Nutzung)              | Grünland   | Positivfläche  |
| Historische Anlage (aus ALK-Nutzung) | Historische Anlage   | Wird als Negativfläche gewertet. Selektion historischer Anlagen wird zur Verdeutlichung von Ausbaupotenzial separat erstellt |
| Kanal (aus ALK-Nutzung)              | Fließgewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)  |
| Laubwald (aus ALK-Nutzung)           | Wald-/Forstgebiete   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)  |
| Mischwald (aus ALK-Nutzung)          | Wald-/Forstgebiete   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)  |
| Moor (aus ALK-Nutzung)               | Evtl. Moor/ Sumpfbgebiete  | Negativfläche  |
| Nadelwald (aus ALK-Nutzung)          | Wald-/Forstgebiete   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)  |
| Platz (aus ALK-Nutzung)              | Sonstige Verkehrsflächen in Bestand und Planung (Plätze, Seiten-, Rand- und Sicherheitsstreifen, Böschungen, Rinnen und Gräben, Brücken, Unterführungen, Treppen und Rampen) | Negativfläche  |
| Schiffsverkehr (aus ALK-Nutzung)     | Bundeswasserstraßen und Gewässer 1. Ordnung (mit Freihalte-Abstand laut Landesnaturschutzgesetz)   | Negativfläche  |
| See (aus ALK-Nutzung)                | Stehende Gewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)  |
| Sportfläche (aus ALK-Nutzung)        | Nicht störungsempfindliche Grün- und Erholungsflächen (z.B. Sportplätze)   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)  |
| Straße (aus ALK-Nutzung)             | Infrastruktur: Straßen und Verkehrsflächen   | Negativfläche (+ Abstandspuffer) - Selektion und Verschneidung später mit ATKIS-Straßen                                      |
| Sumpf (aus ALK-Nutzung)              | Evtl. Moor/ Sumpfbgebiete  | Negativfläche  |
| Teich (aus ALK-Nutzung)              | Stehende Gewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)  |
| Übungsgelände (aus ALK-Nutzung)      | Truppenübungsplätze  | Negativfläche  |
| Unland (aus ALK-Nutzung)             | Öd- und Unland   | Positivfläche  |

|  |  |   |
|--|--|---|
| Weg (aus ALK-Nutzung)                            | Infrastruktur: Wege  | Negativfläche (+ Abstandspuffer) - Selektion und Verschneidung später mit ATKIS-Straßen |
| Weingarten (aus ALK-Nutzung)                     | Sonderkultur, Streuobst  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Altlastverdächtige Flächen / Altlasten           | Konversionsflächen   | Positivfläche   |
| Böschung (aus ALK)                               | Sonstige Verkehrsflächen in Bestand und Planung (Plätze, Seiten-, Rand- und Sicherheitsstreifen, Böschungen, Rinnen und Gräben, Brücken, Unterführungen, Treppen und Rampen) | Negativfläche   |
| Baumreihe  | Hecke, Gebüsch   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Hecke mit Wall                                   | Hecke, Gebüsch   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Hecke ohne Wall                                  | Hecke, Gebüsch   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Tagebau, Grube, Steinbruch                       | Konzession/Abbaustandort für oberflächennahe Rohstoffe   | Negativfläche   |
| Biosphärengebiete - Kernzone                     | Biosphärengebiete  | Negativfläche   |
| Biosphärengebiete - Pflegzone                    | Biosphärengebiete  | Negativfläche   |
| Biotopkartierung 81-89                           | Biotope  | Negativfläche   |
| FFH-Gebiet                                       | FFH-Gebiete  | Negativfläche   |
| Fußweg   | Fußwege  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 50m)  |
| Truppen-, Standortübungsplatz                    | Truppenübungsplätze  | Negativfläche   |
| Geschützte Biotope nach NatSchG/LWaldG           | Biotope  | Negativfläche   |
| Gewässer, stehend (AWGN)                         | Stehende Gewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)   |
| Gewässernetz (AWGN)                              | Fließgewässer  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m)   |
| Grünland   | Grünland   | Positivfläche   |
| Heide  | Grünland   | Positivfläche   |
| Landschaftsschutzgebiete                         | Landschaftsschutzgebiete   | Negativfläche   |
| Flächen mit einer Ackerzahl kleiner 30 (aus ALB) | Ackerland mit einer Ackerzahl < 30   | Positivfläche   |
| Mittlere Boden- oder Grünlandgrundzahl >74       | Ackerland mit Ackerzahlen > 70   | Negativfläche   |
| Anmoor   | Moor/ Sumpfbgebiete  | Negativfläche   |
| Hochmoor   | Moor/ Sumpfbgebiete  | Negativfläche   |
| nicht differenziertes Moor                       | Moor/ Sumpfbgebiete  | Negativfläche   |
| Niedermoor                                       | Moor/ Sumpfbgebiete  | Negativfläche   |
| seekreidehaltiger Boden                          | Moor/ Sumpfbgebiete  | Negativfläche   |

|   |  |   |
|---|--|---|
| überdecktes Anmoor  | Moor/ Sumpfgebiete   | Negativfläche   |
| überdecktes Niedermoor  | Moor/ Sumpfgebiete   | Negativfläche   |
| zerstörtes Moor   | Moor/ Sumpfgebiete   | Negativfläche   |
| NATURA 2000   | NATURA 2000  | Negativfläche   |
| Naturdenkmal, flächenhaft   | Naturdenkmale  | Negativfläche   |
| Naturschutzgebiet   | Naturschutzgebiete   | Negativfläche   |
| Ortslage  | Siedlung   | Negativfläche   |
|   | Wasser- u.   |   |
| Quellenschutzgebietszone I, festgesetzt                               | Heilquellenschutzgebiete Zone I - IV(bestehend und im Verfahren)   | Negativfläche   |
|   | Wasser- u.   |   |
| Quellenschutzgebietszone II, festgesetzt                              | Heilquellenschutzgebiete Zone I - IV(bestehend und im Verfahren)   | Negativfläche   |
|   | Wasser- u.   |   |
| Quellenschutzgebietszone III, festgesetzt                             | Heilquellenschutzgebiete Zone I - IV(bestehend und im Verfahren)   | Negativfläche   |
|   | Wasser- u.   |   |
| Quellenschutzgebietszone in Planung                                   | Heilquellenschutzgebiete Zone I - IV(bestehend und im Verfahren)   | Negativfläche   |
|   | Wasser- u.   |   |
| Quellenschutzgebietszone IV, festgesetzt                              | Heilquellenschutzgebiete Zone I - IV(bestehend und im Verfahren)   | Negativfläche   |
|   |  |   |
| Eisenbahn   | Schienenstrecken   | Sowohl Positiv- als auch Negativfläche hier vorhanden. Differenzierung wird bei Verschneidung vorgenommen |
| Stadtbahn, Straßenbahn, S-Bahn, Gleisanschluss, Museumsbahn, Bergbahn | Schienenstrecken   | Sowohl Positiv- als auch Negativfläche hier vorhanden. Differenzierung wird bei Verschneidung vorgenommen |
|   |  |   |
| Friedhof  | Störungsempfindliche Grün- und Erholungsflächen (z.B. Friedhöfe, Kleingärten, Parkanlagen, Spielplätze, Campingplätze) | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)   |
|   |  |   |
| Grünfläche  | Grünflächen allgemein  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 50m)  |
| Baumschule  | Sonderkultur, Streuobst  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Hopfenfeld  | Sonderkultur, Streuobst  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Obstbauplantage   | Sonderkultur, Streuobst  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Sonstige Sonderkulturen   | Sonderkultur, Streuobst  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Streuobst   | Sonderkultur, Streuobst  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |
| Weingarten  | Sonderkultur, Streuobst  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 10m)  |

|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| Bahnhofsanlage             | Industrie- /Gewerbegebiet   | Negativfläche   |
| Flughafen, Flugplatz       | Flughäfen,<br>Verkehrsladeplätze,<br>Segelflugplätze  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)   |
| Platz, Fußgängerzone       | Sonstige Verkehrsflächen in<br>Bestand und Planung<br>(Plätze, Seiten-, Rand- und<br>Sicherheitsstreifen,<br>Böschungen, Rinnen und<br>Gräben, Brücken,<br>Unterführungen, Treppen<br>und Rampen) | Negativfläche   |
| Verkehrsfläche, Raststätte | Sonstige Verkehrsflächen in<br>Bestand und Planung<br>(Plätze, Seiten-, Rand- und<br>Sicherheitsstreifen,<br>Böschungen, Rinnen und<br>Gräben, Brücken,<br>Unterführungen, Treppen<br>und Rampen) | Negativfläche   |
| Autobahn                   | Bundesautobahnen  | Sowohl Positiv- als auch Negativfläche hier<br>vorhanden. Differenzierung wird bei<br>Verschneidung vorgenommen |
| Bundesstraße               | Bundes- und Landesstraßen   | Sowohl Positiv- als auch Negativfläche hier<br>vorhanden. Differenzierung wird bei<br>Verschneidung vorgenommen |
| Landesstraße, Kreissstraße | Bundes- und Landesstraßen   | Sowohl Positiv- als auch Negativfläche hier<br>vorhanden. Differenzierung wird bei<br>Verschneidung vorgenommen |
| Sport-, Golfplatz          | Nicht störungsempfindliche<br>Grün- und Erholungsflächen<br>(z.B. Sportplätze)  | Negativfläche   |
| Überschwemmungsgebiete     | Überschwemmungsgebiete  | Negativfläche   |
| Vogelschutzgebiet          | Vogelschutzgebiete  | Negativfläche   |
| Laubholz                   | Wald-/Forstgebiete  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)   |
| Mischholz                  | Wald-/Forstgebiete  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)   |
| Nadelholz                  | Wald-/Forstgebiete  | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m)   |

|   |  |                                       |
|---|--|---------------------------------------|
| Bannwald  | Wald-/Forstgebiete   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m) |
| Schonwald   | Wald-/Forstgebiete   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 100m) |
| Wasserfläche  | Fließ-/stehende Gewässer   | Negativfläche (+ Abstandspuffer 120m) |
| Wasserschutzgebietszone<br>(M1/M2) I-IV (ohne<br>"aufgehoben" und "Verfahren<br>eingestellt") | Wasser- u.<br>Heilquellenschutzgebiete<br>Zone I - IV(bestehend und<br>im Verfahren) | Negativfläche                         |

Tabelle 2: Vergleich der ermittelten Kriterien mit Datenbestand der LUBW

Aufgrund der in der UIS-DB vorhandenen Datensätze müssen neben den Ausschlussflächen noch die Suchräume definiert werden, welche sich auf Folgende begrenzen:

Im Sinne des EEG und mit entsprechender Vergütung:

- Flächen entlang von Autobahnen und Schienenstrecken bis zu einer Entfernung von 110 Metern
- Deponien (werden als Konversionsflächen betrachtet)
- Altlasten (werden als Konversionsflächen betrachtet)

Ohne Vergütung durch das EEG:

- Flächen mit einer Ackerzahl, die kleiner gleich 30 beträgt

Weitere in Tabelle 3 als Positivfläche deklarierte sowie konflikt- oder ausbaupotenzialmäßige Flächen werden nicht mit aufgenommen.

### 6.3 ArcGIS-Werkzeuge

Dieses Kapitel stellt eine Übersicht über die während der Geoverarbeitung verwendeten Werkzeuge in ArcMap und ArcCatalog dar. Da Werkzeuge (sogenannte Tools) in sogenannte Toolboxen und darin in Toolsets gegliedert werden. Die nachfolgenden Unterkapitel beziehen sich auf die die entsprechenden Werkzeuge enthaltenden Toolboxen. Die Werkzeuge darin werden beispielhaft mit Bezug auf ihre Beteiligung an der Erstellung des Solarkataster beschrieben. Eine Unterteilung nach Toolsets wird nicht vorgenommen, vielmehr findet sich diese Information in der Beschreibung der einzelnen Werkzeuge.

#### 6.3.1 Analysis Toolbox

In dieser Toolbox finden sich Werkzeuge für grundlegende GIS-Operationen wie zum Beispiel der Erstellung von Puffern, der Verschneidung von Daten miteinander, der Berechnung von Statistiken oder Nachbarschaftsanalysen. Diese Operationen gehören zu den Basiswerkzeugen von ArcGIS und stellen in vielen Fällen den ersten Schritt, wenn nicht gar schon die Lösung dar.

- Clip

Toolset: „Extract“

Mittels dieses Werkzeuges können mittels Feature-Klassen Ausschnitte aus anderen Feature-Klassen extrahiert werden. Die Clip-Feature-Klasse dient hier als eine Art Ausstechform und ermöglicht es, je nach Interesse aus Untersuchungsgebieten bestimmte geographische Teilbereiche auszuschneiden. Dieses Tool ist z.B. notwendig, um sämtliche berechneten Flächen auf die jeweiligen Testgemeinden zu beschränken.

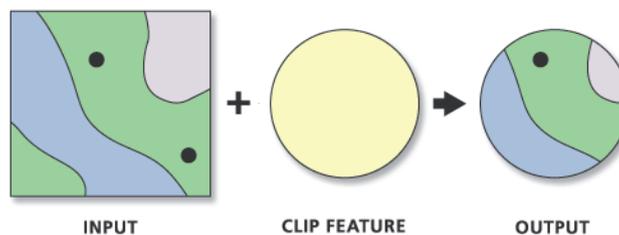


Abb. 27: Funktionsweise Clip-Tool  
Quelle: [GIS\_2]

- Split

Toolset: „Extract“

Das Split-Werkzeug ermöglicht es, mittels eines mehrteiligen Features, bestimmte Teilmengen aus dem Untersuchungsgebiet zu extrahieren und diese auch als mehrteilige Feature-Klasse zu exportieren. Dieses Werkzeug wird unter anderem dazu verwendet, um die landesweit errechneten nutzbaren Flächen gemeindeweise zusammenzufassen, wobei die Zonennamen den Gemeindennamen entsprechen.

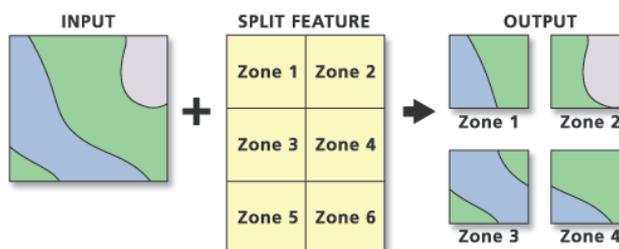


Abb. 28: Funktionsweise Split-Tool  
Quelle: [GIS\_3]

## - Erase

Toolset: „Overlay“

Dieses Werkzeug stellt das Gegenstück zum Clip-Tool dar. Hier werden nun nicht die lagegleichen Geometrien zweier Feature-Klassen extrahiert, sondern entfernt. Nur die Bereiche, die sich außerhalb des Erase-Features befinden, werden in die Ausgabe-Feature-Klasse geschrieben. Anwendung findet dieses Tool, wenn Negativflächen von Suchräumen abgezogen werden müssen, um die theoretisch nutzbaren Flächen zu berechnen.

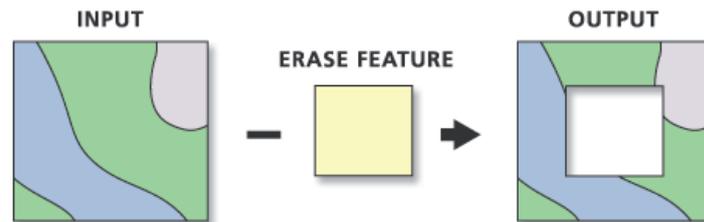


Abb. 29: Funktionsweise Erase-Tool  
Quelle: [GIS\_4]

## - Spatial Join

Toolset: „Overlay“

Verbindet die Attribute zweier Feature-Klassen auf Basis der räumlichen Beziehung der Feature-Klassen untereinander. Wird verwendet, um ermittelte Flächen beispielsweise den Gemeinden zuzuordnen, in denen sie sich befinden oder um ALK-Flurstücken aufgrund ihrer Lage zu theoretisch nutzbaren Flächen Informationen über ihre Eignung hinsichtlich der solaren Einstrahlung hinzuzufügen.

## - Buffer

Toolset: „Proximity“

Hiermit werden Pufferpolygone mit einem (zu definierenden) festen Abstand um die Eingabedaten herum errechnet. Die Eingabedaten können punkt-, linien-, oder flächenhaft vorliegen, wobei in dieser Arbeit die Daten entweder als Linien (z.B. Straßen und Schienenstrecken) und Flächen (z.B. Natur- oder Landschaftsschutzgebiete) vorliegen. Optional können die entstandenen Flächen schon in der Berechnung miteinander verschnitten werden, um sich überlappende Bereiche zu entfernen.

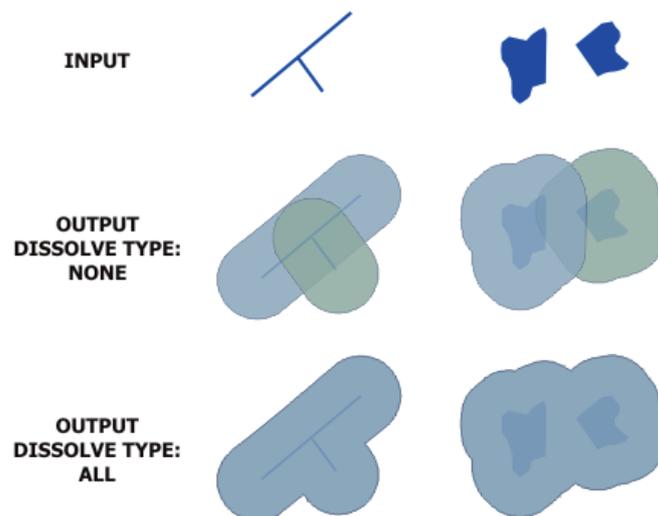


Abb. 30: Funktionsweise Buffer-Tool  
Quelle: [GIS\_5]

### 6.3.2 Cartography Toolbox

#### - Aggregate Polygons

Toolset: „Generalization“

Mit diesem Werkzeug ist es möglich, Polygone, die in einem bestimmten (zu definierenden) Abstand zueinander liegen, als Multipart zu einer Feature-Klasse zusammenzufügen. Diese Vorgehensweise kann bei theoretisch nutzbaren Flächen genutzt werden, die zwar alleine eine bestimmte Größe nicht erreichen, mit benachbarten Flächen aber eine für PV-Freilandanlagen sinnvolle Flächengrößen ergeben.

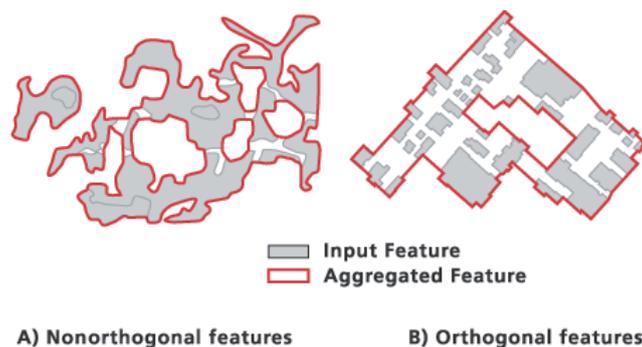


Abb. 31: Funktionsweise Aggregate Polygon-Tool  
Quelle: [GIS\_6]

### 6.3.3 Conversion Toolbox

Die Werkzeuge in dieser Toolbox dienen hauptsächlich dem Zweck, Datensätze von einem bestehenden Format in ein, sofern verfügbares, anderes Format umzuwandeln. Shapefiles können in Rasterdatensätze umgewandelt werden, Feature-Klassen zu Feature-Klassen in anderen FGDBs oder Raster zu Vektordatensätzen. Für die Solarpotenzialanalyse ist es des Öfteren notwendig, aufgrund von performance- und rechentechnischen Gründen Vektordatensätze zu rastern oder gerasterte Daten (wieder) zu vektorisieren.

### 6.3.4 Data Management Toolbox

Diese Toolbox enthält aufgrund ihrer Größe und ihres Umfangs die meisten Werkzeuge zum Entwickeln, Verwalten und Pflegen von Feature-Klassen, Shapefiles, Layern und Raster-Datensätzen. Neben der „Analysis“-Toolbox können auch mit den hier gefundenen Werkzeugen die meisten grundlegenden sowie auch erweiterten Operationen durchgeführt werden.

## - Multipart to Singlepart

Toolset: „Features“

Besitzt eine Feature-Klasse ein Objekt, welches aber aus mehreren Teilobjekten besteht, so kann dieses Werkzeug eine Feature-Klasse erstellen, die jedes Objekt als Singlepart enthält. Benötigt wird diese Funktion, wenn aufgrund von Durchschnittsberechnungen innerhalb von Zonen einzelne Flächen als einzelne Objekte benötigt werden.

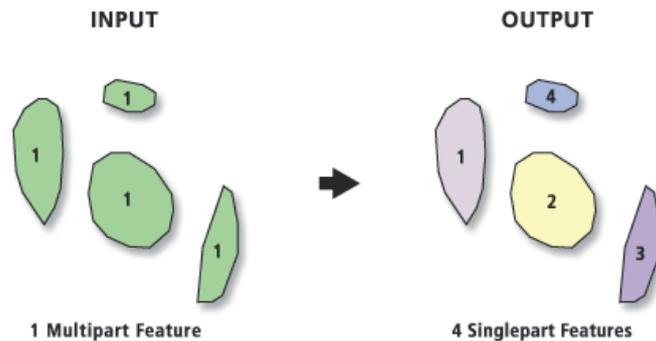


Abb. 32: Funktionsweise Multipart to Singlepart-Tool  
Quelle: [GIS\_7]

## - Merge

Toolset: „General“

Ermöglicht das Zusammenführen von mehreren zu einer einzelnen, alle vorherige Objekte enthaltenden, Feature-Klasse. Wird dann benötigt, wenn mehrere aufbereitete Datensätze beispielsweise zu Oberbegriffen wie „Siedlung“ oder „Infrastruktur“ zusammengefügt werden sollen.

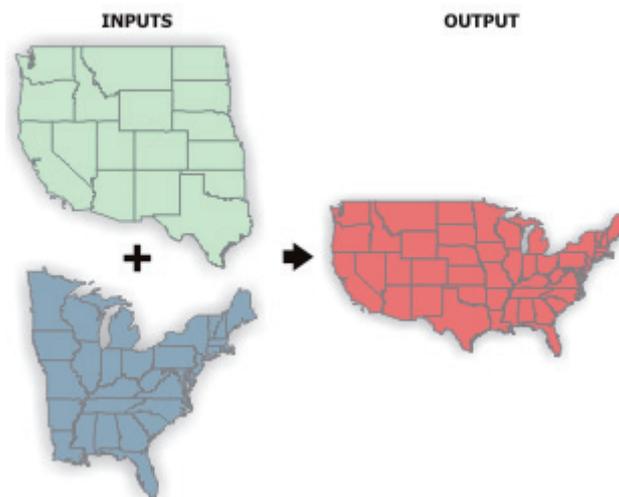


Abb. 33: Funktionsweise Merge-Tool  
Quelle: [GIS\_8]

- Dissolve

Toolset: „Generalization“

Das Dissolve-Tool wird benötigt, wenn es gilt, bei sich überschneidenden Flächen die Überlappungen herauszurechnen und die einzelnen Objekte an den lagegleichen Stellen zu einem einzelnen Objekt zusammenzuführen. Dies kann insbesondere dann auftreten, wenn für mehrere Objekte innerhalb eines Oberbegriffes Puffer gebildet werden müssen. Aufgrund des enormen Rechenaufwandes werden diese Flächen vor ihrer Weiterverarbeitung ohne bzw. mit ineinander aufgelöster Überlappung zusammengeführt.

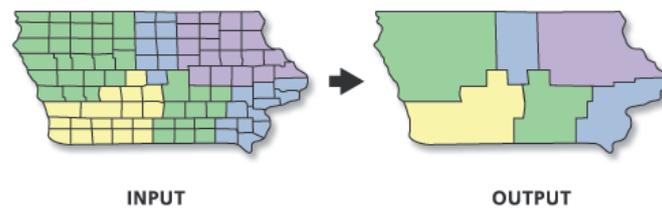


Abb. 34: Funktionsweise Dissolve-Tool  
Quelle: [GIS\_9]

### 6.3.5 Spatial Analyst Toolbox

Mittels der Erweiterung „Spatial Analyst“ steht auch eine eigene Toolbox bereit, mit denen sich umfangreiche räumliche Analysen und Modellierung hauptsächlich für Raster-, aber auch für Feature-Daten durchführen lassen.

- Extract by Mask

Toolset: „Extraction“

Anders als bei dem Clip-Tool können mit der Extract by Mask-Funktion Ausschnitte aus Rasterdatensätzen extrahiert werden. Als Maske bzw. vordefinierter Bereich können hierbei sowohl Raster- als auch Vektordaten dienen. Alle Rasterzellen innerhalb der definierten Fläche werden im Zuge dieser Operation in ein neues Raster-Dataset exportiert.

Nachdem die theoretisch nutzbaren Flächen im Vektorformat ermittelt wurden, ist es für die Berechnung der einfallenden Strahlung vonnöten, die entsprechenden Gebiete aus dem digitalen Geländemodell zu extrahieren. Extract by Mask ist aufgrund seiner Definition deshalb hervorragend für diese Operation geeignet.

- Zonal Statistics

Toolset: „Zonal“

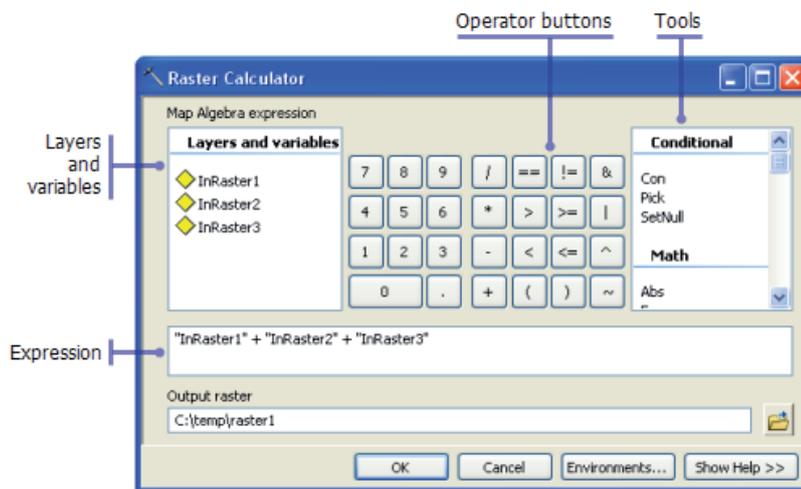
Dieses Werkzeug kann Statistiken wie z.B. den Durchschnittswert der Werte von Rasterzellen, die sich innerhalb einer definierten Zone eines anderen Vektor- oder Rasterdatensatzes befinden, ermitteln. Ein Einsatzgebiet findet sich beispielsweise beim Ermitteln des Durchschnittswertes der solaren Einstrahlung mehrerer benachbarter Rasterzellen.

## - Raster Calculator

Toolset: „Map Algebra“

Der Raster Calculator dient dazu, ein oder mehrere Rasterdatensätze mittels mathematischer Funktionen miteinander zu verrechnen. Mit Hilfe der Python-Syntax kann ein entsprechender Map Algebra-Befehl auf einer taschenrechnerartigen Oberfläche eingegeben und ausgeführt werden. Hierbei ist besonders auf diese Syntax zu achten, die z.B. zwischen Groß- und Kleinschreibung unterscheidet.

Dieses Werkzeug wird vor allem bei der Ertragsrechnung der Freilandflächen im Hinblick auf die tatsächlich einfallende Strahlung benötigt, da sowohl Rasterdatensatz als auch weitere Faktoren wie Wirkungsgrad oder Performance Ratio auf einfache Weise in eine Formel eingebunden werden können.



Raster Calculator tool dialog box example

Abb. 35: Funktionsweise Raster Calculator  
Quelle: [GIS\_10]

## - Area Solar Radiation

Toolset: „Solar Radiation“

Das wohl wichtigste Tool bezüglich der eigentlichen Solarpotenzialberechnung. Mittels Area Solar Radiation kann die einfallende Sonneneinstrahlung aus einer Rasterfläche abgeleitet werden. Für eine aussagekräftige Berechnung werden allerdings mehrere verschiedene Parameter benötigt, welche auf jeden Fall mit großer Sorgfalt zu beachten sind, da eine Sonneneinstrahlungsberechnung laut der ArcGIS Desktop Hilfe für ein großes DGM Stunden, für ein sehr großes DGM Tage benötigen kann. Neben dem Strahlungsgraster kann man sich noch zusätzliche Raster zur direkten Strahlung, diffusen Strahlung und zur Strahlungsdauer erstellen lassen, welche aber im Rahmen dieser Arbeit nicht benötigt werden. Folgende Parameter sind bei der Operation mit diesem Werkzeug besonders zu beachten:

## - Der Breitengrad (Latitude)

Ausgehend von der Georeferenzierung des Eingangsdatensatzes wird der Breitengrad, welcher unter anderem für die Berechnung der Sonnendeklination und -position benötigt wird, standardmäßig ermittelt. Da die Entwicklung nur für lokale Querformatmaßstäbe durchgeführt wurde, ist die Verwendung eines einzelnen Breitengradwertes für ein komplettes DGM laut der ArcGIS Desktop Hilfe allgemein in Ordnung.

### - Der Himmelsgrößenwert (Sky size)

Maximaler Wert liegt bei 4 000. Standardmäßig wird der Wert von 200 für große Tagesintervalle (mehr als 14 Tage) vorgeschlagen, während bei kleineren Intervallen der Wert entsprechend ansteigt. Als Beispiel wird in der ArcGIS Desktop Hilfe die Berechnung einer Insolation für eine Position am Äquator mit einem Tagesintervall von 1 gewählt, für die eine Himmelsgröße von 2 800 vorgeschlagen wird. Ausgehend davon wird für die Solarpotenzialanalyse in Baden-Württemberg eine Himmelsgröße von 3 000 angegeben.

### - Die Zeitkonfiguration

Um einen aussagekräftigen und auch relativ aktuellen Ausgabewert zu bekommen, soll der Zeitraum, über den die Berechnung erfolgen soll, sich über das gesamte Jahr 2012 erstrecken. Als Starttag wird der Wert 1, als Endtag der Wert 366 angegeben.

Weiterhin werden für ein möglichst präzises Ergebnis ein Tagesintervall von 1 sowie ein Stundenintervall von 0,5 festgelegt. Angaben zur Hangneigung und Ausrichtung werden für die Berechnung direkt aus dem DGM übernommen (siehe Angaben zu „Slope and aspect input type (optional)“ unter „Topographic parameters“). Als Einheit werden im Ausgaberraster Wattstunden pro Quadratmeter (WH/m<sup>2</sup>) vom Typ „Gleitkomma“ angegeben.

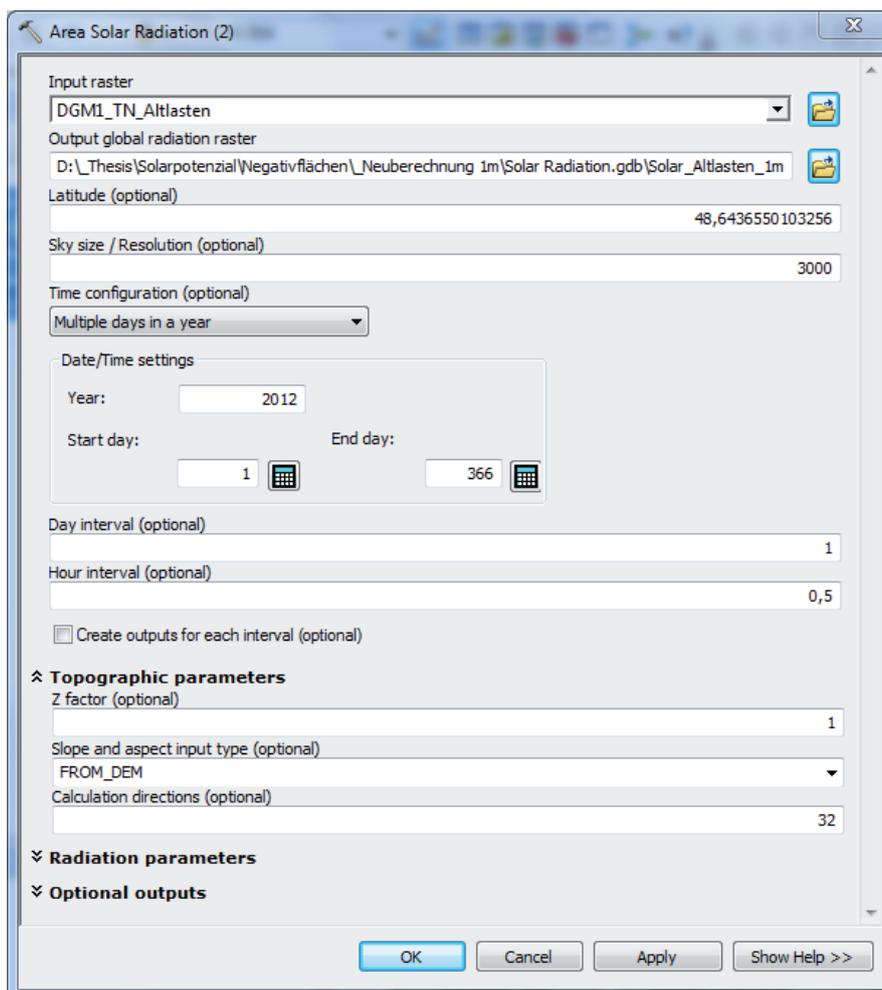


Abb. 36: Beispieleinstellungen des Area Solar Radiation-Tools

## 6.4 Durchführung und Ergebnisse

### 6.4.1 Klassifizierung der Grundlagendaten

Nachdem die benötigten Grundlagendaten aus der Datenbank exportiert sind, empfiehlt es sich, die einzelnen Datensätze, sofern notwendig, mit ihren dazugehörigen Abstandspuffern zu versehen, und nacheinander die Oberbegriffe für die Negativflächen sowie die Suchräume der theoretisch nutzbaren Flächen zu bilden. Die Zugehörigkeit der einzelnen Datensätze sowie die benötigten Abstandspuffern ergeben sich aus den Angaben in Tabelle 2 (siehe Kap. 6.2.2) und Tabelle 3 (siehe Kap. 6.2.3).

Die Negativflächen werden wie in Tabelle 2 als „Siedlung“, „Infrastruktur“, „Rohstoffsicherung“ und „Freiraum“ deklariert. Diese Flächen müssen von den Suchräumen durch geometrische Operationen entfernt werden, um die theoretisch nutzbaren Flächen zu erhalten, da nutzbare Flächen sonst z.B. in bewohntem Gebiet ausgewiesen wären (siehe Abb. 38).

Als Suchräume werden folgende Flächen deklariert:

- Flächen entlang von Autobahnstrecken

Nach §32 EEG [EEG\_2] wird der Strom aus PV-Freilandanlagen vergütet, wenn sich die Anlage auf einer Fläche bis zu einer Entfernung von 110 Metern zu einer Autobahnstrecke befindet. Gleichzeitig dürfen laut §9 des Bundesfernstraßengesetz [GES\_1] keinerlei Hochbauten jeder Art in einer Entfernung bis zu 40 Metern zu einer Bundesautobahn errichtet werden. Dies lässt folglich Weise eine Installation von PV-Freilandanlagen nur noch auf dem 70 Meter breiten Streifen mit einer Entfernung von mindestens 40 und höchstens 110 Metern zu.



Abb. 37: Suchraum entlang der Autobahn 5 in Friesenheim

- Flächen entlang von Schienenstrecken

Weiterhin gilt nach §32 eine Vergütung auch für Anlagen, die in einer Entfernung von maximal 110 Metern zu Schienenwegen liegen. Laut §4 des Landeseisenbahngesetzes BW (LEisenbG) bestehen Bauverbote, wenn die Betriebssicherheit der Eisenbahn dadurch beeinträchtigt wird [GES\_2]. Dies gilt für:

1. bauliche Anlagen in einer Entfernung bis zu 50 m,
2. gekrümmte Streckenführungen in einer Entfernung bis zu 500 m von der Mitte des nächstgelegenen Gleises

Als Mindestabstand zu Schienenstrecken werden im Sinne dieser Arbeit 20 Meter angenommen, da sich dieser Wert unter anderem auch in §9 des Bundesfernstraßengesetz [GES\_1] (Mindestabstand von 20 Metern bei Bundesstraßen) findet und somit für Schienenwege als akzeptabel angesehen wird. Bei der konkreten Installation einer PV-Freilandanlage in diesem Bereich sind natürlich entsprechende Untersuchungen vorher anzufertigen.



Abb. 38: Suchraum entlang einer Schienenstrecke in Friesenheim

### - Konversionsflächen

Über die Definition einer Konversionsfläche geben die nachfolgenden Ausschnitte aus einer Erklärung der Clearingstelle-EEG Aufschluss [CL\_EEG]:

*- Voraussetzung für die Qualifizierung einer Fläche als Konversionsfläche ist, dass der ökologische Wert der Fläche infolge der ursprünglichen wirtschaftlichen oder militärischen Nutzung schwerwiegend beeinträchtigt ist. Die genehmigungsrechtliche Zulässigkeit des Vorhabens ist dabei für die Qualifizierung der Fläche als Konversionsfläche nicht vorgreiflich. Vielmehr gilt ein EEG-spezifisches Anforderungsprofil.*

*- Maßgeblich ist, ob sich der ökologische Wert der Fläche aufgrund der spezifischen Vornutzung schlechter darstellt als vor dieser bzw. ohne diese Nutzung. Dabei ist der Zustand sämtlicher Schutzgüter der Umwelt relevant.*

Da sowohl Deponien als auch altlastverdächtige Flächen aufgrund dieser Definition zu den Konversionsflächen gezählt werden, können sie im EEG-vergütungstechnischen Sinne von §32 des EEG als potenziell nutzbare Fläche betrachtet werden.



Abb. 39: Suchraum auf Altlastflächen (links) und Deponien (rechts)

- Flächen mit einer Ackerzahl kleiner gleich 30

Die Qualität von Ackerflächen wird durch den Zahlenwert der sogenannten Ackerzahl dargestellt. Dieser berechnet sich dadurch, dass zusätzlich zur schon bestehenden Bodenzahl Faktoren wie Hangneigung, Klima oder Verschattungen berücksichtigt werden, weshalb die Ackerzahl auch als Korrektur der Bodenzahl im Hinblick auf die natürlichen Bedingungen der betroffenen Fläche betrachtet wird [WIKI\_19].

Da Flächen mit einer Ackerzahl unter 20 schon als kaum mehr nutzbar gelten, werden auch die Flächen mit einer Ackerzahl zwischen 20 und 30 als landschaftlich nicht attraktiv und für PV-Freilandanlagen damit geeignet eingestuft. Diese Flächen werden aufgrund der nicht vorhandenen Vergütung durch das EEG nicht in den fertigen Potenzialatlas übernommen, sind jedoch für diese Arbeit wichtig, da auch an dortigen Stellen PV-Freilandanlagen installiert und genutzt werden können.



Abb. 40: Suchraum auf Flächen mit einer Ackerzahl kleiner 30 in Münstertal

#### 6.4.2 Verschneidung mit geeigneten und nicht geeigneten Gebieten

Die eigentliche Verschneidung kann auf mehrere Arten vollzogen werden. Welche letzten Endes ausgewählt wird, hängt von der vorhandenen Rechnerleistung und von der gewünschten Ergebnisdarstellung ab. So kann die Berechnung entweder mit Vektor- oder Rasterdatensätzen stattfinden, was dementsprechende Vor- und Nachteile mit sich bringt. Nachfolgend werden drei getesteten Methoden inklusive Vor-, Nachteilen und Bewertung beschrieben. Gemeinsam ist ihnen allen, dass vor der Berechnung die einzelnen Datensätze mit spezifischen Puffern versehen werden müssen, sofern benötigt. Dieser Arbeitsaufwand lässt sich nicht umgehen.

##### 1. Verschneidung einzelner Vektordatensätze miteinander

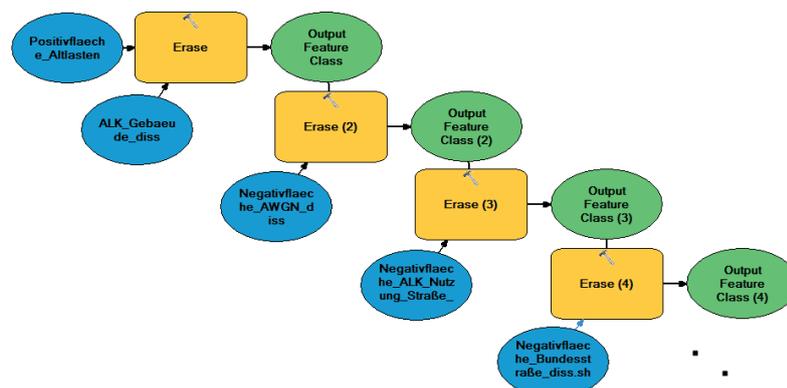


Abb. 41: Model zur Verschneidung einzelner Vektordatensätze



Der Vorteil bei dieser Methode liegt darin, dass sich die Anzahl der Arbeitsschritte im Gegensatz zur vorherigen Methode drastisch verringert. So ergeben sich nach erfolgreichem Zusammenführen für die vier Arten der Negativflächen und fünf Arten der Suchräume insgesamt 20 Rechenschritte, welche sich aber im Model Builder mit nur geringem Aufwand realisieren lassen. Abbildung 44 veranschaulicht diese Methode, indem zuerst die Suchräume (grün) nach und nach mit den Negativflächen (rot, Siedlungsflächen, Infrastruktur, Freiraumflächen) überlagert werden.

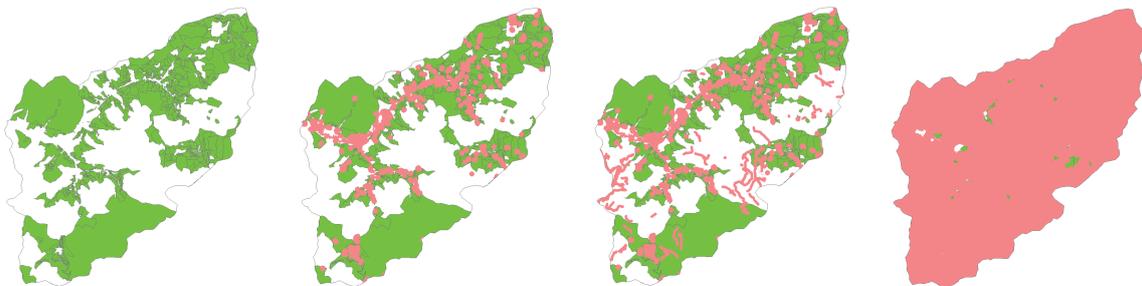


Abb. 44: Ablauf zur Verschneidung einzelner Vektordatensätze in ArcMap nach Methode Nr. 2

Das Zusammenfassen der Datensätze in die entsprechenden Oberbegriffe garantiert zudem eine übersichtlichere Darstellung, die der Dokumentation und auch dem Verständnis entgegen kommen. Bei der konkreten landesweiten Berechnung hat sich jedoch gezeigt, dass die Operation mit dem Merge-Tool zwar problemlos verlief, die Auflösung der Überlappungen mittels des Dissolve-Tools aber bei den Freiraumflächen rein leistungstechnisch von einem normalen Computer aus nicht mehr durchführbar war. Der Grund hierfür war, dass sich nach dem Zusammenführen in diesem Oberbegriff zu viele Flächen mit durch Puffer erzeugten Überlappungen fanden (ca. 3 Millionen) und eines der Hauptkriterien bei der Ermittlung der theoretisch nutzbaren Flächen somit nicht in die Berechnung mit einbezogen werden konnte, da der PC dieser Aufgabe in einem sinnvollen Zeitraum nicht gewachsen war. So endet diese Methode trotz vorteilhaften Grundgedanken auch in einer Sackgasse.

### 3. Methode: Verschneidung der Oberbegriffe mit den Suchräumen (Rasterdatensätze)

Nachdem die ersten beiden Methoden aufgrund der Beschränkungen durch entweder die notwendige Anzahl an Arbeitsschritten oder die rein rechnerische Leistung nicht durchführbar waren, bleibt noch die Möglichkeit, die Vektordatensätze vor der Verschneidung mit den Suchräumen zu rastern, um somit schneller die einzelnen Flächen pro Negativfläche errechnet zu bekommen. In der Tat zeigt sich diese Methode als besonders effektiv. Wie in der vorherigen Methode werden sämtliche Datensätze mittels Merge gruppiert. Im Anschluss danach wird das Werkzeug „Polygon to Raster“ aus der Conversion-Toolbox verwendet. Für einen ersten Durchgang wird eine Rasterweite von 25 Metern gewählt, für die die Negativflächen auch in relativ kurzer Zeit erstellt werden können. Der nun entstandene Rasterdatensatz kann anschließend mittels der Funktion „Raster to Polygon“ (ebenfalls in der Conversion-Toolbox zu finden) wieder vektorisiert werden, was einerseits nicht all zu viel Zeit in Anspruch nimmt und andererseits die einzelne gewünschte Negativfläche hervorbringt. Danach können mittels des Erase-Tools die nicht nutzbaren Flächen aus den Suchräumen herausgerechnet werden.

Abbildung 41 zeigt anhand eines während der Arbeit entstandenen Beispiel das Herausrechnen der nicht nutzbaren Flächen aus den Suchräumen. (Anm.: Bei diesem Beispiel fand das Ermitteln der nutzbaren Flächen durch das Verrechnen zweier Rasterdatensätze statt, was theoretisch auch möglich, aber umständlicher ist als Methode Nr. 3)



Abb. 45: Verschneidung der Negativflächen mit den Suchräumen nach Methode Nr. 3

Nach diesen Berechnungen ergeben sich für eine landesweite Übersicht folgende Werte:

Theoretisch nutzbare Flächen (Vergütbar nach EEG)

| Kriterium                                    | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche BW [%] |
|--|-------------|-------------------------------|
| Gesamtfläche                                 | 3462        | 0,10                          |
| Bundesautobahnen (Puffer entlang an Strecke) | 509         | 0,01                          |
| Schienenstrecken (Puffer entlang an Strecke) | 2417        | 0,07                          |
| Altlasten (Konversionsfläche)                | 343         | 0,01                          |
| Deponien (Konversionsfläche)                 | 193         | 0,01                          |

Theoretisch nutzbare Flächen (Nicht Vergütbar nach EEG)

| Kriterium                                     | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche BW [%] |
|---|-------------|-------------------------------|
| Flächen mit einer Ackerzahl kleiner gleich 30 | 62397       | 1,75                          |

Ausschlussflächen

| Kriterium         | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche BW [%] |
|-------------------|-------------|-------------------------------|
| Gesamtfläche      | 3487158     | 97,54                         |
| Siedlungsflächen  | 740243      | 20,71                         |
| Infrastruktur     | 29943       | 0,84                          |
| Rohstoffsicherung | 4280        | 0,120                         |
| Freiraumflächen   | 3333932     | 93,253                        |

Tabelle 3: Landesweite Übersicht über Anteile an theoretisch nutzbaren und auszuschließenden Flächen

Da die Anzahl der miteinander zu verschneidenden Elementen bei den ausgewählten Testgemeinden um ein Vielfaches kleiner ist als die Landesfläche Baden-Württembergs, ist es für eine Hochrechnung der verschiedenen Flächenanteile nicht notwendig, die Datensätze zuerst zu rastern und dann wieder zu vektorisieren. Für diese Gebiete kann Methode Nr. 2 ohne Einschränkung verwendet werden.

Die Anteile der theoretisch nutzbaren und der auszuschließenden Flächen berechnen sich für die Testgemeinden wie folgt (Anmerkung: Aufgrund der Tatsache, dass sich unterschiedliche Bereiche auch überlappen können, muss die addierte Zahl der Einzelkriterien nicht immer dem Wert der ohne Überlappungen berechneten Gesamtfläche entsprechen):

- Friesenheim:

| Theoretisch nutzbare Flächen (Vergütbar nach EEG)       |             |  |
|---|-------------|--|
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche Friesenheim [%] |
| Gesamtfläche  | 34          | 0,74                                   |
| Bundesautobahnen (Puffer entlang an Strecke)            | 7           | 0,15                                   |
| Schienenstrecken (Puffer entlang an Strecke)            | 11          | 0,24                                   |
| Altlasten (Konversionsfläche)                           | 4           | 0,00                                   |
|   |             |  |
|   |             |  |
| Theoretisch nutzbare Flächen (Nicht Vergütbar nach EEG) |             |  |
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche Friesenheim [%] |
| Flächen mit einer Ackerzahl kleiner gleich 30           | 13          | 0,27                                   |
|   |             |  |
|   |             |  |
| Ausschlussflächen                                       |             |  |
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche Friesenheim [%] |
| Gesamtfläche  | 4660        | 100,00                                 |
| Siedlungsflächen  | 797         | 17,09                                  |
| Infrastruktur   | 156         | 3,35                                   |
| Rohstoffsicherung                                       | 11          | 0,230                                  |
| Freiraumflächen   | 3832        | 82,234                                 |

Tabelle 4: Übersicht über Flächenanteile innerhalb der Gemeinde Friesenheim

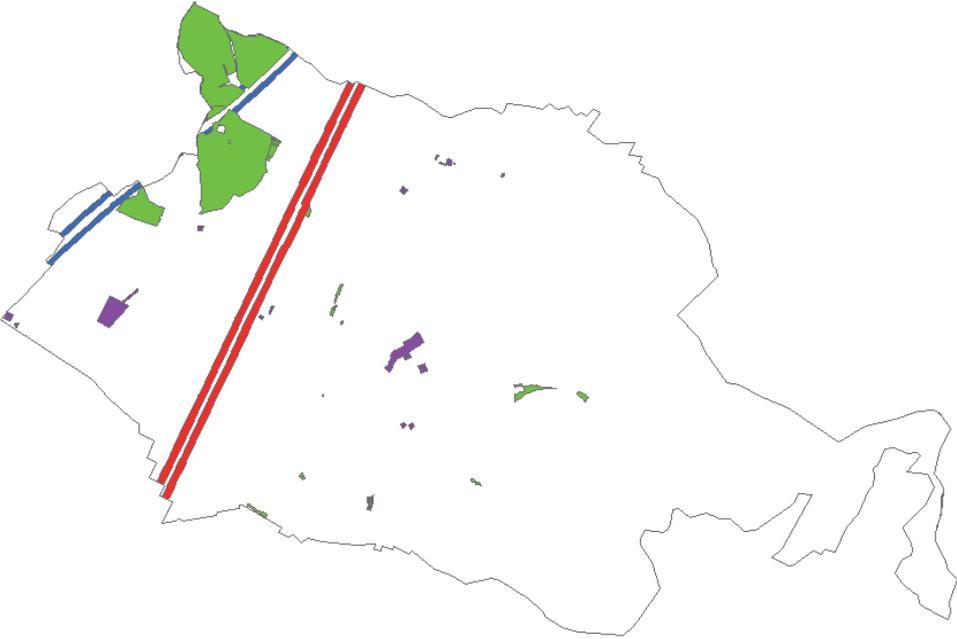


Abb. 46: Vorhandene Suchräume in Friesenheim

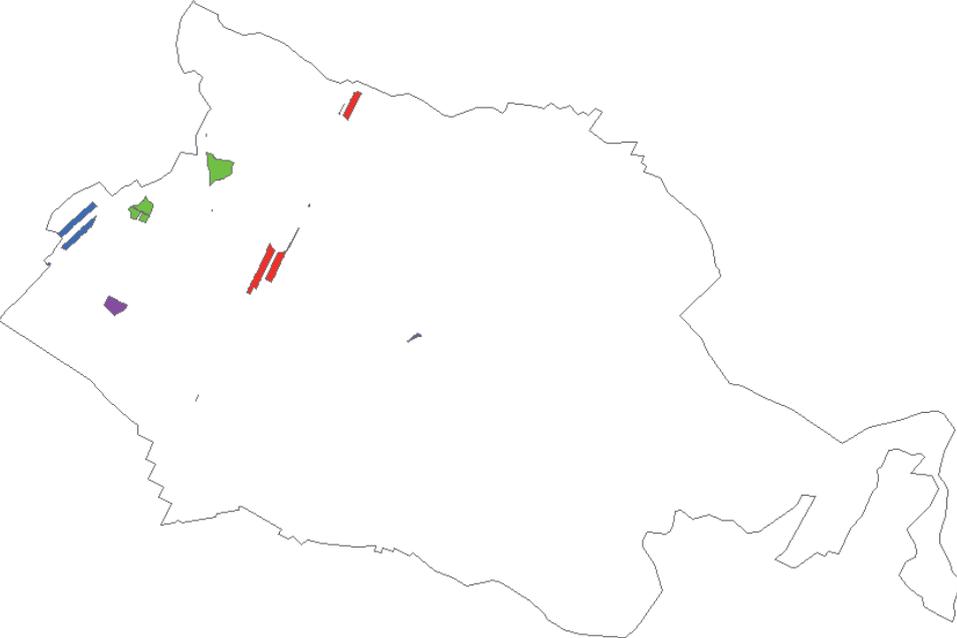


Abb. 47: Vorhandene theoretisch nutzbare Flächen in Friesenheim

## - Münstertal / Schwarzwald

| Theoretisch nutzbare Flächen (Vergütbar nach EEG)       |             |  |
|---|-------------|--|
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche Friesenheim [%] |
| Gesamtfläche  | 3           | 0,04                                   |
| Schienenstrecken (Puffer entlang an Strecke)            | 3           | 0,04                                   |
|   |             |  |
|   |             |  |
| Theoretisch nutzbare Flächen (Nicht Vergütbar nach EEG) |             |  |
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche Friesenheim [%] |
| Flächen mit einer Ackerzahl kleiner gleich 30           | 46          | 0,68                                   |
|   |             |  |
|   |             |  |
| Ausschlussflächen                                       |             |  |
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche Friesenheim [%] |
| Siedlungsflächen  | 945         | 13,96                                  |
| Infrastruktur   | 442         | 6,53                                   |
| Rohstoffsicherung                                       | 0           | 0,00                                   |
| Freiraumflächen   | 6648        | 98,16                                  |

Tabelle 5: Übersicht über Flächenanteile innerhalb der Gemeinde Münstertal



Abb. 48: Vorhandene Suchräume in Münstertal

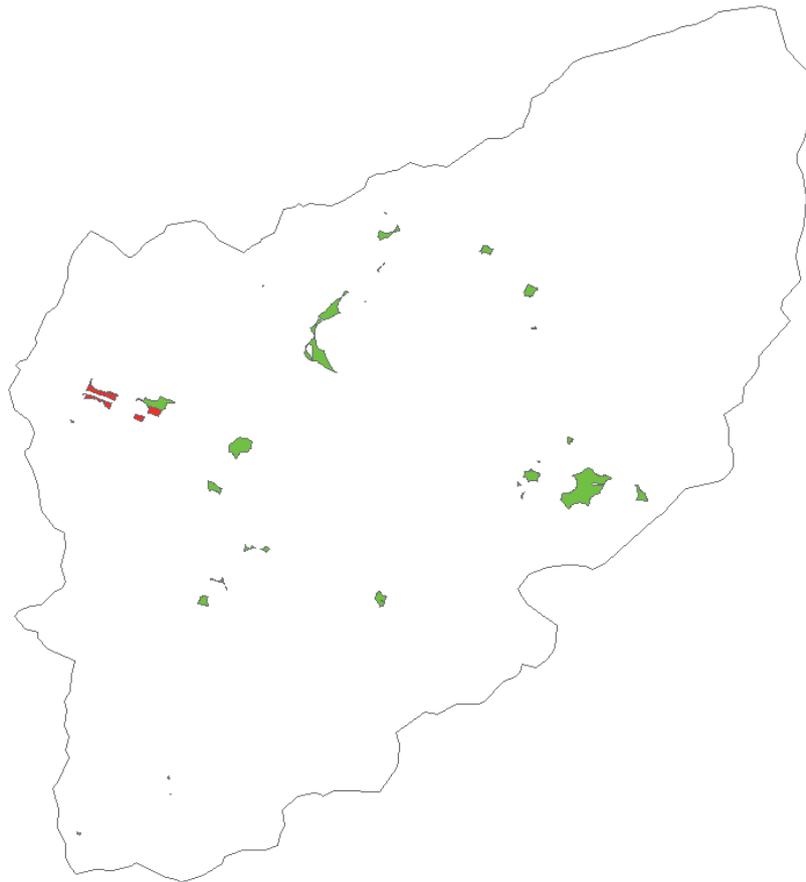


Abb. 49: Vorhandene theoretisch nutzbare Flächen in Münstertal

- Schöntal

| Theoretisch nutzbare Flächen (Vergütbar nach EEG)       |             |                               |
|---|-------------|-------------------------------|
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche BW [%] |
| Gesamtfläche  | 10          | 0,13                          |
| Bundesautobahnen (Puffer entlang an Strecke)            | 2           | 0,02                          |
| Schienenstrecken (Puffer entlang an Strecke)            | 4           | 0,05                          |
| Deponien (Konversionsfläche)                            | 5           | 0,06                          |
|   |             |                               |
|   |             |                               |
| Theoretisch nutzbare Flächen (Nicht Vergütbar nach EEG) |             |                               |
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche BW [%] |
| Flächen mit einer Ackerzahl kleiner gleich 30           | 40          | 0,50                          |
|   |             |                               |
|   |             |                               |
| Ausschlussflächen                                       |             |                               |
| Kriterium   | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche BW [%] |
| Siedlungsflächen  | 966         | 11,83                         |
| Infrastruktur   | 2           | 0,03                          |
| Rohstoffsicherung                                       | 10          | 0,126                         |
| Freiraumflächen   | 6544        | 80,153                        |

Tabelle 6: Übersicht über Flächenanteile innerhalb der Gemeinde Schöntal

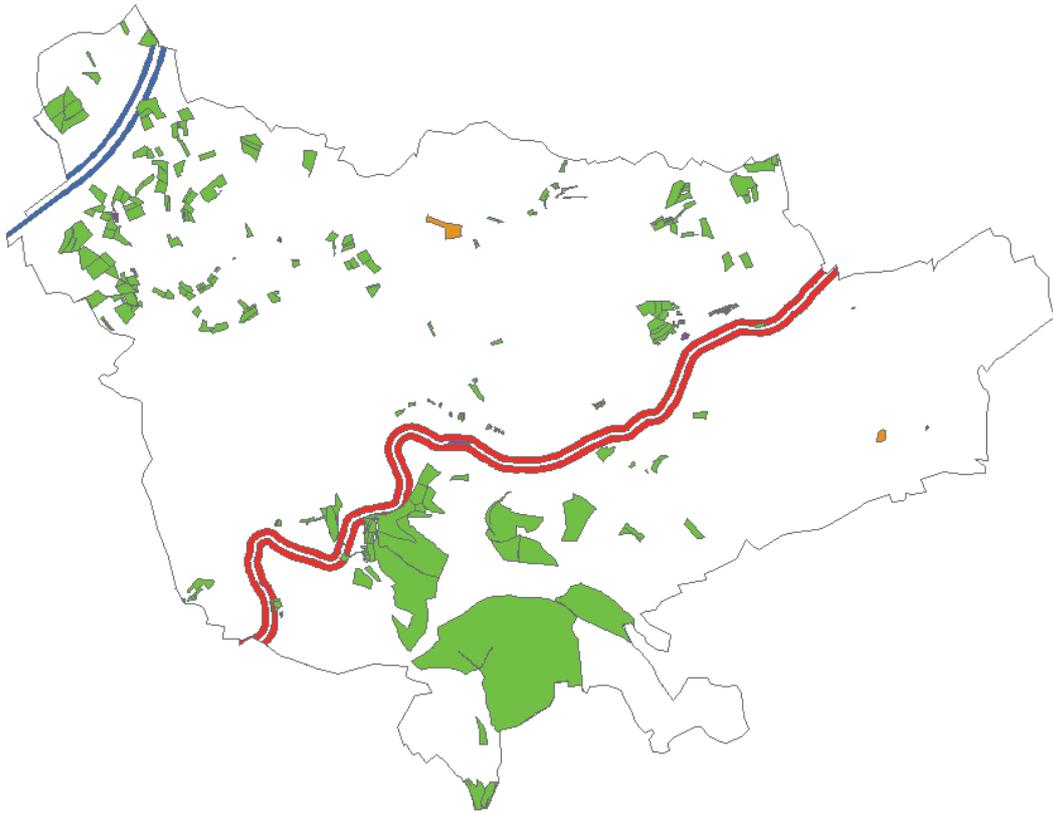


Abb. 50: Vorhandene Suchräume in Schöntal

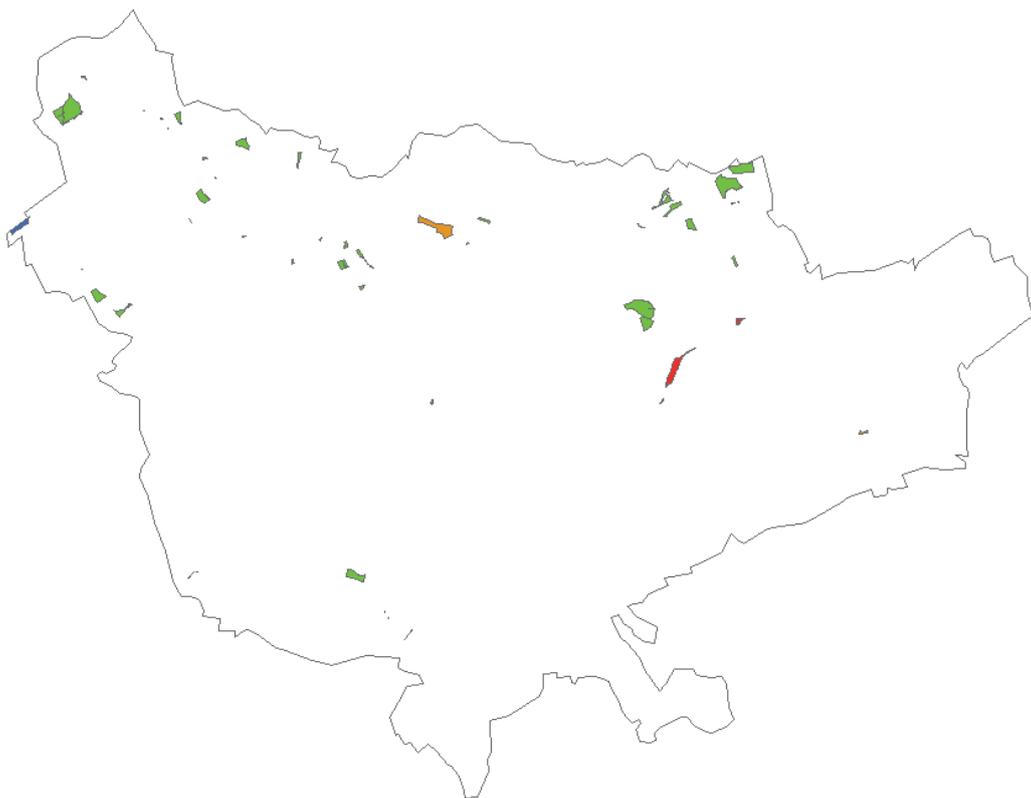


Abb. 51: Vorhandene theoretisch nutzbare Flächen in Schöntal

### 6.4.3 Erstellung der Strahlungsraster und Potenzialberechnung

Hat man nun die theoretisch nutzbaren Flächen im Vektorformat vorliegen, werden für die Solarberechnung noch die für diese Flächen vorhandenen Geländeinformationen benötigt. Das Werkzeug „Extract by Mask“ (Spatial Analyst-Toolbox) ermöglicht es einem, die Vektordatensätze als Maske zu verwenden und alle in diesem Gebiet liegenden Pixel aus dem DGM zu extrahieren. Ist dies geschehen, so kann mittels des „Area Solar Radiation“-Tools und den benötigten Parametern (siehe Kap. 6.3.5) die solare Einstrahlung für die jeweiligen Gebiete berechnet werden. Im vorliegende Ergebnistraster wird nun jedem Pixel ein bestimmter Wert ( $\text{Wh/m}^2$ ) zugewiesen.

Mit Hilfe der Werte dieses Rasters kann nun der Jahresertrag einer auf dieser Fläche bestehenden PV-Anlage berechnet werden. Die hierfür anzuwendende konkrete Formel findet sich innerhalb der von der Firma Smart Geomatics für diese Arbeit zur Verfügung gestellten Spezifikationen zur Ertragsberechnung von PV-Anlagen und lautet:

$$\langle \text{Einstrahlung} \rangle * \langle \text{Wirkungsgrad} \rangle * \langle \text{Performance Ratio} \rangle * [\langle \text{Freilandfläche} \rangle / 2,5]$$

Hinzu kommt, dass dieser errechnete Wert noch mit dem Faktor 1 000 dividiert werden muss, da als Angaben im Strahlungsraster Wattstunden verwendet werden und für eine sinnvolle Ertragsberechnung die Einheit Kilowattstunden benötigt wird. Der Faktor 2,5 wird in Bezug auf die Berechnung mit der Flächengröße deshalb verwendet, da bei Freilandanlagen davon ausgegangen wird, dass die Module aufgeständert werden. Hieraus ergibt sich durch gegenseitige Abschattung ein Verlust der potenziell nutzbaren Fläche von etwa 60%. Wirkungsgrad und Performance Ratio werden weiterhin aufgrund der Spezifikationen von Smart Geomatics mit 14 bzw. 80 Prozent angegeben.

Da jedes Pixel aber unterschiedliche Werte aufweisen kann, ist es notwendig, den Durchschnittswert für alle in einer Fläche befindlichen Rasterzellen zu berechnen, welcher dann der als Zone dienenden Polygonfläche zugeteilt werden kann (siehe Abbildung 53).

Nach der Berechnung der Strahlungsraster und dem damit ermittelten theoretischen Stromertrag ( $\text{kWh/m}^2/\text{a}$ ) für die einzelnen Flächen werden dem als Zone dienenden Polygon die Werte für die einfallende sowie die nutzbare Strahlung zugewiesen, wodurch dann auch das prozentuale Verhältnis dieser Werte zueinander ermittelt werden kann.

Zusätzlich können in diesem Schritt auch die Nennleistung (kiloWatt-peak) und die  $\text{CO}_2$ -Reduktion berechnet werden. Die Nennleistung drückt die Leistung eines Solarmodules bei Standard-Testbedingungen (u.a. einer Bestrahlungsstärke von  $1000 \text{ Watt/m}^2$  sowie einer Modulleistung von 240 Watt) aus und dient zur Normierung und dem Vergleich verschiedener Solarmodule untereinander. Die Formel hierfür lautet:

$$\langle \text{Freifläche (in m}^2 \rangle / [ \langle 1000 \text{ (Watt/m}^2 \rangle / \langle \text{Leistung eines Moduls (Watt)} \rangle ] * \langle \text{Fläche des Moduls (in m}^2 \rangle ]$$

Die  $\text{CO}_2$ -Ersparnis wird mit 555 Gramm pro Kilowattstunde gerechnet. Dies ist die Differenz der  $\text{CO}_2$ -Emissionen zwischen solar erzeugtem Strom und dem Bundesdurchschnitt  $\text{CO}_2$ -Emissionen bei Strommix. (Quelle: GEMIS)

$$\langle \text{Ertrag (kWh)} \rangle * \langle 555 \text{ (gr. CO}_2\text{-Ersparnis/kWh)} \rangle$$

Hierzu dient das Werkzeug „Zonal Statistics“ (Spatial Analyst-Toolbox, siehe Kap. 6.3.5), welches aufgrund der als Zone definierten theoretisch nutzbaren Polygonflächen den jeweiligen benachbarten Rasterzellen den Durchschnittswert der ermittelten solaren Einstrahlung zuweist.

Zu beachten ist, dass das mit „Zonal Statistics“ erstellte Raster nicht sofort mittels des „Raster to Polygon“-Tools umgewandelt werden kann, da die Werte im „Area Solar Radiation“-Ausgabestrahlungsraster den Typ Gleitkommazahlen aufweisen, „Raster to Polygon“ jedoch Raster mit Werten vom Typ Integer benötigt, was eine weitere Umwandlung des Rasters erfordert.

Um dem Informationsverlust vorzubeugen, der sich bei einer reinen Umwandlung von Gleitkommazahlen in Integerzahlen durch das Entfernen der Nachkommastellen zwangsläufig einstellt, müssen die Werte des Rasterdatensatzes vor der Umwandlung mit dem Wert 100 multipliziert werden. Hat man die Umwandlung in Integer-Werte und die Konvertierung zum Vektordatensatz durchgeführt, müssen die in der Attributtabelle des Polygons befindlichen Werte wieder durch den Wert 100 dividiert werden. Auf diese Weise bleiben zwei Nachkommastellen erhalten. Abbildung 52 verdeutlicht die zusätzlichen Schritte, die mittels Model Builder effektiv vorgenommen werden können.

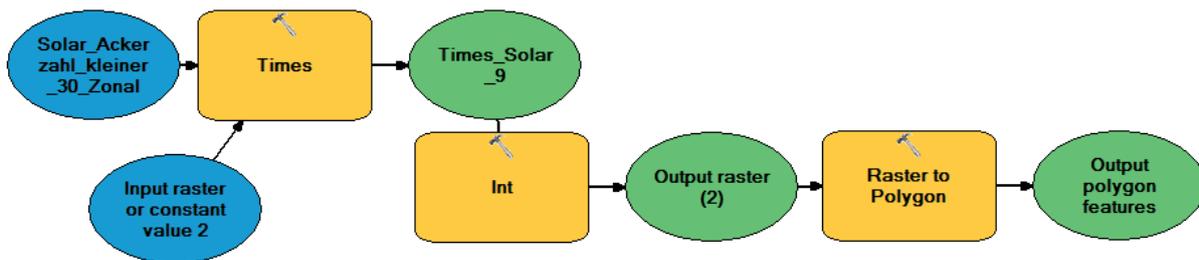


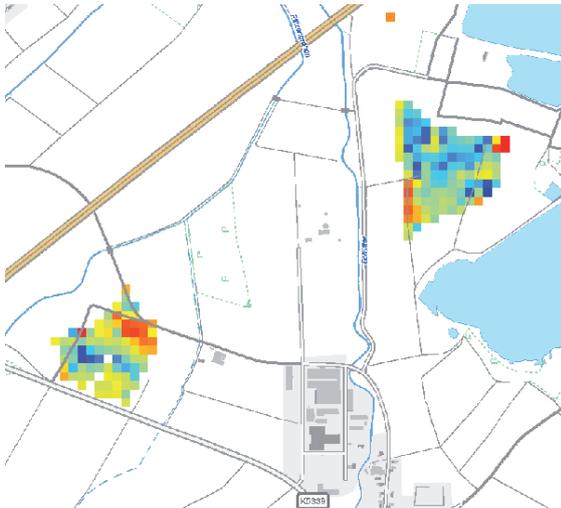
Abb. 52: Model zur Umwandlung von durch „Zonal Statistics“ erstellten Rastern

Abbildung 53 stellt diesen Vorgang dar, vom ermitteln der solaren Einstrahlung pro Pixel mittels „Area Solar Radiation“ über die Anwendung von „Zonal Statistics“ bis hin zum fertigen Polygon mit durchschnittlichem Einstrahlungswert.

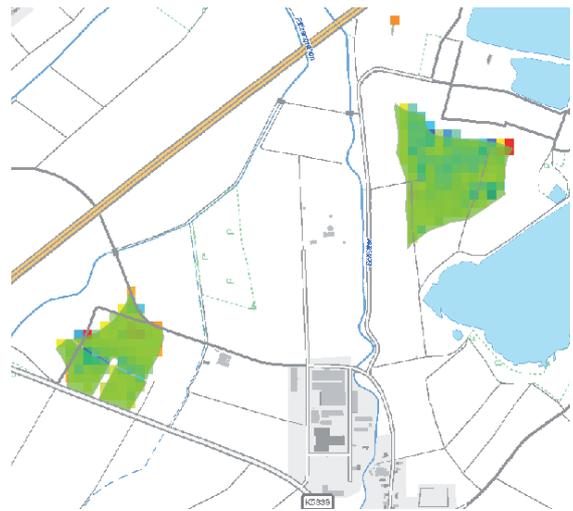
Berechnet das „Area Solar Radiation“-Tool noch für jedes Pixel einen individuellen Strahlungswert (1.), so werden zusätzlich nur die überlagernden Vektorflächen (2.) benötigt, um mittels des „Zonal Statistics“-Tools den Durchschnittswert der in dieser Fläche liegenden benachbarten Rasterzellen zu berechnen. Die Einheit der Rasterzellen wird nach wie vor in Wattstunden pro Quadratmeter ( $\text{Wh/m}^2$ ) dargestellt (3.), kann aber durch Multiplikation mit dem Faktor 1000 in Kilowattstunden pro Quadratmeter ( $\text{kWh/m}^2$ ) umgerechnet werden.

Nach der in Abbildung 52 dargestellten Umwandlung erhält man als Ergebnis den Vektordatensatz inklusive der solaren Einstrahlung, welche in späteren Berechnungen u.a. als Vorlage für die Nennleistung, den Jahresertrag oder die  $\text{CO}_2$ -Reduktion benötigt werden.

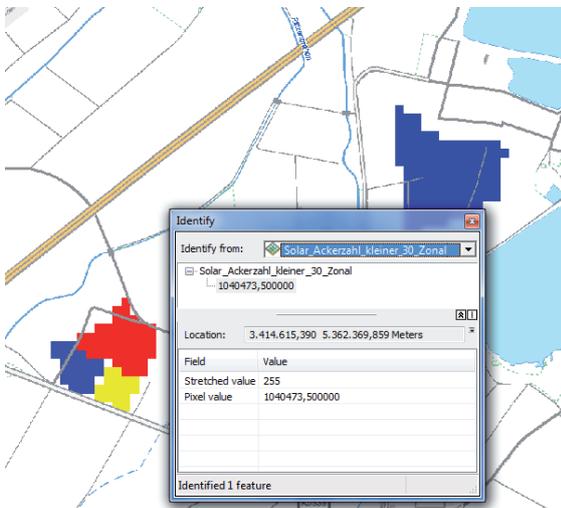
1. Ermittelte solare Einstrahlung



2. Definition theoretisch nutzbarer Flächen als Zonen



3. Durchschnittlicher Einstrahlungswert dieser Zone



4. Polygon mit zugewiesenem Strahlungswert

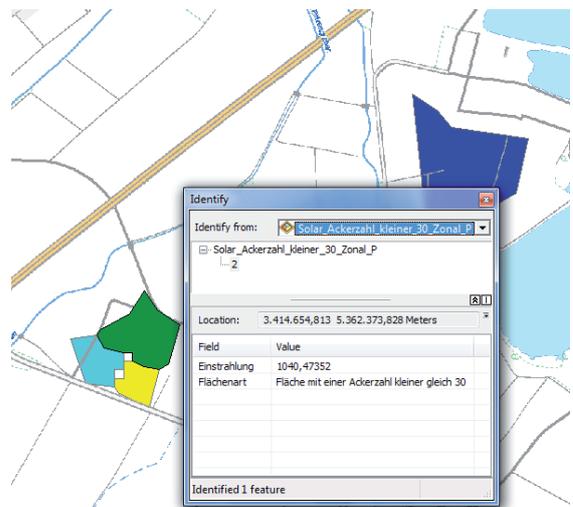


Abb. 53: Ermittlung der solaren Einstrahlung und Zuweisung der theoretisch nutzbaren Flächen

#### 6.4.4 Klassifizierung von Potenzialklassen

Nachdem die einfallende Strahlung berechnet wurde, werden für eine wie bei den in Kapitel 3 beschriebenen bestehenden Projekten übersichtliche Darstellung drei Eignungsklassen gebildet:

- sehr gut geeignet (mehr als 1.100 kWh/m<sup>2</sup>/a der einfallenden Solarstrahlung)
- gut geeignet (zwischen 900 und 1.100 kWh/m<sup>2</sup>/a der einfallenden Solarstrahlung)
- bedingt geeignet (zwischen 850 und 900 kWh/m<sup>2</sup>/a der einfallenden Solarstrahlung)

Flächen mit einem Einstrahlungswert von unter 850 kWh/m<sup>2</sup>/a werden als wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll erachtet und fallen deshalb aus dem bisher errechneten Datensatz heraus.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollen auch nur Flächen in Betracht gezogen werden, welche eine Mindestgröße von 0,5 Hektar aufweisen. Für den Fall, dass nun beispielsweise drei Flächen mit einer Größe von je 0,3 ha nahe beieinander liegen und nur durch Straßen voneinander getrennt sind, werden mittels des „Aggregate Polygon“-Tools [GIS\_6] diese Flächen zusammengefasst und als einzelne Fläche betrachtet. Im Verlauf dieser Arbeit wurde festgelegt, dass Einzelflächen, welche in einem Abstand von 100 Metern zueinander liegen, als eine einzige potenziell nutzbare Fläche behandelt werden sollen.

Nachfolgend sind die ermittelten Potenzialwerte für die drei Testgemeinden tabellarisch aufgeführt (Anmerkung: Als „Anlage“ wird eine einzelne Fläche bezeichnet, da davon ausgegangen wird, dass eine Fläche nicht von mehreren Investoren mit individuell zugehörigen Anlagen bebaut wird. Weiterhin sind in den Berechnungen keine Flächen aufgetaucht, die der Eignung „bedingt geeignet“ zugewiesen werden können). Als weiteres konkretes Beispiel für eine nutzbare Fläche dient Abbildung 55 (Kap. 7.1):

| Gemeinde Friesenheim:                |          |
|--------------------------------------|----------|
| Anzahl der Anlagen                   | 19       |
| Nennleistung [kWp]                   | 49853,37 |
| Jahresertrag [MWh/m <sup>2</sup> /a] | 16133,57 |
| CO <sub>2</sub> -Reduktion [t/a]     | 8954     |
| Potenzialflächen [ha]                | 47       |
| - sehr gut geeignet                  | 0        |
| - gut geeignet                       | 47       |

Tabelle 7: Übersicht Solarpotenzial der Gemeinde Friesenheim

| Gemeinde Münstertal/Schwarzwald:     |           |
|--------------------------------------|-----------|
| Anzahl der Anlagen                   | 22        |
| Nennleistung [kWp]                   | 72723,49  |
| Jahresertrag [MWh/m <sup>2</sup> /a] | 21436,96  |
| CO <sub>2</sub> -Reduktion [t/a]     | 11898     |
| Potenzialflächen [ha]                | 49        |
| - sehr gut geeignet                  | 6,287783  |
| - gut geeignet                       | 42,285675 |

Tabelle 8: Übersicht Solarpotenzial der Gemeinde Münstertal

| Gemeinde Schöntal:                   |          |
|--------------------------------------|----------|
| Anzahl der Anlagen                   | 42       |
| Nennleistung [kWp]                   | 73467,76 |
| Jahresertrag [kWh/m <sup>2</sup> /a] | 24087,89 |
| CO <sub>2</sub> -Reduktion [t/a]     | 13369    |
| Potenzialflächen [ha]                | 50       |
| - sehr gut geeignet                  | 0        |
| - gut geeignet                       | 50       |

Tabelle 9: Übersicht Solarpotenzial der Gemeinde Schöntal

## 7 Erstellung des Solarkatasters

### 7.1 Verschneidung mit der ALK und gemeindeweise Darstellung

Die im vorherigen Kapitel erstellten Flächen können zwar gemeindeweise zusammengefasst und in einer landesweiten (oder gemeindeweisen) Übersicht betrachtet werden, jedoch bezieht sich das Interesse von potenziellen Investoren einer PV-Freilandanlage auch auf die einzeln ausgewiesenen Flächen und Grundstücksgrenzen als solche. Deshalb werden zusätzlich zu den theoretisch nutzbaren Flächen auch die dazugehörigen Flurstücke selektiert.

Beispielsweise kann eine theoretisch nutzbare Fläche komplett innerhalb eines Flurstückes liegen oder sich über mehrere Flurstücke erstrecken.



Abb. 54: Potenzialflächen innerhalb und über mehrere Flurstücke erstreckt

Die geometrischen Operationen in ArcGIS sind hierbei denkbar einfach gehalten. Mittels der Funktion „Spatial Join“ können die Tabellen der Feature-Klasse zu den ALK-Flurstücken und der Feature Klasse zu den theoretisch nutzbaren Flächen aufgrund ihres räumlichen Verhältnisses zueinander miteinander verbunden werden. Somit erhält der Datensatz mit den Flurstücken die Attributspalten bezüglich der solaren Eignung zu jedem einzelnen passenden Flurstück.

Flächen, denen aufgrund fehlender Potenzialflächen kein Wert zugewiesen wurde, werden selektiert und mit der Bezeichnung „nicht geeignet“ versehen.

Da die Situation bei der Planung einer PV-Freilandanlage in jedem Fall vor Ort konkret überprüft werden muss, genügen die bisher vorliegende Ergebnisse im Sinne dieser Arbeit. Deshalb werden keine Operationen zur Ermittlung der einzelnen Teilflächen auf den Flurstücken betrieben, da diese, ausgehend von der im wirtschaftlichen Sinne erstellten Überlegung der Nähe der Einzelflächen zueinander (siehe Kap. 6.4.4) wieder per Aggregation zu einer Fläche zusammengefasst würden.

Auch können die theoretisch nutzbaren Flächen bei der landesweiten Darstellung mittels der Spatial Join-Funktion gemeindeweise zusammengefasst werden, um jeder Fläche die entsprechende Gemeindezugehörigkeit zuzuweisen.

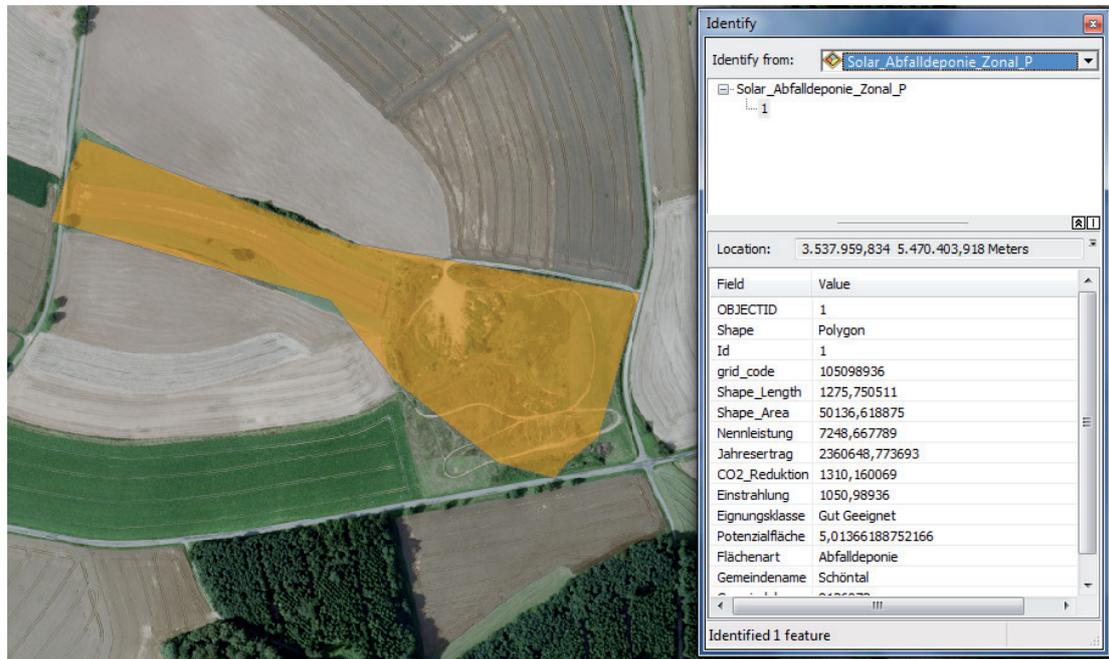


Abb. 55: Potenzialfläche mit solarpotenzialanalytischen Ergebnissen

## 7.2 Ergebnis: Solarkataster

Schlussendlich präsentieren sich die Ergebnisse wie folgt:

- Vektordatensätze zu den jeweiligen theoretisch nutzbaren Flächen mit Informationen zu Nennleistung, Jahresertrag, CO<sub>2</sub>-Reduktion, solarer Einstrahlung, Eignungsklasse, Gemeindezugehörigkeit sowie Größe der Potenzialflächen
- Vektordatensätze zu den ALK-Flurstücken mit Informationen bezüglich des Eignungsfaktor hinsichtlich der Solarpotenzialanalyse
- Rasterdatensätze zu den jeweiligen theoretisch nutzbaren Flächen (Aus performancetechnischen Gründen benötigt, siehe Kap. 8.1)

Weiterhin kann mit den nun entstandenen Datensätzen auch eine landesweite Übersicht im Hinblick auf die einzelnen Gemeinden erstellt werden. Dazu müssen nur die Feature-Klassen zu den theoretisch nutzbaren Flächen in einer Feature-Klasse zusammengeführt und dann mittels des „Dissolve“-Tools in Bezug auf die Gemeindennamen aufgelöst werden. Dies ist für die Darstellung im Potenzialatlas von Bedeutung, wird aber in dieser Arbeit von der Methodik her nicht näher erörtert, da es die Erstellung des Solarkatasters nicht direkt betrifft.

Die Abbildungen 56 - 58 auf den nachfolgenden Seiten zeigen das Solarkataster als Übersicht für die drei Testgemeinden. Für PV-Anlagen geeignete Flächen sind auf Basis der Eignungsklasse der Flurstücke entsprechend eingefärbt.

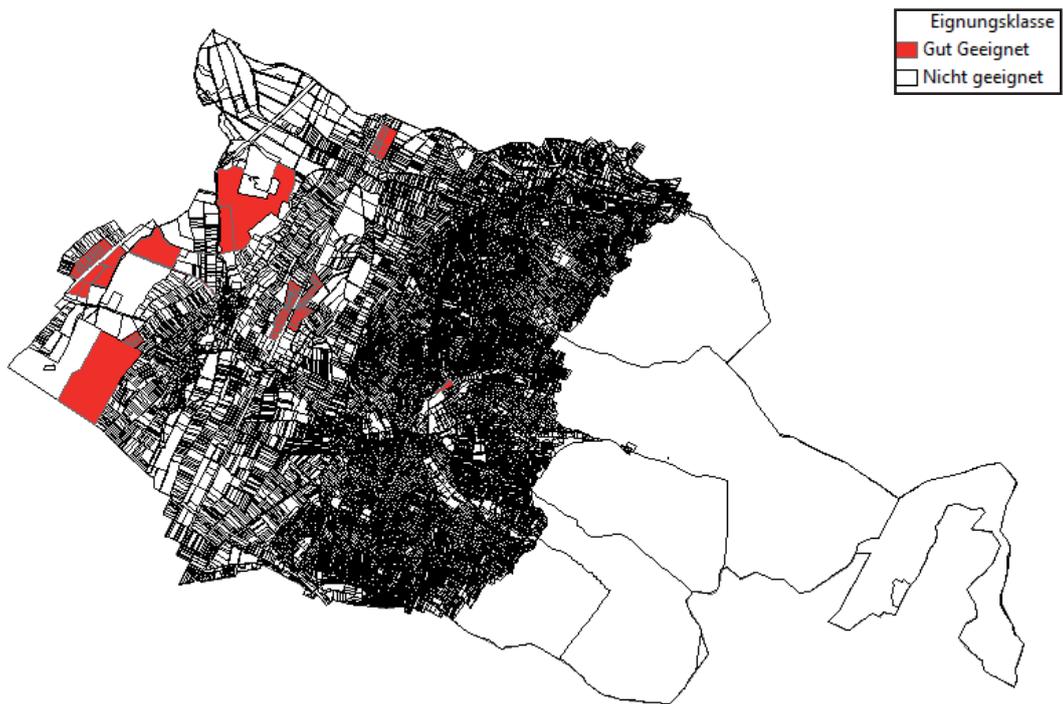


Abb. 56: Solarkataster-Übersicht für die Gemeinde Friesenheim

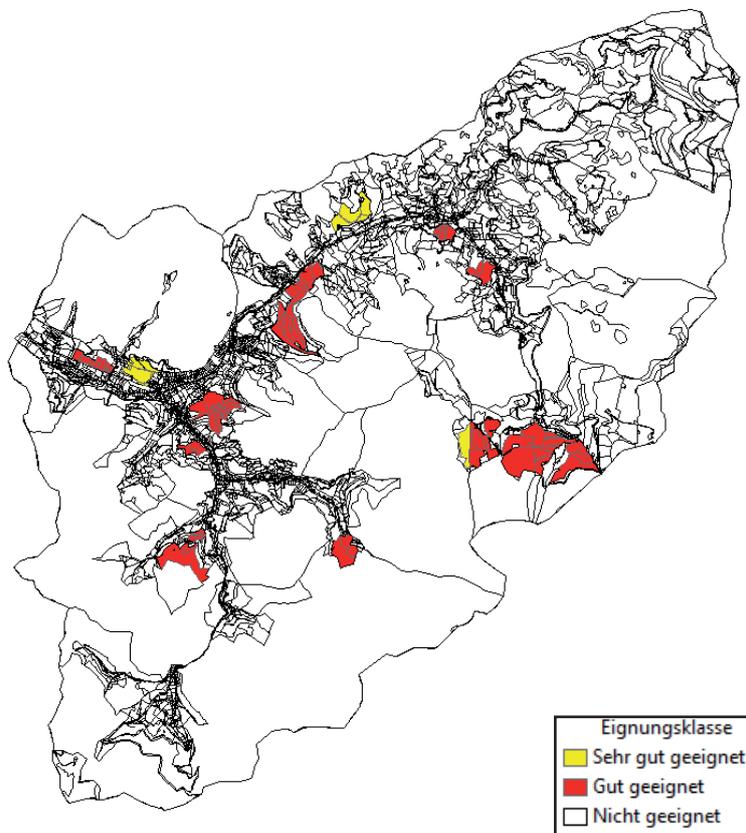


Abb. 57: Solarkataster-Übersicht für die Gemeinde Münsdertal

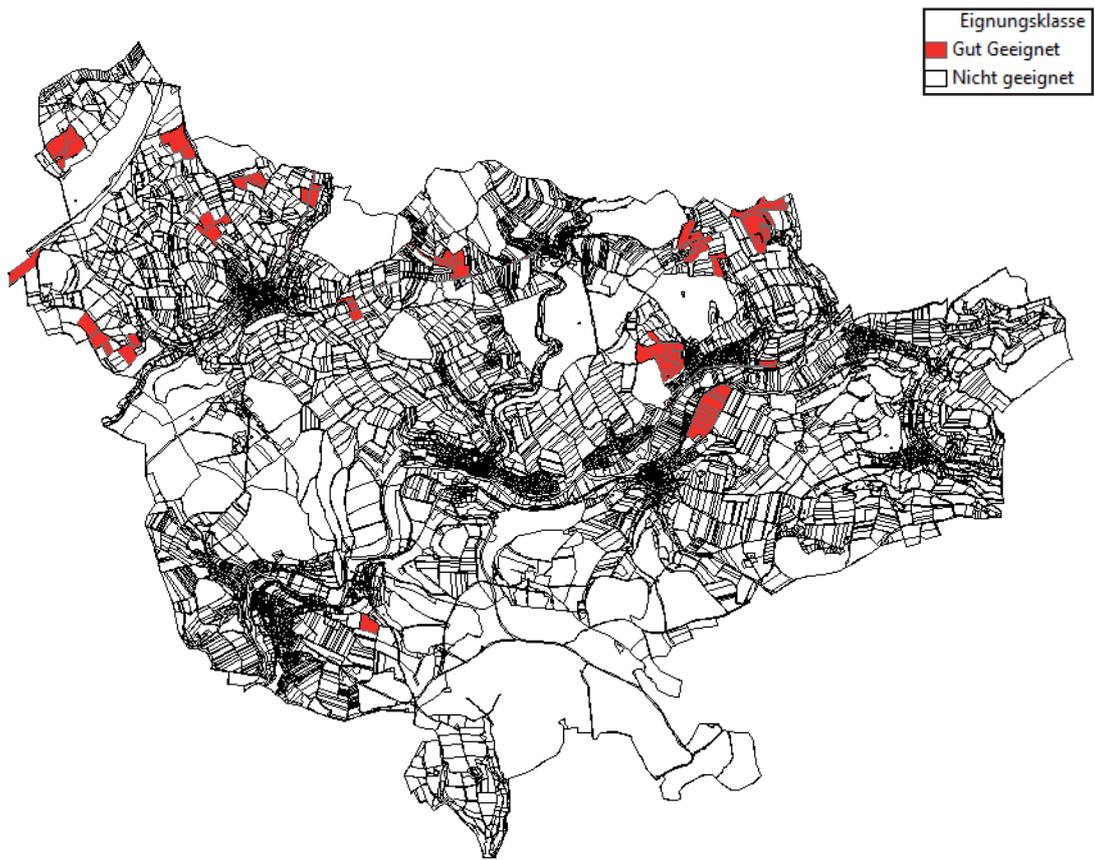


Abb. 58: Solarkataster-Übersicht für die Gemeinde Schöntal

## 8 Visualisierung der Ergebnisse

### 8.1 Raumbezogene Darstellung auf Basis von Map apps

Wie in Kap. 5.3.3 erwähnt wird für die Darstellung im Internet die Anwendung Map apps verwendet. Um über die Software aufbereitete Dienste zu veröffentlichen, muss das Kartendokument mittels Arc Map als „map service definition“ (MSD) umgewandelt und auf einem der ArcGIS Server der LUBW veröffentlicht werden. Der Zugriff erfolgt über die REST-Schnittstelle [REST] mittels der ESRI-JavaScript API. Da Map apps auf der JavaScript-API basiert, können so die Kartendokumente ausgewählt bzw. über die REST-Schnittstelle ausgelesen werden.

Da Map apps mit sogenannten Map Flow-Elementen arbeitet, welche in jedem Thema die Kategorien darstellen (siehe Abb. 60 - Überblick, Potenzial, Gemeindeübersicht), muss diese Struktur schon beim Erstellen der Karte beachtet werden, da jedes Map Flow-Element den an dieser im Kartendokument befindlichen Layer und dessen Unterlayer abrufen.

In der Konfiguration werden die Map Flow-Element in sogenannten operationalLayers definiert, welche aus Panels und Children bestehen. Ein Panel stellt hierbei eines der Themen wie Wasser, Wind oder Solar dar, während die Children die jeweilige Unterkategorie verkörpern. So ist ein Children des Panels „Wasser“ die Kategorie „Bestand Wasser Anlagen“, während dessen Children wiederum die spezifische Layer wie „Wasserkraftanlagen - Jahresarbeit [MWh/a]“ oder „Bestehende Sohlenbauwerke“ sind (Siehe Abb. 59).

Aus performancetechnischen Gründen ist es sinnvoll, dass die ermittelten Vektorflächen für eine Darstellung in Maßstabsbereichen wie 1: 50 000 und kleiner gerastert werden. Die Rasterflächen vermitteln somit einen Überblick, wo sich theoretisch nutzbare Flächen befinden und geben per Klick Informationen zur Flächenart preis. Befindet man sich in einem größeren Maßstabsbereich (größer 1 : 50 000), werden die Vektorflächen eingblendet, die dann die spezifischen Informationen wie Nennleistung, Jahresarbeit etc. beinhalten (siehe Abb. 55).

Abbildung 60 zeigt die Webanwendung (Produktionsstand: 11. Februar 2013) mit Steckbrief (rechts, allgemeine Gemeindeangaben), Kartenbildschirm und Map Flo-Elementen. Objektinformationen werden in einem, beim Anklicken einzelner Flächen entstehendem, kleinen Fenster angezeigt.

```
"operationalLayer":
[
  {
    "id": "panelWasser",
    "title": "Wasser",
    "enabled": true,
    "children": [
      {
        "id": "categoryBestandWasser_Anlagen",
        "title": "\u000Cberblick",
        "enabled": true,
        "category": {
          "imgUrl": "${app}:images/mapflow/Wasser_Ueberblick.png"
        },
        "description": "<a target='blank' href='http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/44882'",
        "children": [
          {
            "id": "TOCOLO",
            "title": "Bestehende Wasserkraftanlagen - Jahresarbeit [MWh/a]",
            "enabled": true,
            "layers": ["1"],
            "options": null,
            "service": "wasser"
          },
          {
            "id": "TOCOL1",
            "title": "Bestehende Sohlenbauwerke",
            "enabled": false,
            "layers": ["2"],
            "options": null,
            "service": "wasser"
          }
        ]
      }
    ]
  }
]
```

Abb. 59: Konfigurationseinstellungen

**Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg**

**Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg**

# Potenzialatlas - Erneuerbare Energien

Geben Sie eine Adresse oder einen Ort ein...

LEGENDE HILFE

0,4KM LUBW

**Legende**

**Überblick**

Bestehende Anlagen

**Überblick**

Photovoltaik - Potenzielle Freiflächen mit EEG-Vergütung

Abfalldeponie

Fläche entlang von Autobahnstrecken

Fläche entlang von Schienenstrecken

Wasser

Wind

Solar Dachfläche

Solar Freifläche

Bilanz

**Überblick**

Bestehende Anlagen

Photovoltaik - Potenzielle Freiflächen mit EEG-Vergütung

Mittlere jährliche Sonneneinstrahlung [kWh/m²]

**Gemeindebilanz**

**Potenzial**

Hilfeschritt: infomarkieren

Abb. 60: Webanwendung Potenzialatlas Erneuerbare Energien der LUBW

## 8.2 Wirtschaftlichkeitsrechner

Geht es um die Erstellung einer PV-Anlage, spielt schon alleine auf Grund der relativ hohen Investitionskosten die Wirtschaftlichkeit eines solchen Projektes eine tragende Rolle. So existieren im Internet für PV-Anlagen auf Dächern zahlreiche Wirtschaftlichkeitsrechner, die anhand Dachfläche, Neigung, Ausrichtung, einfallender Strahlung etc. sämtliche Kosten, Zeiträume und Vergütungen auflisten.

Jedoch ist ein solcher Wirtschaftlichkeitsrechner nicht ohne Weiteres auf Freilandflächen anzuwenden. Im Gegensatz zu Dächern, die sich von ihrer Beschaffenheit untereinander nie großartig unterscheiden werden, solange sie vom selben Typ sind, besitzt jede Freilandfläche individuelle und unterschiedliche Eigenschaften. Handelt es sich zum Beispiel um altlastverdächtige Flächen, könnte die Reinigung dieser Fläche ein beachtlicher zusätzlicher Kostenfaktor sein, der allerdings nicht auf jede Freilandfläche zutrifft. Genauso geben die Daten keinen Aufschluss darüber, ob ausgewiesene nutzbare Flächen entgegen ihrer Eignung beweidet, also trotz geringer Ackerzahl wirtschaftlich genutzt, werden oder den Charakter des Landschaftsbildes maßgeblich beeinflussen. Dies sind Faktoren, welche allesamt für jede Fläche vor Ort zu prüfen sind, sollte es zu einer Investition hinsichtlich einer PV-Anlage kommen. Um all diesen Faktoren gerecht zu werden, müsste eine Anwendung entwickelt werden, die all diese und noch zusätzlichen individuellen Faktoren berücksichtigt, was zum einen den Umfang dieser Arbeit und zum anderen den Umfang des Potenzialatlasses im Hinblick auf dieses spezifische Thema sprengen würde. Aus diesen Gründen wurde sich innerhalb der Projektgruppe zum Potenzialatlas geeinigt, nur für Dachflächen einen Wirtschaftlichkeitsrechner zu integrieren.

Abbildung 61 zeigt diesen Wirtschaftlichkeitsrechner in einem noch nicht in den Potenzialatlas eingebundenen Status. Die Entwicklung findet von Seiten der Firma Smart Geomatics statt.

**Wirtschaftlichkeitsrechner Energiepotenzialatlas: Id: 48 Wirkungsgrad: 15 Haushaltsgröße: 3**

**☐ Photovoltaik**

|   |          |
|---|----------|
| <b>Investitionskosten in Euro:</b>        | 5.082,00 |
| <b>Betriebskosten pro Jahr in Euro:</b>   | 25,41    |
| <b>Zinsaufwendungen in Euro:</b>          | 1.626,24 |
| <b>Vergütung pro Jahr in Euro:</b>        | 351,97   |
| <b>Vergütung nach 20 Jahren in Euro:</b>  | 7.039,47 |
| <b>Überschuss nach 20 Jahren in Euro:</b> | -176,97  |

**☐ Solarthermie**

|  |          |
|--|----------|
| <b>jährlicher Warmwasserbedarf in kWh:</b> | 3000     |
| <b>Kollektorfläche in m<sup>2</sup>:</b>   | 4,50     |
| <b>Solarspeicher in Liter:</b>             | 300      |
| <b>gesamte Investitionskosten in Euro:</b> | 4.500,00 |
| <b>jährliche Einsparung in Euro:</b>       | 150,00   |

Abb. 61: Wirtschaftlichkeitsrechner für Dachflächen der LUBW



---

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

### 9.1 Zusammenfassung der Arbeit

Nachdem die grundlegenden Überlegungen bezüglich des gewünschten Ergebnisses und der anzuwendenden Methodik konkretisiert sind, werden zum besseren Verständnis der Materie die Grundlagen der Solarenergie sowie deren Ursprünge näher erläutert. Die Definition der Solarthermie wurde entsprechend kürzer gehalten als die der Photovoltaik, da das Ergebnis dieser Arbeit auf Letztere ausgelegt ist.

Um sich im Sinne der späteren Umsetzung einen Überblick zu verschaffen, wurden die bereits bestehenden Projekte „Solare Effizienz auf Hausdächern“ der LUBW, das Solarkataster für Frankfurt (Oder) der Firma IP SYSCON, PV-GIS sowie das hessische Solarkataster Informationssystem näher betrachtet und kurz vorgestellt. Da sich die Enddarstellungen im Kern allesamt ähnelten, wurde klar, auf welche Werte bei der Solarpotenzialanalyse besonders geachtet werden müssen.

Für die weitere Arbeit am Projekt Potenzialatlas Erneuerbare Energien ist es auch notwendig, sich auf eine zuverlässige Webanwendung zur Verwaltung und Darstellung der berechneten Daten verlassen zu können. Nach dem Vergleich von Silverlight, OpenLayers und Map apps wird ersichtlich, dass Map apps für die Darstellung und Publikation des Potenzialatlases im Internet am besten geeignet ist.

Kapitel fünf beschäftigt sich mit den vorhandenen Technik- und Datengrundlagen der LUBW. Für die geometrisch-/geographischen Berechnungen wird die Software ArcGIS verwendet, da hier sämtliche Werkzeuge und Kriterien zur Berechnung des Solarpotenzials gegeben sind. Das Kapitel beschreibt weiterhin benötigte Grundlagendaten wie das digitale Geländemodell (DGM) oder die automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) sowie die grundlegende Struktur des Umweltinformationssystems Baden-Württemberg (UIS-BW) und dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS). Auch die Firma Smart Geomatics wird näher beschrieben, da die Berechnung der Nennleistung, des Jahresertrages und der CO<sub>2</sub>-Reduktion durch den auf Freilandflächen installierten PV-Anlagen mit Hilfe und Einverständnis von Formeln aus den firmeneigenen Spezifikationen durchgeführt wird.

Obwohl als Endergebnis eine landesweite Berechnung der Potenzialflächen bei der LUBW vorliegen soll, werden für diese Arbeit lediglich drei Testgemeinden ausgewählt, deren Geländebeschaffenheiten sie zusammen als aussagekräftige Beispiele ausweisen. Die Gemeinden weisen landschaftliche Charakteristika der Rheinebene, Vorgebirgszone, höheren Zonen des Schwarzwaldes sowie des Jagsttales auf. Somit fiel die Wahl auf die Gemeinden Friesenheim, Münstertal/Schwarzwald und Schöntal.

Im nächsten Schritt wurden Ausschluss- und Potenzialflächen im Hinblick auf gesetzliche Vorgaben überprüft und ein spezieller Kriterienkatalog erstellt, welcher neben der Eignung auch Angaben zu eventuell einzuhaltenden Abstandspuffern enthält. Weiterhin wurden in diesem Katalog Oberbegriffe gebildet, um die Ausschlussflächen zusammenfassen zu können. Die in diesem Katalog vorhandenen Kriterien wurden mit dem tatsächlichen Datenbestand der LUBW verglichen, die benötigten Datensätze extrahiert und, sofern notwendig, mit den entsprechenden Abstandspuffern versehen.

Für die geometrischen Operationen bietet ESRI's ArcGIS die passenden Werkzeuge wie „Erase“ oder „Dissolve“ an, womit z.B. Negativflächen von Suchräumen subtrahiert oder Flächen gleicher Art in Bezug auf bestimmte Kriterien zusammengeführt werden können.

Für die Verschneidungen wurden drei unterschiedliche Methoden getestet, wobei sich das Zusammenfassen der einzelnen Ausschlussflächen im Sinne der im Kriterienkatalog festgelegten Oberbegriffe und die anschließende Verschneidung mittels „Erase“ (siehe Kap. 6.4.3) als effektivste herausgestellt hat.

Nachdem die theoretisch nutzbaren Flächen ermittelt wurden, kann man mit ihnen als Maske die benötigten Gebiete aus dem Digitalen Geländemodell extrahieren und mittels des „Area Solar Radiation“-Tools die einfallende Strahlung berechnen. Da als Ausgabe dieser Berechnung ein Rasterdatensatz mit der Einheit Gleitkommazahlen entsteht, müssen die vorhandenen Werte zuerst in die Integerform umgewandelt werden, um eine anschließende Konvertierung in Vektorflächen vorzunehmen. Um Informationsverluste zu beschränken, werden die Gleitkommazahlenwerte vor der Umwandlung mit dem Faktor 100 multipliziert und nach der Konvertierung wieder durch 100 dividiert.

Nach der Berechnung der einfallenden Strahlung wurden wie bei den in Kapitel 3 beschriebenen Projekten übersichtliche Darstellung drei Eignungsklassen gebildet: „sehr gut geeignet“, „gut geeignet“ und „bedingt geeignet“. Mit dem Wert der einfallenden Strahlung ist es weiterhin möglich, die Nennleistung, den Jahresertrag und die CO<sub>2</sub>-Reduktion zu berechnen. Die Formeln zur Berechnung wurden hierbei von der Firma Smart Geomatics zur Verfügung gestellt. Die Fläche der theoretisch nutzbaren Gebiete können in ArcMap mittels der Funktion „Calculate Geometry“ berechnet werden.

Sind Nennleistung [kWp], Jahresertrag [kWh/m<sup>2</sup>], CO<sub>2</sub>-Reduktion [t/a], Einstrahlung [kWh/m<sup>2</sup>], Eignungsklasse, Potenzialfläche [ha] und Flächenart ermittelt, so fehlt nur noch die Verschneidung mit der Automatisierten Liegenschaftskarte der einzelnen Gemeinden, um so die Flurstücke zu ermitteln, auf denen sich ganz oder zum Teil potenziell nutzbare Flächen für die Installation von PV-Anlagen befinden.

Zu guter Letzt müssen die Kartendokumente mit den vorhandenen Layerstrukturen noch in Map apps eingebunden werden, um die Themen in der im Internet publizierten Anwendung Potenzialatlas Erneuerbare Energien anschaulich zu präsentieren.

Ein Wirtschaftlichkeitsrechner kann für PV-Freilandanlagen im Zuge dieser Arbeit nicht angelegt werden, da die verschiedenen Kostenfaktoren für Freiflächen zu individuell und nicht ersichtlich genug sind wie bei PV-Anlagen auf Hausdächern.

## 9.2 Blick in die Zukunft

Am Ende wird eines ersichtlich: die Energiewende und vollständige Versorgung durch erneuerbare Energien kann vollzogen werden. Es bedarf aber nicht den Politikern alleine, der Wandel muss von allen Menschen ausgehen. Diese Arbeit soll Teil eines Gesamten sein, ein Teil der Energiewende und in ihrer spezifizierten Weise einen Beitrag dazu leisten, interessierten Lesern einen Überblick über die Vorteile der Solarenergie sowie eine Methodik zur Bestimmung von theoretisch nutzbaren Flächen für PV-Freilandanlagen zu bieten.

Für die Zukunft soll der Potenzialatlas Erneuerbare Energien der LUBW Kommunen helfen, ihr Potenzial für den Beitrag einer gelingenden Energiewende zu entdecken und zu nutzen. Sollte das Potenzial genutzt werden, so ist es tatsächlich im Bereich des Möglichen, das vom EEG gesetzte Ziel einer vollständigen Versorgung aus erneuerbaren Energien bis zum Jahre 2050 zu erreichen.

---

## 10 Literaturverzeichnis

### - Digitale Quellen

- [ARGE] ARGE Monitoring. *Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen*. Abgerufen am 11. Februar 2013 von: [http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/pv\\_leitfaden.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/pv_leitfaden.pdf)
- [BP] bosch und partner. *Erarbeitung von Grundlagen zur regionalplanerischen Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen am Beispiel der Region Lausitz-Spreewald*. Abgerufen am 11. Februar 2013 von: [http://gl.berlin-brandenburg.de/imperia/md/content/bb-gl/energie/gutachten\\_endbericht.pdf](http://gl.berlin-brandenburg.de/imperia/md/content/bb-gl/energie/gutachten_endbericht.pdf)
- [CL\_EEG] Clearingstelle EEG. *Empfehlung*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: [http://www.clearingstelle-eeg.de/files/2010-2\\_Empfehlung.pdf](http://www.clearingstelle-eeg.de/files/2010-2_Empfehlung.pdf)
- [EAB] Energie-Atlas Bayern 2.0. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: (<http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/>)
- [EEG\_1] Erneuerbare Energien Gesetz. *§ 1 Zweck des Gesetzes*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.buzer.de/gesetz/8423/a156910.htm>
- [EEG\_2] Erneuerbare Energien Gesetz. *§ 32 Solare Strahlungsenergie*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.buzer.de/gesetz/8423/a156941.htm>
- [ENG\_1] Energy Map. *Gemeinde Friesenheim*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105/110/159/553/16730.html>
- [ENG\_2] Energy Map. *Gemeinde Münstertal/Schwarzwald*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105/110/159/331/21202.html>
- [ENG\_3] Energy Map. *Gemeinde Schöntal (Jagst)*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105/110/162/588/23913.html>
- [ERK] ERNEUERBAR KOMM!. *Potenzialrechner Erneuerbare Energien Kirchheim-Teck*. Abgerufen am 11. Februar 2013 von: <http://www.erneuerbarkomm.de/kirchheimteck/bin/images/Regelwerk.pdf>
- [GES\_1] Bundesverwaltungsgericht. *§ 9 Bauliche Anlagen an Bundesfernstraßen*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://norm.bverwg.de/jur.php?fstrg,9>
- [GES\_2] Landeseisenbahngesetz - *§ 4 Bauliche Anlagen und Lichtreklamen in der Nähe von Bahnanlagen*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.wedebuch.de/gesetze/landbw/leisenbg.htm#para04>
- [GIS\_1] ESRI Deutschland. *ArcGIS: Das umfassende Geoinformationssystem*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.esri.de/products/arcgis/index.html>
- [GIS\_2] ArcGIS Desktop Hilfe. *Clip*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/000800000004000000>
- [GIS\_3] ArcGIS Desktop Hilfe. *Split*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/000800000006000000>
- [GIS\_4] ArcGIS Desktop Hilfe. *Erase*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00080000000m000000>
- [GIS\_5] ArcGIS Desktop Hilfe. *Buffer*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/000800000019000000>

- [GIS\_6] ArcGIS Desktop Hilfe. *Aggregate Polygons*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Aggregate\\_Polygons/0070000000s000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Aggregate_Polygons/0070000000s000000/)
- [GIS\_7] ArcGIS Desktop Hilfe. *Multipart to Singlepart*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00170000003r000000>
- [GIS\_8] ArcGIS Desktop Hilfe. *Merge*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/001700000055000000>
- [GIS\_9] ArcGIS Desktop Hilfe. *Dissolve*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Dissolve/00170000005n000000/>
- [GIS\_10] ArcGIS Desktop Hilfe. *Raster Calculator*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000z7000000.htm>
- [HES\_1] Energieland Hessen. *Solardachkataster Hessen*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.energieland.hessen.de/dynasite.cfm?dsmid=17355>
- [HES\_2] SolarDachHessen. *Hessisches Solarkataster Informationssystem*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://solardach.hessen.de/Main.html?role=solarkataster>
- [IPS\_1] IP SYSCON. *Unternehmen*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.ipsyscon.de/unternehmen/ueber-ip-syscon/>
- [IPS\_2] publicSOLAR. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.publicsolar.de/>
- [IPS\_3] Solardachkataster in Frankfurt (Oder). Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <https://www.frankfurt-oder.de/wirtschaft/projekte/Solardachkataster/Seiten/default.aspx>
- [KAT] Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz. *Liegenschaftskataster*. Abgerufen am 13. Februar 2013 von: <http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/Liegenschaftskataster/48451.html>
- [LUBW\_1] LUBW. *Solare Effizienz auf Hausdächern*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de/brs-web/pages/map/default/index.xhtml>
- [LUBW\_2] LUBW. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/35855/>
- [LUBW\_3] LUBW. *Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS)*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16129/>
- [LUBW\_4] LUBW. *RIPS - Poster zu den Hauptkomponenten zur Geodatenverwaltung*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/93175/?COMMAND=DisplaySonstigeMedien&FIS=90934&OBJECT=93175&MODE=METADATA>
- [LVL] LÄNGST & VOERKELIUS die LANDSCHAFTSARCHITEKTEN. *Markt Eichendorf - Solarstudie*. Abgerufen am 11. Februar 2013 von: <http://www.markt-eichendorf.de/documents/PhotovoltaifreianlagenSolarstudieOkt.2009.pdf>
- [MAPAPP] Con Terra. *map.apps*. Abgerufen am 12. Februar 2013 von: <http://www.conterra.de/de/software/mapapps/index.shtm>
- [OL] OpenLayers. Abgerufen am 13. Februar 2013 von: <http://openlayers.org/>
- [PVGIS\_1] Photovoltaik-Web. *PV-GIS - Das optimale Tool für Ihre Ertragsermittlung*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.photovoltaik-web.de/ertragsprognose/pvgis/pvgis.html>

- [PVGIS\_2] PV-GIS. *PV potential estimation utility*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe>
- [REST] Merentis. *Definition REST-Schnittstelle*. Abgerufen am 12. Februar von: <http://www.merentis.com/im/Seiten/FAQ/REST-Schnittstelle.aspx>
- [SILVER] Silverlight. *Overview*. Abgerufen am 12. Februar von: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb404700%28v=vs.95%29.aspx>
- [SMART\_1] Smart Geomatics. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.smartgeomatics.de>
- [SMART\_2] Smart Geomatics. *Profil*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.smartgeomatics.de/unternehmen/profil.html>
- [SOL\_1] Solarenergie.com. *Die Geschichte der Sonnenenergienutzung*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.solarenergie.com/content/view/122/66/>
- [SOL\_2] Thema Energie. *Lebensdauer und Wartungsaufwand von PV-Anlagen*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/solarstrom/auslegung-montage/lebensdauer-und-wartungsaufwand-von-pv-anlagen.html>
- [SOL\_3] Solaranlagen-Portal. *Was kostet eine Photovoltaikanlage*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/kosten>
- [SOL\_4] Solarenergie. *Vorteile Nachteile Solarenergie*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://www.solarenergie-sonnenenergie.com/Vorteile-Nachteile.html>
- [SOL\_5] IG Solar. *Solardachziegel*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://www.igsolar.ch/?q=node/36>
- [SOL\_6] Intersolar-Vorbericht. *Schön, schwarz, solar: CIS-Photovoltaikmodule ersetzen Dachziegel (14.5.2007)*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.baulinks.de/webplug-in/2007/0736.php4>
- [SOL\_7] Ofenseite. *Solaranlage 10 m<sup>2</sup> + Solarkombispeicher 600*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.ofenseite.com/Solaranlage-Roehrenkollektor-10qm-Set-Kombispeicher>
- [SOL\_8] G.A.I.A. mbH. *Bestandteile einer Photovoltaik-Anlage*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://www.gaia-mbh.de/solarenergie/technik/photovoltaik/>
- [SOL\_9] Volker Quaschnig. *Aszug aus dem Fachbuch „Erneuerbare Energien und Klimaschutz“ (2009)*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://www.volker-quaschnig.de/artikel/pv-grundlagen/index.php>
- [SOL\_10] SMA. *Performance Ratio - Qualitätsfaktor für die PV-Anlage*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-UDE100810.pdf>
- [SOL\_11] Solaranlagen-Portal. *Der Photoeffekt*. Abgerufen am 13. Februar 2013 von: <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/ratgeber/photovoltaik-effekt>
- [UM\_1] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (4. Juli 2012) *Pressemitteilung: „Wertvolle Unterstützung der Kommunen beim Ausbau regenerativer Energiequellen“*. Abgerufen am 9. Februar 2013 von: <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/95665/>
- [UM\_2] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. *Das UIS BW auf einen Blick*. Abgerufen am 9. Februar 2013 von: <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/58047/>

- [UM\_3] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. *Umweltinformationssystem Baden-Württemberg*. Abgerufen am 9. Februar 2013 von: <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/55662/>
- [WIKI\_1] Wikipedia. *Erneuerbare Energie - Potentiale in Deutschland*. Abgerufen am 9. Februar 2013 von: [http://de.wikipedia.org/wiki/Erneuerbare\\_Energie#Potentiale\\_in\\_Deutschland](http://de.wikipedia.org/wiki/Erneuerbare_Energie#Potentiale_in_Deutschland)
- [WIKI\_2] Wikipedia. *Sonnenenergie - Potenzial der Sonnenenergie*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: [http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie#Potenzial\\_der\\_Sonnenenergie](http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie#Potenzial_der_Sonnenenergie)
- [WIKI\_3] Wikipedia. *Archimedes - Brennspiegel*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Archimedes#Brennspiegel>
- [WIKI\_4] Wikipedia. *Sonnenenergie - Vorteile*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie#Vorteile>
- [WIKI\_5] Wikipedia. *Sonnenenergie - Nachteile*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie#Nachteile>
- [WIKI\_6] Wikipedia. *Photovoltaik - Wirkungsgrad*. Abgerufen am 10. Februar von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik#Wirkungsgrad>
- [WIKI\_7] Wikipedia. *Solarthermie*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Solarthermie>
- [WIKI\_8] Wikipedia. *Photovoltaik*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik>
- [WIKI\_9] Wikipedia. *Solarmodul*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Solarmodul>
- [WIKI\_10] Wikipedia. *Solarzelle*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle>
- [WIKI\_11] Wikipedia. *ArcGIS*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>
- [WIKI\_12] Wikipedia. *Digitales Höhenmodell*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: [http://de.wikipedia.org/wiki/Digitales\\_H%C3%B6henmodell](http://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_H%C3%B6henmodell)
- [WIKI\_13] Wikipedia. *Automatisierte Liegenschaftskarte*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: [http://de.wikipedia.org/wiki/Automatisierte\\_Liegenschaftskarte](http://de.wikipedia.org/wiki/Automatisierte_Liegenschaftskarte)
- [WIKI\_16] Wikipedia. *Friesenheim (Baden)*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: [http://de.wikipedia.org/wiki/Friesenheim\\_%28Baden%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Friesenheim_%28Baden%29)
- [WIKI\_17] Wikipedia. *Münstertal/Schwarzwald*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/M%C3%BCnstertal/Schwarzwald>
- [WIKI\_18] Wikipedia. *Schöntal*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6ntal>
- [WIKI\_19] Wikipedia. *Ackerzahl*. Abgerufen am 10. Februar 2013 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Ackerzahl>

- Analoge Quellen

Klärle, M. (Hg.): Erneuerbare Energien unterstützt durch GIS und Landmanagement. Berlin: Wichmann-Verlag, 2012

---

## 11 Anhang

- DVD mit Ergebnisdaten zur Solarpotenzialanalyse der drei Testgemeinden Friesenheim, Münstertal / Schwarzwald und Schöntal sowie der Dokumentation dieser Arbeit.