

# Anwenderhandbuch

## SolarTools

---

Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Er-  
tragsprognose für potentielle Photovoltaik-  
Anwendungen sowie Wildbarrieren

Stand: 15.08.2013

Jun.-Prof. Dr. Bernhard Höfle (Uni Heidelberg)  
B.Sc. Sabrina Marx (Uni Heidelberg)  
Dipl.-Geogr. Andreas Reimer (Uni Heidelberg)  
Prof. Dr. Alexander Zipf (Uni Heidelberg)

---

Dokument-Identifikation: Anwenderhandbuch\_SolarTools

Dokument-Name: Anwenderhandbuch\_SolarTools.doc

---

## Inhalt

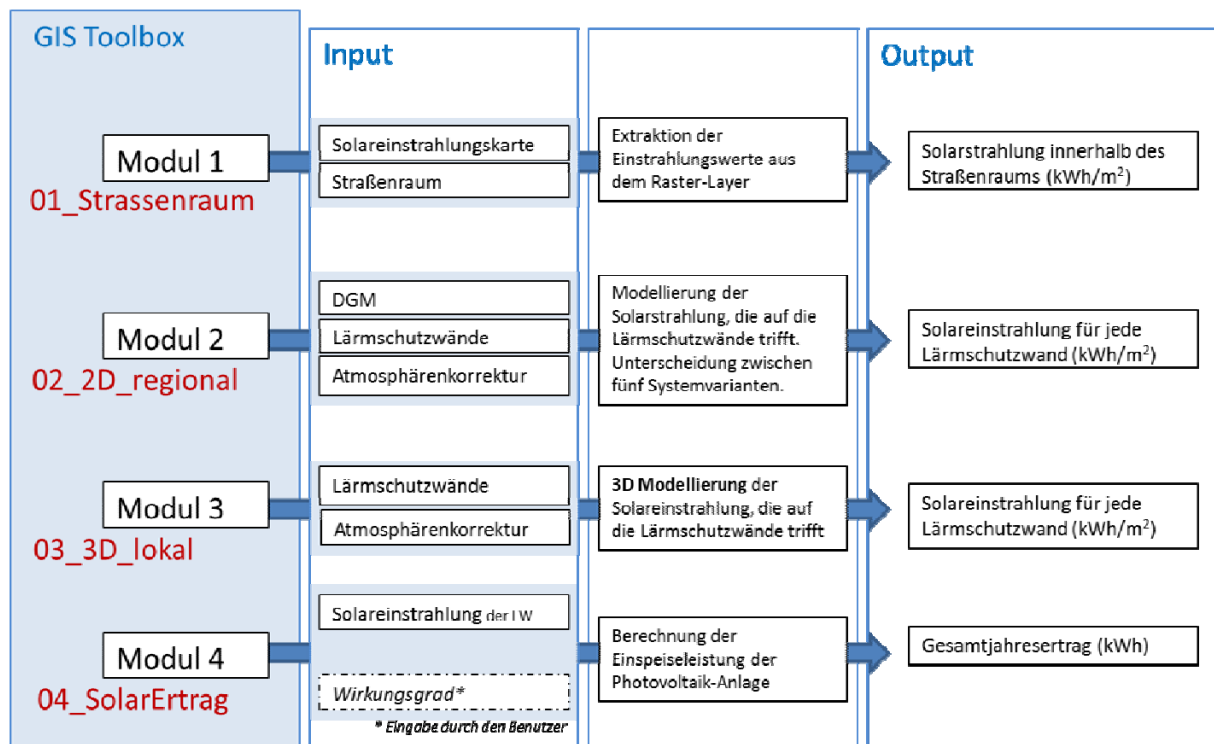
<b>1</b>	<b>PV-Ertragsprognosen mit den SolarTools .....</b>	<b>2</b>
1.1	Betrachtungsmaßstabskonzept.....	2
1.2	Ertragspotenzial.....	3
<b>2</b>	<b>Installationshinweise .....</b>	<b>5</b>
2.1	Variante 1: SolarTools.mxd öffnen.....	5
2.2	Variante 2: SolarTools in eine neue *.mxd-Datei integrieren .....	5
<b>3</b>	<b>Hilfetexte.....</b>	<b>6</b>
3.1	Modul1: 01_Strassenraum .....	6
3.2	Modul2: 02_2D_regional.....	8
3.3	Modul3: 03_3D_lokal .....	12
3.4	Modul4: 04_SolarErtrag .....	14
<b>4</b>	<b>Überblick über die Eingabe- und Ergebnis-Daten der Solar Tools .....</b>	<b>16</b>
4.1	Modul 1: 01_Strassenraum .....	16
4.1.1	Eingabe Sonneneinstrahlungskarte .....	16
4.1.2	Eingabe Linien Features .....	17
4.1.3	Ausgabe Linien Features .....	17
4.1.4	Ausgabe Polygon Features .....	17
4.2	Modul 2: 02_2D_regional.....	18
4.2.1	Eingabe Feature Class .....	18
4.2.2	Digitales Geländemodell .....	18
4.2.3	Layer: Optimale Neigung (optional).....	18
4.2.4	Ausgabe Feature Class .....	19
4.3	Modul 3: 03_3D_lokal .....	19
4.3.1	Eingabe Feature Class .....	19
4.3.2	Digitales Geländemodell .....	20
4.3.3	Ausgabe Feature Class .....	20
4.4	Modul 4: 03_Solarertrag .....	20
4.4.1	Eingabe Feature Class .....	20
4.4.2	Attributive Erweiterung der Eingabe Feature Class .....	20
<b>5</b>	<b>3D-Visualisierung in Google Earth .....</b>	<b>21</b>

## 1 PV-Ertragsprognosen mit den SolarTools

Um die Ziele des Vorhabens „Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potentielle Photovoltaik-Anwendungen sowie Wildbarrieren“ vollständig erreichen zu können und die Grundlagen für die Entwicklung von GIS-Modulen zur Bewertung des PV-Ertragspotenzials von Lärmschutzanlagen zu schaffen, wurden die verfügbaren Daten auf Landesebene gesammelt und in ein einheitliches Datenformat überführt. Die Ergebnisse sollen in einem Geographischen Informationssystem visualisiert und für weitere Analysen verfügbar gemacht werden.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die SolarTools zur Datenverarbeitung entwickelt. Dabei handelt es sich nicht um eine selbständig lauffähige DV-Anwendung, sondern um eine Erweiterung und Anpassung von Standard-Software. Als GIS-Software wird das Geographische Informationssystem (GIS) „ArcGIS for Desktop Basic“ (vormals ArcView) der Firma Esri in der aktuellsten Version (10.1) verwendet. Benötigt wird die Erweiterung "Spatial Analyst" von ArcGIS.

Der Aufbau und die Funktionalitäten der SolarTools ist in Abbildung 1 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.



**Abbildung 1:** Konzept der SolarTools Toolbox, Module 1 bis 4.

### 1.1 Betrachtungsmaßstabskonzept

Aus den gegebenen Anforderungen und der vorliegenden Datensituation ergibt sich die Notwendigkeit, ein hierarchisch-gestuftes Konzept zur Berechnung des PV-Potenzials zu entwickeln, da in den meisten Anwendungsfällen die benötigten Eingangsdaten nicht in dem benötigten Umfang der BAST vorliegen. Das vorliegende Konzept gewährleistet, dass selbst bei mangelhafter Datenlage flächendeckende Aussagen über das Ertragspotenzial möglich sind. Dabei wird auf der ersten Ebene (vgl. Ansatz I) ein vereinfachtes Modell angeboten. Gleichzeitig werden innovative GIS-Module entwickelt, die bei vollständiger Datenverfügbarkeit die Ertragssituation einer bestehenden oder geplanten An-

lagsituation sehr genau abbilden können. Es werden insgesamt drei Ebenen der Modellentwicklung unterschieden:

**Ansatz I. 01\_Strassenraum:** Flächendeckende Vorprozessierung und Berechnung des Ertragspotenzials im Straßenraum und für Lärmschutzmaßnahmen auf Grundlage verfügbarer Geodaten und PVGIS. **Vorteil:** Dieses Verfahren erlaubt, das Ertragspotenzial für alle bestehenden Bauwerke abzufragen. **Nachteil:** Dieses Verfahren erlaubt keine Berücksichtigung der Nahverschattung und weiterer ertragsmindernder Faktoren. Dieses Verfahren wird als „Model“ der ArcGIS-Toolbox zur Verfügung gestellt und kann auch zur Qualifizierung von nachträglich hinzukommenden Lärmschutzanlagen verwendet werden.

**Ansatz II. 02\_2D\_regional:** Für regionale Betrachtungen dient das Teilmodul 02\_2D\_regional. Zusätzlich zu den genannten übergeordneten Einflussgrößen werden hier regionale Wetter- und Atmosphärenbesonderheiten (wie z. B. Wechselwirkung von urbanem Staubeintrag in die Atmosphäre mit Bewölkung und Niederschlag), die Exposition des Bauwerks und vor allem die Verschattung des Horizonts durch das Relief in beliebiger Genauigkeit modelliert. Der **Vorteil:** Die Module erlauben detaillierte Aussagen unter Berücksichtigung der Eigenschaften der PV-Anlagen und - wenn benötigte Daten vorliegen - der Nahverschattung. **Nachteile:** Diese Module sind nur in begrenzten räumlichen Ausschnitten anwendbar, und nur, wenn die benötigten Ausgangsdaten vorliegen. Die flächendeckende Berechnung von Erträgen wäre nur mit großen Aufwänden und Rechenzeiten möglich.

**Ansatz III. 03\_3D\_lokal:** Einen großen Einfluss für die tatsächliche Stromleistung einzelner Anlagen haben lokale Verschattungen. Insbesondere durch Teilverschattung, d. h. Schattenwurf von geringer Fläche auf ein Modul wird die Leistung aus technischen Gründen drastisch hinter der einfallenden Strahlung bleiben. Dies bedeutet, dass rechnerisch die tatsächlich einfallende Strahlungsenergie besonders unzureichend umgesetzt werden kann, wenn Teile einer Modulkette verschattet sind. Solche Einzelbetrachtungen werden durch das Teilmodul 03\_3D\_lokal ermöglicht. Dieses Teilmodul berechnet auf Basis von synthetisch erzeugten oder eingemessenen LiDAR Punktwolken mit beliebiger geometrischer Genauigkeit die einfallende Strahlung für jeden Punkt inklusive der Verschattung, die jene Punktwolken ihrerseits erzeugen. Damit können, bei entsprechender Datenlage, alle Nahverschattungseffekte (z. B. durch Bäume, Häuser oder Masten) erfasst werden. Die Nahverschattung kann bei vorliegenden Laserscan-Daten berücksichtigt werden. Die Eigenverschattung kann bei Vorliegen eines detaillierten 3D-Modells der zu installierenden Anlage integriert werden. **Nachteile:** Stellt besonders hohe Anforderungen an die Datenverfügbarkeit in puncto 3D-Modell.

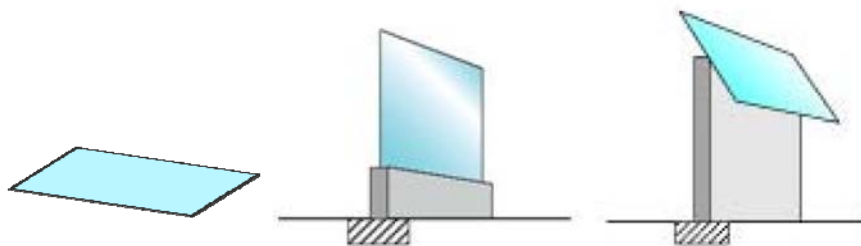
## 1.2 Ertragspotenzial

Grundsätzlich gilt für die Berechnung eines PV-Ertragspotenzials, dass zunächst die Globalstrahlung unter „clear sky“ Bedingungen (wolkenfreier Himmel) modelliert wird. Um die reale Globalstrahlung zu ermitteln, müssen in einem zweiten Schritt die für „clear sky“ Bedingungen modellierten Sonneneinstrahlungswerte um einen Faktor korrigiert werden, der die Bedingungen bei wolkenbedecktem Himmel berücksichtigt.

Zwingend erforderlich für die Modellierung der Globalstrahlung ist nur ein digitales Geländemodell, wie z. B. das DGM10. Fehlen Eingabedaten - abgesehen vom Geländemodell - werden für die Berechnung globale und räumlich konstante Standardwerte herangezogen, die jedoch die Genauigkeit der Ergebnisse verringern.

Um das Solarpotenzial von Lärmschutzwänden und -wällen abschätzen zu können, müssen zusätzlich Informationen zu deren Geometrie und Lage im entsprechenden Datenformat vorliegen. Es kann sich dabei um bereits existierende, aber auch um in der Planung befindliche Lärmschutzwände handeln. Die Maximierung des Ertrags wird unter Berücksichtigung einer durch die Lärmschutzwand vorgegebenen Ausrichtung durchgeführt. Das Solarpotenzial kann sowohl für On-Top-Situationen, die der Straße zugewandt, als auch der Straße abgewandten Seite der Lärmschutzwand bzw. -walls berechnet werden.

Von der Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarstrahlung bis zur schätzenden Simulation des Jahresertragspotenzials müssen u. a. anlagenart- und verbauungsspezifische Faktoren berücksichtigt werden. Die in den entwickelten Modulen vornehmlich umgesetzten Betrachtungsfälle (Abbildung 2) erfassen methodisch die relevanten Berechnungsmethoden. Durch angepasste Parameterwahl für die Flächenberechnung durch den Endnutzer können komplexere Verbauungsarten wie z. B. Kassettenbauweisen problemlos modelliert werden.



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung von horizontal, bifazial und optimal geneigt verbauten PV-Modulen.

Basierend auf dem berechneten Solarpotenzial werden für die Lärmschutzwände und -wälle der Jahresertrag berechnet. Die absolute Energie, die auf eine photovoltaische Anlagenfläche fällt, ergibt sich aus der berechneten Einstrahlungssumme multipliziert mit der potenziellen Anlagefläche. Durch die Verrechnung der absoluten Energie mit den Wirkungsgraden der Module und Wechselrichter sowie Faktoren für Leistungsverluste (z. B. Kabelverluste) kann die Gesamteinspeiseleistung (kWh pro Jahr) der Photovoltaikanlage ermittelt werden.

## 2 Installationshinweise

Bei den SolarTools handelt es sich nicht um eine selbständig lauffähige DV-Anwendung, sondern um eine Erweiterung und Anpassung von Standard-Software. Als GIS-Software wird das Geographische Informationssystem (GIS) „ArcGIS for Desktop Basic“ (vormals ArcView) der Firma Esri in der aktuellsten Version (10.1) verwendet. Die Toolbox SolarTools muss nicht installiert werden, sondern kann sofort verwendet werden.

Die Skripts und die Korrekturlayer, die zur Berechnung des Solarpotenzials verwendet werden sind im Ordner „SolarTools“ abgelegt (Abbildung 3). **Die interne Struktur dieses Ordners darf nicht verändert werden!**

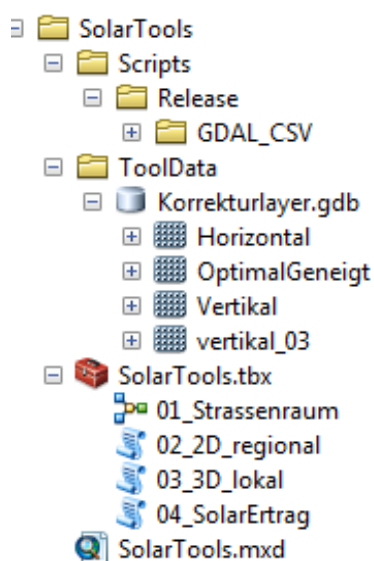


Abbildung 3: Struktur der SolarTools

### 2.1 Variante 1: SolarTools.mxd öffnen

Öffnen Sie die MXD-Datei *SolarTools.mxd* im Verzeichnis *SolarTools*. Die SolarTools sind so bereits in die ArcToolbox integriert und können benutzt werden

Alternativ können Sie die MXD-Datei *00\_BAST\_LSEArbeitsdokument\_101.mxd* im Verzeichnis *Standortkataster\_Laermschutz* verwenden. Neben den SolarTools sind in dieser Datei alle Layer eingebunden, die Sie für die Berechnung der einzelnen Module benötigen.

### 2.2 Variante 2: SolarTools in eine neue \*.mxd-Datei integrieren

Fügen Sie die SolarTools dem ArcToolbox-Fenster hinzu, indem Sie mit der rechten Maustaste auf *ArcToolbox* klicken und dann auf *Add Toolbox* klicken, wie in Abbildung 4 dargestellt. Wechseln Sie zum Verzeichnis mit den SolarTools und markieren Sie die Toolbox (*SolarTools.tbx*).

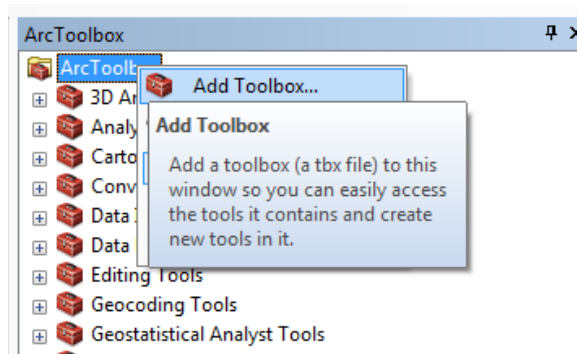


Abbildung 4: Hinzufügen einer Toolbox

### 3 Hilfetexte

#### 3.1 Modul1: 01\_Strassenraum

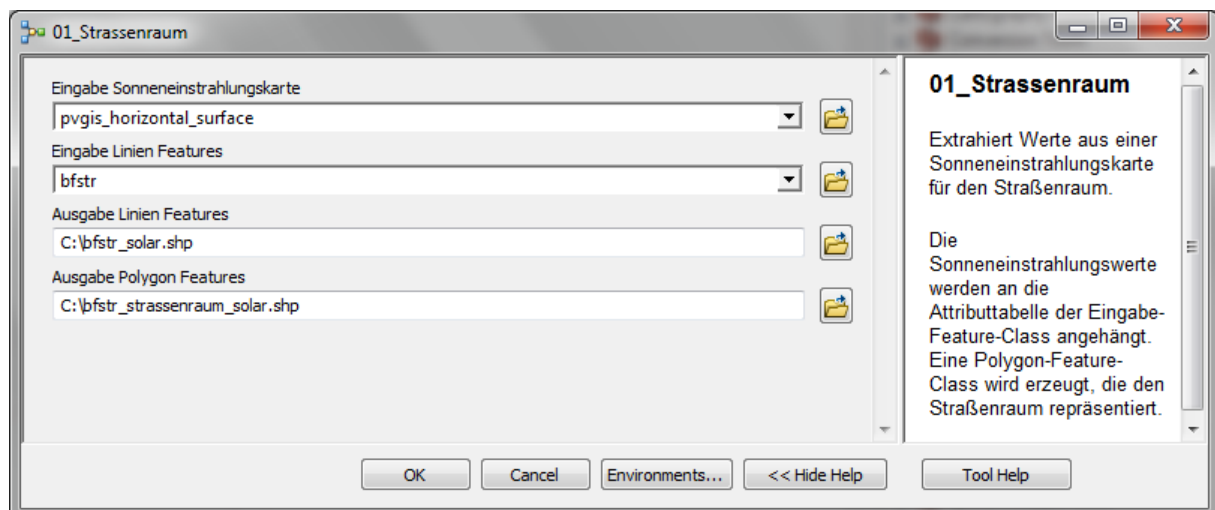
Das Modul 1 kann verwendet werden, um die Sonneneinstrahlung innerhalb des Straßenraums zu bestimmen. Dafür werden die Informationen zu den jährlichen Einstrahlungsmengen aus vorprozessierten, mitgelieferten Rasterdatensätzen entnommen. Es stehen zurzeit die folgenden Sonneneinstrahlungskarten zur Verfügung:

- DWD Rasterdaten der Globalstrahlung als mittlere Jahressumme (*räumliche Auflösung: 1\*1km, Betrachtungszeitraum: 1981-2010*)
- PVGIS Datensatz: Sonneneinstrahlung auf die vertikale, horizontale oder optimal ausgerichtete Fläche (*räumliche Auflösung: 5', Betrachtungszeitraum: 1981-1990*)

Das Ergebnis des Moduls 1 ist die potentielle Sonneneinstrahlung (Einheit abhängig vom Eingaberaster), die innerhalb des Straßenraums auftritt. Abgebildet werden diese Werte als attributive Erweiterung der bestehenden Input-Feature-Class. Das heißt, dem Input-Straßenlayer wird das Attribut „Solarstrahlung“ für jeden Abschnitt des Straßenraums angehängt. Des Weiteren wird eine neue Feature-Class erstellt, die den Straßenraum abbildet und ebenfalls das Attribut „Solarstrahlung“ beinhaltet. Dieser Layer dient zur Visualisierung der Ergebnisse. Dafür werden die Abschnitte des Straßenraums entsprechend der Solarstrahlungswerte klassifiziert und der Layer eingefärbt.

#### Titel 01\_Strassenraum

#### Benutzeroberfläche



### Zusammenfassung

Extrahiert Werte aus einer Sonneneinstrahlungskarte für den Straßenraum.

Die Sonneneinstrahlungswerte werden in die Attributtabelle der Eingabe-Feature-Class geschrieben. Desweiteren wird eine Polygon-Feature-Class erzeugt, die den Straßenraum repräsentiert.

### Verwendung

- Die Ausgabe-Linien-Feature-Class enthält alle Attributfelder der Eingabe-Linien-Feature-Class. Der Ausgabe-Feature-Class wird ein neues Feld namens "SolarStr" hinzugefügt.
- Das Eingabe-Raster muss ein Ganzzahl-Raster sein.
- Alle Daten müssen im Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG-Code: 25832) vorliegen.

### Syntax

Modul01 (Eingabe\_Sonneneinstrahlungskarte, Eingabe\_Linien\_Features, Ausgabe\_Linien\_Features, Ausgabe\_Polygon\_Features)

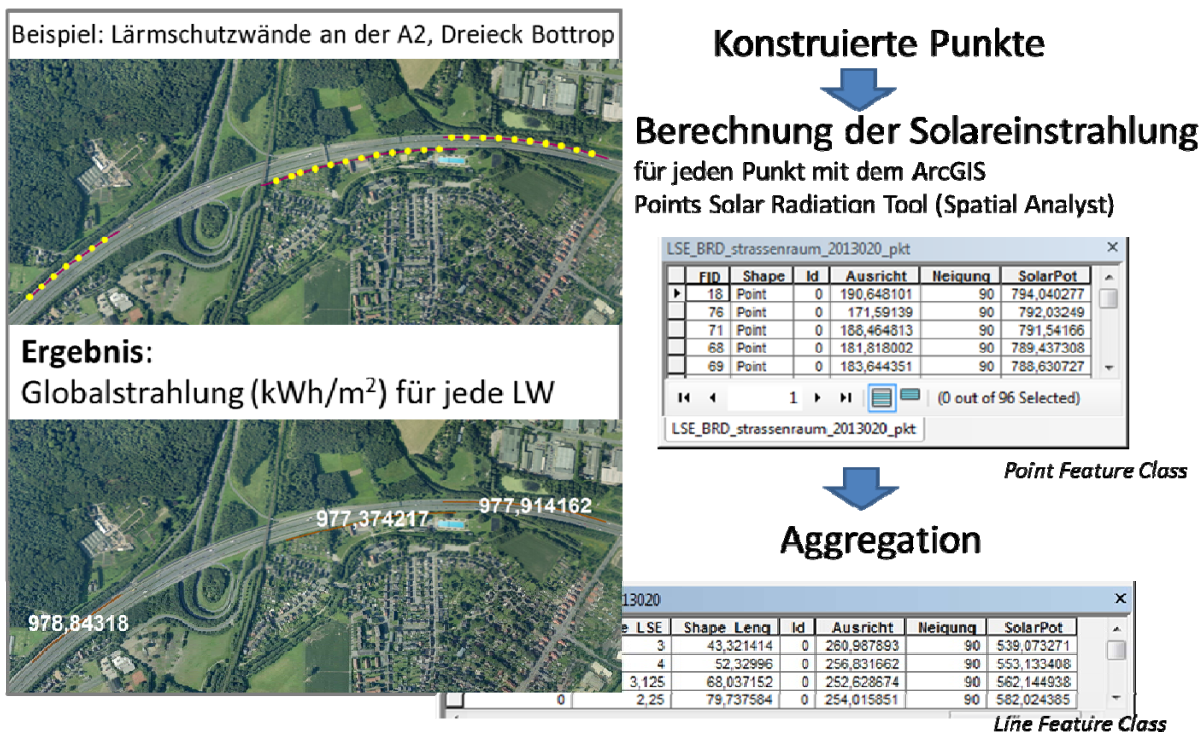
Parameter	Erläuterung	Datentyp
<b>Eingabe_Sonneneinstrahlungskarte</b>	Das Eingabe-Raster, dessen Werte auf der Grundlage der Position der Eingabe-Features extrahiert werden.  Das Raster muss ein Ganzzahl-Raster sein.	Composite Geodataset
<b>Eingabe_Linien_Features</b>	Die Eingabe-Linien-Features, die die Bundesfernstraßen repräsentieren.	Feature Layer
<b>Ausgabe_Linien_Features</b>	Die Ausgabe-Linien-Features, basierend auf den Eingabe-Features.  Enthalten die extrahierten Werte der Sonneneinstrahlungskarte im Attributfeld "SolarStr". Die Einheit ist durch das Eingabe-Raster vorgegeben.	Feature Class
<b>Ausgabe_Polygon_Features</b>	Die Ausgabe-Polygon-Features, die den Straßenraum repräsentieren.  Enthalten die extrahierten Werte der Sonneneinstrahlungskarte im Attributfeld "SolarStr". Die Einheit ist durch das Eingabe-Raster vorgegeben.	Feature Class



### 3.2 Modul2: 02\_2D\_regional

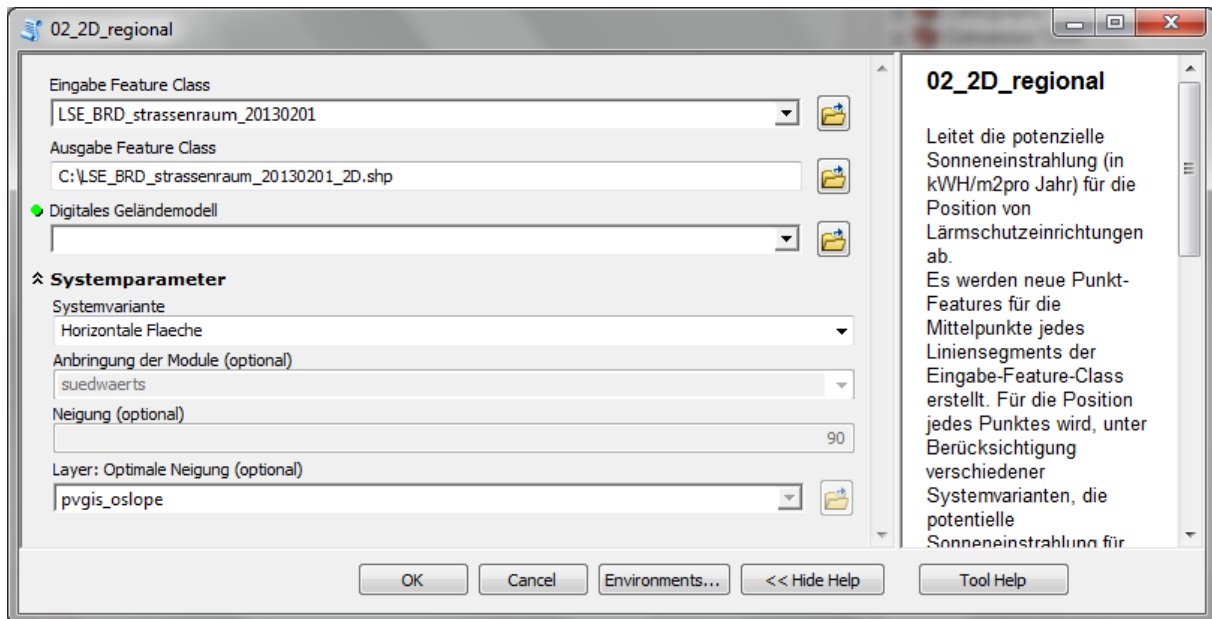
Modul 2 leitet die potenzielle Sonneneinstrahlung (Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr) für die Position der Lärmschutzwände unter Berücksichtigung verschiedener Montagevariationen ab. Die Berechnung erfolgt unter Verwendung des Points Solar Radiation (Spatial Analyst). Im ersten Schritt werden Punkte konstruiert, die auf den Mittelpunkten jedes Liniensegments liegen. Für jeden Punkt wird die Ausrichtung abgeleitet, die Neigung der montierten PV-Module bestimmt, sowie Werte für eine Atmosphärenkorrektur zugeordnet. Es folgt die punktbasierte Berechnung des Solarstrahlung mit Hilfe des ArcGIS Points Solar Radiation Tools (Spatial Analyst). Im letzten Schritt werden die Solarstrahlungs-Werte, die für jedes Segment einer Lärmschutzwand berechnet wurden, aggregiert. Für jede Lärmschutzwand wird so das Solarpotential berechnet (vgl. Abbildung 5). Das Ergebnis des Moduls 2 ist die Solarstrahlung [kWh/(m<sup>2</sup>-a)] für jede Lärmschutzwand. Die Werte werden als attributive Erweiterung an die Input Feature Class angehängt.

**Abbildung 5:** Funktionsweise des Moduls 2.



Die räumliche Variabilität der atmosphärischen Trübung und der Einfluss von regionaler Bewölkung werden in einer nachträglichen Gesamtkorrektur berücksichtigt. Die Korrekturlayer wurden berechnet, indem für horizontale, vertikale und optimal geneigte Flächen zunächst deutschlandweite Sonneneinstrahlungskarten bei allgemein klaren Himmelsbedingungen erstellt wurden. Die Differenz zwischen diesen Sonneneinstrahlungskarte für clear-sky Bedingungen und den PVGIS-Datensätzen bei real-sky Bedingungen wurde bei der Erstellung der Korrekturlayer zugrunde gelegt.

## Benutzeroberfläche



## Zusammenfassung

Leitet die potenzielle Sonneneinstrahlung [kWh/(m<sup>2</sup>·a)] für die Position von Lärmschutzeinrichtungen unter Berücksichtigung verschiedener Montagevarianten ab.

## Verwendung

- Alle Daten müssen im Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG-Code: 25832) vorliegen.
- Die Berechnung basiert auf dem ArcGIS Points Solar Radiation Tool (Hilfe unter: <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/na/009z000000t6000000/>) mit folgenden Konfigurationen:
  - skySize = 200
  - timeConfig = "WholeYear 2012"
  - dayInterval = 14
  - hourInterval = 0.5
  - zFactor = 1
  - calcDirections = 32
  - zenithDivisions = 8
  - azimuthDivisions = 8

Der Breitengrad wird für jeden Standort berechnet und nicht aus dem DGM abgeleitet (vgl. ArcGIS Hilfe).

- Die räumliche Variabilität der atmosphärischen Trübung und der Einfluss von regionaler Bewölkung werden in einer nachträglichen Gesamtkorrektur berücksichtigt. Da die Neigung der Einstrahlungsfläche das Verhältnis zwischen direkter zu diffuser Einstrahlung beeinflusst, werden drei Korrekturlayer herangezogen.

- Das DGM darf für die Zellen, die sich mit den Eingabe-Features überschneiden, keine NoData-Werte enthalten.
- Die Positionen, für die die Sonneneinstrahlung abgeleitet wird, werden in einer Punkt-Feature-Class gespeichert (Präfix: \_pkt).

### Syntax

Modul02 (Eingabe\_Feature\_Class, Ausgabe\_Feature\_Class, Digitales\_Geländemodell, Systemvariante, Anbringung\_der\_Module, Neigung, Layer\_Optimale\_Neigung)

Parameter	Erläuterung	Datentyp
<b>Eingabe_Feature_Class</b>	Die Eingabe-Linien-Feature-Class, die die Lärmschutzeinrichtungen repräsentiert.	Feature Layer
<b>Ausgabe_Feature_Class</b>	Die Ausgabe-Linien-Feature-Class, basierend auf den Eingabe-Features.  Enthält im Attributfeld "SolarPot" die berechnete Sonneneinstrahlung [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)].	Shapefile
<b>Digitales_Geländemodell</b>	Das Digitale Geländemodell (DGM).  Darf für die Zellen, die sich mit den Eingabe-Features überschneiden, keine NoData-Werte enthalten.	Raster Layer
<b>Systemvariante</b>	Auswahl zwischen verschiedenen Systemvarianten, die bei der Berechnung der Sonneneinstrahlungswerte berücksichtigt werden:  <b>Horizontale Fläche:</b> Ausrichtung und Neigung sind Null.  <b>Bifaciale Module:</b> Ausrichtung leitet sich von der Position der Eingabe-Feature-Class ab (südwärts oder nordwärts), Neigung ist 90°.  <b>Optimal geneigte Module:</b> Ausrichtung ist 180° (Südausrichtung), die optimale Neigung wird aus einem Raster-Datenset (Layer: Optimale Neigung) extrahiert.  <b>Manuelle Eingabe der Neigung (Südausrichtung):</b> Ausrichtung ist 180° (Südausrichtung), die Neigung wird angegeben.  <b>Manuelle Eingabe der Neigung (Ausrichtung der LW):</b> Ausrichtung leitet sich von der Position der Eingabe-Feature-Class ab (südwärts oder nordwärts), die Neigung wird angegeben.	String

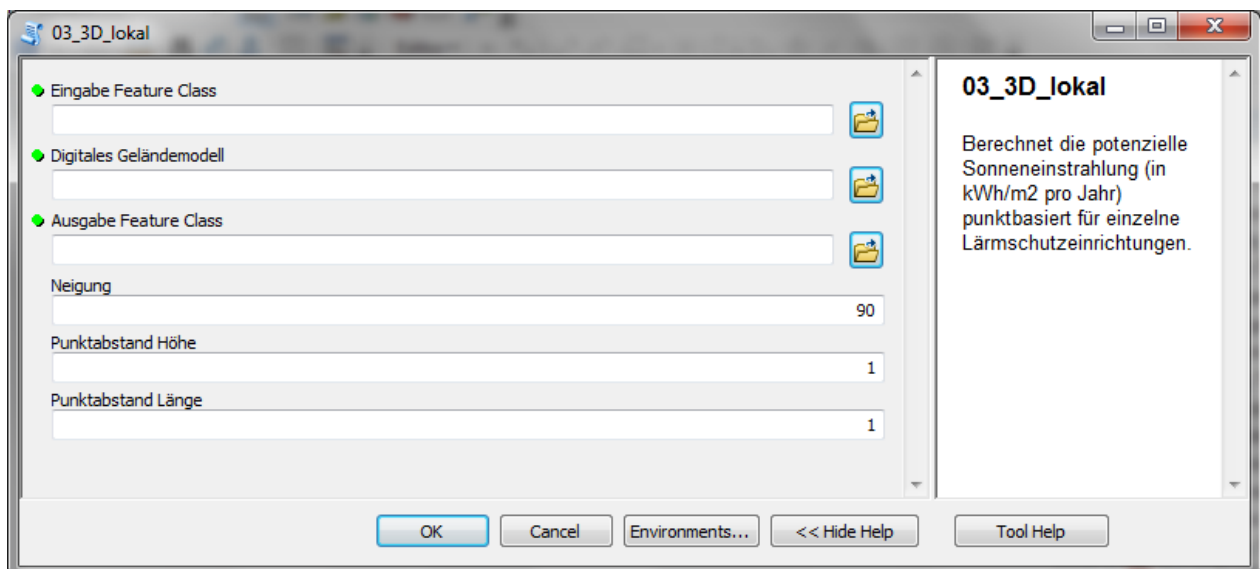
Parameter	Erläuterung	Datentyp
<b>Anbringung_der_Module (Optional)</b>	<p>Gibt an für welche Ausrichtung der Eingabe-Features die Sonneneinstrahlung berechnet wird:</p> <p><b>Südwärts:</b> Ausrichtung zwischen 90° und 269°.</p> <p><b>Nordwärts:</b> Ausrichtung zwischen 270° und 89°.</p> <p>Die Ausrichtung wird als positive Gradangabe von 0° bis 359,9° ausgedrückt, wobei im Uhrzeigersinn von Norden aus gemessen wird.</p>	String
<b>Neigung (Optional)</b>	<p>Neigung der Einstrahlungsfläche, die bei der Berechnung der Sonneneinstrahlung berücksichtigt wird.</p> <p>Werte zwischen 0° und 90°. 0° entspricht einer flachen Oberfläche.</p>	Double
<b>Layer_Optimale_Neigung (Optional)</b>	Raster-Datenset, welches Werte für die optimale Neigung enthält.	Raster Layer

### 3.3 Modul3: 03\_3D\_lokal

Das 3. Modul berechnet die Sonneneinstrahlung für einzelne Lärmschutzwände unter Berücksichtigung der 3. Dimension. Die Geometrie der Lärmschutzwände wird für diesen Zweck durch Punktwolken repräsentiert. Der Algorithmus, der zur punktbasierten Berechnung der Sonneneinstrahlung entwickelt wurde, basiert auf Hofierka & Sári 2002. Die Implementierung ist für 3D Laserscanning Punktwolken erweiterbar. Nachdem das Solarpotential für alle auf einer Lärmschutzwand liegenden Punkte berechnet wurde, werden die Werte aggregiert und für jede Lärmschutzwand ausgegeben. Dargestellt wird das Ergebnis als 3D Punkt-Feature-Class mit dem Attribut „SolarPot“, welches die berechnete Solarstrahlung [kWh/(m<sup>2</sup>·a)] enthält.

**Titel** 03\_3D\_lokal

#### Benutzeroberfläche



#### Zusammenfassung

Berechnet die potenzielle Sonneneinstrahlung [kWh/(m<sup>2</sup>·a)] punktbasiert für einzelne Lärmschutzeinrichtungen.

#### Verwendung

- Die Ausrichtung der Einstrahlungsfläche entspricht der Ausrichtung der Eingabe-Linien-Features. Es wird die südwärts gerichtete Seite der Linien-Features betrachtet.
- Alle Daten müssen im Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG-Code: 25832) vorliegen.
- Das Attributfeld "Hoehe\_LSE" muss in der Eingabe-Feature-Class vorhanden sein. Ist für ein Feature kein Attributwert vorhanden oder ist der Wert 0, so wird die Höhe der Lärmschutzeinrichtung auf 4,0 m gesetzt.

- Die räumliche Variabilität der atmosphärischen Trübung und der Einfluss von regionaler Bewölkung werden durch drei Korrekturlayer (für horizontale, vertikale und optimal geneigte Flächen) berücksichtigt.
- Die 3D-Modellierung der LSE erfolgt unter Berücksichtigung der Parameter "Punktabstand Höhe" und "Punktabstand Länge".
- Die Berechnung erfolgt für alle selektierten Features. Es dürfen maximal 100 Features selektiert sein.

### Syntax

Modul03 (Eingabe\_Feature\_Class, Digitales\_Geländemodell, Ausgabe\_Feature\_Class, Neigung, Punktabstand\_Höhe, Punktabstand\_Länge)

Parameter	Erläuterung	Datentyp
<b>Eingabe_Feature_Class</b>	Die Eingabe-Linien-Features, die die Lärm-schutzeinrichtungen repräsentieren.  Das Attributfeld "Hoehe_LSE" muss vorhanden sein.  Die Berechnung erfolgt für einzelne Features (max. 100), die zuvor selektiert werden müssen.	Feature Layer
<b>Digitales_Geländemodell</b>	Das Digitale Geländemodell.  Darf für die Zellen, die sich mit den Eingabe-Features überschneiden, keine NoData-Werte enthalten.	Raster Layer
<b>Ausgabe_Feature_Class</b>	Die 3D-Punkt-Feature-Class, basierend auf den Eingabe-Features.  Enthält im Feld "SolarPot" die potenziellen Sonneneinstrahlungswerte [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)].	Feature Class
<b>Neigung</b>	Neigung der Einstrahlungsfläche, die bei der Berechnung der Sonneneinstrahlung berücksichtigt wird.  Werte zwischen 0° und 90°. 0° entspricht einer flachen Oberfläche.	Double
<b>Punktabstand_Hoehe</b>	Abstand (in m) der Punkte in der Ausgabe-Feature-Class für die Höhe.	Double
<b>Punktabstand_Laenge</b>	Abstand (in m) der Punkte in der Ausgabe-Feature-Class für die Länge.	Double

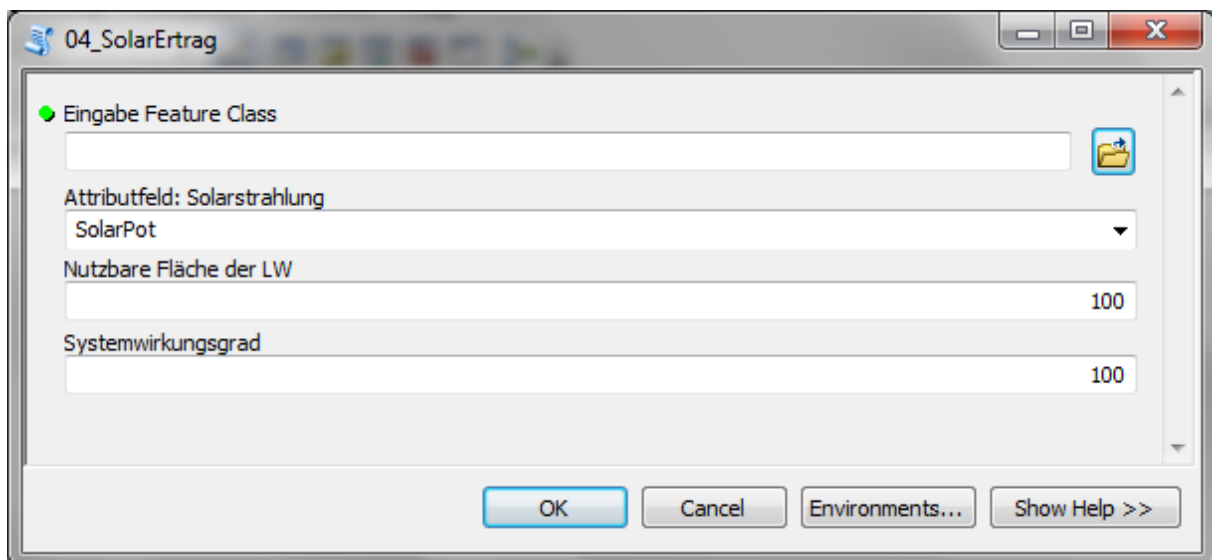
### 3.4 Modul4: 04\_SolarErtrag

Basierend auf den Ergebnissen der Module 1 – 3, bietet Modul 4 die Möglichkeit, den potentiellen Gesamtjahresertrag (in kWh) der kombinierten PV-Lärmschutzwand-Systeme abzuschätzen. Als Input wird ein Straßen- oder Lärmschutzwand-Layer angegeben für den bereits die Solarstrahlung berechnet wurde.

Durch die Verrechnung der absoluten Energie mit den Wirkungsgraden der Module und Wechselrichter sowie Faktoren für Leistungsverluste (z. B. Kabelverluste) wird der Gesamtjahresertrag (in kWh pro Jahr) der Photovoltaikanlage ermittelt.

**Titel** 04\_SolarErtrag

#### Benutzeroberfläche



#### Zusammenfassung

Berechnet den potenziellen Jahresertrag (in kWh pro Jahr).

#### Verwendung

- Die jährliche Sonneneinstrahlung [kWh/(m<sup>2</sup>·a)] muss bereits in ein Attributfeld der Eingabe\_Feature\_Class geschrieben worden sein.
- Die Attributfelder „Hoehe\_LSE“ und „LAENGE“ müssen in der Eingabe\_Feature\_Class vorhanden sein

#### Syntax

Modul04 (Eingabe\_Feature\_Class, Attributfeld\_Solarstrahlung, Nutzbare\_Fläche\_der\_LW)

<b>Parameter</b>	<b>Erläuterung</b>	<b>Datentyp</b>
<b>Eingabe_Feature_Class</b>	Eingabe-Features, für die bereits Solarstrahlungswerte berechnet wurden.	Feature Layer
<b>Attributfeld_Solarstrahlung</b>	Attributfeld, welches die Solarstrahlungswerte [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)] enthält.	Field
<b>Nutzbare_Fläche_der_LW</b>	Anteil der nutzbaren Fläche der Lärmschutzeinrichtungen (in Prozent), der in die Berechnung des potenziellen Jahresertrags mit eingeht.	Double
<b>Systemwirkungsgrad</b>	Beschreibt den Wirkungsgrad der gesamten PV-Anlage (in Prozent). Berücksichtigt werden müssen die Wirkungsgrade der Module und Wechselrichter sowie Faktoren für Leistungsverluste (z.B. Kabelverluste).	Double



## 4 Überblick über die Eingabe- und Ergebnis-Daten der Solar Tools

Die ArcGIS-Toolbox *SolarTools* dient zur Bewertung des PV-Ertragspotenzials von Lärmschutzanlagen. Das hierarchisch-gestufte Konzept (Modul 1 - 4) zur Berechnung des PV-Potenzials erlaubt es flexibel auf die verfügbare Datenbasis und verschiedene Anwendungsfälle zu modellieren. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Module ist dem *Anwenderhandbuch: Solar Tools* zu entnehmen. Die Datenbasis sowie die Ergebnis-Datensätze sind ausführlich im *Datenkatalog* beschrieben

Die vier Module erfordern unterschiedliche Eingabe-Daten, die im Folgenden erläutert werden. Das Ergebnis jeder Berechnung ist entweder eine neue Ausgabe-Feature-Class (Modul 1 bis 3) oder die attributive Erweiterung der bestehenden Eingabe-Feature-Class. Die Ergebnisse der Modul 1 bis 3 liegen bereits bundesweit vor, Dateiname und Speicherort kann dem jeweiligen Abschnitt *Ergebnis-Daten* entnommen werden. Bei der Erstellung einer „neuen“ Ausgabe-Feature-Class kann der Name und Speicherort beliebig bestimmt werden.

### 4.1 Modul 1: 01\_Strassenraum

#### INFO

#### 01\_Strassenraum

Das Modul 01\_Strassenraum ermöglicht die Berechnung des Ertragspotenzials im Straßenraum auf Grundlage von vorprozessierten Sonneneinstrahlungskarten.

#### -----EINGABE DATEN-----

#### 4.1.1 Eingabe Sonneneinstrahlungskarte

#### Eingabe Sonneneinstrahlungskarte

- **Beschreibung:**

Die Sonneneinstrahlungskarten stellen die jährliche Sonneneinstrahlung in Deutschland dar. Auf Grundlage der Position der Eingabe-Linien-Features (vgl. 4.1.2 Eingabe Linien Features), werden die jährlichen Sonneneinstrahlungswerte für den Straßenraum extrahiert.

Die zur Verfügung gestellten Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und die Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)-Daten erlauben eine erste, bundesweit einheitliche Einschätzung des maximalen Ertragspotenzials innerhalb des Straßenraums ohne Berücksichtigung von ertragsmindernden Effekten.

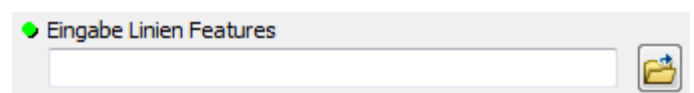
- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\3GIS

- **Dateinamen:**

PVGIS	DWD
Das Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) wird kostenlos vom Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission entwickelt und zur Verfügung gestellt.	Die Globalstrahlungskarte des DWD basiert auf den Daten des JRC
pvgis_horizontal_surface	BRD_8110_YY_GISutm.tif
pvgis_opti-inclined	
pvgis_vertical_surface	

#### 4.1.2 Eingabe Linien Features

- **Beschreibung:**  
Die Linien-Geometrien repräsentieren die Bundesfernstraßen.
- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\4Lärmschutzkataster\41Bundesfernstrassen
- **Dateiname:**
  - BFStr\_V3\_utm32\_100.shp



#### 4.1.3 Ausgabe Linien Features

- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\6Ertragspotential\01\_Strassenraum
- **Dateinamen:**
  - BFStr\_pvgis\_Horizontal\_Solar\_100.shp
  - BFStr\_pvgis\_OptimalGeneigt\_Solar\_100.shp
  - BFStr\_pvgis\_Vertikal\_Solar\_100.shp
  - BFStr\_DWD\_Solar\_100.shp

#### 4.1.4 Ausgabe Polygon Features

- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\6Ertragspotential\01\_Strassenraum
- **Dateinamen:**
  - BFStr\_Strassenraum\_pvgis\_Horizontal\_Solar\_100.shp
  - BFStr\_Strassenraum\_pvgis\_OptimalGeneigt\_Solar\_100.shp
  - BFStr\_Strassenraum\_pvgis\_Vertikal\_Solar\_100.shp
  - BFStr\_Strassenraum\_DWD\_Solar\_100.shp

## 4.2 Modul 2: 02\_2D\_regional

### INFO

02\_2D\_regional

Das Modul 02\_2D\_regional ermöglicht es, die jährlich potenzielle Sonneneinstrahlung (in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr) für die Position von Lärmschutzeinrichtungen abzuleiten. Es können verschiedene Varianten der kombinierten PV-Lärmschutzanlagen berücksichtigt werden.

### -----EINGABE DATEN-----

#### 4.2.1 Eingabe Feature Class

Eingabe Feature Class

- **Beschreibung:**

Die Linien-Geometrien repräsentieren Lärmschutzeinrichtungen

- **Pfad:**

..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\4Lärmschutzkataster\43Lärmschutzeinrichtungen

- **Dateinamen:**

- LSE\_BFStr\_100.shp

#### 4.2.2 Digitales Geländemodell

Digitales Geländemodell

- **Beschreibung:**

Das Digitale Geländemodell repräsentiert die Geländeoberfläche mit einer räumlichen Auflösung von 10x10 Quadratmetern

- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\3GIS\DGM10

- **Dateiname:** dgm10\_deu.tif

#### 4.2.3 Layer: Optimale Neigung (optional)

Layer: Optimale Neigung (optional)

- **Beschreibung:**

PVGIS-Datensatz, der die optimale Neigung der PV-Module angibt

- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\3GIS\PVGIS

- **Dateiname:** pvgis\_oslope

### -----ERGEBNIS DATEN-----

#### 4.2.4 Ausgabe Feature Class

- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\6Ertragspotential\02\_2D\_regional

- **Dateinamen**

Systemvariante: Horizontale Flaechе

- LSE\_BFStr\_horizontal
- LSE\_BFStr\_horizontal\_pkt

Systemvariante: Bifaziale Module suedwaerts/nordwaerts

- LSE\_BFStr\_bifazial\_suedwaerts
- LSE\_BFStr\_bifazial\_suedwaerts\_pkt

Systemvariante: Optimal geneigte Module

- LSE\_BFStr\_optimal\_geneigt
- LSE\_BFStr\_optimal\_geneigt\_pkt

Systemvariante: manuelle Eingabe der Neigung: 90° (Südausrichtung)

- LSE\_BFStr\_vertikal\_sued
- LSE\_BFStr\_vertikal\_sued\_pkt

Systemvariante: Manuelle Eingabe der Neigung (Suedausrichtung)


- Ergebnisdaten nur für Neigung 90° vorberechnet

Systemvariante: Manuelle Eingabe der Neigung (Ausrichtung der LW)

- keine vorberechneten Ergebnisdaten

#### 4.3 Modul 3: 03\_3D\_lokal

##### INFO

 03\_3D\_lokal

Das Modul 03\_3D\_lokal ermöglicht es, potenzielle Sonneneinstrahlung (in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr) punktbasiert für einzelne Lärmschutzeinrichtungen zu berechnen.

---

#### -----EINGABE DATEN-----

##### 4.3.1 Eingabe Feature Class

- **Beschreibung:**


Die Linien-Geometrien repräsentieren Lärmschutzeinrichtungen

- **Pfad:**

..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\4Lärmschutzkataster\43Lärmschutzeinrichtungen

- **Dateinamen:**

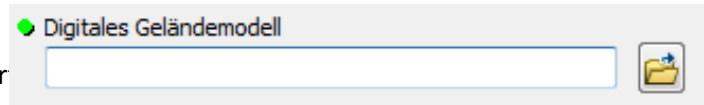
- LSE\_BFStr\_100.shp

 Eingabe Feature Class

#### 4.3.2 Digitales Geländemodell

- **Beschreibung:**

Das Digitale Geländemodell repräsentiert eine Fläche von 10x10 Quadratmetern



- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\3GIS\DGM10
- **Dateiname:** dgm10\_deu.tif

---

*-----ERGEBNIS DATEN-----*

#### 4.3.3 Ausgabe Feature Class

- **Pfad:** ..\Standortkataster\_Laermschutz\Daten\6Ertragspotential\03\_3D\_lokal
- **Dateinamen:** 3D-Punkt\_feature\_Class
  - LSE\_BFStr\_Beispiel\_100
  - LSE\_BFStr\_Beispiel1\_100

#### 4.4 Modul 4: 03\_Solarertrag

**INFO**

**04\_SolarErtrag**

Das Modul 04\_Solarertrag ermöglicht die Berechnung des potenziellen Jahresertrags (in kWh pro Jahr) basierend auf den Ergebnissen der Module 1 und 2.

---

*-----EINGABE DATEN-----*

#### 4.4.1 Eingabe Feature Class

- **Beschreibung:**

Als Eingabe werden die Ergebnis-Daten der Module 1 und 2 verwendet, die jährliche Sonneneinstrahlungswerte [kWh/(m<sup>2</sup>·a)] enthalten.

---

*-----ERGEBNIS DATEN-----*

#### 4.4.2 Attributive Erweiterung der Eingabe Feature Class

- **Beschreibung:**

Die Eingabe Feature Class erhält als das neue Attribut „SolarErt“, welches den potenziellen Jahresertrag [kWh/a] beinhaltet

## 5 3D-Visualisierung in Google Earth

Um die Ergebnisse des Moduls 3 *03\_3D\_lokal* in Google Earth zu visualisieren wird die erstellte 3D-Punkt-Feature-Class in eine KMZ-Datei umgewandelt. Dies kann mit der Funktion *Layer to KML* des Conversion-Toolbox mit „ArcGIS for Desktop Basic“ (Version 10.1) erfolgen.

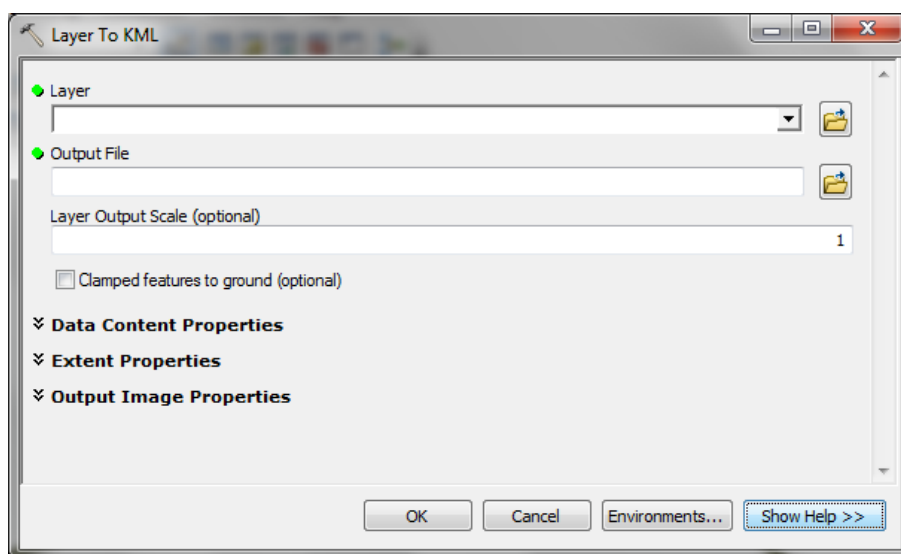
**Schritt 1:** Einfärben der Features anhand des Attributs, welches die Solarstrahlung enthält

*LayerProperties > Symbology > Quantities > Graduated Colors*

**Schritt 2:** Export des Layer zu einer KMZ-Datei

*ConversionTools > To KML > Layer To KML*

*!Haken bei “Clamped features to ground” entfernen!*



**Schritt 3:** Öffnen der KMZ-Datei in Google Earth

