

Solarpotenzialanalyse für Autobahnlärmschutzwände in Nordtirol

Sophia Paul und Armin Heller

Institut für Geographie, Universität Innsbruck · sophia.paul@student.uibk.ac.at

Full paper double blind review

Zusammenfassung

Ohne zusätzlichen Flächenverbrauch können Photovoltaikmodule in Lärmschutzwände integriert werden. Um hierfür geeignete Standorte zu finden, wurde mit ArcGIS nach mehreren Kriterien eine Analyse durchgeführt und am Beispiel der Autobahnen in Nordtirol getestet. Die Parameter Ausrichtung, Neigungsgrad und der Länge der Module, Höhe der Wand, Fernverschattung, sowie die Globalstrahlung wurden in die Abfrage integriert. Weitere Faktoren müssen für potenzielle Abschnitte einzeln geprüft werden. Diese Analyse kann an jedem Standort durchgeführt werden, für den ein Digitales Geländemodell und eine digitalisierte lineare Infrastruktur vorliegt. Das Ergebnis der Berechnung für die A12 und A13 Autobahnen ist eine mögliche Gesamtnennleistung von 5280 kWp auf einer Länge von 60 km mit einer Gesamtfläche von 4,8 ha. Diese Werte basieren auf einer Anlage des Modells „LISA“. Würden alle potenziellen Standorte mit zwei dieser Module ausgestattet werden, könnte eine tausendfache Leistung der „LISA“-Anlage in Jenbach erzielt werden.

1 Photovoltaik an Lärmschutzwänden

Als Beitrag zum Klimaschutz, wird weltweit die Nutzung sogenannter „erneuerbarer“ Energieträger ausgeweitet. Im Jahr 2008 wurden 12,9 % des globalen Energiebedarfs mit erneuerbaren Energieträgern abgedeckt, lediglich 0,1 % davon aus Solarenergie. Dieser Wert soll in den nächsten Jahren erhöht werden (EDENHOFER 2012). Dabei wird meist an flächige Solarmodule an Hausdächern oder auf Feldern gedacht, aber neben diesen „klassischen“ Standorten gibt es auch die Möglichkeit, Photovoltaik-Module an linearen Infrastrukturen wie z. B. Lärmschutzwänden oder Lawinenverbauungen zu installieren.

Die Idee, Schallschutzwände durch Photovoltaik (PV) zweifach zu nutzen, ist nicht neu. Im Jahr 1989 wurde in der Schweiz eine erste solche Anlage in Betrieb genommen (NORDMANN & CLAVADETSCHER 2004). Das Prinzip bietet mehrere Vorteile. Zum einen müssen keine neuen Flächen für die Sonnenstromgewinnung umgewidmet werden, zum anderen können die Photovoltaikmodule die Lärmdämmung verbessern. Der Vorwurf der Störung des Landschaftsbildes ist kein Problem, da Lärmschutzwände bereits ein akzeptierter Teil der Landschaft sind und einen wichtigen Zweck erfüllen.

Bestehende Projekte nutzen Lärmschutzwände entlang von Autobahnen, Bundesstraßen, Bahnlinien und direkt bei Bahnhöfen. Dank der vielen Umsetzungsmöglichkeiten können verschiedenste Standorte mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen genutzt werden.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie das Solarpotenzial von Autobahn­lärm­schutzwänden mithilfe eines Geographischen Informationssystems berechnet werden kann. Die Autobahnen A12 und A13 in Tirol dienen hierfür als Beispiel.

1.1 Technische Details und Einschränkungen von PV an Lärmschutzwänden

Solare Lärmschutzwände erfüllen zwei Aufgaben. Sie schützen Ortschaften vor Lärm und produzieren gleichzeitig Strom. Grundsätzlich kann man zwischen jenen Anlagen unterscheiden, die mit PV-Modulen gebaut werden und jenen, die diese nachträglich erhalten. Außerdem können die Module zur Fahrbahn hin gerichtet sein oder, für Autofahrer nicht sichtbar, von der Straße abgewandt. Weitere Entscheidungen, die bei der Errichtung einer PV-Anlage geklärt werden müssen, sind der (oder die) Neigungswinkel sowie die Größe, Anordnung und Art der Module.

1.2 Für die Berechnung verwendete Bauvariante

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, Photovoltaik mit Lärmschutzwänden zu verbinden. Für eine Auflistung der in Mitteleuropa verwendeten Modelle siehe PAUL (2014). Als Berechnungsgrundlage muss eine dieser Varianten ausgewählt werden. Aus praktischen Gründen wurde das Modul „LISA“ (Lärmschutzwand Integrierte Solar Anlage) verwendet. Die Pilotanlage des patentierten Aufsatzelementes bei Jenbach in Tirol hat eine Nennleistung von 5 Kilowattpeak (kWp; Nennleistung unter Standardbedingungen) und einen jährlichen Energieertrag von 4905 kWh bei einer Gesamtfläche von ca. 43 m² sowie einer Länge von ca. 107 m. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, fügen sich die Elemente unauffällig an die Lärmschutzwand (GSPAN 2008, SED o. J.).



Abb. 1:
PV-Anlage bei Jenbach in Tirol mit einer Nennleistung von 5 kWp und einer Länge von ca. 107 m (SED o. J., 5)

Ein Vorteil dieser Elemente ist, dass sie an bestehenden Lärmschutzwänden nachgerüstet werden können, ohne deren Leistung zu beeinträchtigen. Die Elemente enthalten kein Glas und verformen sich im Falle eines Unfalles elastisch, um keine zusätzliche Gefahr darzustellen. Der Neigungswinkel ist 30° und die Ausrichtung 29° Ost (GSPAN 2008, SED o. J.).

2 Standortfaktoren für Photovoltaikanlagen

Soll eine Photovoltaikanlage errichtet werden, ist die Frage des Standortes essenziell. Die Ausrichtung der Module, Nah- und Fernverschattung können die Leistung der Anlage stark

beeinflussen. Zusätzlich soll die Lärmschutzwand am gewählten Standort lärmtechnisch Sinn machen. Dieser Abschnitt behandelt die Variablen, die für potenzielle Standorte für Photovoltaikanlagen speziell an Lärmschutzwänden wichtig sind und welche für die Berechnung verwendet werden. In Anlehnung an GSPAN (2008) enthalten diese:

1. Globalstrahlung
2. Ausrichtung der Module
3. Neigung und Tiefe der Module
4. Lokale Abschattungen
5. Fernverschattung
6. Gewähltes System
7. Lage des Netzeinspeisepunktes

Für die Anwendung an Lärmschutzwänden sind hier manche Variablen wichtiger als andere. Um eine möglichst ideale Ausrichtung der Module zu gewährleisten, wird diese für die Autobahn berechnet. Optimal wäre eine Ausrichtung nach Süden. Normalerweise wird die Ausrichtung von Sonnenkollektoren als Azimut bezeichnet und auch mit diesem Wert berechnet. Alternativ dazu kann die Richtung der Autobahn auch als *bearing*, also als Peilrichtung, gemessen in Grad ausgehend von Norden, verwendet werden. Aus praktischen Gründen wurde letztere Möglichkeit gewählt. Die Neigung und Tiefe der Module wird mit 30° bzw. 2,0 m angenommen.

Für bifaciale Photovoltaikanlagen, die besonders für Nord-Süd verlaufende Straßen geeignet sind, kann das Potenzial mithilfe von Laserscandaten und den Methoden zur Bestimmung von Solarpotenzialen an senkrechten Wänden von JOCHEM (2011) und JOCHEM et al. (2011) ermittelt werden.

Lokale Abschattungen können wegen der zu geringen Auflösung des Geländemodells (10 m mal 10 m) nicht beachtet werden und müssten mithilfe eines Laserscans, eines aktuellen Satellitenbildes oder durch Lokalaugenschein ermittelt werden. Die Gefahr von Nahverschattung durch die Lärmschutzwand auf der anderen Seite der Autobahn ist nicht gegeben, da die Fahrbahn breit genug ist, um Verschattung durch gegenüberliegende Lärmschutzwände zu verhindern. Selbst beim niedrigen Sonnenstand zur Wintersonnwende reicht der Schatten nicht zum Photovoltaikmodul.

Die Fernverschattung hingegen kann mit dem Geländemodell ausreichend dargestellt werden. Hier bietet sich das Tool „*Hillshade*“ an, das Verschattungen zu bestimmten Sonnenständen modelliert.

Natürlich ist die Wahl des Systems ein entscheidender Faktor für die Standortanalyse. Je nach Art der Anlage sind unterschiedliche Voraussetzungen nötig. Zum Beispiel benötigt eine bifaciale Photovoltaikanlage keine Süd-, sondern eine Ost-West-Ausrichtung, um den größten Ertrag zu bringen. Da Tirol schon viele Lärmschutzwände besitzt und diese Methode am flexibelsten ist, wird von einer aufgesetzten „LISA“ Anlage ausgegangen; bifaciale Anlagen wären speziell für die Nord-Süd-verlaufende Brennerautobahn interessant.

Die Information über den nächsten Netzeinspeisepunkt muss wegen mangelnder Datenquellen vernachlässigt werden. Da die Inntal- und Brennerautobahn aber beide durch dicht besiedeltes Gebiet führen, kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten für die Erreichung des Netzeinspeisepunktes nicht allzu hoch sind. Im Idealfall ist der Standort auch von der autobahnabgewandten Seite gut zugänglich, um ein Installieren der Anlage ohne Unterbrechung des Verkehrsflusses zu ermöglichen.

Zusammengefasst werden also Netzeinspeisepunkt und lokale Verschattungen für diese Anwendung vernachlässigt. Die Art der Anlage wird als „LISA“ mit doppelter Fläche angenommen. Also fließen die Globalstrahlung, die Fernverschattung, die Neigung, Tiefe und Ausrichtung als Parameter als Variablen in das geographische Informationssystem ein. Die wichtigste Frage ist die vorhandene Solarstrahlung, denn ohne diese oder mit zu wenig kann die Photovoltaikanlage nicht arbeiten.

3 Ermittlung von PV Standorten mit ArcGIS

Die eben beschriebenen Methoden werden nun auf die Autobahnen in Tirol angewendet. Die Berechnungen erfolgen mit ArcGIS for Desktop 10.2.2 der Firma Esri. Die Berechnungen basieren auf einem Geländemodell mit Auflösung $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, sowie einem Linienlayer der Autobahn. Ähnliche Abfragen können auch mit der Open-Source-Software GRASS GIS gemacht werden (PETERS & HÖFLE o. J.).

3.1 Vorgehensweise

Im Folgenden wird die Analyse beschrieben, die für die Solarpotenzialberechnung durchgeführt wird. Tabelle 1 beinhaltet eine Zusammenfassung der nötigen Arbeitsschritte.

Tabelle 1: Übersicht der Arbeitsschritte zur Ermittlung des Solarpotenzials für Tirols Autobahnlarmschutzwände. Die Standortparameter sind fett hervorgehoben. (eigene Darstellung 2015)

Arbeitsschritt	Beschreibung	ArcGIS-Tools
1. Datenvorbereitung	Auswählen der benötigten Flächen	<i>Select, Clip, Simplify Line</i>
2. Konstruktion Photovoltaikmodul	Konstruktion einer ebenen Fläche (Photovoltaikmodul als DOM mithilfe einer Linie und vorgegebener Neigung und Breite	<i>Add Surface Information, Buffer, Intersect, Create Field, Feature to 3D by Attribute, Feature Vertices to Points, Create TIN, TIN to Raster</i>
3. Ausrichtung	Berechnung der Ausrichtung der einzelnen Zellen und Auswahl der optimalen Werte von 120° - 240°	<i>Line Bearing (Add Geometry Attributes), Polyline to Raster, Reclassify</i>
4. Fernverschattung	Ausschluss von Zellen, die große Verschattung zur Wintersonnwende aufweisen	<i>Hillshade, Reclassify</i>
5. Kombination 2 bis 4	Kombination der Ergebnisse der Arbeitsschritte 2 bis 4	<i>Raster Calculator, Extract by Mask</i>
6. Solarpotenzial	Berechnung des Solarpotenzials der gewählten Zellen und Ausschluss von Zellen mit geringer Globalstrahlung	<i>Area Solar Radiation, Reclassify</i>
7. Gesamtlänge und -fläche	Berechnung der Anzahl, Länge und Fläche der PV-Anlagen an den potenziellen Autobahnabschnitten	<i>Aggregate, Edit, Attribute Table</i>
8. Strompotenzial	Mögliche Nennleistung für die errechneten Module	

Falls nötig, werden die vorhandenen Daten auf das Untersuchungsgebiet zugeschnitten („*Clip*“), auf Fehler kontrolliert und bei Bedarf geglättet („*Simplify Line*“).

Auf Basis der Lärmschutzwand („*Line feature*“) wird zunächst die Kollektorfläche als DOM (Digitales Oberflächenmodell) mit vorgegebener Neigung (hier 30°) und Modulfläche (hier 2 Meter) konstruiert (siehe Abbildung 2): Zur Höhe im Geländemodell H_0 (über NN, „*Add Surface Information*“) wird zunächst die Höhe der Lärmschutzwand (6 Meter) addiert ($H_{1\text{ Mitte}}$). Mithilfe einer Pufferkonstruktion (Pufferabstand als Cosinus der Kollektorhöhe) werden durch das Verschneiden („*Intersect*“) eines linken bzw. rechten Puffers mit jeweils einem beidseitigen die Begrenzungslinien oben und unten konstruiert. Diese erhalten die Ober- bzw. Unterkante der Lärmschutzwand als Z-Wert ($H_{1\text{ Oben}}$ und $H_{1\text{ Unten}}$) und werden mit „*Feature To 3D By Attribute*“ in dreidimensionale Feature umgewandelt. Aus den Linien werden mit „*Feature Vertices to Points*“ alle Punkte in eigene Layer überführt, die ebenfalls in 3D gespeichert werden. Die eigentliche Kollektorfläche als DOM ergibt sich dann aus einer TIN-Oberfläche (Triangular irregular network, „*Create TIN*“). Die Linien $H_{1\text{ Oben}}$ und $H_{1\text{ Unten}}$ dienen hier als *Hard Lines*, die Punkte der Linien Oben, Unten und Mitte als *Mass Points* und mit den beidseitigen Puffer als *Hard Clip* wird das DOM begrenzt.

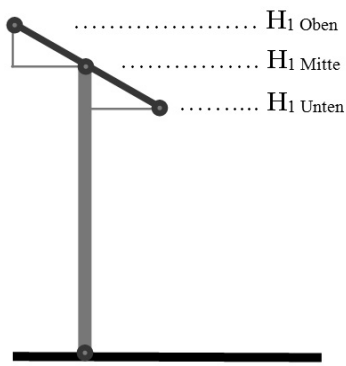


Abb. 2:

Schematische Darstellung der modellierten Kollektorfläche auf einer Lärmschutzwand. H_0 ist die Höhe über NN des DGM, $H_{1\text{ Mitte}}$ die Höhe der Lärmschutzwand und $H_{1\text{ Oben}}$ und $H_{1\text{ Unten}}$ bezeichnen die obere bzw. untere Kante der Kollektorfläche (eigene Darstellung 2015).

Diese Berechnung kann auch nur zwischen $H_{1\text{ Mitte}}$ und $H_{1\text{ Unten}}$ durchgeführt werden, um zum Beispiel das Modell „LISA“ genauer zu rechnen. Für die weiteren Berechnungen wird davon ausgegangen, dass ein Modul mit der doppelten Fläche von „LISA“ vorliegt (siehe Abbildung 2). $H_{1\text{ Oben}}$ ist also inkludiert. Für die spätere Weiterverarbeitung der Daten wird anschließend noch mit „*TIN to Raster*“ in einen Raster umgerechnet.

Als nächstes sollen Standorte ausgeschlossen werden, die wegen ungünstiger Ausrichtung nicht für die Errichtung von Photovoltaikanlagen infrage kommen. Die Grundlage hierfür sind die Daten aus Abbildung 3. Als optimale Ausrichtung wird Süd mit einer Toleranz von $\pm 60^\circ$ gewählt. Mit entsprechend optimalem Neigungswinkel kann hier eine jährliche Einstrahlung von 90 % bis 100 % erreicht werden.

Mit dem Script „*Add Geometry Attributes*“ kann die Ausrichtung der einzelnen Vektorabschnitte des Autobahn-Layers bestimmt werden. Da die Linie der Inntalautobahn als durchgehende Linie vorliegt, die Ausrichtung aber von einzelnen Abschnitten gebraucht wird, wird sie mit „*Split Line at Vertices*“ an den Vertices in viele einzelne Linien geteilt. Die

Ausgabe der Eigenschaft „*LINE_BEARING*“, also der Ausrichtung der Linie zwischen Anfangs- und Endpunkt, erfolgt über die Attributtabelle als neue Spalte, die die Winkelwerte beinhaltet. Die Werte liegen zwischen 0° und 360° , wobei 0° Nord, 90° Ost, 180° Süd und 270° West definieren.

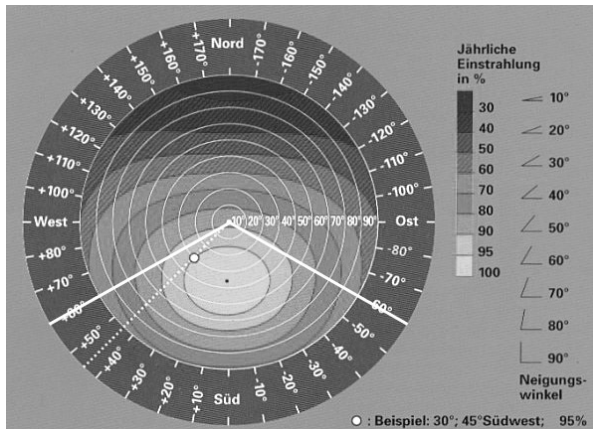


Abb. 3:

Darstellung des Zusammenhangs zwischen Ausrichtung und Neigung eines Solargenerators: die ertragreichsten Neigungswinkel sind ca. $20\text{--}65^\circ$, die ertragreichste Ausrichtung ist 0° Süd und eine 40° -Abweichung nach Westen und Osten. Für die Berechnungen wird ein Bereich von Süd plus bzw. minus 60° verwendet (DOROZOLLA 2010)

Für die auf Basis von Abbildung 3 definierte Eingrenzung bedeutet das, dass die Abschnitte mit Werten zwischen 60° und 120° bzw. 240° und 300° interessant sind, da in den folgenden Berechnungen von einer Anlage ausgegangen wird, die normal zur Längsachse der Fahrbahn ausgerichtet ist. Um sie in einen eigenen Layer zu überführen, werden diese Datensätze in der Attributtabelle ausgewählt und anschließend exportiert und mit „*Polyline to Raster*“ in einen Raster umgewandelt und alle Werte mit „*Reclassify*“ als „1“ umgeschrieben.

Durch die Topographie Tirols kann Fernverschattung durch Berge eine wichtige Rolle im Ertrag einer Solaranlage spielen. Abschnitte mit hohem Schattenanteil sollen ausgeschlossen werden. Dazu eignet sich das Tool „*Hillshade*“, das auf Basis des Geländemodells die Verschattung zu bestimmten Sonnenständen modellieren kann. Da nicht alle möglichen Sonnenstände berücksichtigt werden können, beschränken sich die folgenden Abfragen auf den Sonnenhöchststand zur Wintersonnwende am 22. Dezember 2014.

Um angenäherte Werte für *Azimuth* (Sonnenhöhenwinkel) und *Elevation* (Sonnenhorizontalwinkel) zu bekommen, wurde eine Abfrage für Innsbruck mit einem Webseitentool gemacht (HOFFMAN 2014). 180° für den *Azimuth* und 20° für *Elevation* wurden für das gewünschte Datum ermittelt. Das Ergebnis der Berechnung gibt, wenn man die Option „*model shadows*“ aktiviert, Werte zwischen 0 und 255 aus, wobei 0 die Bereiche markiert, die im Schatten liegen. Je nach Bedarf könnten hier weitere Bereiche für einen Zeitraum (z. B. vier Wochen vor bis vier Wochen nach der Wintersonnwende) ausgeschlossen werden. Es werden nur die Werte, die nicht Null sind, weiter verwendet und als „1“ reklassifiziert.

Mit dem „*Raster Calculator*“ werden die Raster, der Fernverschattung und Ausrichtung multipliziert. Damit bekommen alle Zellen, die beiden Kriterien entsprechen, den Wert „1“, die restlichen den Wert „0“. Anschließend werden die übrig gebliebenen Zellen mit dem

zuvor in einen Raster umgewandelten Digitalen Oberflächenmodell der Lärmschutzwand ausgeschnitten.

Für dieses Ergebnis wird nun das Solarpotenzial berechnet. Hier kommt das Tool „*Area Solar Radiation*“ zum Einsatz, das im Toolset „*Solar Analyst*“ zu finden ist. Diese Erweiterung wurde von Fu und Rich entwickelt (FU & RICH 2000). Als DOM wird der Raster der konstruierten Lärmschutzwand eingegeben. Um einen Eindruck über die Globalstrahlung über ein ganzes Jahr zu bekommen, wurde die Einstellung der monatlichen Berechnung über das Jahr 2015 gewählt. Ein Stundenintervall von „1“ ist in Anbetracht der Rechenzeit ausreichend, einzelne Outputs für jeden Monat sind nicht nötig. Die topographischen Parameter ergeben sich durch das DOM und die Strahlungsparameter werden nicht verändert.

Das Ergebnis der Berechnung ist ein Raster mit der Globalstrahlung in Wh/m². Da Lokaltäten mit geringer Einstrahlung weniger Ertrag bringen, werden im Anschluss noch Zellen ausgeschlossen, deren Wert für den gewünschten Solarertrag nicht ausreichend ist. In dieser Anwendung wurden die unteren 20 % der Werte ausgeschlossen.

Für die Bestimmung der Gesamtlänge der infrage kommenden Zellen werden zuerst die Ergebniszellen mit der Funktion „*Aggregate*“ erweitert, um wieder durchgehende Linien zu erhalten. Anschließend müssen die übrig bleibenden Strecken von Hand mithilfe des Autobahn-Layers digitalisiert werden, da das Tool „*Raster to Polyline*“ kein zufriedenstellendes Ergebnis liefert. Abschnitte unter 50 m Länge werden hierbei vernachlässigt. Die übrig bleibenden Bereiche sind in Abbildung 4 dargestellt.

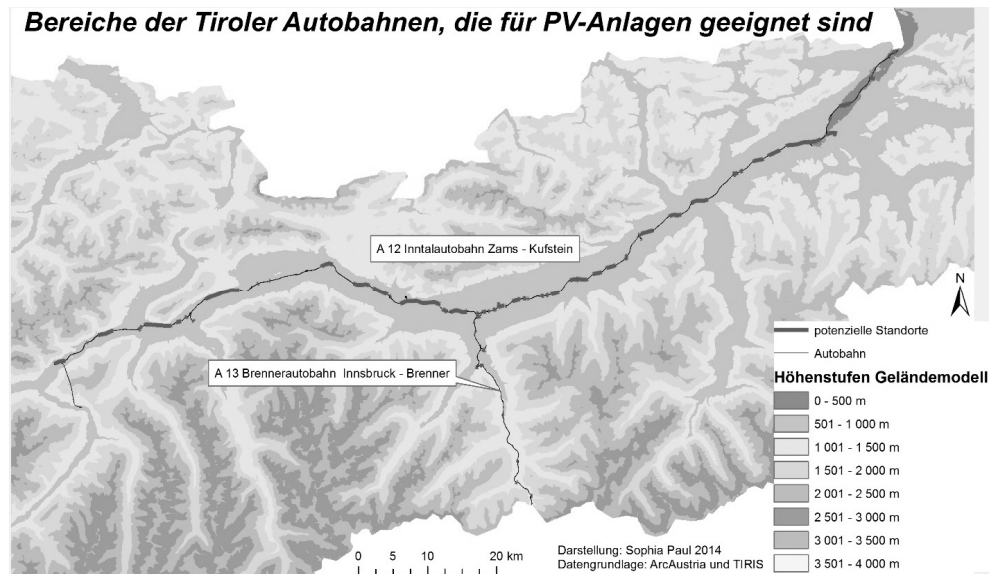


Abb. 4: Darstellung der potenziellen Standorte für Photovoltaik an den Tiroler Autobahnen (eigene Darstellung 2014)

Hier ist klar erkennbar, dass die Ost-West verlaufende Inntalautobahn deutlich mehr potenzielle Standorte aufweist als die Brennerautobahn, die wegen ihrer Nord-Süd-Ausrichtung fast keine geeigneten Abschnitte hat.

3.2 Ergebnisse für Nordtirol

Über die Statistik der Attributtabelle kann die Gesamtlänge der Linien abgelesen werden: 61 652 m, also grob 60 km. Das System „LISA“ bietet unterschiedlich lange Solarmodule (1 bis 5 m Länge pro Modul). Da es vom jeweiligen Standort abhängt, welche Kombinationen von Modulen verwendet wird, bedient sich diese Rechnung des Durchschnittswertes aller Längen. Ein ein Meter langes Aufsatzelement hat eine Elementlänge von 96 cm und wiegt ungefähr sieben Kilogramm. Es besteht aus Holz, Holzbeton und Aluminium, die zwölf 156×156 Photovoltaikzellen sind polykristallin. Pro Solarmodul wird ein Wattpeak zwischen 44 (1 m) und 220 (5 m) erwartet bei 6 bis 29,3 V Nennspannung und 7,5 A Nennstrom (SED 2009a-d). Der Wattpeak bleibt pro Meter Modul bei allen Längen konstant bei 44 Wp. Da in den Berechnungen von einem doppelt so tiefen Modul ausgegangen wurde, wird dieser Wert zweifach genommen. In Summe ergibt sich also, würde man die errechneten 60.000 Laufmeter (lfm) Lärmschutzwand flächendeckend mit zwei dieser Module übereinander ausstatten, eine Gesamtnennleistung von 5280 kWp. Das entspricht grob einer tausendfachen Leistung des Moduls bei Jenbach. Im realen Betrieb wird Nennleistung aber wegen Abschattungen, Wetter und anderen Einflüssen kaum erreicht. Die Fläche pro Laufmeter beträgt, wenn man die Werte der Anlage in Jenbach als Grundlage verwendet (107 m haben hier 43 m², GSPAN 2008), 0,4 m². Mit der doppelten Fläche und dem Ergebnis der Berechnungen wären 4,8 ha Photovoltaikfläche möglich.

4 Fazit und Ausblick

Mit ArcGIS wurde eine Berechnung des Solarpotenzials von aufgesetzten Modulen für Autobahnlarmschutzwände in Nordtirol durchgeführt. Die Parameter Fernverschattung, Ausrichtung, Neigungsgrad und der Länge der Module, Höhe der Wand sowie die Globalstrahlung wurden in die Abfrage integriert. Weitere Faktoren wie lokale Abschattungen, Abstand zum nächsten Netzeinspeisepunkt oder andere Gegebenheiten vor Ort müssen für potenzielle Abschnitte einzeln geprüft werden. Diese Analyse kann an jedem Standort durchgeführt werden, für den ein Digitales Geländemodell und eine digitalisierte lineare Infrastruktur vorliegt.

Das Ergebnis der Berechnung für die A12 und A13 Autobahn in Nordtirol ist eine mögliche Gesamtnennleistung von 5280 kWp auf einer Länge von ca. 60 km mit einer Gesamtfläche von 48.000 m². Diese Werte basieren auf einer Anlage des Modells „LISA“, die in der Nähe von Jenbach in Betrieb ist. Würden alle potenziellen Standorte mit zwei dieser Module ausgestattet werden, könnte eine tausendfache Leistung erzielt werden.

Die Möglichkeiten, Lärmschutzwände mit Photovoltaik zu verbinden sind zahlreich und bieten auch Lösungen für nicht ideal ausgerichtete Wände. Weiterer Analysebedarf besteht bei der Solarpotenzialanalyse für Nord-Süd verlaufende Straßen wie die Brennerautobahn. Zusätzlich kann diese Methode auch bei Straßen niedrigeren Ranges oder für Lärmschutzwände angewandt werden. Um dies umzusetzen, reicht aber nicht allein die Eignung für

Photovoltaik. Auch wirtschaftliche Faktoren wie der Einspeisepreis, der Einkaufspreis der Module und die Kosten der Installation spielen hier eine Rolle.

Lärmschutzwände können ohne zusätzlichen Flächenverbrauch mit Solaranlagen ausgerüstet werden. Damit kann ein Beitrag zur Energiewende geleistet und der Anteil von Solarstrom im Energiemix erhöht werden. Geplante Lärmschutzwände können auf ihr Solarpotenzial getestet und bei entsprechender Eignung mit PV-Modulen ausgestattet werden.

Literatur

- DOROZOLLA, G. (2010), Gerd Dorozolla – Heizungstechnik – Innungsbetrieb – Photovoltaik. <http://www.heizungstechnik-dorozolla.de/voltaik.htm> (26.05.2014).
- EDENHOFER, O. (2012), Special report on renewable energy sources and climate change mitigation – Summary for policymakers and technical summary. Genf, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- FU, P. & RICH, P. (2000), The Solar Analyst 1.0 User Manual. Helios Environmental Modeling Institute.
- GSPAN, K. (2008), Möglichkeiten zur Kombination von Photovoltaikanlagen und Lärmschutzeinrichtungen im hochrangigen Straßennetz Österreichs. Diplomarbeit, Studiengang Bauingenieurwesen des Fachbereichs Bauwesen. Leipzig.
- HOFFMAN, T. (2014), Sonnenverlauf Sonnenposition- und Sonnenphasen Rechner – Innsbruck, 22. Dezember 2014. <http://sonnenverlauf.de/#/47.2692,11.4041,12/2014.12.22/12:14/5> (14.06.2014).
- JOCHEM, A. (2011), 3D Laser Scanning and Open Source GIS for Solar Potential Assessment. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Innsbruck.
- JOCHEM, A., HÖFLE, B. & RUTZINGER, M. (2011), Extraction of Vertical Walls from Mobile Laser Scanning Data for Solar Potential Assessment. *Remote Sensing*, 3/2011, 650-667.
- NORDMANN, T. & CLAVADETSCHER, L. (2004), PV on noise barriers. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12 (6), 485-495.
- PAUL, S. (2014), Solarpotenzialanalyse für Lärmschutzwände in Nordtirol. Bachelorarbeit. Institut für Geographie, Universität Innsbruck (unveröffentlicht).
- PETERS, R. & HÖFLE, B. (o. J.), Solarpotenzialanalyse an vertikalen Strukturen mit ArcGIS und GRASS GIS am Beispiel von Lärmschutzwänden.
- SED – SED PRODGESMBH (o. J.), LISA: Lärmschutzwand Integrierte Solar Anlage – Photovoltaik für Autobahnbetreiber. Wien. <http://mgw.mariacher.cc/lisa/attachments/LISADemoAutobahnkristallin.pdf> (15.06.2014).
- SED – SED PRODGESMBH (2009a), LISA – PVE – 1000 Photovoltaisches Solarelement. Technisches Datenblatt. Wien. http://mgw.mariacher.cc/lisa/attachments/LISA1000DATENBLATTKRISTALLIN_001.pdf (14.06.2014).
- SED – SED PRODGESMBH (2009b), LISA – PVE – 2000 Photovoltaisches Solarelement. Technisches Datenblatt. Wien. http://mgw.mariacher.cc/lisa/attachments/LISA2000DATENBLATTKRISTALLIN_001.pdf (14.06.2014).

SED – SED PRODGESMBH (2009c), LISA – PVE – 4000 Photovoltaisches Solarelement.
Technisches Datenblatt. Wien.

http://mgw.mariacher.cc/lisa/attachments/LISA4000DATENBLATTKRISTALLIN_001.pdf (14.06.2014).

SED – SED PRODGESMBH (2009d), LISA – PVE – 5000 Photovoltaisches Solarelement.
Technisches Datenblatt. Wien.

http://mgw.mariacher.cc/lisa/attachments/LISA6000DATENBLATTKRISTALLIN_001.pdf (14.06.2014).