

# Abschätzung des potenziellen jährlichen Energieertrags von PV-Anlagen an Lärmschutzeinrichtungen der Verkehrswege

Bär, F.<sup>1</sup> | Kaspar, F.<sup>1</sup> | Streek, P.<sup>2</sup> | Gersdorf, F.<sup>3</sup> | Auerbach, M.<sup>3</sup> | Rieck, D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: Deutscher Wetterdienst, <sup>2</sup>: Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, <sup>3</sup>: Bundesanstalt für Straßenwesen

## 1 Zusammenfassung

Dieses Dokument liefert eine Abschätzung des potenziellen Ertrags durch Nutzung von Photovoltaik-Anlagen an Lärmschutzeinrichtungen von Bundesfernstraßen und Schienen und schätzt die damit verbundenen Möglichkeiten zur Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ab. Die zugrundeliegenden Annahmen wurden zwischen den Beteiligten des BMDV-Expertennetzwerks abgestimmt und zielen darauf ab, das unter den derzeitigen Gegebenheiten tatsächlich erreichbare Potenzial realistisch abzuschätzen. Insbesondere wurden daher bei einzelnen Annahmen, wie beispielsweise bzgl. der Belegbarkeit der verfügbaren Flächen, bewusst niedrige Werte angesetzt. Die Annahmen zu den verfügbaren Lärmschutzeinrichtungen entlang der Schienen und Straßen berücksichtigen den Kenntnisstand von BAST und EBA. Die standortbezogene Ertragsabschätzung erfolgte durch den DWD unter Nutzung hochaufgelöster satellitenbasierter Einstrahlungsdaten. Insgesamt beträgt der abgeschätzte potenzielle jährliche Ertrag 1412 GWh und die damit verbundene CO<sub>2</sub>-Einsparung ca. 968.000 t (pro Jahr). Das größte Ertragspotenzial ergibt sich für Lärmschutzwälle entlang der Straßen.

## 2 Potenzialabschätzung

Die Integration von Photovoltaikmodulen in Lärmschutzeinrichtungen entlang der Verkehrsinfrastruktur birgt ein Potenzial für einen Beitrag zur Erfüllung der Klimaschutzziele. Für die vorliegende Untersuchung des durchschnittlichen potenziellen jährlichen Energieertrags wurde die Verbauung entlang der Straßen- und Schieneninfrastruktur analysiert. Die Wasserstraßen wurden nach Abwägung der tatsächlichen Realisierbarkeit mit der WSV nicht berücksichtigt. Aufgrund unterschiedlicher Datenausgangslage wurde für die Verkehrswege Straße und Schiene eine unterschiedliche Vorgehensweise gewählt, wie im Folgenden dargestellt:

**Verkehrsträger Schiene:** Die Standortdaten der Schallschutzwände entlang der Schieneninfrastruktur waren vollständig inklusive Wandhöhe und Länge der Lärmschutzeinrichtung vorhanden. Es stehen 1830 km Schallschutzwände zur Verfügung, die im Mittel 2,25 m hoch sind. Der Datenbestand stammt aus der dritten Lärmkartierung im Jahr 2017 (Eisenbahn Bundesamt, 2017). Im Zuge der neuen Förderlinie Lärmsanierung aus dem Jahr 2019 fiel der Schienenbonus weg, was zu einem erhöhten Gesamtbedarf der zu lärmsanierenden Strecke führte. Die in den nächsten Jahren hinzukommenden Schallschutzwände werden zu einer größeren nutzbaren Fläche für Photovoltaikmodule führen (Eisenbahn Bundesamt, 2022). Für die PV-Nutzung an Schallschutzwänden wird ein konservativer Nei-

gungswinkel von 90° angenommen. Mit Hilfe der Standortdaten konnte die Ausrichtung der Lärmschutzwände bestimmt werden, welche essenziell für die Ertragsberechnung ist. Mit der Annahme der Nutzung monokristalliner Photovoltaikmodule, die 5 m<sup>2</sup> für ein 1 kW<sub>p</sub> benötigen, und einer Nutzbarkeit von 10% der Fläche der Lärmschutzwände ergibt sich eine potenzielle installierbare Leistung von 85 MW<sub>p</sub> und ein potenzieller jährlicher Ertrag von 59 GWh. Die nutzbare Fläche der Lärmschutzwände wurde mit den beteiligten Experten des DZSF und der BASt abgestimmt und ist aus aktuellen laufenden Studien abgeschätzt. Faktoren wie Verschattung der Lärmschutzwände und statische Tragfähigkeit wurden bei der Belegbarkeitsabschätzung beachtet.

**Verkehrsträger Straße:** Es liegen aktuell keine Standortdaten der Lärmschutzeinrichtungen entlang des Verkehrsweges Straße vor. Aus der Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2021) lassen sich die Längen der Lärmschutzeinrichtungen im Jahr 2022 berechnen. Dafür wurde der durchschnittliche jährliche Zuwachs und Abriss von Lärmschutzeinrichtungen aus den Daten der vergangenen zehn Jahren berechnet, um den daraus resultierenden jährlichen Netto-Zuwachs auf die Lärmschutzeinrichtungslänge des Jahres 2019 zu addieren. Entlang der Bundesfernstraßen lassen sich die Lärmschutzeinrichtungen in Lärmschutzwände (2545 km Länge), Lärmschutzwälle (1317 km Länge) und Steilwälle (79 km Länge) unterscheiden. Die Höhe der Lärmschutzwände und Steilwälle lassen sich über die in der Lärmschutzstatistik angegebenen Fläche der Lärmschutzeinrichtungen berechnen. Es ergibt sich eine durchschnittliche Steilwallhöhe von 4,83 m und eine mittlere Lärmschutzwandhöhe von 3,77 m. Die durchschnittliche Höhe der Lärmschutzwälle wird von den Themenfeld-Experten von BASt und DZSF mit 5 m abgeschätzt, wie auch bereits in Phase 1 angenommen wurde (Auerbach, et al., 2020). Die Lärmschutzwände und Steilwälle stehen vertikal zur Straße, sodass die Photovoltaikmodule wie auch entlang des Verkehrsträgers Schiene als vertikal verbaut berechnet werden. Bei Lärmschutzwällen wird hingegen eine optimale Böschungsneigung von 1:1,5 benutzt, was einem Neigungswinkel von circa 30° entspricht, womit sich die Ausdehnung des belegbaren Bereichs von ca. 9 m ergibt. Die nutzbare Fläche von Lärmschutzwänden und Steilwällen beträgt aufgrund von Steinschlag, Verschattung, Statik und Lärmschutzeigenschaften circa 10% der Lärmschutzeinrichtungsfläche. Bei Verbauung monokristalliner Photovoltaik-Module, die eine Fläche von 5 m<sup>2</sup> pro 1 kW<sub>p</sub> benötigen, kann eine Leistung von etwa 8 MW<sub>p</sub> an den Steilwällen und 193 MW<sub>p</sub> entlang der Lärmschutzwände installiert werden. Daraus ergibt sich ein mittlerer jährlicher Energieertrag von 8 GWh entlang der Steilwälle und 134 GWh entlang der Lärmschutzwände. Der geringe Energieertrag entlang der Steilwälle ist der geringen Steilwalllänge von 79 km zuzuschreiben. Ein Lärmschutzwall lässt sich aufgrund der Statik und seiner Lärmschutzeigenschaften auf mindestens 50% der Fläche mit Photovoltaikmodulen bebauen, wobei dies laut Einschätzung der beteiligten Experten die minimal nutzbare Fläche ist. Nimmt man die Verbauung von monokristallinen Photovoltaikmodulen an, die 5 m<sup>2</sup> pro 1 kW<sub>p</sub> benötigen, und eine Flächenbelegung von 10% entlang Lärmschutzwände und Steilwälle und 50% entlang Lärmschutzwällen, ergibt sich ein potenzieller mittlerer Jahresertrag von 1412 GWh. Dabei liegt das Potenzial vor allem in den Photovoltaikmodulen entlang der Lärmschutzwälle. Diese alleine bergen einen potenziellen jährlichen Ertrag von 1211 GWh, wobei die potenzielle installierbare Leistung 1193 MW<sub>p</sub> beträgt. Erhöht man die theoretisch nutzbare Fläche der Lärmschutzwälle auf 60% beträgt der potenzielle jährliche Ertrag 1453 GWh, bei einer 70%-igen Belegung mit

Photovoltaikmodulen sogar bei 1695 GWh. Durch die hohe prozentuale Flächennutzung der Lärmschutzwandfläche und der durchschnittlichen Lärmschutzwandhöhe von 5 m ergibt sich eine große potenziell belegbare Fläche an Lärmschutzwänden. Die Neigung von 30° führt dabei zu einem hohen Kapazitätsfaktor. All diese Faktoren zusammen führen zu dem potenziellen hohen jährlichen Energieertrag aus auf den Lärmschutzwänden verbauten Photovoltaikmodulen.

Insgesamt beträgt die potenzielle installierbare Leistung von in Lärmschutzeinrichtungen verbauten Photovoltaikmodulen entlang der Verkehrsträger Schiene und Straße 1478 MW<sub>p</sub> und der potenzielle jährliche Energieertrag 1412 GWh. Die Lärmschutzeinrichtung des Typs Lärmschutzwand birgt dabei das größte Potenzial und kann bei einer 50%igen-Flächenbelegung 86% dieses jährlichen Ertrags ergeben. Bei einer höheren prozentualen Flächenbelegung der Lärmschutzwälle steigt der jährliche potenzielle Ertrag erheblich an.

### 3 Potenzielle CO<sub>2</sub>-Einsparung

Die jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung des errechneten jährlichen potenziellen Energieertrags durch installierte Photovoltaikmodule entlang der Verkehrsinfrastruktur lässt sich mit Hilfe des Netto-Vermeidungsfaktors von 685,38 g/kWh für Stromerzeugung aus Photovoltaik berechnen, der den aktuellen Bilanzen des Umweltbundesamts entnommen werden kann (Lauf, Memmler, & Schneider, 2021).

Ein potenzieller jährlicher Energieertrag von 1412 GWh führt damit zu einer jährlichen CO<sub>2</sub>-Einsparung von 968.030 t.

Tabelle 1 bietet eine Übersicht über die unterschiedlichen Lärmschutzeinrichtungsarten entlang der Verkehrsträger Schiene und Straße, deren mögliche Flächenbelegung mit Photovoltaikmodulen, den daraus resultierenden Ertrag in GWh und die potenzielle CO<sub>2</sub>-Einsparung in t. Die mögliche Flächenbelegung ist dabei eine konservative Einschätzung der Experten des Themenfeldes 5 und zeigt dabei die untere Schranke der möglichen Flächennutzung an.

Verkehrsträger	Lärmschutzart	Flächenbelegung	Installierte Leistung [MWp]	Ertrag [GWh]	CO <sub>2</sub> -Einsparung [t]
Schiene	Lärmschutzwand	10 %	85	59	40437
Straße	Lärmschutzwand	10 %	193	134	91841
Straße	Steilwall	10 %	8	8	5483
Straße	Lärmschutzwand	50 %	1192	1211	830269
<b>Gesamt</b>			<b>1478</b>	<b>1412</b>	<b>968.030</b>

Tabelle 1: Übersicht des möglichen Energieertrags in GWh und der daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Einsparung in t entlang der Verkehrsträger Straße und Schiene.

## 4 Meteorologische Datengrundlage

Zur Abschätzung des potenziellen Energieertrags von PV-Anlagen an den Lärmschutzeinrichtungen wurden mit Hilfe meteorologischer Daten Kapazitätsfaktoren berechnet, die abhängig von Azimutwinkel, Inklinationwinkel, 2-Meter Temperatur, diffuser und direkter Strahlung sowie der Windgeschwindigkeit in zehn Meter Höhe sind.

Bei den Strahlungsdaten handelt es sich um den satellitenbasierten SARAH-2-Datensatz (Surface Solar Radiation Data Set – Heliosat), der im Auftrag von EUMETSAT durch die im DWD angesiedelte Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) erstellt wurde (Pfeifroth, et al., 2017). Die Parameter „Surface Incoming Shortwave Irradiance“ (SIS) in  $[W/m^2]$  und „Surface Direct Irradiance“ (SID) in  $[W/m^2]$  wurden für die Berechnung der Kapazitätsfaktoren verwendet. Es handelt sich dabei um die einkommende kurzwellige diffuse Bestrahlungsstärke im sichtbaren Spektrum und die direkte Bestrahlungsstärke. Beide Parameter werden genutzt um die solare Energieproduktion zu berechnen. Die Daten liegen in einer räumlichen Auflösung von  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  und einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten vor. Die Nutzbarkeit zur Berechnung von Parametern der erneuerbaren Energien ist in (Pfenniger & Staffell, 2016) gezeigt. Auch (Kenny & Fiedler, 2022) zeigen, dass der Datensatz über eine gute Eignung für Anwendungen im Bereich der Photovoltaiktechnologie verfügt.

Die bodennahe Temperatur (2 m Höhe) und die Windgeschwindigkeit in zehn Meter Höhe werden von den regionalen Reanalysedaten „COSMO-REA6“ bezogen (Bollmeyer, et al., 2015). Die räumliche Auflösung beträgt  $6 \times 6$  km und die zeitliche Auflösung eine Stunde. Hintergründe und die Nutzbarkeit der Daten für den Energiesektor sind in Veröffentlichungen des DWD und seiner Partner beschrieben (Kaspar, et al., 2020), (Bollmeyer, et al., 2015), (Niermann, Borsche, Kaiser-Weiss, & Kaspar, 2019).

Aus diesen vier Parametern werden Kapazitätsfaktoren berechnet, wobei die solare Einstrahlung, die das PV-Modul erreicht und deren Effizienz berücksichtigt werden. Die Kapazitätsfaktoren sind zudem abhängig von dem Azimut- und Inklinationwinkel des Moduls. Während der Inklinationwinkel die Modulneigung angibt und daher von der Befestigung der PV-Module an den Lärmschutzeinrichtungen abhängt, ist der Azimutwinkel von der Ausrichtung der Verkehrsinfrastruktur abhängig. Da der Azimutwinkel über Deutschland hinweg stark variiert, wurden die Kapazitätsfaktoren für dreizehn Azimutwinkel berechnet. Dabei wurden nur die südlichen Ausrichtungen berechnet, sodass jeweils die kapazitätshöhere Ausrichtung gewählt wurde. So werden Ost-West-ausgerichtete Lärmschutzeinrichtungen der Südausrichtung zugeordnet und nicht der Nordausrichtung. Der Inklinationwinkel wird je nach Lärmschutzeinrichtungsart auf  $90^\circ$  (Lärmschutzwände und Steilwälle) und  $30^\circ$  (Lärmschutzwälle) gesetzt.

Auf dieser Basis ergibt sich eine deutschlandweite Verteilung des stündlichen Kapazitätsfaktors, der analog zur Vorgehensweise in (Drücke, et al., 2021) berechnet wurde. Aus den stündlichen Kapazitätswerten der Jahre 2001 bis 2017 wird der mittlere jährliche Kapazitätsfaktor berechnet.

Um daraus den durchschnittlichen jährlichen Ertrag zu berechnen, wird der Kapazitätsfaktor an der Position der Lärmschutzeinrichtungen mit sowohl der Wandhöhe und Länge der Lärmschutzeinrichtung als auch der Stundensumme eines Jahres multipliziert.

Der spezifische Ertrag ist des Weiteren noch abhängig von dem verbauten Modultyp. Dabei unterscheiden sich die verschiedenen Photovoltaikmodularten aufgrund ihres Wirkungsgrads in der erforderlichen Fläche (in m<sup>2</sup>), die für ein 1 kW<sub>p</sub> gebraucht wird. Monokristalline Photovoltaikmodule sind aktuell die effektivsten als Standardtechnik am Markt verfügbaren Photovoltaikmodule, jedoch auch die teuerste Technologie. Sie benötigen etwa 5 m<sup>2</sup> Fläche für ein 1 kW<sub>p</sub> Leistung. Verbaut man weniger effektive Photovoltaik-Module, die zum Beispiel 10 m<sup>2</sup> für ein 1 kW<sub>p</sub> Leistung benötigen, verringert sich der potenzielle jährliche Energieertrag entsprechend.

Für die vorliegende grobe Abschätzung wurde mit der aktuell effektivsten Technologie gerechnet, also einem Flächenbedarf von 5 m<sup>2</sup> für 1 kW<sub>p</sub>.

Die potenziell installierbare Leistung ergibt sich aus der potenziell verfügbaren Fläche und dem Flächenbedarf der Photovoltaikmodule für 1 kW<sub>p</sub>.

Für die Abschätzung der nutzbaren Fläche auf Lärmschutzeinrichtungen wurden bewusst niedrige Werte angesetzt und zudem zum Beispiel die doppelseitige Nutzung durch Bifazial-Photovoltaikmodule oder die zweiseitige Belegung von Lärmschutzwällen in Nord-Süd-Richtung nicht miteinbezogen, sodass die vorgestellten Ergebnisse insgesamt als untere Schranke des Potenzials anzusehen sind. Eine detailliertere Untersuchung wird vermutlich zu höheren Ergebnissen für das technisch realisierbare Potenzial führen.

---

Stand: 29. März 2022

Zitiervorschlag:

Bär, F., Kaspar, F., Streek, P., Gersdorf, F., Auerbach, M., Rieck, D.: Abschätzung des potenziellen jährlichen Energieertrags von PV-Anlagen an Lärmschutzeinrichtungen der Verkehrswege. BMDV-Expertennetzwerk, 2022.

Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz:



Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Danksagung:

Die Arbeiten des BMDV-Expertennetzwerks „Wissen – Können – Handeln“ wurden durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert.

## 5 Literaturverzeichnis

- Auerbach, M., Ebner von Eschenbach, A-D., Eichler, D., Gersdorf, F., Kaspar, F., Majewski, D., Niermann, D., Schima, B., Streek, P.: Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen: Ergebnisbericht des Themenfeldes 5 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 - 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.  
[https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TF5SPTBerichte/TF5\\_3Auflage.html](https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TF5SPTBerichte/TF5_3Auflage.html).
- Bollmeyer, C., Keller, J., Ohlwein, C., Wahl, S., Crewell, S., Friederichs, P., Hense, A., Keune, J., Kneifel, S., Pscheidt, I., Redl, S., Steinke, S. (2015). Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain. (W. O. Library, Hrsg.) Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 141, S. 1-15. <https://doi.org/10.1002/qj.2486>
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2021). *Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen*. Abgerufen am 23. März 2022 von [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/statistik-des-laermschutzes-an-bundesfernstrassen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/statistik-des-laermschutzes-an-bundesfernstrassen.pdf?__blob=publicationFile)
- Drücke, J., Borsche, M., James, P., Kaspar, F., Pfeifroth, U., Ahrens, B., & Trentmann, J. (2021). Climatological analysis of solar and wind energy in Germany using the Grosswetterlagen classification. (Elsevier, Hrsg.) *Renewable Energy*, 164, S. 1254-1266. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.102>
- Eisenbahn Bundesamt. (2017). *Lärmkartierung*. Abgerufen am 15. Februar 2022 von Eisenbahn Bundesamt: [https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm\\_an\\_Schienenwegen/Laermkartierung/laermkartierung\\_node.html](https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm_an_Schienenwegen/Laermkartierung/laermkartierung_node.html)
- Eisenbahn Bundesamt. (2022). *Lärmsanierung*. Abgerufen am 15. Februar 2022 von Eisenbahn Bundesamt: [https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Finanzierung/Laermsanierung/laermsanierung\\_node.html](https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Finanzierung/Laermsanierung/laermsanierung_node.html)
- Kaspar, F., Niermann, D., Borsche, M., Fiedler, S., Keller, J., Potthast, R., Rösch, T., Spangehl, T., & Tinz, B. (2020). Regional atmospheric reanalysis activities at Deutscher Wetterdienst: review of evaluation results and application examples with a focus on renewable energy. (Copernicus GmbH) *Advances in Science and Research*, 17, S. 115-128. <https://doi.org/10.5194/asr-17-115-2020>
- Kenny, D., & Fiedler, S. (2022). Which gridded irradiance data is best for modelling photovoltaic power production in Germany? *Solar Energy*, 232, S. 444-458. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.12.044>
- Lauf, T., Memmler, M., & Schneider, S. (2021). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2020*. Umweltbundesamt. Abgerufen am 2. Februar 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2020>
- Niermann, D., Borsche, M., Kaiser-Weiss, A., & Kaspar, F. (2019). Evaluating renewable-energy-relevant parameters of COSMO-REA6 by comparison with satellite data, station observations and other reanalyses. *Meteorologische Zeitschrift*, 28(4), S. 347-360. <https://doi.org/10.1127/metz/2019/0945>
- Pfeifroth, U., Kothe, S., Müller, R., Trentmann, J., Hollmann, R., Fuchs, P., & Werscheck, M. (2017). Surface Radiation Data Set - Heliosat (SARAH) - Edition 2, Satellite Application Facility on Climate Monitoring. [https://doi.org/10.5676/EUM\\_SAF\\_CM/SARAH/V002](https://doi.org/10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V002)
- Pfenniger, S., & Staffell, I. (2016). Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. (Elsevier, Hrsg.) *Energy*, S. 1251-1265. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.060>