

Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photo- voltaik-Anwendungen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 252

The logo for the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) is displayed in a bold, green, lowercase sans-serif font. The letters are thick and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photo- voltaik-Anwendungen

von

Hartmut Gündra
Christopher Barron
Thomas Henrichs
Stefan Jäger

geomer GmbH, Heidelberg

Bernhard Höfle
Sabrina Marx
Robin Peters
Andreas Reimer
Alexander Zipf

Universität Heidelberg

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 252

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 09.0153/2011/LRB:
Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potentielle Photovoltaik-Anwendungen sowie Wildbarrieren

Fachbetreuung:
Britta van Dornick

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-150-9

Bergisch Gladbach, März 2015

Kurzfassung – Abstract

Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen

Lärmschutzwände an bundesdeutschen Fernverkehrsstraßen bieten ein beachtliches Energiepotenzial. In welchem Umfang war bisher nicht ausreichend untersucht. Es fehlen bisher jedoch Untersuchungen darüber, welcher Anteil dieser Anlagen für eine Photovoltaik-Nutzung geeignet ist. Auch fehlen die geeigneten Werkzeuge und Datengrundlagen, um die Eignung im Einzelfall und in der statistischen Übersicht zu analysieren und zu bewerten. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens liefern einen Beitrag, diese Lücken zu schließen.

Mit diesem Forschungsvorhaben wurde zum ersten Mal ein für die BRD flächendeckendes Kataster der Lärmschutzeinrichtungen erstellt. Auf Grundlage des zu erstellenden Katasters von Lärmschutzeinrichtungen und sonstigen Barrieren an Straßen (Seiten- und Mittelbarrieren) wurden zudem Verfahren entwickelt, die die Standorteignung von Lärmschutzanlagen für Photovoltaikanlagen ermittelt.

Die erfassten Informationen wurden in einem „Geografischen Informationssystem“ (GIS) zusammengeführt, das nun der Fachabteilung als Arbeitsgrundlage dienen kann. Das entwickelte geographische Informationssystem beinhaltet Berechnungswerkzeuge, die es erlauben, Potenzialanalysen des Photovoltaikertrags an jedem Punkt des Straßenraums für Bundesfernstraßen durchzuführen. Dabei ist es möglich, Ertragsberechnungen sowohl für bestehende Lärmschutzeinrichtungen als auch für neue Standorte für die Zwecke der Ausbauplanung durchzuführen. Damit wird die Grundlage geschaffen, die private Investorenbeteiligung zu forcieren. Die Ergebnisse wurden so aufbereitet und zur Verfügung gestellt, dass ein Import der Ergebnisse in das „Bundesinformationssystem Straße“ (BISStra) problemlos möglich ist.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens liefern entscheidende Grundlagen zur Beurteilung der multifunktionalen Nutzung von Lärmschutzanlagen und Barrieren im Straßennebenraum. Damit wird die Grundlage für weitere Planungen geschaffen. Bei Neuanlagen kann bereits in der Planungsphase die Photovoltaik-Eignung bewertet werden.

Mit den erfassten Wildbarrieren besteht nun eine Datengrundlage, die es nachfolgenden Arbeiten erlaubt, den Bedarf für besondere Schutzmaßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und auch zum Schutz gefährdeter Arten oder Populationen abzuleiten.

Cadastre of noise barriers including forecast of photovoltaic yield

Noise protection walls alongside federal German trunk roads offer a tremendous energy potential, the amount of which has not been rigorously examined yet. Investigations into their suitability for photovoltaic energy production in an area-wide manner are still missing. The appropriate tools and data to analyze and evaluate the suitability either of single walls or in a statistical overview are not readily available. The results of this research project represent a contribution to close these gaps.

The methods and processes developed in the project allow assessing the suitability for implementation of photovoltaic elements at a given location on the basis of the noise/wildlife-barrier cadaster that was also created in the project. This cadaster comprises information about the space surrounding federal trunk roads as well as on existing noise-barriers from different sources, which were systematized and converted into a common data model. In addition to the solar potential assessment, the cadaster was used to evaluate the permeability (or lack thereof) of roads for wildlife.

The compiled data was consolidated in a geographical information system (GIS). The developed GIS tools enable the determination of the photovoltaic potential at every location within the federal trunk road space. It is possible to estimate the yield for existing noise barriers as well as those of prospective locations for planning purposes. Thereby a basis for strengthening investments from the private sector is established. The results were processed and supplied with a smooth import into BISStra as a goal.

A comprehensive register presents an overview of the documented noise-protection barriers alongside federal trunkroads. Federal data from the roadside

facility database are mapped, as well as from noise-surveys of the individual federal German states.

The results of the research project are an input to evaluate the economic relevance of multi-functional use of noise-protection facilities. The suitability for the equipment with photovoltaic elements of prospective facilities can be estimated as early as the planning phase.

The implementation of results from the BfN is of high practical and scientific importance, especially in its re-application to regional investigation.

Inhalt

1	Einleitung	7	4	Kataster der Lärmschutz- einrichtungen	24
1.1	Problemstellung	7	4.1	Bundesfernstraßennetz und Straßenraum	24
1.2	Zielsetzung	7	4.2	Lärmschutzbauwerke aus BISStra	25
1.3	Anforderungen an Modul zur Ertragsberechnung	8	4.3	Erfassungsstand nach Ergänzung durch Daten auf Landesebene	27
2	Photovoltaik und Lärmschutz	9	4.4	Diskussion der Ergebnisse	29
2.1	Grundlagen der PV-Ertrags- ermittlung	9	4.4.1	Attributive Qualität	29
2.1.1	Einstrahlung	9	4.4.2	Aktualität	30
2.1.2	PV-Anlagen und Betrachtungsfälle	10	4.4.3	Vollständigkeit	30
2.2	Aufgesetzte PV-Anlagen auf Lärm- schutzwänden, -wällen oder Böschungen	11	5	Kataster der Wildbarrieren	31
2.3	Senkrecht oder bifazial angebrachte Module	11	5.1	Linienhafte Strukturen	31
2.4	Deutsche Pilotvorhaben	12	5.2	Flächenhafte Wildbarrieren	33
3	Methodik und Datengrundlagen	13	6	Ertragspotenzial	34
3.1	Vorgehen zur Erfassung von Lärmschutzeinrichtungen	14	6.1	Ergebnisse der Modulentwicklung	35
3.1.1	Bauwerksdaten und das Bundes- informationssystem Straße (BISStra)	14	6.1.1	Straßenraum, Extraktion	35
3.1.2	Lärmkartierung	15	6.1.2	Betrachtung von konkreten Bauwerken, regional	35
3.2	Vorgehen zur Erfassung von Wildbarrieren	15	6.1.3	3D-Modellierung, lokal	36
3.3	Aufbau eines GIS	15	6.2	Straßenraum	37
3.3.1	Digitales Höhenmodell (DGM10)	16	6.3	Vorhandene Bauwerke	38
3.3.2	Digitales Landschaftsmodell (DLM)	18	6.3.1	Ertragspotenzial nach Ländern	38
3.3.3	DWD	19	6.3.2	Vorrangige Expositionsmuster	39
3.3.4	PVGIS	20	7	Folgerungen für die Praxis und Ausblick	40
3.4	Modulentwicklung zur Ertrags- modellierung	22	7.1	Das geografische Informationssystem	41
3.4.1	Entwicklungsbedarf	22	7.1.1	Amtliche Hausumringe und Hauskoordinaten	41
3.4.2	Betrachtungsmaßstabskonzept	22	7.1.2	Integration verbesserter digitaler Höhenmodelle	42
3.5	Qualitätssichernde Maßnahmen	23	7.2	Erfassung von Lärmschutz- einrichtungen	43
			7.2.1	Informationsaustausch	43
			7.2.2	Erfassung mit Messfahrzeugen	43
			8	Literatur	44

Abkürzungen

AG	Auftraggeber
AHB	Anwenderhandbuch
ALKIS	Amtliches Liegenschafts- und Katasterinformationssystem
AN	Auftragnehmer
AP	Arbeitspaket
ATKIS	Amtlich-Topografisch-Kartografisches-Informationssystem
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BISStra	Bundesinformationssystem Straße
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
GIS	Geografisches Informationssystem
KM	Konfigurationsmanagement
LSE	Lärmschutzeinrichtung
LSW	Lärmschutzwand
MHB	Methodenhandbuch
PHB	Projekthandbuch
PVA	Photovoltaikanlage
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
QS	Qualitätssicherung
SIB	Straßeninformationsbank
SysDok	Systemdokumentation
SysEnt	Systementwurf
TK	Topografische Karte

Glossar

Straßenraum	Raum 100 m rechts und links der Straßenmitte
Bauwerk	Bauliche Konstruktion im Verlauf der aufzunehmenden Straße, z. B. Brücke od. Stützmauer, mit einer lichten Weite gleich od. größer 2,00 m. Die Bauwerke werden analog der Netzknotennummerierung im Bereich 001 bis 999 nummeriert.

Das Anwenderhandbuch **SolarTools** ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> ist zusätzlich zum Bericht abrufbar.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die multifunktionale Nutzung von Bauwerken im Straßenraum kann zu Kosteneinsparungen führen. Die Förderung von photovoltaischer Energieerzeugung an Lärmschutzwänden wird im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ausdrücklich erwähnt. Somit ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten, die Ziele der Energiewende zu unterstützen und die Akzeptanz von Lärmschutzanlagen zu erhöhen.

Um Machbarkeit und ökonomisches Potenzial von Photovoltaikanlagen an Lärmschutzeinrichtungen bewerten zu können, müssen jedoch Datengrundlagen geschaffen und Verfahren zur Potenzialermittlung entwickelt werden.

Nach statistischen Erhebungen gab es im Jahr 2010 ca. 3.400 km Lärmschutzwälle und -wände (BMVBS 2011a, vgl. Tabelle 1). Mehr als 70 km Lärmschutzwälle und -wände wurden neu errichtet. Bisher ist allerdings nicht untersucht, welcher Anteil dieser Anlagen für eine weitergehende Nutzung im Sinne der PV-Energieerzeugung geeignet ist.

Mit dem Hintergrund der Kürzung der EEG-Zulage für Neuanlagen von über 50 ct/kWh (2004) auf heute durchschnittlich 18 ct/kWh kommt der Bewertung der Standorteignung von PV-Anlagen eine immer größere Bedeutung zu. Nach den Kürzungen der Einspeisevergütung und der zunehmenden Konkurrenz asiatischer Hersteller von PV-Modulen, gestaltet sich die Lage auf dem PV-Markt trotz steigender Einspeiseleistung zunehmend schwieriger.

Bereits jetzt ist die Abschätzung des Solarpotenzials für Anlagenbauer Voraussetzung für die Standorteignungsbewertung und Prognose von Energiepotenzialen. Aktuell beziehen sich Solarpotenzialanalysen für Photovoltaikanlagen (PV-

Anlagen) vorwiegend auf Dach- oder Freiflächen (JOICHEM et al. 2011a, KLÄRLE et al. 2006). Hinsichtlich der Installation von PV auf Freiflächen werden nach dem aktuellen EEG (Stand Januar 2011) lediglich Flächen mit bestehender Vornutzung (z. B. ehem. Deponieflächen, Tagebaugelände, Konversionsflächen, Randstreifen von Autobahnen und Schienenwegen) gefördert. Demnach sollte einhergehend mit der Landnutzungskonkurrenz im Spannungsfeld der Nahrungsproduktion versus Energieproduktion auf landwirtschaftlichen Freiflächen die PV-Installation auf Flächen mit bereits bestehender Vornutzung eingegrenzt werden. Hierzu zählen auch Schallschutzwände sowie die unmittelbaren Seitenbereiche der Autobahnen und Bundesstraßen.

Durch eine multifunktionale Nutzung des Straßenraums wächst allerdings auch die Komplexität der Planung und Ausführung von Vorhaben. Hier leisten die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens einen wertvollen Beitrag, um den Nutzen möglicher multifunktionaler Lösungen zu quantifizieren und zu rechtfertigen.

Ungeklärte Fragen der Unterhaltung und der (Rechts-)Sicherheit werden hierbei nicht behandelt. So muss z. B. gewährleistet sein, dass Anlieger und v. a. Verkehrsteilnehmer nicht in gefährlicher Weise von Sonnenlicht geblendet werden und, dass die beabsichtigte Lärmreduzierende Wirkung einer LSE nicht durch unerwünschte Lärmreflektionseigenschaften der PV-Module beeinträchtigt wird. Nach dem Stand der Technik kann dies jedoch durch geeignete Konstruktionen oder Anordnungen gewährleistet werden.

1.2 Zielsetzung

Bisher fehlen geeignete Werkzeuge und Datengrundlagen, um die Eignung im Einzelfall und in der statistischen Übersicht die PV-Eignung von Lärmschutzanlagen zu analysieren und zu bewerten. In einem ersten Schritt sind hierzu Informationen zu vorhandenen Lärmschutzeinrichtungen bzw. der Straßenseitenräume bundesweit zu erfassen, zu systematisieren und in ein einheitliches Datenmodell zu überführen. Diese Studie beschränkt sich dabei auf die Untersuchung von Lärmschutzeinrichtungen im Straßenraum bundesdeutscher Fernverkehrsstraßen.

Für die Erstellung des Katasters sind grundsätzlich alle Lärmschutzeinrichtungen an Bundesfern-

	Neu errichtet in 2010 in km	Fläche (m ²) gesamt	Länge in km gesamt
Lärmschutzwall	22,41		1.120,90
Lärmschutzwand	49,13	8.190.000	2.221,53
Steilwälle	-	330.038	71,90
Gesamt	71,54		3.414,33

Tab. 1: Statistische Erhebungen zum Bestand von Lärmschutzeinrichtungen im Jahr 2010 (BMVBS 2011a)

straßen von Relevanz – auch jene, die aufgrund ihrer Höhe < 2 m oder ihrer baulichen Eigenschaften (z. B. Lärmschutzwälle) nicht in der Bauwerksdatenbank der BAST erfasst werden. Das Kataster betrachtet jedoch nicht Lärmschutzeinrichtungen, die aufgrund ihrer Eigenschaften nicht für eine multifunktionale Nutzung durch PV-Anlagen geeignet sind. Hierzu zählen z. B. lärmabsorbierende Beläge, Lärmschutzfenster etc.

Es ist naheliegend, die Ergebnisse in ein geografisches Informationssystem (GIS) zu überführen. Ein solches geografisches Informationssystem ermöglicht weitergehende Analysen und bildet die Voraussetzung für die Entwicklung eines Berechnungswerkzeuges, das Potenzialanalysen des Photovoltaikertrags an jedem Punkt des Straßenraums für Bundesfernstraßen erlaubt. Ertragsberechnungen sollen sowohl für bestehende Lärmschutzeinrichtungen (LSE) als auch für die Zwecke der Ausbauplanung möglich sein.

Die Ergebnisse werden so aufbereitet und zur Verfügung gestellt, dass ein Import der Ergebnisse in das Bundesinformationssystem Straße (BISStra) möglich ist.

Die zentralen wissenschaftlichen Fragestellungen des Vorhabens sind:

- 1) Welche Faktoren bestimmen die Ertragsberechnung von Photovoltaikanlagen an Lärmschutzeinrichtungen? Dabei sind über die meteorologischen Faktoren hinaus weitere Faktoren relevant. Bestimmte Randfaktoren, wie z. B. der Anschluss an die Netzinfrastruktur der Energieversorger, können und sollen dabei explizit nicht berücksichtigt werden.
- 2) Welches PV-Ertragspotenzial bietet der Straßenraum der Bundesfernstraßen und der dort errichteten Lärmschutzeinrichtungen?

Um diese Fragestellungen beantworten zu können, sind Verfahrenslücken zu schließen, bei der

1. bundesweit einheitlichen Verfahren der Datenaufbereitung und Homogenisierung,
2. der automatisierten Erzeugung von 3D-Objekten aus dem zu erstellenden Kataster für Lärmschutzanlagen und sonstigen Barrieren,
3. der Entwicklung eines hierarchisch-angelegten Bewertungsverfahrens für Solarpotenzial und Durchlässigkeit, das auch bei unterschiedlicher

Datenlage, d. h. teilweise nicht verfügbaren Daten und Daten sehr unterschiedlicher Qualität, angewendet werden kann, sowie

4. der Entwicklung eines GIS-basierten Werkzeugs zur Berechnung lokaler PV-Erträge an existierenden oder geplanten LSE.

In einem anderen Zusammenhang werden Aussagen zur Durchlässigkeit bzw. Trennwirkung von Straßen für Tiere benötigt. Anhand dieser Aussagen wird in Verbindung mit Kenntnissen über Lebensräume und Lebensraumkorridore verschiedener Arten der Bedarf für besondere Schutzmaßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und auch zum Schutz gefährdeter Arten oder Populationen abgeleitet. Um die Durchlässigkeit bzw. Trennwirkung von Straßen festzustellen, sind Informationen über Ausstattungseinrichtungen mit Barrierewirkung für Tiere wie z. B. Zäunungen, Amphibienschutzeinrichtungen aber auch Lärmschutzwände und Betonschutzwände erforderlich. Die Erfassung dieser Schutzmaßnahmen ist ebenfalls Bestandteil des Projektes.

1.3 Anforderungen an ein Modul zur Ertragsberechnung

Unter Photovoltaik wird die direkte Umwandlung von Lichtenergie in Elektrizität verstanden. Der Ertrag von Photovoltaikanlagen wird dementsprechend maßgeblich von der lokalen Globalstrahlung beeinflusst. Bei bekannter Einstrahlungssumme auf eine Generatorfläche berechnet sich der Nutzertrag einer Photovoltaikanlage über deren Systemwirkungsgrad.

Die Globalstrahlung, die sich aus direkt und diffus einfallender Strahlung zusammensetzt, wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen atmosphärische Effekte, die täglichen und saisonalen Veränderungen des Sonnenstands, Breiten- und Höhengrade des Standortes sowie die Topografie. Um die vorhandene Globalstrahlung optimal nutzen zu können, ist zudem die Ausrichtung und Neigung der Photovoltaikanlage von wesentlicher Bedeutung.

Auf Grundlage eines zu erstellenden Katasters von Lärmschutzeinrichtungen und sonstigen Barrieren an Straßen (Seiten- und Mittelbarrieren) kann in Verbindung mit lokal vorliegenden klimatischen und topografischen Bedingungen ein Verfahren entwickelt werden, das die Standorteignung von Lärm-

schutzanlagen für Photovoltaikanlagen ermittelt. Bei der Formulierung der Anforderungen an ein solches Werkzeug stellt sich die Frage, welche Art von Photovoltaik-Modul bei welchen Randbedingungen geeignet ist und welche Auswirkungen auf das Ertragspotenzial sich daraus ergeben. Es stellt sich auch die Frage, welche Randfaktoren der Ertragsberechnung berücksichtigt werden müssen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bzgl. der Ausgangssituation bestehende und nicht bestehende Lärmschutzeinrichtungen in Betracht gezogen werden. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass von sehr unterschiedlicher Verfügbarkeit der benötigten Datengrundlagen (z. B. digitales Landschaftsmodell, digitales Höhenmodell) ausgegangen werden muss.

Die Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Entwickelt wird ein Berechnungswerkzeug für Bundesfernstraßen, das Potenzialanalysen des Photovoltaikertrags an jedem Punkt des Straßenraums erlaubt. Der Straßenraum definiert sich durch einen 100-m-Puffer rechts und links der Straßenmitte. Aus fachlicher Sicht ist es sinnvoll, einen Untersuchungsraum zu wählen, der es erlaubt, die Verschattung durch Horizontüberhöhung zu berücksichtigen.
2. Das Photovoltaikpotenzial von Lärmschutzeinrichtungen ist von beiden Straßenseiten zu betrachten (Verkehrsseite und Anliegerseite).
3. Das Berechnungsmodul erlaubt den Ertrag zu berechnen. Vor allem bei der Ausbauplanung von Lärmschutzanlagen soll es möglich sein, den potenziellen Ertrag abschätzen zu können.
4. Randbedingungen, wie z. B. die Verfügbarkeit der Stromversorgung oder vorhandener Bewuchs usw., müssen nicht betrachtet werden.
5. Die Überführung der Ergebnisse nach BISStra soll möglich sein.

Die Entwicklung eines Ertragsmoduls kann und soll auf organisatorische und rechtliche Randbedingungen nicht eingehen.

2 Photovoltaik und Lärmschutz

NORDMANN & CLAVADETSCHER (2004) gehen in einer ersten Abschätzung für Deutschland von einem Energieerzeugungspotenzial von 247,5 GWh/a entlang von Autobahnen aus. Zum Vergleich: Die in Deutschland erzeugte Menge an Solarstrom betrug nach Angaben des Bundesverband Solarwirtschaft e. V. im Jahr 2011 19.300 GWh. Inzwischen liegt auch eine detaillierte Potenzialstudie für die Schweiz vor (FEHLING 2012). Mit Berücksichtigung der nicht-technischen Parameter besteht in der Schweiz ein realisierbares Potenzial von 0,7-1,0 Mio. m² oder 110-165 MWp Nennleistung, was zu einem elektrischen Jahresertrag von 100-160 GWh führt. Somit ist das ermittelte realisierbare Potenzial von Photovoltaik an Lärmschutzwänden entlang der Nationalstraßen ausreichend, um den Jahresbedarf an elektrischer Energie für den Betrieb der Nationalstraßen in der Jahresbilanz decken zu können (145 GWh in 2010, inklusive Tunnel und Beleuchtung).

Auf die Problematik von Photovoltaik und Lärmschutz soll hier nicht im Detail eingegangen werden. An dieser Stelle sei auf einschlägige Berichte und Studien verwiesen (z. B. NORDMANN et al. 2012, NORDMANN & CLAVADETSCHER 2004).

Im Folgenden soll kurz beschrieben werden, welche Art von Modulen an Lärmschutzeinrichtungen infrage kommt. Dabei soll deren Bedeutung für die Entwicklung einer Ertragsberechnung diskutiert werden.

2.1 Grundlagen der PV-Ertragsermittlung

Es ergibt sich aus der Natur der Photovoltaik, dass die an der PV-Anlage eintreffende Menge an Sonnenstrahlung die obere Grenze für den potenziellen Ertrag darstellt, und die Installationsart sowie technische Spezifikation die Ausbeute stark beeinflusst. Im Folgenden werden, hauptsächlich zur Begriffsklärung, die wichtigsten Grundlagen in diesen die Ertragsmodellierung von Photovoltaikanlagen determinierenden Bereichen erläutert.

2.1.1 Einstrahlung

Die aus der nach Erdbahnschwankungen und Atmosphäre modifizierten Solarkonstante abgelei-

tete, tatsächlich auf der Erdoberfläche eintreffende Strahlung, wird Globalstrahlung genannt. Ihre Einheit ist Energiemenge in einem Zeitraum in Wattstunden pro Fläche in m^2 [Wh/m^2]. Die Globalstrahlung wird weiter unterteilt in direkte Strahlung, diffuse Strahlung und reflektierte Strahlung, je nachdem welchen Weg die Strahlung durch die Atmosphäre bis zum PV-Modul zurücklegt. Unter diffuser Strahlung wird diejenige Strahlung zusammengefasst, die durch Wolken, Gase, Aerosole u. Ä. in der Atmosphäre gestreut wird, unter reflektierter Strahlung versteht man den Strahlungsanteil der von anderen Oberflächen zurückgeworfen wurde, bevor er auf das PV-Modul trifft (Bild 1).

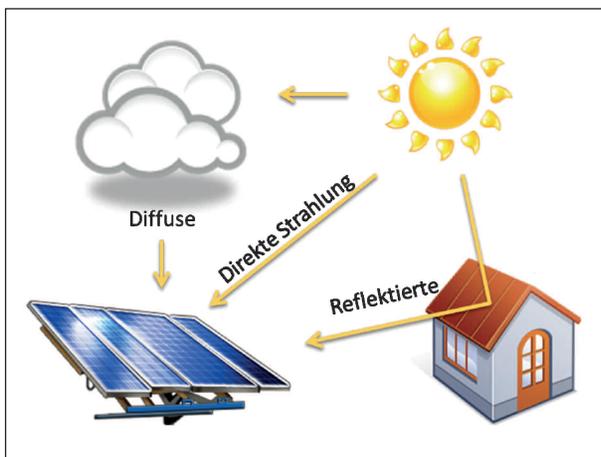


Bild 1: Diffuse, direkte und reflektierte Strahlung

2.1.2 PV-Anlagen und Betrachtungsfälle

Seit den ersten Projekten Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre wurden wertvolle Erfahrungen bezüglich PV-Lärmschutzwänden gesammelt (NORDMANN et al. 2000). Der Preis (gemessen pro Watt-Peak [Wp]) für PV-Lärmschutzwände ist seitdem kontinuierlich gesunken, was aber auch teilweise auf den allgemeinen Preiserückgang von PV-Anlagen zurückzuführen ist. Zwischen 1989 und 2000 haben sich die Kosten mehr als halbiert – von 16,27 €/Wp auf 7,00 €/Wp. PV-Lärmschutzwände sind vor allem deswegen attraktiv, weil neben der ursprünglichen Aufgabe Lärmschutz, zusätzlich auf einer Fläche Strom erzeugt wird, die sonst für andere Zwecke nicht mehr bzw. nur sehr eingeschränkt nutzbar ist. Sie erfüllen eine praktische Doppelfunktion (NORDMANN et al. 2002; NORDMANN & CLAVADETSCHER 2004). Gleichzeitig ist das Potenzial hoch, weil nach einer EG-Richtlinie aus dem Jahr 2002 der Lärmschutz ein aktuelles politisches bzw. gesellschaftliches Anliegen ist (EG 2002; Bundesgesetzblatt 2005).

In einem gemeinsamen Projekt der Schweiz und Deutschland (Integrale Photovoltaik-Schallschutzelemente für den Einsatz entlang von Verkehrsträgern, Projektstart 1993) wurden verschiedene Möglichkeiten realisiert und getestet wie PV-Anlagen mit Lärmschutzwänden kombiniert werden können (Bild 2; NORDMANN et al. 2000).

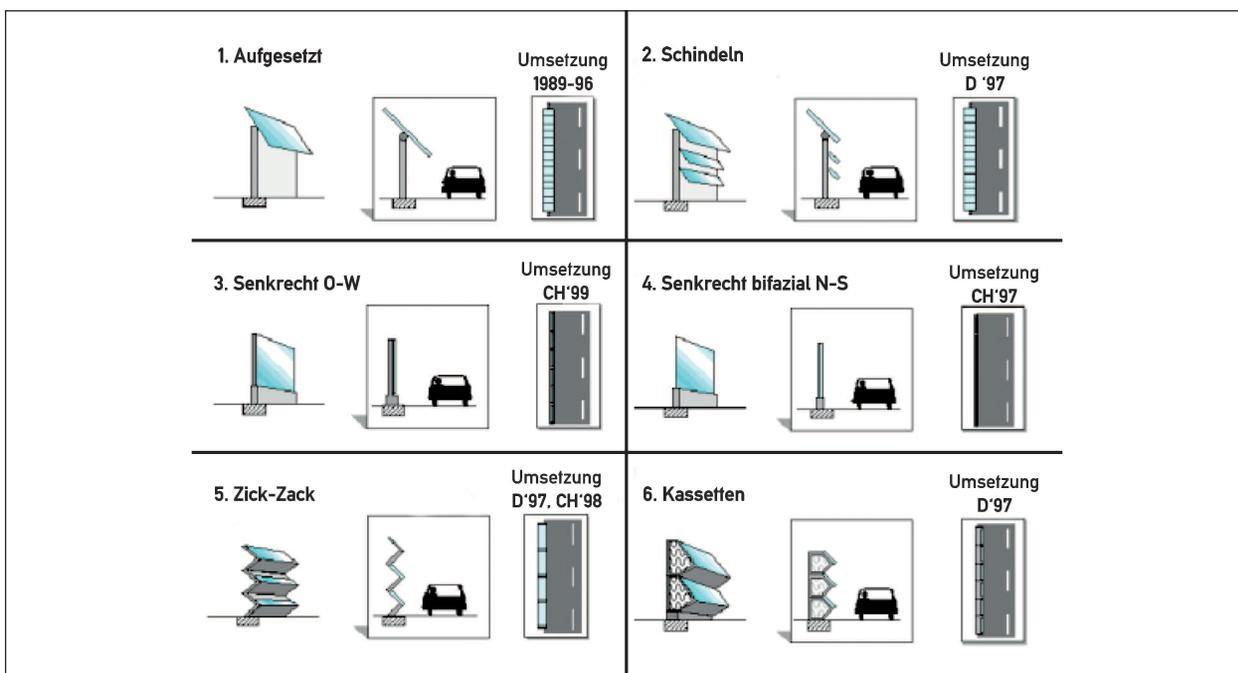


Bild 2: Verschiedene Ausführungsmöglichkeiten von PV-Lärmschutzwänden (Quelle: NORDMANN et al. 2000)



Bild 3: PV-Anlage an einem Lärmschutzwall an der A 96 (Quelle: ib wimmer)

Um das Potenzial für PV-Lärmschutzwände abschätzen zu können, wurde 1999 eine Studie durchgeführt. Dabei wurden alle bereits gebauten und geplanten Lärmschutzwände berücksichtigt. Um das Ertragspotenzial zu errechnen, wurden solare Einstrahlungsdaten von METEONORM genutzt. Für Deutschland ergibt sich aus dieser Studie ein Ertragspotenzial von 329,9 GWh/a. Darüber hinaus sind die Bedingungen für PV-Lärmschutzwände in Deutschland günstig. Die Dichte von Straßen ist hoch und es gibt einen anhaltenden Bedarf an Lärmschutzwänden. Auch ist die Akzeptanz von PV-Anlagen und von erneuerbaren Energien allgemein in der deutschen Öffentlichkeit hoch (NORDMANN et al. 2000; NORDMANN et al. 2002). In Deutschland gibt es Bestrebungen, PV-Lärmschutzwände verstärkt auch im Sinne der Energiewende zu nutzen. Hierzu gibt es bereits mehrere Pilotprojekte (BMVBS 2011). In diesem Zusammenhang ist die Bundesanstalt für Straßenwesen daran bemüht, ein Kataster zu erstellen, mit dem flächendeckend das PV-Potenzial entlang von Bundesfernstraßen ermittelt werden kann (BAST 2012). Beispielsweise wurde die PV-Lärmschutzwand entlang der A 31 bei Emden-Nord von einem privaten Unternehmen gebaut und auch betrieben (NMU 2012). Die Möglichkeit das PV-Potenzial flächendeckend zu ermitteln, bietet den Vorteil, günstige Standorte zu identifizieren und gegebenenfalls private Investoren zu finden.

2.2 Aufgesetzte PV-Anlagen auf Lärmschutzwänden, -wällen oder Böschungen

NORDMANN et al. (2000) beschreibt ausführlich die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten, Lärmschutz und PV-Nutzung zu kombinieren. Der Ertrag von einfachen, aufgesetzten PV-Modulen

lässt sich aufgrund der zu geringen Eigenverschattung am einfachsten berechnen.

PV-Module auf Lärmschutzwällen können entweder böschungsseitig oder auf der Walkkrone installiert werden. Der Vorteil der Installation von PV-Modulen an Lärmschutzwällen ist, dass große Flächen mit optimaler Neigung genutzt werden können. Es werden vergleichsweise geringe Anforderungen an Planung, Ertragsberechnung und bauliche Umsetzung gestellt, sodass man hier von einem hohen tatsächlich nutzbaren Ertragspotenzial ausgehen kann. Sowohl aus Bauherren- als auch Investorensicht kann von einer hohen Vereinbarkeit einer PV- und Lärmschutznutzung ausgegangen werden. Einschränkungen der Nutzbarkeit vorhandenen Potenzials ergeben sich aus einer möglichen Gefährdung von Autofahrern durch Reflektionen des Sonnenlichts bei tiefstehender Sonne. Unter Umständen ist in solchen Situationen die Nutzung solcher Böschungen nur an der Fahrbahn abgewandten Seite möglich.

Nord-Süd-gerichtete Lärmschutzwälle bieten auf der Walkkrone die Möglichkeit der Installation süd-orientierter PV-Anlagen.

2.3 Senkrecht oder bifazial angebrachte Module

Beidseitig das Sonnenlicht nutzende PV-Module eignen sich für die Anwendung bei Nord-Süd-Strecken in senkrechter Anordnung. Eine variable Zellpackungsdichte erlaubt dabei Teiltransparenz. Die beidseitig genutzten Solarzellen erzielen übers Jahr einen gleich hohen Energieertrag wie eine optimal nach Süden ausgerichtete Anlage mit Standardmodulen. Die Anbringung erfolgt senkrecht. Es ist deshalb notwendig, den solaren Eintrag und die Verschattungssituation einer senkrechten Wand zu berechnen.



Bild 4: Senkrecht angebrachte PV-Module an einer Brücke der A 31 bei Emden (Quelle: AG Lärmschutz – jetzt)

2.4 Deutsche Pilotvorhaben

Mittlerweile stützen fundierte Erfahrungen das Konzept der Doppelnutzung. 1989 wurde in der Schweiz die weltweit erste Lärmschutzwand (LSW) mit integrierter Photovoltaikanlage gebaut und durch die TNC Consulting AG in Betrieb genommen. Die uns bekannte erste Doppelnutzung von Lärmschutzeinrichtungen (LSE) und Photovoltaikanlagen in Deutschland wurde 1992 an der A 23 (Rellingen) gebaut. Besser dokumentiert ist die 1995/96 auf Initiative des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau in Rheinland-Pfalz an der A 6 nahe Grünstadt-Sausenheim errichtete Anlage (Bild 5).

Die Lärmschutzwand ist 1,2 km lang und 4,5 m hoch. Die Fundamente und die Stützpfeiler wurden aus Stahlbeton gegossen. Die Zwischenräume wurden mit einer schallabsorbierenden Holzrahmenkonstruktion aus heimischen Hölzern ausgefüllt. Die Herausforderung war es nun, die Photovoltaikmodule in die Konstruktion zu integrieren, da die Module eine stark reflektierende Wirkung haben und den Schall nicht wie gewünscht absor-

bieren. Die Lösung war ein zur Fahrbahn hin gekrümmtes Band am oberen Ende der Schallschutzwand. Diese Krümmung besteht aus drei Reihen Photovoltaikmodulen. Die Seite mit den Siliziumkristallen befindet sich auf der Fahrbahn abgewandten Seite. Trifft der Schall nun auf die Innenwölbung der Photovoltaikmodule, werden die Schallwellen zur Lärmschutzwand hin reflektiert und dort absorbiert. Umgekehrt können die Solarstrahlen ungehindert auf die Vorderseite der Photovoltaikmodule scheitern, sodass eine hohe Stromausbeute zu erwarten ist.

Insgesamt wurden 1.558 Photovoltaikmodule und ca. 110 Dummy-Module implementiert. Die Dummy-Module wurden überall dort eingesetzt, wo Verschattungen auftreten. Die Gesamtleistung der Anlage wird auf 100 kWp geschätzt.

Der erzeugte Strom wird über 51 dezentrale Wechselrichter mit einer Leistung von insgesamt 1.600 Watt in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die meteorologischen und elektrischen Daten werden vom Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Kaiserslautern ausgewertet.



Bild 5: Eines der ersten Pilotvorhaben in Deutschland: Die A 6 bei Sausenheim (Quelle: AG Lärmschutz – jetzt)

Vorhaben	Quellen
A 10	http://www.laermschutz-jetzt.de/solarer-laermschutz.html http://www.deges.de/Projekte/VDE-Strasse/VDE-Nr.-11-A-10-Berliner-Ring/VDE-Nr.-11-A-10-Berliner-Ring-K156.htm http://www.mil.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.258971.de
A 92	http://www.solarserver.de/news/news-1673.html http://www.youtube.com/watch?v=mWIOcVFOkr8
A 6	http://regiossm.stoffstrom.org/index.php?id=653
A 5	Eigene Erfassung.
A 31	http://www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=2858&article_id=7567&psmand=10 www.solarregion-berlin-brandenburg.de/applications/conf/16
A 96	(1997) 3 PV Schallschutz-Versuchsanlagen in DE entlang A 96 München-Lindau (Ammersee), je 10 kWp, Glas-Alu-Konstruktion, Betonkonstruktion, Metallkassetten. http://www.lokale-mm.de/?p=13437
Ostumfahrung Schwäbisch Hall	http://moergenthaler.de/index.php/DE/leistungen/photovoltaik/laermschutzwand.html
B 213	http://www.perfectsolar.de/fileadmin/dateien/Downloads/Flyer-Photovoltaik-und-L%C3%A4rmschutz.pdf

Tab. 2: Übersicht bekannter Pilotvorhaben, die Lärmschutz und Photovoltaik koppeln

3 Methodik und Datengrundlagen

Um das Vorhaben erfolgreich durchzuführen, wurden im Wesentlichen vier Arbeitsschwerpunkte definiert, die im Folgenden zusammenfassend beschrieben werden sollen.

1. Der Aufbau eines Katasters von bestehenden Lärmschutzeinrichtungen, der vor allem

die Recherche, Beschaffung und Homogenisierung bestehender Datenbestände zum Ziel hatte,

2. der Aufbau eines Katasters von bestehenden Wildbarrieren,

3. der Aufbau eines Geografischen Informationssystems und die Integration umfangreicher Datenbestände,

4. die Entwicklung von GIS-Modulen zur Berechnung des Photovoltaikpotenzials im Straßenraum, für bestehende und projektierte Lärmschutzeinrichtungen sowie
5. die wissenschaftliche Auswertung der erzielten Ergebnisse hinsichtlich des Photovoltaikpotenzials und der Barrierewirkung von Lärmschutzeinrichtungen.

3.1 Vorgehen zur Erfassung von Lärmschutzeinrichtungen

Die Datenbeschaffung für Lärmschutzanlagen und Wildbarrieren (Schutzeinrichtungen) folgt im Ablauf einem einheitlichen Schema (Bild 6).

Die Erfassung von Lärmschutzeinrichtungen stützt sich auf vier Datengrundlagen:

- a) Das bereitgestellte BISStra-Straßennetz und ein Auszug der Bauwerksdatenbank der BAST,
- b) Recherchen bei den Ansprechpartnern der Arbeitsgruppe „IT Koordinierung im Straßenwesen“, Mitglieder der Projektgruppe „Datenaustausch“

tausch“ (Bauwerksdaten in den Straßeninformationssystemen der Länder),

- c) Recherchen bei den zuständigen Ansprechpartnern der Lärmschutzkartierung auf Länderebene,
- d) stichprobenartige Erfassung von Lärmschutzeinrichtungen durch eigene Befahrungen.

Die stichprobenartige Erfassung von Lärmschutzeinrichtungen durch eigene Befahrungen wurde als qualitätssichernde Maßnahme durchgeführt.

3.1.1 Bauwerksdaten und das Bundesinformationssystem Straße (BISStra)

Informationen über bestehende Lärmschutzanlagen liegen der BAST bisher in Form einer Bauwerksdatenbank als Teil des Bundesinformationssystem Straße (BISStra) vor. BISStra ist ein geografisches Informationssystem, das auf der Basis der Software Smallworld entwickelt wurde. Es besteht im Wesentlichen aus dem Kernsystem und den verschiedenen Fachsystemen (BAST 2012).

Von besonderer Bedeutung für das Vorhaben ist das Fachsystem 6 „Bauwerksdaten“. Das Fachsystem „Bauwerksdaten“ ist die Grundlage für das Erhaltungsmanagement von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken. Die darin enthaltenen Bauwerksdaten werden von den Ländern erhoben und von der BAST über eine einheitliche Schnittstelle zusammengeführt, analysiert und für die Zwecke des Bundesverkehrsministeriums ausgewertet.

In der Bauwerksdatenbank werden Lärmschutzeinrichtungen > 2 m Bauwerkshöhe geführt. Bauwerke < 2 m Bauwerkshöhe und Lärmschutzwälle sind jedoch nicht enthalten.

Die Bauwerksdatenbank und das dazugehörige BISStra-Straßennetz wurden zu Beginn des Vorhabens zur weiteren Auswertung inkl. Dokumentation zur Verfügung gestellt. Da die Bauwerksdatenbank keine vollständige Übersicht über die bestehenden Lärmschutzanlagen und Wildbarrieren liefert, war ein wesentlicher Baustein des Vorhabens, die Vervollständigung der bestehenden Daten durch eigene Recherchen und Kontakte zu den zuständigen Landesbehörden.

Für die Beschaffung von Daten zu Lärmschutzeinrichtungen auf Landesebene wurden Kontakte von Mitgliedern der Projektgruppe „Datenaustausch“

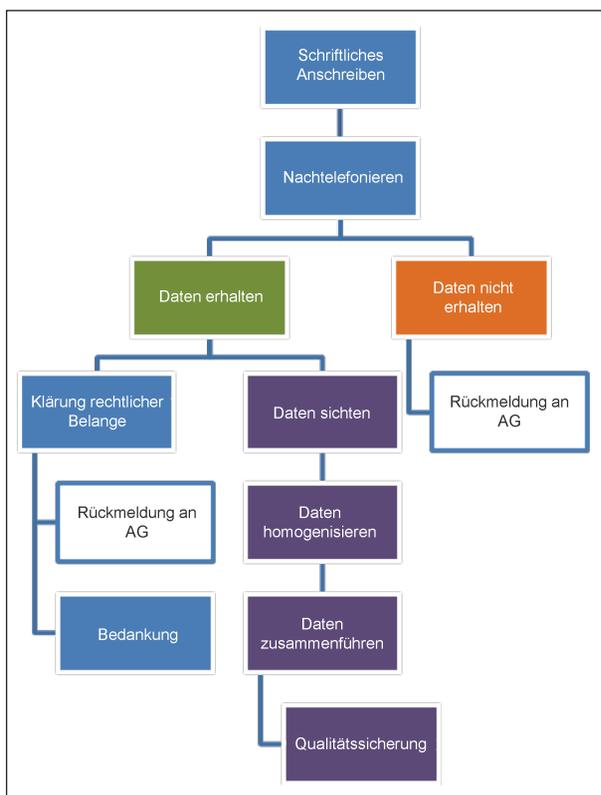


Bild 6: Schematische Darstellung des Datenbeschaffungsprozesses

des Arbeitskreises „IT Koordinierung im Straßenwesen“ zur Verfügung gestellt. Die Kontaktaufnahme wurde durch ein Unterstützungsschreiben der BASSt befürwortet.

3.1.2 Lärmkartierung

Die Errichtung von Lärmschutzeinrichtungen (LSE) an Bundesfernstraßen erfolgt auf Grundlage des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) mit dem Ziel, dass die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden. Am 18. Juli 2002 trat die „Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und die Bekämpfung von Umgebungslärm“ in Kraft. Die Umgebungslärmrichtlinie ging mit einer Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) in deutsches Recht über. Der sechste Teil des BImSchG „Lärminderungsplanung“ umfasst nun die Paragraphen 47a bis 47f und beinhaltet – neben Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen – Aussagen zu Zuständigkeiten, Zeiträumen und Anforderungen an Lärmkarten und Lärmaktionsplänen.

Auf der Grundlage des § 47f BImSchG trat am 16. März 2006 die „Verordnung über die Lärmkartierung – 34. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV)“ in Kraft. Sie beinhaltet neben der Definition der zu verwendenden Lärmindizes und Aussagen zur Datenerhebung sowie Datenübermittlung auch detaillierte Anforderungen an die Ausarbeitung von Lärmkarten.

Im Zuge der Umsetzung dieser Verordnung wurden in den letzten Jahren Lärmschutzeinrichtungen großflächig erfasst und kartiert. Ein einheitlicher Erfassungsstandard existiert jedoch nicht, eine Datensammlung auf Bundesebene ebenfalls nicht.

Die Erfassung dieser LSE erfolgt auf Kommunal- oder Länderebene. Als bedeutende Quelle zur Vervollständigung des Katasters von Lärmschutzeinrichtungen kommen deshalb die zuständigen Ansprechpartner der Lärmschutzkartierung auf Länderebene infrage. Auch hier wurden flächendeckend Ansprechpartner kontaktiert, verfügbare Daten erfasst und zusammengeführt.

Die ursprünglich vorgesehene skriptgesteuerte Homogenisierung bei der Zusammenführung der Daten aus der EU-Umgebungslärmrichtlinie konnte nicht sinnvoll umgesetzt werden. Die Daten werden in unterschiedlichen GIS-Formaten (MapInfo-TAB, ESRI-Shapes) sowie in unterschiedlichen Koordi-

natensystemen geliefert. Die Attributfelder sowie die Inhalte sind von Bundesland zu Bundesland verschieden. Im Ergebnis mussten die Datensätze manuell im GIS zusammengeführt werden.

3.2 Vorgehen zur Erfassung von Wildbarrieren

Unsere dicht besiedelte Kulturlandschaft kennzeichnet sich durch eine weitgehende Zerschneidung. Zahlreiche Infrastrukturen, wie Siedlungsräume und vor allem zahlreiche Verkehrsadern, wirken als künstliche Barrieren für die Lebensräume von Wildtieren (vgl. HERDEN et al. 2009, HÄNEL & RECK 2011). Gerade für großräumig lebende, mobile Arten wie Säugetiere oder Vögel können solche Lebensraumzerschneidungen die Besiedlung ganzer Landstriche erschweren oder gar verhindern. Heute geht man davon aus, dass die Zerschneidungswirkung von künstlichen Barrieren eine der Hauptursachen für das Artensterben in stark zersiedelten Landschaftsräumen darstellt.

Die trennende Wirkung von Verkehrsadern wird häufig hervorgehoben. Es ist davon auszugehen, dass Lärmschutzeinrichtungen eine zusätzliche Trenn- und Barrierewirkung ausüben. Ein Kataster bestehender Lärmschutzeinrichtungen ist deshalb sehr gut geeignet, solche zusätzlichen Barrieren zu verorten und für weitere Untersuchungen zur Verfügung zu stellen. Es bietet sich an, die Erfassung von Lärmschutzeinrichtungen um den Aspekt der Erfassung von Wildbarrieren zu erweitern. Die Erfassung von Wildbarrieren folgt im Grundsatz der Herangehensweise, wie sie auch bei der Erfassung von Lärmschutzwänden angewendet wird.

Im Bereich Durchlässigkeit und Überwindung straßenbedingter Barrieren hat das Bundesamt für Naturschutz (BfN) wegweisende Arbeiten vorgelegt, die in dieser Studie Grundlage für die Entwicklung von Bewertungsverfahren sind (HÄNEL & RECK 2011, HERDEN et al. 2009).

3.3 Aufbau eines GIS

Um die Ziele des Vorhabens 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

Nr.	Datensatz und Erläuterung
1	Daten des Auftraggebers
1.1	BASSt-BISStra-Bauwerksdaten: Die Bauwerksdaten werden bei der BASSt vorgehalten. Diese werden regelmäßig von den Ländern eingesammelt. Die Bauwerksdatenbank enthält keine Lärmschutzwälle und ausschließlich Lärmschutzbauwerke mit einer Höhe von > 2 m
1.2	BASSt-BISStra-Netzdaten: Die Netzdaten werden benötigt, um die Bauwerksdaten zu verorten
2	Daten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG)
2.1	Digitales Geländemodell (DGM-10-m) zur Einschätzung der Einstrahlungsverluste durch Horizontüberhöhung und Böschungsanalyse (vgl. Kapitel 0)
2.2	Digitales Landschaftsmodell (DLM25) als topografische Grundlage und Basis für die Bewertung von Wildbarrieren (vgl. Kapitel 3.3.2)
2.3	Luftbilder als Web-Dienst (Ortho-WMS) zur Orientierung und Qualitätssicherung
3	Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)
3.1	Globalstrahlung (1-km-Rasterkarte) des DWD
3.2	Stationsdaten zur Sonnenscheindauer (180 Stationen)
4	PVGIS Photovoltaikpotenzial (europäische Referenzdaten im 5 arcs-Gitter) (Quelle: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/download/download.htm) <ul style="list-style-type: none"> • Yearly sum of global irradiation on vertical surface (kWh/m²) • Yearly sum of global irradiation on horizontal surface (kWh/m²) • Yearly sum of global irradiation on optimally-inclined surface (kWh/m²) • Yearly sum of global irradiation on 2-axis tracking surface (kWh/m²)# • Optimum inclination angle of equator-facing PV modules to maximise yearly energy yields (°)
5	Recherchierte, verortete Lärmschutzanlagen der Landesbehörden
6	Daten zur Lage von Schutzeinrichtungen (Wildbarrieren) Daten zur Lage und Eigenschaft von Schutzeinrichtungen werden nur vereinzelt von Ländern vorgehalten
7	Laserscandaten (hochaufgelöstes Höhenmodell), um ein 2,5D-Modell der Nahverschattung anwenden zu können
8	LIDAR-3D-Punktwolke: MLS-Daten der BASSt (eigenes Fahrzeug)
9	ALK/Liegenschaftskatasterdaten der Bundesländer wären hilfreich, stehen aber voraussichtlich nicht zur Verfügung. Verbessern die Hintergrundkartographie und können zur zusätzlichen Qualitätssicherung eingesetzt werden

Tab. 3: Übersicht der GIS-Datenbestände

überführt. Die Ergebnisse sollen in einem Geografischen Informationssystem visualisiert und für weitere Analysen verfügbar gemacht werden.

Im Rahmen des Vorhabens werden Anwendungen zur Datenverarbeitung entwickelt. Dabei handelt es sich nicht um selbständig lauffähige DV-Anwendungen, sondern um Erweiterungen und Anpassungen von Standard-Software. Als GIS-Software wird das geografische Informationssystem (GIS) „ArcGIS for Desktop Basic“ (vormals ArcView) der Firma Esri in der aktuellsten Version (10.1) verwendet.

Der Aufbau des GIS umfasst die Aufbereitung und Integration verfügbarer Geoinformationen und eine umfassende Datenbeschreibung (Datenkatalog) inkl. der Metadaten.

Die Datensätze 1-6 wurden beschafft und in das GIS integriert. Die Datensätze 7-9 wurden als sinn-

voll oder interessant erachtet, konnten jedoch im Rahmen des Vorhabens nicht in das GIS integriert werden (Tabelle 3).

3.3.1 Digitales Höhenmodell (DGM10)

Das Digitale Geländemodell (DGM10) des BKG beschreibt die Geländeformen der Erdoberfläche durch eine in Lage und Höhe georeferenzierte Punktmenge, die in einem regelmäßigen Gitter mit einer Gitterweite von 10 m angeordnet ist.

Das beim Geodatenzentrum des BKG vorliegende DGM10 wurde aus den Daten fast aller Länder zusammengesetzt und steht für bundesweite und länderübergreifende Anwendungen zur Verfügung. Die Qualität dieses Datensatzes stimmt mit denjenigen der Datensätze der Länder überein. Das DGM10 wird mit einer Höhengenaugigkeit von min-

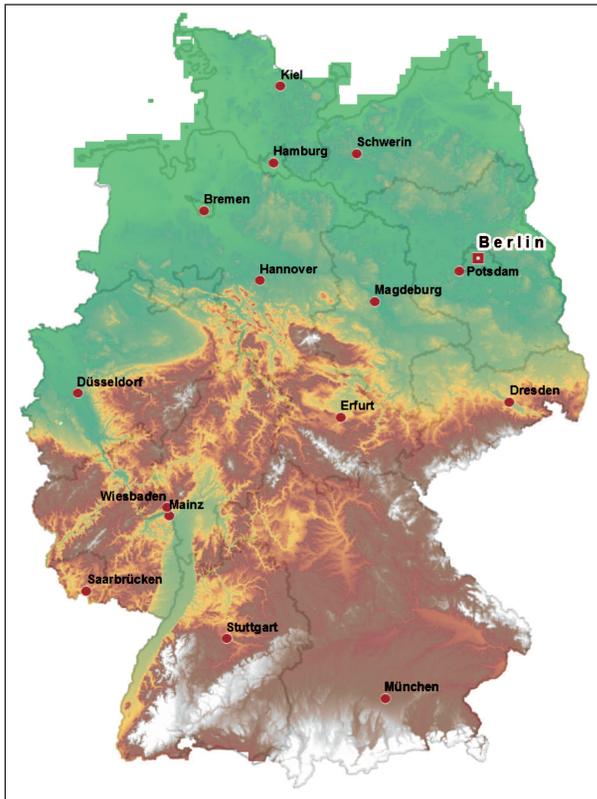


Bild 7: BRD-Übersicht über das DGM10 (Höhenschichten)

destens ± 2 m bereitgestellt. Für 2013 ist die Bereitstellung dieses Modells hoher Auflösung mit einer Höhengenaugigkeit der Gitterpunkte geländetypabhängig von $\pm 0,5$ m bis 2 m vorgesehen.

Produktspezifikationen und länderspezifische Angaben zu den bundesweiten Festlegungen werden in einem Produktblatt (PDF-Datei, 74 kB) bereitgestellt.

Das DGM10 kann für die Berechnung des Ertragspotenzials unter Berücksichtigung der Horizontverschattung verwendet werden. Aufgrund seiner Eigenschaften (keine Vegetation, keine Gebäude enthalten) und seiner 10-m-Auflösung eignet sich das DGM10 nicht, um eine Nahverschattung berücksichtigen zu können.

Bild 8 zeigt einen kleinen Ausschnitt des DGM10 in der Gegend von Bergisch-Gladbach in der maximalen Detailschärfe. Das Bild ermöglicht einen ersten Eindruck über die Detailgenauigkeit des DGM10. Die A 4 ist als lineare Struktur deutlich zu bis 40 Meter haben, werden unscharf abgebildet. Kleinere Objekte sind nicht erkennbar.

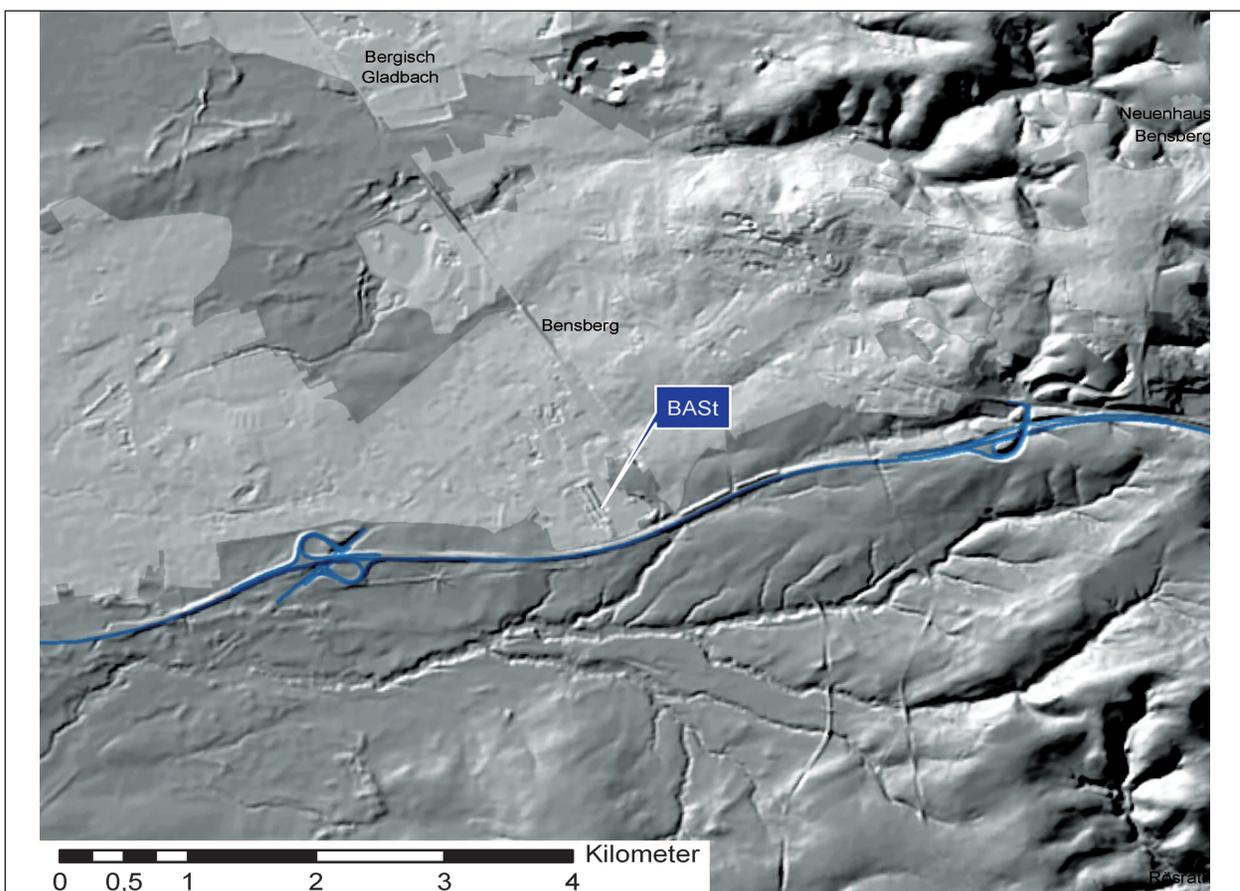


Bild 8: Ausschnitt des DGM10 im Bereich Bergisch-Gladbach

3.3.2 Digitales Landschaftsmodell (DLM)

Das Basis-DLM beschreibt die topografischen Objekte der Landschaft und das Relief der Erdoberfläche im Vektorformat. Das Basis-DLM (AAA) ist Bestandteil des „Amtlichen Topografisch-Kartografischen Informationssystems“ (ATKIS[®]) und basiert auf dem gemeinsamen Datenmodell für AFIS[®], ALKIS[®] und ATKIS[®]. Die DLM-Objekte werden durch ihre räumliche Lage, ihren geometrischen Typ, beschreibende Attribute und Beziehungen zu anderen Objekten (Relationen) definiert. Jedes Ob-

jekt besitzt deutschlandweit eine eindeutige Identifikationsnummer (Identifikator). Die räumliche Lage wird für das Basis-DLM maßstabs- und abbildungsunabhängig im Koordinatensystem der Landesvermessung angegeben.

Welche Objektarten das DLM enthält und wie die Objekte zu bilden sind, ist im ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS[®]-OK) festgelegt. Der ATKIS[®]-OK Basis-DLM wird einschließlich Erläuterungen und Modellierungsbeispielen als kostenloser Download des BKG bereitgestellt. Produktspezifikationen und

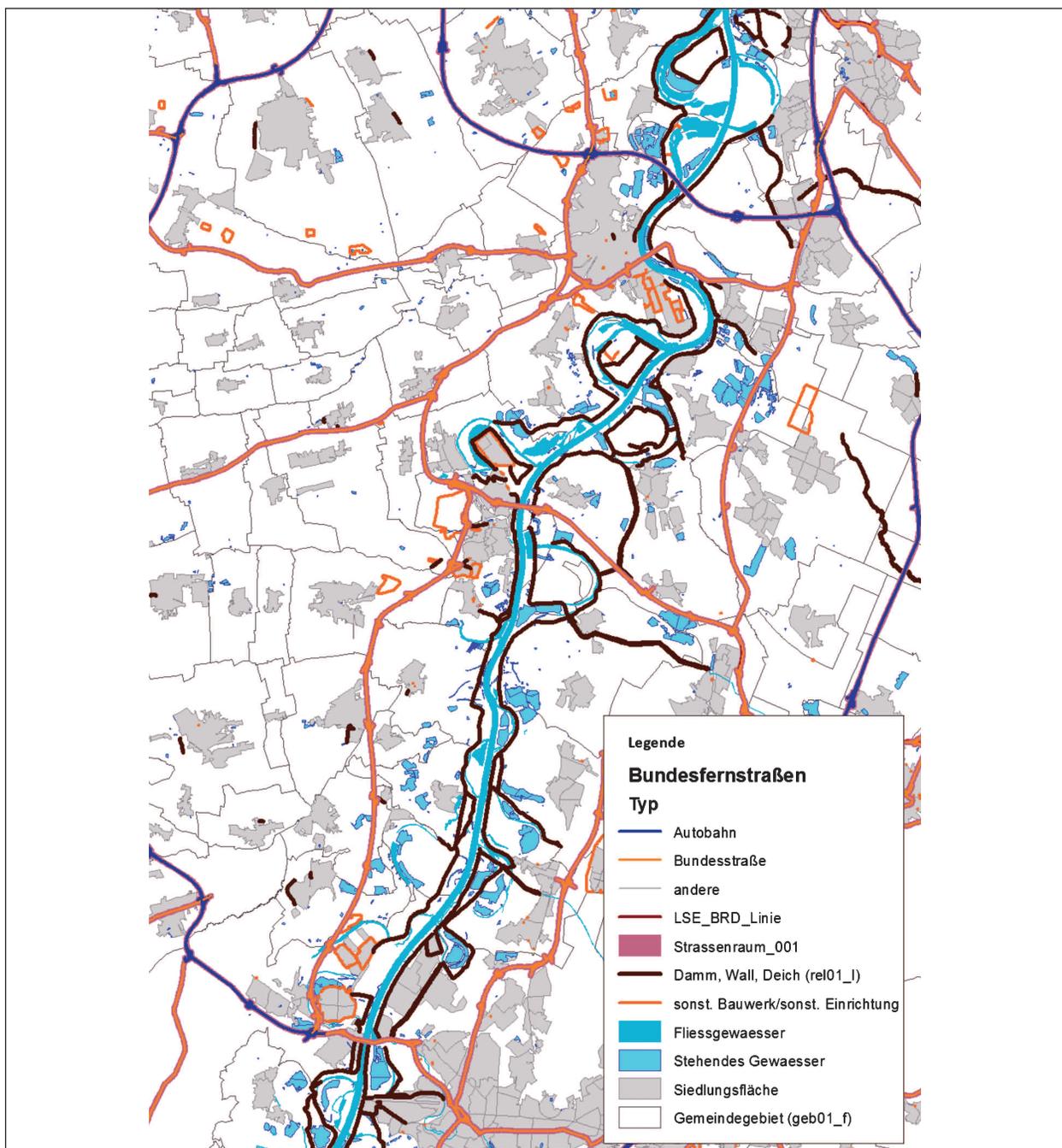


Bild 9: Ausschnitt des Basis-DLM mit überlagerten Bundesverkehrswegen

länderspezifische Angaben zu den bundesweiten Festlegungen werden in einem Produktblatt bereitgestellt.

Beim Geodatenzentrum des BKG liegt ein Basis-DLM vor, welches aus den Länderdaten zusammengesetzt wurde und für bundesweite und länderübergreifende Anwendungen zur Verfügung steht. Die Qualität dieses Datensatzes stimmt mit derjenigen der Datensätze der Länder überein.

Die Soll-Genauigkeit bedeutender punktförmiger und linienförmiger Objekte kann je nach Erfassungsgrundlage ± 3 m, $\pm 5-7$ m oder ± 15 m betragen. Weitere Aussagen zur Datenqualität in den Ländern sind im Metainformationssystem der AdV ausgewiesen.

Die Basis-DLM-Daten beinhalten ein komplexes Datenmodell, das zurzeit in zwei Spezifikationen ausgeliefert wird. In den Bundesländern wird das Basis-DLM entweder im ATKIS-EDBS-Format vorgehalten oder ist bereits auf das neue AAA-Modell umgestellt. Das Basis-DLM „alter Struktur“ liegt für

die Bundesländer Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Saarland, Sachsen vor. Für alle anderen Bundesländer liegt das Basis-DLM bereits im neuen AAA-Datenmodell vor. Die Auslieferung durch das BKG erfolgte im Esri-Shape-Format in 16 Länderkacheln. Die Bundeslandkacheln wurden über ein aufwändiges Verfahren zusammengeführt und in mehrere thematisch differenzierte Esri-File-Geodatabases umgewandelt.

Das Basis-DLM dient zum einen als Kartenhintergrund. Die Objektebenen „Deich, Damm, Wall“, „Siedlungsfläche“ und „Wald“ werden auch zur Analyse des Ertragspotenzials herangezogen. Weitere Verwendung findet das Basis-DLM zur Ermittlung von Wildbarrieren und zur Qualitätssicherung.

3.3.3 DWD

Der DWD stellt im Rahmen der Grundversorgung die quasi amtliche Globalstrahlungskarte für Deutschland zur Verfügung (Bild 10). Die Daten des DWD erlauben eine erste, bundesweit einheitliche

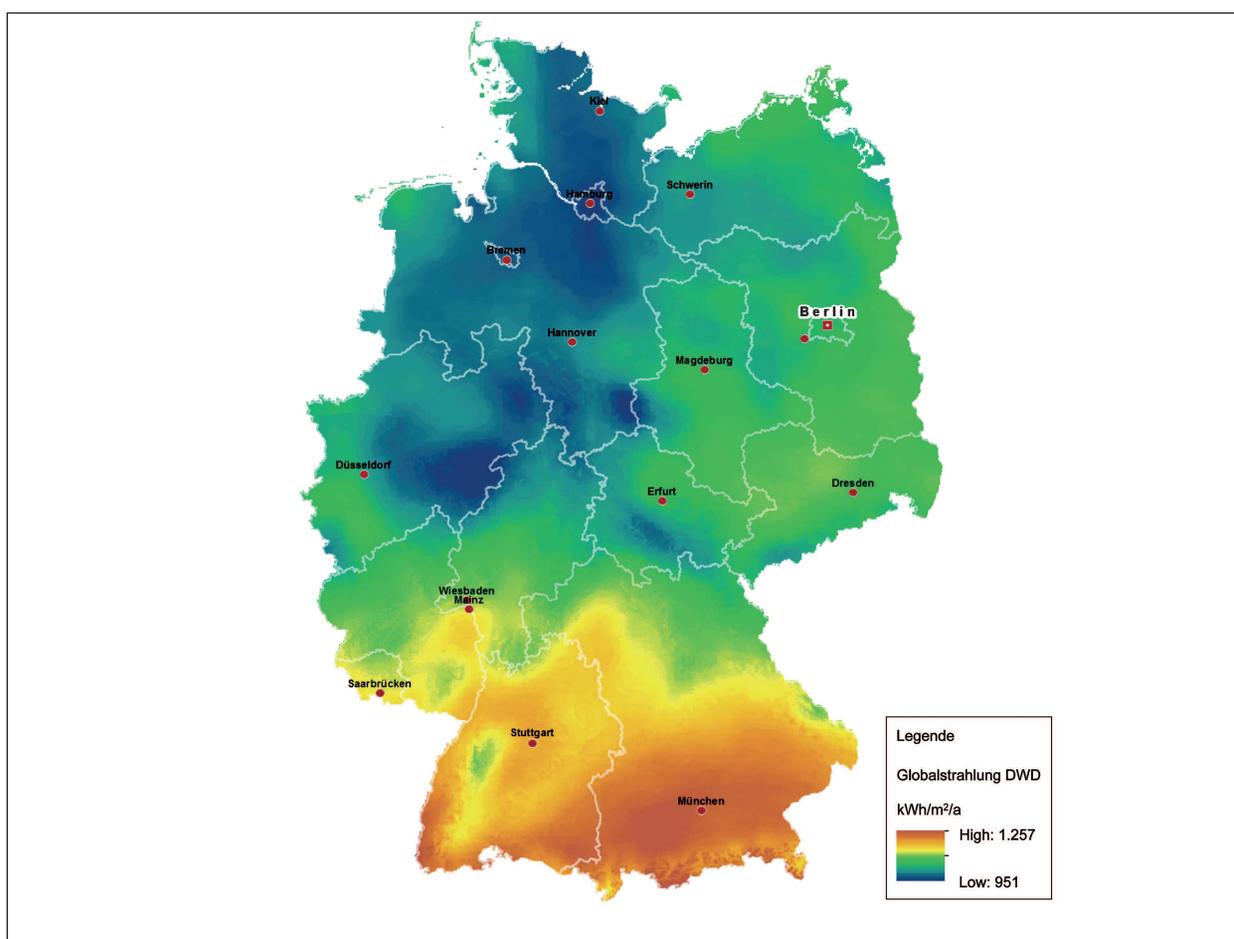


Bild 10: Globalstrahlungskarte des DWD (BRD-Übersicht)

Einschätzung des maximalen Ertragspotenzials ohne Berücksichtigung von ertragsmindernden Effekten. Mit Hilfe von GIS-Verfahren werden die Globalstrahlungswerte des DWD für den Straßenraum und alle uns vorliegenden Lärmschutzanlagen in einem Präprozessierungsschritt im GIS abfragbar zur Verfügung gestellt.

3.3.4 PVGIS

PVGIS ist die Abkürzung für Photovoltaic Geographical Information System. Das Informationssystem wird kostenlos vom Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission entwickelt und zur Verfügung gestellt. Dieser Datensatz kann

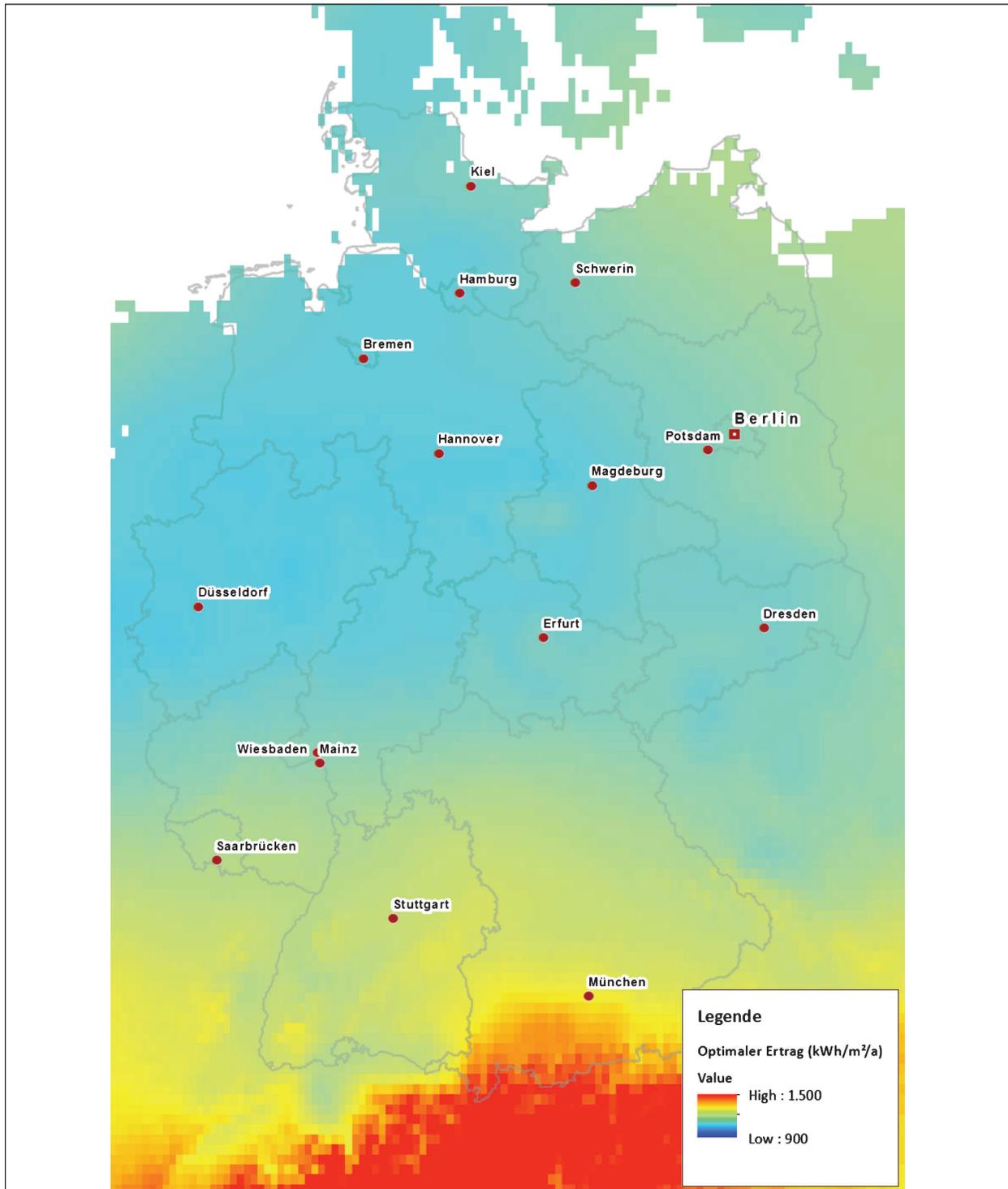


Bild 11: Ausschnitt der PVGIS Einstrahlungsdaten (BRD-Übersicht)

somit als europäische Referenz bezeichnet werden. Die Daten stehen zum Download zur Verfügung und können innerhalb des Forschungsvorhabens verwendet werden.

Bild 12 zeigt die Karte „Optimale Neigung von PV-Modulen in Grad (BRD-Übersicht)“. Aus dieser kann für jeden Punkt im Straßenraum die optimale Neigung von PV-Modulen ermittelt werden.

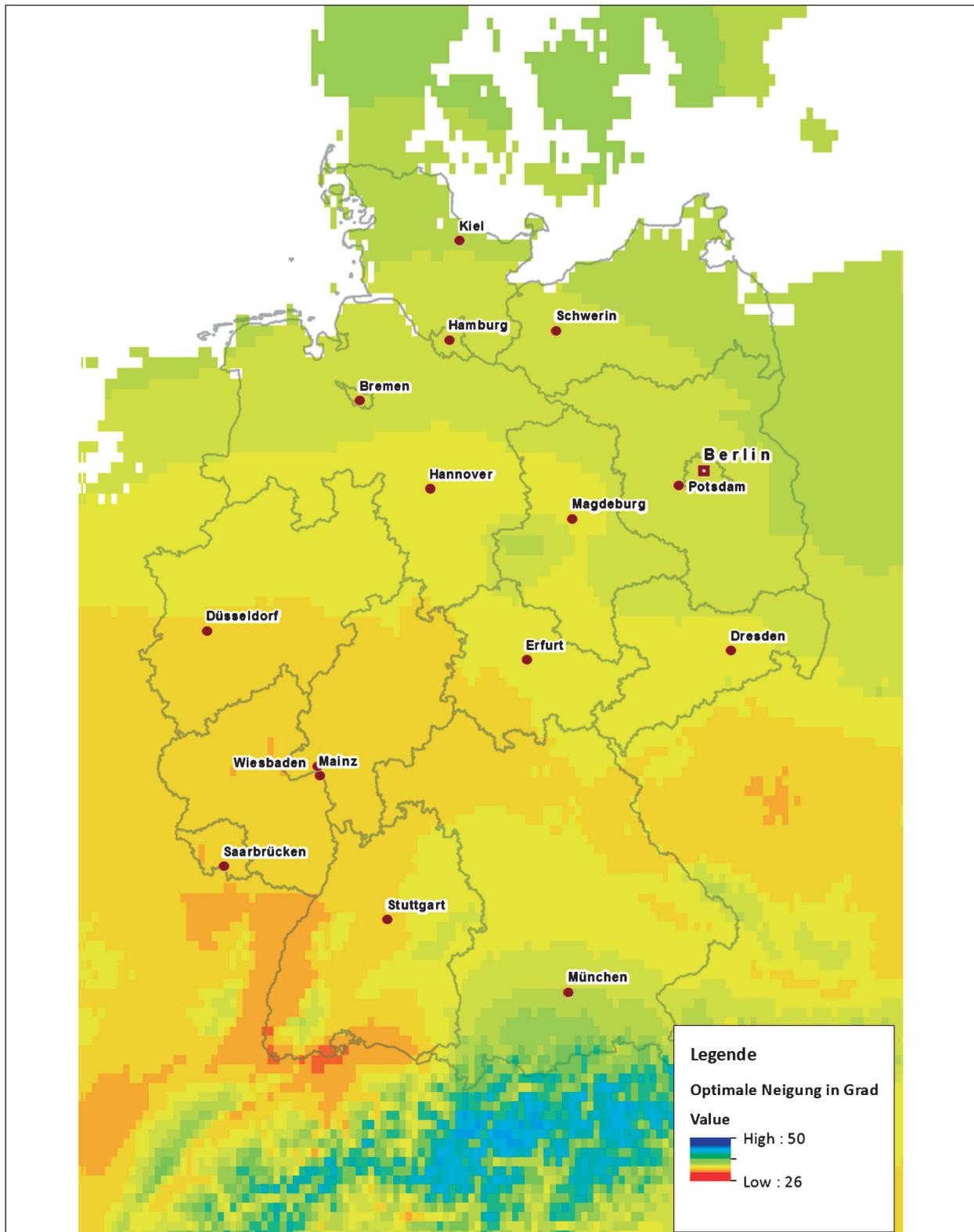


Bild 12: Optimale Neigung von PV-Modulen in Grad (BRD-Übersicht)

3.4 Modulentwicklung zur Ertragsmodellierung

Aus den physikalisch-technischen Grundlagen ergibt sich, dass eine Vielfalt von umgebungsabhängigen Variablen bestimmend für den zu erwarteten Ertrag von Photovoltaikanlagen ist. Eine zweckmäßige Schätzung bzw. Simulation von Erträgen muss diese Faktoren berücksichtigen. Im Folgenden werden kurz die allgemeinen und besonderen Erfordernisse der Solarpotenzialabschätzung für den Zuständigkeitsbereich der BAST erläutert.

3.4.1 Entwicklungsbedarf

Die Einflussgrößen der Ertragsmodellierung wirken in verschiedenen Maßstabsebenen. Bisherige Schätzinstrumente für das Solarpotenzial können insofern als Insellösungen betrachtet werden, als dass nur ein einzelner Betrachtungsmaßstab abgedeckt wurde. Für die vielfältigen Informationsbedürfnisse des Forschungsgebers wurden mehrere abgestimmte Module benötigt, um alle Maßstäbe abzudecken, von einzelnen Bauwerken bis hin zu deutschlandweiten Auswertungen. Des Weiteren müssen die komplexen Berechnungen und vielfältigen Parametrisierungsfragen auch für Nutzer ohne Vorbildung bedienbar gestaltet werden.

3.4.2 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 Anlagensituation 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) und 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 und 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 die Punktwolken ihrerseits erzeugen. Damit können, bei entsprechen-

der 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. Die großflächige Berechnung von Erträgen, z. B. für ein ganzes Bundesland, ist aufgrund der hohen Anforderungen an die Rechnerkapazitäten nicht unmöglich.

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.

Dieser Faktor, der Clearsky-Index, wird in der Regel für mehrere Wetterstationen ermittelt und kann dann mit Hilfe eines Interpolationsverfahrens auf die Fläche kontinuierlich fortgesetzt werden (HOFIERKA & ŠÚRI, 2002). Die Ableitung des Clearsky-Index ist zudem auch auf Basis von kostenpflichtigen Satellitendaten möglich (INZEICHEN, 2011), diese stehen dem Projekt jedoch nicht zur Verfügung.

Auf Basis dieser Berechnungen werden Ausrichtung und Neigungswinkel der Photovoltaikmodule so bestimmt, dass der zu erwartende Ertrag über das Jahr betrachtet maximiert wird (ŠÚRI et al., 2007).

Die Berechnung der einfallenden Sonnenstrahlung in Ansatz II und Ansatz III erfolgt für den gesamten Straßenraum, gegebenenfalls auch darüber hinaus. Zwingend erforderlich für die Modellierung der Globalstrahlung ist nur ein digitales Geländemodell, wie z. B. das DGM10 (Ansatz II) oder ein (vektorbasiertes) 3D-Modell (Ansatz III). Wenn, abgesehen vom Geländemodell, benötigte Eingabedaten fehlen, werden für die Berechnung globale und räumlich konstante Standardwerte herangezogen (z. B. für Clearsky-Index). Die Genauigkeit der über diese Verfahren erzielten Ergebnisse ist jedoch eingeschränkt.

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 zugewandten, als auch der Straße abgewandten Seite der Lärmschutzwand bzw. -wall berechnet werden. Eine noch zu definierende Auswahl an Anlagentypen erlaubt entsprechende Einstellungen.

Basierend auf dem berechneten Solarpotenzial werden für die Lärmschutzwände und -wälle der vorausberechnete Jahresertrag berechnet. Die absolute Energie, die auf eine photovoltaische Anlagenfläche fällt, ergibt sich aus der berechneten Einstrahlungssumme (kWh/m²) multipliziert mit der potenziellen Anlagefläche (m²). Durch die Verrechnung der absoluten Energie mit den Wirkungsgraden der Module und Wechselrichter sowie Faktoren für Leistungsverluste (z. B. Kabelverluste) wird die Gesamteinspeiseleistung (kWh pro Jahr) der Photovoltaikanlage ermittelt. Der spezifische Ertrag (kWh/kWp) einer Photovoltaikanlage ist das Verhältnis von Nutzerertrag und installierter (STC) Modulleistung und wird unter Angabe letzterem (durch den Benutzer) berechnet.

Die Wirkungsgrade marktüblicher Solarmodule variieren je nach Typ zwischen 8 und 27 Prozent (GREEN et al., 2011). Auch die Photovoltaik-Wechselrichter weisen unterschiedliche Wirkungsgrade auf. Durch die laufende Forschung gelingt es die Wirkungsgrade der in den Photovoltaikanlagen verbauten Solarzellen weiter zu optimieren. Eine Festsetzung dieser Werte ist somit nicht sinnvoll. Sie müssen den Herstellerdaten entnommen und von dem Benutzer eingegeben werden. Gleiches gilt für die Wirkungsgrade der Photovoltaik-Wechselrichter.

Wie auch bei der Abschätzung der Globalstrahlung werden zur Berechnung des potenziellen Ertrags bei fehlenden Inputdaten Standard- bzw. Durchschnittswerte herangezogen, die die Genauigkeit der Ergebnisse verringern.

3.5 Qualitätssichernde Maßnahmen

Das Vorhaben beinhaltet die Entwicklung und Durchführung von Qualitätssicherungs (QS)-Maßnahmen. Diese umfassen:

1. die Sichtung und Bewertung der verwendeten Datengrundlage,
2. die Anwendung GIS-gestützter Qualitätssicherungsverfahren, um die topologisch-technische Qualität der Basisdaten und Ergebnisse zu sichern,
3. Luftbildvergleiche zur Überprüfung von Lage und Länge von Lärmschutzeinrichtungen und
4. die Überprüfung der erhaltenen Datenbestände im Gelände unter Durchführung von Stichprobentests zur Vollständigkeit und Erfassungsqualität von Lärmschutzeinrichtungen und Wildbarrieren.

Es wurden mehr als 2.000 km Befahrung von Autobahnen und Bundesstraßen durchgeführt und Video- oder Foto-Dokumentationen erstellt. Die Befahrungsergebnisse wurden mit den uns zur Verfügung gestellten Daten stichprobenartig abgeglichen.

4 Kataster der Lärmschutzeinrichtungen

Für das Kataster der Lärmschutzeinrichtungen wurden neben der BAST-Bauwerksdatenbank zusätzlich sowohl Bauwerksdatenbanken auf Länderebene als auch Länderdatenbestände aus der Lärmkartierung erfasst. Die vorgestellten Ergebnisse beruhen hauptsächlich auf Daten der Länderkartierung, da diese in aller Regel vollständiger und vor allem lagegenauer sind.

4.1 Bundesfernstraßennetz und Straßenraum

Für die Verortung der Lärmschutzeinrichtungen und Wildbarrieren aus der Bauwerksdatenbank wird das Bundesfernstraßennetz aus BISStra verwendet. Das Straßennetz wurde als BISStra-Export im Esri-Shape-Format (BF_Str_V3.shp, Stand 11.06. 2012) zur Verfügung gestellt. Das Straßennetz ist in der Anweisung Straßeninformationsbank Teilsystem: Netzdaten Version 2.02 dokumentiert (BaSt_asb_netzdaten.pdf). Die Daten können in der bereitgestellten Form problemlos in ArcGIS importiert und verwendet werden.

Der exportierte Straßendatensatz beinhaltet nur die Hauptachsen. Die Datenbank enthält 58.302 Segmente mit einer Gesamtlänge von 64.804 km¹. Die statistischen Informationen sind mit Vorbehalt zu interpretieren. Der Datensatz der Hauptachsen beinhaltet ein teilweise in einfacher Linienführung digitalisiertes Straßennetz und ein teilweise in doppelter Linienführung digitalisiertes Liniennetz. Neben den Hauptachsen existiert noch ein Datensatz mit den Geometrien der Nebenachsen (BF_Str_V3_Nebenachsen.shp, 64.799 km Straßennetz). Alle folgenden Angaben und der abgeleitete Straßenraum beziehen sich auf den Datensatz der Hauptachsen.

Bild 13 zeigt die Netzdaten am Frankfurter Kreuz mit mehreren digitalisierten Fahrbahnen. Der blaue



Bild 13: Straßenraum als 100-m-Puffer abgeleitet aus den Netzdaten

¹ Das GIS berechnet 61.706 km. Die Differenz resultiert aus den Unterschieden zwischen den Längenangaben aus BISStra (Spalte „laenge“) und der im GIS berechneten Segmentlänge.

Kreis am linken Rand des Bildes hebt die nach der Kreuzung endende Fahrbahn hervor.

Der Straßenraum wird in Bild 13 als 100-m-Abstandspuffer um die Hauptachsen halbtransparent rot dargestellt. Der Straßenraum deckt insgesamt ca. 10.700 km² ab. Das sind immerhin mehr als zweidrittel der Fläche von Schleswig-Holstein.

Analysiert man das Straßennetz hinsichtlich ihres Verlaufes wird deutlich, dass die beobachteten Himmelsrichtungen nicht gleichmäßig verteilt sind. Bild 15 zeigt die Ergebnisse der Ausrichtungsanalyse. West-Ost verlaufende Straßen sind mit 7.668 km die am häufigsten. Ca. 6.868 km Straßen sind Nord-Süd-ausgerichtet. Am seltensten findet man Straßen mit Nordwest-Südost-Ausrichtung (ca. 5.900 km).

4.2 Lärmschutzbauwerke aus BISStra

In einem ersten Schritt war zu überprüfen, inwiefern die in der Bauwerksdatenbank enthaltenen Lärmschutzanlagen für die Zwecke des Katasters verwendet werden konnten. Ein Auszug der Bauwerksdatenbank wurde als Excel-Export zur Verfügung gestellt, der in dieser Form noch keinen Koor-

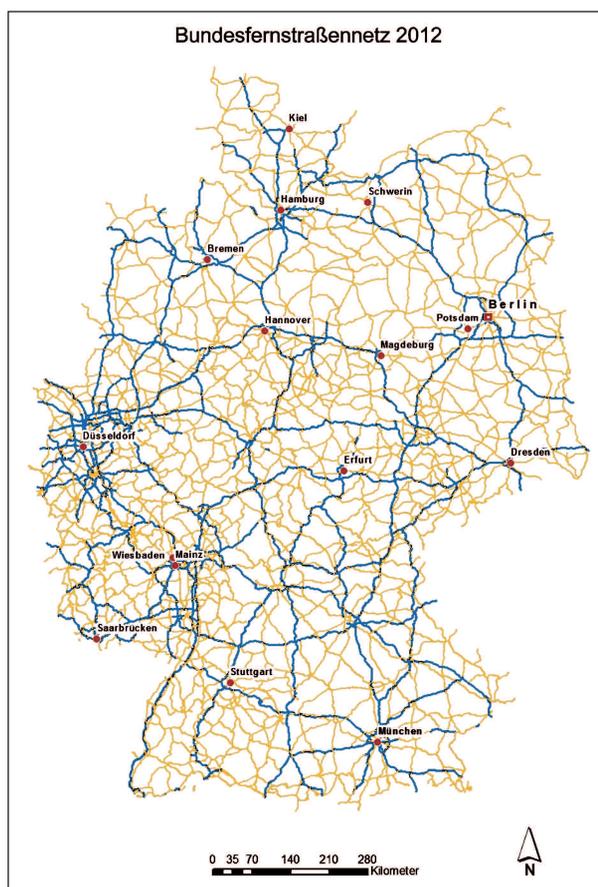


Bild 14: Das Bundesfernstraßennetz (Stand Juni 2012)

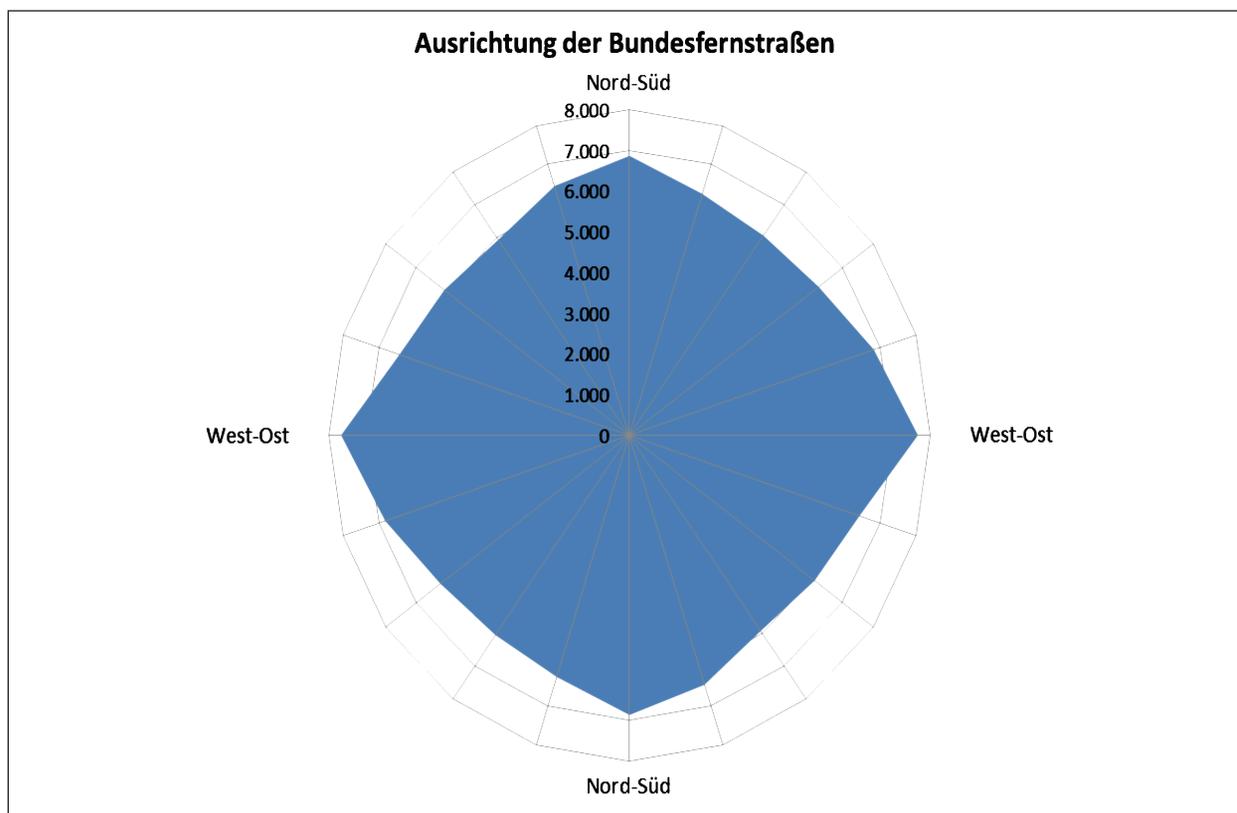


Bild 15: Verteilung der Ausrichtung/Exposition der Straßenachsen der Bundesfernstraßen

datenbezug aufweist. Dieser kann in Verbindung mit den Netzdaten hergestellt werden.

Die Verortungsgenauigkeit der Bauwerke hängt somit entscheidend von den Eigenschaften und der Qualität der Netzdaten ab. Dabei konnte die Verortung der Bauwerksdaten aufgrund der Eigenschaften beider Datensätze nicht vollständig und nicht immer räumlich korrekt vorgenommen werden. Bild 16 zeigt das Verortungsergebnis der BISStra-Bauwerksdatenbank. Tabelle 4 gibt eine statistische

Beschreibung des Inhalts	Anzahl
Zahl der Records (Datensätze) in Excel-Tabelle	10.055
Davon Lärmschutz	9.944
Davon mit Netzzuordnung	8.934
Davon mit Stationierung	8.692
Davon mit Längenangabe	8.341
Davon mit Flächenangabe	8.230
Zahl der verorteten Bauwerke	6.702
Gesamtlänge	1.472 km
Gesamtfläche	5.379.234 m ²

Tab. 4: Statistische Auswertung der BISStra-Bauwerksdatenbank

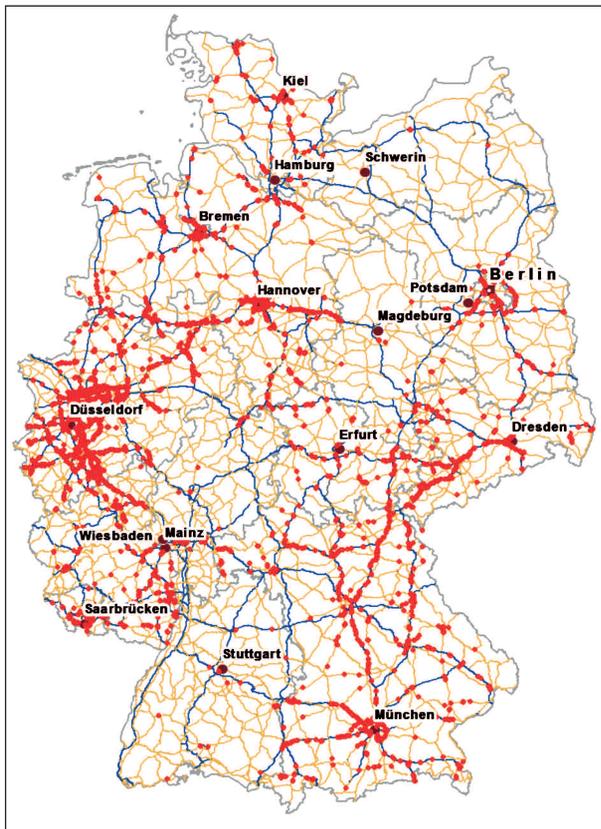


Bild 16: Verortete Lärmschutzeinrichtungen aus der BISStra-Bauwerksdatenbank

Übersicht über die erzielten Ergebnisse. Demnach enthält die Datenbank 9.944 Einträge, die wir als Lärmschutzeinrichtung klassifizieren. 111 Bauwerke wurden als Wildbarriere oder sonstiges Bauwerk klassifiziert. Insgesamt konnten allerdings nur ca. 66 % der Bauwerke zuverlässig verortet werden. Nicht zu verortende Bauwerke wiesen entweder gar keine Netzzuordnung, fehlende Stationierungsinformation oder keine Längeninformation auf.

Bild 17 zeigt die Übersichtskarte auf Länderebene über den Bestand von LSE innerhalb der BISStra-Bauwerksdatenbank. Die Farbe gibt auf das Bundesland bezogen die Summe der Längen der Lärmschutzeinrichtungen bezogen auf die Bevölkerung des Bundeslandes an. In den Bundesländern mit orangener Färbung sind besonders wenige LSE in der Datenbank enthalten. Tabelle 5 gibt die Inhalte dieser Karte in tabellarischer Form wieder. Die 6.702 erfassten LSE haben insgesamt eine Länge von ca. 1.500 km. In der Tabelle sind die Bundesländer mit einer LSE Dichte von > 0,03 m/Einwohner dunkelgrün hinterlegt. Bundesländer mit einer LSE Dichte von > 0,02 <= x < 0,03 m/Einwohner sind hellgrün hinterlegt. Dieselbe Erfassungsmethodik bei den Landesbehörden vorausgesetzt, sollte man erwarten, dass dieser LSE Dichteindex in allen Bundesländern eine ähnliche Größenordnung aufweist.

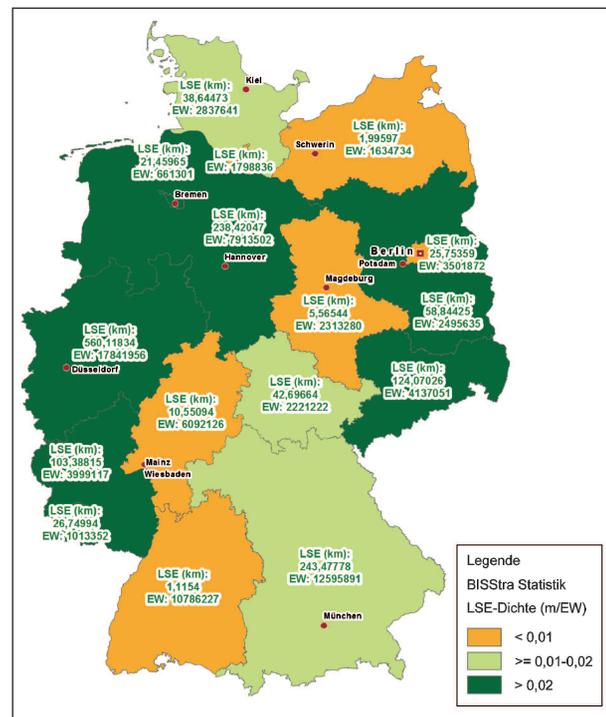


Bild 17: Übersichtskarte auf Länderebene über den Bestand von LSE innerhalb der BISStra-Bauwerksdatenbank

Land	Landesfläche (km ²)	Einwohner (EW)	Anzahl LSE	Länge (m) aus BISStra	LSE Fläche (m ²)	LSE Dichte (m/EW)
Baden-Württemberg	35.751	10.786.227	15	1.115	3.381	0,0001
Bayern	70.550	12.595.891	819	243.478	832.376	0,0193
Berlin	888	3.501.872	91	25.754	75.199	0,0074
Brandenburg	29.483	2.495.635	106	58.844	255.997	0,0236
Bremen	419	661.301	76	21.460	83.263	0,0325
Hamburg	755	1.798.836	0	0	0	0,0000
Hessen	21.115	6.092.126	41	10.551	44.759	0,0017
Mecklenburg-Vorpommern	23.191	1.634.734	4	1.996	4.082	0,0012
Niedersachsen	47.613	7.913.502	980	238.420	915.257	0,0301
Nordrhein-Westfalen	34.092	17.841.956	3.292	560.118	2.025.004	0,0314
Rheinland-Pfalz	19.854	3.999.117	343	103.388	320.694	0,0259
Saarland	2.569	1.013.352	68	26.750	78.892	0,0264
Sachsen	18.420	4.137.051	584	124.070	488.053	0,0300
Sachsen-Anhalt	20.450	2.313.280	25	5.565	19.814	0,0024
Schleswig-Holstein	15.799	2.837.641	146	38.645	137.882	0,0136
Thüringen	16.173	2.221.222	112	42.697	152.807	0,0192
BRD	357.121	81.843.743	6.702	1.502.852	5.437.460	0,0184

Tab. 5: Statistische Übersicht der in der Bauwerksdatenbank enthaltenen LSE auf Länderebene

4.3 Erfassungsstand nach Ergänzung durch Daten auf Landesebene

Insgesamt wurden 26 Landesbehörden zum Zweck der Beschaffung von Daten zu Lärmschutzeinrichtungen und mit der Bitte um Unterstützung des Vorhabens kontaktiert. Im Ergebnis wurden bis zum Abschluss des Vorhabens aus 15 Bundesländern Daten zu Lärmschutzeinrichtungen geliefert. Tabelle 6 bietet eine Übersicht aus welchen Ländern Daten zur Verfügung gestellt wurden. Dabei hat sich die Erwartung bestätigt, dass die im Rahmen der Umweltlärmmrichtlinie erfassten Daten als deutlich vollständiger zu bewerten sind, als die Daten aus der Bauwerksdatenbank.

Bild 18 zeigt die Übersicht über den Erfassungsstand nach Abschluss des Vorhabens von Lärmschutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen. In hellroter Farbe sind dabei die aus zusätzlichen Recherchen erfassten Lärmschutzeinrichtungen abgebildet.

Ein eindeutiges Bild ergibt sich aus dem Vergleich der statistischen Auswertung beider Datenquellen. Mit fast 4.798 km LSE gegenüber ca. 1.500 km LSE, die in BISStra erfasst sind, lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die BISStra-Bauwerksdatenbank sehr unvollständig ist. Selbst in

Land	ULR-Daten	Bauwerksdaten
Baden-Württemberg	x	
Bayern	x	x
Berlin	x	
Brandenburg	x	x
Bremen	x	
Hamburg	x	
Hessen	x	
Mecklenburg-Vorpommern		x
Niedersachsen	x	
Nordrhein-Westfalen	x	
Rheinland-Pfalz		x
Saarland		x
Sachsen	x	
Sachsen-Anhalt		x
Schleswig-Holstein	x	x
Thüringen	x	

Tab. 6: LSE aus Daten der Bundesländer (Übersicht nach Bundesland)

vermeintlich gut dokumentierten Bundesländern sind in den ULR Daten die zwei- bis vierfache Anzahl und Länge an LSE erfasst.

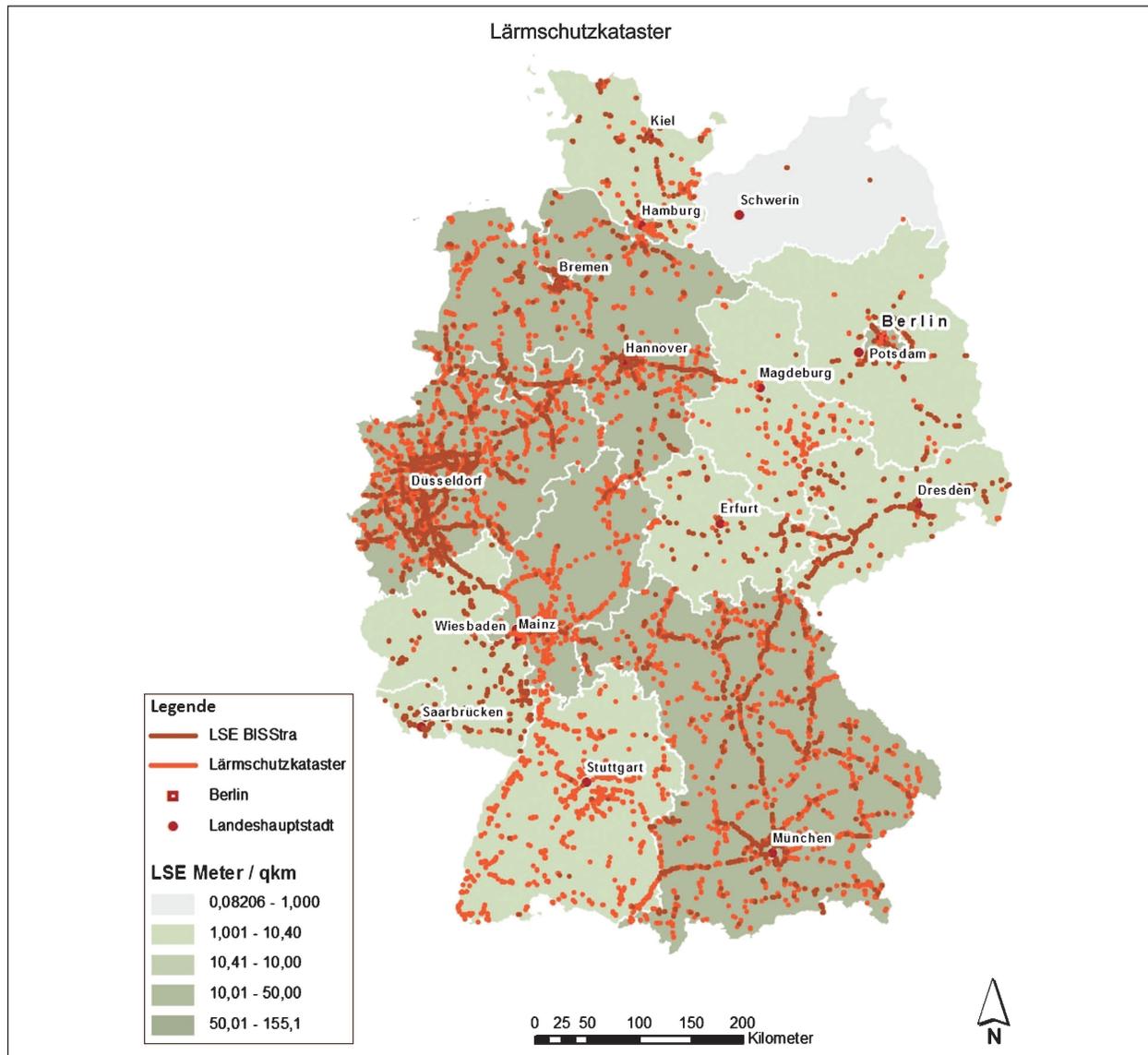


Bild 18: Lärmschutzeinrichtungen an Bundesverkehrswegen. Übersicht über den Erfassungsstand nach Abschluss des Vorhabens

Wie schon eingangs erwähnt, wurden die Daten in sehr unterschiedlichen Datenformaten und Qualitäten geliefert. Die Ausgangsdaten wurden in einem aufwändigen Verfahren in ein einheitliches Datenmodell überführt, analysiert und für die weiteren Ertragsberechnungen zur Verfügung gestellt.

Die abschließende Zusammenführung stellt sicher, dass ein Maximum an LSE im Zieldatensatz enthalten ist. Eine tabellarische Übersicht über die erfassten LSE im Straßenraum bietet Tabelle 7. In dieser Tabelle wurde die LSE Dichte (Länge der LSE/je Einwohner) für jedes Bundesland berechnet und den Ergebnissen aus Tabelle 5 gegenübergestellt.

Bild 18 gibt auch eine Übersicht über die Dichte von LSE (Länge in Metern pro km²) auf Bundesland-

ebene. Die mit Abstand höchste Dichte an LSE hat das Bundesland Bremen (155 m LSE/km²). Mit großem Abstand folgen Hamburg, Bremen und Nordrhein-Westfalen mit erfassten 40-50 m LSE/km². Das einzige Bundesland, in dem zurzeit noch keine verwertbaren Daten zu LSE vorliegen ist das Land Mecklenburg-Vorpommern. ULR Daten konnten hier bisher nicht zur Verfügung gestellt werden. Die Lärmschutzeinrichtungen aus der Bauwerksdatenbank wurden als Tabelle und nicht als GIS-Datensatz zur Verfügung gestellt. Über das Straßennetz kann zwar eine ungefähre Verortung der einzelnen Bauwerke mit Hilfe der Stationierungspunkte erfolgen, da jedoch die Längenangaben fehlen, ist eine Erzeugung von Linien nicht möglich.

Im Lärmschutzkataster werden folgende Kategorien von Lärmschutzbauwerken aufgeführt:

Land	Statistik BRD	LSE Straßenraum Statistik	
	Einwohner	Länge [m]	LSE Dichte (m/EW)
Baden-Württemberg	10.786.227	316.279	0,0293
Bayern	12.595.891	1.032.210	0,0819
Berlin	3.501.872	43.353	0,0124
Brandenburg	2.495.635	94.498	0,0378
Bremen	661.301	63.758	0,0964
Hamburg	1.798.836	30.617	0,0170
Hessen	6.092.126	405.137	0,0665
Mecklenburg-Vorpommern	1.634.734	1.996	0,0012
Niedersachsen	7.913.502	626.511	0,0792
Nordrhein-Westfalen	17.841.956	1.643.138	0,0921
Rheinland-Pfalz	3.999.117	117.628	0,0294
Saarland	1.013.352	26.750	0,0264
Sachsen	4.137.051	137.064	0,0331
Sachsen-Anhalt	2.313.280	77.151	0,0334
Schleswig-Holstein	2.837.641	115.425	0,0407
Thüringen	2.221.222	69.802	0,0314
BRD	81.843.743	4.801.246	0,0587

Tab. 7: Erfasste LSE nach Abschluss des Vorhabens (Übersicht nach Bundesland)

- Lärmschutzwand,
- Lärmschutzwall,
- Wall/Wand,
- Lärmschutzbauwerk,
- Lärmschutzsteilwall,
- Stützbauwerk,
- Glaswand,
- Holzwand,
- Gabione,
- Geländeeinschnitt,
- Mittelwand,
- Seitenablagerung,
- Sichtschutz,
- Sonstiges,
- unklassifiziert.

Detaillierte Informationen zu den Daten der einzelnen Bundesländer werden in einem intern verfügbaren Datenkatalog vorgehalten.

4.4 Diskussion der Ergebnisse

Für die weitere Verwendung der Daten stellen sich Fragen der attributiven Qualität, der Aktualität und Vollständigkeit der erfassten Lärmschutzeinrichtungen.

4.4.1 Attributive Qualität

In Tabelle 3 wurde bereits dargestellt, dass nur 66 % der in der Bauwerksdatenbank vorhandenen LSE ausreichend genau verortet werden konnten. Dies ist dadurch zu begründen, dass in zahlreichen Fällen die im Datenmodell vorgesehenen Felder nicht mit Werten gefüllt wurden. Eine Vervollständigung der Daten hinsichtlich ihrer Stationierung, Länge und Fläche ist geeignet, die Ergebnisse dieses Vorhabens noch deutlich zu verbessern. Von großem Nachteil ist der dem Datenmodell geschuldete Umstand, dass die Bauwerksdaten der BASt nicht lagegenau verortet werden können. So erlaubt es das Datenmodell zwar, die Lage entlang der Strecke zu bestimmen, es ist jedoch nicht möglich, den korrekten Seitenabstand von der Straßenachse und die Straßenseite entlang des Straßennetzes automatisiert zu bestimmen. Hier bieten die im Rahmen der ULR erhobe-

nen GIS-Daten der Landesbehörden deutliche Vorteile in puncto Lagegenauigkeit. Für die Ertragsmodellierung werden in erster Linie die Geometrie- und lagebeschreibenden Attribute benötigt. Vor allem geometriebeschreibende Attribute, wie Höhe ü. N. N. und Höhe der Lärm-schutzeinrichtung werden leider nur unvollständig und nicht einheitlich erfasst. Hier wäre es von großem Vorteil, wenn einheitliche Datenmodelle verwendet werden. Um die Höhe ü. N. N. vorzuhalten, empfiehlt es sich z. B. die LSE im Shape-Format mit Z-Werten zu vereinbaren.

4.4.2 Aktualität

Da die Behörden auf Landesebene sehr unterschiedliche Arbeits- und Zeitpläne verfolgen, liegen die Daten dort auch in sehr unterschiedlichen Zeitständen vor. Die kontinuierliche Fortführung der Datenbestände ist in aller Regel nicht gesichert.

Grundsätzlich besteht seitens der für die Lärmkartierung zuständigen Ansprechpartner auf Länderebene ein großes Interesse an einem zentralen bundesweiten Lärmschutzkataster, das regelmäßig fortgeführt wird. Der Stand der einzelnen Datenquellen wird im intern verfügbaren Datenkatalog dokumentiert.

4.4.3 Vollständigkeit

Als wesentlicher Baustein für die Überprüfung der zur Verfügung gestellten Datenbanken dienen stichprobenartige Erhebungen. Es war im Vorfeld bekannt, dass sowohl BISStra-Bauwerke als auch Daten der Lärmkartierung nicht alle LSE beinhalten. Es fehlt bisher jedoch an quantitativen Informationen über den Grad der Vollständigkeit. Ein weiteres Ziel der Befahrungen ist es, eine Einschätzung über die Qualität der Bauwerksattribute zu erhalten. So kann z. B. durch die Befahrung die angegebene Länge und Lagegenauigkeit einer LSE überprüft werden.

Es wurden ca. 2.000 km Bundesverkehrsstraßen befahren und ausgewertet. Tabelle 8 zeigt beispielhaft die Auswertung einer QS-Fahrt. Dabei wurden deutliche Unterschiede zwischen den Angaben der Bauwerksdatenbank und der Realsituation vor Ort festgestellt. Dabei fehlten Bauwerke teilweise vollständig. Teilweise wurden diese durch fehlende oder unvollständige Daten nicht korrekt abgebildet.

In der statistischen Erhebung (Tabelle 1) wird eine Zahl von 3.414 km LSE (Stand 2011) genannt. Das Lärmschutzkataster umfasst LSE mit einer Gesamtlänge von 4.801 km (!), d. h. 140 % der statistisch erfassten LSE. Eine Erklärung für diese

Wand-Nr.	Länge GPS (in m)	Länge BISStra (in m)	Differenz	Vollständigkeit
1	2.876	2.047	829	fehlt teilweise
2	2.681	3.264	-583	Überlagerung
3	865	192	673	fehlt teilweise
4	1.102	0	1.102	fehlt vollständig
5	832	808	24	korrekt
6	1.101	0	1.101	fehlt vollständig
7	743	0	743	fehlt vollständig
8	562	542	20	korrekt
9	1.300	1.793	-493	korrekt (Ausfahrt)
10	2.041	1.824	217	korrekt
11	182	0	182	fehlt vollständig
12	602	343	259	fehlt teilweise
13	1.871	1.862	9	korrekt
14	1.145	1.880	-736	korrekt (Ausfahrt)
15	1.357	1.391	-33	korrekt
Summe	18.759	15.946	2.813	

Tab. 8: Beispielhafte Auswertung einer QS-Fahrt

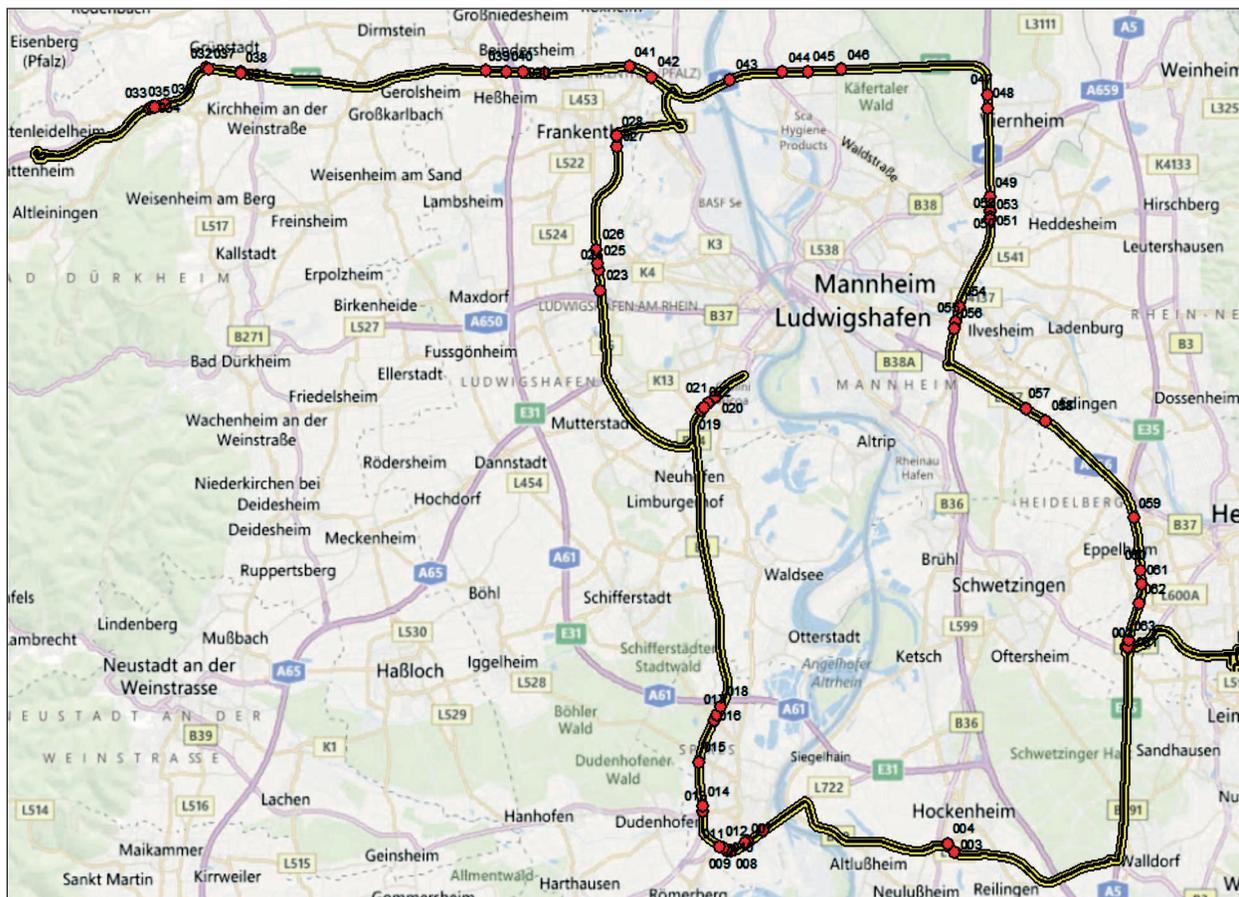


Bild 19: Beispielfahrt: HD-Hockenheim-LU-Frankental-Wattenheim-Viernheim-HD

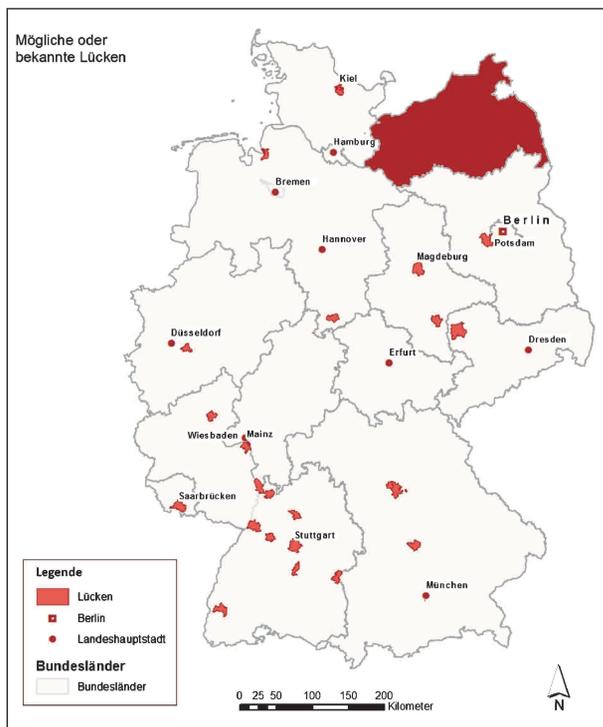


Bild 20: Mögliche oder bekannte Lücken des Lärmschutzkatalogs

Differenz kann derzeit noch nicht gegeben werden. Andererseits ist davon auszugehen, dass die Erfassung sicherlich nicht eine vollständige Übersicht der LSE bietet. Die bekannte Lücke in Mecklenburg-Vorpommern wurde bereits diskutiert. Weitere bekannte Datenlücken existieren in den Ballungsräumen, die eigene Lärmkartierungen durchgeführt haben. In mehreren Bundesländern wurden diese nicht zentral zusammengeführt. Eine Übersicht gibt Bild 20.

5 Kataster der Wildbarrieren

5.1 Linienhafte Strukturen

Daten zu Schutzeinrichtungen für Tiere entlang von Straßen wurden von den Ländern Brandenburg, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen zur Verfügung gestellt. Bzgl. der Schutzeinrichtungen für Tiere ist die Datenerfassung für Thüringen noch nicht abgeschlossen.

Tabelle 9 und Bild 21 geben einen Überblick über die erfassten linearen Schutzeinrichtungen entlang von Straßen. Die Spalte „BFStr“ im GIS-Datensatz erlaubt die Unterscheidung zwischen Bundesfernstraßen und übrigen Straßen.

In den Datensätzen werden folgende Kategorien von Schutzeinrichtungen aufgeführt:

- Wildschutzzaun,
- Schutzeinrichtung für Amphibien,
- Wild- und Amphibienschutz,
- passive Schutzeinrichtung,
- Schutzplanken,
- Stützwand,
- Fischotterschutzzaun,
- Leitzaun für Fischotter,
- Amphibiendurchlass,
- Fischotter-/Kleinwilddurchlass,
- Wildbrücke/-durchlass,
- Schneefangzaun,
- Viehtrift/Punktobjekt,
- Wildroste,
- Wildwarnanlage,

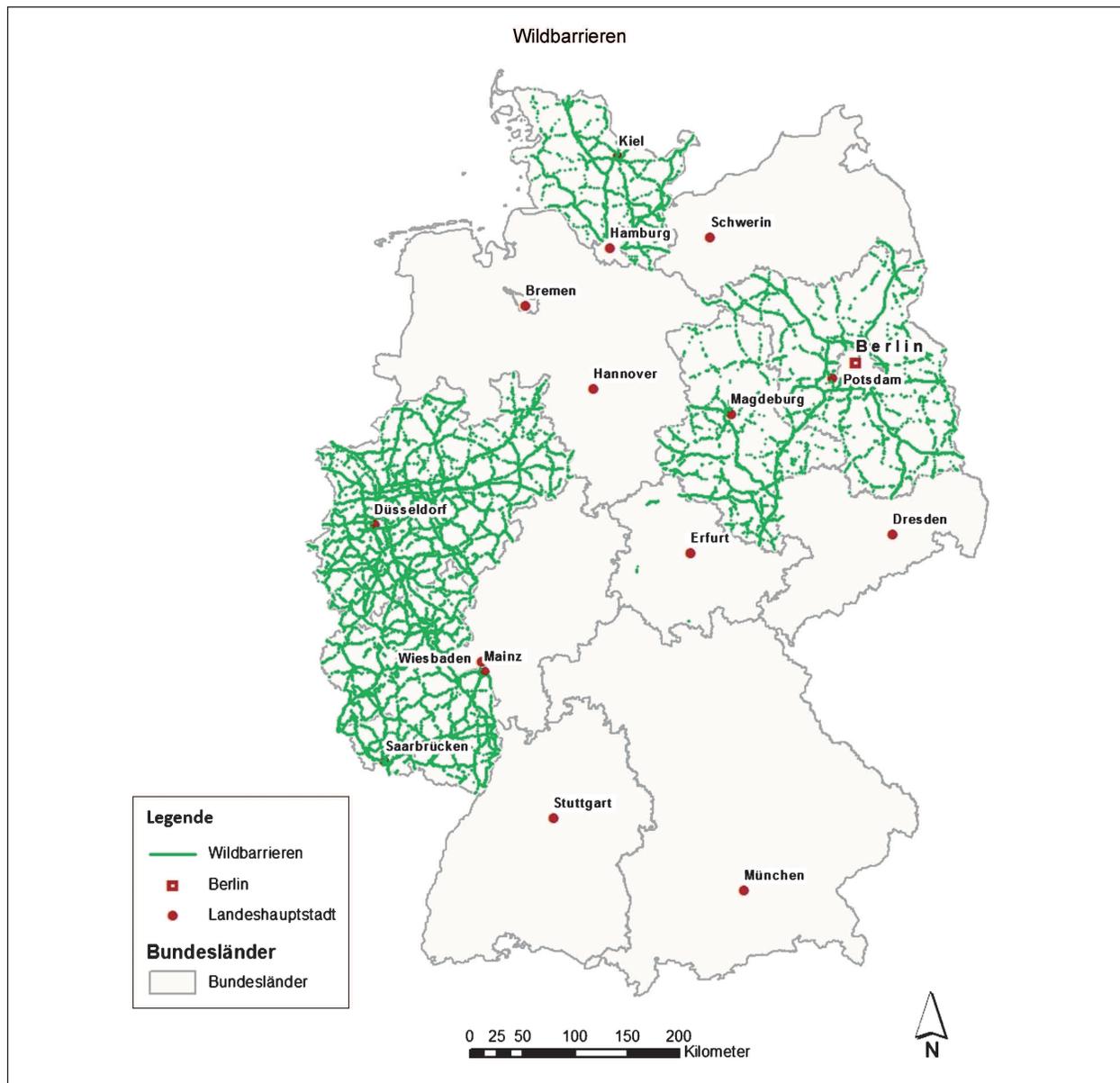


Bild 21: Erfasste lineare Wildbarrieren an Bundesfernstraßen

Land	Gesamt (km)	Ohne Schutzplanken (km)
Brandenburg	5.786	1.171
Nordrhein-Westfalen	15.166	1.664
Rheinland-Pfalz	5.551	1.104
Saarland	1.462	264
Sachsen-Anhalt	3.531	652
Schleswig-Holstein	2.510	732
Thüringen	30	24
Gesamt	34.036	5.611

Tab. 9: Statistischer Überblick über die Schutzeinrichtungen nach Bundesländern

- Wildwechsel Fischotter/Kleinwild,
- Wildwechsel Großwild, sonstige.

In Tabelle 9 wird deutlich, dass ein Großteil der Schutzeinrichtungen aus Schutzplanken unterschiedlicher Ausprägung resultiert.

5.2 Flächenhafte Wildbarrieren

HÄNEL & RECK (2011, S. 32) geben eine Übersicht der als Wildbarrieren eingestuften Objektarten des Basis-DLM. Aus diesem lassen sich flächenhaft vorliegende Wildbarrieren ableiten,

OBA	OBA Basis-DLM	OBA	OBA Basis-DLM
2101	Ortslage	2311	Gradierwerk
2111	Wohnbaufläche	2314	Absetzbecken, Schlammteich, Erdfaulbecken
2112	Industrie- und Gewerbefläche	2316	Turm
2113	Fläche gemischter Nutzung	2317	Schornstein, Schlot, Esse
2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung	2319	Brunnen
2122	Deponie	2323	Dock
2123	Raffinerie	2342	Spielfeld, Spielfläche
2124	Werft	2345	Schwimmbecken
2126	Kraftwerk	3103	Platz
2127	Umspannstation	3105	Straßenkörper
2128	Förderanlage	3204	Bahnkörper
2129	Kläranlage, Klärwerk	3301	Flughafen
2131	Ausstellungsgelände, Messegelände	3302	Flugplatz, Landeplatz
2132	Gärtnerei	3303	Rollbahn
2133	Heizwerk	3304	Vorfeld
2134	Wasserwerk	3401	Hafen
2135	Abfallbehandlungsanlage	3501	Bahnhofsanlage
2201	Sportanlage	3502	Raststätte
2202	Freizeitanlage	3503	Verkehrsknoten
2211	Freilichttheater	3511	Grenzübergang
2212	Freilichtmuseum	5302	Talsperre, Wehr
2213	Friedhof	5303	Schleuse
2221	Stadion	5304	Schleusenammer
2222	Sportplatz	5321	Uferbefestigung
2223	Schießanlage		
2224	Schwimmbad, Freibad		
2225	Zoo		
2226	Freizeitpark, Safaripark, Wildgehege		
2228	Campingplatz		
2229	Autokino, Freilichtkino		

OBA = Objektart

Tab. 10: Flächenhafte Barrieren aus dem Basis-DLM nach HÄNEL & RECK (2011)

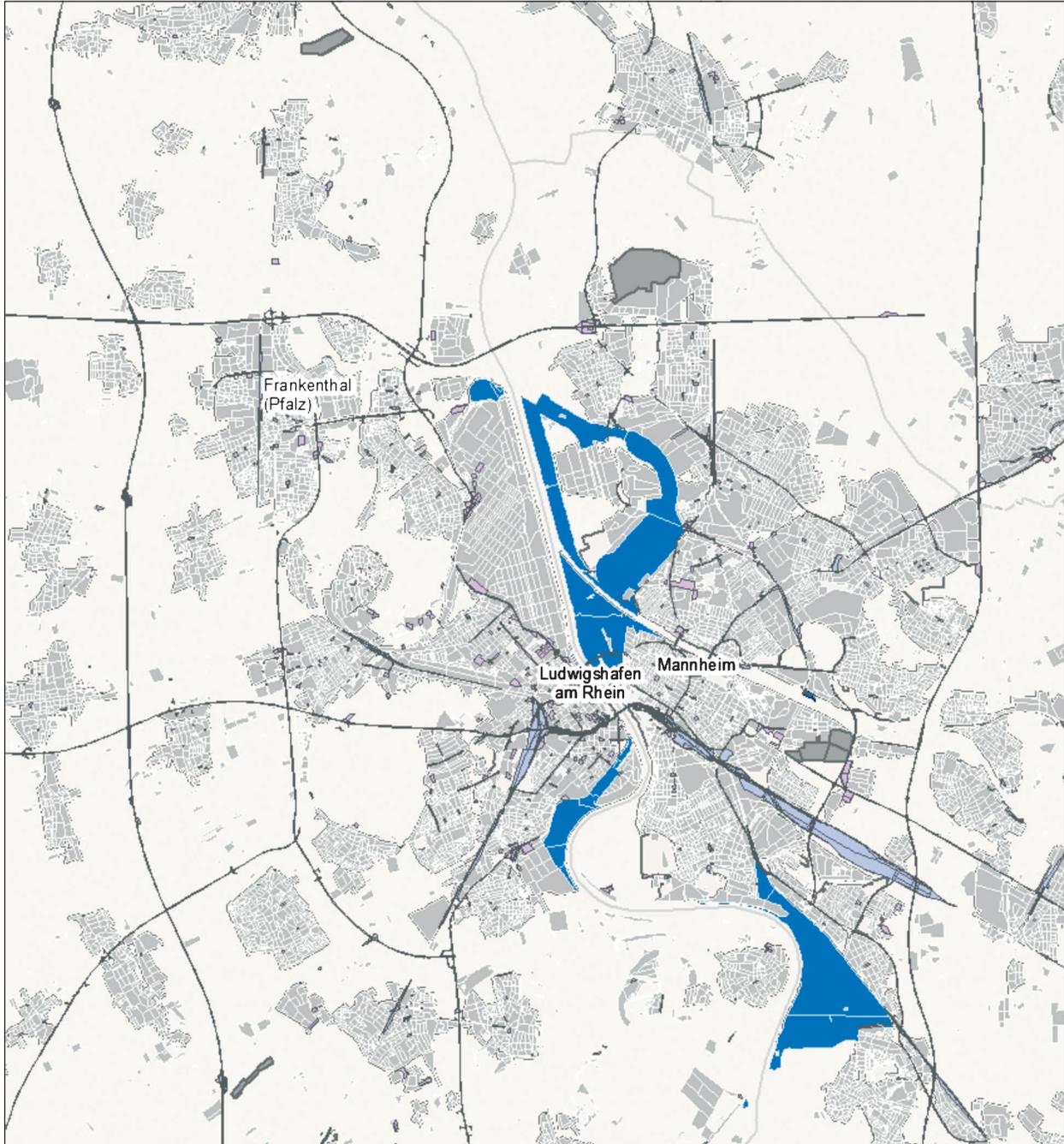


Bild 22: Flächenhafte Wildbarrieren nach HÄNEL & RECK (2011) (Ausschnitt Mannheim/Ludwigshafen)

kartografisch darstellen und analysieren. Die als flächenhafte Wildbarrieren eingestufteten Objektarten beziehen sich auf das Basis-DLM in seiner alten Struktur. Eine Zuordnung zum neuen Datenmodell ist nur eingeschränkt möglich, da eine grundlegende Veränderung der Attributstruktur erfolgt ist. Bisher konnte über die Objektart eine Zuordnung erfolgen. Im AAA-Fachschemata werden die Fachobjekte nun mit ihren Attributen beschrieben und die Objektart bildet dabei eine übergeordnete Ebene. Zudem sind vereinzelt Objektarten zusammengefasst aber auch weiter differenziert wor-

den, sodass eine neue Einstufung der flächenhaften Wildbarrieren auf Grundlage des AAA-Datenmodells erfolgen muss.

6 Ertragspotenzial

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

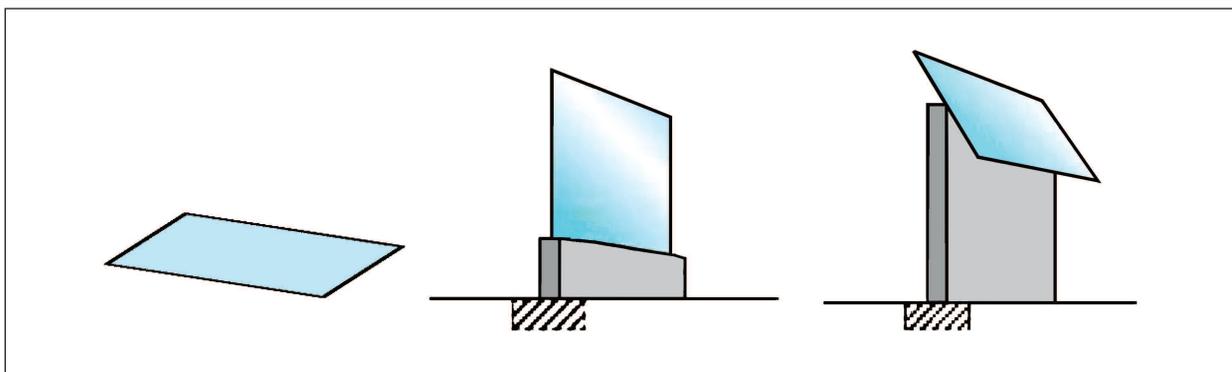


Bild 23: Schematische Darstellung von horizontal, bifazial und optimal geneigt verbauten PV-Modulen

Modulen vornehmlich umgesetzten Betrachtungsfälle (Bild 23) erfassen methodisch die relevanten Berechnungsmethoden. Durch angepasste Parameterwahl für die Flächenberechnung durch den Endnutzer können komplexere Verbauungsarten wie z. B. Kassettenbauweisen problemlos modelliert werden.

6.1 Ergebnisse der Modulentwicklung

Die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse beziehen sich immer auf ein Ertragspotenzial, d. h. auf einen theoretischen Maximalwert unter den gegebenen Strahlungsbedingungen bei einem PV-Modulwirkungsgrad von 100 %. Ertragsmindernde Einflüsse auf den technischen Wirkungsgrad können mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht allgemein modelliert werden. Wichtige ertragsmindernde Einflüsse wie z. B. Teilverschattungen können jedoch erkannt werden, sobald die technischen Spezifikationen klar sind.

6.1.1 Straßenraum, Extraktion

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*1 km, 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 Sonneneinstrahlung [kWh/m²] für jeden Straßenabschnitt innerhalb des Straßenraums. 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.

6.1.2 Betrachtung von konkreten Bauwerken, regional

Modul 2 leitet die Sonneneinstrahlung [kWh/m²] 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 Solarpotenzial berechnet. Das Ergebnis des Moduls 2 ist die Solarstrahlung [kWh/m²] für jede Lärmschutzwand. Die Werte werden als attributive Erweiterung an die Input Feature Class angehängt.

Die räumliche Variabilität der atmosphärischen Trübung und der Einfluss von regionaler Bewölkung

wird in einer nachträglichen Gesamtkorrektur berücksichtigt. Da die Neigung der Einstrahlungsfläche das Verhältnis zwischen direkter zu diffuser Einstrahlung beeinflusst (HOFIERKA & ŠÚRI 2002), werden verschiedene Korrekturlayer herangezogen. Der atmosphärische Einfluss in Abhängigkeit der Neigung kann so für alle Betrachtungsfälle berücksichtigt werden.

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.

6.1.3 3D-Modellierung, lokal

Das 3. Modul berechnet die Sonneneinstrahlung für die 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 & ŠÚRI 2002. Die Implementierung ist für 3D-Laser-scanning Punktwolken erweiterbar. Nachdem das Solarpotenzial für alle auf einer Lärmschutzwand liegenden Punkte berechnet wurde, werden die Werte aggregiert und für jede Lärmschutzwand ausgegeben. Dargestellt wird das Ergebnis als attributive Erweiterung der Input-Feature-Class.

Basierend auf den Ergebnissen der Module 1-3, bietet Modul 4 die Möglichkeit, die potenzielle Gesamtjahreseinspeiseleistung (in kWh) der kombinierten PV-Lärmschutzwand-Systeme abzuschätzen. Als Input wird ein Straßen- oder Lärmschutzwand-Layer angegeben für den bereits die Solarstrahlung berechnet wurde. Unter Angabe des Systemwirkungsgrads wird die Gesamtjahreseinspeiseleistung abgeschätzt.

Bild 24 zeigt ein Beispiel für eine lokale 3D-Modellierung am Beispiel Heidelberg, Berliner Straße/ Ecke Mönchhofsstraße. Die projektierte LSW in der Mönchhofstraße zeigen durch die Südexposition höhere Potenzialwerte als die Nord-Süd-ausgerichtete Anlage in der Berliner Straße. Der Abschattungseffekt in Bodennähe ist deutlich zu erkennen.

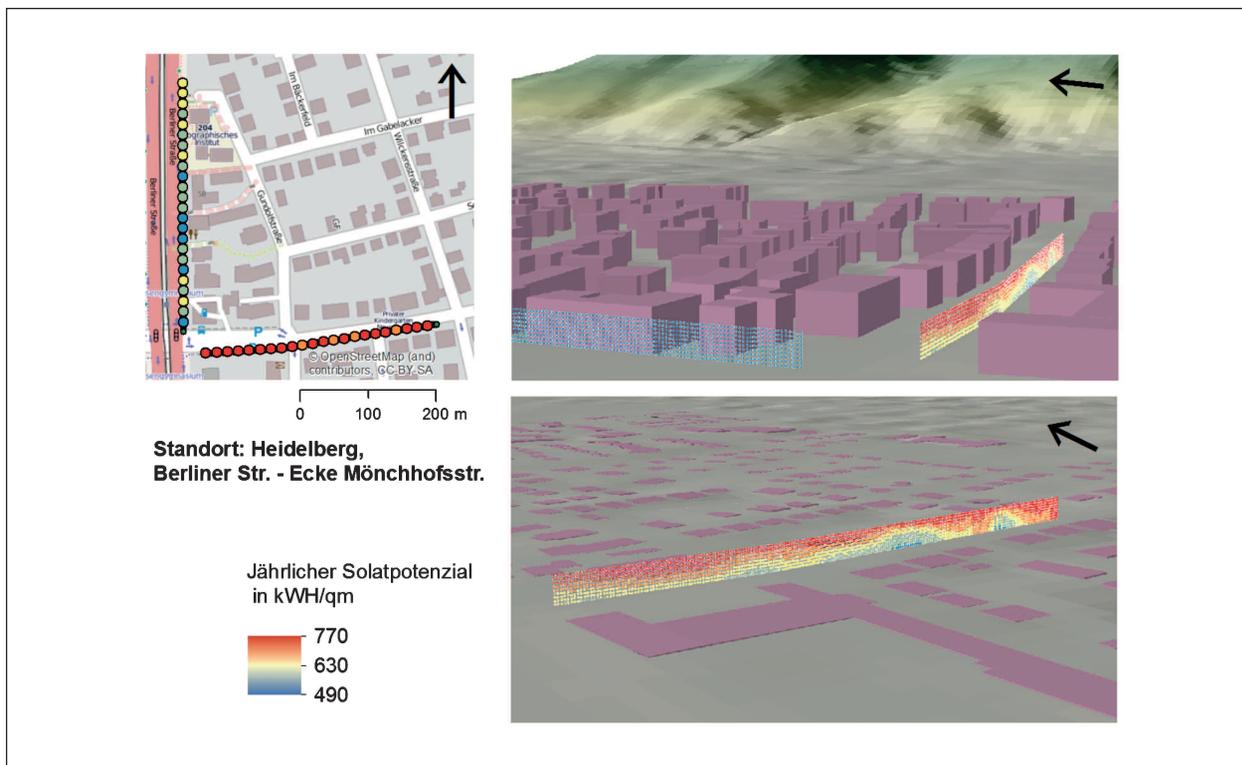


Bild 24: Beispiel für eine lokale 3D-Modellierung, hier Heidelberg, Berliner Straße/Ecke Mönchhofsstraße

6.2 Straßenraum

Für den Straßenraum des Bundesfernstraßennetzes mit Stand 2012 ergibt sich aus der Modellierung mit SolarTools Teilmodul 01_Strassenraum

eine Summe an einfallender Strahlung für horizontal ausgebrachte PV-Module von etwa 10.000 TWh pro Jahr (der Gesamtverbrauch in Deutschland an elektrischem Strom lag 2010 bei etwa 610 TWh). Dies verwundert nicht, wenn man bedenkt, dass

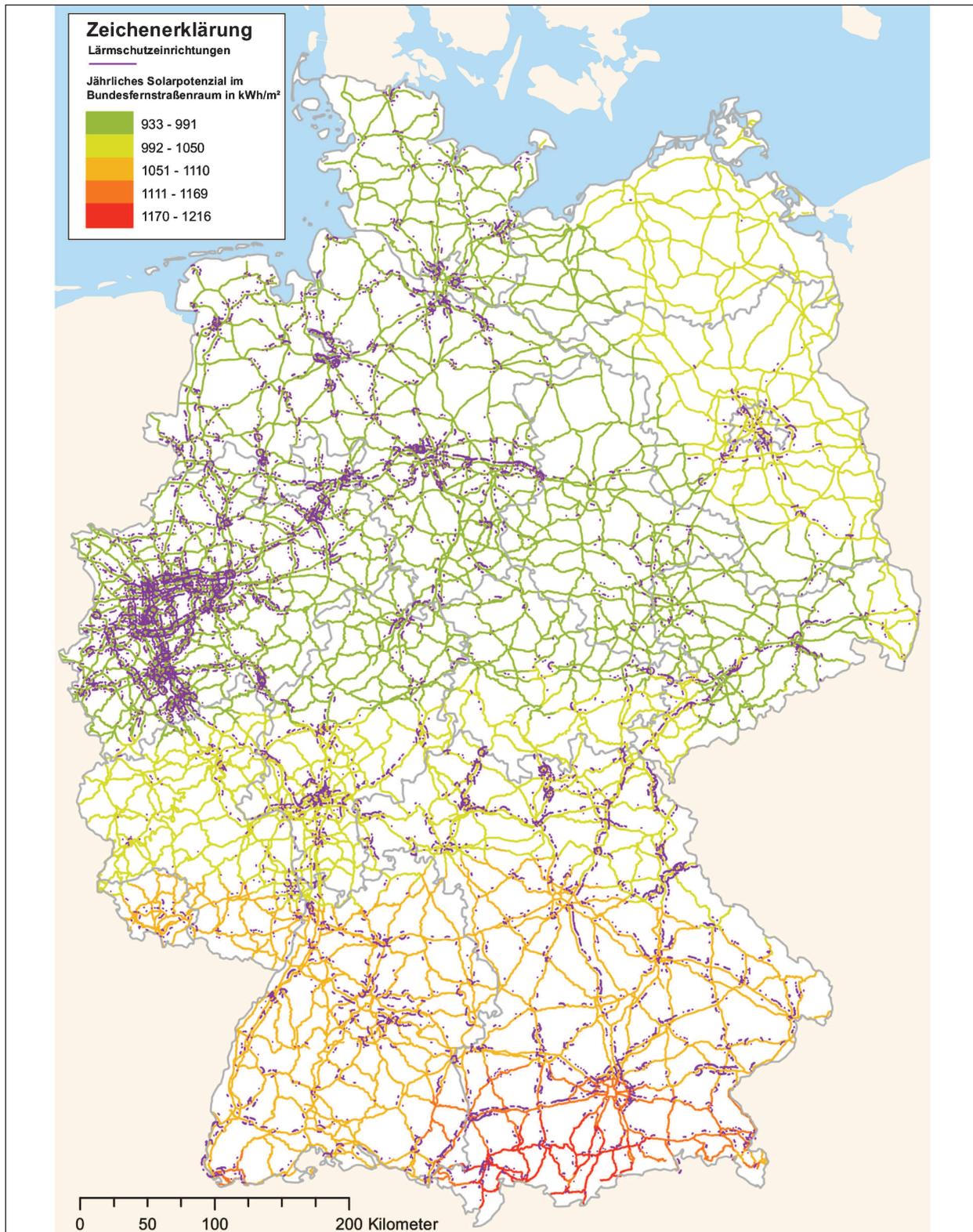


Bild 25: Straßenraum und Solarpotenzial in der BRD

Land	Straßenraum [km ²]	Ertragspotenzial, jährlich [GWh]	Potenzielle Leistung [GW]	Durchschnittsstrahlung [Wh/m ²]
Baden-Württemberg	1.115,65	1.202.351,08	137,25	1.077,71
Bayern	1.860,13	2.005.381,06	228,92	1.078,09
Berlin	50,37	50.514,38	5,77	1.002,84
Brandenburg	734,91	734.803,71	83,88	999,86
Bremen	23,83	22.884,29	2,61	960,20
Hamburg	43,28	41.702,09	4,76	963,44
Hessen	832,32	832.866,89	95,08	1.000,66
Mecklenburg-Vorpommern	541,68	502.989,55	57,42	977,28
Niedersachsen	1.275,53	1.222.136,97	139,51	959,14
Nordrhein-Westfalen	1.445,52	1.392.237,21	158,93	963,14
Rheinland-Pfalz	783,01	803.369,37	91,71	1.026,01
Saarland	118,22	124.635,79	14,23	1.054,28
Sachsen	600,36	592.788,33	67,67	987,39
Sachsen-Anhalt	826,06	512.372,59	58,49	973,98
Schleswig-Holstein	433,56	401.353,78	45,82	925,73
Thüringen	440,55	435.424,66	49,71	988,37
Bundesgebiet	11.124,98	10.877.811,80	1.241,76	996,13

Tab. 11: Ertragspotenzial im Straßenraum nach Bundesländern

der Straßenraum insgesamt eine Fläche von etwa der halben Größe Hessens umfasst. Diese gewaltige Fläche und die dadurch bedingte gewaltige Strahlungsmenge weckt das Interesse an genauerer Untersuchung. Insgesamt steht selbstverständlich lediglich ein verschwindend geringer Bruchteil des Straßenraums tatsächlich als Nutzfläche für PV-Module zur Verfügung.

Auf das gesamte Bundesgebiet bezogen ergibt sich die Hauptdifferenzierung der Einstrahlungsmenge aus der geografischen Breite. Dies wird vor allem modifiziert durch vorherrschende Bewölkungsmuster, sodass Ostseeküstenbereiche und insbesondere das Ostelbische Deutschland höhere Strahlungspotenziale aufweisen als der Breitengrad nahelegt. Bayern verfügt rechnerisch über das günstigste Flächenangebot, da sich hohe Einstrahlungswerte und großer Anteil am Gesamtstraßenraum vereinen.

6.3 Vorhandene Bauwerke

Das Gesamtsolarpotenzial für PV-Anlagen an bestehenden Lärmschutzeinrichtungen ergibt sich aus der zur Verfügung stehenden LSE-Fläche mul-

tipiziert mit der Jahreseinstrahlung in kWh/m². Für die Beispielrechnung wurden für LS-Wände vertikal bauwerksintegrierte PV-Module angenommen und für LS-Wälle optimal geneigte nach Süden ausgerichtete Wälle. Es ergibt sich ein Potenzial von 1.646,71 MW. Bei einem Wirkungsgrad von 35 % ergibt sich so eine potenzielle Leistung 576,35 MW für sämtliche LSE am Bundesfernstraßennetz. Die Strommenge entspräche bei diesem Wirkungsgrad dem Jahresverbrauch von ca. 960.000 Haushalten zu je 5.257 kWh.

Bild 26 zeigt das Solarpotenzial (zunehmend von grün nach rot) bestehender Lärmschutzeinrichtungen bei Herne/Gelsenkirchen in Nordrhein-Westfalen. In diesem Bereich ist die Potenzialdifferenz vor allem durch die Exposition der LSE bedingt.

6.3.1 Ertragspotenzial nach Ländern

Tabelle 12 zeigt deutlich die extrem starken Potenzialunterschiede in den einzelnen Ländern. Hier spiegelt sich zum einen die Korrelation von Bevölkerungsdichte und Menge an verbauten LSE wider. Zum anderen spiegelt sich in dieser Verteilung auch der unterschiedliche Erfassungsstand

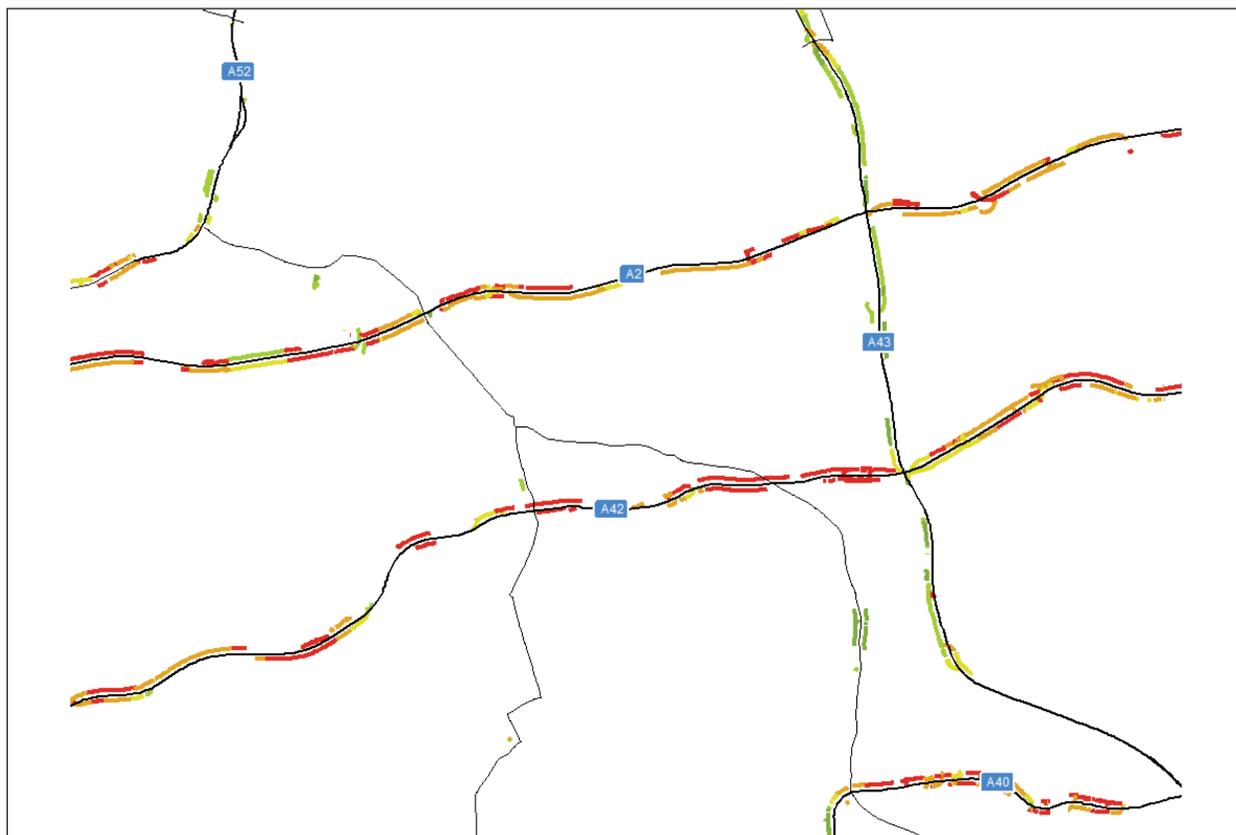


Bild 26: Solarpotenzial (zunehmend von grün nach rot) bestehender Lärmschutteinrichtungen bei Herne/Gelsenkirchen in Nordrhein-Westfalen

Land	Ertragspotenzial, jährlich [GWh]	Potenzielle Leistung [MW]
Baden-Württemberg	956,18	109,15
Bayern	3.030,31	345,93
Berlin	103,52	11,82
Brandenburg	345,62	39,45
Bremen	155,08	17,70
Hamburg	74,49	8,50
Hessen	997,81	113,91
Mecklenburg-Vorpommern	3,24	0,37
Niedersachsen	1.646,79	187,99
Nordrhein-Westfalen	5.654,67	645,51
Rheinland-Pfalz	295,70	33,76
Saarland	59,60	6,80
Sachsen	365,74	41,75
Sachsen-Anhalt	247,19	28,22
Schleswig-Holstein	338,34	38,62
Thüringen	150,86	17,22
Bundesgebiet	14.425,14	1.646,71

Tab. 12: Ertragspotenzial an Lärmschutteinrichtungen nach Ländern

für unterschiedliche Bundesländer wider. Da LSE vornehmlich siedlungsnah errichtet wurden und werden, wären LSE-PV-Anlagen nahe am Verbrauchsort, was zur Entlastung der Schwierigkeiten des Netzausbaus der Stromnetzbetreiber beiträgt. Zumindest stellt sich aber für Netzbetreiber sowohl technisch als auch geografisch kein neues Problem, sondern eher eine Fortentwicklung der auf Dächern verbauten Anlagen zum Abschöpfen der Einspeisevergütung nach EEG. Der niedrige Wert für Mecklenburg-Vorpommern ist in erster Linie durch die Unvollständigkeit des Katasters zu erklären.

6.3.2 Vorrangige Expositionsmuster

Für den Fall bauwerksintegrierter PV-Anlagen bestehen geringere Freiheitsgrade für die Ausrichtung der PV-Module. Die vorteilhafteste Ausrichtung ist im Allgemeinen nach Süden. Die Ausrichtungen der LSE wurden über die Normalenvektoren der Flächen bestimmt und dann in fünf Winkelgruppen eingeteilt. Nordexpositionen wurden ihrer gespiegelten Entsprechung den anderen Winkelgruppen zugeschlagen, es wird also unter-

stellt dass z. B. eine Ost-West verlaufende Wand auf der Südseite mit PV-Anlagen bestückt würde und nicht auf der Nordseite. Die LSE folgen im Allgemeinen dem Straßenverlauf, und dieser den großräumigen geografischen Gegebenheiten in Deutschland, also der Gemengelage aus Urstromtälern, Flüssen, Gebirgszügen und Bevölkerungszentren und Verflechtungsrichtungen. Folglich sind die Expositionen nicht gleichverteilt (vgl. Tabelle 13).

Niedersachsen und Sachsen-Anhalt z. B. haben erkennbar einen stärkeren Anteil an südexponierten Lagen, eine Folge aus den großräumigen Ost-West Verkehrsachsen wie z. B. der A 2. Bayern und Hessen hingegen sind stärker durch den Nord-Südverkehr gekennzeichnet. Besonders erwähnenswert sind die ca. 60 km LSE-Länge mit Süd-Ost-Exposition in Sachsen, die zu einem Großteil entlang der A 72 verbaut sind. Wie oben erläutert sind insbesondere Massenanfertigung und normierte Arbeitsabläufe bei der Anbringung von PV-Modulen und LSE eine attraktiver Faktor, eine Prüfung dieses zusätzlichen Einsparpotenzials z. B. entlang der A 72 böte sich an.

7 Folgerungen für die Praxis und Ausblick

Lärmschutzwände an bundesdeutschen Fernverkehrsstraßen bieten ein beachtliches Energiepotenzial. In welchem Umfang war bisher nicht ausreichend untersucht. Jährlich werden entlang deutscher Fernstraßen im Durchschnitt 27 km Lärmschutzwälle und 45 km Lärmschutzwände gebaut. Es fehlen bisher jedoch Untersuchungen, welcher Anteil dieser Anlagen für eine Photovoltaik-Nutzung geeignet ist. Auch fehlen die geeigneten Werkzeuge und Datengrundlagen, um die Eignung im Einzelfall und in der statistischen Übersicht zu analysieren und zu bewerten. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens liefern einen Beitrag, diese Lücken zu schließen.

Mit diesem Forschungsvorhaben wurde zum ersten Mal ein für die BRD flächendeckendes Kataster der Lärmschutzeinrichtungen erstellt. Auf Grundlage des zu erstellenden Katasters von Lärmschutzeinrichtungen und sonstigen Barrieren an Straßen (Seiten- und Mittelbarrieren) wurden zudem Verfahren entwickelt, die die Standorteignung von Lärm-

Land	E		SE		S		SW		W	
	km	%								
Baden-Württemberg	35,87	11,34	99,91	31,59	79,09	25,01	75,04	23,73	26,35	8,33
Bayern	156,11	15,14	239,25	23,20	271,26	26,30	208,86	20,25	155,94	15,12
Berlin	6,13	14,14	4,05	9,33	7,83	18,06	22,89	52,79	2,46	5,67
Brandenburg	8,42	8,91	18,04	19,10	24,37	25,80	31,05	32,88	12,56	13,30
Bremen	1,28	2,00	6,44	10,10	23,30	36,55	26,44	41,47	6,30	9,88
Hamburg	3,16	10,33	4,38	14,32	11,15	36,41	8,15	26,62	3,77	12,32
Hessen	77,66	19,17	107,42	26,52	86,42	21,33	68,70	16,96	64,93	16,03
Mecklenburg-Vorpommern	0,10	5,16	0,00	0,00	1,89	94,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Niedersachsen	68,39	10,95	129,04	20,66	209,28	33,51	142,58	22,83	75,24	12,05
Nordrhein-Westfalen	191,06	11,63	390,78	23,78	462,11	28,12	373,58	22,74	225,59	13,73
Rheinland-Pfalz	14,60	12,46	21,07	17,98	27,92	23,83	36,66	31,29	16,93	14,45
Saarland	1,28	4,83	6,41	24,19	8,86	33,45	9,19	34,69	0,75	2,85
Sachsen	11,15	8,14	60,18	43,94	41,34	30,19	15,39	11,24	8,88	6,48
Sachsen-Anhalt	13,17	17,08	13,09	16,96	25,80	33,44	18,23	23,63	6,86	8,89
Schleswig-Holstein	17,06	14,78	25,29	21,91	18,38	15,93	35,38	30,66	19,30	16,72
Thüringen	7,24	10,38	12,47	17,87	23,90	34,26	15,11	21,66	11,04	15,83
	Σ	Ø	Σ	Ø	Σ	Ø	Σ	Ø	Σ	Ø
Bundesgebiet	613	11 %	1.138	20 %	1.323	32 %	1.087	26 %	634	11 %

Tab. 13: Vorrangige Expositionsmuster nach Bundesländern

schutzanlagen für Photovoltaikanlagen ermittelt. Hierzu wurden Informationen zu vorhandenen Lärmschutzeinrichtungen bzw. der Straßenseitenräume bundesweit erfasst, systematisiert und in ein einheitliches Datenmodell überführt. Zusätzlich zur Ermittlung des Solarpotenzials wurden diese Informationen für Aussagen zur Durchlässigkeit bzw. Trennwirkung von Straßen für Tiere herangezogen.

Die erfassten Informationen wurden in einem Geografischen Informationssystem (GIS) zusammengeführt, das nun der Fachabteilung als Arbeitsgrundlage dienen kann. Das entwickelte Geografische Informationssystem beinhaltet Berechnungswerkzeuge, die es erlauben, Potenzialanalysen des Photovoltaikertrags an jedem Punkt des Straßenraums für Bundesfernstraßen durchzuführen. Dabei ist es möglich, Ertragsberechnungen sowohl für bestehende Lärmschutzeinrichtungen (LSE) als auch für neue Standorte zum Zweck der Ausbauplanung durchzuführen. Damit wird die Grundlage geschaffen, die private Investorenbeteiligung zu forcieren. Die Ergebnisse wurden so aufbereitet und zur Verfügung gestellt, dass ein Import der Ergebnisse in das BISStra problemlos möglich ist.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens liefern entscheidende Grundlagen zur Beurteilung der wirtschaftlichen Relevanz der multifunktionalen Nutzung von Lärmschutzanlagen und Barrieren im Straßennebenraum. Damit wird die Grundlage für weitere Planungen geschaffen. Bei Neuanlagen kann bereits in der Planungsphase die Photovoltaik-Eignung bewertet werden.

Mit den erfassten Wildbarrieren besteht nun eine Datengrundlage, die es nachfolgenden Arbeiten erlaubt, den Bedarf für besondere Schutzmaßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und auch zum Schutz gefährdeter Arten oder Populationen abzuleiten.

Die fokussierte Zielsetzung des zeitlich befristeten Vorhabens erlaubte es nicht, alle Aspekte der Problemstellung vollständig zu bearbeiten. Im Folgenden sollen noch Hinweise auf Arbeitsfelder und Anwendungsmöglichkeiten gegeben werden, die im Rahmen dieses Vorhabens nicht abschließend bearbeitet werden konnten.

7.1 Das Geografische Informationssystem

Das Geografische Informationssystem in seiner jetzigen Konzeption ist als Arbeitsplatzsystem für den Fachbearbeiter konzipiert. Grundsätzlich sind Erweiterungen in zwei Bereichen denkbar:

- der inhaltlichen Erweiterung mit aktualisierten oder neuen Daten (vgl. Kapitel 7.1.1, 7.1.2, 7.2.2) und
- der Erweiterung als webbasierte Austausch- und Auskunftsplattform (vgl. Kapitel 7.2.1).

7.1.1 Amtliche Hausumringe und Hauskoordinaten

Die amtlichen Hausumringe beschreiben georeferenzierte Umringspolygone von Gebäudegrundrissen und sind ebenso wie die amtlichen Hauskoordinaten ein Produkt des Liegenschaftskatasters. Da sie zum großen Teil auf einer individuellen Vermessung vor Ort basieren, verfügen sie über eine hohe geometrische Genauigkeit. Für eine hohe Aktualität und maximale Flächendeckung sorgen die regionalen Katasterbehörden in den Ländern.

Die bei der Bezirksregierung Köln, Abteilung Geobasis NRW, eingerichtete „Zentrale Stelle Hauskoordinaten und Hausumringe“ (ZSHH) bündelt die amtlichen Hausumringe der Vermessungsverwaltungen aller Bundesländer und stellt den bundesweit vorliegenden Datenbestand von mehr als 47 Mio. Haupt- und Nebengebäuden zentral bereit.

Bundeseinrichtungen, wie die BAST, können diese Daten beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie anfordern. Basis-DLM und DGM10 liegen der BAST vor, Hausumringe und Hauskoordinaten noch nicht. Diese können jedoch noch kostenfrei angefordert werden.

Die amtlichen Hauskoordinaten stellen für ca. 22 Mio. Adressen eine Koordinate zur Verfügung. Diese liegen in aller Regel, aber nicht zwangsläufig, innerhalb eines Hausumrings. Die Hausumringe besitzen keine Adressinformation. Die Hauskoordinaten erlauben es, Adressen in einer Karte zu suchen und zu verorten. Die Hausumringe sind für Planungs- und Qualitätssicherungszwecke interessant. Sie erlauben es, Straßensegmente zu identifizieren, die in einer definierten Entfernung zu Gebäuden liegen und erlauben somit Rückschlüsse, wo Lärmschutzeinrichtungen potenziell zu erwarten

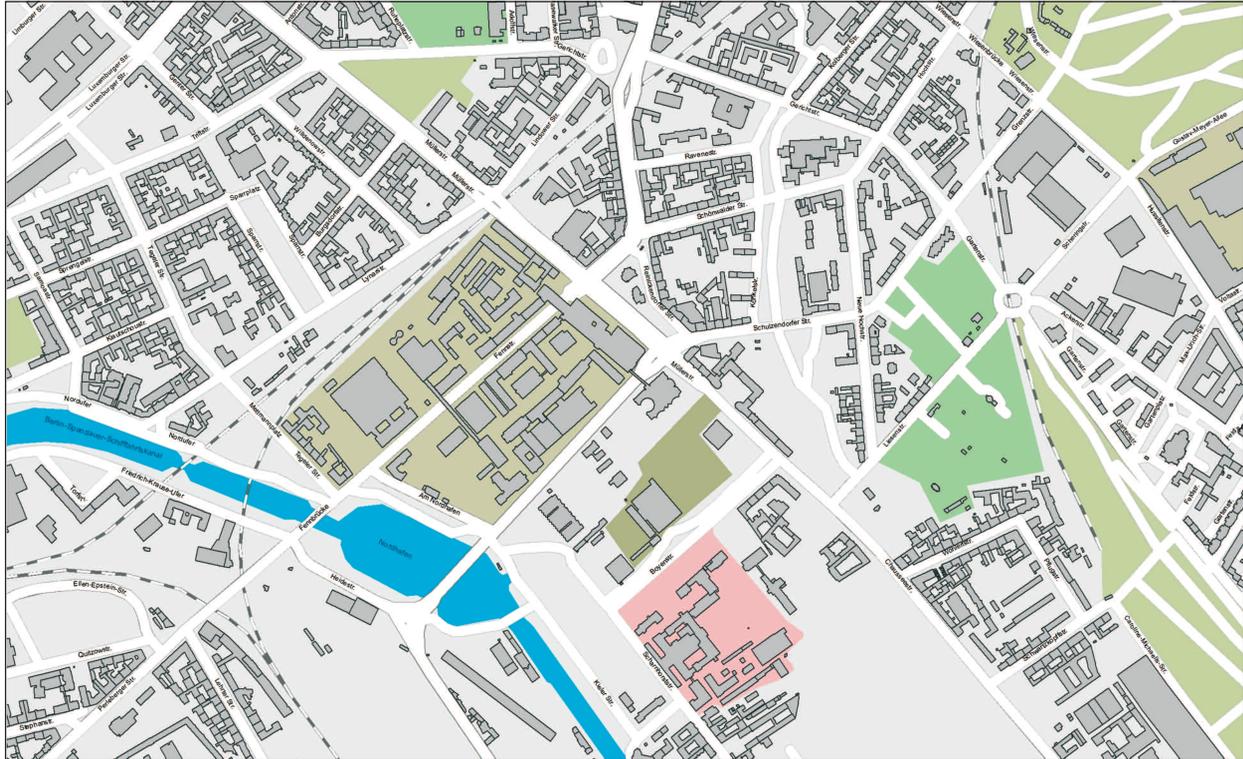


Bild 27: Amtliche Hausumringe (Beispiel-Ausschnitt)

sind. Mit den Hausumringen kann über eine angemessene Standardhöhe zumindest in Ansätzen eine mögliche Nahverschattung identifiziert werden.

Derzeit werden in mehreren Bundesländern flächendeckend 3D-Gebäude- und Stadtmodelle erstellt. Diese Daten enthalten recht genaue Angaben zur Gebäudehöhe und sind deshalb hervorragend geeignet, eine mögliche Nahverschattung durch Gebäude zu berücksichtigen. Eine Alternative zu 3D-Modellen, bzw. ein ergänzender Datensatz zur Modellierung der Nahverschattung, sind die inzwischen nahezu flächendeckend vorliegenden Digitalen Oberflächenmodelle aus Laserscan-Befliegungen oder Luftbildauswertungen. Diese liegen bei den Landesvermessungsämtern in Auflösungen zwischen 1 und 5 m Bodenauflösung (Gitterweite) vor.

7.1.2 Integration verbesserter Digitaler Höhenmodelle

Das vorliegende DGM10 in 10-m-Auflösung ist nicht geeignet, die Nahverschattung durch Gebäude und Vegetation bei der Modellierung des PV-Ertrags zu berücksichtigen. Hoch aufgelöste „Digitale Oberflächenmodelle“ (DOM) in 1-2 m Bodenauflösung sind hierzu deutlich besser geeignet.

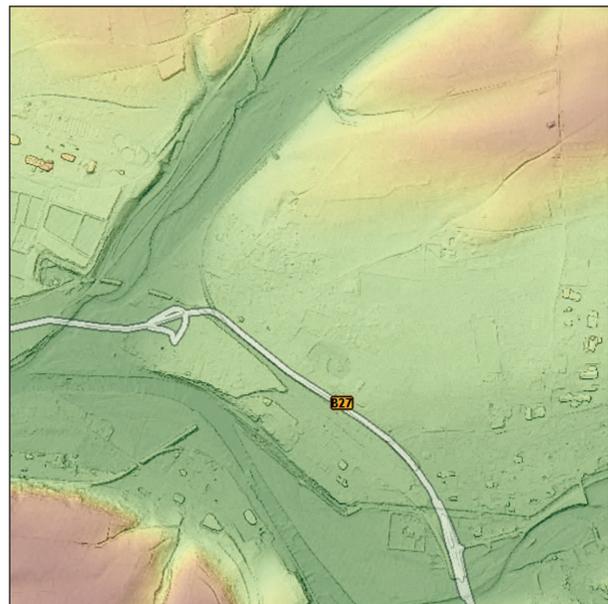


Bild 28: Ausschnitt des DGM1 (Baden-Württemberg)

DOMs unterscheiden sich von „Digitalen Gelände-modelle“n (DGM) dadurch, dass bei dem DGM die Geländeoberfläche ohne Vegetation und Gebäudebestand abgebildet wird. DGMs in hoher Auflösung sind für die Zwecke der PV-Ertragsermittlung nicht besser geeignet als das vorliegende DGM10. Das regelmäßige Raster der DOMs werden aus mehr oder weniger unregelmäßig verteilten Laserscanpunkten (XYZ-Werte) erstellt. Je nach Aufnahme-



Bild 29: Aus dem DGM1 identifizierte Böschungsstrukturen

spezifikation liegen in den Rohdaten mehrere gemessene Punkte je Quadratmeter vor. Das entwickelte Modul 3 kann dieses Rohdatenformat verarbeiten. Neben der Möglichkeit, den PV-Ertrag unter Berücksichtigung der Nahverschattung zu berechnen, liegt der besondere Mehrwert dieser Daten in der hohen Datendichte, die teilweise geeignet ist, Lärmschutzwälle zu erkennen (vgl. Bild 28, Bild 29).

7.2 Erfassung von Lärmschutzeinrichtungen

Mit dem Kataster für Lärmschutzeinrichtungen wurde eine Arbeitsgrundlage geschaffen, die hinsichtlich Qualität und Vollständigkeit auf Bundesebene so bisher nicht vorliegt. Gleichzeitig konnten jedoch auch Defizite hinsichtlich Lagegenauigkeit und Vollständigkeit identifiziert werden. Aus den Erkenntnissen der durchgeführten Arbeiten konnten mehrere Möglichkeiten identifiziert werden, wie das Kataster der Lärmschutzeinrichtungen zukünftig auch aktualisiert, verbessert und vervollständigt werden kann. Hierzu zählt:

- die Verbesserung des Informationsaustauschs mit den zuständigen Landesbehörden,
- das automatisierte Auswertungsverfahren von vorliegenden Digitalen Höhenmodellen aus Laserscan-Vermessungen,
- die mobile Erfassung von Lärmschutzwänden mit Messfahrzeugen.

7.2.1 Informationsaustausch

In Bezug auf den Informationsaustausch mit den zuständigen Landesbehörden muss zwischen dem BISStra-Datenaustausch und dem Informationsaustausch von Daten der Umweltlärmmrichtlinie unterschieden werden. Innerhalb der Projektgruppe „Datenaustausch“ des Arbeitskreises „IT Koordination im Straßenwesen“ wurden bereits wichtige Standards getroffen. Diese sind jedoch noch nicht geeignet, Informationen über die korrekte Lage von Lärmschutzeinrichtungen weiterzugeben. Eine Vereinbarung und die Definition von Standards zum GIS-Datenaustausch wären hier von Vorteil. Es bietet sich an, das offene Shape-Format für den Datenaustausch zu verwenden.

Als besonders wertvoll hat sich der Informationsaustausch mit den zuständigen Ansprechpartnern der Lärmschutzkartierung auf Länderebene herausgestellt. Um die Vollständigkeit und Aktualität des Katasters zu gewährleisten, wäre ein regelmäßiger Informationsaustausch von Vorteil. Hier wurde auch mehrfach der Wunsch formuliert, an den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens zu partizipieren. Aus technischer Sicht ist eine gemeinsam gepflegte Geodatenbank realisierbar. Ein gemeinsam von Umwelt- und Straßenbehörden gepflegter Datensatz würde den Erfassungs- und Pflegeaufwand in der Summe deutlich reduzieren. Die organisatorischen Herausforderungen sind hier jedoch ungleich höher als die technischen.

Einen besonderen Mehrwert erhält eine solche Austauschplattform auch dadurch, dass eine solche Anwendung nicht nur als Auskunftsplattform für den behördeninternen Informationsaustausch genutzt werden kann, sondern die Ergebnisse auch möglichen Investoren oder interessierten Bürgern interaktiv abfragbar über das Web oder auf mobilen Endgeräten zur Verfügung gestellt werden kann.

7.2.2 Erfassung mit Messfahrzeugen

Die BAST hat die Aufgabe, die Qualität der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) zu sichern. In diesem Zusammenhang werden Messfahrzeuge für die Erfassung des Straßenraums und des Fahrbahnzustands eingesetzt. Moderne Messfahrzeuge, wie sie auch bei der BAST im Einsatz sind, verfügen über zahlreiche parallel betriebene Messsysteme, darunter auch optische Sensoren (Videodokumentation) und Sensoren für terrestrisches Laserscanning.

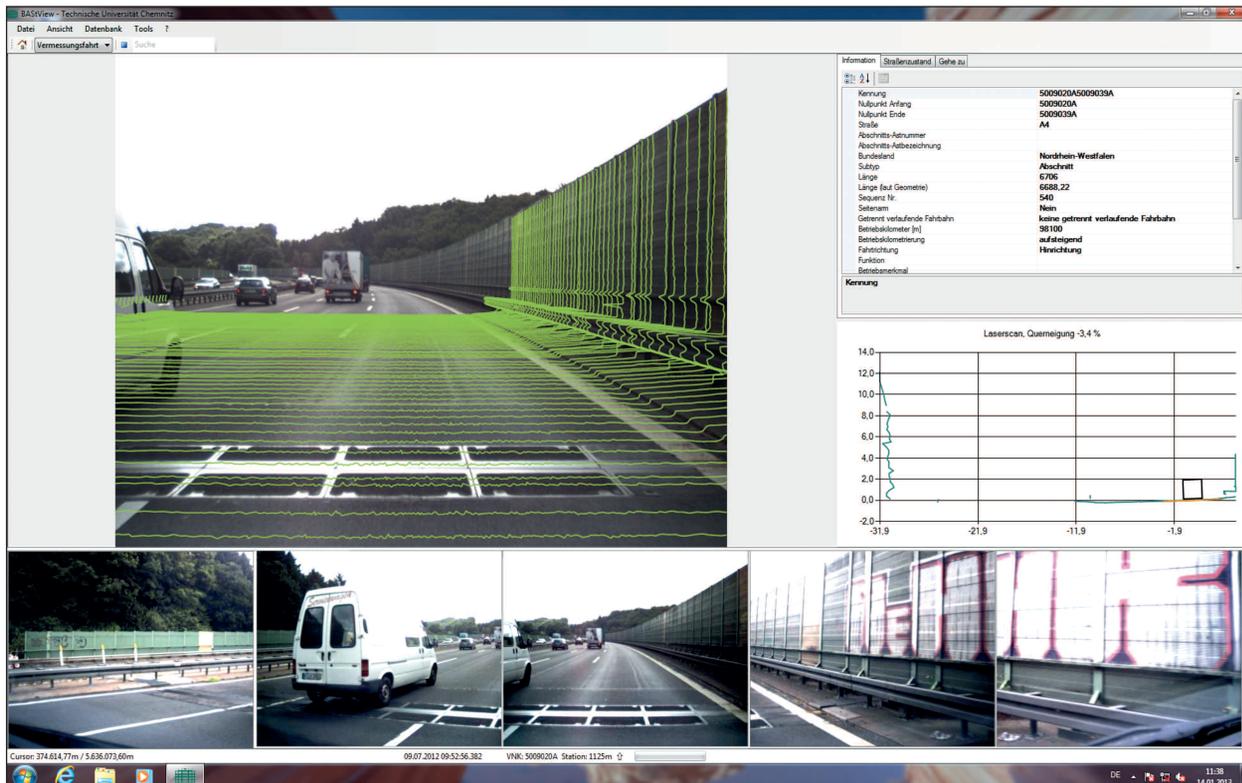


Bild 30: Oberfläche der Messfahrzeug-Auswerte-Software BASView

Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist ein stationäres, aktives, bildgebendes 3D-Verfahren, das laserbasierte Streckenmessungen in einer automatisierten Abfolge von quasi gleichabständigen Abtastschritten in vertikaler und horizontaler Richtung erfasst und daraus geometrische Informationen über das Objekt gewinnt. Die Funktionsweise eines Laserscanners unterscheidet sich von anderen Messverfahren insofern, als dass mit dem Laserscanner über ein regelmäßiges Raster eine flächenhafte Objekterfassung erfolgt, und nicht wie sonst üblich eine Objektdiskretisierung durch repräsentative Punkte (KRAUS 2004).

Bild 30 zeigt die Oberfläche des Auswertesystems BASView der TU Chemnitz. Die Anwendung erlaubt es, den aufgenommenen, verorteten Videostream zu verfolgen und die Daten der terrestrischen Laserscanaufnahme (grüne Linien im Foto) zu überlagern. Die erfassten TLS-Daten eignen sich hervorragend, um Barrieren und Lärmschutteinrichtungen im Straßenraum zu identifizieren und in ihrer exakten Lage und Ausdehnung zu erfassen. Eine Kopplung an ein geografisches Informationssystem existiert bisher nicht. Diese ist jedoch technisch realisierbar.

Literatur

- AG Lärmschutz – jetzt (2010): Photovoltaik und Lärmschutz – ein Kurzkonzept für die A 10. http://www.laermschutz-jetzt.de/mediapool/86/863898/data/Kurzkonzept_Photovoltaiik_2010_0715.pdf. Heruntergeladen im Oktober 2012
- BAS – Bundesanstalt für Straßenwesen (2012) Bundesinformationssystem Straße (BISStra): Online unter: http://www.bast.de/cln_031/nn_42544/DE/Aufgaben/abteilung-v/referat-v2/bisstra/bisstra.html. Zuletzt aufgerufen am 31.01.2013
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009): Nationales Verkehrslärmschutzpaket II. Online unter: <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/27798/publicationFile/58/nationales-verkehrslaerm-schutz-paket-ii.pdf> zuletzt aufgerufen am 31.01.2013
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011a): Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2010. Online unter: <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/59620/publicationFile/45756/statistik-laerm-schutz-an-bundesfernstrassen-2010.pdf> zuletzt aufgerufen am 31.01.2013

- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011b): Staatssekretär will Nutzung von Photovoltaik in Verbindung mit Lärmschutz stärken. Online unter: <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2011/160-bomba-photovoltaik.html> zuletzt aufgerufen am 31.01.2013
- FEHLING, S. (2012): Potential Photovoltaik und Schallschutz entlang des Schweizer Nationalstrassennetzes. Mitteilung der TNC Consulting AG, General Wille-Str. 59, CH-8706 Feldmeilen. Quelle: www.tnc.com. Heruntergeladen am 01.02.2013
- GREEN, M. A., EMERY, K., HISHIKAWA, Y., WARTA, W. (2011): Solar cell efficiency tables (version 37). Prog. Photovolt: Res. Appl. 2011; 19:84-92
- HÄNEL, K., RECK, H. (2011): Bundesweite Prioritäten zur Wiedervernetzung von Ökosystemen: Die Überwindung straßenbedingter Barrieren, BfN – Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz und Biologische Vielfalt, 8, Bad Godesberg
- HOFIERKA, J., ŠÚRI, M. (2002): The Solar Radiation Model for Open Source GIS: Implementation and Applications. In Proceedings of Open Source GIS-GRASS Users Conference 2002, Trento, Italy
- HERDEN, Ch., GHARADJEDAGHI, B., RASSMUS, J. (2009): Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Endbericht. In: BfN-Skripten, 247
- INEICHEN, P. (2011): Five satellite products deriving beam and global irradiance validation on data from 23 ground stations. Geneva: IEA SHC Task 36, Collaborative Agreement on Solar Heating and Cooling (SHC) Task 36 "Solar Resource Knowledge Management"
- JOCHEM, A., HÖFLE, B. & RUTZINGER, M. (2011b): Extraction of Vertical Walls from Mobile Laser Scanning Data for Solar Potential Assessment. Remote Sensing, Vol. 3 (4), 650-667
- JOCHEM, A., HÖFLE, B., WICHMANN, V., RUTZINGER, M. & ZIPF, A. (2011a): Area-wide roof plane segmentation in airborne LiDAR point clouds. Computers, Environment and Urban Systems
- JOCHEM, A., WICHMANN, V. & HÖFLE, B. (2010): Large area point cloud based solar radiation modeling. In: BÖHNER, J., CONRAD, O. & HENGL, T.: SAGA Third Degree. Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie, Vol. 21
- KLÄRLE, M. & LUDWIG, D. (2006): SUN-AREA Standortanalyse für Photovoltaik-Anlagen durch hochauflösende Sensoren in der Fernerkundung. In: GI-reports@igf, 5/2006
- KLÄRLE, M., LANGENDÖRFER, U. & LANIG, S. (2011): Ganzheitliche Flächenpotenzialanalyse für Erneuerbare Energien – eine Chance für das Landmanagement. In: ZfV, pp. 288-292, 5/2011
- KRAUS, K. (2004): Photogrammetrie Band 1, Geometrische Informationen aus Fotografien und Laserscanneraufnahmen, 7. vollständig bearbeitete und erweiterte Auflage, deGruyter Lehrbuch
- LANIG, S., ZIPF, A. (2010): Standardkonforme Geodatenverarbeitung und Dienstorchestrierung am Beispiel der Solarpotenzialanalyse mittels OGC Web Processing Service (WPS). AGIT 2010. Symposium für Angewandte Geoinformatik. Salzburg. Austria
- Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (NMU) (2012): Photovoltaik (PV)-Anlage Lärmschutzwand A 31 Emden. Quelle: http://www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=2858&article_id=7567&psmand=10. Heruntergeladen am 01.02.2013
- NORDMANN, Th., DÜRR, M., FRÖLICH, A. & GOETZBERGER, A. (2000): First experience with a bifacial PV noise barrier, (Plenary Presentation), 16th European Photovoltaic Energy Conference, Glasgow
- NORDMANN, Th., FRÖLICH A. & CLAVADETSCHER, L. (2002): Drei integrierte PV-Schallschutz Versuchsfelder. Final report (in German): PV BFE P+D, DIS 17225/59391, TNC Consulting AG
- NORDMANN, Th., CLAVADETSCHER, L. (2004): PV on noise barriers. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. Volume 12, Issue 6, pp. 485-495
- NORDMANN, Th., VONTOBEL, Th. & CLAVADETSCHER, L. (2012): 15 Years of

Practical Experience in Development and Improvement of Bifacial Photovoltaic Noise Barriers along Highways and Railway Lines in Switzerland. 27th PV Conference, Frankfurt, Germany, September 24th-28th 2012

MACKO, Th. (2006): Innovationsgemeinschaft Lärmschutz. Hohe Kostenvorteile bei PPP-Projekten. In: Kommunal Direkt, Ausgabe November 2006, S. 47

PETERS, R. (2012): Photovoltaikanlagen entlang von Lärmschutzwänden – Analyse des Solarpotenzials mit ArcGIS und GRASS GIS. Bachelorarbeit, Universität Heidelberg

PETERS, R., HÖFLE, B. (2013): Solarpotenzialanalyse an vertikalen Strukturen mit ArcGIS und GRASS GIS am Beispiel von Lärmschutzwänden. Proceedings Geoinformatik 2013, 13.03.-15.03.2013, Heidelberg

REMUND, J., WALD, L., LEF.VRE, M., RANCHIN, T., PAGE, J. (2003): Worldwide Linke turbidity information. ISES 2003, Goeteborg, Sweden

ŠÚRI, M., HOFIERKA, J. (2004): A new GIS-based solar radiation model and its application to photovoltaic assessment. Trans. GIS 2004, 8, 175-190

ŠÚRI, M., HULD, T. A., DUNLOP, E. D., OSSENBRINK H. A. (2007): Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, Solar Energy, Volume 81, Issue 10, 1295-1305

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2010

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Londong, Meyer € 29,50

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen E 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)
Lippold, Weise, Jähig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzungen
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010
Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufenthaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

- V 227: **Radpotenziale im Stadtverkehr**
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00
- V 228: **Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr**
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50
- V 229: **Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Mess-Systemen**
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50
- V 230: **Verkehrsadaptive Netzsteuerungen**
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50
- V 231: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011**
Fitschen, Nordmann € 28,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 232: **Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme**
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50
- V 233: **Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse**
Lensing € 16,00
- V 234: **Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik**
Lensing € 17,50

2014

- V 235: **Dynamische Messung der Nachsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe**
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00
- V 236: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012**
Fitschen, Nordmann € 28,50
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 237: **Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nachweis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung im Rahmen der KP II – Maßnahmen**
Bund-Länder Arbeitskreis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.
- V 238: **Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst**
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00
- V 239: **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen**
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00
- V 240: **Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen**
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50
- V 241: **Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme**
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50
- V 242: **Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenindikatoren an Überquerungsstellen**
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock, Herrnsdorf, Pfeil € 20,00
- V 243: **Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus**
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50
- V 244: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013**
Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: **Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs**
Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 246: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen**
Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 247: **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 248: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagenmittlung**
Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

V 249: **Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen**
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 250: **Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 251: **Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken**
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: **Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen**
Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.