

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME, ISE

UNTERSUCHUNG DER POTENZIALE FÜR URBAN PV

Idstein

Dr. Karolina Baltins
Fritz Haider
Alexander Graef
Alexander Kleinhans

Abteilung Module und Kraftwerke

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg
Telefon: +49 761 4588-5575
E-Mail: karolina.baltins@ise.fraunhofer.de

Projektnummer: AN24-0113
Datum: 14. Februar 2025

Inhalt

1	Einleitung und Leistungsbeschreibung	3
1.1	Untersuchungsgebiet	3
1.2	Definition des Potenzialbegriffs	4
2	Technologiebeschreibung marktverfügbarer Integrierte-, Urban- und Verkehrswege-PV Technologien	6
2.1	Parkplatz-PV	6
2.2	Radwege-PV	10
2.3	PV-Bushaltestellen	12
2.4	PV auf Spiel-, Sport- & Öffentlichen Plätzen	14
3	Analyse des Potenzials für Urban PV	16
3.1	Richtlinien des Kriterienkatalogs	16
3.1.1	Ausschlusskriterien	17
3.1.2	Eignungskriterien	19
3.2	Datenrecherche und Aufbereitung der Geodaten	25
3.2.1	Untersuchungsflächen	25
3.2.2	Sonstige relevante Geodaten	26
3.3	Standorteignungsanalyse	26
3.3.1	Analytischer Hierarchieprozess	26
3.4	Flächen-, Leistungs- & Energiepotenzialermittlung	33
4	Beschreibung der Geodaten.....	42
5	Förderprogramm-Screening hinsichtlich geeigneter Fördermöglichkeiten .	45
5.1	Förderprogramme auf EU-Ebene	45
5.2	Förderprogramme auf Bundesebene	45
5.3	Förderprogramme auf Landesebene	47
6	Technisches Konzept (Fallbeispiel)	49
7	Verzeichnisse	52
7.1	Abkürzungsverzeichnis	52
7.2	Abbildungsverzeichnis	53
7.3	Tabellenverzeichnis	54

1 Einleitung und Leistungsbeschreibung

Die Stadt Idstein verfolgt das Ziel, ihren gesamten Strombedarf in der Jahresbilanz vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken. Dieses Vorhaben stellt einen bedeutenden Schritt in Richtung einer nachhaltigen und umweltfreundlichen Energieversorgung dar. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein erheblicher Ausbau der Photovoltaik-Anlagen im Stadtgebiet erforderlich. Vor diesem Hintergrund wurde die vorliegende Potenzialanalyse entwickelt, die das Ertragspotenzial verschiedener Anwendungen der integrierten Photovoltaik untersucht.

Der Fokus dieser Analyse liegt auf der Urban PV, die sich durch ihre Integration in städtische Infrastrukturen und Flächen auszeichnet. Besonders im Blickfeld stehen dabei Verkehrsflächen wie Parkplätze und Radwege, die durch ihre flächenmäßige Ausdehnung und günstige Lage ein hohes Potenzial für die Solarstromerzeugung bieten. Darüber hinaus werden auch Grünflächen, wie im Außenbereich des Tournesol-Bades, auf ihr Potenzial zur multifunktionalen Nutzung durch Photovoltaik-Anlagen hin untersucht. Diese Flächen bieten nicht nur die Möglichkeit zur Stromerzeugung, sondern können gleichzeitig als Schattenspender oder Wetterschutz dienen.

Ziel der Potenzialanalyse ist es, fundierte Erkenntnisse zu gewinnen, die als Basis für strategische Entscheidungen im weiteren Ausbau der Photovoltaik in Idstein dienen. Durch die Identifikation und Bewertung geeigneter Flächen und Technologien soll die Stadt in die Lage versetzt werden, effektive Maßnahmen zur Erreichung ihrer Energieziele zu implementieren. Diese Untersuchung leistet somit einen entscheidenden Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Stadt und zur Förderung einer klimafreundlichen Energiezukunft.

1.1 Untersuchungsgebiet

Idstein ist eine Hochschulstadt im südhessischen Rheingau-Taunus-Kreis, dessen Topografie von Tälern, Taleinschnitten und Höhenrücken geprägt ist, welche eine wichtige Rolle für die Analyse des solaren Energieangebots spielen. Die Gesamtbevölkerung beträgt etwa 27.829 Einwohner, verteilt auf den Kernort Idstein und elf weitere Stadtteile. Der Kernort Idstein hat mit 17.648 Einwohnern den größten Anteil, gefolgt von Wörsdorf mit 3.715 Einwohnern. Die Gesamtfläche von Idstein und seinen Stadtteilen beträgt 7.961 Hektar, wovon ein beträchtlicher Teil (3.631 Hektar) aus Waldflächen besteht. Die Stadt erstreckt sich über eine maximale Länge von 14,8 km, wobei die höchste Erhebung 517,5 Meter beträgt.

Verkehrstechnisch ist Idstein gut angebunden. Die Stadt liegt an den Bundesstraßen 8 und 275, während die B417 das Stadtgebiet berührt. Zudem verfügt Idstein über zwei Bahnhöfe (Idstein und Wörsdorf) und ist in das Busnetz der Rheingau-Taunus-Verkehrsgesellschaft mbH (RTV) eingebunden.¹

¹ <https://www.idstein.de/leben-in-idstein/stadtportraet/zahlen-daten-fakten/>

1.2 Definition des Potenzialbegriffs

Die Möglichkeiten der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland werden im Wesentlichen durch die verfügbaren Energiepotenziale bestimmt. Grundsätzlich können bei erneuerbaren Energien viele verschiedene Potenziale bestimmt werden. Ein Blick in die Literatur zeigt, dass der Potenzialbegriff je nach Forschungsgegenstand unterschiedlich interpretiert werden kann und nicht eindeutig definiert ist. In diesem Bericht wird die Definition nach Kaltschmitt et al. (2013)¹, sowie einem Bericht des schweizerischen Bundesamtes für Energie² verwendet. Dieser Bericht analysiert das vorhandene technische Potential in Idstein.

Abbildung 1 zeigt eine grafische Darstellung der verschiedenen Potenzialebenen.

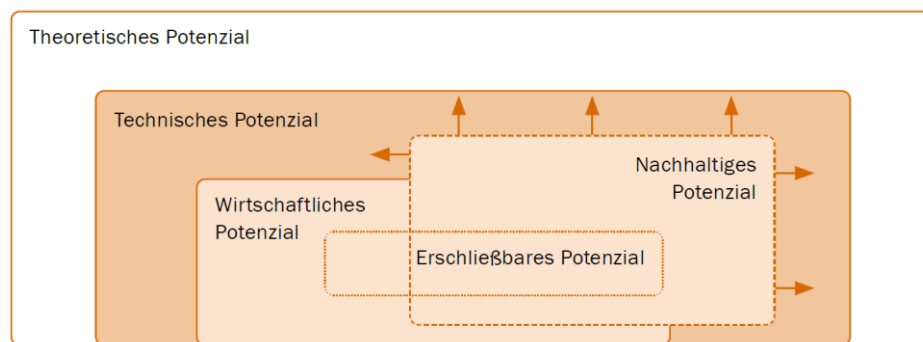


Abbildung 1: Darstellung der unterschiedlichen Potentialbegriffe³

Das theoretische Potenzial ist die maximal nutzbare Energie einer Region zu einem bestimmten Zeitpunkt oder über einen bestimmten Zeitraum, begrenzt durch physikalische Größen. Es stellt die Obergrenze einer Energieressource dar und wird in Ha (Hektar) angegeben. In der Praxis kann das theoretische Potenzial aufgrund von unüberwindbaren technologischen, ökologischen, strukturellen oder administrativen Einschränkungen oftmals nur in geringem Maße ausgeschöpft werden und hat somit nur eine geringe Relevanz, da die tatsächlich nutzbare Energiemenge oftmals deutlich darunter liegt.¹

Das technische Potenzial beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, welcher unter Berücksichtigung der gegebenen technologischen Grenzen bzw. Einschränkungen nutzbar ist. Des Weiteren werden häufig bestimmte strukturelle, gesetzgeberische, sowie ökologische Restriktionen miteinbezogen, da

¹ Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang; Wiese, Andreas (Hrsg.) (2013): Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 3–188, 339–458 S. Online verfügbar unter DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03249-3>

² Piot, Michel (2007a): Die Energieperspektiven 2035 - Band 4 Exkurse. Bundesamt für Energie Schweiz, Bern. Online verfügbar unter URL: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/2694>

³ Thrän, Daniela; Pfeiffer, Diana (2021): Methodenhandbuch. Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte. Version 5. Leipzig. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH.

sie, ähnlich den technologischen Einschränkungen, von der Gesellschaft gegenwärtig als „unüberwindbar“ angesehen werden können und dadurch fest verankerte Grenzen darstellen.¹

Das wirtschaftliche Potenzial beschreibt den Anteil des technischen Potenzials, der unter den gegebenen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen, ökonomisch rentabel genutzt werden kann. Die Bestimmung des wirtschaftlichen Potenzials ist stark von den getroffenen Annahmen und sich ständig ändernden Einflussparametern abhängig, da Größen wie der Energie-, Öko-, & CO₂-Steuersatz, die Abschreibungsdauer, der Preis für fossile Energieträger, oder die (Nicht-) Berücksichtigung externer Kosten die Wirtschaftlichkeit der Anlagen beeinflussen.

Das erschließbare Potenzial beschreibt den Anteil des wirtschaftlichen Potenzials, der nicht durch anderweitige gesellschaftlich relevante Einschränkungen, wie bspw. rechtliche, administrative, finanzielle, infrastrukturelle oder ästhetische Faktoren, betroffen ist. Hierbei können auch weitere ökonomische Grenzen, wie die Ressourcenverfügbarkeit oder die Herstellerkapazitäten berücksichtigt werden.

Das nachhaltige Potenzial kann sowohl aus dem technischen als auch dem wirtschaftlichen Potenzial ermittelt werden, da es weitergehende gesellschaftlich festgelegte ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeitsforderungen umfasst, wie bspw. Produktions- oder Nutzungseinschränkungen aus Natur- und Bodenschutzgründen.¹

2 Technologiebeschreibung marktverfügbarer Integrierte-, Urban- und Verkehrswege-PV Technologien

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über verschiedene marktverfügbare Technologien im Bereich der integrierten, urbanen und Verkehrswege-Photovoltaik. Diese innovativen Lösungen ermöglichen die nahtlose Integration von Photovoltaiksystemen in städtische Strukturen wie Gebäude, Parkplätze und Verkehrswege. Sie tragen dazu bei, den Energiebedarf nachhaltig zu decken und den ökologischen Fußabdruck urbaner Räume zu verringern, da sie erlauben neue, bisher ungenutzte Flächen zu erschließen. Die vorgestellten Technologien spielen eine zentrale Rolle bei der Förderung der Energiewende und der Entwicklung nachhaltiger Städte.

2.1 Parkplatz-PV

Parkplatz-Photovoltaik (PPV) ist ein Teil der Urbanen PV, bei der Photovoltaikanlagen in der Stadt, wie auf Parkplätzen, öffentlichen Plätzen oder Sportanlagen, installiert werden. Sie dienen als Schattenspender und können auch mit Beleuchtung und Regenschutz kombiniert werden.

PPV-Anlagen wurden bereits im kleinen Maßstab um die 2000er Jahre von privaten Firmen in Form von Solarcarports umgesetzt. Hersteller von Montagesystemen für Freiflächen- und Dachanlagen waren die Ersten, die Solarcarports als Randprodukt angeboten haben. Erste Baukastensysteme die sowohl zur Überdachung einzelner Stellplätze als auch großer Parkplätze geeignet sind, waren bereits im Jahr 2010 auf dem Markt¹. Mittlerweile haben viele Solar- & Energieunternehmen unterschiedliche Arten von PPV-Anlagen in ihre Produktpalette mit aufgenommen. Bisher sind es vor allem private Unternehmen, die ihre eigenen Parkflächen mit PV überdachen.

Grundsätzlich lassen sich PPV-Anlagen auf allen offenen Parkflächen, so auch Parkdecks realisieren². Große, offene Flächen sind dabei aufgrund ihrer meist geringen Verschattung und den damit verbundenen hohen Einstrahlungswerten besonders gut für die photovoltaische Stromerzeugung geeignet (ebd.). Abhängig vom gewählten Systemdesign, werden die PV-Module entweder mit einer leichten Neigung ($<10^\circ$) oder horizontal über dem Parkplatz montiert³. Der optimale Neigungswinkel von 30° für den größtmöglichen Ertrag, wird bei PPV-Anlagen somit in der Regel nicht erreicht. Zwar ist bei einem höheren Neigungswinkel tendenziell ein höherer Ertrag zu erwarten, allerdings wird der

¹ Diermann, Ralph (2010, 31. August): PS unter PV. photovoltaik.eu. Online verfügbar unter URL: <https://www.photovoltaik.eu/e-mobilitaet/ps-unter-pv> [17.08.2024]

² Coonick, Chris; Holden, John (2018): Multifunctional Solar Car Parks - A good practice guide for owners and developers. Building Research Establishment National Solar Centre, Saint Blazey. Online verfügbar unter URL: <https://bregroup.com/wp-content/uploads/2018/04/99939-BRE-solar-carpark-guide-Feb18-v2-LR4.pdf> [02.08.2024]

³ Stryi-Hipp, Gerhard; Uhland, Thomas (2023, April): Faktenpapier Photovoltaik-Parkplätze - Solarüberdachungen von Park- und Stellplätzen. (Solar Cluster Baden-Württemberg e.V., Hrsg.). Online verfügbar unter URL: https://solarcluster-bw.de/fileadmin/Dokumente/Downloads/Faktenblaetter/5909_solarcluster_Factsheet_PV_Parkplaetze_2304_WEB_neu.pdf [20.09.2023]

Zweck der Anlage als Schattenspender und Wetterschutz dann nur noch bedingt erfüllt.

Das Tragwerk von PV-Parkplatzüberdachungen wird bisher zum Großteil aus Stahl gebaut, aber auch Konstruktionen aus Holz werden von einzelnen Unternehmen angeboten. Deutlich schlankere Tragwerke & Stützpfeiler, sowie optisch ansprechendere Systeme sind derzeit in der Entwicklung. Die Überdachung hat typischerweise eine Höhe von 2,5 – 3 Meter, was jedoch zur Folge hat, dass Lieferwagen, Wohnmobile oder LKWs den Parkplatz nicht mehr nutzen können. Dachhöhen von 4 – 5 Meter Höhe sind alternativ ebenfalls möglich, jedoch mit höheren Kosten verbunden. Aufgrund ihres modularen Aufbaus lassen sich Parkplatz-PV-Anlagen grundsätzlich sowohl über einzelnen Stellplätzen als auch über Großparkplätzen errichten.¹

Die PV-Module können entweder als Aufdachanlage verbaut werden oder bilden selbst die Dachhaut in Form von speziellen Glas-Glas-Modulen. Bei letzterem dürfen aus Sicherheitsgründen jedoch nur spezielle, baurechtlich zugelassene Module verbaut werden. Die Verwendung semitransparenter Module ermöglicht zudem, dass weiterhin Licht auf den darunterliegenden Parkplatz fällt. Des Weiteren kann sich das Systemdesign durch die Überdachungsform (V-Form, Dach-Form, Horizontal, etc.) unterscheiden. Abbildung 2 gibt einen Überblick auf die unterschiedlichen Systemdesigns von PPV-Anlagen.

Darüber hinaus kann zwischen Stellplatz- und Parkplatzüberdachungen unterschieden werden (ebd.). Bei Stellplatzüberdachungen werden lediglich die einzelnen Stellplatzreihen mit PV überdacht. Demgegenüber umfassen Parkplatzüberdachungen neben den Stellplätzen auch die dazwischen liegenden Fahrwege oder Grünflächen. Die Wahl zwischen Stellplatz- oder Parkplatzüberdachung kann einen signifikanten Einfluss auf die insgesamt realisierbare Solarstromkapazität haben.

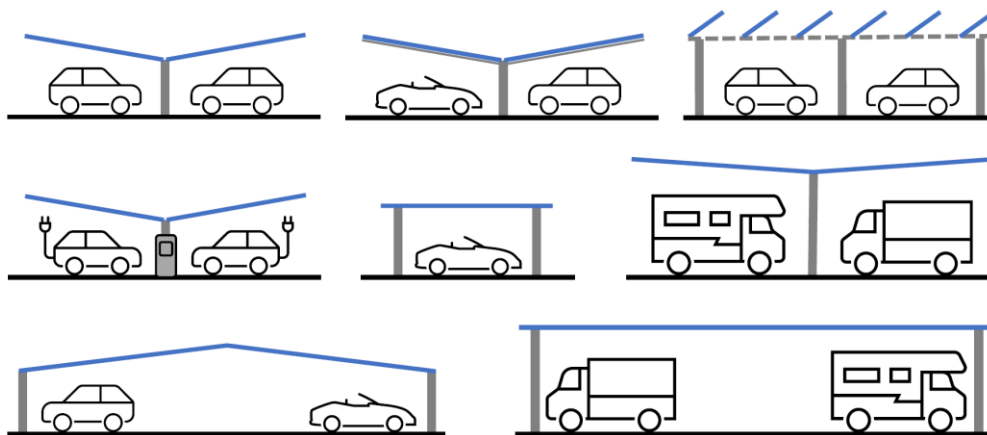


Abbildung 2: Unterschiedliche Systemdesigns von Parkplatz-Photovoltaik-Anlagen (STRYI-HIPP & UHLAND 2023)

Einen Überblick über die Grundlagen und Techniken der PPV-Technologie bietet zudem das dazu erschienene Faktenpapier „Photovoltaik-Parkplätze: Solar-

¹ Stryi-Hipp, Gerhard; Uhland, Thomas (2023, April): Faktenpapier Photovoltaik-Parkplätze - Solarüberdachungen von Park- und Stellplätzen. (Solar Cluster Baden-Württemberg e.V., Hrsg.). Online verfügbar unter URL: https://solarcluster-bw.de/fileadmin/Dokumente/Downloads/Faktenblaetter/5909_solarcluster_Factsheet_PV_Parkplaetze_2304_WEB_neu.pdf [20.09.2024]

überdachungen von Park- & Stellplätzen“ des Solar Clusters Baden-Württemberg e. V. (ebd.), sowie die beiden englischsprachigen Leitfäden zu Multifunktionalen Solarparkplätzen des Nationalen Solarzentrum des Building Research Establishments in England¹².

Eine weitere wichtige Quelle in diesem Zusammenhang ist das „Fach- und Rechtsgutachten zur Einführung der Photovoltaikpflicht in Baden-Württemberg“³, das sich mit vielen Fragestellungen befasst, die bei der Umsetzung der in Baden-Württemberg geltenden PV-Pflicht zu beachten sind.

Durch die Novellierung des EEG 2023 sind PPV-Anlagen nun auch förderfähig nach den geltenden Fördersätzen des EEG. Die EEG-Clearingstelle hat zudem klar gemacht, dass die Höhe der Vergütung davon abhängig ist, ob die PPV-Anlage als bauliche Anlage gewertet wird, was wiederum von konkreten Bedingungen abhängig ist. Trifft dies zu, kommt eine höhere Vergütung des PV-Stroms nach § 48 Abs. 2 des EEG in Betracht⁴.

Neben den klassischen Vorteilen der PV-Technologie verglichen mit anderen Technologien der Stromerzeugung, liegen die technologiespezifischen Vorteile von PPV-Anlagen vor allem in der Doppelnutzung bereits versiegelter Flächen und der Möglichkeit den produzierten Solarstrom direkt bspw. für das Laden von Elektrofahrzeugen zu nutzen. Außerdem ermöglicht die Überdachung einen Sonnen- & Witterungsschutz für die darunter stehenden Fahrzeuge. Dies wiederum kann zu Hitzereduktionen im Sommer führen, einem Schutz vor Frost, Schnee und Hagelschäden im Winter, eine längere Lebensdauer des Parkplatzbelags sowie einem Komfortgewinn für den Nutzenden. Parkplatz-PV-Anlagen können das Image von Unternehmen positiv beeinflussen und auch zu Kosteneinsparungen bei andernfalls benötigten Hagel- & Schutzversicherungen, sowie beim Winterdienst führen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Anbindung zum Netzanschluss im städtischen Raum häufig unmittelbar in der Nähe der Fläche erfolgen kann. Dies trifft vor allem auf Anlagen <100 kW_p zu, da bei Anlagen in dieser Größenordnung in der Regel ein Anschluss an das Niederspannungsnetz, wie es bei den meisten Gebäuden in Städten vorhanden ist, ausreicht. Bei größeren Anlagen ist jedoch oftmals ein Anschluss an das

¹ Coonick, Chris; Gance, David (2018): A Technical Guide to Multifunctional Solar Car Parks. Saint Blazey. Online verfügbar unter URL: <https://www.bregroup.com/wp-content/uploads/2018/04/100507-BRE-solar-car-park-technical-guide-A4-32pp-nocrop-LR.pdf> [13.09.2024]

² Coonick, Chris; Holden, John (2018): Multifunctional Solar Car Parks - A good practice guide for owners and developers. Building Research Establishment National Solar Centre, Saint Blazey. Online verfügbar unter URL: <https://bregroup.com/wp-content/uploads/2018/04/99939-BRE-solar-carpark-guide-Feb18-v2-LR4.pdf> [02.10.2024]

³ Stryi-Hipp, Gerhard; Longo, Fabio (2021): Fach- und Rechtsgutachten zur Photovoltaikpflicht in Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM BW), Freiburg. Online verfügbar unter URL: <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/416838> [13.09.2024]

⁴ Stryi-Hipp, Gerhard; Leuchtnner, Jürgen; Longo, Fabio (2023): Praxisleitfaden zur Photovoltaikpflicht. Leitfaden. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM BW), Stuttgart. Online verfügbar unter URL: https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Praxisleitfaden-Photovoltaikpflicht-barrierefrei.pdf [13.10.2023]

Mittel-, bzw. Hochspannungsnetz erforderlich, dessen Anschlussmöglichkeit in Städten sehr unterschiedlich sein kann.

Dem Potenzial der Technologie stehen jedoch einige Herausforderungen entgegen. Verglichen mit klassischen PV-Anlagen muss bei PPV-Anlagen aufgrund eines erhöhten Tragwerks, sowie höheren statischen und baurechtlichen Anforderungen von einem höheren Planungsaufwand und höheren Kosten ausgegangen werden. Außerdem kann die Installation der Stützpfeiler der Überdachung zum Verlust einzelner Stellplätze führen. Darüber hinaus sollte die Anlage robust gegen Vandalismus sein, da Parkplätze meist frei zugänglich sind. Dies könnte jedoch zusätzlichen Aufwand bedeuten.

Abbildung 3 zeigt unterschiedliche bereits realisierte PPV-Anlagen in der DACH-Region (Deutschland, Österreich und Schweiz) und deren installierte Leistung. Zudem bietet der Bericht „Solarstrom auf Parkplatzüberdachungen“ einen guten Überblick zur installierten Leistung, den Investitionskosten, der Stromnutzung, der Wirtschaftlichkeit und den Chancen und Herausforderungen verschiedener PPV-Anlagen in der Schweiz¹. Eine vergleichbare Studie für Deutschland ist bislang nicht bekannt.



Abbildung 3: Beispielpunkte von Parkplatz-PV-Anlagen in der DACH-Region. Oben links: Solarcarports in München, CH, installierte Leistung: 595 kW_p (© Newa One); Oben rechts: Parkplatzüberdachung mit Holzträgern in Lörrach, DE, installierte Leistung: 160 kW_p (© Energiedienst AG/ClickCon GmbH); Unten links: Überdachter Mitarbeiterparkplatz in Emdingen am Kaiserstuhl, DE, installierte Leistung: 300 kW_p (© focusEnergie GmbH & Co. KG); Unten rechts: Parkplatzüberdachung in Jakobsbad, CH, installierte Leistung: 429 kW_p (© dhp-technology)

¹ Hochreutener, Marc; Grüter, Lucia; Niciforos, Christos; Konersmann, Lars (2022): Solarstrom auf Parkplatzüberdachungen. Bundesamt für Energie Schweiz, Basel. Online verfügbar unter URL: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10905> [15.09.2024]

2.2 Radwege-PV

Radwege-Photovoltaik (Radwege-PV) ist ein Teil der Urbanen PV. Sie integriert Solartechnologie in städtischer Infrastruktur wie Radwegen, um erneuerbare Energie zu gewinnen und die Radwegnutzung zu verbessern, etwa durch Beleuchtung oder E-Bike-Ladestationen.

Radwege-PV-Anlagen sind ideal für die Integration in städtische und vorstädtische Gebiete, wo Radwege eine wichtige Rolle im täglichen Verkehr spielen. Die PV-Module können entlang oder direkt über den Radwegen installiert werden, um Schatten zu spenden und Wetterschutz zu bieten. Diese Funktionalität kann zu einer erhöhten Nutzung von Radwegen führen, indem sie den Komfort für Radfahrer verbessert.

Die Montage der PV-Module erfolgt in der Regel mit einer leichten Neigung, um eine optimale Sonneneinstrahlung und Wasserabfluss zu gewährleisten. Die Tragwerke der Radwege-PV-Anlagen bestehen typischerweise aus leichten, langlebigen Materialien wie Aluminium oder verzinktem Stahl, um den Anforderungen an Sicherheit und Haltbarkeit gerecht zu werden. Die Systeme sind modular aufgebaut und können an die spezifischen Gegebenheiten der jeweiligen Radwege angepasst werden.

Ein besonderer Vorteil der Radwege-PV-Technologie ist die Doppelnutzung der bereits bestehenden Infrastruktur. Neben der Erzeugung von Strom kann die Installation solcher Anlagen zur Verbesserung der städtischen Luftqualität beitragen, indem sie die Nutzung von Fahrrädern als umweltfreundliche Fortbewegungsmittel fördert.

Trotz der Vorteile stehen Radwege-PV-Anlagen vor einigen Herausforderungen. Dazu zählen die notwendigen Genehmigungen und die Einhaltung strenger baurechtlicher Vorschriften. Auch der Schutz vor Vandalismus ist ein wichtiger Aspekt, da Radwege oft frei zugänglich sind. Die Kosten für die Installation und Wartung können im Vergleich zu traditionellen PV-Anlagen höher sein. Dennoch bieten Radwege-PV-Anlagen eine innovative Möglichkeit, die Energiewende in urbanen Gebieten voranzutreiben und gleichzeitig den öffentlichen Raum funktional zu erweitern.



Abbildung 4: Beispiel Radwege-PV. Solar Radweg in Freiburg. Quelle: Badenova (https://www.badenovawaermeplus.de/bilder/erneuerbare/sonne/solarradweg/pv-radweg_pic_768.jpg?ts=1682431285295)

2.3 PV-Bushaltestellen

Photovoltaikanlagen auf oder über Bushaltestellen, bekannt als PV-Bushaltestellen, sind Teil der urbanen integrierten Photovoltaik. Sie nutzen Solarenergie, um die Infrastruktur des öffentlichen Verkehrs zu optimieren und bieten gleichzeitig Umwelt- und Fahrgastvorteile.

PV-Bushaltestellen sind so konzipiert, dass sie den Energiebedarf für Beleuchtung, digitale Anzeigen, Fahrgastinformationssysteme und Sicherheitseinrichtungen decken. Darüber hinaus können sie Strom für zusätzliche Funktionen wie USB-Ladeanschlüsse für mobile Geräte bereitstellen. Die Integration von PV-Modulen auf Bushaltestellen kann auch dazu beitragen, den städtischen Energieverbrauch zu senken und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren.

Die PV-Module werden in der Regel auf dem Dach der Haltestellen integriert und sind so angeordnet, dass sie eine optimale Sonneneinstrahlung erhalten, ohne das ästhetische Erscheinungsbild der Struktur zu beeinträchtigen. Die Materialien für die Tragwerke sind typischerweise leicht und langlebig, wie Aluminium oder verzinkter Stahl, um den baulichen Anforderungen gerecht zu werden.

Ein wesentlicher Vorteil von PV-Bushaltestellen ist ihre Fähigkeit, den öffentlichen Raum nachhaltig zu nutzen. Sie bieten Schutz vor Witterungseinflüssen wie Regen und Sonne, was den Komfort für wartende Fahrgäste erhöht. Zusätzlich kann die erzeugte Solarenergie zur Reduzierung der Betriebskosten des öffentlichen Verkehrs beitragen.

Trotz ihrer Vorteile gibt es bei PV-Bushaltestellen einige Herausforderungen zu bewältigen. Dazu gehören die Notwendigkeit von Genehmigungen, die Einhaltung von Sicherheitsstandards und die Sicherstellung der Vandalismussicherheit. Die initialen Investitionskosten können höher sein als bei herkömmlichen Bushaltestellen, doch die langfristigen Einsparungen durch reduzierte Energiekosten und die positiven Umwelteffekte machen sie zu einer attraktiven Option für Städte, die ihre Infrastruktur nachhaltiger gestalten möchten.

Insgesamt bieten PV-Bushaltestellen eine innovative Lösung, um die Energiewende im städtischen Raum voranzutreiben und gleichzeitig den öffentlichen Verkehr zu modernisieren.



Abbildung 5: Beispiele verschiedener Pressebilder von Solar-Bushaltestellen. Bildquellen: oben links: https://seedia.city/wp-content/uploads/2023/08/DJI_0040.webp; oben rechts: https://ec.europa.eu/regional_policy/rest/projects/upload/helio_smart_shelter_in_katowice.jpg; unten links: <https://www.mci-marketing.ch/technik-es-solarbus-00.html>; unten rechts: <https://eqshelters.com/wp-content/uploads/2021/09/IMG-20210903-WA0015.jpg>.

2.4 PV auf Spiel-, Sport- & öffentlichen Plätzen

Die Nutzung von Photovoltaikanlagen auf Spiel-, Sport- und öffentlichen Plätzen ist ein innovativer Einsatz von integrierter Photovoltaik im urbanen Raum. Sie ermöglicht die nachhaltige Nutzung dieser Räume zur Solarenergieerzeugung und verbessert gleichzeitig ihren Komfort und Nutzen.

PV-Anlagen können auf Spielplätzen als Schattenspender dienen, die Kinder vor starker Sonneneinstrahlung schützen und saubere Energie erzeugen. Auf Sportplätzen können sie Beleuchtung und andere elektrische Einrichtungen mit Strom versorgen, was die Betriebskosten senkt. Auf öffentlichen Plätzen liefern sie Energie für Beleuchtung, Ladestationen und andere öffentliche Einrichtungen.

Die Installation der PV-Module erfolgt häufig in Form von Überdachungen oder als Teil der bestehenden Infrastruktur, wie z.B. Dächer von Tribünen oder Pavillons. Diese Module sind so konzipiert, dass sie sich harmonisch in die Umgebung einfügen, ohne die Ästhetik oder Funktionalität der Plätze zu beeinträchtigen. Häufig werden semitransparente Module verwendet, um den Lichteinfall zu regulieren und zugleich Energie zu gewinnen.

Ein bedeutender Vorteil der PV-Integration auf solchen Flächen ist die Doppelnutzung der vorhandenen Infrastruktur. Dies ermöglicht eine effiziente Flächennutzung, insbesondere in dicht besiedelten städtischen Gebieten, wo der Platz begrenzt ist. Darüber hinaus tragen diese Anlagen zur Verbesserung der städtischen Umwelt bei, indem sie die Nutzung erneuerbarer Energien fördern und die CO₂-Emissionen reduzieren.

Den Vorteilen stehen jedoch Herausforderungen gegenüber, wie die Sicherstellung der baulichen Sicherheit und die Einhaltung von Vorschriften, insbesondere im Hinblick auf die Sicherheit der Nutzer. Die Kosten für die Integration von PV-Anlagen in öffentliche Plätze können höher sein als bei herkömmlichen Lösungen, doch die langfristigen Einsparungen und Umweltvorteile machen sie zu einer lohnenden Investition.

Insgesamt bieten PV-Anlagen auf Spiel-, Sport- und öffentlichen Plätzen eine zukunftsweisende Möglichkeit, die Energiewende im städtischen Raum voranzutreiben und gleichzeitig die Lebensqualität und Nachhaltigkeit urbaner Lebensräume zu verbessern.



Abbildung 6: Beispiele für PV auf Spiel-, Sport und öffentlichen Plätzen. Bildquellen: oben links: [https://images.ctfassets.net/opz1rk40r4ou/5y8VFZKh2Eum8e0LcdH7NO/51cc5e014808c8dc0735d85903fde6a7/Terra - The Sustainability Pavilion Web Image m879.jpg](https://images.ctfassets.net/opz1rk40r4ou/5y8VFZKh2Eum8e0LcdH7NO/51cc5e014808c8dc0735d85903fde6a7/Terra_-_The_Sustainability_Pavilion_Web_Image_m879.jpg); oben rechts: https://pfalzsolar.de/wp-content/uploads/2020/09/200702_Mombaur_Freilufthalle-e1594191603865-980x551-1-1.jpg; unten links: <https://playground-landscape.com/media/article/44/cnt-01.jpg>; unten rechts: <https://blogs.constellation.com/wp-content/uploads/2020/03/SolarArrays-SchoolCampus-Blacktop-768x544.jpg>.

3 Analyse des Potenzials für Urban PV

Dieses Kapitel analysiert das Potenzial für Urban Photovoltaik in Idstein. Es beschreibt die methodischen Schritte und Kriterien zur Bewertung der Eignung verschiedener Standorte für die Integration von Photovoltaikanlagen.

Zu Beginn werden die Richtlinien des Kriterienkatalogs vorgestellt, die ausschlaggebend für die Identifizierung von Ausschluss- und Eignungskriterien sind. Dann erfolgt eine detaillierte Gewichtung dieser Kriterien mithilfe des Analytischen Hierarchieprozesses (AHP), um Prioritäten in der Standortauswahl zu bestimmen.

Der nächste Schritt konzentriert sich auf die Recherche und Aufbereitung relevanter Geodaten, die als Grundlage für die Untersuchung spezifischer Flächen dienen. Mit der Gewichtung aus der AHP-Methode wird dann eine systematische Bewertung der identifizierten Flächen durchgeführt.

Abschließend wird das Flächen-, Leistungs- und Energiepotenzial ermittelt, um das gesamte Potenzial von Urban PV in den betrachteten Gebieten zu quantifizieren und zu bewerten. Dieses Kapitel liefert somit entscheidende Erkenntnisse zur strategischen Planung und Umsetzung von Urban PV-Projekten in Idstein.

3.1 Richtlinien des Kriterienkatalogs

Die Bewertung der Untersuchungsflächen hinsichtlich deren Eignung zur Photovoltaiknutzung erfolgt auf Grundlage des zuvor mit dem AG abgestimmten Kriterienkatalogs. Hier wird zwischen harten Ausschlusskriterien (gänzlicher Ausschluss dieser Flächen) und weichen Eignungskriterien (Einfluss auf die Eignung der Flächen) unterschieden. In Tabelle 1 sind die einzelnen Ausschluss- und Eignungskriterien der jeweiligen PV-Technologien zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht der einzelne Ausschluss- und Eignungskriterien für die Standortanalyse

	Parkplätze	Radwege	Bushaltestellen	Öff. Plätze, Spiel- & Sportplätze
Ausschlusskriterien	- Flächenart - Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt - Flächengröße - Flächenneigung	- Flächenart - Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt	- Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt	- Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt - Flächengröße
Eignungskriterien	- Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt - Flächengröße - Hitzebelastungsindex - Rauigkeit der Fläche	- Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt - Flächengröße - Hitzebelastungsindex - EEG-Förderungsmöglichkeiten	- Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt - Flächengröße - Hitzebelastungsindex - EEG-Förderungsmöglichkeiten	- Verschattungssituation - Distanz zum nächsten Netzananschlusspunkt - Flächengröße - Hitzebelastungsindex - EEG-Förderungsmöglichkeiten - Rauigkeit der Fläche

3.1.1 Ausschlusskriterien

Abschnitt 3.1.1 befasst sich mit der Anwendung von Ausschlusskriterien, die bei der Analyse von Standorten für Urban PV festgelegt wurden. Die folgenden Tabellen bieten eine Übersicht über die Analyse und Bewertung verschiedener Flächen im urbanen Raum. Unterschiedliche Kategorien von Flächen wurden untersucht, darunter Parkplätze, Radwege, Bushaltestellen sowie Spiel-, Sport- und öffentliche Plätze.

Parkplätze

Für Parkplätze wurden insgesamt 142 Flächen analysiert. Bei dieser Analyse wurden verschiedene Kriterien berücksichtigt, um die Eignung der Flächen für die geplante Nutzung zu bewerten. Insgesamt wurden 47 Flächen aufgrund spezifischer Ausschlusskriterien ausgeschlossen. Diese Kriterien umfassen Aspekte wie die Fläche, die Neigung des Geländes, die Entfernung zu Anschlussstellen, die Sonneneinstrahlung sowie die Rauigkeit des Untergrunds.

Tabelle 2: Auswahl der Parkplätze in Idstein

	Anzahl der Flächen
Gesamtzahl der Parkplätze	142
Ausschluss gesamt	47
Mehrstöckige Parkhäuser	2
Fläche kleiner als 50 m²	4
Neigung größer als 10°	3
Distanz größer als 500 m	6
Einstrahlung unter 75%	29
Rauigkeit größer als 4 m	23
Verbleibende Parkplätze	95

Radwege

Die meisten Radwege befinden sich auf Straßen, die gleichzeitig von PKWs genutzt werden, was ihre Eignung für die Installation von Photovoltaikanlagen stark einschränkt. Der Hauptgrund dafür ist die Sicherheits- und Platzanforderung. Die Integration von PV-Anlagen auf solchen Radwegen könnte sowohl den Verkehrsfluss als auch die Sicherheit der Radfahrer beeinträchtigen. Zudem besteht auf gemeinsam genutzten Verkehrsflächen ein erhöhtes Risiko für Beschädigungen der Anlagen durch den Fahrzeugverkehr. Aus diesen Gründen sind nur gesonderte Radwege, die explizit vom Autoverkehr getrennt sind, grundsätzlich für die Installation von Photovoltaikanlagen geeignet.

Im Stadtgebiet Idstein sind Radwege mit einer Gesamtlänge von ca. 133 km ausgewiesen. Von diesen eignen sich nach Anwendung der Ausschlusskriterien 9,3 km für eine PV-Anwendung. Diese separaten Wege bieten genügend Platz und Sicherheit, um die technischen und baulichen Anforderungen der PV-Integration zu erfüllen, ohne den Verkehr zu behindern oder die Sicherheit der Radfahrer zu gefährden.

Tabelle 3: Auswahl der Radwegstrecken in Idstein

	Radwegstrecke
Gesamtlänge Idstein	133 km
Ausschluss gesamt	123,7 km
Verbleibende Radwegstrecke	9,3 km

Bushaltestellen

Im Stadtgebiet Idstein wurden 104 Bushaltestellen ausgewertet und die Verschattung der Standorte durch umliegende Gebäude bewertet. Insgesamt wurden 37 Standorte ausgeschlossen, welche durch Verschattung weniger als 75 % der verfügbaren Einstrahlung aufwiesen. Die verbleibenden 67 Bushaltestellen wurden als potenziell geeignet für PV-Installationen betrachtet.

Tabelle 4: Gesamtzahl der Bushaltestellen

	Anzahl der Flächen
Gesamtzahl der Bushaltestellen	104
Ausschluss Einstrahlung unter 75 %	37
Potentiell geeignete Bushaltestellen	67

Spiel-, Sport- und öffentliche Plätze

Für Spiel-, Sport- und öffentliche Plätze wurden insgesamt 74 Flächen analysiert. Zehn Flächen mussten aufgrund zu hoher Verschattung ausgeschlossen werden. Darüber hinaus wurden 26 Flächen aufgrund eines hohen Rauigkeitsindex nicht berücksichtigt. Nach diesen Ausschlüssen verbleiben 45 Flächen, die als potenziell geeignet für Photovoltaikanwendungen gelten.

Tabelle 5: Auswahl der Spiel- und Sportplätze sowie der öffentlichen Plätze in Idstein, mehrere Ausschlusskriterien können auf einen Standort zutreffen

	Anzahl der Standorte
Plätze gesamt	74
Öffentliche Plätze	14
Spielplätze	37
Sportplätze	23
Ausschluss gesamt	29
Einstrahlung unter 75%	10
Rauigkeitsindex größer als 4	26
Geeignete Flächen	45

3.1.2 Eignungskriterien

Die betrachteten Eignungskriterien werden im Rahmen der folgenden Potentialanalyse für jeden einzelnen Standort bewertet und miteinander verglichen. Dies ermöglicht den Vergleich der Standorte auf der Basis, wie gut sie die Eignungskriterien erfüllen. Im Folgenden werden die betrachteten Eignungskriterien erläutert.

3.1.2.1 Vorstellung der Kriterien

Verschattung

Der Stromertrag und damit auch die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen hängt maßgeblich von der lokalen Einstrahlungssituation ab. Im urbanen Raum umgesetzte PV-Anlagen sind dabei häufig der Verschattung durch umliegende Gebäude oder Bäume ausgesetzt. Für die Eignungsbewertung einer Fläche zur photovoltaischen Stromerzeugung, ist die vorherrschende Verschattungssituation einer der wichtigsten Faktoren.

Auf Basis von verschiedenen Einstrahlungsmodellierungen wird für jede Untersuchungsfläche die jeweilige Einstrahlungssituation analysiert. Die Ergebnisse werden in normalisierter Form als Eignungskriterien in den Analytischen Hierarchieprozess eingebunden. Das in GRASS GIS implementierte Tool „r.sun“ bietet umfassende Funktionalitäten zur Modellierung der solaren Einstrahlung und hat sich in der Vergangenheit durch zahlreiche Studien als zuverlässiges Instrument für verschiedene geographische Analysen etabliert. Durch einen Vergleich der Tagessummen der Globalstrahlung, die auf Basis eines Geländemodells berechnet wurden, mit den Tagessummen basierend auf einem Oberflächenmodell lassen sich Aussagen über den Verschattungseffekt durch die umliegenden Objekte treffen. Vor der Durchführung der Einstrahlungsanalyse mit r.sun werden zwei weitere Schritte der Datenaufbereitung vorgenommen, die nun erläutert werden.

Entscheidend für die Eignungsbewertung einer Fläche zur PV-Nutzung sind letztlich die Einstrahlungsverhältnisse auf den PV-Modulen und nicht die der darunterliegenden Fläche. Daher werden zunächst die Modulflächen der potenziellen PPV-Anlagen in die einzelnen Höhenmodelle integriert. Typische Modulhöhen von PPV-Anlagen liegen auf rund 3 m über dem Erdboden. Unter der Annahme, dass Hindernisse, die sich aktuell noch auf den Untersuchungsflächen befinden, wie bspw. Bäume, vor dem Bau einer solchen Anlage entfernt werden, erfolgt die Modellierung der Modulflächen, indem der gemittelte Höhenwert einer Untersuchungsfläche um 3 m erhöht wird und die bisherigen Höhenwerte der Untersuchungsfläche ersetzt. Idealerweise werden die Einstrahlungssummen für jede Untersuchungsfläche für jeden Tag über ein gesamtes Jahr analysiert. Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes, sowie der hohen Auflösung der Höhenmodelle und der damit verbundenen hohen Rechenzeit von r.sun ist eine tagesgenaue Einstrahlungsmodellierung über den Zeitraum von einem Jahr im Rahmen dieser Studie nicht durchführbar. Um dennoch die Verschattungseffekte möglichst präzise zu analysieren, werden Einstrahlungsberechnungen an insgesamt vier, gleichmäßig über ein Jahr verteilten Untersuchungstagen (UT) durchgeführt. Die erste Berechnung erfolgt am Tag der Wintersonnenwende (WSW), um die Situation am kürzesten Tag mit dem gleichzeitig niedrigsten Sonnenstand zu erfassen. Die zweite Berechnung erfolgt am Tag des anderen Extrems, am Tag der Sommersonnenwende (SSW), um so die Situation am längsten Tag mit dem höchsten Sonnenstand zu untersuchen. Abschließend wird eine Berechnung am Tag des Äquinoktiums (ÄQ), also der Tagundnachtgleiche, durchgeführt. Da der Sonnenverlauf am Tag des Frühlingsäquinoktiums nahezu identisch ist mit dem Verlauf

am Tag des Herbstäquinoktiums, wird hierfür nur eine Berechnung durchgeführt.

Für die Modellierung der Schattenwürfe wird ein Zeitintervall von einer halben Stunde gewählt. Außerdem kann der Bodenalbedowert für die Berechnung festgelegt werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Untersuchungsflächen zum Großteil im urbanen Raum umgesetzt werden und dadurch häufig von asphaltierten Flächen umgeben sind, wird für die Berechnung ein typischer Bodenalbedowert von Asphalt (0,1) gewählt. Zur Berücksichtigung der Streu- und Absorptionsverluste in der Atmosphäre, wird als Linke-Trübungsfaktor der Mittelwert für ländlich städtische Gebiete gewählt (3).

Tabelle 6 zeigt die Metadaten der Einstrahlungsberechnungen an den verschiedenen Untersuchungstagen.

Tabelle 6: Metadaten der Sonneneinstrahlungsmodellierung

	WSW	ÄQ	SSW
Solarkonstante (W/m ²)	1367	1367	1367
Extraterrestrische Strahlung (W/m ²)	1411,7	1378,8	1322,5
Sonnendeklination (Grad)	-23,45	0	+23,45
Sonnenaufgangszeit Min-Max (h)	7,91 – 7,92	6,01 – 6,01	4,08 – 4,09
Sonnenuntergangszeit Min-Max (h)	16,08 – 16,09	17,99 – 17,99	19,91 – 19,92
Zeitintervalle (h)	0,5	0,5	0,5
Linke-Trübungsfaktor	3	3	3
Bodenalbedowert	0,1	0,1	0,1

Basierend auf den in Tabelle 6 aufgeführten Eingabeparametern werden die Berechnungen der Tagessummen der Sonneneinstrahlung mit dem r.sun-Modell in GRASS GIS für jeden Untersuchungstag (WSW, ÄQ & SSW) und für die beiden modifizierten Höhenmodelle durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen stellen die Grundlage für die weiterführende Bewertung und den Vergleich der Einstrahlungssituation dar. Durch Verwendung des QGIS-Tools „Zonal Statistics“ kann nun die flächenspezifische Einstrahlung für jede Untersuchungsfläche ermittelt werden. Sie gibt an, wie viel Strahlungsenergie pro Quadratmeter die jeweilige Fläche im Durchschnitt an dem betrachteten Untersuchungstag empfängt.

Anschließend werden die ermittelten flächenspezifischen Einstrahlungswerte jeder Untersuchungsfläche getrennt nach den zugrundeliegenden Höhenmodellen, zu einem aggregierten Gesamtwert zusammengefasst, wobei der Wert am Tag des Äquinoktiums doppelt mit einfließt, da dieser sowohl die Einstrahlung am Tag des Frühlingsäquinoktiums als auch die am Tag des Herbstäquinoktiums repräsentiert. Dies erleichtert die Bewertung der Untersuchungsflächen hinsichtlich ihrer Einstrahlungssituation. Anstatt die Vielzahl an Einzelwerten berücksichtigen zu müssen, kann nun für jede Fläche ein übersichtlicher Vergleich der Werte auf Basis des Geländemodells mit den Werten auf Basis des Oberflächenmodells vorgenommen werden. Da der neu entstandene Kennwert nun die Tagessummen der Einstrahlung der insgesamt vier Untersuchungstage umfasst, ist die Einheit dieser Größe „Wh/m²/4d“, also Wattstunden pro Quadratmeter über den 4-Tages-Zeitraum. Die Aggregation für jede Fläche erfolgt innerhalb von QGIS durch Anwendung des Feldrechners.

Distanz zum nächsten Netzanschlusspunkt

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei dem Bau einer PV-Anlage ist die Distanz zum nächstmöglichen Netzeinspeisepunkt. PV-Anlagen müssen abhängig von ihrer Größe und der erzeugten Strommenge entweder an das Nieder-, Mittel- oder Hochspannungsnetz angeschlossen werden. Die Leitungen hierfür werden meist unterirdisch verlegt. Je weiter der nächste Netzeinspeisepunkt von der PV-Anlage entfernt ist, desto größer werden auch die Kosten für den Netzan-schluss. Bei größeren Distanzen müssen mehr Kabel verlegt werden und gleichzeitig führen lange Leitungswege auch zu höheren Leitungsverlusten. Hinsichtlich einer ökonomischen Bewertung sind daher kurze Distanzen für den Netzan-schluss von Vorteil. Bei Anlagen $>100 \text{ kW}_p$ ist in der Regel ein An-schluss an das Mittelspannungsnetz erforderlich. Dies zeigt auch eine Studie des Forschungsinstituts für Nachhaltigkeit mit Sitz in Potsdam aus dem Jahr 2017. Daraus geht hervor, dass PV-Anlagen in den Niederspannungsnetzen zwar typischerweise eine Anlagenleistung von nur wenigen Kilowatt aufwei-sen, einzelne Anlagen jedoch auch eine Leistung von über 100 kW aufweisen können. 90 % der PV-Anlagen in den Niederspannungsnetzen in Deutschland sind kleiner als 30 kW . Bei Anlagen bis zu dieser Größe ist der Netzan-schluss-punkt aufgrund gesetzlicher Vorgaben gleich dem Hausanschlusspunkt.

In dieser Analyse wird daher unterschieden zwischen Anlagen die an das Nie-derspannungsnetz angeschlossen werden können ($<100 \text{ kW}_p$) und Anlagen die an das Mittelspannungsnetz angeschlossen werden müssen ($>100 \text{ kW}_p$). Dafür wird zunächst abgeschätzt, ab welcher Flächengröße die Anlage den Grenz-wert von 100 kW_p überschreitet. Bei einer für Parkplatzüberdachungen typi-schen Belegungsdichte von 90 %, und einer spezifischen Anlagenleistung von $0,185 \text{ kW}_p/\text{m}^2$ entspricht eine 100 kW_p -Anlage einer Flächengröße von 620 m^2 . Bei Untersuchungsflächen die eine Flächengröße von über 620 m^2 aufweisen wird daher die Annahme getroffen, dass eine zukünftige PV-Anlage auf dieser Fläche an das Mittelspannungsnetz angeschlossen werden muss. Für Flächen die unter diesem Wert liegen wird die Distanz zum nächstgelegenen Gebäude als Kriterium verwendet. Für Flächen die über diesem Wert liegen wird die Distanz zum nächstgelegenen Mittelspannungsnetzpunkt, welche vom AG bereitgestellt wurden, verwendet.

Flächengröße

Die Größe der zur Verfügung stehenden Fläche ist ein zentraler Aspekt bei der Realisierung von PV-Anlagen im urbanen Raum. Je größer die Fläche, desto mehr Solarmodule können installiert und desto mehr PV-Strom kann erzeugt werden. Gleichzeitig können größere Flächen deutlich effizienter genutzt werden. Durch Skaleneffekte sinken die spezifischen Kosten der Anlage, was di-recte Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen mit sich bringt. Aus diesen Gründen wird die Gesamtfläche der jeweiligen Untersuchungsflä-che als ein weiteres Ausschlusskriterium in der folgenden Standorteignungs-analyse verwendet. Bei Parkplatzflächen wurde in früheren Studien häufig eine Mindestgröße von 50 m^2 angewandt, was ungefähr der Größe eines Park-platzes mit 4 einzelnen Stellplätzen entspricht. Kleinere Parkplatz-PV-Anlagen werden als nicht wirtschaftlich und damit als ungeeignet eingestuft. Das Aus-schlusskriterium der Mindestflächengröße von 50 m^2 wird sowohl bei den Parkplatzflächen als auch bei den Öffentlichen Plätzen, Spiel- und Sportplätzen angewandt.

Flächenneigung

Da Parkplatzflächen mit einer mittleren Neigung von über 10° als ungeeignet für die photovoltaische Stromproduktion gelten, wird die Flächenneigung im weiteren Verlauf der Studie als ein weiteres Ausschlusskriterium der Parkplatzflächen angewandt. Hierfür wird auf Basis des Digitalen Geländemodells (DGM1) zunächst der Neigungswinkel des Geländes und anschließend für jede Untersuchungsfläche die mittlere Neigung berechnet. Insgesamt betrifft dies drei Parkplatzflächen, die somit aufgrund ihrer Flächenneigung von über 10° als ungeeignet eingestuft werden und im weiteren Verlauf der Leistungs- und Ertragsermittlung nicht weiter berücksichtigt werden. Für die anderen Technologien wurde die Neigung nicht bewertet.

Hitzebelastung

In der Studie wurden der Hitzebelastungsindex und die ColdHotspots-Analyse kombiniert, um ein umfassendes Eignungskriterium zu entwickeln. Dieses kombinierte Kriterium ermöglicht eine präzise Bewertung der thermischen Bedingungen auf städtischen und gewerblichen Flächen, indem es sowohl die Intensität der Hitzebelastung als auch die Temperaturabweichungen von der durchschnittlichen Oberflächentemperatur berücksichtigt. Durch die Kombination dieser beiden Ansätze wird eine fundierte Grundlage für die ökologische Bewertung und die nachhaltige Planung urbaner Gebiete geschaffen.

In Tabelle 7 ist die Zuordnung des Hitzebelastungsindex und der ColdHotspot-Klassen zu der AHP-Normierungswerten dargestellt. In Abbildung 7 ist die Verteilung der Hitzebelastungsbewertung über das Untersuchungsgebiet erkennbar.

Tabelle 7: Vergleich des Hitzebelastungsindex mit den ColdHotspots-Klassen

Hitzebelastungsindex	ColdHotspots-Klassen	AHP-Normierung
	3	0
	4	0
1		1
2	5	2
3	6	3
4		4
5		5
6	7	6

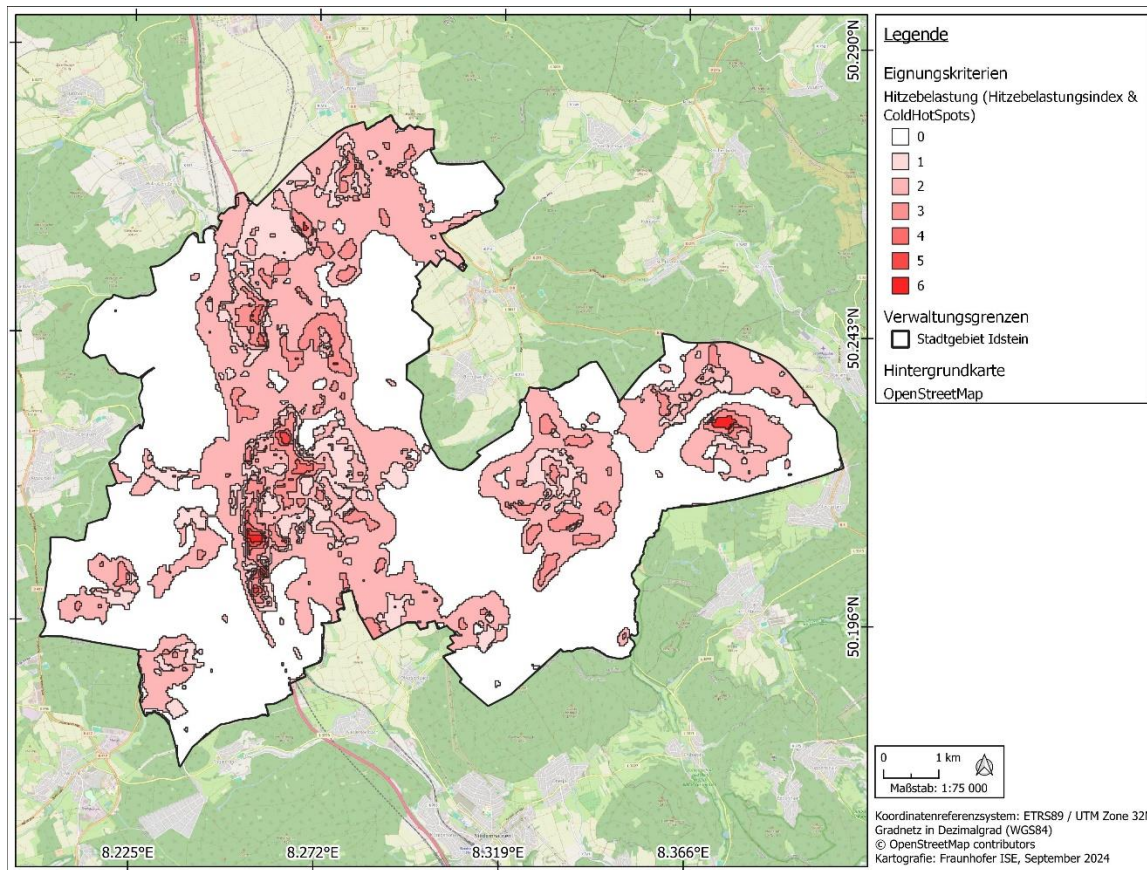


Abbildung 7: Kriterium Hitzebelastung

Rauigkeit der Fläche

Die Rauigkeit der Fläche gibt einen Hinweis drauf, wie leicht sich auf der untersuchten Fläche eine PV-Anlage errichten lässt. Im Gegensatz zur Einstrahlungsuntersuchung, für die die Hindernisse auf einer Fläche nicht berücksichtigt wurden, wird die topographische Heterogenität der Untersuchungsflächen mit in die Analyse einbezogen. Dafür wurde mit dem QGIS-Werkzeug „Ruggedness index“ auf Basis des digitalen Oberflächenmodells jede Fläche untersucht und quantifiziert. Dabei wurde für jede Fläche ein Rauigkeitsindex nach der Methode von Riley et al. (1999)¹ berechnet. Ein mittlerer Rauigkeitswert von ≥ 4 wird als Ausschlusskriterium angewandt, da dieser Wert darauf hinweist, dass die Geländeoberfläche zu uneben ist, um für die geplante Nutzung geeignet zu sein. Flächen mit einem solchen Rauigkeitswert sind in der Regel durch eine hohe Anzahl an Objekten, wie Bäume, Laternen, Zäune oder andere Aufbauten, gekennzeichnet, was zu Herausforderungen bei der Umsetzung von PV-Anlagen führen kann. Daher werden nur Flächen mit einer Rauigkeit unter diesem Schwellenwert in Betracht gezogen.

¹ Riley, S. J.; DeGloria, S. D.; Elliot, R. (1999): A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. Intermountain Journal of Sciences, Vol. 5, Nr. 1-4: 23-27

Förderungsmöglichkeiten nach EEG 2023

Flächen, die innerhalb einer 500-Meter-Distanz zu Autobahnen und Schienenwegen liegen, sind nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) förderfähig. Diese Nähe zu Verkehrswegen wird als Vorteil betrachtet, da sie die potenzielle Eignung der Flächen für bestimmte förderfähige Projekte erhöht. Aufgrund dieser Förderung sind solche Flächen bei der Bewertung positiver zu berücksichtigen, da die finanzielle Unterstützung durch das EEG die Attraktivität und Wirtschaftlichkeit von Projekten in diesen Bereichen steigert.

3.1.2.2 Gewichtung der Eignungskriterien für den AHP

In Abschnitt 3.1.2 wird die Gewichtung der Eignungskriterien für den Analytischen Hierarchieprozess (AHP) behandelt. Dieser Prozess ist entscheidend, um die Relevanz der einzelnen Kriterien bei der Bewertung von Standorten für Urban PV zu bestimmen. Durch die Gewichtung wird eine Priorisierung der Kriterien ermöglicht, die den Entscheidungsprozess bei der Auswahl geeigneter Flächen für Photovoltaikprojekte unterstützt. Die Gewichtung bildet somit die Grundlage für eine systematische und objektive Standortbewertung.

In Tabelle 8 ist die Verteilung der Eignungskriterien auf die AHP-Gewichtungsklassen dargestellt. Die Verschattungssituation erhält für alle Flächenarten die höchste Gewichtung (9), gefolgt von der Nähe zum Netzananschlusspunkt (6) und der Flächengröße (5). Die Rauigkeit der Flächen und die Hitzebelastung wurden für jede Flächenart unterschiedlich gewichtet.

Tabelle 8: Gewichtung der AHP-Eignungskriterien

	Weniger wichtig				Wichtig				Sehr wichtig
AHP-Gewichtung	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Parkplätze					Flächengröße, Rauigkeit der Fläche, Hitzebelastung	Distanz Netzananschluss			Verschattungssituation
Radwege & Bushaltestellen				EEG-Förderung	Flächengröße	Distanz Netzananschluss, Hitzebelastungsindex			Verschattungssituation
Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze				EEG-Förderung	Flächengröße,	Distanz Netzananschluss, Rauigkeit der Fläche, Hitzebelastung			Verschattungssituation

3.2 Datenrecherche und Aufbereitung der Geodaten

Im folgenden Kapitel wird die Sammlung und anschließende Aufbereitung aller relevanten Geodaten für die Potenzialanalyse von urbaner Photovoltaik in der Stadt Idstein näher dargestellt.

Die Verarbeitung, Analyse und Visualisierung der Geodaten erfolgt überwiegend mit dem Geoinformationssystem QGIS. Darüber hinaus kommt für die vorgesehenen Einstrahlungsmodellierungen das Programm GRASS GIS zum Einsatz. Ergänzend dazu werden statistische Auswertungen und die Erstellung von Diagrammen mit der Tabellenkalkulationssoftware Microsoft Excel vorgenommen.

3.2.1 Untersuchungsflächen

Im folgenden Abschnitt werden die Geodaten, welche für die Analysen dieser Studie verwendet wurden, erläutert. Zunächst wird auf die Daten der Untersuchungsflächen und -standorte eingegangen, gefolgt von einer Auflistung von ergänzenden Geodaten, welche in der Analyse verwendet wurden.

3.2.1.1 Parkplätze

Die Daten der Parkplätze stammen bis auf wenige Ausnahmen aus der OpenStreetMap (OSM) Datenbank. Vereinzelt wurden Flächen händisch hinzugefügt, die noch nicht in der OSM-Datenbank erfasst sind. Diese manuelle Ergänzung ermöglicht eine umfassendere und aktuellere Erfassung von Parkplätzen, insbesondere in Bereichen, die kürzlich entwickelt wurden oder in denen die Datenerfassung durch OSM noch unvollständig war.

3.2.1.2 Radwege

Die Daten der Radwege wurden kamen aus 2 Quellen. Die erste Datensatz wurde vom Mobilitätmanager bereitgestellt, der zweite Datensatz wurde aus OSM erfasst. Für die Entwicklung von Radwege-PV eignen sich lediglich reine Radwege, welche ausschließlich von Radfahrenden oder kombinierte Rad- und Gehwege.

3.2.1.3 Bushaltestellen

Bushaltestellen werden nach ihrer Ausstattung und Größe in verschiedene Kategorien eingeteilt. Die erste Kategorie umfasst Haltestellen ohne Häuschen, die lediglich aus einem Schild mit Fahrplan bestehen und eine Länge von 1 Meter haben. Die zweite Kategorie bilden Haltestellen mit einem einfachen Dach, die eine Länge von 2 Metern aufweisen. Die dritte Kategorie beinhaltet Häuschen mit einem Doppeldach und Fahrplan, die 4 Meter lang sind. Größere Haltestellen wie Busbahnhöfe mit einer Länge von 8 Metern oder mehr bilden die vierte Kategorie.

3.2.1.4 Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze

Die Daten der Spiel-, Sport- und öffentlichen Plätze stammen größtenteils aus der OpenStreetMap (OSM) Datenbank, mit einigen wenigen Ausnahmen. In einigen Fällen wurden Flächen manuell hinzugefügt, die noch nicht in der OSM-Datenbank erfasst waren.

3.2.2 Sonstige relevante Geodaten

Für die Analyse und Bewertung des Untersuchungsgebiets wurden zusätzlich Datensätze verwendet, die eine detaillierte und umfassende Betrachtung ermöglichen:

- **Digitale Geländemodelle (DGM) und Digitale Höhenmodelle (DEM) in 1 Meter Auflösung:** Diese hochauflösenden Modelle bieten präzise Informationen über die topografischen Gegebenheiten und Höhenunterschiede im Untersuchungsgebiet.
- **LoD2-Gebäudemodell:** Dieses Modell stellt detaillierte dreidimensionale Darstellungen von Gebäuden bereit, die für die Bewertung von Bauprojekten und die städtebauliche Planung genutzt werden können.
- **SYNA Mittelspannungsnetzpunkte:** Diese Daten liefern Informationen über die Standorte von Mittelspannungsnetzpunkten, die für die Energieversorgung und Netzplanung relevant sind.
- **RVK Netzentwurf Idstein:** Der Netzentwurf für Idstein bietet eine Übersicht über die geplante oder bestehende Netzstruktur in der Region.
- **Rad Hauptnetz Hessen:** Diese Daten umfassen das Hauptnetz der Radwege in Hessen und sind wichtig für die Planung und Verbesserung der Radverkehrsinfrastruktur.
- **Hitzebelastungsindex und ColdHotspots Hessen:** Diese Informationen helfen bei der Bewertung der thermischen Belastung und Temperaturabweichungen in verschiedenen Gebieten und sind entscheidend für ökologische und städtebauliche Planungen.
- **Schienenwege und Autobahnen aus der OSM-Datenbank:** Diese Daten bieten aktuelle Informationen über die Verkehrswege, die für die Verkehrsplanung und Infrastrukturentwicklung genutzt werden.
- **Verwaltungsgrenzen:** Diese Daten definieren die administrativen Grenzen im Untersuchungsgebiet und sind wichtig für rechtliche und planerische Entscheidungen.
- **Orthofotos:** Hochauflösende orthogonale Luftbilder, die eine genaue visuelle Darstellung des Gebiets bieten und für Kartierungen sowie Umweltevaluierungen eingesetzt werden.

3.3 Standorteignungsanalyse

3.3.1 Analytischer Hierarchieprozess

Es existieren verschiedene Methoden, um die Eignung eines Standorts anhand verschiedener Kriterien zu analysieren. Im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien und der Ermittlung von geeigneten Standorten für die regenerative Stromerzeugung hat sich durch viele Studien die Methode des analytischen Hierarchieprozesses (AHP) nach T. L. Saaty (1988) bewährt. Dieser beschreibt eine Methode der Entscheidungsfindung auf Basis mehrerer Kriterien, die in den 1970er Jahren von Mathematiker Thomas L. Saaty entwickelt wurde. Einen umfassenden Vergleich der existierenden Methoden und Konzepte der multi-

kriteriellen Entscheidungsfindung bietet die dazu veröffentlichte Studie von Taherdoost & Madanchian¹.

Der Prozess lässt sich grundsätzlich in fünf Schritte unterteilen:

1. Problemstrukturierung

Zunächst wird das zu untersuchende Thema in klar definierte Ausschluss- und Eignungskriterien unterteilt.

2. Paarweiser Kriterienvergleich

Anschließend werden alle Eignungskriterien paarweise miteinander verglichen. Dabei wird die relative Wichtigkeit oder Präferenz eines Kriteriums gegenüber eines anderen auf einer Skala von 1 bis 9 bewertet. Die Bedeutungsskala des paarweisen Vergleichs wird in Tabelle 9 erläutert.

Tabelle 9: Bedeutungsskala zur Gewichtung der Eignungskriterien (MÜHLBACHER & KACZYNSKI 2013; R. W. SAATY 1987)

Intensitätswert	Definition	Erläuterung
1	Gleiche Bedeutung	Beide miteinander verglichenen Kriterien haben die gleiche Bedeutung
3	Etwas größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine etwas größere Bedeutung des einen Kriteriums gegenüber des anderen Kriteriums
5	Erheblich größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine erheblich größere Bedeutung des einen Kriteriums gegenüber des anderen Kriteriums
7	Sehr viel größere Bedeutung	Die sehr viel größere Bedeutung des einen Kriteriums gegenüber des anderen Kriteriums hat sich in der Vergangenheit klar gezeigt
9	Absolut dominierende Bedeutung	Der größtmögliche Bedeutungsunterschied der zwischen den beiden verglichenen Kriterien möglich ist.
2,4,6,8	Zwischenwerte	Feinabstufungen der obigen Werte
$\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{7}, \frac{1}{9}, \dots$	Kehrwerte	Kehrwerte für Kriterien mit geringerer Bedeutung

3. Ermittlung der Kriteriengewichtung

Anhand der im vorigen Schritt festgelegten Bedeutsamkeit jedes Kriteriums, wird anschließend die relative Gewichtung der Kriterien im Verhältnis zuei-

¹ Taherdoost, Hamed; Madanchian, Mitra (2023): Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. Encyclopedia, 3 (1): S. 77–87. Online verfügbar unter DOI: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006> [26.09.2024]

ander berechnet. Dafür werden die einzelnen Kriterien in einer paarweisen Vergleichsmatrix gegenübergestellt und anschließend normalisiert. Die Kriteriengewichtung kann anschließend anhand der Mittelwerte der Zeile jedes Kriteriums ermittelt werden.

4. Konsistenzprüfung

Um sicherzustellen, dass die Bewertungen konsistent sind, wird anschließend die Konsistenz der paarweisen Vergleiche analysiert. Hierzu wird ein Konsistenzindex CI (Consistency Index) berechnet, der Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Werte nahe 0 deuten auf eine hohe Konsistenz, wohingegen Werte nahe 1 eine Inkonsistenz bedeuten.

5. Synthese der gewichteten Kriterien

Abschließend wird ein AHP-Wert für jeden Standort berechnet. Dazu werden die normierten Werte der Eignungskriterien jedes Standortes nach den bestimmten Gewichtungen aufsummiert. Daraus ergibt sich ein Wert zwischen 0 (schlechteste Eignung) und 1 (beste Eignung). Die Werte der Eignungskriterien werden jeweils auf den Maximalwert aus allen Standorten normiert, so dass beispielsweise, die am besten geeignete Bushaltestelle mit der geringsten Verschattung und Entfernung zum Einspeisepunkt einen Wert von 1 erhält. Untenstehende Formel beschreibt die Berechnung des AHP-Wertes:

$$AHP = \sum_0^i norm. Wert_{Krit.i} * Gewicht_{Krit.i}$$

AHP	Eignungswert für einen Standort
i	Anzahl Eignungskriterien
norm. Wert	normalisierter Wert für ein Eignungskriterium an einem Standort
Gewicht	im AHP-Prozess bestimmtes, normiertes Gewicht eines Kriteriums

Im Folgenden ist die Ermittlung der Kriteriengewichtung nach den Schritten 1 bis 4 des AHP für jeden betrachteten Flächentyp dargestellt. Radwege und Bushaltestellen erhielten die gleichen Gewichtungen. Nach einem Konsistenztest erwiesen sich alle getroffenen Gewichtungen als konsistent. Die für die Berechnung des AHP-Wertes verwendeten Gewichte sind jeweils in den Tabellen „Konsistenztest Vergleichstabelle“ enthalten.

3.3.1.1 Parkplätze

Tabelle 10: Paarweise Vergleichsmatrix - Parkplätze (Vergleich zeilenweise mit allen Kriterien)

	Verschattung	Distanz Netz- anschluss	Flächengröße	Hitze- belastungs- index	Rauigkeit der Fläche
Verschattung	1	4	5	5	5
Distanz Netzanschluss	1/4	1	2	2	2
Flächengröße	1/5	1/2	1	1	1
Hitzebelastungsindex	1/5	1/2	1	1	1
Rauigkeit der Fläche	1/5	1/2	1	1	1

Tabelle 11: Normalisierte paarweise Vergleichsmatrix - Parkplätze

	Verschattung	Distanz Netz- anschluss	Flächengröße	Hitze- belastungs- index	Rauigkeit der Fläche	Kriterien- gewichtung	Prozent (%)
Verschattung	0,541	0,615	0,500	0,500	0,500	0,531185	53,1
Distanz Netzanschluss	0,135	0,154	0,200	0,200	0,200	0,177796	17,8
Flächengröße	0,108	0,077	0,100	0,100	0,100	0,097006	9,7
Hitzebelastungsindex	0,108	0,077	0,100	0,100	0,100	0,097006	9,7
Rauigkeit der Fläche	0,108	0,077	0,100	0,100	0,100	0,097006	9,7

Tabelle 12: Konsistenztest Gewichtungstabelle - Parkplätze

	Verschattung	Distanz Netz- anschluss	Flächengröße	Hitze- belastungs- index	Rauigkeit der Fläche
Verschattung	0,531	0,711	0,485	0,485	0,485
Distanz Gebäude	0,133	0,178	0,194	0,194	0,194
Flächengröße	0,106	0,089	0,097	0,097	0,097
Hitzebelastungsindex	0,106	0,089	0,097	0,097	0,097
Rauigkeit der Fläche	0,106	0,089	0,097	0,097	0,097

Tabelle 13: Konsistenztest Vergleichstabelle - Parkplätze

Kriterium	Summe der Gewichtungen	Kriteriengewichtung	Summe Gewichtungen / Kriteriengewichtung
Verschattung	2,697	0,531	5,078
Distanz Gebäude	0,893	0,178	5,021
Flächengröße	0,486	0,097	5,012
Hitzebelastungsindex	0,486	0,097	5,012
Rauigkeit der Fläche	0,486	0,097	5,012

λ max	5,078	
Konsistenzindex	0,02	
Zufälligkeitsindex (n=5)	1,12	
Konsistenzverhältnis	0,017	< 0,1: Gewichtungen konsistent

3.3.1.2 Radwege & Bushaltestellen

Tabelle 14: Paarweise Vergleichsmatrix – Radwege & Bushaltestellen (Vergleich zeilenweise mit allen Kriterien)

	Verschattung	Distanz Netzanschluss	Flächengröße	Hitzebelastungsindex	EEG-Förderung
Verschattung	1	4	5	4	6
Distanz Netzanschluss	1/4	1	2	1	3
Flächengröße	1/5	1/2	1	1/2	2
Hitzebelastungsindex	1/4	1	2	1	3
EEG-Förderung	1/6	1/3	1/2	1/3	1

Tabelle 15: Normalisierte paarweise Vergleichsmatrix – Radwege & Bushaltestellen

	Verschattung	Distanz Netzanschluss	Flächengröße	Hitzebelastungsindex	EEG-Förderung	Kriteriengewichtung	Prozent (%)
Verschattung	0,536	0,585	0,476	0,585	0,400	0,516527	51,7
Distanz Netzanschluss	0,134	0,146	0,190	0,146	0,200	0,163418	16,3
Flächengröße	0,107	0,073	0,095	0,073	0,133	0,096411	9,6
Hitzebelastungsindex	0,134	0,146	0,190	0,146	0,200	0,163418	16,3
EEG-Förderung	0,089	0,049	0,048	0,049	0,067	0,060226	6,0

Tabelle 16: Konsistenztest Gewichtungstabelle – Radwege & Bushaltestellen

	Verschattung	Distanz Netz- anschluss	Flächengröße	Hitze- belastungs- index	EEG-Förderung
Verschattung	0,517	0,654	0,482	0,654	0,361
Distanz Gebäude	0,129	0,163	0,193	0,163	0,181
Flächengröße	0,103	0,082	0,096	0,082	0,120
Hitzebelastungsindex	0,129	0,163	0,193	0,163	0,181
EEG-Förderung	0,086	0,054	0,048	0,054	0,060

Tabelle 17: Konsistenztest Vergleichstabelle – Radwege & Bushaltestellen

Kriterium	Summe der Gewichtungen	Kriteriengewichtung	Summe Gewichtungen / Kriteriengewichtung
Verschattung	2,667	0,517	5,164
Distanz Gebäude	0,829	0,163	5,076
Flächengröße	0,484	0,096	5,016
Hitzebelastungsindex	0,829	0,163	5,076
EEG-Förderung	0,303	0,060	5,039

λ max	5,164
Konsistenzindex	0,041
Zufälligkeitsindex (n=5)	1,12
Konsistenzverhältnis	0,037 < 0,1: Gewichtungen konsistent

3.3.1.3 Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze

Tabelle 18: Paarweise Vergleichsmatrix – Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze (Vergleich zeilenweise mit allen Kriterien)

	Verschattung	Distanz Netz- anschluss	Flächengröße	Hitze- belastungs- index	EEG-Förderung	Rauigkeit der Fläche
Verschattung	1	4	5	4	6	4
Distanz Netzanschluss	¼	1	2	1	3	1
Flächengröße	1/5	½	1	½	2	½
Hitzebelastungsindex	¼	1	2	1	3	1
EEG-Förderung	1/6	1/3	½	1/3	1	1/3
Rauigkeit der Fläche	¼	1	2	1	3	1

Tabelle 19: Normalisierte paarweise Vergleichsmatrix – Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze

	Verschattung	Distanz Netzanschluss	Flächengröße	Hitzebelastungsindex	EEG-Förderung	Rauigkeit der Fläche	Kriteriengewichtung	Prozent (%)
Verschattung	0,472	0,511	0,400	0,511	0,333	0,511	0,456282	45,6
Distanz Netzanschluss	0,118	0,128	0,160	0,128	0,167	0,128	0,137959	13,8
Flächengröße	0,094	0,064	0,080	0,064	0,111	0,064	0,079515	8,0
Hitzebelastungsindex	0,118	0,128	0,160	0,128	0,167	0,128	0,137959	13,8
EEG-Förderung	0,079	0,043	0,040	0,043	0,056	0,043	0,050326	5,0
Rauigkeit der Fläche	0,118	0,128	0,160	0,128	0,167	0,128	0,137959	13,8

Tabelle 20: Konsistenztest Gewichtungstabelle – Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze

	Verschattung	Distanz Netzanschluss	Flächengröße	Hitzebelastungsindex	EEG-Förderung	Rauigkeit der Fläche
Verschattung	0,456	0,552	0,398	0,552	0,302	0,552
Distanz Netzanschluss	0,114	0,138	0,159	0,138	0,151	0,138
Flächengröße	0,091	0,069	0,080	0,069	0,101	0,069
Hitzebelastungsindex	0,114	0,138	0,159	0,138	0,151	0,138
EEG-Förderung	0,076	0,046	0,040	0,046	0,050	0,046
Rauigkeit der Fläche	0,114	0,138	0,159	0,138	0,151	0,138

Tabelle 21: Konsistenztest Vergleichstabelle– Spiel-, Sport- & Öffentliche Plätze

Kriterium	Summe der Gewichtungen	Kriteriengewichtung	Summe Gewichtungen / Kriteriengewichtung
Verschattung	2,811	0,456	6,161
Distanz Netzanschluss	0,838	0,138	6,074
Flächengröße	0,478	0,080	6,016
Hitzebelastungsindex	0,838	0,138	6,074
EEG-Förderung	0,304	0,050	6,042
Rauigkeit der Fläche	0,838	0,138	6,074

λ max	6,161	
Konsistenzindex	0,032	
Zufälligkeitsindex (n=5)	1,24	
Konsistenzverhältnis	0,026	< 0,1: Gewichtungen konsistent

3.3.1.4 Klassifizierung

Um eine übersichtliche Bewertung der Eignung zu ermöglichen, werden die Standorte basierend auf dem ermittelten AHP-Wert in drei Klassen gleicher Wertebereichintervalle eingeteilt. Die Aufteilung der Klassen je Flächentyp ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Aufteilung der AHP-Werte auf drei Eignungsklassen

	Parkplätze	Radwege	Bushaltestellen	Öff. Plätze, Spiel- & Sportplätze
Sehr gut geeignet	$0,89 \geq \text{AHP} > 0,69$	$0,85 \geq \text{AHP} > 0,65$	$0,88 \geq \text{AHP} > 0,63$	$0,84 \geq \text{AHP} > 0,63$
Gut geeignet	$0,69 \geq \text{AHP} > 0,48$	$0,65 \geq \text{AHP} > 0,47$	$0,63 \geq \text{AHP} > 0,39$	$0,63 \geq \text{AHP} > 0,44$
Bedingt geeignet	$0,48 \geq \text{AHP} > 0,28$	$0,47 \geq \text{AHP} > 0,25$	$0,39 \geq \text{AHP} > 0,09$	$0,44 \geq \text{AHP} > 0,22$

3.4 Flächen-, Leistungs- & Energiepotenzialermittlung

Für die Berechnung der technischen Potenziale werden verschiedene Annahmen zur Belegungsdichte der PV-Anlagen getroffen, die jeweils auf den typischen Systemdesigns der einzelnen InPV-Technologien basieren.

Bei PV-Parkplätzen kann grundsätzlich zwischen Stellplatz- und Parkplatzüberdachungen unterschieden werden, weshalb die verschiedenen Potenziale der Parkplatzflächen im weiteren Verlauf der Studie in zwei Szenarien ermittelt wird.

In Szenario 1 wird von einer Überdachung der Stellplätze mit einer Belegungsdichte von 60% der gesamten Parkplatzfläche ausgegangen. Im zweiten Szenario werden zusätzlich auch die Fahrwege und sonstigen Flächen des Parkplatzes mit PV überdacht, weshalb von einer Belegungsdichte von 90% ausgegangen wird.

Die technischen Potenziale (TFP) der Parkplatzflächen berechnen sich somit anhand folgender Formeln:

Szenario 1: $TFP (m^2) = Fläche(m^2) * 0,6$

Szenario 2: $TFP (m^2) = Fläche(m^2) * 0,9$

Für die Berechnung des technischen Leistungspotenzials werden Annahmen zur spezifischen Leistung der PV-Anlagen getroffen. Diese gibt an wie viel PV-Leistung pro Quadratmeter installiert werden kann und ist in erster Linie vom Systemdesign der Anlage, sowie der Leistungsdichte, bzw. dem Wirkungsgrad der gewählten PV-Module abhängig. Semitransparente PV-Module haben eine höhere Lichtdurchlässigkeit, aber gleichzeitig einen niedrigeren Wirkungsgrad als geschlossene PV-Module. Generell ist die spezifische Leistung bei Anlagen mit geneigten Modulen höher als bei horizontal verbauten PV-Modulen. Die Berechnungen zum technischen Leistungspotenzial der Parkplatzflächen werden mit einem spezifischen Leistungswert von $0,185 \text{ kW}_p/\text{m}^2$ berechnet und beruhen auf einer Analyse von bestehenden Parkplatz-PV-Anlagen. Hierfür wurde eine Bestandsanalyse unterschiedlicher solcher Anlagen durchgeführt und ein Mittelwert für die spezifische Leistung der Anlagen berechnet.

Die verwendete Formel zur Berechnung des technischen Leistungspotenzials (TLP) in kW_p lautet:

$$TLP(kW_p) = \text{Fläche (m}^2\text{)} \times \text{Belegungsdichte (\%)} \\ \times \text{spezifische Leistung} \left(\frac{kW_p}{m^2} \right)$$

Da die weiteren InPV-Technologien (PV-Bushaltestellen, PV-Radwege, PV auf öffentlichen Plätzen) zumeist in ähnlicher Art und Weise umgesetzt werden, wie Parkplatz-PV-Anlagen (PV-Überdachung, horizontal angeordnete Module, etc.) wird für diese Technologien ebenfalls eine spezifische Anlagenleistung von 0,185 kW_p/m² angenommen.

Es gibt keine spezifischen Richtlinien für die Überdachung von Spiel- und Sportplätzen sowie Parks. Auch Erfahrungswerte sind begrenzt. In dieser Analyse wird daher eine Belegungsdichte von 15 % verwendet. Diese Wahl orientiert sich an den Vorgaben des Gesetzes für schwimmende Photovoltaikanlagen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Photovoltaikanlagen geringen Einfluss auf die umliegende Umgebung haben und die Nutzbarkeit der Flächen nicht einschränken.

Für die Berechnung des technischen Energiepotenzials werden Annahmen zum spezifischen Ertrag aufgestellt. Dieser gibt an, wie viel Energie eine PV-Anlage pro installierter Leistungseinheit über einen bestimmten Zeitraum erzeugt und ist von vielen Faktoren wie Standort, Ausrichtung, Verschattung und Technologie der Anlage abhängig. Er wird in Kilowattstunden pro Kilowatt-Peak (kWh/kW_p) gemessen und ermöglicht den Vergleich der Leistung verschiedener PV-Anlagen unabhängig von ihrer Größe. Im Durchschnitt liegt der spezifische Ertrag in Deutschland bei etwa 1.000 kWh/kW_p pro Jahr. Bei optimalen Bedingungen können auch 1.200 bis 1.300 kWh/kW_p erreicht werden. Dies sind jedoch Werte bei optimaler Neigung und Ausrichtung. In dieser Studie wird von horizontal angeordneten Modulen der PV-Anlagen ausgegangen, weshalb die spezifischen Erträge solcher Anlagen niedriger sind. Die Ermittlung eines spezifischen Ertragswertes für den Standort Idstein erfolgt aus der Webseiten-datenbank „PV-GIS“, da diese die mittleren jährlichen Witterungsverhältnisse berücksichtigt.

Für eine Aufdachanlage mit einer horizontalen Anordnung der PV-Module und einer Performance Ratio von 86% werden mittels dem Online-Tool „PV-GIS“ innerhalb des Untersuchungsgebiets spezifische Erträge zwischen rund 890 und 900 kWh/kW_p berechnet. Für die Berechnungen der Energiepotenziale in dieser Studie wird daher ein spezifischer Ertrag von 895 kWh/kW_p angenommen.

Die Berechnung des Technischen Energiepotenzials (TEP) erfolgt somit anhand folgender Formel:

$$TEP (kWh) = TLP (kW_p) \times \text{spezifischer Ertrag} \left(\frac{kWh}{kW_p} \right) \\ = TLP(kW_p) \times 895 \frac{kWh}{kW_p}$$

Theoretisches Potenzial

Die Gesamtfläche der als grundsätzlich geeigneten Untersuchungsflächen kann als theoretisches Potenzial bezeichnet werden und ist in Tabelle 23 nach den verschiedenen Eignungsklassen sehr gut geeignet, gut geeignet, bedingt geeignet und ungeeignet aufgelistet.

Die Gesamtfläche aller untersuchten Parkplatzflächen beträgt rund 16,4 ha mit einer mittleren Größe von 1155 m². Nach Anwendung der Ausschlusskriterien werden insgesamt 47 Flächen (3 ha) als ungeeignet eingestuft. Somit verbleiben 96 Flächen (13,4 ha) die anhand der beschriebenen Ausschlusskriterien grundsätzlich als geeignet gelten, die zusammen eine Gesamtfläche von 13,4 ha bedecken. 35 dieser Flächen werden als sehr gut geeignet eingestuft und bedecken eine Gesamtfläche von rund 6,4 ha. Als gut geeignet werden rund 4,2 ha und als bedingt geeignet ca. 2,8 ha eingestuft.

Bei Radwegen wird von einer umsetzbaren Breite von 4 Metern über die gesamte Länge des Weges ausgegangen. Für Bushaltestellen wurden die verschiedenen Größenklassen und deren verfügbare Fläche herangezogen, um das Flächenpotential zu bestimmen. Bei Plätzen wurde die gesamte verfügbare Fläche des untersuchten Platzes als Flächenpotential betrachtet. Die Verteilung der untersuchten Flächen auf die im AHP ermittelte Eignungsklassen ist in Tabelle 23 gezeigt.

Tabelle 23: Theoretisches Potenzial von UPV nach Eignungsklasse

	Parkplätze	Radwege	Bushaltestellen	Plätze
Sehr gut geeignet	6,4 ha	20464 m ²	350,4 m ²	23,9 ha
Gut geeignet	4,2 ha	11248 m ²	194,8 m ²	13,2 ha
Bedingt geeignet	2,8 ha	3368 m ²	120,7 m ²	3,4 ha
Ungeeignet	3 ha	2188 m ²	462,1 m ²	0,9 ha

Die Ermittlung des technischen Leistungspotenzials wird für alle geeigneten Flächen durchgeführt. Dabei wird das für die jeweilige Technologie gewählte Szenario bzw. der gewählten Belegungsichte mit PV berücksichtigt.

Tabelle 24: Technisches Leistungspotenzial nach Eignungsklasse für UPV

	Parkplätze Szenario 1: 60% GCR	Parkplätze Szenario 2: 90% GCR	Radwege	Bushaltestellen	Plätze
Sehr gut geeignet	6,87 MW _p	10,3 MW _p	3422 kW _p	64,8 kW _p	6,4 MW _p
Gut geeignet	4,5 MW _p	6,8 MW _p	1883 kW _p	36 kW _p	3,5 MW _p
Bedingt geeignet	3 MW _p	4,6 MW _p	566 kW _p	22,3 kW _p	0,9 MW _p

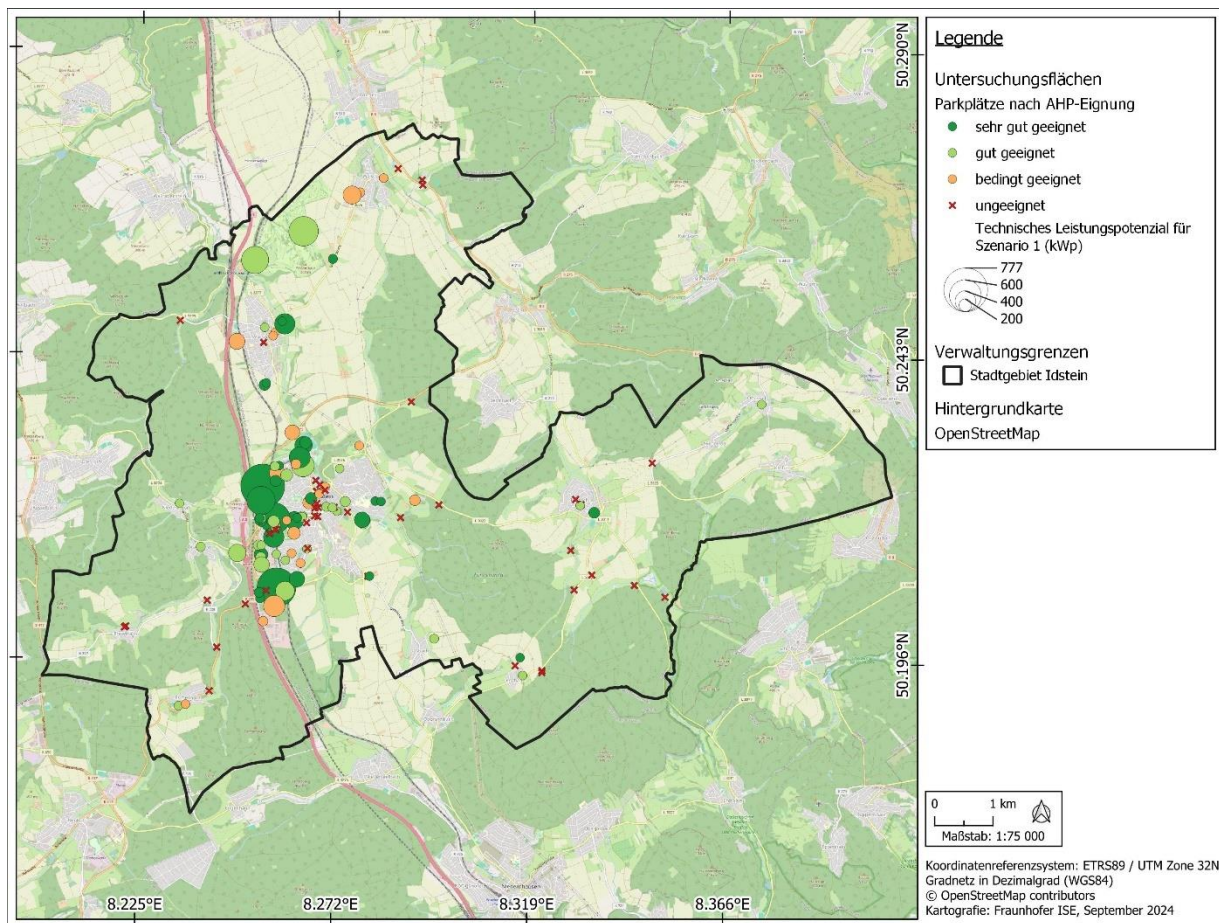


Abbildung 8: Karte der Parkplätze nach AHP-Eignungsklasse. Die Punktgröße zeigt das technische Leistungspotenzial der Parkplätze in kW_p.

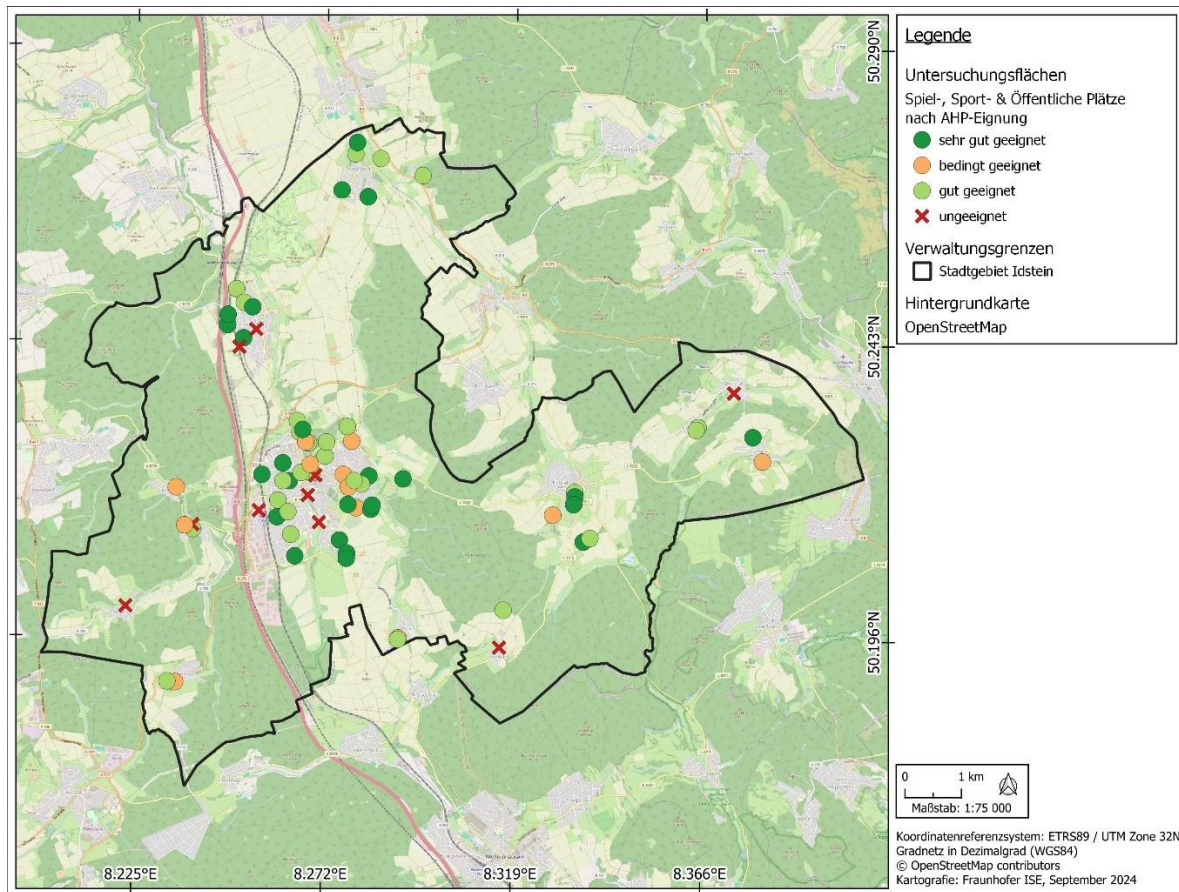


Abbildung 9: Karte der Spiel-, Sport- & Öffentlichen Plätze nach AHP-Eignungsklasse

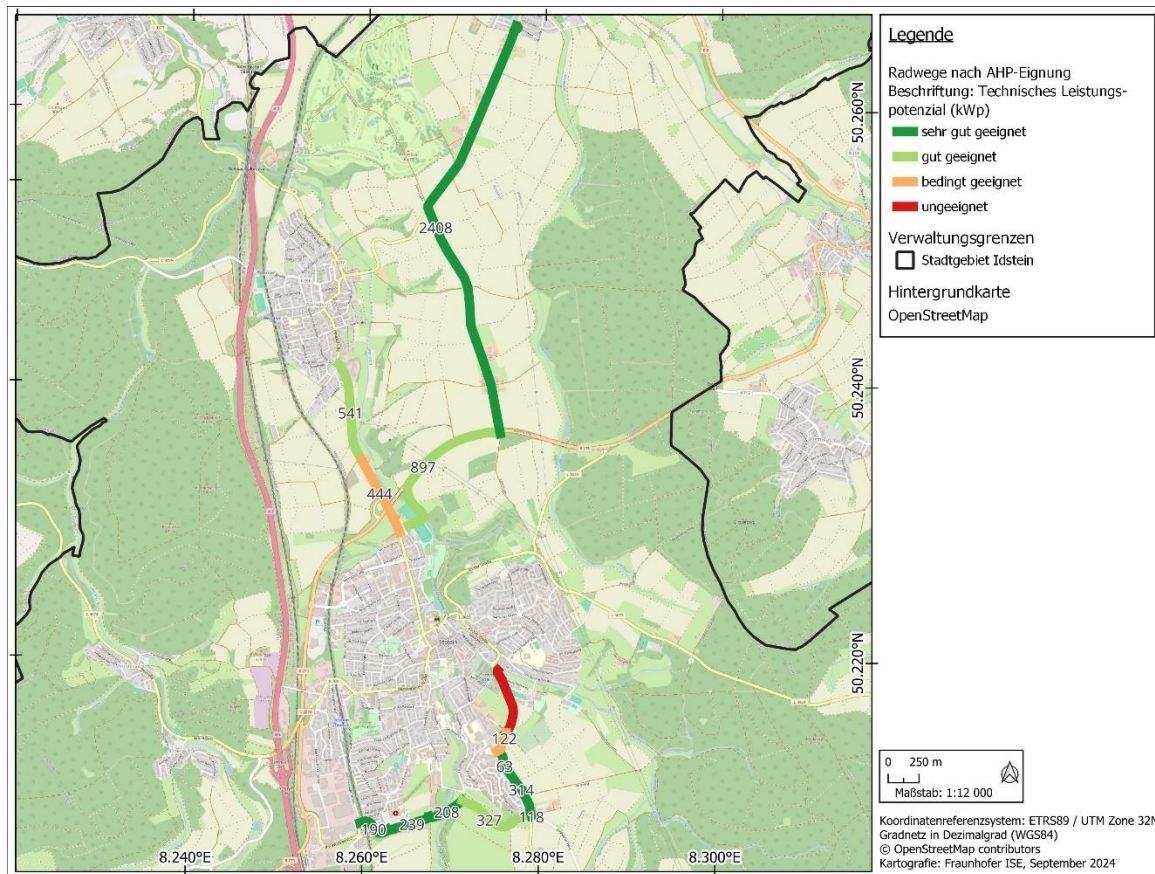


Abbildung 10: Karte der Radwege nach AHP-Eignungsklasse. Die Beschriftung zeigt das technische Leistungspotenzial der Radwege in kW_p.

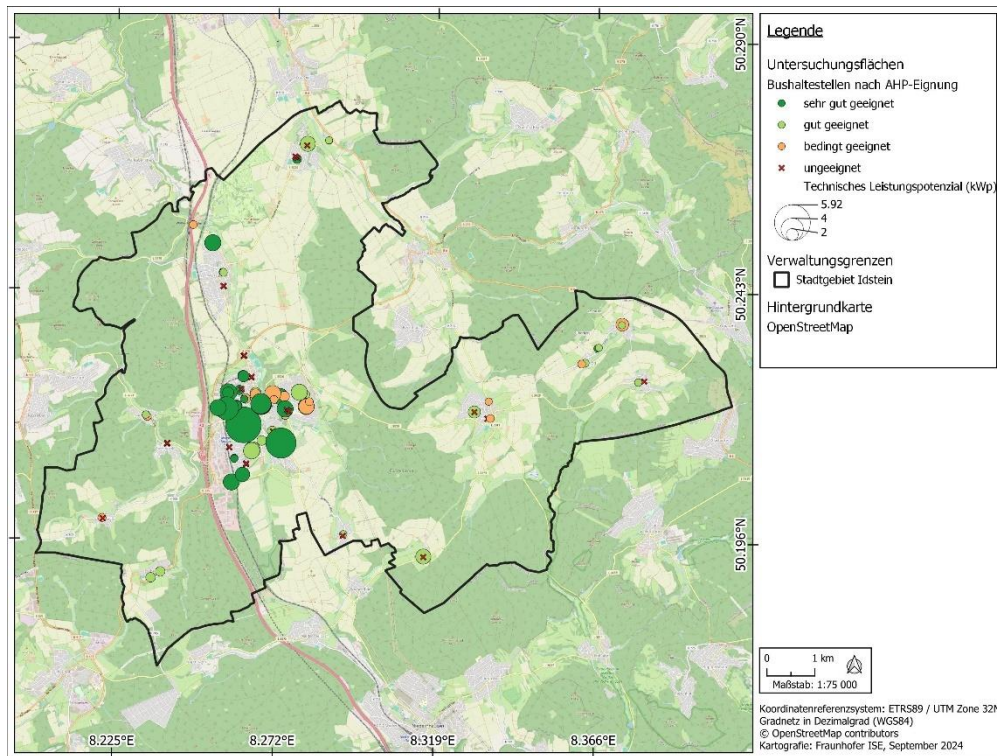


Abbildung 11: Karte der Bushaltestellen nach AHP-Eignungsklasse. Die Punktgröße zeigt das technische Leistungspotenzial der Bushaltestellen in kW_p.

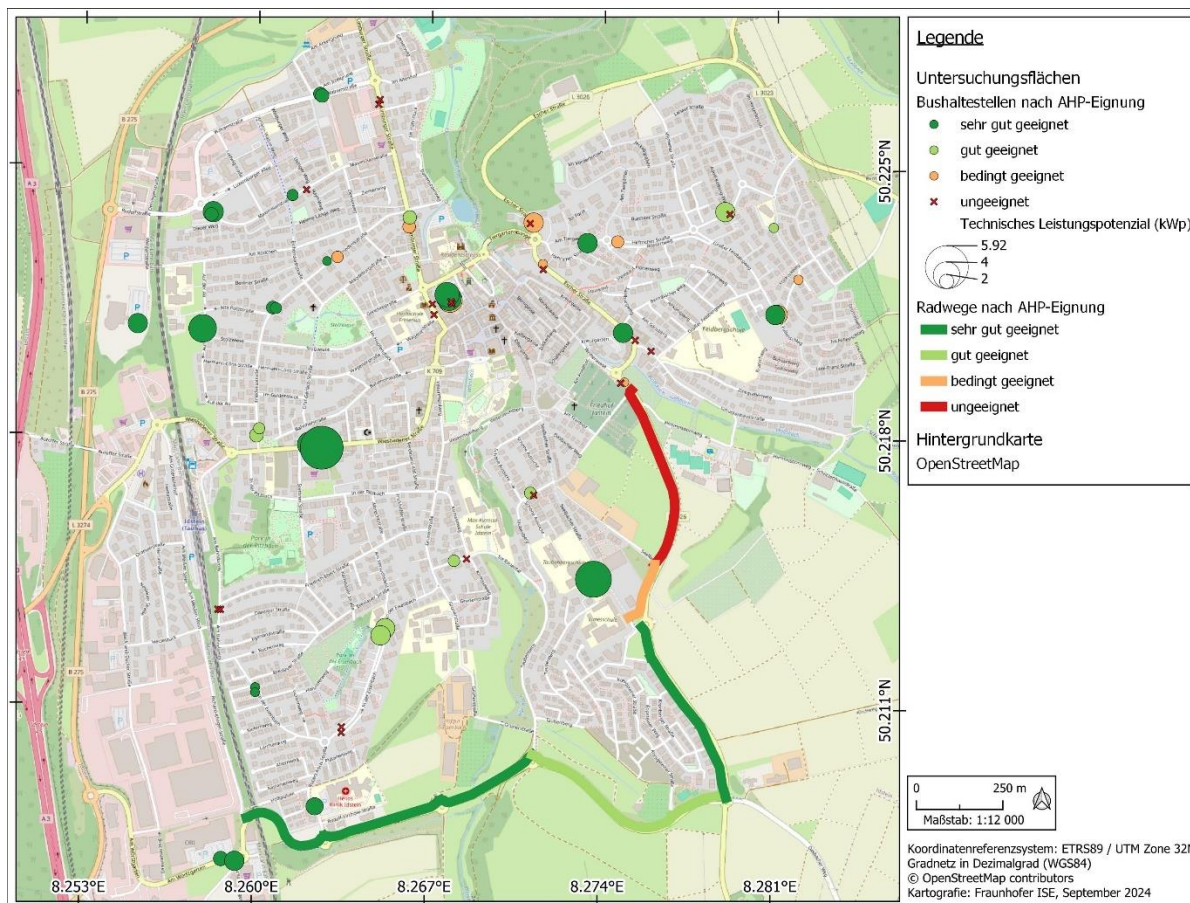


Abbildung 12: Karte der Radwege & Bushaltestellen nach AHP-Eignungsklasse in Idstein. Die Größe der Punkte zeigt das ermittelte technische Leistungspotenzial der Bushaltestellen in kW_p

Energiepotenzial

Tabelle 25: Technisches Energiepotenzial nach Eignungsklasse für UPV

	Parkplätze Szenario 1: 60% GCR	Parkplätze Szenario 2: 90% GCR	Radwege	Bushaltestellen	Plätze
Sehr gut geeignet	6150 MWh	9230 MWh	3062 MWh	58 MWh	5,7 MWh
Gut geeignet	4054 MWh	6080 MWh	1686 MWh	32 MWh	3,2 MWh
Bedingt geeignet	2755 MWh	4132 MWh	506 MWh	20 MWh	0,8 MWh

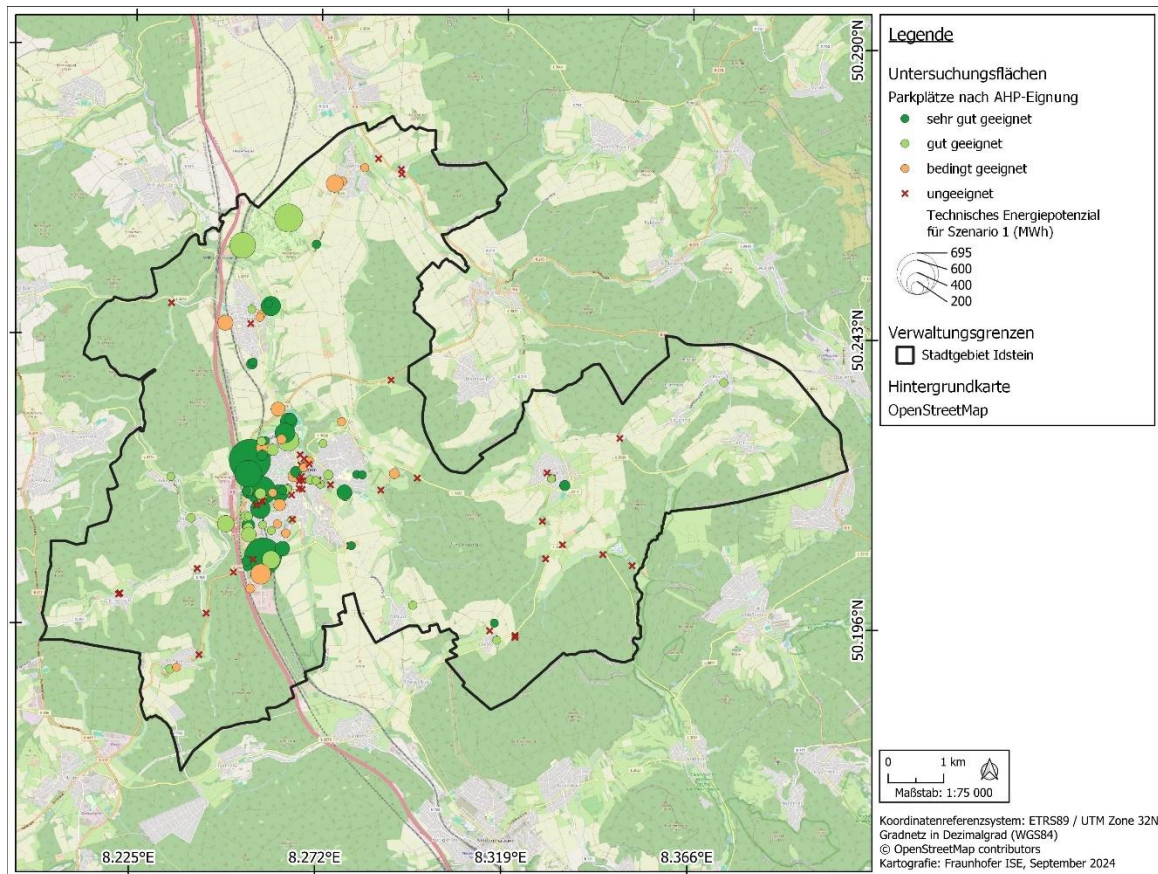


Abbildung 13: Karte der Parkplätze nach AHP-Eignungsklasse. Die Punktgröße zeigt das technische Energiepotenzial der Parkplätze in MWh.

4 Beschreibung der Geodaten

In diesem Abschnitt werden die Geodaten beschrieben, die als ein Ergebnis dieser Studie an die Stadt Idstein übergeben werden. Die übergebenen Daten werden im ESRI-Shape-File Format übergeben.

Für jede Technologie wurde ein Datensatz erstellt, der die Ergebnisse des Standorteignungsanalyse und der Potenzialermittlungen beinhaltet, sowie weitere Details zur Lage der Fläche. Die in den Spalten verwendeten Abkürzungen werden in Tabelle 27 näher erläutert.

Für UPV werden zwei Unterordner mit Ergebnis-Shape_Files übergeben.

Parkplaetze_AHP: Vektordatei mit allen 142 untersuchten Parkplätzen, inklusive AHP-Wert, Einzelwerte der Kriterien und Details zur Lage der Fläche. Erklärung der Attribute in Tabelle 26 bis Tabelle 27.

Tabelle 26: Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Spiel-, Sport- und öffentlichen Plätzen

Spaltenname	Datentyp	Beschreibung
fid	Integer64	Eindeutige ID-Nummer
full_id	String	ID-Nummer aus Ursprungsdatensatz
Typ	String	Beschreibung der Art des Platzes
Flaeche_m2	Real	Gesamtfläche des Platzes in Quadratmeter
Einstrahlungsfaktor	Real	Verfügbare Strahlung nach Abzug der Verschattung in [%]
Distanz_zu_Gebaeude	Real	Entfernung zum nächstgelegenen Gebäude
Hitzebelastungsindex	Integer64	Bewertung der Fläche im Hitzebelastungsindex
In_EEG_500m	Integer64	Ist die Fläche innerhalb des 500m Korridors des EEG. 0 = Nein, 1= Ja
Ausschlussgrund	String	Grund für den Ausschluss der Fläche
Einstrahlung_AHP	Real	AHP-Wert für die Einstrahlung
Entfernung_AHP	Real	AHP-Wert für die Entfernung zum nächsten Gebäude
Flaeche_AHP	Real	AHP-Wert für die Flächengröße
HBI_AHP	Real	AHP-Wert für den HBI
Rauigkeit_AHP	Real	AHP-Wert für die Rauigkeit
AHP	Real	Zusammengefasster AHP-Wert der Fläche
Eignung	String	Beschreibung der Eignung des Platzes
lon	Real	Breitengrad WGS84
lat	Real	Längengrad WGS84
fid	Integer64	Eindeutige ID-Nummer
TLP_15_kWp	Real	Installierbare PV-Leistung bei 15% Belegungsgrad [kW _p]
TEP_15_MWh	Real	Zu erwartender Energieertrag bei 15% Belegungsgrad [MWh]

Tabelle 27 Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Bushaltestellen

Spaltenname	Datentyp	Beschreibung
fid	Integer64	Eindeutige ID-Nummer
full_id	String	ID-Nummer aus Ursprungsdatensatz
name	String	Name der Bushaltestelle
In_EEG_500m	Integer	Ist die Fläche innerhalb des 500m Korridors des EEG. 0 = Nein, 1= Ja
Groessenklasse	Integer	Größenklasse der Bushaltestelle
Gehwegbreite_cm	Integer64	Breite des Gehwegs an der Bushaltestelle
Oberflaechen-beschaffenheit	String	Oberflächenbeschaffenheit des Gehweges an der Bushaltestelle
PV-Breite_m	Real	Breite der modellierten PV-Anlage [m]
PV-Laenge_m	Real	Länge der modellierten PV-Anlage [m]
Flaeche_m2	Real	Fläche der modellieren PV-Anlage [m ²]
Einstrahlungsfaktor	Real	Verfügbare Strahlung nach Abzug der Verschattung in [%]
Hitzebelastungs-index_Klasse	Integer	Bewertung der Bushaltestelle im Hitzebelastungsindex
Distanz_zu_Gebaeude	Real	Entfernung zum nächstgelegenen Gebäude
Ausschlussgrund	String	Grund für den Ausschluss der Bushaltestelle
Eignung	String	Beschreibung der Eignung der Bushaltestelle
Technisches_Leistungspot_kWp	Real	Installierbare PV-Leistung an der Bushaltestelle
Technisches_Energiepot_MWh	Real	Zu erwartender Energieertrag an der Bushaltestelle
AHP	Real	Zusammengefasster AHP-Wert der Fläche
lon	Real	Breitengrad WGS84
lat	Real	Längengrad WGS84

Tabelle 28 Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Parkplätzen

Spaltenname	Datentyp	Beschreibung
fid	Integer64	Eindeutige ID-Nummer
full_id	String	ID-Nummer aus Ursprungsdatensatz
Beschreibung_Parkplatz	String	Beschreibung der Art des Parkplatzes
Flaeche_m2	Real	Gesamtfläche des Parkplatzes in Quadratmeter
Distanz_zu_Gebaeude_m	Real	Entfernung zum nächstgelegenen Gebäude
Distanz_zu_SYNA-Anschlusspunkt_m	Real	Entfernung zum nächstgelegenen SYNA-Anschlusspunkt
Einstrahlungsfaktor	Real	Verfügbare Strahlung nach Abzug der Verschattung in [%]
Ausschlussgrund	String	Grund für den Ausschluss des Parkplatzes
Eignung	String	Beschreibung der Eignung des Parkplatzes

TLP_GCR60_kWp	Integer	Installierbare PV-Leistung bei 60% Belegungsgrad [kW _p]
TLP_GCR90_kWp	Integer	Installierbare PV-Leistung bei 90% Belegungsgrad [kW _p]
TEP_GCR60_MWh	Integer	Zu erwartender Energieertrag bei 60% Belegungsgrad [MWh]
TEP_GCR90_MWh	Integer	Zu erwartender Energieertrag bei 90% Belegungsgrad [MWh]
AHP	Real	Zusammengefasster AHP-Wert des Parkplatzes
lon	Real	Breitengrad WGS84
lat	Real	Längengrad WGS84

Tabelle 29 Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Radwegen

Spaltenname	Datentyp	Beschreibung
fid	Integer64	Eindeutige ID-Nummer
VERB_ID	Integer64	ID-Nummer aus Ursprungsdatensatz
Laenge_m	Integer	Länge des Radweges [m]
Verbindungstyp	String	Einordnung des Radweges in seine Bedeutungsklasse
Ursprungsdatensatz	String	Name es Ursprungsdatensatzes
Einstrahlungsfaktor	Real	Verfügbare Strahlung nach Abzug der Verschattung in [%]
Distanz_zu_Gebaeude_m	Real	Entfernung zum nächstgelegenen Gebäude
Ausschlussgrund	String	Grund für den Ausschluss des Radweges
Flaeche_AHP	Real	AHP-Wert für die Flächengröße
Einstrahlung_AHP	Real	AHP-Wert für die Einstrahlung
HBI_AHP	Real	AHP-Wert für den HBI
Entfernung_AHP	Real	AHP-Wert für die Entfernung zum nächsten Gebäude
AHP	Real	Zusammengefasster AHP-Wert des Radweges
Eignung	String	Beschreibung der Eignung des Radweges
TLP_90_kWp	Integer64	Installierbare PV-Leistung bei 90% Belegungsgrad [kW _p]
TEP_90_MWh	Integer64	Zu erwartender Energieertrag bei 90% Belegungsgrad [MWh]
lon	Real	Breitengrad WGS84
lat	Real	Längengrad WGS84

5 Förderprogramm-Screening hinsichtlich geeigneter Fördermöglichkeiten

Im Folgenden werden geeignete Fördermöglichkeiten für die betrachteten urbanen PV-Technologien präsentiert. Es sind Programme sowohl auf EU, Bundes- und Länderebene verfügbar. Der Fokus der meisten genannten Förderprogramme liegt aktuell auf dem Themengebiet Parkplatz-PV, da diese im Vergleich mit PV-Integration in Radwege, Bushaltestellen und Parkflächen einen etabliertere Bereich darstellt.

5.1 Förderprogramme auf EU-Ebene

Die Europäische Union bietet vielfältige Förderprogramme für Städte, die sowohl Finanzierungsmöglichkeiten als auch Beratungsdienste zum Zugang zu Finanzmitteln und deren Verwendung einschließen.

So bietet die EU-Calls für „Innovative, Community-Integrated PV systems“ (HORIZON-CL5-2024-D3-02-06), „Rethinking urban spaces towards climate neutrality“ (HORIZON-MISS-2024-CIT-01-01), „Zero-pollution cities“ (HORIZON-MISS-2024-CIT-01-02) im Rahmen des EU-Horizon-Programms eine inhaltlich passende Basis für die Förderung von Forschungsvorhaben im Bereich urbaner PV.

Über den EU-Innovationsfonds, einem Förderinstrument der Europäischen Kommission, sollen zudem von 2020 bis 2030 Demonstrationsvorhaben gefördert werden, die im Bereich erneuerbarer Energien und industrieller Innovationen zur Reduzierung des PV-Ausstoßes beitragen. Hierzu finden bis 2030 jährlich zwei Ausschreibungen statt.

Der Europäische Fonds für strategische Investitionen (EFSl) setzt das Ziel, private Mittel für strategische Investitionen, darunter auch Investitionen in den Ausbau erneuerbarer Energien, zu mobilisieren. Die wird über eine Garantie der der Europäischen Kommission und der Europäischen Investitionsbank gewährleistet.

5.2 Förderprogramme auf Bundesebene

Mit dem Ziel den Ausbau der erneuerbaren Energien zu beschleunigen und die gesetzten Klimaziele zu erreichen, hat die Bundesregierung durch die Novellierung des EEG 2023 neue Fördermöglichkeiten speziell für PV-Anlagen auf Parkplatzflächen geschaffen.

Durch die Novellierung des EEG 2023 gelten PV-Anlagen die auf Parkplatzflächen erbaut werden als sog. „besondere Solaranlagen“ und sind somit förderfähig nach den geltenden Fördersätzen des EEG 2023 (§48 (1) 5d)

Die EEG-Clearingstelle hat zudem klar gemacht, dass die Höhe der Vergütung davon abhängig ist, ob die PPV-Anlage als bauliche Anlage gewertet wird, was wiederum von konkreten Bedingungen abhängig ist. Trifft dies zu, kommt eine höhere Vergütung des PV-Stroms nach § 48 Abs. 2 des EEG in Betracht (STRYLIHIPP & UHLAND 2023).

1. Einspeisevergütung

Unter dem EEG 2023 erhalten Betreiber von PV-Anlagen auf Parkplatzflächen eine Einspeisevergütung für den erzeugten und ins Netz eingespeisten Strom. Diese Vergütung variiert je nach Anlagengröße und Art der Fläche, auf der die Anlage installiert ist. Für PV-Anlagen auf Parkplatzflächen, die nach §48 1 5d

als sog „Besondere Solaranlagen“ gelten, gibt es spezifische Vergütungssätze, die im Vergleich zu herkömmlichen Dachflächen oft attraktiver sind.

2. Innovationsausschreibungen

Das EEG 2023 fördert PV-Anlagen auf Parkplatzflächen auch im Rahmen von Innovationsausschreibungen. Diese Ausschreibungen sind speziell darauf ausgerichtet, innovative und kombinierte Technologien zu fördern, beispielsweise die Integration von PV-Anlagen mit Batteriespeichern oder Ladesäulen für Elektrofahrzeuge. Betreiber, die an diesen Ausschreibungen teilnehmen und einen Zuschlag erhalten, profitieren von attraktiven Konditionen und Förderungen. Auch für weitere urbane PV-Technologien kommen Innovationsausschreibungen als Fördermöglichkeit in Frage.

3. Besondere Flächenkategorie für PV auf Parkplätzen

Das EEG 2023 erkennt Parkplatzflächen als besondere Flächenkategorie für Photovoltaikanlagen an. Diese Anerkennung kann in einigen Fällen zu bevorzugten Vergütungssätzen oder erleichterten Teilnahmebedingungen bei Ausschreibungen führen. Parkplatzflächen, die als sogenannte „Konversionsflächen“ gelten (z. B. ehemalige Industrie- oder Gewerbeflächen), können besonders förderfähig sein.

4. Eigenverbrauchsförderung

PV-Anlagen, deren erzeugter Strom vor Ort genutzt wird (z.B. für den Betrieb von Gebäuden oder Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge), profitieren vom Eigenverbrauchsmodell des EEG 2023. Betreiber, die den erzeugten Strom selbst verbrauchen, reduzieren ihre Strombezugskosten und sind teilweise von der EEG-Umlage befreit, was die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht.

Diese Förderungen sind Teil der umfassenden Strategie der Bundesregierung, den Ausbau erneuerbarer Energien zu beschleunigen und die Klimaziele zu erreichen.

Fördervoraussetzungen nach dem EEG 2023:

1. **Inbetriebnahme ab 2023:** Die Förderung gilt für Solaranlagen, die ab dem 1. Januar 2023 in Betrieb genommen wurden. Bei ausschreibungspflichtigen Solaranlagen muss der Gebotstermin ebenfalls nach diesem Datum liegen.
2. **Anforderungen der Bundesnetzagentur:** Die Flächen, auf denen die Photovoltaikanlagen installiert werden, müssen den Anforderungen der Festlegung der Bundesnetzagentur (BNetzA) entsprechen. Diese Festlegung regelt die Bedingungen für besondere Solaranlagen und kann jährlich aktualisiert werden.

5. Bundesförderung kommunaler Klimaschutz

Die Förderrichtlinie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz zur Bundesförderung kommunaler Klimaschutzmaßnahmen zielt darauf ab, Städte, Gemeinden und weitere Akteure bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen und dem Erreichen der Klimaneutralität bis 2045 zu unterstützen. Sie umfasst sowohl strategische als auch investive Maßnahmen. Strategische Ansätze beinhalten Beratungen, die Erstellung von Klimaschutzkonzepten und Mach-

barkeitsstudien sowie die Etablierung kommunaler Netzwerke. Investive Maßnahmen fördern unter anderem die Sanierung von Beleuchtungsanlagen, den Ausbau klimafreundlicher Mobilitätsinfrastruktur und die nachhaltige Abwasser- sowie Trinkwasserversorgung

5.3 Förderprogramme auf Landesebene

Im Rahmen der Innovationsförderung Hessen – Energietechnologien werden Pilot-, Demonstrations- und Entwicklungsvorhaben im Energiebereich gefördert.

Nach §6 HEG Innovative Energietechnologien werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie Pilot- und Demonstrationsprojekte zur Steigerung der Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energien, zur rationellen Energieerzeugung- und -verwendung, zur Speicherung von Energie sowie zur Netzeintegration gefördert.

Das Land Hessen bietet zudem mehrere Fördermöglichkeiten für innovative Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen). Diese Förderungen sind darauf ausgerichtet, die Energiewende voranzutreiben und die Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern. Hier sind die wichtigsten Fördermöglichkeiten:

1. Förderung durch die Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WIBank)

Die Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WIBank) bietet verschiedene Finanzierungsprogramme, die auch für urbane PV-Anlagen genutzt werden können. Diese Programme umfassen zinsgünstige Kredite und Zuschüsse, die sowohl für die Planung als auch für die Installation von Photovoltaikanlagen zur Verfügung stehen. Die WIBank unterstützt insbesondere Projekte, die zur nachhaltigen Entwicklung und zur Erhöhung der Energieeffizienz beitragen.

2. Landesprogramm „Hessen Solar Invest“

Das Programm „Hessen Solar Invest“ fördert Investitionen in Solaranlagen. Dieses Programm richtet sich vor allem an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sowie Kommunen, die in Solarenergie investieren möchten. Es bietet Zuschüsse für die Installation von PV-Anlagen und unterstützt damit die Energiewende auf lokaler Ebene.

3. Förderung durch die LEA Hessen

Die LandesEnergieAgentur Hessen (LEA Hessen) bietet Beratungs- und Unterstützungsleistungen für Unternehmen und Kommunen an, die PV-Anlagen installieren möchten. Neben der Beratung zu technischen und rechtlichen Aspekten können auch Informationen zu möglichen Fördermitteln und Finanzierungsmöglichkeiten bereitgestellt werden. Die LEA Hessen hilft dabei, geeignete Förderprogramme zu identifizieren und zu nutzen.

4. Förderung für Ladeinfrastruktur

Das Land Hessen fördert die Kombination von PV-Anlagen mit Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge auf Parkplatzflächen. Im Rahmen dieser Förderung können Betreiber Zuschüsse für die Installation von Ladestationen erhalten, die mit der PV-Anlage verbunden sind. Dies trägt nicht nur zur nachhaltigen Energieerzeugung bei, sondern unterstützt auch die Elektromobilität in Hessen.

5. Kombinierte Nutzung von Flächen

Hessen fördert die kombinierte Nutzung von Flächen, wie sie bei integrierten urbanen PV-Anlagen realisiert wird. Projekte, die die Mehrfachnutzung von Flächen vorsehen, können oft von erleichterten Genehmigungsverfahren und zusätzlichen finanziellen Anreizen profitieren. Dies ist Teil der Bemühungen des Landes, die Flächeneffizienz zu erhöhen und gleichzeitig erneuerbare Energien auszubauen.

6. Regionale Förderprogramme

Neben den landesweiten Programmen gibt es in Hessen auch regionale Förderprogramme, die von einzelnen Kommunen oder Landkreisen aufgelegt werden. Diese Programme können speziell auf die lokalen Bedürfnisse und Gegebenheiten zugeschnitten sein und bieten oft zusätzliche finanzielle Unterstützung für Projekte, die erneuerbare Energien fördern.

6 Technisches Konzept (Fallbeispiel)

Im Folgenden wird für jede der beschriebenen Urban-PV Anwendungen ein Fallbeispiel für das Stadtgebiet Idstein präsentiert. Die gewählten Beispiele finden sich nahe beieinander im südlichen Stadtgebiet, sie sind in Abbildung 14 dargestellt.

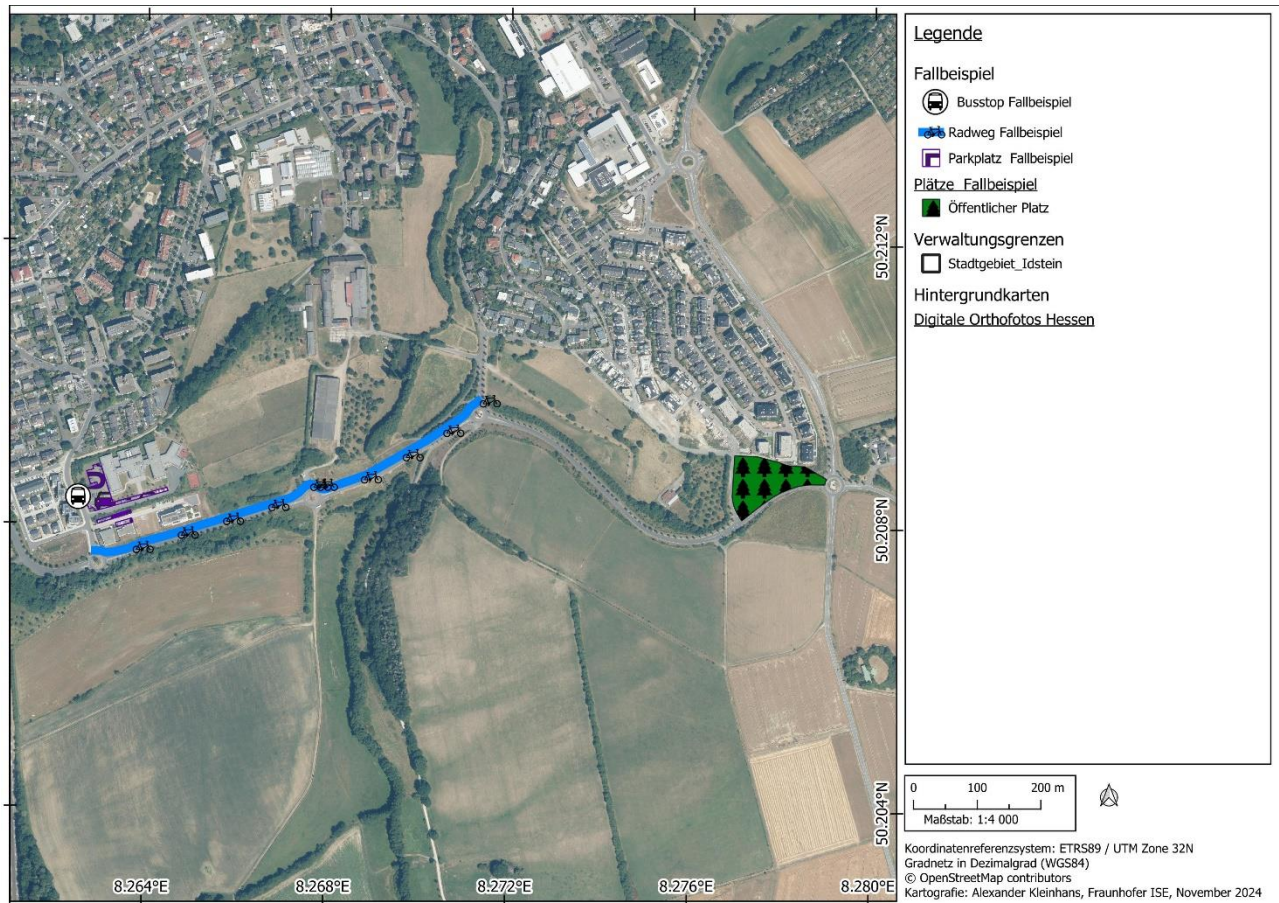


Abbildung 14 Karte der im Fallbeispiel untersuchten Standorte

Parkplatz-PV

Der Parkplatz der Helios Klinik Idstein ist in den Daten auf drei separate Flächen aufgeteilt. Die Flächen mit der „fid“ 91 & 92 sind Stellplätze und werden daher mit 90 % Belegungsdichte angenommen. Die Fläche 132 enthält Fahrwege und wird mit 60 % Belegungsdichte angenommen.

Tabelle 30: Fallbeispiel Parkplätze Helios Klinik

Bezeichner (fid)	AHP-Wert	Fläche [m²]	Installierbare Leistung [kW _p]	Jährlicher Energieertrag [MWh]
91	0.87	177	29 [90%]	26 [90%]
92	0,84	272	44 [90%]	39 [90%]
132	0,80	2629	284 [60%]	254 [60%]
	Summe	3078	357	319

Bushaltestellen-PV

Die Bushaltestelle "Krankenhaus Eingang" mit der Kennung full_id n344225287 gehört zur Größenklasse "Häuschen mit Doppeldach & Fahrplan" und hat eine Länge von 4 Metern. An dieser Haltestelle kann eine Photovoltaikanlage mit einer installierbaren Leistung von 1,3 kW_p angebracht werden.

Tabelle 31: Fallbeispiel Bushaltestelle Krankenhaus

Bezeichner (fid)	AHP-Wert	Installierbare Leistung [kW _p]	Jährlicher Energieertrag [MWh]
n344225287	0.79	1,3	1,16

Radweg

In dem betrachteten Fallbeispiel wurde zwei Abschnitte des dedizierten Radweges entlang der Henri-Dunant-Allee gewählt. Einer dieser Abschnitte liegt nah an einem Einspeisepunkt (914104150) und der andere verläuft größtenteils ohne eine Baumbegrenzung auf der Fahrbahnzugewandten Seite (914104150).

Tabelle 32: Fallbeispiel Radweg Henri-Durant-Allee

Bezeichner (VERB_ID)	AHP-Wert	Länge [m]	Fläche [m²]	Installierbare Leistung [kW _p]	Jährlicher Energieertrag [MWh]
914104150	0.72	356	1436	266	238
910302170	0,84	272	1247	231	206
	Summe	628	2683	497	444

Sportplatz

Der im Untersuchungsgebiet gelegene Sportplatz wurde mit einer Belegungs-
dichte von 15 % angenommen. Durch die Größe des Platzes liegt rechnerisch
ein großes Potential vor. Auf Luftbildern ist ein neben einem Spielfeld ein dichter
Baumbestand sichtbar. Die Umsetzbarkeit dieses Potentials hängt stark von
der Vereinbarkeit der aktuellen Nutzung ab.

Tabelle 33: Fallbeispiel Sportplatz

Bezeichner (fid)	AHP-Wert	Fläche [m ²]	Installierbare Leistung [kW _p]	Jährlicher Energieertrag [MWh]
65	0,76	7727	214	192

Summentabelle

Betrachten wir das Untersuchungsgebiet zusammenhängend könnten bis zu
einer Leistung von über 1000 kW_p Urban-PV, mit einem erwartbaren Jährlichen
Energieertrag von etwas über 950 MWh installiert werden.

*Tabelle 34: Summen der installierbaren Leistung und des möglichen jährlichen Energieertrages aller
Fallbeispiele*

Technologie	Fläche [m ²]	Installierbare Leistung [kW _p]	Jährlicher Energieertrag [MWh]
Parkplatz	3078	357	319
Bushaltestelle	7	1,3	1,16
Radweg	2683	497	444
Sportplatz	7727	214	192
Summe	13495	1069,3	956,16

7 Verzeichnisse

7.1 Abkürzungsverzeichnis

Agri-PV	Agri-Photovoltaik
AHP	Analytischer Hierarchieprozess
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
wwp	Amtlich Topographisches Kartographisches Informations-system
cm	Zentimeter
d	Tag
DIN	Deutsche Industrienorm
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023
FFH	Flora-Fauna-Habitat
FFPV	Freiflächen-Photovoltaik
FNP	Flächennutzungsplan
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
GIS	Geoinformationssystem
GW	Gigawatt
ha	Hektar
InPV	Integrierte Photovoltaik
km	Kilometer
km²	Quadratkilometer
kW	Kilowatt
LoD2	Level of Detail 2
m	Meter
m²	Quadratmeter
MW	Megawatt
OSM	OpenStreetMap-Datenbank
PV	Photovoltaik
UPV	Urbane Photovoltaik
Wh	Wattstunden
W_p	Wattpeak

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der unterschiedlichen Potentialbegriffe	4
Abbildung 2: Unterschiedliche Systemdesigns von Parkplatz-Photovoltaik-Anlagen (STRYI-HIPP & UHLAND 2023).....	7
Abbildung 3: Beispielprojekte von Parkplatz-PV-Anlagen in der DACH-Region. Oben links: Solarcarports in Mün-chenstein, CH, installierte Leistung: 595 kWp (© Newa One); Oben rechts: Parkplatzüberdachung mit Holzträgern in Lörrach, DE, installierte Leistung: 160 kWp (© Energiedienst AG/ClickCon GmbH); Unten links: Überdachter Mitarbeiterparkplatz in Endingen am Kaiserstuhl, DE, installierte Leistung: 300 kWp (© focusEnergie GmbH & Co. KG); Unten rechts: Parkplatzüberdachung in Jakobsbad, CH, installierte Leistung: 429 kWp (© dhp-technology)	9
Abbildung 4: Beispiel Radwege-PV. Solar Radweg in Freiburg. Quelle: Badenova (https://www.badenovawaermeplus.de/bilder/erneuerbare/sonne/solarradweg/pv-radweg_pic_768.jpg?ts=1682431285295)	11
Abbildung 5: Beispiele verschiedener Pressebilder von Solar-Bushaltestellen. Bildquellen: oben links: https://seedia.city/wp-content/uploads/2023/08/DJI_0040.webp ; oben rechts: https://ec.europa.eu/regional_policy/rest/projects/upload/helio_smart_shelter_in_katowice.jpg ; unten links: https://www.mci-marketing.ch/technik-es-solarbus-00.html ; unten rechts: https://egshelters.com/wp-content/uploads/2021/09/IMG-20210903-WA0015.jpg	13
Abbildung 6: Beispiele für PV auf Spiel-, Sport und öffentlichen Plätzen. Bildquellen: oben links: https://images.ctfassets.net/opz1rk40r4ou/5y8VFZKh2Eum8e0LcdH7NO/51cc5e014808c8dc0735d85903fde6a7/Terra_-_The_Sustainability_Pavilion_Web_Image_m879.jpg ; oben rechts: https://pfalzsolar.de/wp-content/uploads/2020/09/200702_Mombaur_Freilufthalle-e1594191603865-980x551-1-1.jpg ; unten links: https://playground-landscape.com/media/article/44/cnt-01.jpg ; unten rechts: https://blogs.constellation.com/wp-content/uploads/2020/03/SolarArrays-SchoolCampus-Blacktop-768x544.jpg	15
Abbildung 7: Kriterium Hitzebelastung	23
Abbildung 8: Karte der Parkplätze nach AHP-Eignungsklasse. Die Punktgröße zeigt das technische Leistungspotenzial der Parkplätze in kWp.	36
Abbildung 8: Karte der Spiel-, Sport- & Öffentlichen Plätze nach AHP-Eignungsklasse.....	37
Abbildung 11: Karte der Radwege nach AHP-Eignungsklasse. Die Beschriftung zeigt das technische Leistungspotenzial der Radwege in kWp.	38
Abbildung 12: Karte der Bushaltestellen nach AHP-Eignungsklasse. Die Punktgröße zeigt das technische Leistungspotenzial der Bushaltestellen in kWp.	39
Abbildung 9: Karte der Radwege & Bushaltestellen nach AHP-Eignungsklasse in Idstein. Die Größe der Punkte zeigt das ermittelte technische Leistungspotenzial der Bushaltestellen in kWp.....	40
Abbildung 13: Karte der Parkplätze nach AHP-Eignungsklasse. Die Punktgröße zeigt das technische Energiepotenzial der Parkplätze in MWh.....	41
Abbildung 14 Karte der im Fallbeispiel untersuchten Standorte	49

7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der einzelne Ausschluss- und Eignungskriterien für die Standortanalyse	16
Tabelle 2: Auswahl der Parkplätze in Idstein	17
Tabelle 3: Auswahl der Radwegstrecken in Idstein	18
Tabelle 4: Gesamtzahl der Bushaltestellen	18
Tabelle 5: Auswahl der Spiel- und Sportplätze sowie der öffentlichen Plätze in Idstein, mehrere Ausschlusskriterien können auf einen Standort zutreffen	18
Tabelle 6: Metadaten der Sonneneinstrahlungsmodellierung	20
Tabelle 7: Vergleich des Hitzebelastungsindex mit den ColdHotspots-Klassen	22
Tabelle 8: Gewichtung der AHP-Eignungskriterien	24
Tabelle 9: Bedeutungsskala zur Gewichtung der Eignungskriterien (MÜHLBACHER & KACZYNSKI 2013; R. W. SAATY 1987)	27
Tabelle 10: Paarweise Vergleichsmatrix - Parkplätze (Vergleich zeilenweise mit allen Kriterien)	29
Tabelle 11: Normalisierte paarweise Vergleichsmatrix - Parkplätze	29
Tabelle 12: Konsistenztest Gewichtungstabelle - Parkplätze	29
Tabelle 13: Konsistenztest Vergleichstabelle - Parkplätze	30
Tabelle 14: Paarweise Vergleichsmatrix – Radwege & Bushaltestellen (Vergleich zeilenweise mit allen Kriterien)	30
Tabelle 15: Normalisierte paarweise Vergleichsmatrix – Radwege & Bushaltestellen	30
Tabelle 16: Konsistenztest Gewichtungstabelle – Radwege & Bushaltestellen	31
Tabelle 17: Konsistenztest Vergleichstabelle – Radwege & Bushaltestellen	31
Tabelle 18: Paarweise Vergleichsmatrix – Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze (Vergleich zeilenweise mit allen Kriterien)	31
Tabelle 19: Normalisierte paarweise Vergleichsmatrix – Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze	32
Tabelle 20: Konsistenztest Gewichtungstabelle – Spiel-, Sport- & öffentliche Plätze	32
Tabelle 21: Konsistenztest Vergleichstabelle– Spiel-, Sport- & Öffentliche Plätze	32
Tabelle 22: Aufteilung der AHP-Werte auf drei Eignungsklassen	33
Tabelle 23: Theoretisches Potenzial von UPV nach Eignungsklasse	35
Tabelle 24: Technisches Leistungspotenzial nach Eignungsklasse für UPV	35
Tabelle 25: Technisches Energiepotenzial nach Eignungsklasse für UPV	40
Tabelle 26: Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Spiel-, Sport- und öffentlichen Plätzen	42
Tabelle 27 Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Bushaltestellen	43
Tabelle 28 Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Parkplätzen	43
Tabelle 29 Beschreibung der Attribute des Datensatzes zu Radwegen	44
Tabelle 30: Fallbeispiel Parkplätze Helios Klinik	50
Tabelle 31: Fallbeispiel Bushaltestelle Krankenhaus	50
Tabelle 32: Fallbeispiel Radweg Henri-Durant-Allee	50
Tabelle 33: Fallbeispiel Sportplatz	51
Tabelle 34: Summen der installierbaren Leistung und des möglichen jährlichen Energieertrages aller Fallbeispiele	51