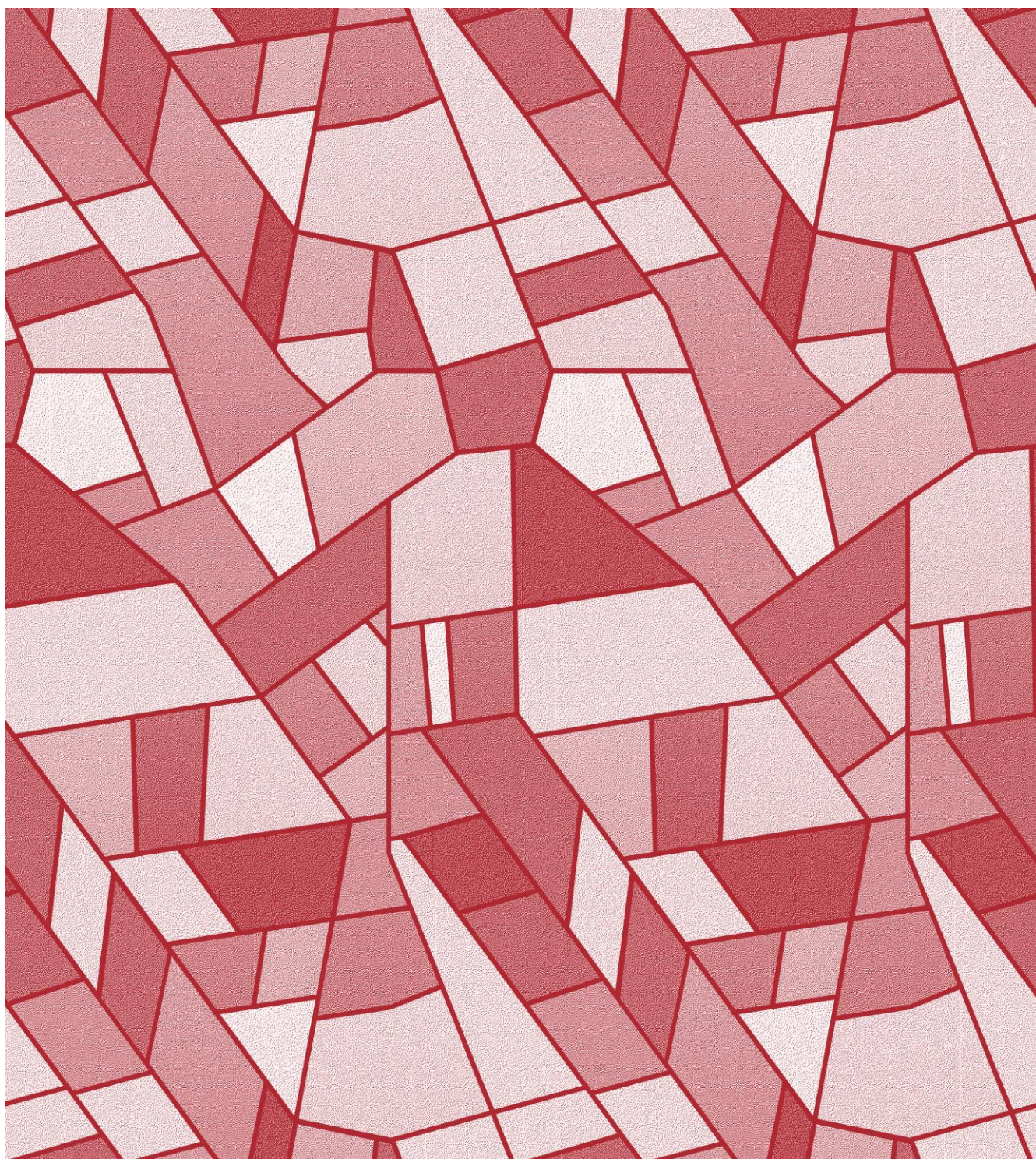


Photovoltaik auf Infrastrukturbauten im Kanton Aargau

Potenzialstudie, 5. April 2024



Projektteam EBP

Mercedes Rittmann-Frank
Michel Müller
Richard Meyer
Elisabeth Tanner
Dominique Steverlynck
Sabine Perch-Nielsen

Begleitgruppe Kanton Aargau

Daniel Schwerzmann, Abteilung Tiefbau
Thomas Humbel, Abteilung Tiefbau
Daniel Lindenmann, Abteilung Energie
Stephan Kämpfen (ehem. Abteilung Energie)
Simone Brander (ehem. Abteilung Energie)
Markus Odermatt (ehem. Abteilung Energie)

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Methoden	4
2.	Grundlagen	5
2.1	Vorgehensweise	5
2.2	Übersicht Photovoltaik-Systeme	5
2.3	Übersicht Tiefbau-Infrastruktur	6
3.	Potenzialanalyse	15
3.1	Potenzialanalyse Vorgehensweise	15
3.2	Ergebnisse	19
3.3	Potenzial pro Infrastrukturtyp	21
4.	Fallbeispiele	33
4.1	Angewendete Methoden	33
4.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	35
5.	Empfehlungen	40
5.1	Umsetzung konkreter Projekte	40
5.2	Weitergehende Empfehlungen und Klärung offener Fragen	42
	Literatur	44

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Kanton Aargau strebt mit der geplanten Solaroffensive eine aktive Rolle beim Ausbau von Photovoltaikanlagen an. Das strategische Ziel besteht darin, das kantonale Solarpotenzial schnell, wirtschaftlich und effizient zu nutzen. Dabei stehen in erster Linie die Dächer der Gebäude im Kanton Aargau als Standorte für PV-Anlagen im Fokus. Eines der sechs Handlungsfelder der Solaroffensive bezieht sich auf die Vorbildwirkung des Kantons. Dies umfasst insbesondere die Nutzung von PV-Anlagen auf Gebäuden, insbesondere auf kantonalen Liegenschaften und somit einen Beitrag zur Erreichung der kantonalen sowie die nationale Energie- und Klimaziele zu leisten. Zudem wird dadurch gezeigt, dass der Kanton Aargau eine Vorreiterrolle beim Einsatz von erneuerbaren Energien einnimmt und das Bewusstsein für die Wichtigkeit von Photovoltaikanlagen in der Bevölkerung und der Wirtschaft erhöht.

Solaroffensive des Kantons Aargau

Vorbildwirkung Kanton: Photovoltaik auf Tiefbau-Infrastruktur

Hauptziel der Studie ist es, das Potenzial und die Machbarkeit von PV-Anlagen auf bestehender kantonomer Tiefbau-Infrastruktur zu beschreiben und zu deren Umsetzung beizutragen. Dazu werden die Eignung der Tiefbau-Infrastruktur für den Einsatz von PV-Anlagen qualitativ bewertet und das Potenzial von besonders geeigneten Infrastrukturbauten quantitativ abgeschätzt. In einer Vertiefungsstudie von Fallbeispielen für jeden Infrastrukturstyp wird deren technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit abgeschätzt und somit eine Grundlage für weitere Machbarkeitsstudien geschaffen, die dann zur Umsetzung von PV-Anlagen führen können. Mit den Resultaten der Potenzialanalyse werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen für das weitere Vorgehen formuliert.

Ziele

Zusätzlich wurde die Systemgrenze festgelegt, die sich auf Bauten und Anlagen im Einflussbereich der Abteilung Tiefbau des Kantons Aargau (ATB) konzentriert und die derzeit geltenden Bewilligungsbedingungen für das Jahr 2022 berücksichtigt.

Infrastrukturobjekte der Abteilung Tiefbau

1.2 Methoden

Folgende Methoden wurden für diese Studie eingesetzt:

- Analyse von Literatur und Dokumenten
- Durchführung von Interviews mit verschiedenen Abteilungen und Bereichen des Kantons Aargau sowie mit Fachpersonen
- GIS-Analysen der Infrastrukturstypen im Kanton Aargau
- Potenzialberechnungen
- Berechnungen des Solarertrags und Kosten ausgesuchter PV-Anlagen
- Workshops mit der Begleitgruppe des Kantons Aargau

2. Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit den Grundlagen zur Durchführung einer Potenzialstudie für Photovoltaikanlagen auf baulichen Infrastrukturen. Es beschreibt die Vorgehensweise bei der Erhebung der Grundlagen. Ausserdem wird ein Bewertungssystem für die Eignung von PV-Anlagen auf Infrastrukturobjekten vorgestellt. Schliesslich werden verschiedene mögliche PV-Anlagen kurz vorgestellt und die Eigenschaften der untersuchten Infrastrukturobjekte beschrieben.

2.1 Vorgehensweise

Die Grundlagen beinhalten die Beschreibung der Infrastrukturtypen entsprechend der ATB und die Beschreibung der PV-Anlagen, die in dieser Studie berücksichtigt werden. Die Informationen zu den PV-Anlagen und Infrastrukturtypen beruhen auf den folgenden Quellen:

Recherche und Interviews

- Solarstromanlagen auf Infrastrukturanlagen im Kanton Schaffhausen, Basler & Hofmann, 2021.
- Studie über das Potenzial der Lärmschutzwände entlang von Autobahnen und Bahnstrecken für die Produktion von Solarenergie, Bundesrat, 2020.
- Detailanalyse des Solarpotenzials auf Dächern und Fassaden, Swissolar, 2020.
- Photovoltaikanlagen auf Lärmschutzwänden – Potenzial im Kanton Zürich, EBP, 2008.

Zu jedem Infrastrukturstyp werden das Mengengerüst, objektspezifische Merkmale, sowie das Genehmigungsverfahren beschrieben und darauf aufbauend die Potenzialstudie erstellt. Neben der Literaturanalyse basieren die beschriebenen Informationen auch auf Interviews mit den folgenden Personen:

- Hans Jürg Bättig, Abteilung für Baubewilligungen (AfB)
- Dejan Milo, Abteilung Tiefbau, UA Realisierung, FS Lärmsanierung
- Giuliano Sabato, Abteilung Tiefbau, UA Unterhalt
- Mike Thoms, IBMT Ingenieure AG, Experte für Lärm und Akustik
- Marco Bachmann, EBP Schweiz AG, Experte Unterkonstruktionen

2.2 Übersicht Photovoltaik-Systeme

Als Grundlage für die Potenzialstudie werden die Kosten, sowie Vor- und Nachteilen der unterschiedlichen PV-Systeme beschrieben.

Eine PV-Anlage besteht aus PV-Modulen auf einem Montagesystem und aus einem Wechselrichter, der für die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom zuständig ist. Die PV-Module haben eine durchschnittliche Lebensdauer von etwa 30 Jahren, auf die auch das Montagesystem abgestimmt sein sollte. Ein Wechselrichter hat eine durchschnittliche Nutzungsdauer von etwa 10-15 Jahren und muss während der Lebensdauer der PV-Anlage ausgetauscht werden.

Komponenten von PV-Systemen

Die spezifischen Investitionskosten für PV-Module für eine Anlage mit einer in der Schweiz liegen im Allgemeinen zwischen 1'000 und 3'000 CHF/kWp. Es ist wichtig zu beachten, dass diese Angabe allgemein und unverbindlich ist, da die Kosten je nach Typ des Moduls, Hersteller und Vertriebskanal variieren können. Insbesondere hat die installierte Leistung einen grossen Einfluss auf die Kosten, je grösser die Anlage, desto geringer die spezifischen Kosten. Etwa 60% bis 80% der Gesamtkosten setzen sich dabei aus den Modulen und der Montage zusammen. Der Rest besteht aus dem Stromanschluss, Stromzähler, Steuerung und Wechselrichter. Die Kosten nehmen erheblich zu, wenn ein massives Tragwerk für die PV-Anlage errichtet werden muss, wie z.B. bei Überdachungen von Strassen oder Parkplätzen der Fall wäre.

Spezifische Investitionskosten von PV Anlagen

Die Preise der PV-Module variieren je nachdem ob es bewährte Standardmodule sind oder neuere Module, wie z.B. bifazialen Module. Die heutige Forschung entwickelt laufend neue Arten von PV-Modulen, die einen besseren Wirkungsgrad haben oder günstiger in den Material- oder Herstellungskosten sind. Für dieses Projekt beschränken wir uns jedoch auf Standard- und markterprobte Module.

2.3 Übersicht Tiefbau-Infrastruktur

Dieses Kapitel und Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Infrastrukturtypen der Abteilung Tiefbau, die für die Potenzialstudie in Betracht gezogen wurden.

Typen von Tiefbau-Infrastrukturen

Übergeordnete Kategorie	Betrachtete Infrastrukturtypen
Strassenraum	Strassen
Kunstabauten	Tunnel und Galerien
	Brücken
	Stützmauern
	Lärmschutzwände
	Böschungen, Grünflächen und Hänge
	Weitere Objekte (R-Objekte): Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA), Versickerungsanlagen, Ölabscheidebecken, Retentionsbecken, Pumpanlagen, Pumpwerke
Hochbauten	Werkhöfe (Betriebsgebäude, Silos, Lagerhallen, Werkstätte, Garagen)
Nebenanlagen	Parkplätze
Strassenausrüstung	Signalisierung und Beleuchtung
	Tragwerke für Signalisierung
	Fahrzeugrückhaltesysteme und Abgrenzungen

Tabelle 1 Übersicht über die untersuchten Infrastrukturtypen der Abteilung Tiefbau im Kanton Aargau

Bewertung

Die Eignung des Einsatzes von PV-Anlagen wird für jeden Infrastrukturtyp mit den in Tabelle 2 abgebildeten vier Hauptkriterien bewertet. Die Tabelle zeigt die innerhalb dieser Kriterien relevanten und betrachteten Aspekte. Diese Einschätzung ermöglicht eine schnelle Übersicht der Eignung der Infrastrukturtypen.

Hauptkriterien	Betrachtete Aspekte	●○○ niedriges Potenzial	●●● hohes Potenzial
Mengengerüst		kleine Anzahl Objekte	grosse Anzahl von Objekten
	Anzahl des betrachteten Infrastrukturtypen	Nur wenige Objekte vorhanden mit kleiner potenzieller Fläche für PV	Grosse Anzahl der Objekte
Technische und wirtschaftliche Eignung		anspruchsvolle und teure Ausführung	unkomplizierte und günstige Ausführung
...des PV-Systems	PV-Module Tragwerk Verschmutzung/ Wartung Netzanschluss	nicht-konventionelle Module Massives Tragwerk nötig, spezifische Anforderungen (bspw. hohe Belastbarkeit) hoch, mehrmals jährlich in der Nähe vorhanden	Standardmodule Kein Tragwerk notwendig gering nicht vorhanden
...der Infrastruktur	Verbleibende Lebensdauer Statik und Belastbarkeit Verfügbare freie Fläche Vorhandene Abnehmer und Eigenverbrauch	kürzer als Lebensdauer der PV-Anlage Verstärkung nötig gering keine	ca. Lebensdauer der PV-Anlage oder höher stark belastbar hoch in der Nähe mit relevantem Verbrauch
Rechtliche Eignung		hohe rechtliche Hürden	geringe rechtliche Hürden
	Bewilligungsverfahren Sicherheitsaspekte Ökologische Aspekte	aufwendiges Verfahren / hohe Hürden für Bewilligung hohe Anforderungen hohe Anforderungen	keine Bewilligung nötig/ wenig aufwendiges Verfahren geringe Anforderungen keine Anforderungen
Akzeptanz		Geringe Akzeptanz	Hohe Akzeptanz
	Beeinträchtigung Landschaft-/Ortsbild Direkter gesellschaftlicher Nutzen	stark nicht vorhanden	keine vorhanden

Tabelle 2 Übersicht der drei Hauptkriterien und der betrachteten Aspekte, um die Machbarkeit und Potenzial der unterschiedlichen Infrastrukturtypen einzuschätzen.

Um eine Einschätzung über die Machbarkeit und das Potenzial von Photovoltaikanlagen auf Infrastrukturobjekten zu erhalten, werden zunächst objektspezifische Informationen gesammelt und in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Diese Untersuchung bezieht sich auf die Herausforderungen und Möglichkeiten von PV-Anlagen auf bestehenden Infrastrukturen und versucht, die besten Ansätze zu identifizieren. Zu jedem Infrastrukturtyp werden das Mengengerüst, objektspezifische Merkmale und Genehmigungsverfahren beschrieben.

Strassen (Überdachung offener Strassen)	
Mengengerüst ●●●	Die Kantonstrassen im Kanton Aargau sind insgesamt 1'150 km lang. Die Strassenbreiten sind zwischen 6 – 8 m, es wird hier eine durchschnittliche Fahrbahnbreite von 3.4 m angenommen.
Technische Eignung ●●○	Für die Integration von PV in die Strasseninfrastruktur gibt es die Möglichkeit, die PV-Module als Überdachung einzusetzen. — Einsatz von Standardmodulen und erprobten Systemen möglich. — Moderate Wartung, rund einmal jährliche Reinigung, da sich die Anlage oberhalb der Fahrbahn befindet und die Module von der Strasse abgewandt sind und somit weniger der Verkehrverschmutzung ausgesetzt sind. — Massive und stabile Tragwerke nötig, die zu hohen Zusatzkosten führen. — Die jährliche Wartung wird jedoch durch Sicherheitsaspekte erschwert, die eine Sperrung der Strasse für die Wartung erfordern können. — Die mögliche Doppelnutzung der Fläche, z.B. Beschattung und Energieerzeugung, wird hier als nicht relevant gesehen.
Rechtliche Eignung ●○○	— Eine Baubewilligung ist nötig; und es gelten die besonderen Vorschriften des Strassengesetzes¹. — Gemäss AfB können nur Anlagen an/auf Strassen bewilligt werden, die entlang Bauzonen führen. Ausserhalb von Bauzonen braucht es eine Ausnahmegewilligung (siehe Abschnitt 3.1.1)
Akzeptanz ●○○	— Beeinträchtigung des Landschafts- und/oder des Ortsbildes — Verschattung innerhalb Wohnzone
Netzanschluss ●●○	— Geeignet sind Strassen, die durch Wohn- oder Industriegebiete führen, da diese in der Nähe einen Netzeinspeisepunkt haben. Ungeeignet sind Strassen, die durch Nicht-Bauzonen und landwirtschaftliche Zonen führen.

Fahrzeugrückhaltesysteme	
Mengengerüst und Beschreibung ○○○	Das Potenzial dieser Objekte für den Einsatz von PV-Modulen wird aufgrund erhöhter Sicherheitsaspekte als sehr gering eingestuft. Leitplanken haben die Aufgabe, einen Aufprall möglichst sanft abzufangen und müssen daher biegsam und flexibel sein. Diese Konstruktion ist für die Installation von PV-Modulen nicht geeignet.

1 Strassen sind alle Strassenverkehrsanlagen für den fließenden und ruhenden, privaten und öffentlichen Verkehr. Als Strassen gelten auch Plätze und Wege namentlich Rad-, Geh-, Reit- und Wanderwege. Zur Strasse gehören u.a. auch Bankette, Böschungen, Mittelstreifen, Trennstreifen, Verkehrsinseln, Standspuren, Abbiegespuren, Parkspuren, Radstreifen, Busnischen, Trottoirs, Brücken, Stützmauern, Leitplanken, Leitzäune, Wegweisung, Unter- und Überführungen (Art. 2 und 3 Strassengesetz).

Tunnel und Galerien	
Mengengerüst und Beschreibung ●○○	In diesem Infrastrukturtyp zusammengefasst sind Tunnel, Tagbautunnel, bestehende Überdachungen und Galerien. Für die Installation von PV-Anlagen eignen sich die freien Flächen an den Tunnelportalen oder auf der Tunnelüberdeckung. Das Potenzial ist begrenzt durch die Anzahl Tunnel und Galerien und der kleinen Flächen an den Tunnelportalen. Die Überdeckung wurde hier nicht betrachtet. Im Kanton Aargau gibt es insgesamt 20 Tunnel und 1 Galerie.
Technische Eignung ●●○	— Die meisten Tunnelportale haben nur kleine Flächen, zudem dürfen diese nicht nordgerichtet sein. — Wandsysteme werden nicht von Schnee abgedeckt und führen zu höherem Ertrag im Winter und zu geringerer Wartung im Allgemeinen. — Bei Verwendung der Tunnelportalwände stabile Statik für die Installation von PV-Modulen. — Bei Wandsystemen ist die Eignung abhängig von der Ausrichtung der Wand. — Teilweise Zugänglichkeit und Wartung nur mit Beeinträchtigung des Strassenverkehrs. — Teilweise hohe Ansprüche an Sicherheitsaspekte (Blendung, Absturzsicherheit), insbesondere bei Tunnelportalen.
Rechtliche Eignung ●●○	— Für Bauten und Anlagen auf öffentlichen Strassen und Wegen des Kantons gelten Vorschriften des Strassengesetzes (vgl. Ausführungen in 3.1.1). — Baubewilligung nötig
Akzeptanz ●●○	— Portalbereiche möglicherweise problematisch wegen Verkehrssicherheit und Blendung. — Die Überdeckung der Tunnel wird bereits genutzt, meistens landwirtschaftlich.
Netzanschluss und Verbrauch ●●●	— Diese Infrastrukturen weisen meist einen eigenen, substanziellen Stromverbrauch (Licht, Lüftung) auf und bieten damit die Chance, die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen durch Eigenverbrauch zu erhöhen.

Brücken	
Mengengerüst und Beschreibung ●●○	Insgesamt gibt es 578 Brücken an und über Kantonstrassen im Kanton Aargau.
Technische Eignung ●●○	— Die stabile Statik von Brücken eignet sich grundsätzlich gut für die Installation von PV-Anlagen an den Seiten. — Grösse der verfügbaren Fläche für eine PV-Anlage ist meist begrenzt. — Zugänglichkeit und Wartung nur mit Beeinträchtigung des Strassenverkehrs. — Hohe Ansprüche an Sicherheitsaspekte (Absturzsicherheit). — Die PV-Module können an Aussenseite montiert werden, oder ggf. auf dem Geländer mit bifacialen Modulen. — Nordausgerichtete Geländer sind nicht geeignet.
Rechtliche Eignung ●●○	— Für Bauten und Anlagen auf öffentlichen Strassen und Wegen des Kantons gelten Vorschriften des Strassengesetzes. — Baubewilligung nötig, laut AfB auf Brücken möglich. — Kompliziertes Besitzverhältnis von Brücken an Grenzübergängen.
Akzeptanz ●●○	— Mögliche Beeinträchtigung des Landschafts- und Ortsbildes — Berücksichtigung architektonischer Aspekte

Stützmauern	
Mengengerüst und Beschreibung ●●○	In dieser Kategorie gibt es 540 Stützmauern von unterschiedlicher Bauart und Grösse (s. auch Tabelle 9).
Technische Eignung ●●○	— Der Aufbau von PV-Anlagen kann anhand von Wand- oder Fassadensystemen, oder geneigt an der oberen Kante (mit einem im Vergleich optimaleren Neigungswinkel) erfolgen. — Stützmauern unterscheiden sich in Höhe und Material und haben daher unterschiedliche statische Tragfähigkeiten. — Stützmauern in gutem Zustand mit stabiler Statik (z.B. aus Beton) sind in der Regel gut für die Installation von PV-Anlagen geeignet. Wenn keine zusätzlichen Verstärkungen erforderlich sind, können die Kosten relativ gering gehalten werden. — Grösse der verfügbaren Fläche für eine PV-Anlage ist meist begrenzt, die Eignung ist stark abhängig von der Ausrichtung der Stützmauer. — Zugänglichkeit und Wartung nur mit Beeinträchtigung des Strassenverkehrs. — Hohe Ansprüche an Sicherheitsaspekte (Blendung, Absturzsicherheit).
Rechtliche Eignung ●●○	— Für Bauten und Anlagen auf öffentlichen Strassen und Wegen des Kantons gelten Vorschriften des Strassengesetzes (vgl. Ausführungen in 3.1.1) — Bewilligung nötig
Akzeptanz ●●○	— Berücksichtigung ästhetischer Aspekte
Netzanschluss ●○○	— Häufig kein Netzanschluss. Doch günstig falls bestehender Anschluss in der Nähe der Stützmauer vorhanden ist und die Stützmauer in der Nähe von potenziell attraktiven Verbrauchern steht. Attraktive Standorte sind insbesondere im Siedlungsgebiet zu erwarten. In ländlichen Regionen dürften zusätzliche Anschlusskosten anfallen — Es fehlt ein geschützter Platz für Technik.

Überdachung von Parkplätzen	
Mengengerüst und Beschreibung ●●○	Insgesamt gibt es 84 Parkplätze im Kanton Aargau, welche im Besitz der ATB sind und nicht in Grünzonen liegen. Viele davon befinden sich in der Nähe von Wander- und Naherholungsgebieten.
Technische und wirtschaftliche Eignung ●○○	— PV-Systeme als Überdachung, flexible PV-Systeme, (PV-Module als Teil des Bodenbelags – nicht weiter betrachtet) — Grössere freie Flächen, welche sich für die Umsetzung grösserer Anlagen eignen. — Doppelnutzung der PV-Anlagen als Überdachung für Schatten und Witterungsschutz. — Tragwerk für Überdachungen erforderlich, evtl. erhebliche Mehrkosten durch Bau stabiler Tragwerke und Fundamente und aufwändigere Wartung.
Rechtliche Eignung ●○○	— Individuelle Beurteilung durch die Bewilligungsbehörden nötig. — Bebauung von Parkplätzen in Nicht-Bauzonen nicht bewilligbar.
Akzeptanz ●●○	— Eventuell Beeinträchtigung des Orts- und Landschaftsbildes.
Netzanschluss und Energieverbraucher ●●○	— Befindet sich der Parkplatz in der Nähe einer Siedlung oder Industriegebiet befindet sich ein Netzanschluss und Energieabnehmer in der Nähe. — Für abgelegene Parkplätze können PV-Anlagen kombiniert mit Ladestationen für E-Mobilität als interessant in Frage kommen.

Lärmschutzwände (LSW)	
Mengengerüst und Beschreibung ●●○	Im Kanton Aargau gibt es 213 Lärmschutzwände (LSW) mit einer Länge von knapp 28 km. 90% der LSW sind mit Steinwolle gefüllt und mit Vlies und Holz verkleidet. Sie sind durchschnittlich etwa 2.5 m bis 3 m hoch, 20-25 cm dick. Die Lebensdauer liegt bei 40 Jahren, die ältesten LSW bestehen seit über 20 Jahren.
Technische und wirtschaftliche Eignung ●●○	— Lange, sonst unbenutzte Flächen ermöglichen die Installation von grösseren, wandmontierten PV-Module. — LSW können mit bifazialen Modulen ausgerüstet und in der Höhe ergänzt werden (weniger Blendung, bessere Lärmschutzleistung). — Doppelnutzung Energieproduktion und Lärmschutz. — Mögliche Verschmutzung der Module durch den Strassenverkehr — Hohe Sicherheitsanforderungen durch Blendung und Folgen bei Unfall/Kollision mit System; Anforderungen an Statik hinsichtlich Windlast durch Fahrtwind. — Möglicherweise aufwendige Wartung bei Beeinträchtigung des Strassenverkehrs. — Mögliche Verringerung der akustischen Schutzwirkung durch reflektierende PV-Module.
Rechtliche Eignung ●●○	— Für PV-Anlagen mit Lärmschutzfunktion sind Bewilligung nötig. Für Bauten und Anlagen auf öffentlichen Strassen und Wegen des Kantons gelten Vorschriften des Strassengesetzes (vgl. Ausführungen in 3.1.1) — Werden PV-Anlagen von privaten Personen erstellt gilt das Baubewilligungsverfahren. — Schräg an der Wandoberkante montierte Module können über die Grundstücksgrenze, resp. auf angrenzendes Privateigentum hineinragen.
Akzeptanz ●●○	— Akzeptanz grösser, wenn ästhetische Aspekte berücksichtigt werden und der erzeugte Strom von öffentlichen Verbrauchern genutzt wird. Allgemein wird empfohlen, Anwohner früh einzubinden. — In der Praxis wurden Diebstähle von Standardmodulen gemeldet, integrierte Module sind schwieriger zu demontieren; Vandalismus war der Grund für den Rückbau des Systems in Brütisellen – obwohl Graffiti sich leicht entfernen lässt, führte dies zu höheren Unterhaltskosten.
Netzanschluss ●●●	— LSW werden in der Regel entlang der Strassen aufgestellt, um Anwohner vor Lärm zu schützen. Da LSW in Siedlungsnähe installiert sind, kann von einem Netzanschluss in der Nähe ausgegangen werden.

Pumpstationen	
Mengengerüst und Beschreibung ○○○	Es wird von einem geringen Potenzial für den Einsatz von PV-Anlagen in Pumpstationen und Traföhäusern ausgegangen. Zwar eignen sich Pumpstationen gut als direkte Verbraucher des erzeugten Solarstroms, da sie durch den Betrieb von Pumpen einen erheblichen Energieverbrauch haben. Da sie jedoch oft unterirdisch liegen, muss eine freie Fläche in unmittelbarer Nähe gefunden werden.

Böschungen, Grünflächen und Hänge	
Mengengerüst und Beschreibung ●●●	Entlang der Strassen gibt es verschiedene Böschungen und Hänge, deren Gesamtfläche im Kanton Aargau jedoch noch nicht erfasst worden ist. Relevante Potenziale für PV-Anlagen auf Böschungen, Grünflächen und Hängen an Strassen wurden durch verschiedene Studien identifiziert, insbesondere durch Swissolar (2020, Fokus auf Autobahnböschungen)
Technische und wirtschaftliche Eignung ●●○	— Aktivierung von unbenutzten Flächen — Doppelnutzung (Energieerzeugung und Förderung der Biodiversität). Eine Studie der ZHAW kommt zum Schluss, dass durch die Beschattung der Solarmodule unterschiedliche Mikroklimata und kleinräumige Lebensräume entstehen können². — Je nach Hanglage und Neigungswinkel ist der Untergrund unterschiedlich befestigt und es braucht eine Aufständigung und passende Verankerung der PV-Module. — Erhöhter Wartungsaufwand durch mögliche starke Verschmutzung der Module durch den Strassenverkehr und Bewachung. — Möglicherweise Beeinträchtigung des Strassenverkehrs bei Wartung. — Hohe Sicherheitsanforderungen durch Blendung und Folgen bei Unfall/Kollision mit dem PV-System; Anforderungen an Statik durch Fahrtwind, daher kostspieliges Fundament nötig.
Rechtliche Eignung ●○○	— Die hier betrachteten Böschungen, Grünflächen und Hänge befinden sich auf Strassenparzellen entlang von Bauzonen und somit fallen sie nicht unter die Revision der Raumplanungsverordnung (RPV), unter der Freiflächen-PV-Anlagen nicht bewilligbar sind.
Akzeptanz ●○○	— Mögliche Beeinträchtigung der Biodiversität und/oder des Landschaftsbildes
Netzanschluss ●○○	— Potenziell hohe Anschlusskosten, wenn kein Netzanschluss in der Nähe ist (bspw. in ländlichen Regionen).

Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA)	
Mengengerüst und Beschreibung ●●○	Insgesamt gibt es 5 SABA im Kanton Aargau. SABAs werden auf stark befahrenen Autobahnen und anderen Strassen eingerichtet. Sie filtern das Strassenabwasser, bevor es in ein Gewässer oder in den Boden abgegeben wird. Die SABAs sind meist Teil von grossen Parzellen im Besitz des Kantons Aargau.
Technische Eignung ●○○	— Errichtung einer freistehenden PV-Anlage auf dem Grundstück der SABA. Jedoch ist diese aufwändig, da für die PV-Anlage ein Tragwerk erstellt werden muss. — Doppelnutzung (Beschattung und Energieerzeugung). Die Funktion der SABA darf jedoch nicht beeinträchtigt werden.
Rechtliche Eignung ●●○	— Bewilligung nötig. — Eventuell eine Änderung der Nutzungskategorie der Zone nötig, wenn der erzeugte Strom nicht selbst verbraucht wird, sondern verkauft wird.
Akzeptanz ●●●	— Eventuell Beeinträchtigung des Ortsbildes, aufgrund der Standorte der SABA dürfte dies jedoch ein geringes Risiko darstellen.
Netzanschluss ●●○	— Technische SABA brauchen im Gegensatz zu natürlichen SABA Strom für Pumpen, jedoch müsste der Netzanschluss in der Einzelfallbetrachtung geklärt werden.

2 «Auswirkung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt». ZHAW, Energieschweiz, 2021.

Werkhöfe (Betriebsgebäude, Silos, Lagerhallen, Werkstätte, Garagen)	
Mengengerüst und Beschreibung ●●○	Insgesamt gibt es 9 Werkhöfe, die der Abteilung für Tiefbau zugeordnet sind. Werkhöfe sind Standorte für Personal, Material und Geräte, die unter anderem zuständig sind für den Strassenbetriebsdienst, Abfallentsorgung und Grünflächenpflege. Zu den Werkhöfen gehören folgende Einrichtungen: Bürogebäude, Werkstätten, Lagerräume, Parkplätze, Abstellhallen für Gross- und Kleinfahrzeuge sowie Geräte und Silos.
Technische und wirtschaftliche Eignung ●●○	— Die Dächer und Fassaden der zu den Werkhöfen gehörenden Gebäude eignen sich für Aufdach- und Indachanlagen, sowie Fassaden- und Wandsysteme. Die Statik sollte jedoch überprüft werden. — Parkplätze können mit PV-Modulen überdacht werden. — Die Sanierung und der Bau neuer Gebäude sollten mit der Errichtung einer PV-Anlage geplant werden.
Rechtliche Eignung ●●●	— Für PV-Anlagen an den Gebäuden werden keine massgeblichen Hürden erwartet.
Akzeptanz ●●●	— Kein Risiko
Netzanschluss und Stromverbrauch ●●●	— Der Standort der Werkhöfe eignet sich für PV-Anlagen, da vor Ort ein Netzanschluss besteht und ein substanzieller Stromverbrauch vorhanden ist (Potenzial für Eigenverbrauch vor Ort und damit für eine höhere Wirtschaftlichkeit der PV-Anlagen). — Bei grossen PV-Anlagen muss jedoch abgeklärt werden, ob der bestehende Netzzugang für den Solarstrom ausreicht.

Signalisierung und Beleuchtung	
Mengengerüst und Beschreibung ●○○	Die Anzahl der Anlagen (Beleuchtung und Signalisation) ist grundsätzlich hoch und es gibt schon existierende Insellösungen. Allerdings dürfte die Anzahl der festinstallierten, realisierbaren PV-Anlagen gering sein, aufgrund von Statik und Sicherheitsaspekten.
Technische Eignung ●○○	— Günstige, marktreife PV-Inselsysteme vorhanden, die keinen Netzanschluss brauchen; diese autarken Systeme benötigen jedoch Batterien. (Kleinanlagen mit 50 – 400 Wp) — Signal- und Beleuchtungsanlagen werden regelmässig gewartet, d.h. regelmässige Überprüfung der PV-Module mit geringem Mehraufwand möglich. — Mögliche Blendung der Lenker. — Mögliche starke Verschmutzung der Module durch den Strassenverkehr. — Bei Einsatz von PV-Modulen könnte Diebstahl und Vandalismus ein mögliches Problem sein. — Klärung der Sicherheitsaspekte und -Anforderungen nötig. — Konflikt mit Lichtraumprofil.
Rechtliche Eignung ●○○	— Komplizierte Besitzverhältnisse: Die Beleuchtungsanlagen von Kantonsstrassen innerorts stehen im Eigentum der Gemeinden.
Akzeptanz ●○○	— Frage, ob sich der Einsatz von PV (und Batterien) über den Lebenszyklus aus technischer und wirtschaftlicher Sicht lohnt.
Netzanschluss ●●●	— Einsatz von einzelnen Modulen an den Lampen oder Signalbrücken über der Fahrbahn, die am bereits vorhandenen Netz angeschlossen werden. — Direkter Verbrauch des erzeugten Stroms durch Beleuchtung und Signalisierung.

Zusammenfassend weisen die Werkhöfe insgesamt die beste Bewertung auf. Obwohl sie bezüglich des Mengengerüsts nur im Mittelfeld liegen, erreichen sie in der Bewertung der Rechtlichen Eignung, der Akzeptanz und des Netzanschlusses die höchste Bewertung. Die Lärmschutzwände folgen an zweiter Stelle nach den Werkhöfen. Obwohl sie ebenfalls nicht das grösste Mengengerüst aufweisen, ist der Umfang möglicher Anlagen grösser als beim Infrastrukturtyp Tunnel und Galerien. Bei beiden dieser Infrastrukturtypen ist der Netzanschluss in der Nähe umsetzbar. Damit heben sie sich vom Infrastrukturtyp der Brücken ab. Das grösste Mengengerüst weisen Strassen und Böschungen auf. Allerdings werden Anlagen auf Strassen in Bezug auf ihre technische und rechtliche Eignung am schlechtesten bewertet. Anlagen auf Böschungen hingegen werden zwar technisch besser bewertet, jedoch wird ihre Bewilligungsfähigkeit, Akzeptanz und Anschlussmöglichkeit gering bewertet.

Zusammenfassung
Bewertung Tiefbau-
Infrastruktur

3. Potenzialanalyse

In diesem Kapitel wird eine Gesamtübersicht des Potenzials von PV-Anlagen auf den geeigneten Infrastrukturtypen gegeben. Bei der Auswertung wurde in einem ersten Schritt Kriterien definiert, um aus den bestehenden Objekten die geeigneten Objekte zu identifizieren. Die Kriterien und Methoden werden im 3.1 beschrieben. Darauf aufbauend wird für jeden Infrastrukturtyp mögliche PV-Systeme und Kriterien ausgearbeitet, um das solare Potenzial zu ermitteln. Das Gesamtpotenzial für alle untersuchten Infrastrukturtypen ist in 3.2 dargestellt und in den darauffolgenden Abschnitten objektspezifisch beschrieben.

Ziel der Potenzialanalyse ist es, den möglichen Solarertrag für die verschiedenen Infrastrukturtypen im Kanton Aargau abzuschätzen

3.1 Potenzialanalyse Vorgehensweise

Dieses Kapitel beschreibt das Vorgehen bei der Potenzialanalyse für PV auf Infrastrukturen. Zunächst werden die Methoden zur Bewertung des Mengengerüsts erläutert, einschliesslich der Anwendung der GIS-Analyse und der Einzelfallanalyse. Zudem werden die allgemein gültigen Ausschlusskriterien beschrieben, die bei der Bewertung der Potenziale berücksichtigt werden. Anschliessend wird das Solarpotenzial für die geeigneten Infrastrukturen ermittelt. Dazu wird eine optimale PV-Systemlösung definiert und das Solarpotenzial auf Basis der verfügbaren Fläche und der Sonneneinstrahlung abgeschätzt.

3.1.1 Auswahl geeigneter Objekte

Ziel ist das bestehende Mengengerüst eines Infrastrukturtyps anhand von Ausschlusskriterien auf geeignete Objekte zu reduzieren. Für die Auswertung des Mengengerüsts werden zwei Methoden verwendet, zum einen die GIS-Analyse und zum anderen die Einzelfallanalyse.

Ausschlusskriterien

Gemäss der Abteilung für Baubewilligungen des Kantons Aargau gelten folgende allgemein anwendbare Ausschlusskriterien:

- PV-Module dürfen **nicht innerhalb** einer Nichtbau- oder Biodiversitätszone errichtet werden.
- PV-Module dürfen nicht auf Strassen, die durch oder **entlang** einer Nichtbau- oder Biodiversitätszone führen, errichtet werden.

Innerhalb von Bauzonen gelten die Regeln der Kantone. Für Bauten ausserhalb der Bauzonen wird laut § 63 des Baugesetzes eine kantonale Zustimmung benötigt. Das Raumplanungsgesetz (RPG) und die zugehörige Raumplanungsverordnung (RPV) vom Bund bilden die Grundlage für die Beurteilung von Baugesuchen ausserhalb der Bauzone. Unter gewissen Bedingungen sind bauliche Massnahmen ausserhalb der Bauzonen zugelassen:

Bauen ausserhalb der Bauzone

- wenn das Bauvorhaben zonenkonform ist (Art.22 RPG und Art. 34 RPV). Bei einer Photovoltaikanlage ist diese Bedingung jedoch nicht erfüllt, da es keine speziellen Zonen für Stromerzeugung gibt.
- bei Standortgebundenheit: Wenn ein Bauvorhaben einen Standort ausserhalb der Bauzone erfordert und keine überwiegenden Interessen

entgegenstehen (Art. 24 RPG) ist es möglich, eine Ausnahmegenehmigung für eine Photovoltaikanlage ausserhalb der Bauzone zu erhalten, wenn die Standortgebundenheit nachgewiesen werden kann. Allerdings müssen für diese Standortgebundenheit strenge Anforderungen erfüllt werden, und es müssen besonders wichtige und objektive Gründe vorliegen, die den vorgesehenen Standort gegenüber anderen Standorten innerhalb der Bauzone als deutlich vorteilhafter erscheinen lassen.

Die Studie beschäftigt sich mit der Errichtung von Photovoltaikanlagen in oder angrenzend an Baugebieten, da dies gemäss den aktuellen Vorschriften ohne unverhältnismässigen Genehmigungsaufwand möglich ist.

Auswertungsmethoden

Es gibt zwei allgemeine Bewertungsmethoden: GIS-Analysen und Einzelfallanalysen. Infrastrukturtypen mit einem sehr umfangreichen Mengengerüst werden mit GIS-Analysen untersucht. Infrastrukturtypen mit einem überschaubaren Mengengerüst werden mittels Einzelfallanalyse geprüft, wie dies bei Tunneln und Werkhöfen der Fall ist. Für einige Typen wird eine GIS-Analyse durchgeführt und durch eine Einzelfallanalyse ergänzt. So wird beispielsweise die grosse Anzahl von Parkplätzen und R-Objekten mittels GIS-Analyse auf eine Anzahl von etwa 20 geeigneten Objekten sortiert, die dann in der Einzelfallanalyse näher untersucht werden. Die nachstehende Tabelle zeigt die Art der Analyse, die für die untersuchten Infrastrukturtypen durchgeführt wurde.

Auswertungsmethoden des Mengengerüsts: GIS Analyse und Einzelfallanalyse

GIS-Analyse	Einzelfall-Analyse
Strassen Lärmschutzwand Stützmauern Böschungen, Hänge und Grünflächen Brücken	Tunnel Werkhöfe
Parkplätze, R-Objekte ³	

Tabelle 3: Eingesetzte Auswertungsmethodik pro Infrastrukturtyp.

Das Vorgehen für die Auswertung und detaillierte Ausschlusskriterien wurden für jeden Infrastrukturtyp individuell festgelegt. Dies ist in Tabelle 4 beschrieben.

Ausschlusskriterien von Infrastrukturobjekten

3 Weitere Objekte (R-Objekte): Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA), Versickerungsanlagen, Ölabscheidebecken, Retentionsbecken, Pumpanlagen, Pumpwerke

Datengrundlage	
Allgemein	GIS Daten: — Bauzoneninformation (Schutzzonen, Grundnutzung, Stand der Erschliessung) entlang der Strassen — Biodiversitätsförderflächen im Kulturland — Eigentumsverhältnisse der Objekte Ausschlusskriterien: — Objekte innerhalb oder entlang Nicht-Bauzonen und/oder Biodiversitätszonen
Objektspezifische Datengrundlage, Annahmen und Ausschlusskriterien	
Strassen	GIS: — Strassenraum: Strassenachse und Strassenparzelle — Angrenzende LSW als Linien Annahme: — Strassenfahrbahnbreite: 3.5 m / Strassenbreite 7 m (ohne Trottoir)
LSW	GIS: — Standort, Länge, Ausrichtung Weitere: — Höhe/Breite: 2.5 m / 1 m (Angabe Dejan Milo) — Material: Holz, Stahl, massiv Ausschlusskriterien: — Keine
Stützmauern und Stützkonstruktionen (inkl. befestigte Böschungen und Hänge)	GIS Daten, Kunstbautenkataster: — Information zu GIS Nr., Name, Gemeinde, Typ und Bauart — Standort — Länge (keine vollständigen Angaben zu Fläche, Höhe) — Eigentümer (Aargau-ATB, SBB, Gemeinde, Privat) — Teilweise Fotos — Strasse (Ausrichtung, Fahrbahnlänge) — Ausrichtung Annahmen: — Die Höhe der Stützmauern wurde auf einen Mittelwert von 2.5 m geschätzt. Ausschlusskriterien: — nicht im Eigentum von ATB — Ausschluss von Trockensteinmauer mit unbehauenen Steinen, sowie Konstruktionen aus Steinkörben
Böschungen, Hänge und Grünflächen	GIS Daten: — Strassenraum: Böschungen existieren nicht als Typ und werden aus der Strassenparzelle ermittelt (Fläche, Standort, Ausrichtung) Annahme und Auswertung: — Berechnung der Fläche des Strassenrands innerhalb der Strassenparzellenstücke (entspricht Böschung, Hänge, Grünflächen) rechts und links der Fahrbahn — Subtraktion $\frac{1}{2}$ Strassenfläche von Mitte Fahrbahn bis zum äusseren linken oder rechten Strassenparzellenrand Ausschlusskriterien: — Ausschluss von Strassenrandflächen kleiner als die Mindestflächengrösse von 150 m² (3 m x 50 m Strassenstrecke)

R-Objekte	GIS Daten: — Parzellen (Fläche, Karte «Amtliche Vermessung») Kunstabaukataster: — Information zu GIS Nr., Name, Gemeinde, Typ und Bauart, Eigentum — Standort — Bei manchen Objekten: Länge, Fläche, Höhe Auswertungen: — Überlappung von R-Objekten und Parzellen Zuordnung (Amtliche Vermessung) Ausschlusskriterien: — Nicht im Eigentum der ATB — Objekte, die keiner Parzelle zugeordnet werden können — Fläche von weniger als 30m²
Parkplätze	GIS Daten: — Standort (Punkt, keine Fläche) Ausschlusskriterien — Nicht im Eigentum der ATB — Entlang einer Nicht-Bauzone oder am/im Wald
Brücken	GIS Daten: — Standort, Länge — Eigentümer (ATB, SBB, Grenzübergang Kanton oder Deutschland) — Teilweise Fotos — Strasse (Ausrichtung, Fahrbahnlänge) Ausschlusskriterien — Nicht im Eigentum der ATB oder an Grenzen — Denkmalschutz
Tunnel	Liste: — Standort Ausschlusskriterien — Portalfläche nordgerichtet
Werkhöfe	Liste der Werkhöfe⁴, Standorte der Werkhöfe — Information zu Neubau- oder Sanierungsprojekten Ausschlusskriterien: — Keine

Tabelle 4 Infrastrukturtyp spezifische Auswertungskriterien des Mengengerüsts

4 <https://www.ag.ch/de/ueber-uns/kontakt/behoerdenverzeichnis?rewriteRemoteUrl=/organisations/UA-Unterhalt>

3.1.2 Ermittlung des solaren Potenzials

Für die potenziell geeigneten Mengengerüste wird das Solarpotenzial ermittelt. Für jeden Infrastrukturtyp wird eine optimale PV-Systemlösung definiert. Diese wird dann auf die verfügbare Fläche des Infrastrukturtyps hochskaliert. Der Solarertrag wird dann anhand der Parameter in der folgenden Tabelle geschätzt. Weitere Einzelheiten sind in der Beschreibung der einzelnen Typen enthalten.

Annahmen	Angabe
Sonnenstunden	1529 h/a [1]
Modullänge/Breite/Fläche	2 m / 1 m / 2 m ²
Modulleistung	0.35 kW _p – 0.4 kW _p
Spezifischer Solarertrag	1000 kWh/ kW _{peak}
Neigungswinkel PV-Anlage	10° und 35°
Ausrichtung	Süd /Ost-West
Reihenabstandsfaktor	2.5 m
Performance (Verluste, Ausrichtung)	-4 % bis -10%

Tabelle 5: Annahmen für das solare Potenzial

3.2 Ergebnisse

Das Solarpotenzial für die Infrastruktur des Tiefbauamtes im Kanton Aargau beträgt 177 GWh. Dies ist genug Strom, um 35'000 Haushalte zu versorgen. Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über die verfügbare Fläche der geeigneten Objekte aus der Gesamtzahl. Zusätzlich sind die Nennleistung und der Gesamtertrag der summierten PV-Flächen auf den verschiedenen Infrastrukturtypen angegeben. Der mögliche Solarertrag für jedes Objekt ist ebenfalls in Abbildung 1 dargestellt. Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Infrastrukturtypen erfolgt im nächsten Abschnitt.

Gemäss den angewendeten Kriterien tragen die Strassen 83 GWh zum Solarpotenzial bei. Bei Strassen handelt es sich um den flächenmässig grössten Typ mit dem höchsten Solarpotenzial. An zweiter Stelle stehen die Böschungen entlang von Strassen, die an Bauzonen angrenzen.

An dritter und vierter Stelle folgen die Werkhöfe und LSW. Werkhöfe weisen ein vergleichbar grosses solares Potenzial auf wie auch LSW. Obwohl Tunnel im Vergleich zu anderen Infrastrukturbauten tendenziell weniger Potenzial für die Installation von PV-Anlagen bieten, könnten sie aufgrund ihres hohen Eigenstrombedarfs dennoch in Erwägung gezogen werden.

Das Solarpotenzial der Infrastruktur des Tiefbauamtes im Kanton Aargau beträgt 177 GWh

Das grösste solare Potenzial haben Strassen, gefolgt von Böschungen und Hängen

Infrastrukturtypen	Insgesamt	Geeignet	Fläche [m ²]	Nennleistung [MW _p]	Solarer Ertrag [MWh]
Strassen	1'150 km	72 km	515'430	83	82'757
Böschungen, Grünflächen und Hänge	Keine Angaben ⁵	882'168		62	61'914
Werkhöfe (inkl. Parkplätze)	9 Stück	Alle	53'272	8	8'187
Lärmschutzwände	28 km	28 km	60'890	9	8'042
Brücken	578 Stück	201 Stück	20'627	7	7'206
Stützmauern	540 Stück	167 Stück	32'283	5	5'165
Parkplätze	84 Stück	16 Stück	16'890	3	2'712
R-Objekte (SABA, Kompostieranlagen...)	110 Stück	4 Stück	3'341	0.63	621
Tunnel und Galerien	21 Stück	9 Stück	200	0.03	26
Total			1'585'101	178	176'630

Tabelle 6: Herleitung des solaren Potenzials für die Infrastrukturtypen der ATB im Kanton Aargau

Die Infrastrukturtypen Trafohäuser, Fahrzeugrückhaltesysteme und Abgrenzungen, sowie Signal- und Beleuchtungsanlagen wurden aufgrund ihres geringen Potenzials bei der Potenzialanalyse nicht weiter berücksichtigt.

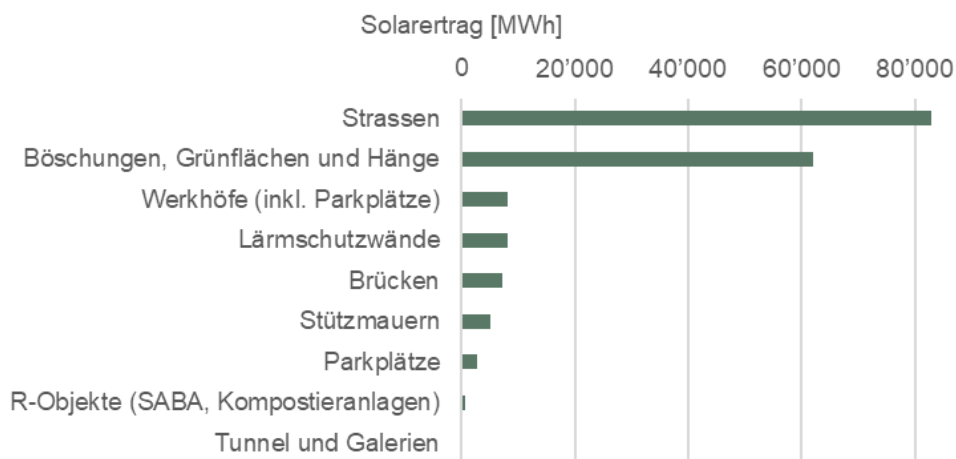


Abbildung 1 Das solare Potenzial für verschiedene Infrastrukturtypen.

⁵ Da die Böschungen durch keine eigene GIS Objekt beschrieben sondern Teil einer Strassenparzelle, gibt es keine Angaben zu ihrer Gesamtfläche im Kanton Aargau. Erst durch die hier durchgeführte Analyse konnten für PV geeignete Flächen ermittelt werden (siehe Böschungen).

3.3 Potenzial pro Infrastrukturtyp

In diesem Kapitel wird das Solarpotenzial der untersuchten Infrastrukturtypen dargestellt. Dazu werden für jeden untersuchten Infrastrukturtyp Möglichkeiten für die Installation einer Photovoltaikanlage vorgestellt und die bei der Berechnung des Solarpotenzials getroffenen Annahmen beschrieben. Abschliessend wird für jeden Infrastrukturtyp eine Schlussfolgerung gezogen, in der das ermittelte Solarpotenzial und die praktische Durchführbarkeit bewertet werden.

3.3.1 Strassen

Die Abbildung 2 visualisiert, wie eine integrierte PV-Überdachung einer Strassenstrecke aussehen könnte. Standard PV Module werden auf einer Fläche mit einem Neigungswinkel von 10° auf einem massiven Tragwerk montiert. In der Studie wird davon ausgegangen, dass die Tragkonstruktion eine Montagefläche für die PV-Module bietet, bei der die PV-Module immer optimal nach Süden ausgerichtet werden können. So kann eine optimale Ausrichtung und eine Neigung der Module von 10° berücksichtigt werden, da die Module frei platziert werden können.

Auslegung einer PV-Strassenüberdachung



Abbildung 2 PV-Module werden mit fest installierten Tragwerken über der Fahrbahn montiert. Visualisierung einer PV-Strassenüberdachung [2]

Die Kantonstrassen werden in 50 m lange Strassensegmente unterteilt, wobei nur die Segmente betrachtet wurden, die beidseitig entlang Bauzonen führen (Ausführung in Abschnitt 3.1.1). Dementsprechend sind insgesamt 72 km Kantonsstrassen für PV-Anlagen geeignet, d.h. diese Strassenabschnitte verlaufen entlang von Wohn- oder Arbeitszonen. Nach Aussagen der AfB und ATB werden PV-Anlagen, die durch Arbeits- und Industriegebiete verlaufen und bestenfalls LSW haben, eher akzeptiert als PV-Anlagen, die an Strassen innerhalb von Wohngebieten verlaufen. Um die Eignung hinsichtlich der Akzeptanz besser einschätzen zu können und um besonders geeignete Strassenabschnitte zu identifizieren, wurden die Strassenabschnitte nach dem Vorhandensein von Lärmschutzwänden und in Abhängigkeit von der Nutzungsbeschreibung der angrenzenden Wohnzonen auf beiden Seiten der Strasse kategorisiert und in Tabelle 7 aufgelistet.

Strassensegmenten ausserhalb von Bauzonen werden nicht berücksichtigt.

Eignungskategorie (Kategorie Nr)	Länge [m]	Strassenfläche [m ²]	PV-Fläche [m ²]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MW _p]
Beidseitig Arbeitszone und LSW (8)	250	1'875	1'619	301	0
Beidseitig Arbeitszone (7)	29'448	212'413	183'359	33'775	34
Arbeitszone einseitig und Wohnzone und LSW (6)	2'321	17'346	14'973	2'785	3
Arbeitszone einseitig und Wohnzone (5)	25'443	180'070	155'440	28'304	28
Beidseitig Wohnzone mit LSW (4)	14'208	103'726	89'538	16'346	16
Total	70'635	507'667	438'228	82'757	83

Tabelle 7: Auswertung solares Potenzial für eine PV-Anlage mit 10° Neigung und nach Süden ausgerichtet für Kantonsstrassen (LSW: Lärmschutzwand).

Insgesamt wurden 8 Kategorien definiert, wobei der höchste Wert (8) die beste Eignung zeigt. Die beste Kategorie 8 beschreibt die Strassenabschnitte, die beidseitig von Arbeitszonen umgeben sind und über eine Lärmschutzwand verfügen. Übersichtshalber werden in der Tabelle nur Strassen bis einschliesslich Kategorie 4 dargestellt. Die GIS-Auswertung beinhaltet jedoch alle ausgewerteten Kategorien und dadurch können die Segmente wie in Abbildung 3 farblich dargestellt werden.

Unterteilung der Strassensegmenten in Eignungskategorien

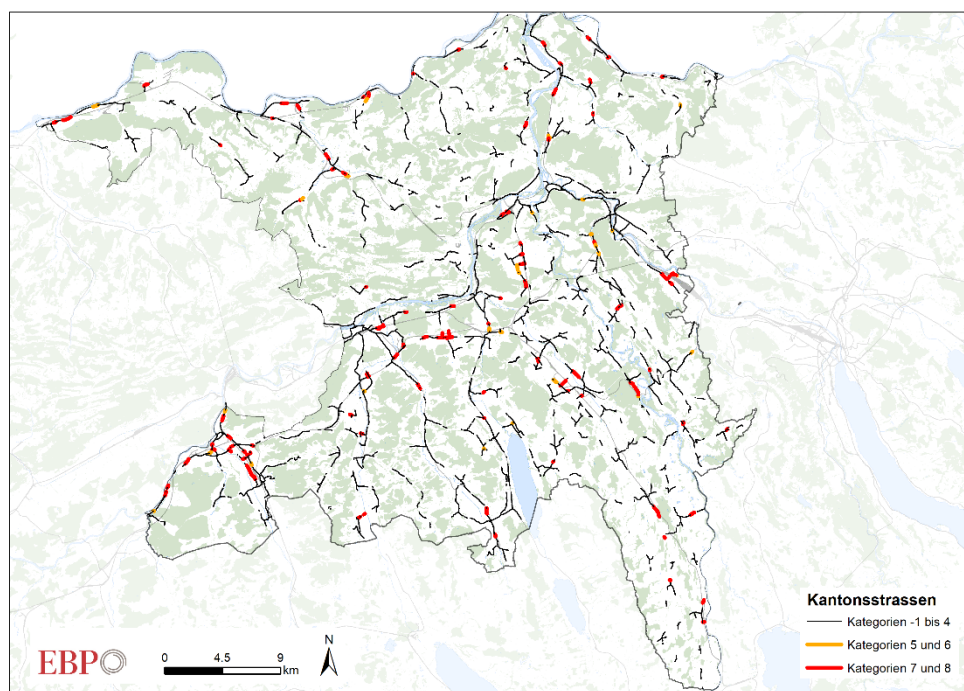


Abbildung 3 Kantonsstrassennetz unterteilt in Segmente und in Kategorien

Die am besten geeignete Kategorie 8 umfasst zwei Strassenabschnitte mit einer Gesamtlänge von 250 m und einem Solarertrag von ca. 300 MWh pro Jahr. Das grösste Potenzial liegt jedoch in der zweitbesten Kategorie, die Strassenabschnitte mit beidseitiger Arbeitszone beschreibt. Hier wurden fast 30 km Strassen identifiziert, die einen Solarertrag von 34 GWh erzielen könnten.

30 km in der zweitbesten Kategorie, die 34 GWh liefern können

Strassen mit PV-Überdachungen bieten ein grosses Potenzial für die Erzeugung erneuerbarer Energie, aber die Umsetzung erfordert eine gründliche Planung und die Berücksichtigung verschiedener Faktoren, um die notwendigen Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. Dazu gehören die aerodynamische Stabilität, die Schnee- und Wetterbelastung sowie die erforderlichen Bau- und Materialkosten. All diese Faktoren müssen für jedes Projekt einzeln untersucht werden. Nichtsdestotrotz handelt es sich um ein interessantes Pilotprojekt mit hoher Sichtbarkeit und der Möglichkeit, gross angelegte PV-Anlagen zu bauen.

PV Strassenüberdachungen sind ein interessantes Pilotprojekt mit hoher Sichtbarkeit und der Möglichkeit, gross angelegte PV-Anlagen zu bauen; sie sind aber kostspielig.

3.3.2 Lärmschutzwände (LSW)

In Abbildung 4 werden LSW mit PV-Modulen dargestellt. In der Studie wird die ertragseffizienteste Variante eines PV-Moduls mit einem Neigungswinkel von 33° auf einer LSW betrachtet. Es ist jedoch auch möglich, für bestimmte Anwendungen bifaziale Module (Abbildung 4 b) zu verwenden. Es ist jedoch schwierig zu sagen, welches PV-System am besten geeignet ist, ohne die akustische Wirkung zu beeinträchtigen, da die Gestaltung jeder LSW von ihrem Standort abhängt und daher jedes Mal individuell beurteilt werden muss. Daher müssen auch die PV-Module entsprechend ausgewählt werden. Für das solare Potenzial werden alle LSW berücksichtigt, einschliesslich nordausgerichtete LSW, da durch die Anbringung von PV Module, wie in Abbildung 4a), auch deren Rückseite genutzt werden kann. Für die südlich ausgerichtete LSW wird die linke Variante in Abbildung 4b betrachtet. Für eine in Ost-West ausgerichtete LSW werden bifaziale Module auf der LSW vorgesehen und vertikal montiert, wie in Abbildung 4b rechts gezeigt. Für die PV-Fläche wird angenommen, dass entlang der Wand nur eine Reihe PV-Module montiert werden.

Lärmschutzwände sind sehr geeignete Objekte für PV-Anlagen, die im Einzelfall angepasst werden müssen.

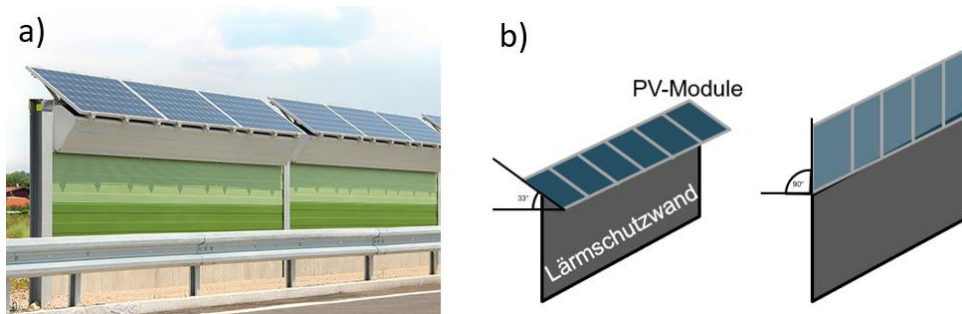


Abbildung 4 a) Visualisierung eines PV-Systems auf einer Lärmschutzwand [3] b) Schematische Darstellung von Lärmschutzwand mit PV-Module

Alle im GIS eingetragenen LSW werden berücksichtigt und nach ihrer Ausrichtung sortiert. Insgesamt wurden 28 km LSW betrachtet. Gemäss der Aussage der Fachperson für Lärm der ATB sind die LSW massiv und können aus statischer Sicht mit PV-Modulen bestückt werden. Vor der Installation

einer PV-Anlage ist es jedoch notwendig, die Statik, den Aufbau und das Alter der LSW im Einzelfall genauer zu untersuchen.

Etwa 75 % der LSW haben eine Ausrichtung nach Süden (von Süd-Ost bis Süd-West) und können einen Solarertrag von 6 GWh erreichen. Der Vorteil von PV-Modulen bei LSW ist, dass sie direkt an Siedlungen angrenzen und somit ein Netzanschluss und Stromverbraucher in unmittelbarer Nähe sind.

Eignungskategorie	Länge [m]	LSW Fläche [m ²]	PV-Fläche [m ²]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MW _p]
Südausrichtung	17'547	43'868	30'592	6'118	6
Ost-West Ausrichtung	10'327	17'023	18'005	2'917	3
Total	27'874	60'890	48'597	9'035	9

Tabelle 8 Solares Ertragspotenzial für Lärmschutzwände, exklusiv nordausgerichtete LSW

Die Solarisierung von LSW stellt ein grosses Potenzial dar, die insgesamt 8 GWh liefern könnte, bei einem verhältnismässigen kleinen Aufwand, da die Montage unkompliziert ist und mit der Sanierung der LSW verbunden werden kann. Es wird jedoch empfohlen, bei der Planung die Statik nochmals zu überprüfen, insbesondere die Wirkung des Fahrwindes auf das ganze PV-LSW System.

LSW können mit PV bestückt werden, wenn ihre Statik geprüft wurde.

3.3.3 Stützmauern

Die Kategorie der Stützmauer ist sehr heterogen aufgrund der unterschiedlichen Mauerstrukturen, wie in Abbildung 5 dargestellt. Daher sind die hier angegebenen Werte eine eher grobe Schätzung⁶ und müssen im Einzelfall im Detail betrachtet werden. Neben Stützmauern in Nicht-Bauzonen wurden auch Trockenmauern mit unbehauenen Steinen und Konstruktionen aus Steinkörben von der Untersuchung ausgeschlossen. Ausserdem sind tiefe Stützmauern in Fahrbahnnähe ungeeignet, da sie Verschmutzungen und Beschattungen ausgesetzt sind. Die verbleibenden Stützmauer wurden nach Mauerstruktur und Ausrichtung sortiert und in Tabelle 9 dargestellt.

Die Heterogenität der Stützmauern erfordert eine Einzelfallprüfung für die Installation einer PV-Anlage.



Abbildung 5 Beispiele verschiedener Stützmauerarten

⁶ Gesamtfläche wurde aus einer Abschätzung der durchschnittlichen Höhe von 2 m genommen, PV Fläche wurde mit 1 Reihe PV-Module entlang der Länge berechnet

Zusätzlich zu wandmontierten PV-Anlagen können auch aufliegende PV-Module auf die Stützmauern montiert werden (vergleichbar zu dem System bei der LSW in Abbildung 4), die zu einem höheren Solarertrag führen. In der Studie wurden nordausgerichtete Objekte ausgeschlossen. Um die Fläche abzuschätzen, wurde eine durchschnittliche Höhe von 2 m angenommen, die im Einzelfall immer überprüft werden muss.

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Potenzialstudie für nach Süden ausgerichtete Stützmauern mit aufliegenden PV-Modulen mit einem Neigungswinkel von 35°. Am besten geeignet sind Stützmauern mit einer Stahlbetonstruktur oder Betonstruktur. Diese beiden Kategorien haben auch das höchste Potenzial mit einem gesamten Solarertrag von mehr als 4 GWh.

Eignungskategorie	Anzahl	Länge [m]	Fläche [m²]	PV-Fläche [m²]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MWp]
Stahlbetonkonstruktion	121	9'948	24'870	19'896	3'979	4.0
Betonkonstruktion	26	1'542	3'855	3'084	617	0.6
Ausbetoniertes Mauerwerk	6	226	565	452	90	0.1
andere Bauart	5	562	1'405	1'124	225	0.2
Mauerwerk	4	296	740	592	118	0.1
Bewehrte Erdkonstruktion	2	65	163	130	26	0.0
Verkleidete Stahlbetonkonstruktion	3	274	685	548	110	0.1
Total	167	12'913	32'283	25'826	5'165	5.2

Tabelle 9 Übersicht Potenzial Stützmauern im Kanton Aargau.

Aufgrund der grossen Heterogenität des Infrastrukturtyps unterliegt das geschätzte Potenzial vielen Annahmen. Nur die Ausrichtung der Strassenzugewandten Seite wurde betrachtet und nicht das Geländemodell, was zu einer ungenauen Bewertung einiger Objekte führen kann. Dies führt zu einer grossen Unsicherheit bei der Abschätzung des Potenzials. Trotzdem erlaubt es eine grobe Einschätzung des Potenzials und die Identifikation geeigneter Objekte für weiterführende Studien.

3.3.4 Werkhöfe

Die Werkhöfe bestehen hauptsächlich aus Gebäuden, Hallen und Parkplätze und sind Eigentum des Tiefbauamtes. Es wurde das Potenzial auf den Gebäuden und Fassaden betrachtet. Darüber hinaus wurde das Potenzial von Überdachungen über freien Flächen im Werkhof, wie in Abbildung 6 dargestellt, untersucht.

Alle Werkhöfe haben das Potenzial eine PV-Anlage auf bestehenden Dächern und Fassaden zu installieren. Jedoch sollte die Statik und das Alter des Daches vorher untersucht werden.



Abbildung 6 Beispiel für Montage von PV Modulen in Werkhöfen.

In der nachfolgenden Tabelle wird das Potenzial für die 9 Werkhöfe angegeben.

Eignungskategorie	Fläche [m ²]	PV-Fläche [m ²]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MW _p]
Dach	19'288	16'650	3'097	3.10
Fassade	19'747	19'747	2'804	2.80
mit Überdachung	14'237	12'289	2'286	2.29
Total	53'272	48'686	8'187	8

Tabelle 10 Übersicht Potenzial Werkhöfe der ATB im Kanton Aargau.

Die Auswertungen der einzelnen Werkhöfe sind im Anhang A2 beschrieben. Insgesamt haben die Werkhöfe des Kantons Aargau eine für die Installation von PV-Anlagen nutzbare Fläche von rund 53'552 m². Flächen auf Dächern, bzw. an Fassaden machen dabei rund 36%, respektive 37%, aus, und potenzielle Überdachungen folgen mit rund 27%. In dieser Betrachtung wurde das theoretische Potenzial ohne Berücksichtigung von Einschränkungen durch unzureichende Netzanschlüsse betrachtet.

Von den neun in dieser Analyse betrachteten Werkhöfen weist der Werkhof in Frick mit 12'549 m² die theoretisch grösste nutzbare Fläche auf mit einem potenziellen Solarertrag von 1'590 MWh⁷. Insgesamt liegt das zusätzliche Potenzial aller Werkhöfe bei rund 5'618 MWh. Die bereits installierte PV-Anlage steuert zusätzlich rund 310 MWh bei.

7 Das Dach ist aufgrund seines aktuellen Zustands und Alters nicht für die Installation einer PV-Anlage geeignet. Eine PV-Anlage sollte jedoch bei einer Dachsanierung eingeplant werden.

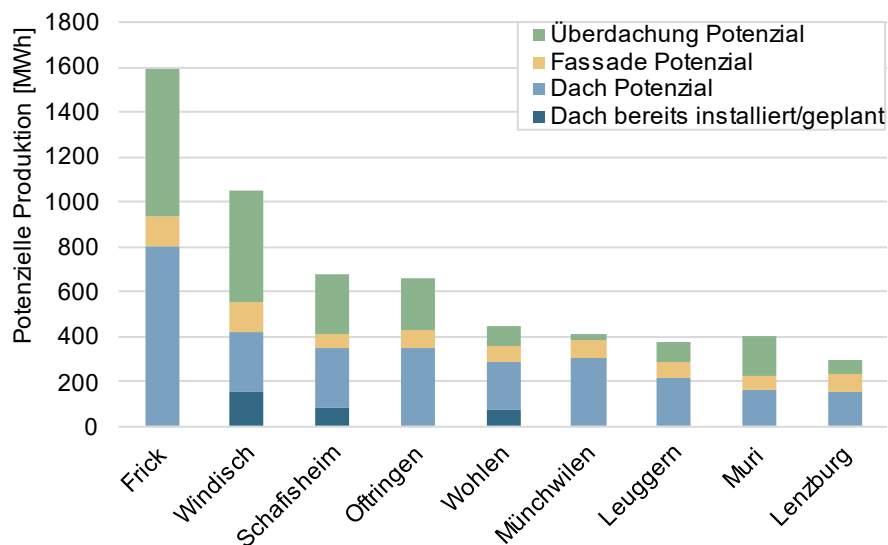


Abbildung 7 Solares Potenzial⁸ in MWh für die Installation von PV-Anlagen pro Werkhof und aufgeteilt in bereits installierte/geplante und potenzielle Flächen auf Dächern, Fassaden und (noch nicht gebauten) Überdachungen.

3.3.5 Böschungen, Hänge und Grünflächen

Es werden freistehende PV-Anlagen für die Bebauung dieser Flächen betrachtet, siehe Abbildung 8. Laut der AfB können auf Böschungen, Hänge und Grünflächen PV-Freiflächenanlagen errichtet werden, da sie Teil von Strassenzonen sind und keinen landwirtschaftlichen Nutzen haben. Parzellen in Biodiversitätszonen wurden ausgeschlossen.

Böschungen, Hänge und Grünflächen weisen im Kanton Aargau das grösste Potenzial für PV-Freiflächenanlagen auf.

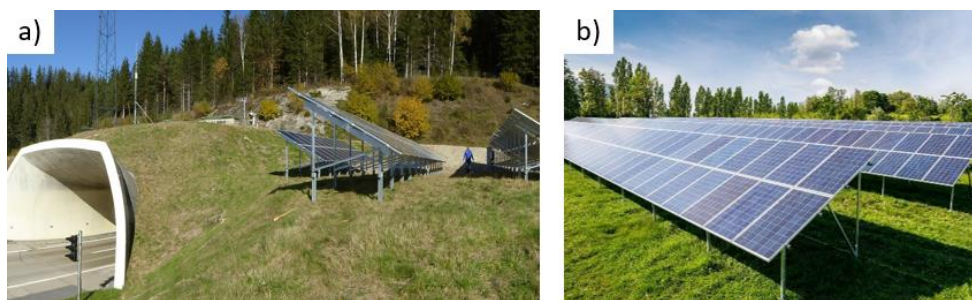


Abbildung 8 a) Pilot Projekt «PV-Süd» in Österreich. b) Freiland-PV-System auf einer Grünfläche [4]

⁸ Annahme: Netzanschluss reicht aus oder Netzausbau wäre möglich.

Eignungskategorie	Fläche [m ²]	PV-Fläche [m ²]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MW _p]
Südausrichtung	510'355	194'684	38'937	38.94
Ost-West Ausrichtung	371'813	141'834	22'977	22.98
Total	882'168	336'518	61'914	62

Tabelle 11 Übersicht Potenzial Böschungen, Hänge und Grünflächen im Kanton Aargau.

Die Böschungen, Hänge und Grünflächen gibt es im GIS nicht als eigene Kategorie und müssen mittels der Information der Strassenparzelle und die Annahme der Fahrbahnbreite deduziert werden. Die Strassenparzellen, die sich innerhalb eines Perimeters von 50 m rechts oder links von Strassen-segmenten (Abschnitt 3.3.1, Kategorie 8 bis 4) befinden, werden als Böschungen, Hänge oder Grünflächen identifiziert.

Von der verfügbaren Fläche hat dieser Infrastrukturtyp, nach den Strassen, das nächstgrösste solare Potenzial mit knapp 62 GWh. Der Netzeinspeisepunkt wird aufgrund der Identifikation der Böschungen anhand der Kategorie der Strassen ähnlich optimal sein, wie bei den Strassen. Die Neigung der Böschung wurde hier nicht betrachtet und muss für Einzelfälle genauer untersucht werden. Diese Art von Infrastruktur ermöglicht den Bau von PV-Grossanlagen, die weniger massive Stützstrukturen benötigen und daher wirtschaftlicher sind als strassengebundene Anlagen.

3.3.6 Brücken

In dieser Studie wird das Solarpotenzial von auf Brückengeländern montierten PV-Modulen untersucht. Die Module werden in einer Reihe, wie in der Abbildung 9 gezeigt, mit einem Neigungswinkel von 35° auf dem Geländer montiert. Nach Norden ausgerichtete Brückengeländer werden ausgeschlossen und nur die gegenüberliegenden, nach Süden ausgerichteten Geländer werden mit PV-Modulen bestückt. Bei Brücken, die von Norden nach Süden verlaufen und somit ein Geländer in Richtung Osten und eines in Richtung Westen haben, wird für beide Geländer die Umsetzung einer PV-Anlage angenommen.

Installierte PV-Anlagen entlang Brückengeländer beeinträchtigen kaum den Strassenverkehr oder die Anwohner.



Abbildung 9 Beispiel von PV-Modulen an einem Brückengeländer montiert.

Eignungskategorie	Länge [m]	Fläche [m ²]	PV-Fläche [m ²]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MW _p]
Südausrichtung	13'751	13'751	13'751	2'750	3
Ost UND West Ausrichtung	6'809	27'502	27'502	4'455	4
Mittelwert	13'751	20'627	20'627	3'603	4

Tabelle 12 Übersicht Potenzial Brücken im Kanton Aargau.

Insgesamt sind 254 Brücken im Kanton Aargau registriert. Laut Verzeichnis der Denkmäler vom Bundesamt für Kultur fallen vier Brücken unter den Denkmalschutz und werden nicht weiter betrachtet. Zusätzlich werden Brücken, die an Kantons- oder Ländergrenzen stehen, ausgeschlossen. Insgesamt bleiben 200 Brücken übrig, die an Bauzonen angrenzen und für die Errichtung einer PV-Anlage in Frage kämen.

Insgesamt ergibt sich 3.6 GWh Solarertrag von PV-Anlagen an Brücken. Interessant ist die Montage von PV-Anlagen nur an Brücken, die in der Nähe eines Netzeinspeisepunktes und eines Energieabnehmers ist. Idealerweise ist die Brücke in Kombination mit einem Tunnel, der durchgehend viel Strom verbraucht. Es wurden sieben Brücken, die in der Nähe von Tunneln liegen, identifiziert.

Brücken mit langen Geländern können interessante Pilotprojekte sein. Es muss jedoch in jedem Einzelfall geprüft werden, ob das Geländer die erforderliche Statik aufweist und ob die PV-Anlage das Stadtbild nicht beeinträchtigt. Zudem ist der zusätzliche Aufwand für die Installation der PV-Module an der Aussenseite der Brücke zu berücksichtigen, was bei komplizierten Objekten die Kosten massiv erhöhen kann. Eine Möglichkeit wäre hier, den Einsatz von bifacialen Elementen in Betracht zu ziehen. Am sinnvollsten ist es, den Einsatz von PV-Modulen bereits bei der Planung oder Renovierung des Geländers zu berücksichtigen, da dann die Arbeiten zusammengelegt werden können und sich dies vorteilhaft auf die Kosten auswirkt.

3.3.7 Tunnel

Für die Montage von PV-Modulen an Tunneln eignen sich Tunnelportale und ihre Stützmauern. Es wurde eine Durchchnittsfläche von 20 m² für die Anbringung von PV-Modulen pro Portal geschätzt. Die PV-Fläche ist somit klein, jedoch sind Tunnel aufgrund des direkten Stromverbrauchs gut geeignet für eine PV-Anlage und daher trotzdem von Interesse. Die Überdeckung von Tunneln wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt, da diese bereits anderweitig, meist landwirtschaftlich, genutzt werden. Im Einzelfall könnte jedoch die Eignung für eine PV-Anlage geprüft werden.

Tunnel haben kleine verfügbare Flächen, aber einen grossen Eigenverbrauch



Abbildung 10 Links: Geeignetes Tunnelportal mit Stützmauer (Portal nach Westen ausgerichtet, keine Verschattung, wenig Grünfläche). Rechts: Tunnelportal mit Böschung (Portal nach Nord-Westen ausgerichtet, wenig vorhandene Befestigungsfläche, eher ungeeignet)

Insgesamt gibt es 21 Tunnel im Kanton Aargau. Basierend auf einer Einzelfall-Analyse, bei welcher die Ausrichtung der Tunnelportale, sowie deren allgemeine Eignung mittels einer Google Maps Bildansicht evaluiert wurde, wurden geeignete Tunnel für die spätere Berechnung des Solarertrages ausgewählt. Kriterien für die allgemeine Eignung waren dabei die Konstruktionsart des Portals (viel freistehende (Beton-) Fläche vs. Von Grünfläche eingeraht, sowie die Lage des Portals (überirdisch, umgeben von hohen Böschungen etc.). In Abbildung 10 wird diese Beurteilung anhand zweier Beispiele verdeutlicht.

Insgesamt wurde entsprechend diesem Vorgehen 9 Tunnel als geeignet bewertet, von dessen 18 Portalen wiederum 10 für die Installation einer PV-Anlage in Frage kommen. Insgesamt ergibt sich ein Solarertrag von rund 26 MWh durch die Installation von PV-Anlagen an Tunnelportalen.

Eignungskategorie	Anzahl Portale	PV-Fläche [m ²]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MWp]
Südausrichtung	7	140	20	0.02
Ost-West Ausrichtung	3	60	7	0.01
Total	10	200	26	0

Tabelle 13 Übersicht Potenzial Tunnel im Kanton Aargau.

Die Tunnel sind zwar attraktiv wegen des hohen Eigenverbrauchs, doch ist die verfügbare Fläche meist klein und die Montage in manchen Fällen kompliziert und somit unwirtschaftlich.

Tunnel durch die kleine Fläche wenig attraktiv

3.3.8 Parkplätze

Parkplätze bieten durch Überdachungen grosse Flächen für die Montage von PV-Modulen zur Verfügung stellen können⁹, wie in Abbildung 11 beispielsweise dargestellt. Die Parkplätze werden mit einer Stützkonstruktion überdeckt, auf der die PV-Module aufgesetzt werden. Da die Module frei platziert werden können, kann eine optimale Ausrichtung und eine Neigung der Module von 10° betrachtet werden. Die PV-Module können den Fahrzeugen Schatten spenden neben der Stromerzeugung, die auch für lokale Ladestationen genutzt werden kann.

Parkplätze haben ein grosses Potenzial, insbesondere in Kombination mit Ladestationen.



Abbildung 11 Beispiel für PV-Überdachungen von Parkplätzen

Eignungskategorie	Anzahl	Fläche [m2]	PV Fläche [m2]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MWp]
Abnehmer in der Nähe	12	14'880	12'845	2'389	2
Ausserhalb (Ladestation)	4	2'010	1'735	323	0
Mittelwert	16	16'890	14'580	2'712	3

Tabelle 14 Übersicht Eignung Parkplätze

Die Parkplätze ausserhalb von Bauzonen werden ausgeschlossen (siehe Abschnitt 3.1.1) und somit die Anzahl an Parkplätzen von 84 auf 20 reduziert. Die Grösse und Eignung der Parkplätze für eine PV-Anlage wurden in einer Einzelfallanalyse beurteilt und in Tabelle 1 dargestellt. Parkplätze wie in Abbildung 12 (rechts) sind zwar von der Grösse geeignet, doch die benachbarten Bäume werden eine PV-Anlage verschatten und machen diesen Standort eher ungeeignet.

⁹ Die Flächen wurden mit Google-Maps in Einzelfallbetrachtung abgeschätzt



Abbildung 12 Beispiel für geeignete und weniger geeignete Parkplätze im Hinblick auf die Zugänglichkeit.

Der Parkplatz in Seengen ist von der technischen Machbarkeit her ein sehr geeignetes Gebiet. Hier wäre eine PV-Anlage in Verbindung mit einer Ladestation für Elektroautos eine attraktive Option. In der Realität wäre diese Fläche jedoch nur sehr schwer mit einer PV-Anlage auszustatten, da sie aufgrund der Nähe zum Schloss Hallwil wegen der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes trotz der energetischen Nutzungsmöglichkeit schwer zu genehmigen wäre.

PV-Überdachungen von Parkplätzen bieten ein grosses Potenzial für PV-Grossanlagen und erlauben eine Doppelnutzung von einer durch die Parkplätze bereits befestigten Fläche. Zudem müssen die Tragwerke keine starken Fahrtwinde aushalten, wie es bei den Strassen der Fall ist, und sind somit eine kostengünstigere Alternative.

PV-Überdachung bieten grosse Flächen für PV Anlagen

3.3.9 R-Objekte

Für die Potenzialstudie werden nur R-Objekte berücksichtigt, die über eine angemessene Fläche verfügen, die abgedeckt werden kann. Zu diesem Zweck wurde geprüft, ob die jeweiligen R-Objekt von einer ausreichend grossen Parzelle umgeben sind, die Platz für die Installation einer PV-Anlage bietet. Da die meisten Objekte unterirdisch liegen, nicht einer Parzelle zugeordnet werden können oder eine zu kleine Fläche haben (z.B. Pumpwerke, Retentionsbecken, Versickerungen), werden nur 2 Typen als geeignet eingestuft: SABA und Kompostieranlagen. Letztere gehören jedoch nicht dem Kanton Aargau. Die Tabelle 15 zeigt beide Typen, um auch das Potenzial der Kompostieranlagen für PV-Anlagen aufzuzeigen. Der Stromverbrauch der SABA hängt davon ab, ob es sich um eine technische SABA handelt, die einen geringen Stromverbrauch für Pumpen hat, oder um eine natürliche SABA, die keinen Verbrauch hat. Da sich die SABAs jedoch in der Nähe von Häusern befinden, sollte ein Netzanschluss kein Problem darstellen.

Es werden nur SABA und Kompostieranlagen berücksichtigt.

Eignungskategorie	Fläche [m2]	PV Fläche [m2]	Solarertrag [MWh]	Nennleistung [MWp]
SABA	34'540	1'770	329	0.33
Kompostierplätze	19'316	1'571	292	0.29
Total	53'856	3'341	621	1

Tabelle 15 Auswertung der R-Objekte: geeignete Flächen für PV-Anlagen.

4. Fallbeispiele

4.1 Angewendete Methoden

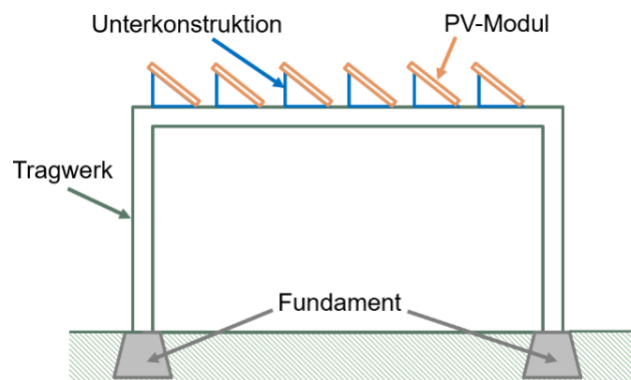
Auf Basis der Potenzialanalyse wurden für jeden Infrastrukturtyp geeignete Fallbeispiele identifiziert. In diesen Fallbeispielen wurden konkrete Anlagen vertieft und ihre Eignung für Photovoltaik-Anlagen spezifisch beurteilt. Insgesamt wurden zehn Fallbeispiele vertieft. Diese dienen als Grundlage für spätere detaillierte Machbarkeitsstudien und die Umsetzung konkreter Anlagen. Als Hauptresultat erfolgte eine Einschätzung des Energieertrages und der Kosten von Photovoltaik-Anlagen auf den betrachteten zehn Infrastrukturen. Dafür wurden Experten für den Bau von PV-Anlagen und zusätzlicher Kostenkomponenten, wie bspw. den Bau zusätzlicher Unterbauten, beigezogen. Diese Vertiefungsarbeiten sind in Steckbriefen in Anhang A1 pro Fallbeispiel beschrieben. Diese Steckbriefe beinhalten die folgenden Angaben:

Vertiefung von 10
Fallbeispielen

Angaben	Beschreibung
Standort	Ort und ggf. Name
Bewilligungsprozess	Welche Art und wie aufwändig ist der Prozess laut AfB. Diese Information wurde durch ein Interview mit der Abteilung für Baubewilligungen abgefragt.
Entfernung Netzanschluss und Abnehmer	Die Entfernung zu einem geeigneten Netzanschluss hat einen Einfluss auf die Kosten, je näher, desto günstiger. Die Abnehmer werden nur zur Information für die Machbarkeitsstudie und Geschäftsmodell aufgeführt.
Ausrichtung und Neigung der Anlage	Beschreibung der Ausrichtung und Neigungswinkel der Anlage. Im Allgemeinen ist eine südliche Ausrichtung und eine Neigung von etwa 35° am geeignetsten, um den maximalen solaren Jahresertrag zu erzielen. In bestimmten Fällen kann es sinnvoll sein, eine geringere Neigung von 10° zu wählen, um mehr Fläche auszunutzen und weniger Verschattung zu haben. Dies ist in erster Linie dann sinnvoll, wenn es darum geht, die maximale Leistung aus begrenzten Flächen zu erzielen.
Installierte Nennleistung	Angabe der maximalen Leistung der gesamten Anlage.
Jahresertrag und spezifischer Ertrag	Maximal möglicher Energieertrag aus der Sonneneinstrahlung auf die Anlage. Der Ertrag wird mit PV-GIS berechnet. Die Annahme ist eine Modulleistung von 0.38 kWp für monofaziale, kristalline Module. Es werden Standard-Systemverluste von 14 % bei angenommen. PV-GIS verwendet die standortabhängige Sonneneinstrahlung. Der spezifische Ertrag beschreibt den Solarertrag pro Leistung.
PV-System Kosten	Gesamtkosten für die PV-Module, Montage, Wechselrichter, Steuerung und Inbetriebnahme.
Netzanschluss	Falls der Netzanschluss nicht vor Ort genutzt werden kann müssen Netzanschlusskosten dazu gerechnet werden.
Tragwerk und Fundament	Manche Infrastrukturobjekte benötigen eine Stahltragwerkskonstruktion und ein Fundament.
Betriebs- und Unterhaltskosten	Annahme von standardmässig 3%, bei wartungsintensiven Anlagen, z.B. auf Grund von Verschmutzung, können auf 8% steigen im Jahr.
Investitionskosten und spezifische Kosten	Summe aller Kosten und Kosten pro installierte Leistung

Tabelle 16: Vertiefung und Angaben für die Fallbeispiele

Die Dimension der potenziellen PV-Anlagen an den jeweiligen untersuchten Infrastrukturobjekten wurde durch die PV-Fläche und die installierte Leistung angegeben. Als Grundlage für die Abschätzung wurde bei allen Anlagen die Installation von PV-Modulen mit 2 m² grosser Fläche angenommen. Für die schlussendlich ausgewerteten PV-Anlagen wurde die Form, Ausdehnung und Ausrichtung des jeweiligen Infrastrukturobjekts berücksichtigt. Nach Möglichkeit wurde eine für den jährlichen Solarertrag optimale Ausrichtung nach Süden gewählt. Es gab jedoch Fälle, in denen dies nicht möglich war, wie z. B. bei Brücken, die ihre Geländer auf der Ost- und Westseite haben. In solchen Fällen wurde die PV-Anlage der Ausrichtung des Objekts angepasst und das bestmögliche Ergebnis unter den gegebenen Bedingungen berechnet. Die angegebenen Gesamtkosten der PV-Anlage setzen sich aus verschiedenen Kostenpunkten zusammen, deren Schätzung transparent ausgewiesen wird: Der Punkt «Kosten des PV-Systems» umfasst einerseits die Kosten für alle installierten PV-Module, inklusiv Montage und Inbetriebnahme, und andererseits als «Zusatzkosten» die Kosten für Unterkonstruktion jedes Moduls, Wechselrichter und die Steuerung für die gesamte Anlage. Falls der Netzanschluss nicht vor Ort genutzt werden kann, müssen zusätzliche Netzanschlusskosten dazu gerechnet werden. Für manche Infrastrukturobjekte, beispielsweise Strassen oder Parkplätze, braucht es ein Fundament für die Stabilität und Tragwerke, welche die Anlagen erhöht und über das eigentliche Objekt führt. Hierfür wurden die Kosten für eine zusätzliche Stahltragwerkskonstruktion von einem Experten eingeholt und im Kostenpunkt «Tragwerk & Fundament» ausgewiesen. Die Summe aller dieser Kosten ergibt die Investitionskosten für die betrachteten Anlagen.



Für die Vergleichbarkeit zwischen den betrachteten Beispielen wurden die spezifischen Investitionskosten, d.h. die Kosten pro installierte kW_p, berechnet. Weiterhin wurde eine Bewertung eingeführt, um den erzielten Jahresertrag und die spezifischen Investitionskosten der Fallbeispiele zu beurteilen. Ein Gesamtrating der Fallbeispiele wurde aus dem Mittelwert dieser beiden bewerteten Kriterien abgeleitet.

4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der Analyse der Fallbeispiele wurde untersucht, welchen Solarertrag eine Photovoltaikanlage auf den betrachteten Objekten leisten kann und welche Investitionen für den Bau der Anlage erforderlich sind. Eine Übersicht der detaillierten Ergebnisse ist in Tabelle 17 dargestellt. Eine noch detailliertere Zusammenstellung pro Fallbeispiel erfolgt in den Steckbriefen in Anhang A1. Abbildung 13 zeigt den berechneten jährlichen Solarertrag und die spezifischen Investitionskosten für jedes Fallbeispiel. Für die spezifischen Investitionskosten wird eine Unsicherheit von 20 % angenommen und als Fehlerbalken ausgewiesen. Um die hier untersuchten Infrastrukturobjekte besser einordnen zu können, wird auch eine konventionelle PV-Anlage auf einem Gebäudedach eines Werkhofs gezeigt¹⁰.

Erkenntnisse aus der Vertiefung der Fallbeispiele

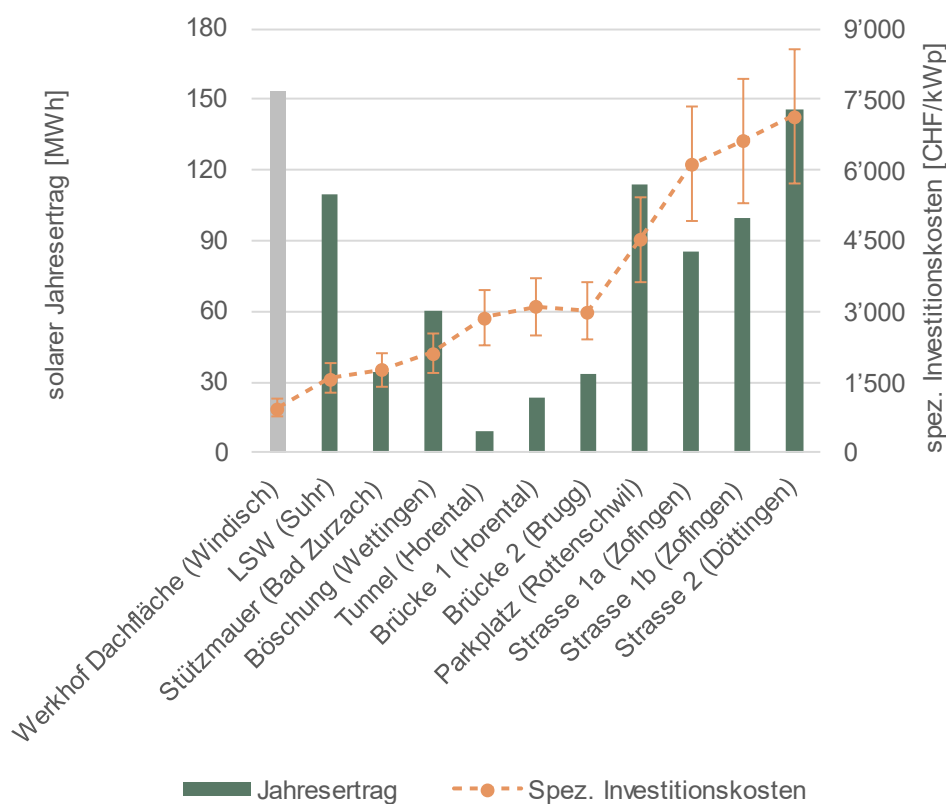


Abbildung 13 Darstellung des solaren Ertrags (linke Achse, grüne Balken) und der spezifischen Investitionskosten (rechte Achse, gelbe Linie) für die untersuchten Fallbeispiele. Am Beispiel Werkhof wird der Jahresertrag (grauer Balken) einer Standardanwendung von PV auf einem Gebäudedach betrachtet.

Es lässt sich erkennen, dass die niedrigsten Erträge unter 40 MWh pro Jahr auf dem untersuchten Tunnel, der Stützmauer und der Brücken erzielt werden. Auf diesen Objekten steht nur wenig Platz für PV-Module zur Verfügung. Im Gegensatz dazu erlaubten die Infrastrukturtypen Strassen, Parkplätze und Lärmschutzwände (LSW) die Umsetzung von PV-Anlagen mit grösseren Flächen. Dabei können unter den betrachteten Beispielen die höchsten Solarerträge von über 100 MWh pro Jahr erzielt werden.

Deutliche Unterschiede in der Grösse der umsetzbaren PV-Anlagen

¹⁰ Dachfläche 957 m², Details siehe 0

Abbildung 13 zeigt ebenfalls, dass sich die Kosten pro installierte Leistung zwischen den Infrastrukturtypen erheblich unterscheiden. Die kostengünstigsten Objekte weisen spezifische Kosten von 1'500 bis 2'000 CHF/kWp auf. Diese kostengünstigeren Anlagen sind möglich auf LSW, Stützmauern und Böschungen. Im mittleren Bereich von 2'000 CHF/kWp bis 4'000 CHF/kWp liegen Tunnel und Brücken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Anlagen an diesen Objekten in der Regel klein sind und begrenzte Flächen zur Verfügung stehen. Die Fallbeispiele auf dem Parkplatz und den Strassen weisen die höchsten spezifischen Kosten auf, welche hauptsächlich auf die zusätzlichen Unterbauten zurückzuführen sind, welche oft eine aufwändigere Konstruktion und Montage benötigen. Diese Kosten für den zusätzlichen Unterbau machen fast 80% der Gesamtkosten dieser Objekte aus.

Spezifische Kosten der PV-Anlagen auf Strassen deutlich höher im Vergleich zu LSW

Die Gesamtkosten aus Abbildung 13 sind in Abbildung 14 in den oben beschriebenen Kostenkomponenten PV-Module, Zusatzkosten, Netzanschluss und Tragwerk & Fundament dargestellt. Bei der Böschung und dem Tunnel handelt es sich um unbefestigte Wiesenflächen, im Falle des Tunnels sogar mit starker Neigung. Da kein fester Untergrund vorhanden ist, müssen die PV-Anlagen durch ein festes Fundament und Tragwerk gestützt werden, was die Module ideal ausrichtet, jedoch auch die Kosten erhöht. Im Vergleich dazu bestehen die Kosten für die LSW und Stützmauer nur aus den PV-Modulen und den erforderlichen Komponenten, wie Montagesystem, Wechsel, Steuerung, was die Kosten insgesamt reduziert. In den Fallbeispielen fällt der Netzanschluss für den Tunnel stärker ins Gewicht, da die Kosten für den Netzanschluss nicht mit der Grösse der Anlage skalieren und die Anlage auf Tunnelportalen eher klein sind. Das Tragwerk beim Parkplatz muss weniger Sicherheitsanforderungen als das der Strassen erfüllen und somit weniger massiv sein. Jedoch ist es in diesem Fallbeispiel sehr relevant, da es sich um 3 einzelne Tragwerke mit PV-Flächen handelt, was mehr Pfeiler braucht als eine zusammenhängende Fläche.

Gesamtkosten pro Kostenkomponenten

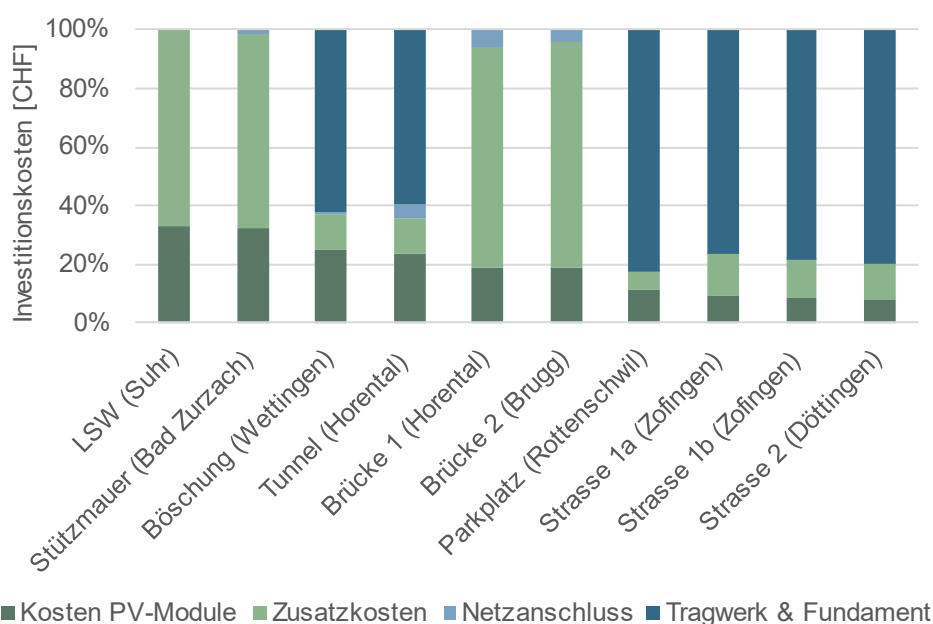


Abbildung 14 Kostenaufschlüsselung der gesamten Investitionskosten für die Fallbeispiele. Die grünen Balken stellen die Kosten für das PV-System dar.

Infrastrukturobjekt	LSW	Stützmauer	Böschung	Tunnel	Brücke 1	Brücke 2	Parkplatz	Strasse 1a	Strasse 1b	Strasse 2
Standort	Suhr	Bad Zurzach	Wettingen	Horental		Brugg	Rottenschwil	Zofingen		Döttingen
PV-Fläche [m²]	630	184	300	52	145	213	600	463	550	800
Ausrichtung	Süd-Westen	Süd-Westen	Süden	Süd-Ost	Ost/West	Ost/ West	Süden	Süd-Ost	Süd-West	Süden
Installierte Nennleistung [kWp]	120	32	57	9	25	37	114	81	97	140
Jahresertrag [MWh]	110	34	60	9	23	33	114	85	100	146
Kosten PV-Module [CHF]	63'000	18'360	30'000	5'200	14'500	21'250	60'000	46'300	55'000	80'000
Zusatzkosten [CHF]	125'900	37'000	15'000	2'600	58'000	85'000	30'000	69'500	83'000	120'000
Netzanschluss [CHF]	0	1'000	1'000	1'000	5'000	5'000	1'000	1'000	1'000	1'000
Tragwerk und Fundament [CHF]	0	0	75'000	13'000	0	0	425'000	380'000	500'000	800'000
Investitionskosten [CHF]	188'850	56'080	121'000	25'800	77'500	111'250	516'000	496'800	639'000	1'001'000
Spez. Investitionskosten [CHF/kWp]	1'574	1'753	2'123	2'867	3'100	3'007	4'526	6'134	6'617	7'150
Gesamtrating 5: beste Bewertung 1: schlechteste Bewertung	4	3	3	2	1.5	2	3	2	2	2.5

Tabelle 17 Übersicht der Ergebnisse der Fallbeispiele

Gesamtrating der Fallbeispiele

Damit die betrachteten Fallbeispiele untereinander verglichen werden können, werden diese in einem Gesamtrating einheitlich bewertet. Dieses Gesamtrating dient ergänzend zu den detaillierten Resultaten als fundierte Grundlage für weitere Umsetzungsschritte. Für das Gesamtrating werden die zwei wichtigsten Kriterien bewertet und zusammengefasst: Einerseits die insgesamt energetische Wirkung (Solarertrag in MWh) und andererseits die Kosten der Anlagen (spezifische Investitionskosten in CHF/kWp). Ziel ist ein sinnvolles Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen.

Für die Bewertung wurde jedes Objekt hinsichtlich der beiden Kriterien Solarertrag und spezifische Kosten auf einer Skala von 1 (schlechteste Bewertung) bis 5 (beste Bewertung) eingestuft. Das Gesamtrating wurde als Mittelwert der Bewertung dieser beiden Kriterien hergeleitet. Tabelle 18 zeigt die Skala, die für die Bewertung eingesetzt wurde. Diese Skala für die Bewertung wurde für eine differenzierte Betrachtung der vorliegenden Fallbeispiele erarbeitet. Bei einer Bewertung weiterer Fallbeispiele und Infrastruktureobjekte sollte sie überprüft werden.

Gesamtrating der betrachteten Fallbeispiele

Bewertung auf einer Skala von 1 bis 5

Rating		Solarertrag [MWh]	Spez. Kosten [CHF/kWp]
5	Höchster Ertrag und günstigste Anlagen	>200	<1'000
4		101 bis 200	1'001 bis 2'000
3		51 bis 100	2'001 bis 3'000
2		25 bis 50	3'001 bis 5'000
1	Niedrigster Ertrag und teuerste Anlagen	<25	>5'000

Tabelle 18: Skala für die Bewertung der Fallbeispiele¹¹

Die resultierende Bewertung der Fallbeispiele ist in Abbildung 15 dargestellt. Als Vergleich zu den Infrastruktureobjekten ist in der Abbildung eine klassische Anlage auf einer Werkhof-Dachfläche bewertet und dargestellt. Diese weist wie erwartet das beste Rating auf. Unter den Infrastruktureobjekten weisen die Strasse in Döttingen, der Parkplatz in Rottenschwil und die Lärmschutzwand in Suhr bezüglich Solarertrag die beste Bewertung auf. Bezüglich der spezifischen Kosten erhält die Lärmschutzwand in Suhr und die Stützmauer in Bad Zurzach die beste Bewertung. Die Stützmauer erlaubt jedoch nur die Umsetzung einer kleinen Anlage und somit erhält sie eine schlechte Bewertung hinsichtlich des Solarertrags. Insgesamt erhält die Lärmschutzwand das beste Gesamtrating unter den Infrastruktureobjekten, gefolgt von den Fallbeispielen auf der Stützmauer, der Böschung und dem Parkplatz. Ob Anlagen auf weiteren Lärmschutzwänden ebenso positiv bewertet werden können wie die vorliegende Fallstudie, muss im Einzelfall geklärt werden. Der Eignung der LSW hängt von ihrem Standort ab und wie lang die verfügbare Länge und damit die verfügbare Fläche für PV ist. Je länger die LSW ist, desto attraktiver erscheint die Umsetzung einer PV-

Fallbeispiele mit bester Bewertung: Lärmschutzwand, Stützmauer, Böschung und Parkplatz

¹¹ Weitere Vertiefungspunkte zur Beurteilung der Machbarkeit eines Projektes, die vom Kanton zu definieren sind, sind z.B. die Bewilligungsfähigkeit, die Akzeptanz bei den betroffenen Stakeholdern, weitere externe Faktoren.

Anlage. Die gleiche Überlegung gilt für Stützmauern. Böschungen müssen jeweils im Einzelfall betrachtet werden, da die Geländeeigenschaften jedes Mal anders sind und einen wesentlichen Unterschied machen, ob die PV-Module ein teures zusätzliches Tragwerk benötigen oder nicht.

Das schlechteste Gesamtrating erhalten die Anlagen auf dem Tunnel, den Brücken und über den Strassen. Auf dem Tunnel und den Brücken können nur kleinere Anlagen mit geringerem Solarertrag umgesetzt werden. Dies lässt sich grundsätzlich auch auf weitere Fallbeispiele dieser Infrastrukturtypen übertragen, da der Platz für PV-Anlagen auf Brücken und Tunnel generell begrenzt ist. Die Anlagen über Strassen weisen generell sehr hohe Investitionskosten auf. Im vorliegenden Gesamtrating können solche Anlagen jedoch bessere Ergebnisse erzielen, weil grundsätzlich grössere Flächen erschlossen werden können und damit ein höherer Solarertrag erzielt werden kann.

Fallbeispiele mit schlechtesten Bewertung: Brücken, Tunnel und Strassen



Abbildung 15 Bewertung der Fallbeispiele, inklusive einer PV-Anlage auf einer Werkhof-Dachfläche zum Vergleich.

5. Empfehlungen

Die vorliegende Studie hat das Potenzial für Solarenergie auf Infrastruktur-objekten der Abteilung Tiefbau untersucht und ein solares Potenzial von rund 180 GWh ermittelt. Dabei handelt es sich um einen Richtwert. Die schlussendliche Machbarkeit ist durch eine gründliche Bewertung einzelner Objekte zu erhärten. Die räumlich detaillierte Analyse dieser Studie erlaubt eine erste Priorisierung und Bestimmung einzelner am besten geeigneter Infrastrukturobjekte. Diese Grundlage wurde für die Auswahl von zehn Infrastruktur-objekten verwendet. Für diese Objekte wurde die Umsetzung von Photovoltaik-Anlagen als Fallbeispiele vertieft.

Potenzial von rund 180 GWh auf Infrastruktur-objekten der ATB

Die Resultate der Potenzialanalyse und der vertiefenden Fallstudie erlauben die Formulierung von Empfehlungen auf mehreren Ebenen. Als erstes ergeben sich mögliche konkrete Projekte, deren Umsetzung konkret angegangen werden kann. Dazu werden unten konkrete nächste Schritte empfohlen (Kap. 5.1). Ergänzend dazu ergeben sich Empfehlungen für weitere Schritte und offene Fragen, die für möglichst wirksame Umsetzungsschritte zu klären sind (Kap. 5.2).

Empfehlungen für konkrete Projekte, weitergehende Schritte und Klärung offener Fragen

5.1 Umsetzung konkreter Projekte

Für die zeitnahe Umsetzung konkreter Projekte empfiehlt sich ein Fokus auf die bestgeeigneten Infrastruktur-objekte, für welche die Umsetzung möglichst einfach ist. Die Eignung konkreter Objekte und von Infrastrukturkategorien im Allgemeinen wurde durch die vorliegende Studie aufgezeigt. Einfach umsetzbare Objekte sind solche, bei denen das Bewilligungsverfahren für PV-Anlagen einfach ist und keine komplizierte Bautechnik erforderlich ist. Dies umfasst die Realisierung von PV-Anlagen auf Werkhöfen, Stützmauern und Lärmschutzwänden, sofern die Statik der Objekte dies zulässt. Teilweise bieten auch versiegelte Flächen wie Parkplätze ein gutes Potenzial, wenn das Orts- und Landschaftsbild nicht beeinträchtigt wird, auch wenn hier der bauliche Aufwand höher ist. Vor diesem Hintergrund werden konkrete Umsetzungsschritte für alle Werkhöfe und für Pilotprojekte auf einer Lärmschutzwand (Suhr) und einem Parkplatz (Rottenschwil) empfohlen.

Empfehlungen für konkrete Umsetzungsschritte: Fokus auf Low-Hanging-Fruits

Kostspieliger und im Bewilligungsverfahren komplizierter umzusetzen sind PV-Anlagen als Strassenüberdachungen. Obwohl hier insgesamt ein sehr hohes Potenzial ausgewiesen wird (82 GWh für Strassen), raten wir von solchen Lösungen ab. In Ausnahmefällen kann es sinnvoll sein, Pilotprojekte mit hoher Sichtbarkeit und starker Symbolik trotzdem umzusetzen. Weiter sind PV-Anlagen an Tunnelportalen und kurzen Brücken nicht zu empfehlen, da es sich in der Regel um kleine Anlagen handelt, die nur mit erhöhtem Aufwand zu installieren sind.

Infrastrukturtypen, die zurzeit nicht im Fokus stehen

Solarpotenzial der Werkhöfe möglichst maximal nutzen

Eine erste Empfehlung ist es, das Solarpotenzial von stabilen Dächern und Fassaden in Werkhöfen möglichst zeitnah und maximal zu nutzen. Bei diesen Anlagen handelt es sich hauptsächlich um einfach umzusetzende klassische PV-Anlagen auf und an Gebäuden. Mit einer möglichst maximalen Erschliessung dieses Potenzials nimmt der Kanton seine Vorbildfunktion

wahr. Insgesamt weist die Studie ein Solarpotenzial auf Werkhöfen von rund 8 GWh aus. Die identifizierten Flächen (Dächer, Fassaden und potenzielle Überdachungen) erscheinen attraktiv genug, um wirtschaftliche Photovoltaik-Anlagen umzusetzen. Es ist jedoch wichtig, im Einzelfall zu prüfen, ob das Alter des Daches und die Statik eine Anlage ermöglicht und ein geeigneter Netzanschluss gegeben ist.

Pilotprojekt auf Lärmschutzwand in Suhr umsetzen

Lärmschutzwände erscheinen als attraktive Objekte für die Installation von PV-Anlagen. Der Hauptzweck ihrer akustischen Wirksamkeit muss jedoch in erster Linie sichergestellt werden. Parallel zur vorliegenden Potenzialstudie wurde vom Lärmschutzbeauftragten des Kantons ein externer Experte beauftragt, um die Akustik von Lärmschutzwänden im Zusammenspiel mit PV-Modulen zu beurteilen. Zu diesem Zweck wurden bisher Simulationen durchgeführt. Die Resultate und Erkenntnisse sollen als Leitfaden für die Umsetzung von PV-Anlagen auf Lärmschutzwänden veröffentlicht werden. Wir empfehlen die Vertiefung dieser Fragen in einem konkreten Pilotprojekt an der Lärmschutzwand in Suhr. Gemeinsam mit PV- und Akustikexperten sollen folgende Fragen untersucht werden:

- Detaillierte Planung von PV-Modulen und Montagesystem an den Lärmschutzwänden Torfeld und Bavaria
- Überprüfung der Statik und anderer Sicherheitsaspekte der LSW bei der Installation der PV-Module
- Validierung der Simulationsergebnisse durch Messungen an einem Abschnitt der LSW mit montierten PV-Modulen
- Klärung des Geschäftsmodell: Wer plant, installiert und betreibt die PV-Anlage (Anwohner, Kanton, Contractor, etc.)
- Vorbereitung der Umsetzung entlang der ganzen Strecke der Lärmschutzwände Torfeld und Bavaria
- Überprüfung der Übertragbarkeit auf andere LSW für die Skalierung der Umsetzung und Erstellung eines Leitfadens; Prüfung eventueller Vorgaben für die Umsetzung von PV-Anlagen auf LSW

Pilotprojekt auf Parkplatz in Rottenschwil umsetzen

Für Parkplätze weist die Studie ein gesamtes Solarpotenzial von 3 GWh aus. Das betrachtete Fallbeispiel wurde als grundsätzlich geeignet für eine PV-Anlage eingeschätzt. Eine PV-Überdachung des Parkplatzes in Rottenschwil ergäbe einen Solarertrag von knapp 120 MWh im Jahr. Wir empfehlen, die Umsetzung einer Anlage an diesem Standort als wirklich innovative Infrastrukturanlage zu prüfen. Ein erster Schritt zur Umsetzung ist die Durchführung einer Machbarkeitsstudie. Für die Umsetzung sind folgende Fragen zu klären:

- Detaillierte Planung der PV-Überdachung und des Tragwerks in einer Machbarkeitsstudie. Detaillierte Abschätzung der Investitionskosten und der Wirtschaftlichkeit der Anlage. Es ist zu prüfen, ob eine

kostengünstigere Konstruktion aus Holz anstelle von Stahl für diese Anwendung ausreichend ist.

- Klärung des Geschäftsmodell: Wer plant, installiert und betreibt die PV-Anlage (Energieversorger, weitere Contracting-Unternehmen, Kanton, etc.)?
- Eingabe der Baubewilligung
- Eventuell: Überprüfung der Übertragbarkeit auf andere Parkplätze; Erstellung eines Leitfadens für PV-Anlagen auf Parkplätzen; Vorgaben für die Umsetzung von PV-Anlagen auf Parkplätzen

5.2 Weitergehende Empfehlungen und Klärung offener Fragen

PV-Anlagen mit Bau oder Sanierung von Infrastrukturobjekten verknüpfen

Wir empfehlen eine explizite Prüfung, den Bau von PV-Anlagen mit dem Bau oder der Sanierung von Infrastrukturobjekten zu verknüpfen. Ein Fokus kann insbesondere auch auf Brücken gelegt werden, für welche die Umsetzung einer PV-Anlage sonst nicht empfohlen würde. Bei der Planung neuer Brücken und der Sanierung und Anpassung bestehender Geländer ist die Option Photovoltaik jedoch in Betracht zu ziehen. Durch die möglichen Synergieeffekte kann die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen potenziell stark verbessert werden. Dabei können auch alternative PV-Module in Betracht gezogen werden: z.B. bifaciale Module, die möglicherweise einfacher am Geländer zu befestigen sind oder selbst als Geländer-Bauteile dienen können. Aufgrund der beschränkten Grösse der Anlagen erscheinen diese für ein Contracting kaum attraktiv. Als Umsetzungsakteur stehen der Kanton und die Abteilung für Tiefbau im Fokus. Diese Empfehlung, den Bau von PV-Anlagen mit dem Neubau und der Sanierung von Infrastrukturobjekten zu verknüpfen, gilt auch für andere Infrastrukturtypen, wie z. B. LSW, Stützmauern und Böschungen.

Umsetzbarkeit in Nicht-Bauzonen klären

Die vorliegende Potenzialstudie zeigt das Solarpotenzial der Tiefbau-Infrastrukturen unter den geltenden Rahmenbedingungen auf. Dazu wurde auf die Errichtung von Photovoltaikanlagen in oder angrenzend an Baugebieten fokussiert, da dies gemäss den aktuellen Vorschriften ohne unverhältnismässigen Genehmigungsaufwand möglich ist. Die zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie geltenden Bedingungen sagen aus, dass für Bauten ausserhalb der Bauzonen laut § 63 des Baugesetzes eine kantonale Zustimmung benötigt wird, die auf das Raumplanungsgesetz (RPG) und die zugehörige Raumplanungsverordnung (RPV) des Bundes basiert. Mit Ausnahmebewilligungen sind bauliche Massnahmen ausserhalb der Bauzonen zugelassen. Es wird empfohlen zu prüfen, wie diese Ausnahmebewilligungen erteilt werden können. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten:

- Nachweis der Standortgebundenheit. Es ist möglich, eine Ausnahme genehmigung für eine Photovoltaikanlage ausserhalb der Bauzone zu erhalten, wenn die Standortgebundenheit nachgewiesen werden kann. Um die strengen Anforderungen zu erfüllen, muss überzeugend dargelegt

werden, warum der vorgesehene Standort gegenüber anderen Standorten innerhalb der Bauzone deutlich vorteilhafter ist. Ein objektiver Grund könnte beispielsweise sein, dass in Nicht-Bauzonen grosse Flächen auf Böschungen und Hänge verfügbar wären, welche gleichzeitig zu weniger Beeinträchtigung von Anwohnern führen würden.

- Erstellung von Zonen zur Energieerzeugung: Solche Zonen wären eine ausreichende Grundlage, um PV-Anlagen zonenkonform erstellen zu können (Art.22 RPG und Art. 34 RPV). Der Prozess um diese Zonen festzulegen erscheint jedoch sehr aufwändig.

Umsetzungsstrategie und Rolle des Kantons definieren

Weiter wird empfohlen, dass der Kanton prüft und festlegt, welche Rolle er beim Ausbau von PV-Anlagen auf Infrastrukturobjekten einnehmen kann und will und welche Geschäftsmodelle für die Umsetzung von PV-Anlagen geeignet sind und eingesetzt werden sollen. Beispielsweise könnte der Kanton die verfügbaren Flächen im Rahmen eines Ausschreibungsverfahrens an Anlagenbetreiber vergeben. Dies setzt voraus, dass die betroffenen Flächen genug attraktiv sind für die Marktteilnehmer. Bei geringerer Wirtschaftlichkeit ist basierend auf dem Kosten-Nutzen-Verhältnis der Anlagen abzuwägen, ob der Kanton eine aktivere Rolle als Investor und Umsetzungsakteur einnehmen soll. Insgesamt wird empfohlen, eine Umsetzungsstrategie pro Infrastrukturtypen zu entwickeln.

Einfluss der Sichtbarkeit und des Vorbildcharakters einbeziehen

Ein wichtiger Aspekt, der bei der Bewertung der Fallstudien noch nicht berücksichtigt wurde, ist die Wirkung von PV-Anlagen im Hinblick auf ihre Sichtbarkeit und ihren Vorbildcharakter. Gerade für die Installation von PV-Anlagen auf Strassen und öffentlichen Plätzen kann dieser Aspekt von grosser Bedeutung sein, da diese Anlagen sowohl eine positive öffentliche Wirkung haben als auch einen starken Innovationscharakter aufweisen können. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir dem Kanton zu prüfen, ob unter den Aspekten der Sichtbarkeit und des Vorbildcharakters einzelne Objekte umgesetzt werden sollen, die in dieser Studie nicht als geeignet eingeschätzt wurden.

Literatur

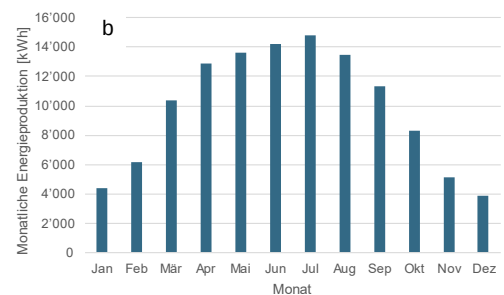
- [1] MeteoSchweiz, «Klimanormwerte 1991-2020: Absolute Sonnenscheindauer,» Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2022.
- [2] F.-I. f. S. Energiesysteme. [Online]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-sued.html>.
- [3] Forster. [Online]. Available: <https://www.forster.at/laerschutz/silent-solar/>.
- [4] W. Energie. [Online]. Available: <https://positionen.wienenergie.at/themen/stromwende/pv-freiflaeche/>.
- [5] Schibli. [Online]. Available: <https://erneuerbare-energie.schibli.com/werkhof-in-adliswil-erhaelt-eine-indach-photovoltaik-anlage/>.
- [6] wegatech. [Online]. Available: <https://www.wegatech.de/photovoltaik/photovoltaikanlage/aufdach/>.
- [7] Energieheld. [Online]. Available: <https://www.energieheld.ch/solaranlagen/photovoltaik/kosten>.
- [8] Energie-experten. [Online]. Available: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solaranlage/photovoltaik-fassade>.
- [9] Handelsblatt. [Online]. Available: <https://www.handelsblatt.com/technik/energie-umwelt/solarmodule-als-strassenbelag-strom-aus-der-strasse-ist-noch-kein-erfolgsmodell/23106794.html>.
- [10] Photovoltaik.eu. [Online]. Available: <https://www.photovoltaik.eu/montage/solares-faltdach-gewinnt-schweizer-zukunftspreis>.

A1 Steckbriefe

A1.1 Lärmschutzwand Suhr, Tramstrasse

Standort	Tramstrasse, Suhr
Verfügbare Fläche	741 m ² (LSW Bavaria und LSW Torfeld)*
Bewilligungsprozess	Unproblematisch, mit LSW angeben
Netzanschluss Entfernung und Abnehmer (ev. Eigenverbrauch)	In naher Umgebung, Anwohner
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	629.5 m ² (85%)
Ausrichtung	Süd-Westen
Modulneigung	35°
Installierte Nennleistung	120 kWp
Jahresertrag	110 MWh/a
Spez. Ertrag	917 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	188'850 CHF
Netzanschluss	-
Stahltragwerk	keines
Investitionskosten	188'850 CHF
Spez. Investitionskosten	1'573.8 CHF/kWp
CHF/Modul	600 CHF/Modul

Abbildung a) Darstellung der Lärmschutzwände an der Tramstrasse in einer nordausgerichteten Karte. b) Solare Monatserträge der PV-Anlage



Einschätzung:

Umsetzung wird empfohlen, da sie mit der Sanierung der LSW gemacht werden kann.

* LSW Fluhweg eignet sich aufgrund der Bauart und Verschattung nicht für die Anbringung von PV Modulen

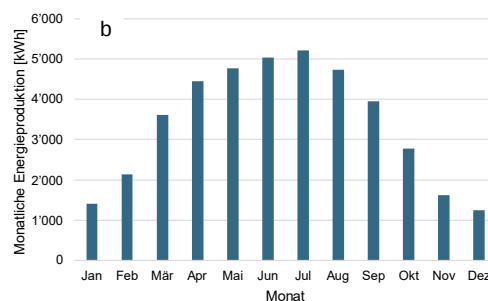
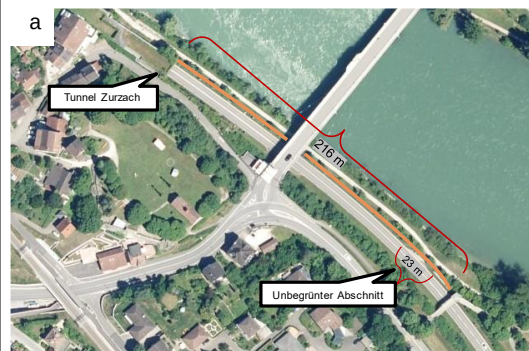


Abbildung c) LSW Fluhweg mit Glaselementen am oberen Rand

A1.2 Stützmauer: Zurzach, Tunnel Nordumfahrung

Standort	Bad Zurzach, nahe Tunnel Nordumfahrung
Verfügbare Fläche	216 m ²
Bewilligungsprozess	Abklärung, ob es nicht im Bereich des Gewässerschutz liegt, ansonsten unproblematisch.
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	183.6 m ² * (85%)
Ausrichtung	Süd-Westen
Modulneigung	35°
Installierte Nennleistung	32 kWp
Jahresertrag	34 MWh/a
Spez. Ertrag	1'063 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	55'080 CHF
Netzanschluss	1'000 CHF
Stahltragwerk	keines
Investitionskosten	56'080 CHF
Spez. Investitionskosten	1'752.5 CHF/kWp
CHF/Modul	611 CHF/Modul

Abbildung a) Übersicht über die Stützmauer in Bad Zurzach nahe des Tunnel Zurzach. b) Solare Monatserträge der PV-Anlage



Einschätzung:

Die Stützmauer hat eine gute Statik, und die Anbringung von PV-Modulen entlang der Mauer wäre unproblematisch, sofern die Mauer an einigen Stellen etwas von Pflanzen befreit oder regelmässig zurückgeschnitten werden kann. Aufgrund des Aufwands ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis dieses Objekts im Mittelfeld angesiedelt und nicht empfehlenswert.

* Anmerkung: Beschränkt man sich auf die nicht begrünter Abschnitte der Stützmauer, reduziert sich die verfügbare Fläche, sowie der Ertrag auf rund 10% der obigen Angaben.



Abbildung 16 Skizze Stützmauer Zurzach: unbegrünter Abschnitt mit Skizze PV Module (abgebildet: Option Anbringung mit Neigungswinkel 80°)

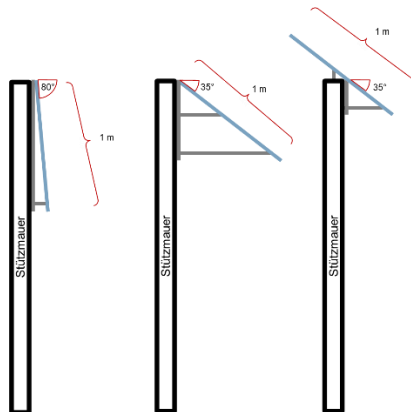
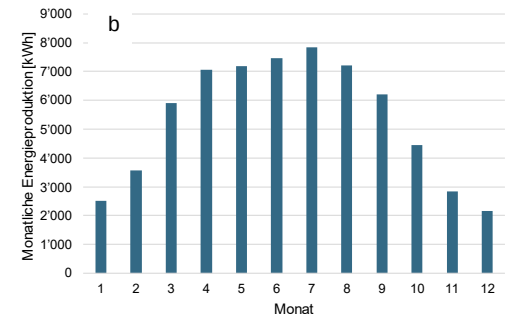
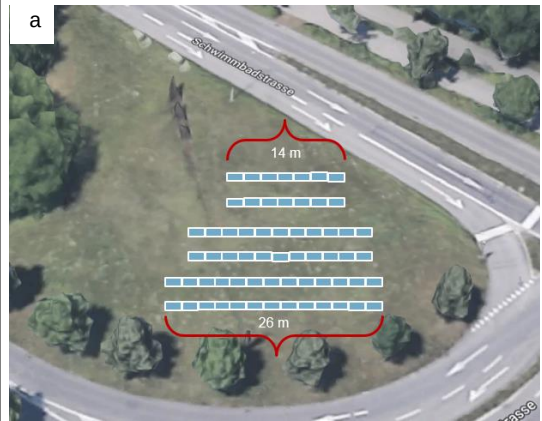


Abbildung 17 Skizze möglicher Anbringungsanordnungen für die PV Module in der Seitenansicht

A1.3 Böschung: Wettingen, Schwimmbadstrasse

Standort	Schwimmbadstrasse, Wettingen
Verfügbare Fläche	400 m ²
Bewilligungsprozess	Standortgebundenheit, keine Probleme mit der Bewilligung zu erwarten
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	300 m ² (75%)
Ausrichtung	Süden
Modulneigung	35°
Installierte Nennleistung	57 kWp
Jahresertrag	60 MWh/a
Spez. Ertrag	1'053 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	45'000 CHF
Netzanschluss	1'000 CHF
Stahltragwerk und Fundament	75'000 CHF
Investitionskosten	121'000 CHF
Spez. Investitionskosten	2'122.8 CHF/kWp
CHF/Modul	806.7 CHF/Modul

Abbildung a) Übersicht Böschung Schwimmbadstrasse in Wettingen inkl. Skizze PV Module.
b) Solare Monatserträge der PV-Anlage



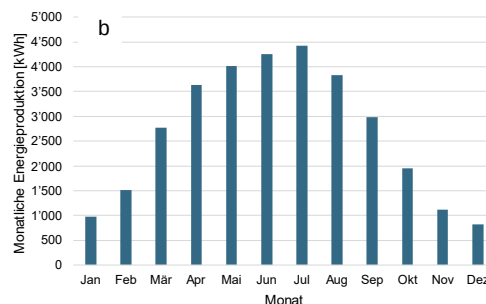
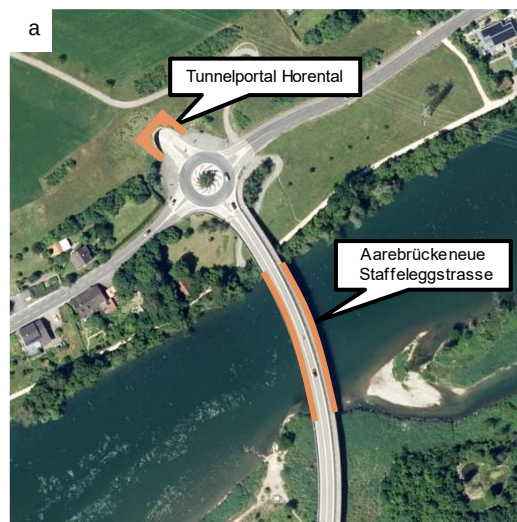
Einschätzung:

Bei diesem Objekt ist eine detaillierte Analyse mit einer Geländebesichtigung vor Ort erforderlich, um besser beurteilen zu können, wie ein PV-System am besten zu gestalten ist. Die Schwierigkeit besteht darin, die effizienteste Raumnutzung mit wenig Verschattung und einer günstigen Konstruktion von Fundament und Tragwerk zu planen, um die Kosten niedrig zu halten.

A1.4 Brücken & Tunnel: Horental, Küttingen

Standort	Horental, Küttingen
Verfügbare Fläche	Brücke: 170 m ² (je 85 m Länge Geländer nach Ost und West)* Tunnel: 52 m ²
Bewilligungsprozess	Unproblematisch, solange kein Denkmalschutz vorliegt
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	Brücke: 145 m ² (85%) Tunnel: 52 m ² (100%)
Ausrichtung	Brücke: Ost / West Tunnel: Süd-Osten
Modulneigung	Beide: 35°
Installierte Nennleistung	Brücke: 25 kWp Tunnel: 9 kWp
Jahresertrag	Brücke: 23 MWh/a Tunnel: 9 MWh/a
Spez. Ertrag	Brücke: 920 kWh/kWp Tunnel: 1000 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	Brücke: 72'500 CHF Tunnel: 7'800 CHF
Netzanschluss	Je 5'000 CHF
Tragwerk & Fundament	Tunnel: 13'000 CHF
Investitionskosten	Brücke: 77'500 CHF Tunnel: 25'800 CHF
Spez. Investitionskosten	Brücke: 3'100 CHF/kWp Tunnel: 2'866.7 CHF/kWp
CHF/Modul	Brücke: 1'069 CHF/Modul Tunnel: 992.3 CHF/Modul

Abbildung a) Übersicht der Anordnung des Portals des Tunnels Horental, sowie der Aarebrücke neue Staffeleggstrasse in Küttingen. b) Solare Monatserträge der PV-Anlage (Brücke und Tunnel)



Einschätzung:

Einer der Vorteile bei der Anbringung von Photovoltaik-Modulen am Tunnelportal ist, dass es nach Süd-Ost ausgerichtet ist und somit gute Bedingungen für die Stromerzeugung bietet. Weiterhin wäre die Anlage sehr sichtbar und hätte somit einen starken Vorbildcharakter. Der produzierte Strom kann direkt im Tunnel genutzt werden, der einen hohen Eigenverbrauch hat. Es wird empfohlen, die Installation von PV-Modulen auf Tunnelportalen und Brückengeländern näher zu untersuchen, obwohl die spezifischen Investitionen relativ hoch sind.

* entspricht nicht-verschattetem Bereich der Brücke, welcher sich über dem Fluss befindet (s. Abbildung a))

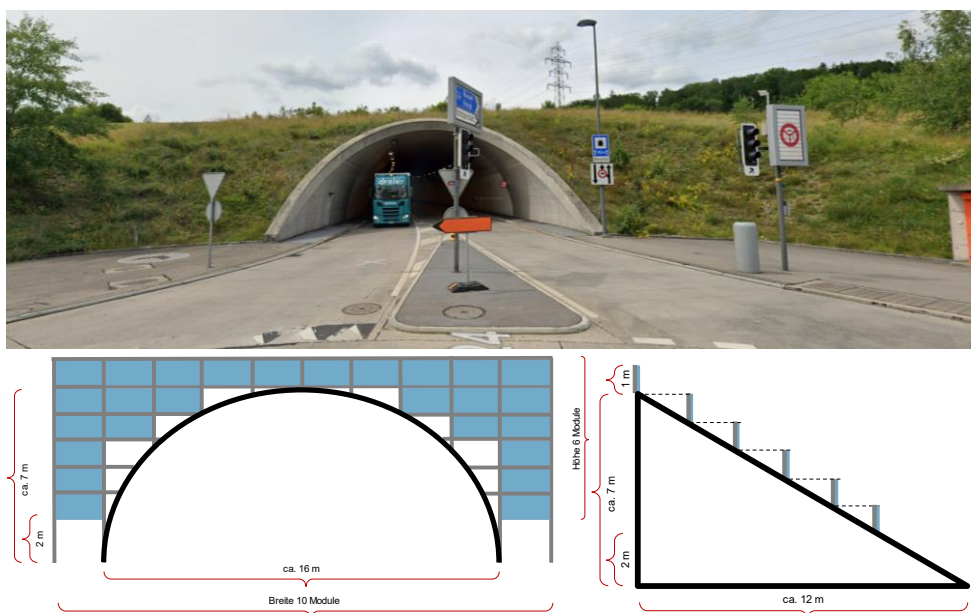


Abbildung 18 oben: Frontansicht des Tunnelportals Horental (Quelle: infra3dclient);
unten: Skizze von einer potenziellen Anbringungsanordnung von PV Modulen
(links: Frontansicht, rechts: Seitenansicht)

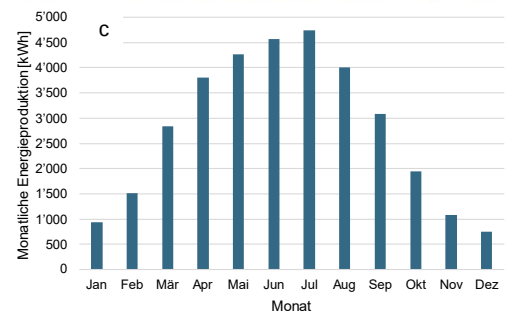
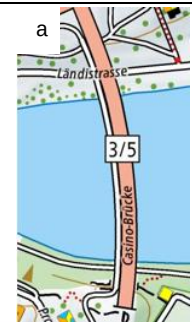


Abbildung 19 Skizze einer möglichen Anbringung von PV Modulen an der Seite (hier: nach Osten gerichtet) der Aarebrücke neue Staffeleggstrasse

A1.5 Brücke: Brugg, Casinobrücke

Standort	Casinobrücke, Brugg
Verfügbare Fläche	250 m ² (je 125 m lange Geländer nach Ost und West)
Bewilligungsprozess	Unproblematisch, solange kein Denkmalschutz vorliegt
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	212.5 m ² (85%)
Ausrichtung	Ost / West
Modulneigung	35°
Installierte Nennleistung	37 kWp
Jahresertrag	33 MWh/a
Spez. Ertrag	892 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	106'250 CHF
Netzanschluss	5'000 CHF
Tragwerk & Fundament	keines
Investitionskosten	111'250 CHF
Spez. Investitionskosten	3'006.8 CHF/kWp
Betriebs- und Unterhaltskosten	3%, niedriger Aufwand

Abbildung a) Darstellung der Brücke in einer nordausgerichteten Karte. b) Blick von der Ländistrasse her auf die nach Osten gerichtete Seite der Brücke. c) Solare Monatserträge der PV-Anlage



Einschätzung:

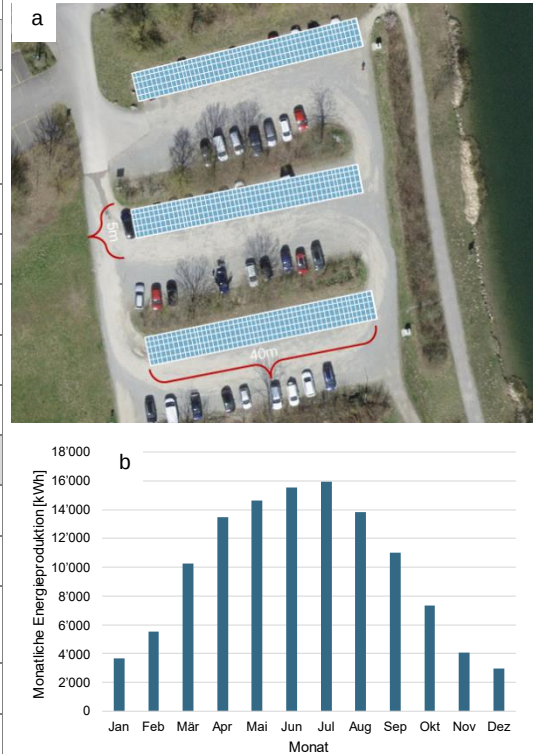
Eine PV-Anlage kann sich die stabile Statik der Kasinobrücke zunutze machen. Durch die schräge Montage der Module gibt es wenig Verschmutzung und fast keine Abdeckung durch Schnee. Darüber hinaus ist die Anlage wartungsarm und behindert den Strassenverkehr nach der Installation nicht.

Einerseits hat die hohe Sichtbarkeit einer PV-Anlage entlang des Brückenbereichs eine starke Vorbildwirkung für den Kanton Aargau. Andererseits könnten die geringe verfügbare Fläche und die relativ hohen Kosten gegen die Umsetzung sprechen.

A1.6 Parkplatz: Rottenschwil, Reussbrücke

Standort	Reussbrücke, Rottenschwil
Verfügbare Fläche	600 m ²
Bewilligungsprozess	Unproblematisch
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	600 m ² (100%)
Ausrichtung	Süden
Modulneigung	10°
Installierte Nennleistung	114 kWp
Jahresertrag	114 MWh/a
Spez. Ertrag	1'002 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	90'000 CHF
Netzanschluss	1'000 CHF
Stahltragwerk und Fundament	425'000 CHF
Investitionskosten	516'000 CHF
Spez. Investitionskosten	4'526.3 CHF/kWp
CHF/Modul	1'720 CHF/Modul

Abbildung a) Übersicht Parkplatz nahe Reussbrücke inkl. Skizze PV Module. b) Solare Monatserträge der PV-Anlage



Einschätzung:

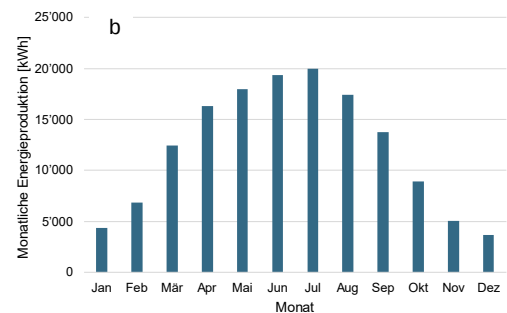
Es wird empfohlen, diese Fallstudie zu vertiefen, da sich eine PV-Anlage auf einem Parkplatz rechnen könnte, auch wenn die spezifischen Kosten hoch ausfallen können. Da der Solarertrag ebenfalls hoch ist und es eine attraktive Erweiterung sein könnte, den Solarstrom auch für Ladestationen für Elektromobilität zu nutzen. Es wird empfohlen, kostengünstigere Alternativen wie Holz für die Tragwerke in Betracht zu ziehen.

A1.7 Strassen

A1.7.1 Strasse: Döttingen, Koblenzerstrasse

Standort	Koblenzerstrasse, Döttingen
Verfügbare Fläche	900 m ²
Bewilligungsprozess	<i>Kompliziertes, aber machbares Baubewilligungsverfahren mit Zustimmung der Nachbarschaft.</i>
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	800 m ² (89%)
Ausrichtung	Süden (+10°)
Modulneigung	10°
Installierte Nennleistung	140 kWp
Jahresertrag	146 MWh/a
Spez. Ertrag	1'043 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	200'000 CHF
Netzanschluss	1'000 CHF
Stahltragwerk und Fundament	800'000 CHF
Investitionskosten	1'001'000 CHF
Spez. Investitionskosten	7'150 CHF/kWp
CHF/Modul	2'502.5 CHF/Modul

Abbildung a) Übersicht Koblenzerstrasse inkl. Skizze PV Module. b) Solare Monatserträge der PV-Anlage



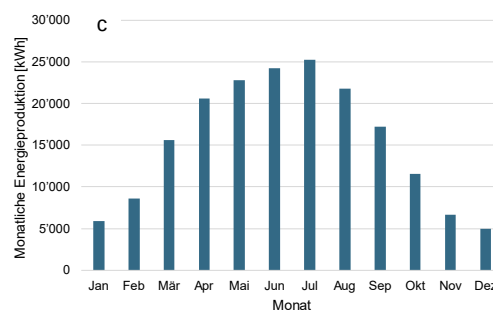
Einschätzung:

Eine PV-Anlage über der Fahrbahn ist eher ein Prestigeobjekt als eine wirtschaftliche Investition, da die spezifischen Investitionskosten sehr hoch sind, auch wenn der Solarertrag ebenfalls hoch ist. Der Kostentreiber ist die Tragwerkkonstruktion. Hier wäre es wichtig zu klären, wie das Geschäftsmodell aussieht und wer der Anlagenbetreiber sein soll.

A1.7.2 Strasse: Zofingen, Untere Brühlstrasse

Standort	Untere Brühlstrasse, Zofingen
Verfügbare Fläche	Abschnitt 1: 620 m ² Abschnitt 2: 520 m ²
Bewilligungsprozess	<i>Kompliziertes, aber machbares Baubewilligungsverfahren mit Zustimmung der Nachbarschaft.</i>
PV-Anlage	Technische Beschreibung
PV-Fläche (% genutzte Fläche der verfügbaren Fläche)	Abschnitt 1: 552 m ² (89%) Abschnitt 2: 463 m ² (89%)
Ausrichtung	Abschnitt 1: Süd-Westen Abschnitt 2: Süd, Süd-Osten
Modulneigung	Beide: 10°
Installierte Nennleistung	Abschnitt 1: 97 kWp Abschnitt 2: 81 kWp
Jahresertrag	Abschnitt 1: 100 MWh/a Abschnitt 2: 85 MWh/a
Spez. Ertrag	Abschnitt 1: 1'036 kWh/kWp Abschnitt 2: 1'050 kWh/kWp
Investitionskosten	
PV-System	Abschnitt 1: 138'000 CHF Abschnitt 2: 115'800 CHF
Netzanschluss	Je 1'000 CHF
Stahltragwerk und Fundament	Abschnitt 1: 500'000 CHF Abschnitt 2: 380'000 CHF
Investitionskosten	Abschnitt 1: 639'000 CHF Abschnitt 2: 496'800 CHF
Spez. Investitionskosten	Abschnitt 1: 6'617 CHF/kWp Abschnitt 2: 6'134 CHF/kWp
CHF/Modul	Abschnitt 1: 2'335 CHF/Modul Abschnitt 2: 2'142 CHF/Modul

Abbildung a) Übersicht Untere Brühlstrasse Abschnitt 1. b) Übersicht Untere Brühlstrasse Abschnitt 2. c) Solare Monatserträge der PV-Anlage (beide Abschnitte)



Einschätzung:

Eine PV-Anlage über der Fahrbahn ist eher ein Prestigeobjekt als eine wirtschaftliche Investition, da die spezifischen Investitionskosten sehr hoch sind, auch wenn der Solarertrag ebenfalls hoch ist. Der Kostentreiber ist die Tragwerkkonstruktion. Hier wäre es wichtig zu klären, wie das Geschäftsmodell aussieht und wer der Anlagenbetreiber sein soll.

A2 Werkhöfe

Insgesamt haben die Werkhöfe des Kantons Aargau eine für die Installation von PV-Anlagen nutzbare Fläche von rund 53'552 m². Flächen auf Dächern, bzw. an Fassaden machen dabei rund 36%, respektive 37%, aus, und potenzielle Überdachungen folgen mit rund 27%.

Von den neun in dieser Analyse betrachteten Werkhöfen weist der Werkhof in Frick mit 12'549 m² das grösste Potenzial auf (s. Abbildung 20). Dieser Werkhof ist jedoch seit einigen Jahren Gegenstand einer Studie, ob eine Sanierung, Verkauf oder Umbau stattfinden soll. Eine Realisierung einer PV-Anlage ist aufgrund der unsicheren Situation nicht sinnvoll.

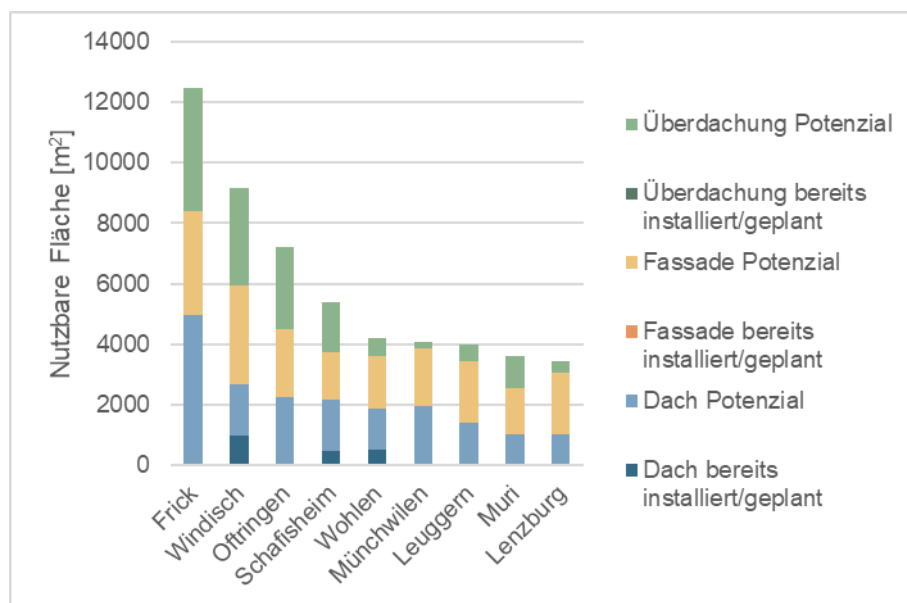
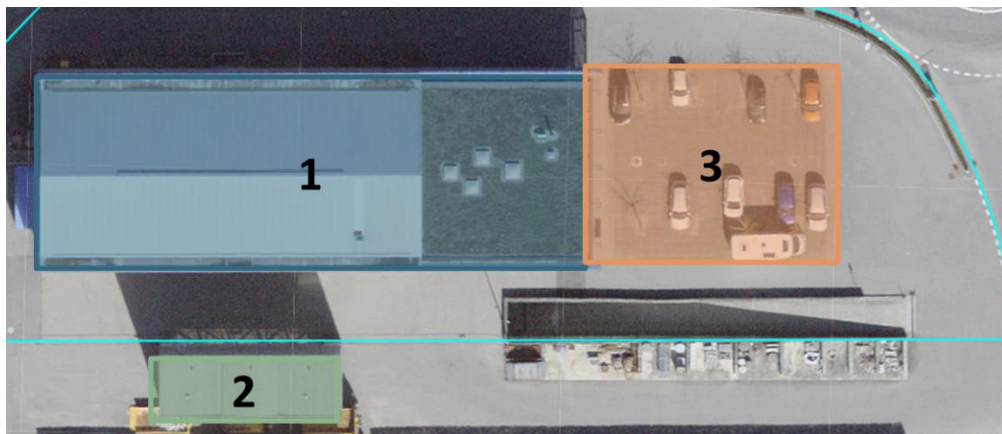


Abbildung 20 Nutzbare Fläche in m² für die Installation von PV-Anlagen pro Werkhof und aufgeteilt in bereits installierte/geplante und potenzielle Flächen auf Dächern, Fassaden und (noch nicht gebauten) Überdachungen¹²

Analog der Flächenverteilung weist der Werkhof in Frick das grösste Potenzial auf mit einem Ertrag von potenziell rund 1'590 MWh. In der Summe liegt das Potenzial bei einem Ertrag von rund 5'618 MWh, bereits installierte Leistung steuert zusätzlich rund 310 MWh bei. Etwas mehr als die Hälfte (51%) würde dabei aus zusätzlich installierten PV-Anlagen auf Dächern stammen, rund 36% aus potenziellen Überdachungen und rund 13% aus PV-Anlagen an Fassaden.

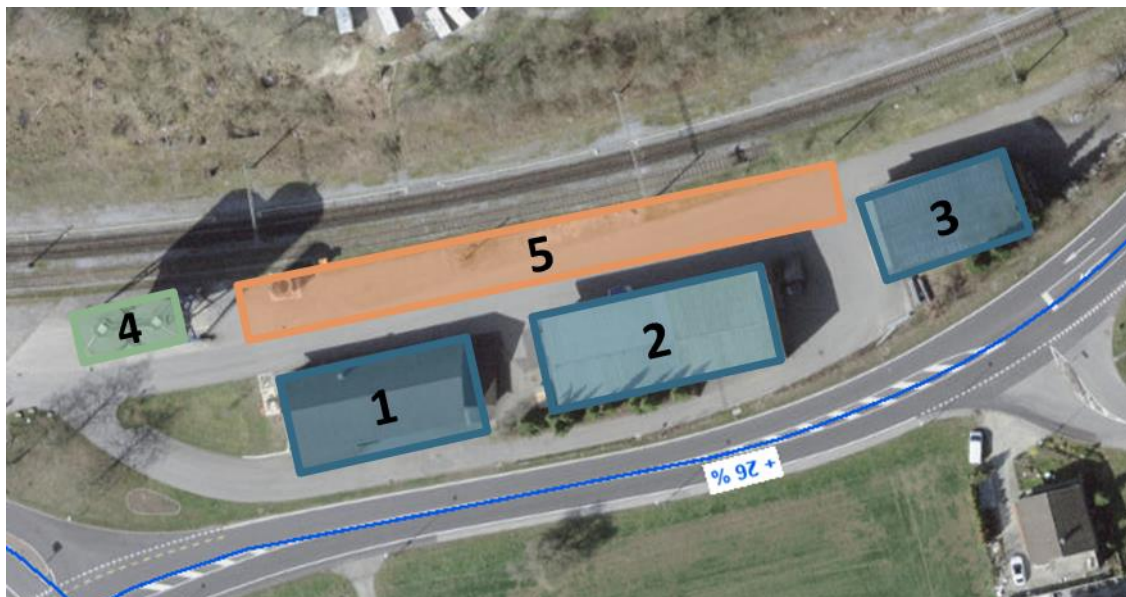
12 In Windisch stellt die installierte PV-Anlage bereits die Kapazität des Netzanschlusses dar und eine Erweiterung ist nicht geplant.

A2.1 Lenzburg



Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	Nein	20°	931	151	140996
1	Fassade	Nein		1397	36	50150
2	Dach	Nein	0°	101	165	16690
2	Fassade	Nein		604	43	25900
3	potenzielle Überdachung	Nein		393	151	59470

A2.2 Leuggern



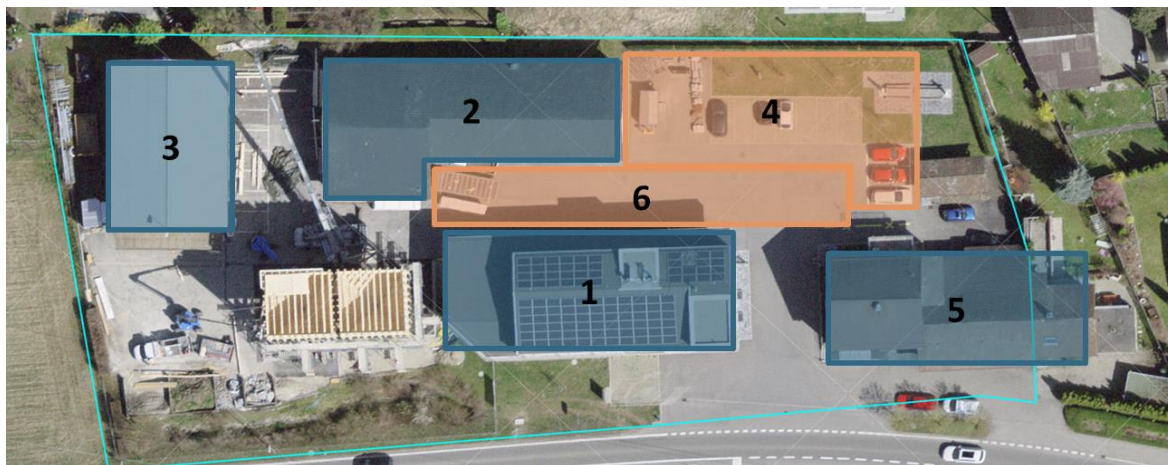
Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	Nein	20°	513	142	72863
1	Fassade	Nein		464	39	17900
2	Dach	Nein	5°	553	164	90521
2	Fassade	Nein		713	36	25750
3	Dach	Nein	14°	330	162	53432
3	Fassade	Nein		364	31	11400
4	Fassade	Nein		480	38	18000
5	potenzielle Überdachung	Nein		580	156	90454

A2.3 Windisch



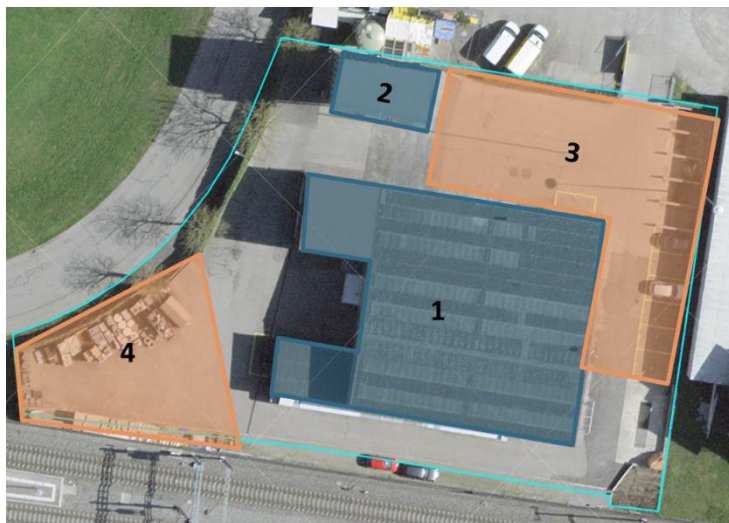
Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Flächenart	Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	geplant	0°	957		160	153514
1	Fassade	Nein		1078		31	33500
2	Dach	Nein	0°	538		160	86227
2	Fassade	Nein		628		41	25950
3	Dach	Nein	10°	928		153	142063
3	Fassade	Nein		729		34	25100
4	Dach	Nein	0°	180		155	27898
4	Fassade	Nein		853		58	49250
5	Dach	Nein	0°	60		155	9270
5	Fassade	Nein		4		25	100
6	potenzielle Überdachung	Nein		360		157	56570
7	potenzielle Überdachung	Nein		290		157	45570
8	potenzielle Überdachung	Nein		1435		157	225495
9	potenzielle Überdachung	Nein		1110		157	174424

A2.4 Wohlen



Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage		Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	bereits	vor-	0°	519	145	75011
1	Fassade	Nein			549	52	28500
2	Dach	Nein		24°	550	154	84681
2	Fassade	Nein			478	33	15600
3	Dach	Nein		14°	295	164	48251
3	Fassade	Nein			448	39	17400
4	potenzielle Überdachung	Nein			269	152	40958
5	Dach	Nein			517	147	75756
5	Fassade	Nein			254	52	13250
6	potenzielle Überdachung	Nein			320	152	48687

A2.5 Muri



Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	Nein	7°	920	160	146844
1	Fassade	Nein		971	44	42850
2	Dach	Nein	0°	77	166	12689
2	Fassade	Nein		559	46	25600
3	potenzielle Überdachung	Nein		700	163	113949
4	potenzielle Überdachung	Nein		400	163	65114

A2.6 Frick



Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Flä- Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	Nein	0°	1239	159	196621
1	Fassade	Nein		754	50	38050
2	Dach	Nein	0°	511	164	83670
2	Fassade	Nein		539	44	23700
3	Dach	Nein	0°	1345	161	217169
3	Fassade	Nein		500	42	21200
4	Dach	Nein	0°	1225.5	162	198995
4	Fassade	Nein		972	23	22200
5	Dach	Nein	0°	650	163	105745
5	Fassade	Nein		188	31	5800
6	Fassade	Nein		480	43	20400
7	Potenzielle Überdachung	Nein		375	162	60672
8	Potenzielle Überdachung	Nein		1980	162	320347
9	Potenzielle Überdachung	Nein		1700	162	275046

A2.7 Oftringen



Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Fläche [m²]	Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	Nein	20°	602	151		90945
1	Fassade	Nein		645	41		26300
2	Dach	Nein	20°	1159	151		175553
2	Fassade	Nein		1042	34		35200
3	Dach	Nein	10°	479	165		79157
3	Fassade	Nein		580	40		23150
4	potenzielle Überdachung	Nein		500	156		77983
5	potenzielle Überdachung	Nein		700	156		109176
6	potenzielle Überdachung	Nein		1235	156		192618

A2.8 Münchwilen



Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Flä- Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	Nein	5°	1962	156	305'217
1	Fassade	Nein		1569	40	62'600
2	Fassade	Nein		336	41	1'3800
3	Potenzielle Überdachung	Nein		220	156	34'221

A2.9 Schafisheim



Teilfläche	Flächenart	Vorhandene PV-Anlage	Dachneigung	Nutzbare Fläche [m²]	Flä- Potenzielle Produktion [kWh/m²/Jahr]	Potenzielle Produktion [kWh/Jahr]
1	Dach	Nein	5°	1602	158	252710
1	Fassade	Nein		1569	40	62600
2	Dach	Ja		476	171	81500
3	Dach	Nein	0°	69	163	11249
4	Potenzielle Überdachung	Nein		1520	162	246240
5	Potenzielle Überdachung	Nein		150	162	24300