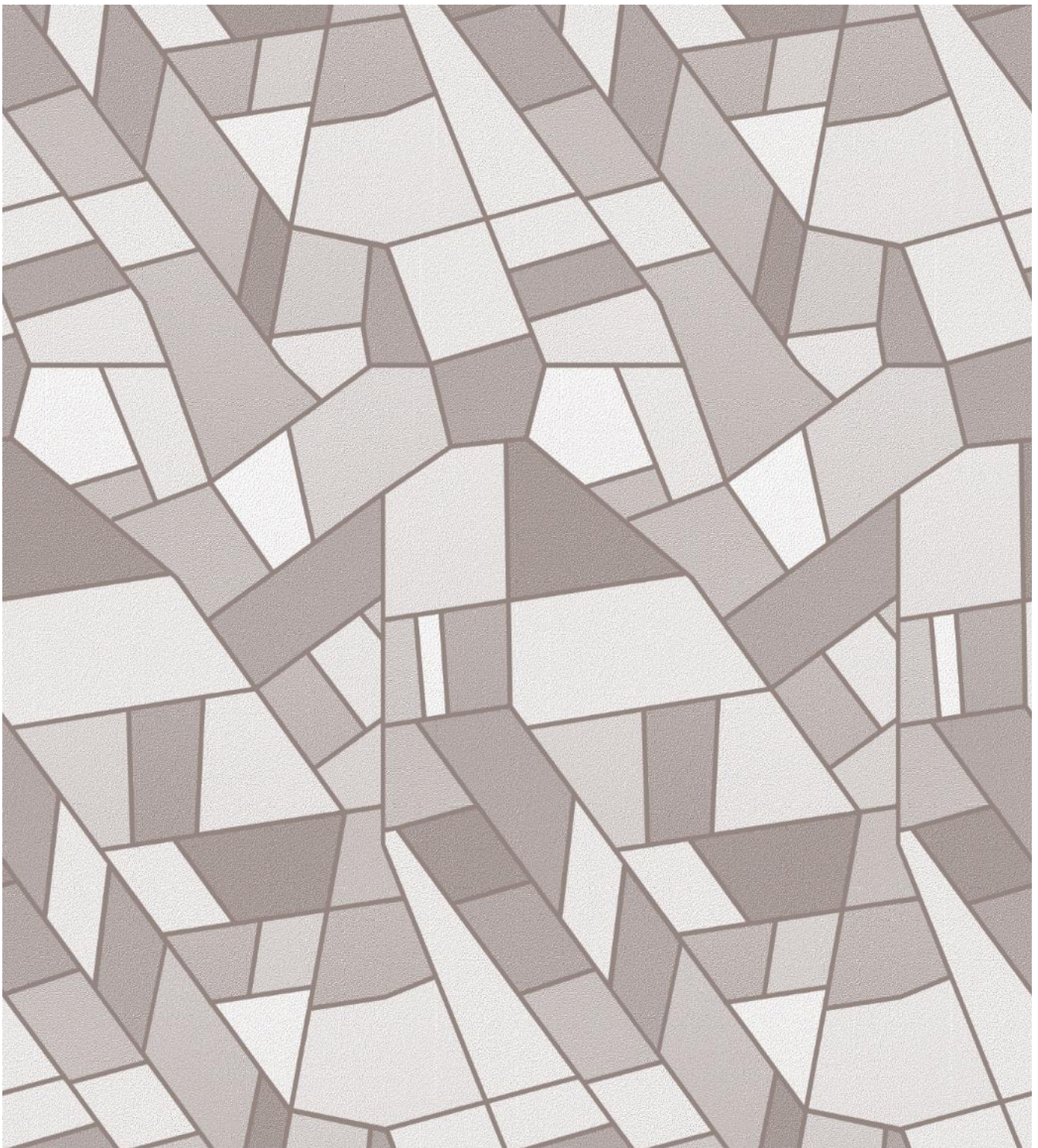


Photovoltaik entlang von Kantonsstrassen im Kanton St. Gallen

Potenzialstudie vom November 2024



Projektteam

Markus Staudinger
Dominique Steverlynck
Sabine Perch-Nielsen

Begleitgruppe Kanton St. Gallen

Julia Benz, Amt für Wasser und Energie, Abteilung Energie
Daniela Germann, Tiefbauamt, Grundstückgeschäfte
Roger Häberli, Tiefbauten, Strassen- und Kunstbauten
Bianca Mergenthaler, Amt für Raumentwicklung und Geoinformation,
Bauen ausserhalb Bauzonen
Sandro Moser, Amt für Raumentwicklung und Geoinformation, Abteilung
Geoinformation
Christoph Speith, Tiefbauamt, Kantonales Strasseninspektorat

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

Zusammenfassung

Ausgangslage: Die Schweiz steht vor der Herausforderung, in den kommenden Jahren die Produktion erneuerbarer Energie deutlich zu steigern. Insbesondere im Bereich Solarstrom besteht noch erhebliches Ausbaupotenzial. Vor diesem Hintergrund wurde in einer kantonalen Interpellation (51.23.87) die Frage aufgeworfen, inwiefern auch kantonale Strasseninfrastrukturen für die Stromproduktion genutzt werden können.

Ziel: Die vorliegende Studie verfolgt das Ziel, das technische Potenzial von Photovoltaik entlang der Kantonsstrassen quantitativ abzuschätzen. Zusätzlich sollen Eignungskriterien für PV-Anlagen und deren Standorte definiert werden.

Infrastrukturtypen: Es wurden folgende Infrastrukturtypen im Eigentum des kantonalen Tiefbauamtes betrachtet:

- Strassen,
- Rad- und Gehwege,
- Lärmschutzwände,
- Stützmauern,
- Grünflächen (inkl. Böschungen),
- Brücken,
- Tunnel und Galerien,
- Werkhöfe.

Vorgehen: In einem ersten Schritt wurde das Detailvorgehen pro Infrastrukturtyp definiert, insbesondere Definition des Ausgangsbestandes und der anzuwendenden Ausschlusskriterien (siehe nachfolgende Tabelle 1). Nach der entsprechenden Datensammlung wurden die Ausschlusskriterien auf den Ausgangsbestand angewendet, teils mit GIS-Analysen, teils mit manuellen Einzelfallanalysen. Auf der Grundlage der so identifizierten geeigneten Infrastrukturen wurde das Solarpotenzial ermittelt. Dazu wurde für jeden Infrastrukturtyp eine konkrete PV-Systemlösung definiert. Zudem wurden Annahmen zu den technischen Parametern wie nutzbare Fläche oder Modulleistung definiert. Diese Systemlösungen wurden dann pro Infrastrukturtyp hochgerechnet. Schliesslich wurden pro Infrastrukturtyp die vielversprechendsten Einzelfälle identifiziert sowie als Synthese jeder Infrastrukturtyp in einem Steckbrief qualitativ bewertet.

Vorgehen je Infrastrukturtyp	
Strassen	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Strassenflächen in kantonalem Besitz (Tiefbau) — <i>PV-Systeme:</i> aufgeständert über der Fahrbahn, Module gegen Süden aufgeständert mit 10° resp. 35° Neigung — <i>Ausschlusskriterien</i> <ul style="list-style-type: none"> — Lage nahe an Gewässern oder Ufern oder innerhalb von Tunnels oder auf Brücken — zu geringe Nebenfläche zum Bau einer Unterkonstruktion (Breite von unter 1.5 m auf beiden Seiten) — Wald-Nebenflächen sowie Flächen wie Baumalleen — geringe raumplanerische Eignung je nach der Strasse angrenzenden Zonen
Rad- und Gehwege	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Strassenflächen in kantonalem Besitz (Tiefbau) — <i>PV-Systeme:</i> aufgeständert über der Fahrbahn, Module gegen Süden aufgeständert mit 10° resp. 35° Neigung — <i>Ausschlusskriterien</i> <ul style="list-style-type: none"> — Mindestgesamtfläche von kleiner als 100 m² — Lage nahe an Gewässern oder Ufern oder innerhalb von Tunnels oder auf Brücken — zu geringe Nebenfläche zum Bau einer Unterkonstruktion (Breite von unter 1 m einseitig) — Wald-Nebenflächen sowie Flächen wie Baumalleen — geringe raumplanerische Eignung aufgrund der Zone der strassenabgewandten Seite
Lärmschutzwände	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Lärmschutzwände in kantonalem Besitz (Tiefbau) — <i>PV-Systeme:</i> <ul style="list-style-type: none"> — 90° vertikale bifaziale Module an der Oberkante der Lärmschutzwand — aufgeständerte Variante mit Neigungswinkeln von 35° und 60° — <i>Ausschlusskriterien</i> <ul style="list-style-type: none"> — Lärmschutzelemente auf Tunnelportalen oder bestehenden Mauern oder in der Form von Grünflächen — Für die aufgeständerte Variante: Ausschluss aller Segmente, die einen Abstand zur Fahrbahn unter 1m aufweisen
Stützmauern	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Kunstbauten in kantonalem Besitz (Tiefbau): Stützmauern — <i>PV-Systeme:</i> bei kleinen Kunstbauten eine, bei grossen Kunstbauten zwei Reihen vertikal installierte Module über die gesamte Länge der Stützmauer oder -konstruktion — <i>Ausschlusskriterien</i> <ul style="list-style-type: none"> — Höhe von unter 1.5 m — anderes Material als Beton — Lage in der Zone «Gewässer und ihre Ufer» — von der Fahrbahn abgeneigt (talseitig) — Sicherheitsabstand von unter 1m
Grünflächen (inkl. Böschungen)	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Grünflächen gemäss Spurdaten abgegeben vom TBA-SI — <i>PV-Systeme:</i> flächig zur Fahrbahn ausgerichtete Module mit 35° resp. 60° Neigung — <i>Ausschlusskriterien:</i> Flächen kleiner 150 m² oder Breite schmaler als 3m
Brücken	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Grosse Kunstbauten in kantonalem Besitz (Tiefbau): Brücken — <i>PV-Systeme:</i> <ul style="list-style-type: none"> — Brücken Nord-Süd: eine Reihe vertikaler Module auf beiden Aussenseiten (Ost und West) — Brücken Ost-West: eine Reihe vertikaler Module gegen Süden — <i>Ausschlusskriterien:</i> geschützte Kulturobjekte oder historische Holzbrücken
Tunnel und Galerien	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Grosse Kunstbauten in kantonalem Besitz (Tiefbau): Tunnel und Galerien — <i>PV-Systeme:</i> <ul style="list-style-type: none"> — an Tunnel-Südportalen: eine Reihe vertikaler Module — an den Stützmauern der Tunnelportale: zwei Reihen — an den zwei Galerien: zwei Reihen Module an der offenen Seite — <i>Ausschlusskriterien</i> <ul style="list-style-type: none"> — Portalfläche des Tunnels gegen Norden — Portal aus Blocksteinen — ungeeigneter Untergrund
Werkhöfe	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Ausgangslage:</i> Werkhöfe des Tiefbauamtes — <i>PV-System:</i> Dachanlage — <i>Ausschlusskriterium:</i> Zukunft des Standorts nicht gesichert

Tabelle 1: Vorgehen je Infrastrukturtyp

Ergebnisse: Das maximale technische Potenzial für Photovoltaik entlang von Kantonsstrassen im Kanton St. Gallen beträgt insgesamt rund 91 GWh/a. Dies entspricht 2.7% des Stromverbrauchs des Kanton St. Gallen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich um ein technisches Potenzial handelt ohne Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit oder der individuellen Bewilligungsfähigkeit der Anlagen. Das technische Potenzial ist damit in der Realität nicht einfach zu erschliessen.

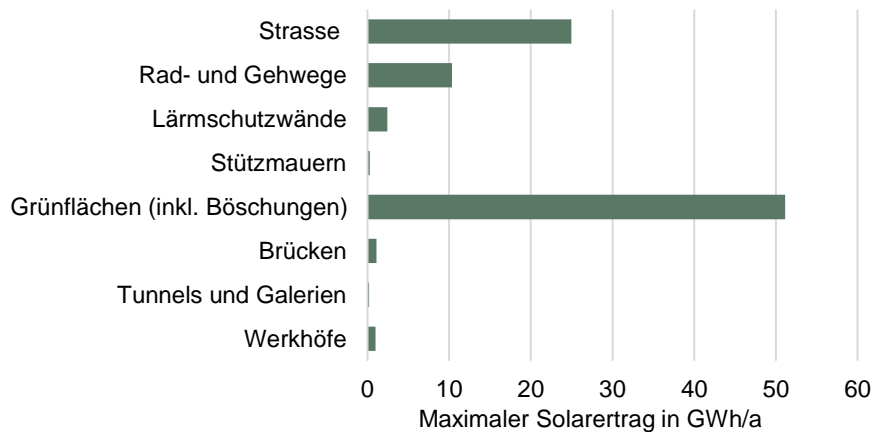


Abbildung 1: Übersicht der maximalen Solarerträge nach Infrastrukturtyp (ohne Abzug der bereits installierten Anlagen).

Grünflächen dominieren das technische Gesamtpotenzial mit 51 GWh, gefolgt von den Strassen mit 25 GWh. Die für die Grünflächen nötigen Verankerungen im Boden und die für die Strassen nötigen massiven Tragwerke führen zu hohen Kosten und meist unwirtschaftlichen Anlagen.

Ein Blick auf die übrigen Infrastrukturen zeigt, dass die Lärmschutzwände mit 2.4 GWh und die Brücken sowie Werkhöfe mit je 1.1 GWh technischem Potenzial folgen. Beim Potenzial der 17 Werkhöfe und Stützpunkte ist zu berücksichtigen, dass 60% dieses Potenzials durch bestehende Anlagen bereits ausgeschöpft sind. Das Potenzial an Stützmauern, Tunnels und Galerien schliesslich ist mit 0.3 GWh resp. 0.2 GWh als sehr gering einzuschätzen.

Insbesondere die Anlagen mit hohem Neigungswinkel (Lärmschutzwände, Stützmauern, Brücken, Tunnel und Galerien) können jedoch einen erhöhten Beitrag zur Winterstromproduktion leisten. Zudem ist auch die Leuchtturmwirkung solcher Anlagen zu berücksichtigen.

Als weitere Schritte zur Erschliessung des Potenzials werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Bereitstellung der Daten im kantonalen Datenportal.
- Workshop oder Webinar mit Solarfirmen und Energieversorgern, um die Resultate zu präsentieren und Inputs und Interessen abzufragen.
- Fallstudien und nachfolgend Machbarkeitsstudien zu vielversprechenden Fällen, am ehesten im Bereich Lärmschutzwände, Brücken (nur O-W) und Galerien.
- Prüfung, in welchen Fällen der Kanton selbst Verbraucher ist und damit ein eigenes Interesse in der Umsetzung hätte (Tunnels, allenfalls Galerien).
- Konsequente Verfolgung der verfügbaren Potenziale bei den Werkhöfen und künftigen Projekten entlang von Kantonsstrassen.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Ziel der Studie	7
2	Übergeordnete Methodik und Datengrundlagen	8
	2.1 Übergeordnete Methode	8
	2.2 GIS-Grundlagendaten	10
3	Vorgehen und PV-System je Infrastrukturtyp	11
	3.1 Strassen	11
	3.2 Rad- und Gehwege	14
	3.3 Lärmschutzwände	15
	3.4 Stützmauern und -konstruktionen	16
	3.5 Grünflächen (inkl. Böschungen)	17
	3.6 Brücken	19
	3.7 Tunnel und Galerien	21
	3.8 Werkhöfe	22
4	Ergebnisse	23
	4.1 Strassen	23
	4.2 Rad- und Gehwege	25
	4.3 Lärmschutzwände	28
	4.4 Stützmauern	30
	4.5 Grünflächen (inkl. Böschungen)	33
	4.6 Brücken	35
	4.7 Tunnel und Galerien	37
	4.8 Werkhöfe	39
	4.9 Übersicht	39
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	41
	Abkürzungsverzeichnis	42
	Abbildungsverzeichnis	43
	Tabellenverzeichnis	45

1 Ausgangslage und Ziel der Studie

Die Schweiz steht vor der Herausforderung, in den kommenden Jahren die Produktion erneuerbarer Energie deutlich zu steigern. Insbesondere im Bereich Solarstrom besteht noch erhebliches Ausbaupotenzial. Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) plant in diesem Zusammenhang rund 450 Projekte für Solaranlagen entlang der Schweizer Autobahnen. Vor diesem Hintergrund wurde im Kanton St. Gallen in einer Interpellation (51.23.87) die Frage aufgeworfen, inwiefern auch kantonale Strasseninfrastrukturen für die Stromproduktion genutzt werden können. Die Regierung hat daraufhin beschlossen, das Potenzial für Photovoltaik (PV) entlang von Kantonsstrassen systematisch zu untersuchen.

Die vorliegende Studie verfolgt das Ziel, das technische Potenzial von Photovoltaik entlang der Kantonsstrassen quantitativ abzuschätzen. Zusätzlich sollen Eignungskriterien für PV-Anlagen und deren Standorte definiert werden, die als Grundlage für ein nachfolgendes Pflichtenheft zur Standortbewertung dienen. Die Resultate der Potenzialanalyse werden eingeordnet und mit konkreten Schlussfolgerungen versehen, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die weitere Planung zu schaffen.

Im Rahmen dieser Studie wurden verschiedene kantonale Infrastrukturtypen auf ihr technisches Potenzial für die Integration von PV-Anlagen hin untersucht. Im Grundsatz wurden all diejenigen Infrastrukturtypen analysiert, welche sich im Eigentum des kantonalen Tiefbauamtes befinden:

- Strassen,
- Rad- und Gehwege,
- Lärmschutzwände,
- Stützmauern,
- Grünflächen (inkl. Böschungen),
- Brücken,
- Tunnel und Galerien,
- Werkhöfe.

Die Analysen zeigen, dass der Kanton zusätzlich zu diesen Infrastrukturtypen über beträchtliche Grundstücke von etwa 1.3 km² entlang der Kantonsstrassen verfügt. Auf diesen Flächen besteht auch ein Potenzial zur Energiegewinnung. Das Potenzial wurde jedoch nicht quantifiziert, da die Flächen sehr unterschiedlich sind und dabei auch relevante Nutzungskonflikte bestehen können (teilweise bspw. aktuell landwirtschaftliche Nutzung dieser Flächen).

Erhoben wird dabei ein maximales technisches Potenzial. Dies bedeutet, dass weder die Wirtschaftlichkeit noch die tatsächliche Bewilligungsfähigkeit einzelner Anlagen bei der Potenzialdefinition berücksichtigt wird. Jede Anlage bedarf für den Bau über eine Bewilligung und eine Konzession des Kantons.

2 Übergeordnete Methodik und Datengrundlagen

2.1 Übergeordnete Methode

Übergeordnet wurden folgende Arbeitsschritte für die Analyse des Potenzials vorgenommen:

Ausschlusskriterien und Datenbeschaffung

In einem ersten Schritt wurde das Detailvorgehen pro Infrastrukturtyp definiert. Dies umfasst die Definition des Ausgangsbestandes (bspw. alle Lärmschutzwände an Kantonsstrassen) sowie die Definition der Ausschlusskriterien, um das Mengengerüst des Ausgangsbestandes zu reduzieren (bspw. Mindestabstände von der Fahrbahn). Dabei wurden Eignungskriterien für PV-Anlagen je nach Infrastrukturtyp gesammelt. In einem zweiten Schritt wurden die dafür notwendigen Daten beschafft.

Analyse der geeigneten Infrastrukturen

Anschliessend wurden die identifizierten Ausschlusskriterien auf den Ausgangsbestand angewendet. Die Studie folgt einem übergreifenden Top-Down-Ansatz, der es ermöglicht, ausgehend von den verfügbaren GIS-Daten eine umfassende Bewertung des PV-Potenzials vorzunehmen. Die detaillierten Analysen des Solarpotenzials wurden bei vielen Daten und geeigneter Datengrundlage quantitativ mit einer GIS-Analyse erhoben sowie bei ungeeigneten Daten und kleiner Stückzahl mit einer manuellen Einzelfallanalyse. Für die GIS-Analysen wurden Geoverarbeitungsmodelle erarbeitet. Diese ermöglichen eine automatisierte Verkettung von räumlichen Analyseprozessen und gewährleisten eine konsistente und effiziente Verarbeitung der umfangreichen Datensätze. Mit dieser Kombination von GIS-Analysen und manuellen Einzelfallanalysen wird sichergestellt, dass trotz variierender Datenqualität und -quantität für jeden Infrastrukturtyp die bestmögliche Analyse durchgeführt wird.

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die für jeden untersuchten Infrastrukturtyp angewandte Analyseverfahren.

GIS-Analyse	Einzelfall-Analyse
Strassen	Brücken
Rad- und Gehweg	Tunnel und Galerien
Lärmschutzwände	Werkhöfe
Grünflächen (inkl. Böschungen)	
Stützmauern	

Tabelle 2: Angewendete Analyseverfahren pro Infrastrukturtyp

Ermittlung des Solarpotenzials

Für die Ermittlung des Solarpotenzials wurde zunächst für jeden Infrastrukturtyp eine konkrete PV-Systemlösung definiert, die den spezifischen Anforderungen und Gegebenheiten des jeweiligen Typs entspricht. Für bestimmte Infrastrukturtypen wurden verschiedene Varianten untersucht, um unterschiedliche Installationsoptionen zu bewerten. So wurde beispielsweise bei den Rad- und Gehwegen sowohl eine flache (10°) als auch eine stärker geneigte (35°) Aufständigung berücksichtigt. Diese Systemlösungen wurden anschliessend auf die identifizierte Gesamtfläche des entsprechenden Infrastrukturtyps hochgerechnet.

Die Berechnung des Solarertrags basiert auf standardisierten technischen Parametern von PV-Modulen: der nutzbaren Fläche, der Ausrichtung zur Sonne, dem infrastrukturspezifischen Neigungswinkel und der Modulleistung. Die wichtigsten Parameter für die Potenzialberechnung sind in Tabelle 3 zusammengefasst:

Annahmen	Angabe																																													
Spezifischer Solarertrag	1'000 kWh/kW _p																																													
Modullänge/Breite/Fläche	1.7 m / 1 m / 1.7 m ²																																													
Modulleistung	0.45 kW _p																																													
Neigungswinkel PV-Anlage	Objektspezifisch für 10°, 35°, 60° und 90°																																													
Ausrichtung	alle Himmelsrichtungen werden betrachtet																																													
Reihenabstandsfaktor	2.5 x Kantenhöhe																																													
Performance	Genutzte Faktoren in Abhängigkeit des Neigungswinkels und der Ausrichtung:																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>10°</th> <th>35°</th> <th>60°</th> <th>90°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td>0.784</td> <td>0.563</td> <td>0.379</td> <td>0.287</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>0.807</td> <td>0.635</td> <td>0.498</td> <td>0.376</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>0.860</td> <td>0.807</td> <td>0.714</td> <td>0.553</td> </tr> <tr> <td>SO</td> <td>0.910</td> <td>0.949</td> <td>0.883</td> <td>0.681</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>0.929</td> <td>1.000</td> <td>0.937</td> <td>0.706</td> </tr> <tr> <td>SW</td> <td>0.910</td> <td>0.949</td> <td>0.883</td> <td>0.681</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>0.860</td> <td>0.807</td> <td>0.714</td> <td>0.553</td> </tr> <tr> <td>NW</td> <td>0.807</td> <td>0.635</td> <td>0.498</td> <td>0.376</td> </tr> </tbody> </table>		10°	35°	60°	90°	N	0.784	0.563	0.379	0.287	NO	0.807	0.635	0.498	0.376	O	0.860	0.807	0.714	0.553	SO	0.910	0.949	0.883	0.681	S	0.929	1.000	0.937	0.706	SW	0.910	0.949	0.883	0.681	W	0.860	0.807	0.714	0.553	NW	0.807	0.635	0.498	0.376
	10°	35°	60°	90°																																										
N	0.784	0.563	0.379	0.287																																										
NO	0.807	0.635	0.498	0.376																																										
O	0.860	0.807	0.714	0.553																																										
SO	0.910	0.949	0.883	0.681																																										
S	0.929	1.000	0.937	0.706																																										
SW	0.910	0.949	0.883	0.681																																										
W	0.860	0.807	0.714	0.553																																										
NW	0.807	0.635	0.498	0.376																																										

Tabelle 3: Annahmen für die Berechnung des solaren Ertrags geeigneter Objekte je Infrastrukturtyp

Schliesslich folgte die Aggregation des Potenzials auf die Ebene eines Infrastrukturtyps sowie gesamthaft.

Identifikation der vielversprechendsten Einzelfälle

Nach Abschluss der Arbeiten wurden auf der Basis der GIS-Daten und übrigen Analysen vielversprechende Einzelfälle (2 pro Infrastrukturtyp) als Basis für mögliche zukünftige Fallstudien oder weitere Schritte des Kantons identifiziert.

Bewertung der Infrastrukturtypen

Schliesslich wurde jeder Infrastrukturtyp in einem Steckbrief qualitativ bewertet. Dabei werden das Solarpotenzial, die technische und wirtschaftliche Eignung, die rechtliche Eignung, der Netzanschluss und die Umsetzbarkeit kommentiert und anhand einer Expertenschätzung anhand einer Dreierskala übergeordnet bewertet (von Symbol ●○○ für «tief» bis Symbol ●●● für «hoch»).

Grenzen des Vorgehens

Die vorliegende Studie schätzt mit einem top-down Ansatz grob das technische Potenzial ab. Sie sagt nichts über die Wirtschaftlichkeit oder Bewilligungsfähigkeit der identifizierten Potenziale aus. Für den Bau realer Anlagen bedarf es viel detaillierterer Analysen. Dazu müsste in

einer Fallstudie eine erste Abschätzung erfolgen, wie viel Solarertrag mit einer PV-Anlage auf dem Objekt erzielt werden könnte und eine grobe Schätzung der anfallenden Kosten auf der Basis von Durchschnittswerten. Der nächste Schritt wäre eine Machbarkeitsstudie, die das Grundstück genauer betrachtet, einschliesslich der Frage von möglichem Eigenverbrauch, um die Wirtschaftlichkeit im Detail zu rechnen. Dabei sind diverse weitere Themen zu berücksichtigen.

2.2 GIS-Grundlagendaten

Tabelle 1 bietet einen Überblick über die verwendeten Daten. Sie umfasst sowohl Grunddaten, die für alle untersuchten Infrastrukturtypen benötigt werden und die Basis für die übergreifende Analyse bilden, als auch erweiterte Informationen, die für individuelle Infrastrukturtypen zusätzlich erfasst wurden. Zudem gibt die Tabelle Auskunft über die Herkunft der verschiedenen Datensätze. Diese Datengrundlage ermöglicht eine differenzierte Betrachtung des PV-Potenzials entlang der Kantonsstrassen, unter Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften jedes Infrastrukturtyps.

Datenquelle	Geometriotyp	Relevante Attribute	Beschreibung
Zonenplan (AREG)	Vektor-Flächen	CH_BEZ	Aggregierter Zonenplan aus Gemeindezonenplänen des Kantons
Kantonale Grundstücke (BUD-TBA-GG)	Vektor Flächen	-	Flächen im Eigentum TBA
Spurdaten (BUD-TBA-SIEB)	Vektor-Flächen	NUTZUNG_BEZ	Kantonale Fahrbahnen, Geh- und Radwege, Grünstreifen
Achsen (BUD-TBA-SIEB)	Vektor-Linien	ACHSENAME, EIGENTUEMER	Kantonales Strassennetz als Achsen
Kunstabauten (BUD-TBA-SIEB)	Vektor-Punkte Vektor-Linien	- LAENGE - BAUWERKSTYP_BEZ, MATERIAL_BEZ,	- Brücken - Stützmauern und -konstruktionen
Kleine Kunstbauten gefiltert	Vektor Punkte Vektor Linien		Vorgefilterter Datensatz zu den Lärmschutzwänden mit Höhe min. 1.5m und Material Beton
Grosse Kunstbauten (BUD-TBA-SKKB)	Vektor-Punkte	LAENGE	Brücken, Tunnel und Galerien
Lärmschutzwände (BUD-TBA-SIEB)	Vektor-Linien	LAENGE, NOISEBAR_1	Lärmschutzwände vorgefiltert nach Material und Höhe
Werkhöfe (BUD-TBA-SIEB)	-	ADRESSE	Liste mit Spezifikationen zu den Werkhöfen
infra3D	Rasterbilder	STANDORT	Digitalisierte Strassen als 3D-Bilder
SWISSIMAGE (swisstopo)	Rasterbilder		Digitales Farborthofotomosaik der Schweiz

Tabelle 4: Beschreibung der verwendeten GIS-Daten.

3 Vorgehen und PV-System je Infrastrukturtyp

Nach der übergeordneten Methodik wird im Folgenden die spezifische Vorgehensweise für jeden Infrastrukturtyp im Detail dargestellt. Die nachstehenden Tabellen dokumentieren für jeden Typ:

- die verwendeten Grundlagendaten
- die konkreten Schritte zur Reduktion des Mengengerüsts
- die spezifischen Kriterien für die Bewertung der Eignung

3.1 Strassen

In der folgenden Tabelle 5 wird das Vorgehen beschrieben, darunter folgt eine Erläuterung der Bewertung der raumplanerischen Eignung.

Vorgehen Strassen	
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none">— Genutzte Datensätze: Strassenflächen gefiltert, Achsen, Spuren, Kunstbauten, Lärmschutzwände, Zonenplan— Ausgangslage für das Mengengerüst: Strassenflächen gefiltert
Reduktion Mengengerüst (Ausschlusskriterien)	<p>Ausschluss aller Strassensegmente, die</p> <ul style="list-style-type: none">— innerhalb von Tunnels und auf Brücken liegen, oder— raumplanerisch nicht geeignet sind (siehe unten).
Bewertung der Eignung	Nach Eignungsklasse von A bis C

Tabelle 5: Eingesetzte Auswertungsmethodik für Strassen

PV-System: Das PV-System bei Strassen befindet sich als Überdeckung der Fahrbahn. Dies bedeutet, dass für den Bau der Anlagen neue Konstruktionen errichtet werden müssten. Es wurde angenommen, dass die PV-Module auf diesen neuen Konstruktionen aufgeständert werden. Dabei wurden zwei Varianten untersucht:

- Aufständering mit 10° Neigung
- Aufständering mit 35° Neigung

Der Neigungswinkel von 35° entspricht dabei dem Optimum für unsere geografischen Breiten, um über das gesamte Jahr den höchstmöglichen Ertrag zu erzielen. Zusätzlich wurde eine flachere Variante mit 10° Neigung untersucht, die neben geringeren Windlasten und einer einfacheren Unterkonstruktion vor allem einen entscheidenden Vorteil bietet: Durch den geringeren erforderlichen Reihenabstand zwischen den Modulen zur Vermeidung gegenseitiger Verschattung können wesentlich mehr PV-Panels pro Fläche installiert werden. Beide Varianten wurden nach Süden ausgerichtet, um eine optimale Sonneneinstrahlung zu gewährleisten.



Abbildung 2: Visualisierung einer PV-Strassenüberdachung. Mittels fix installierten Unterkonstruktionen werden die PV-Module auf Überdachungen montiert. (Quelle: Fraunhofer ISE, eigene Visualisierung der Anlage)

Mengengerüst und Bewertung der Eignung: Die Analyse basiert auf einem Datensatz, den das Tiefbauamt spezifisch für diese Analyse bereitgestellt hat ("Strassenflächen gefiltert"). Darin enthalten sind nur Abschnitte von mind. 50 Metern Länge, die nicht nahe an Gewässern oder Ufern liegen (Gewässerschutz). Es wurden nur Strassenflächen berücksichtigt, die beidseitig grundsätzlich über eine Fläche mit einer Breite von mind. 1.5 m zum Bau einer Unterkonstruktion verfügen. Dabei werden kürzere Bereiche (unter 10 m) mit max. 1.4 m zugelassen. Als Flächen zum Bau einer Unterkonstruktion nicht berücksichtigt werden Trottoirflächen, Wald-Nebenflächen (Schattenwurf) und Baumalleen. Landwirtschaftlich genutzte Flächen für Hilfspuren werden nicht betrachtet. Schliesslich wurden Strassen innerhalb von Tunnels sowie auf Brücken (Berücksichtigung beim Infrastrukturtyp «Brücke») ausgeschlossen.

Die Zulässigkeit einer PV-Anlage über Strassen hängt von den Genehmigungsanforderungen der Fahrbahn (meist Verkehrsfläche) sowie der Zonen links sowie rechts der Fahrbahn ab¹. Die Zonen sind nach ihrer Eignung für die Installation von PV-Anlagen in drei Kategorien eingeteilt, wobei alle Segmente der Eignung 3 beim Mengengerüst ausgeschlossen wurden:

- Eignung 1: Zone gut für PV geeignet
- Eignung 2: Zone grundsätzlich für PV geeignet
- Eignung 3: Zone nicht für PV geeignet

Für jedes Strassensegment wurde die Eignung der angrenzenden Zonen sowohl auf der rechten als auch auf der linken Fahrspur analysiert. Die raumplanerischen Anforderungen an den Bau von Solaranlagen werden derzeit angepasst (siehe Box Raumplanerische Anforderungen an Solaranlagen). Daher wurde die Eignung sowohl für die aktuellen als auch für die revidierten Vorgaben in der Tabelle 6 bewertet.

¹ Bei anderen Infrastrukturtypen werden PV-Anlagen an bereits bestehenden Bauten oder Anlagen installiert, womit bei deren Rechtmässigkeit nur eine Änderung vorliegt.

Code	Bezeichnung	aktuelle Eignung	künftige Eignung
11	Wohnzone	2	2
12	Arbeitszone	1	1
13	Mischzone	2	2
14	Zentrumszone	3	3
15	Zonen für öffentliche Nutzung	2	2
16	eingeschränkte Bauzone	3	3
17	Tourismus- und Freizeitzone	3	3
18	Verkehrszonen innerhalb der Bauzone	1	1
19	weitere Bauzonen	2	2
21	allgemeine Landwirtschaftszone	3	2
22	Speziallandwirtschaftszonen	3	3
31	Schutzzonen für Lebensräume und Landschaften	3	3
32	Zonen für Gewässer und ihre Ufer	3	2
41	Zonen für Kleinsiedlung	2	2
42	Verkehrsflächen	1	1
43	Reservezonen nach Art. 18 Abs. 2 Raumplanungsgesetz (RPG)	2	2
44	Wald	3	2
49	weitere Zonen nach Art. 18 Abs. 1 RPG ausserhalb der Bauzone	2	2
51	überlagernde Ortsbildschutzzonen	3	3
52	überlagernde Schutzzonen für Lebensräume und Landschaften	3	3
53	überlagernde Gefahrenzone	3	3
59	weitere überlagernde Nutzungszonen	3	3
61	Bereiche rechtsgültiger Sondernutzungspläne	3	2
62	Bereiche mit Sondernutzungsplanpflicht	3	2
69	weitere flächenbezogene Festlegungen	3	2
71	Baulinien	3	2
79	weitere linienbezogene Festlegungen	3	3

Tabelle 6: Einteilung der Zonen nach ihrer Eignung für die Installation von Solaranlagen für die aktuelle sowie revidierten raumplanerischen Vorgaben.

Box: Raumplanerische Anforderungen an Solaranlagen

Durch die Annahme des Bundesgesetzes für eine sichere Stromversorgung im Sommer 2024 werden aktuell die raumplanerischen Anforderungen an den Bau von Solaranlagen angepasst (Anpassung des Raumplanungsgesetzes RPG). Die für die Strasseninfrastrukturen relevanten Anpassungen sind:

- Mit der Gesetzesanpassung sind konkret in Bauzonen Solaranlagen über und am Rande von Parkplatzarealen mit 15 oder mehr Parkplätzen explizit grundsätzlich zonenkonform (Art. 18a Abs. 2^{bis} rev. RPG).
- Zudem wird die Standortgebundenheit von Solaranlagen präzisiert. So gelten freistehende Anlagen ausserhalb der Bauzone und landwirtschaftlichen Nutzfläche, die nicht von nationalem Interesse sind, als standortgebunden, wenn sie in wenig empfindlichen Gebieten gebaut werden und der Aufwand für die Erschliessung und den Anschluss ans Stromnetz verhältnismässig ist (Art. 24^{ter} Abs. 1, rev. RPG).

Alle Segmente, die mindestens auf einer Seite die Eignung 3 aufweisen, wurden beim Mengengerüst ausgeschlossen, die übrigen Segmente wurden nach Eignungsklassen von A bis C bewertet (siehe Tabelle 7).

Bewertung der Zoneneignung für PV	Strassen	
	Zoneneignung Fahrbahnseite 1	Zoneneignung Fahrbahnseite 2
A	1 mit und ohne LSW	1
B	1	2
C	2	2
Nicht berücksichtigt	1/2/3	3

Tabelle 7 Zoneneignung: Eignung der an Strassen angrenzende Zonen für PV-Anlagen

Als Spezialfall wurden die Innenflächen von Kreiseln betrachtet, aber nicht ins Potenzial aufgenommen, da die Flächen klein sind und damit zu hohen spezifischen Kosten führen. Insgesamt sind es 60 Kreisel mit einer Fläche von 11'700 m² Fläche.

3.2 Rad- und Gehwege

In der folgenden Tabelle 8 wird das Vorgehen beschrieben, darunter folgt eine Erläuterung der Bewertung der raumplanerischen Eignung.

Vorgehen Rad- und Gehwege	
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> — Genutzte Datensätze: Rad- und Gehwege gefiltert, Achsen, Spuren, Kunstbauten, Lärmschutzwände, Zonenplan — Ausgangslage für das Mengengerüst: Rad- und Gehwege gefiltert
Reduktion Mengengerüst (Ausschlusskriterien)	Ausschluss aller Strassensegmente, die <ul style="list-style-type: none"> — eine Mindestgesamtfläche von kleiner als 100 m² ausweisen, oder — innerhalb von Tunnels und auf Brücken liegen, oder — raumplanerisch nicht geeignet sind (siehe unten).
Bewertung der Eignung	Eignung der Rad- und Gehwege als «grundsätzlich geeignet» und «gut geeignet» aufgrund der raumplanerischen Eignung der Zone der strassenabgewandten Seite des Rad- oder Gehwegs.

Tabelle 8: Eingesetzte Auswertungsmethodik für Rad- und Gehwege

PV-System: Das PV-System bei Rad- und Gehwegen befindet sich über der Fahrbahn. Dies bedeutet, dass für den Bau der Anlagen neue Konstruktionen errichtet werden müssten. Es wurde angenommen, dass die PV-Module auf diesen neuen Konstruktionen aufgeständert werden. Dabei wurden zwei Varianten untersucht:

- Aufständering mit 10° Neigung
- Aufständering mit 35° Neigung

Mengengerüst und Bewertung der Eignung: Die Analyse basiert auf einem Datensatz, den das Tiefbauamt spezifisch für diese Analyse bereitgestellt hat ("Rad- und Gehwege gefiltert"). Darin enthalten sind nur Abschnitte im Eigentum des Kantons von mind. 50 Metern Länge, die nicht nahe an Gewässern oder Ufern liegen (Gewässerschutz). Es wurden nur Rad- und Gehwege

berücksichtigt, die einseitig über eine Nebenfläche von mind. 1 m Breite zum Bau einer Unterkonstruktion verfügen. Bei Flächen zwischen Fahrbahn und Geh- und Radwegen muss ein Randsteinanschlag von mind. 8 cm vorhanden sein, ansonsten wird eine Mindestfläche von 1.5 m für entsprechende Rückhaltesysteme angenommen. Nicht berücksichtigt werden Wald-Nebenflächen (Schattenwurf) sowie Baumalleen. Landwirtschaftlich genutzte Flächen für Hilfspuren werden nicht betrachtet.

Daraus wurden zunächst alle Objekte extrahiert, die eine Mindestfläche von über 50 m² aufweisen, da sehr kleine PV-Anlagen sehr viel höhere spezifische Kosten aufweisen. Es wurden anschliessend alle Rad- und Gehwege innerhalb von Tunnels sowie auf Brücken (Berücksichtigung beim Infrastrukturtyp «Brücke») ausgeschlossen.

Die Zulässigkeit einer PV-Anlage über Rad- und Gehwegen hängt von den Genehmigungsanforderungen der Zone ab, in welcher der Rad- und Gehweg zu liegen kommt, sofern er nicht zur Verkehrsfläche gehört. Für jeden der Abschnitte von 50 Metern wurde dementsprechend die Eignung der angrenzenden Zone auf der strassenabgewandten Seite bewertet (siehe dazu Tabelle 6). Alle Segmente der Eignung 3 wurden beim Mengengerüst ausgeschlossen, die übrigen Segmente wurden als gut geeignet (1) oder grundsätzlich geeignet (2) bewertet.

3.3 Lärmschutzwände

Lärmschutzwände sind bauliche Anlagen entlang von Verkehrswegen, die primär dem Schutz angrenzender Siedlungsgebiete vor Verkehrslärm dienen. Das methodische Vorgehen für die Lärmschutzwände ist in der Tabelle 9 in der Übersicht zusammengestellt und nachfolgend vertieft beschrieben.

Vorgehen Lärmschutzwände	
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> — Genutzte Datensätze: Lärmschutzwände — Ausgangslage für das Mengengerüst: Lärmschutzwände
Reduktion Mengengerüst (Ausschlusskriterien)	<ul style="list-style-type: none"> — Ausschluss der Lärmschutzwälle sowie der Lärmschutzelemente auf Tunnelportalen oder bestehenden Mauern oder in Form von Grünflächen (siehe unten) — Ausschluss aller Lärmschutzwände unter 1.3 m — Für die aufgeständerte Variante: Ausschluss aller Segmente, die einen Abstand zur Fahrbahn unter 1m aufweisen.
Bewertung der Eignung	<ul style="list-style-type: none"> — keine weiterführende Bewertung der Eignung — Ausweis des Solarpotenzials in Abhängigkeit der Ausrichtung (Azimuth²) zur Strasse

Tabelle 9: Eingesetzte Auswertungsmethodik für Lärmschutzwände

Mengengerüst: Die Ausgangslage für das Mengengerüst bildet ein Datensatz der Lärmschutzelemente im Eigentum des Kantons St. Gallen. Davon wurden Lärmschutzwälle ausgenommen sowie diejenigen Lärmschutzelemente ausgeschlossen, die als Verkleidung von Tunnelportalen oder auf Mauern montiert sind. Eines der Lärmschutzelemente ist ein Grünflächenhang, diese wurde ausgeschlossen und bei den Grünflächen berücksichtigt. Schliesslich wurden die Lärmschutzwände unter 1.3 m auch ausgeschlossen.

² Der Azimut gibt die horizontale Ausrichtung eines Objektes zu einem Bezugspunkt an. In dieser Studie wird dies speziell zur Beschreibung der Orientierung in Bezug auf die Strasse verwendet, da PV-Anlagen vorrangig im Strassenraum und nicht in den angrenzenden Zonen installiert werden sollen.

Anschliessend wurde für jede Lärmschutzwand die Ausrichtung zur Strasse ermittelt. Dies geschah durch die Analyse der parallel verlaufenden Strassenabschnitte, um die Ausrichtung für eine potenzielle PV-Installation bestimmen zu können.

PV-System: Für die Installation von PV-Modulen wurden zwei verschiedene technische Konzepte untersucht: Eine Standardvariante mit 90° vertikalen bifazialen Modulen an der Oberkante der Lärmschutzwand und eine aufgeständerte Variante mit Neigungswinkeln von 35° und 60° für Lärmschutzwände, die einen Mindestabstand von 1 m zur Fahrbahn aufweisen. Die fahrbahnabgewandte Seite der Lärmschutzwände wurde aus genehmigungsrechtlichen Gründen und unter Berücksichtigung der anliegenden Zonen nicht in die Analyse einbezogen. An die Wand angebaute Varianten wurden nicht betrachtet, da die Module die Funktion des Lärmschutzes beeinträchtigen können.

Eignungskriterien: Bei der Planung der PV-Installationen muss neben statischen Aspekten auch eine mögliche Blendwirkung auf die Verkehrsteilnehmende berücksichtigt werden. Die vertikale Installation mit 90° oder stark geneigte Varianten bieten dabei einen interessanten Zusatznutzen: Sie ermöglichen einen höheren Winterstromanteil.

Bei der Installation von PV-Anlagen auf Lärmschutzwänden müssen diverse weitere Aspekte berücksichtigt werden:

- Lärmschutzfunktion muss gewährleistet sein
- Statik und Wirkung des Fahrtwinds auf das Gesamtsystem berücksichtigen
- Prüfung des individuellen Objektes auf Naturgefahren
- Blendwirkung, Verschmutzung, etc.

3.4 Stützmauern und -konstruktionen

Eine Stützmauer entlang von Strassen ist eine Konstruktion, die das seitliche Abstützen von Erd- oder Gesteinsmassen übernimmt, um Abrutschungen und Erosion zu verhindern. Sie dient der Stabilisierung steiler Hänge und sorgt so für die Stabilität von Strassen und Sicherheit des Verkehrs. Das methodische Vorgehen für die Stützmauern und -konstruktionen ist in der Tabelle 10 in der Übersicht zusammengestellt und nachfolgend vertieft beschrieben.

Vorgehen Stützmauern und -konstruktionen	
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> — Genutzte Datensätze: kleine Kunstbauten gefiltert, grosse Kunstbauten gefiltert, infra3D — Ausgangslage für das Mengengerüst: kleine Kunstbauten gefiltert, grosse Kunstbauten gefiltert
Reduktion Mengengerüst (Ausschlusskriterien)	<p>Ausschluss aller Segmente, die</p> <ul style="list-style-type: none"> — in der Zone «Gewässer und ihre Ufer» liegen, oder — einen Sicherheitsabstand von min. 1 m nicht erfüllen, oder — von der Fahrbahn abgeneigt (talseitig) liegen.
Bewertung der Eignung	<ul style="list-style-type: none"> — keine weiterführende Bewertung der Eignung — Ausweis des Solarpotenzials in Abhängigkeit der Ausrichtung (Azimuth) zur Strasse

Tabelle 10: Eingesetzte Auswertungsmethodik für Stützmauern und -konstruktionen

Mengengerüst: Die Analyse basiert auf einem Datensatz, den das Tiefbauamt spezifisch für diese Analyse bereitgestellt hat ("kleine Kunstbauten gefiltert") und einer Exceldatei des Tiefbauamtes zu grossen Kunstbauten ("grosse Kunstbauten gefiltert"). Dabei wurden

Stützmauern mit einer Mindesthöhe von weniger als 1.5 m ausgeschlossen aufgrund der höheren Verschattung und der erhöhten Verschmutzung durch z.B. Reifenabrieb. Es wurden nur Stützmauern und Stützkonstruktionen in Betonbauweise berücksichtigt, da sich diese für die Befestigung einer PV-Anlage eignen. In einem zweistufigen Analyseprozess wurden diese Daten weiter verfeinert. Für die kleinen Kunstbauten wurden in einer GIS-basierten Filterung all diejenigen Segmente ausgeschlossen, die innerhalb der Zone «Gewässer und ihre Ufer» liegen (Gewässerschutz) und die einen Sicherheitsabstand von mind. 1 m zur Fahrbahn nicht erfüllen. Bei den grossen Kunstbauten erfolgten die Analysen manuell. Weiter erfolgte für die verbleibenden kleinen und grossen Kunstbauten eine manuelle Nachbearbeitung mittels infra3D zu folgenden Punkten:

- Identifikation und Ausschluss talseitiger Stützmauern (unklare Zugänglichkeit, Gefahr herabfallender Gegenstände von der Fahrbahn, resp. gesalzener Schnee, etc.)
- Manuelle Bestimmung der Ausrichtung

PV-System: Die Annahme einer Standard-Umsetzung einer PV-Anlage war anspruchsvoll, da nicht für alle Objekte die durchschnittliche Höhe vorliegt und alle Stützmauern nahezu unterschiedlich hoch sind. Daher wurde vereinfachend angenommen, dass alle Stützkonstruktionen der kleinen Kunstbauten über die gesamte Länge mit einer Reihe vertikal installierter PV-Module bestückt werden, diejenige der grossen Kunstbauten mit zwei Reihen.

Die vertikale Installation bietet dabei mehrere technische Vorteile, insbesondere im Hinblick auf die Winterstromerzeugung: Die Module bleiben schneefrei, was durch rahmenlose Konstruktionen noch zusätzlich unterstützt werden kann. Zudem sind sie optimal zur tiefer stehenden Wintersonne ausgerichtet und können den Albedoeffekt - die Reflexion des Sonnenlichts durch Schnee - zur Stromproduktion nutzen. Diese Faktoren führen zu höheren Winterstromerträgen als bei konventionellen PV-Installationen.

Eignungskriterien: Bei der Installation muss besonders auf die statischen Anforderungen geachtet werden. Da Stützmauern primär der Hangsicherung dienen, darf ihre Statik durch die PV-Installation nicht beeinträchtigt werden. Dies erfordert eine sorgfältige Planung der Unterkonstruktion und ihrer Verankerung in der Mauer. Erfahrungen in der Praxis zeigen, dass die Verankerungstiefe dabei auf wenige Zentimeter beschränkt werden sollte. Das Risiko von Naturgefahren sollte geprüft werden.

3.5 Grünflächen (inkl. Böschungen)

Ungenutzte Grünflächen entlang von Kantonsstrassen bieten ein mögliches Potenzial für die Installation von PV-Anlagen. Das methodische Vorgehen für die Grünflächen (inkl. Böschungen) ist in der Tabelle 11 in der Übersicht zusammengestellt und nachfolgend vertieft beschrieben.

Vorgehen Grünflächen (inkl. Böschungen)	
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> — Genutzte Datensätze: Grünflächen gemäss Spurdaten abgegeben vom TBA-SI — Ausgangslage für das Mengengerüst: Spuren, davon die als «Grünflächen» klassifizierte Flächen
Reduktion Mengengerüst (Ausschlusskriterien)	Ausschluss aller Grünflächen, deren Fläche kleiner als 150m ² und deren Breite schmaler als 3m sind.
Bewertung der Eignung	<ul style="list-style-type: none"> — keine weiterführende Bewertung der Eignung — Ausweis des Solarpotenzials in Abhängigkeit der Ausrichtung (Azimuth) zur Strasse

Tabelle 11: Eingesetzte Auswertungsmethodik für Grünflächen (inkl. Böschungen)

Mengengerüst: Die Ausgangslage für das Mengengerüst bilden die im Datensatz "Spuren" als Grünflächen klassifizierte Bereiche (siehe Abbildung 3, hellgrüne Flächen).



Abbildung 3: Ausschnitt aus dem GIS-Datensatz "Spuren" mit Darstellung der klassifizierten Flächen: Strassen (pink), Rad- und Gehwege (gelb) und Grünflächen (hellgrün).

Als minimale Eignung für die Installation von PV-Anlagen wurde die Mindestgrösse von 150 m² zusammenhängender Fläche und eine Mindestbreite von 3 Metern definiert, da sehr kleine PV-Anlagen sehr viel höhere spezifische Kosten ausweisen. Um diese Anforderungen mittels GIS auf die vorhandenen Flächendaten anwenden zu können, mussten diese in einem ersten Schritt bereinigt werden (Rasterisierung, Filterung kleiner Flächen und anschliessende Rückumwandlung in Polygone).

PV-System: Der Neigungswinkel der Grünfläche ist im Datensatz nicht hinterlegt. Aus diesem Grund wurde für die technische Umsetzung angenommen, dass PV-Module flächig und stets zur Fahrbahn ausgerichtet installiert werden. Dabei wurden zwei Varianten untersucht:

- Aufständigung mit 35° Neigung
- Aufständigung mit 60° Neigung

Der flachere Neigungswinkel von 35° entspricht dabei dem Optimum für unsere geografischen Breiten, um über das gesamte Jahr den höchstmöglichen Ertrag zu erzielen. Die steilere Variante mit 60° Neigung wurde gewählt, da bei diesem Winkel ein höherer Winterstromertrag erzielt werden kann. Die steilere Ausrichtung ist besser zur tiefer stehenden Wintersonne

ausgerichtet, zudem bleibt kein Schnee auf den Modulen liegen und die Reflexion des Schnees am Boden (Albedo-Effekt) kann zusätzlich zur Stromproduktion beitragen.

Eignungskriterien: Bei der Installation von PV-Anlagen auf Grünflächen müssen verschiedene technische Aspekte berücksichtigt werden:

- Gewährleistung eines ausreichenden Wasserabflusses
- Sicherstellung der Standfestigkeit und Windfestigkeit der Anlage
- Berücksichtigung von Verkehrssicherheitsaspekten
- Zugänglichkeit für Wartung und Unterhalt
- Befestigungssicherheit bei Starkregen
- Naturgefahren.

3.6 Brücken

Brücken als Teil der Strasseninfrastruktur bieten mit ihren Aussenflächen potenziell nutzbare Flächen für PV-Installationen. Das methodische Vorgehen für die Brücken ist in der Tabelle 12 in der Übersicht zusammengestellt und nachfolgend vertieft beschrieben.

Vorgehen Brücken	
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> — Genutzte Datensätze: Grosse Kunstbauten, SWISSIMAGE, infra3D — Ausgangslage für das Mengengerüst: Grosse Kunstbauten
Reduktion Mengengerüst (Ausschlusskriterien)	<p>Ausschluss aller Brücken,</p> <ul style="list-style-type: none"> — die geschützte Kulturobjekte sind, oder — historische Holzbrücken sind <p>Zudem Reduktion der nutzbaren Länge, wenn Verkehrsträger (Bahnschienen) oder andere schützenswerte Infrastruktur darunterliegen</p>
Bewertung der Eignung	<ul style="list-style-type: none"> — keine weiterführende Bewertung der Eignung — Ausweis des Solarpotenzials in Abhängigkeit der Ausrichtung des Brückensegments

Tabelle 12: Eingesetzte Auswertungsmethodik für Brücken

Mengengerüst: Die Analyse basiert auf dem Datensatz "grosse Kunstbauten", der vom Tiefbauamt zur Verfügung gestellt wurde. Die insgesamt 32 erfassten Brücken enthalten 10 «Rhein-Brücken», die teilweise auf ausländischem Territorium liegen. Diese grenzüberschreitende Lage würde bei einer Umsetzung von PV-Projekten zusätzliche Abstimmungen mit ausländischen Behörden erfordern. In einem ersten Schritt wurden drei Brücken ausgeschlossen, da es sich um historische Holzbrücken oder geschützte Kulturobjekte gemäss Bundesverzeichnis handelt. Bei der Analyse der nutzbaren Brückenflächen wurden manuell Bereiche ausgespart, unter denen sich Verkehrsflächen (wie Bahnschienen) oder andere schützenswerte Infrastruktur befinden (anhand Orthophotos SWISSIMAGE). Diese Einschränkung reduziert die effektiv nutzbare Länge der Brücken für PV-Installationen (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Beispiel einer Brücke über die Thur zwischen Wattwil und Ebnat. Die roten Markierungen zeigen die für PV-Installation nutzbaren Bereiche auf der südlich ausgerichteten Brückenansichtsfläche. Bereiche über Verkehrswegen und anderer Infrastruktur wurden ausgespart. (Quelle: SWISSIMAGE)

PV-System: Die PV-Module werden an der Brückenansichtsfläche der Brücke installiert. Darunter wird die sichtbare Seitenfläche einer Brücke verstanden, einschliesslich Pfeiler, Träger und Fahrbahnunterseite. Die technische Umsetzung variiert je nach Ausrichtung der Brücke:

- Bei Nord-Süd verlaufenden Brücken können PV-Module auf beiden Aussenseiten (Ost und West) in einer Reihe vertikal installiert werden
- Bei Ost-West verlaufenden Brücken wird nur die südlich ausgerichtete Ansichtsfläche für die Installation genutzt

Eine Installation auf der Innenseite der Brücke wurde aufgrund erschwerter Zugänglichkeit und zu erwartender stärkerer Verschmutzung durch den Verkehr nicht in Betracht gezogen. Auch eine Installation auf Brückengeländern wurde nicht berücksichtigt, aufgrund der erwartenden Windlasten.



Abbildung 5: Visualisierung möglicher PV-Module südwärts gerichtet an der Aussenseite der Brücke Thur zwischen Wattwil und Ebnat-Kappel. (Quelle des Fotos: Gerber+Partner, Bauingenieure und Planer AG, Visualisierung: EBP)

Eignungskriterien: Bei der Planung von PV-Anlagen an Brücken müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden:

- Statische Eignung der vorhandenen Struktur
- Ästhetische Integration, insbesondere bei stadtbildprägenden Brücken

- Montagekomplexität und damit verbundene Kosten
- Nähe zu Netzeinspeisepunkten und potenziellen Energieabnehmern
- Prüfung des individuellen Objektes auf Naturgefahren

3.7 Tunnel und Galerien

Bei Tunneln und Galerien bieten sich insbesondere die Tunnelportale und deren Stützmauern für die Installation von PV-Anlagen an. Bei den Galerien kann PV an den Stützkonstruktionen der offenen Seite montiert werden. Das methodische Vorgehen für die Tunnel und Galerien ist in der Tabelle 13 in der Übersicht zusammengestellt und nachfolgend vertieft beschrieben.

Vorgehen Tunnel und Galerien	
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> — Genutzte Datensätze: Grosse Kunstbauten, SWISSIMAGE, infra3D — Ausgangslage für das Mengengerüst: Grosse Kunstbauten
Reduktion Mengengerüst (Ausschlusskriterien)	Ausschluss aller Tunnel oder Galerien, <ul style="list-style-type: none"> — deren Portalfläche oder Galerieausseiwand nordgerichtet sind, oder — deren Portal aus Blocksteinen besteht
Bewertung der Eignung	<ul style="list-style-type: none"> — keine weiterführende Bewertung der Eignung — Ausweis des Solarpotenzials der Tunnel-Südportale und nach der Ausrichtung Seitenwände der Tunnel und Galerien

Tabelle 13: Eingesetzte Auswertungsmethodik für Tunnel und Galerien

Mengengerüst: Die Analyse basiert auf dem Datensatz "grosse Kunstbauten" des Tiefbauamtes. Die Bewertung der Eignung erfolgte durch manuelle Auswertung mittels hochauflösender Orthophotos (SWISSIMAGE) und der Anwendung infra3D. Von der weiteren Analyse ausgeschlossen wurden zudem Nordportale aufgrund ihrer ungünstigen Ausrichtung sowie Portale, die aus Blocksteinen bestehen, aufgrund der erschwerten Befestigung der Module.

PV-System: Die Installation der PV-Module ist je nach Objekttyp unterschiedlich konzipiert:

- An Tunnel-Südportalen: Eine Reihe Module in vertikaler (90°) Ausrichtung
- An den Stützmauern der Tunnelportale: Zwei Reihen Module mit westlicher Ausrichtung, da alle identifizierten Objekte diese Ausrichtung aufweisen.
- An den untersuchten Galerien: Zwei Reihen Module an der offenen Seite nach Süden, da die zwei Galerien genau diese Ausrichtung aufweisen.

Eignungskriterien: Die technische Umsetzbarkeit einer PV-Installation an Tunnelportalen hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Konstruktionsart des Portals (verfügbare Betonflächen)
- Bauliche Gegebenheiten des Portals (Zugänglichkeit)
- Lage des Portals (Beschattung durch umgebende Böschungen)

Bei den Tunnelportalen ist besonderes Augenmerk auf die technischen und statischen Gegebenheiten der Stützmauern zu legen.

Die Galerien erfordern für die Installation an der offenen Seite spezielle Rahmenkonstruktionen, die sowohl dem Gewicht der Anlage als auch den extremen Witterungsbedingungen standhalten müssen.

Exposition gegenüber Naturgefahren: Da Galerien primär zum Schutz der Strassen vor Stein- schlag, Schnee und anderen alpinen Naturgefahren errichtet wurden müssen die PV-Module vor den auftretenden Naturgefahren geschützt sein. Durch die Annahme, dass die Anlagen vertikal auf der Stützkonstruktion der offenen Seite installiert werden, wird diesem Thema Rechnung getragen.

3.8 Werkhöfe

Die Werkhöfe im Eigentum des Tiefbauamts stellen ein zusätzliches Potenzial für die Installa- tion von PV-Anlagen dar.

Mengengerüst, PV-System und Solarertrag: Das Tiefbauamt stellte eine Liste aller Werkhöfe als Grundlage für die Analyse zur Verfügung, die aufzeigt, auf welchen Dächern bereits PV- Anlagen installiert sind. Mittels Geolokalisierung ihrer Adressen wurden die Werkhöfe in das GIS-System überführt. Zur Abschätzung der möglichen installierbaren Leistung auf den noch nicht genutzten Dächern wurden die Daten von sonnendach.ch herangezogen. Diese Plattform des Bundesamts für Energie ermöglicht eine Schätzung des Solarpotenzials von Gebäudedä- chern basierend auf Geodaten und Simulationen. Dabei wurde das Potenzial der als «hervor- ragend», «sehr gut» und «gut» geeigneten Dachflächen direkt übernommen. Auf die Über- nahme der «gering» und «mittel» geeigneten Flächen wurde verzichtet, um eine höhere Ver- gleichbarkeit mit den bereits bestehenden Anlagen zu erzielen.

4 Ergebnisse

4.1 Strassen

Solarpotenzial

Das kantonale Strassennetz ist 655 km lang (ohne Teilstücke, die ans Bundesamt für Strassen abgetreten sind). Gemäss künftigen raumplanerischen Vorgaben zeigt die Analyse 119 km nutzbare Strassen, wovon 13 km der raumplanerischen Eignungskategorie A, 25 km der Eignungskategorie B und 81 km der Eignungskategorie C (Abbildung 6) entsprechen. Das sind insgesamt 99 km mehr als bisher (0 km A, 19 km B und 80 km C). Der grosse Anstieg der Eignungskategorie C ist hauptsächlich auf Strassen zurückzuführen, die an Wald oder Landwirtschaft angrenzen und damit heute als nicht geeignet eingestuft sind (siehe Tabelle 6), künftig jedoch schon. Die als Eignungskategorie A bewerteten Strecken ändern sich durch die Anpassungen der Raumplanungsvorgaben nicht.

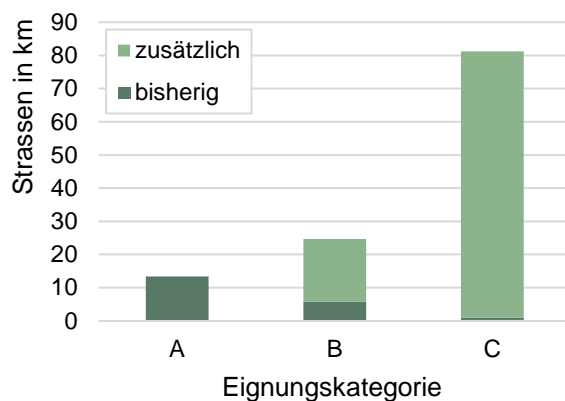


Abbildung 6: Für eine Überdachung mit PV-Anlagen geeignete Strassenstecken nach künftigen raumplanerischen Vorgaben, unterteilt in das bisherige Potenzial (nach aktuellen raumplanerischen Vorgaben) und dem zusätzlichen Potenzial, das sich durch Änderung der Vorgaben ergibt.

Der auf diesen Flächen mögliche Solarertrag ist vom Neigungswinkel des Moduls abhängig (Aufständigung 10° vs. 35°). Die spezifischen Erträge sind 118 kWh/m^2 bei 35° und 209 kWh/m^2 bei 10° . Die spezifischen Erträge sind bei den 35° trotz optimaler Ausrichtung geringer, da bei dem höheren Winkel die Module weiter auseinander platziert werden müssen, um die Verschattung zu vermeiden. Dies bedeutet bei den künftigen raumplanerischen Vorgaben einen Solarertrag von 14 GWh/a bei 35° und 25 GWh/a bei 10° (Summe der drei Eignungsklassen, siehe Abbildung 7). Dies bedeutet einen Zuwachs von 21 GWh bei 10° und von 12 GWh bei 35° im Vergleich zu den bisherigen raumplanerischen Vorgaben.

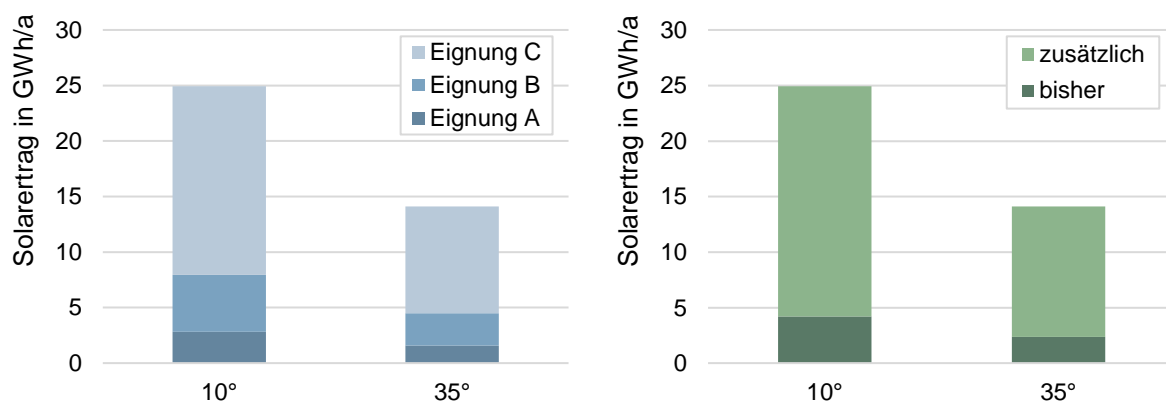


Abbildung 7: Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Neigungswinkel gemäss künftigen raumplanerischen Vorgaben. Links nach Eignungsklassen, rechts im Vergleich zu den bisherigen raumplanerischen Vorgaben.

Vielversprechende Einzelfälle

Folgende zwei Einzelfälle wurden als vielversprechend identifiziert.

Strasse bei Bazenhaid	Strasse bei Lichtensteig
	
<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'723'311.38, 1'252'601.37 — <i>Länge:</i> 367 m — <i>Eignung und angrenzende Zonen:</i> A, Verkehrsflächen — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 10° Neigung:</i> 537 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> Strassenabschnitt ist eine tiefergelegte Verbindung zwischen zwei Tunnelröhren. 	<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'724'103.72, 1'242'986.52 — <i>Länge:</i> 420 m — <i>Eignung und angrenzende Zonen:</i> A, Verkehrsflächen — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 10° Neigung:</i> 614 MWh/a

Bewertung

In der folgenden Tabelle 14 werden Strassen als Infrastrukturtyp für PV-Anlagen in einer Übersicht bewertet.

Strassen	
Solarpotenzial ●●●	Die Analyse zeigt insgesamt 119 km geeignete Strassenstrecken nach neuen raumplanerischen Anforderungen.
Technische Eignung und wirtschaftliche Eignung ●○○	Für die Integration von PV in die Strasseninfrastruktur gibt es die Möglichkeit von PV-Modulen als Überdachung. — Einsatz von Standardmodulen und erprobten Systemen möglich. — Doppelnutzung der Fläche, z.B. Beschattung und Energieerzeugung. — Moderate Wartung und rund einmal jährliche Reinigung, da sich die Anlage oberhalb der Fahrbahn befindet und die Module von der Strasse abgewandt sind und somit weniger der Verkehrsverschmutzung ausgesetzt sind. — Die jährliche Wartung wird jedoch durch Sicherheitsaspekte erschwert, die eine Sperrung der Strasse für die Wartung erfordern können. — Massive und stabile Tragwerke nötig, die zu hohen Zusatzkosten führen. Alternativ zu der PV-Überdachung können Solarzäune entlang der Fahrbahn errichtet werden, die jedoch eine sehr stabile Verankerung benötigen.
Rechtliche Eignung	Es ist entweder eine Baubewilligung einzuholen oder ein Plangenehmigungsverfahren durchzuführen. Die entsprechenden Bedingungen sind mit den kantonalen Ämtern zu klären.
Netzanschluss ●●○	— Geeignet sind Strassen, die durch Wohn- oder Industriegebiete führen, da diese in der Nähe ein Netzeinspeisepunkt haben. Ungeeignet sind Strassen, die durch Nicht-Bauzonen und landwirtschaftliche Zonen führen.
Umsetzbarkeit ●○○	— Nur Pilotprojekte, eher nicht wirtschaftlich

Tabelle 14 Bewertung des Infrastrukturtyps Strassen. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.

4.2 Rad- und Gehwege

Solarpotenzial

Gemäss künftigen raumplanerischen Vorgaben zeigt die Analyse insgesamt 49'600 m² nutzbare Rad- und Gehweg-Fläche, wovon 4'700 m² gut geeignete und 44'800 m² grundsätzlich geeignet sind. Das sind insgesamt 32'500 m² mehr als bisher gemäss aktuellen raumplanerischen Vorgaben. Der gesamte Zuwachs findet ausschliesslich in der Kategorie «grundsätzlich geeignet» statt. Der grosse Anstieg an grundsätzlich geeigneten Flächen ist hauptsächlich auf Rad- und Gehwege zurückzuführen, die auf der strassenabgewandten Seite an Wald oder Landwirtschaft angrenzen und damit heute als nicht geeignet gelten, künftig aber als grundsätzlich geeignet. Die als gut geeignet bewerteten Flächen ändern sich durch die Anpassungen der Raumplanungsvorgaben nicht.

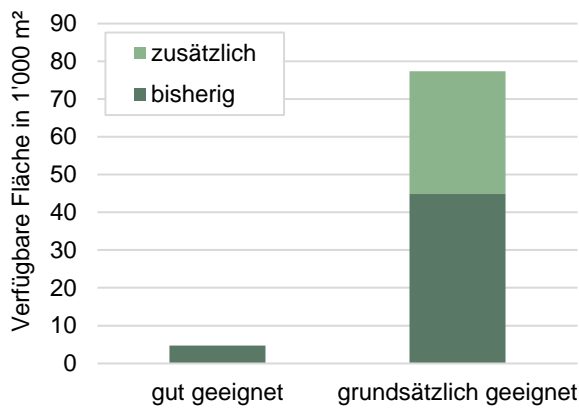


Abbildung 8: Für eine Überdachung mit PV-Anlagen geeignete Rad- und Gehwege nach künftigen raumplanerischen Vorgaben, unterteilt in das bisherige Potenzial (nach aktuellen raumplanerischen Vorgaben) und dem zusätzlichen Potenzial, das sich durch Änderung der Vorgaben ergibt.

Der auf diesen Flächen mögliche Solarertrag ist vom Neigungswinkel des Moduls abhängig (Aufständigung 10° vs. 35°). Die spezifischen Erträge sind 118 kWh/m² Rad- und Gehwegfläche bei 35° und 209 kWh/m² bei 10°. Die spezifischen Erträge sind bei den 35° trotz optimaler Ausrichtung geringer, da bei dem höheren Winkel die Module weiter auseinander platziert werden müssen, um die Verschattung zu vermeiden. Dies bedeutet bei künftigen raumplanerischen Vorgaben einen maximalen Solarertrag von 5.9 GWh/a bei 35° und 10.4 GWh/a bei 10° (Summe der beiden Eignungsklassen, siehe Abbildung 9). Dies bedeutet einen Zuwachs von 6.8 GWh bei 10° und von 3.8 GWh bei 35° im Vergleich zu den bisherigen raumplanerischen Vorgaben.

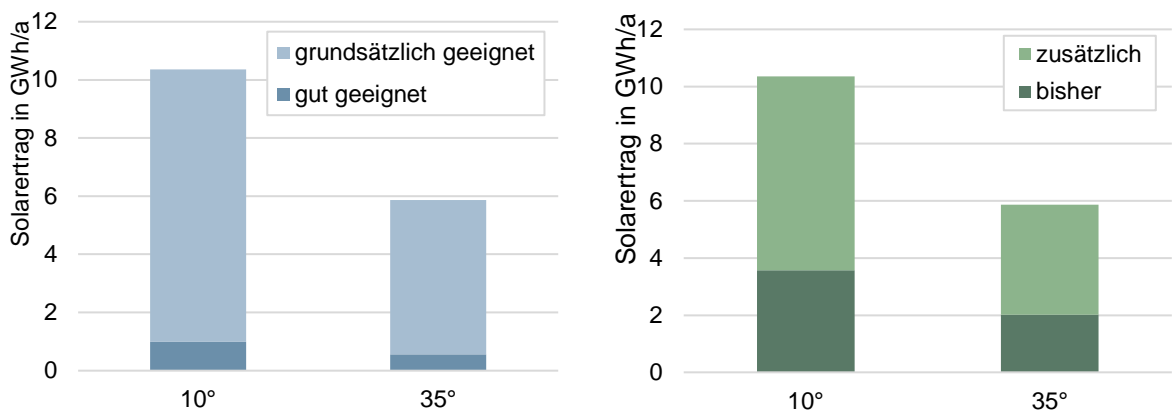


Abbildung 9: Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Neigungswinkel gemäss künftigen raumplanerischen Vorgaben. Links nach den zwei Eignungsklassen, rechts im Vergleich zu den bisherigen raumplanerischen Vorgaben.

Vielversprechende Einzelfälle

Folgende zwei Einzelfälle wurden als vielversprechend identifiziert.

Geh- und Radweg bei St. Gallen	Geh und Radweg bei Schänis
	
<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'740'201.06, 1'252'395.96 — <i>Länge:</i> ca. 380m — <i>Eignung und angrenzende Zone:</i> gut geeignet, Arbeitszone und Verkehrsflächen — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 10° Neigung:</i> 160 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> Geh- und Radweg liegt vollständig in der Arbeitszone 	<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'721'388.63, 1'223'997.26 — <i>Länge:</i> ca. 300 m — <i>Eignung und angrenzende Zone:</i> gut geeignet, Arbeitszone, Verkehrsflächen und Mischzone — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 10° Neigung:</i> 175 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> Geh- und Radweg liegt grösstenteils in Arbeitszone

Bewertung

In der folgenden Abbildung 13 werden Rad- und Gehwege in einer Übersicht bewertet.

Rad- und Gehwege	
Solarpotenzial ●●●	Die Analyse ergibt insgesamt 49'600 m ² geeignete Rad- und Gehwegfläche.
Technische Eignung und wirtschaftliche Eignung ●○○	Für die Integration von PV in die Strasseninfrastruktur gibt es die Möglichkeit von PV-Modulen als Überdachung. <ul style="list-style-type: none"> — Einsatz von Standardmodulen und erprobten Systemen möglich. — Doppelnutzung der Fläche, z.B. Beschattung und Energieerzeugung. — Moderate Wartung und rund einmal jährliche Reinigung, da sich die Anlage oberhalb des Wegs befindet und die Module von der Strasse abgewandt sind und somit weniger der Verkehrsverschmutzung ausgesetzt sind. — Tragwerke nötig, die zu hohen Zusatzkosten führen. Alternativ zu der PV-Überdachung können Solarzäune entlang der Fahrbahn errichtet werden, die jedoch eine sehr stabile Verankerung benötigen.
Rechtliche Eignung	— Es ist entweder eine Baubewilligung einzuholen oder ein Plangenehmigungsverfahren durchzuführen. Die entsprechenden Bedingungen sind mit den kantonalen Ämtern zu klären.
Netzanschluss ●●○	— Geeignet sind Wege, die durch Wohn- oder Industriegebiete führen, da diese in der Nähe ein Netzeinspeisepunkt haben. Ungeeignet sind Wege, die durch Nicht-Bauzonen und landwirtschaftliche Zonen führen.
Umsetzbarkeit ●○○	— Nur Pilotprojekte, eher nicht wirtschaftlich

Tabelle 15 Bewertung des Infrastrukturtyps Strassen. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.

4.3 Lärmschutzwände

Solarpotenzial

Es gibt im Kanton insgesamt 61 Lärmschutzwände mit einer Länge von 9 km. Die Analyse zeigt total 48 Lärmschutzwände von insgesamt 8.0 km Länge, die grundsätzlich geeignet sind. 23 Objekte davon mit 3.7 km verfügen über den für die aufgeständerten Anlagen notwendigen Sicherheitsabstand von mindestens einen Meter (siehe Abbildung 10). Dabei sind die nach Westen und nach Osten ausgerichtete Flächen stärker vertreten, wogegen es gar keine gegen Nordosten gibt.

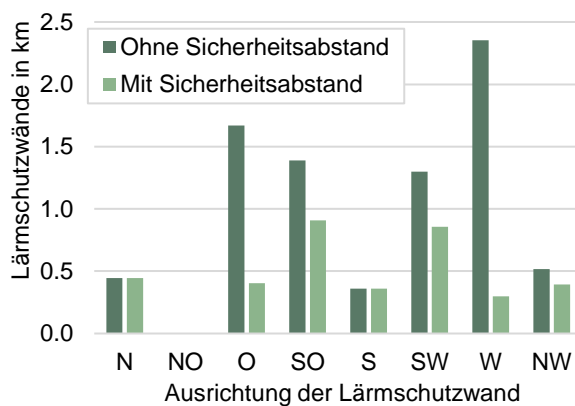


Abbildung 10: Verfügbare Lärmschutzwände in Kilometern nach Ausrichtung

Der auf diesen Flächen mögliche Solarertrag ist sowohl vom Neigungswinkel des Moduls (Aufständigung 35° vs. 60° sowie 90° bifazial, siehe Methode in Kapitel 3.3) als auch von der Ausrichtung der Fläche abhängig. Die spezifischen Solarerträge pro Meter Lärmschutzwand sind links in Abbildung 11 dargestellt mit den höchsten Werten bei den bifazialen Modulen gegen Süden (über 350 kWh/m²) und die tiefsten Werte bei 60° gegen Norden. Die absoluten Erträge nach Ausrichtung sind in Abbildung 11 rechts abgebildet mit einem Total von 820 GWh bei 35°, 730 GWh bei 60° sowie 2'440 GWh bei den bifazialen Modulen. Die hohen Werte für die bifazialen Module stammen einerseits vom hohen spezifischen Ertrag, aber auch von der Tatsache, dass sie auch auf Lärmschutzwänden aufgebracht werden können, die den Sicherheitsabstand von 1 Meter zur Fahrbahn nicht einhalten. Werden nur die Flächen mit hohem spezifischem Ertrag (S, SO, SW, 90° bifazial) betrachtet, ergibt sich ein Total von 1.1 GWh Potenzial.

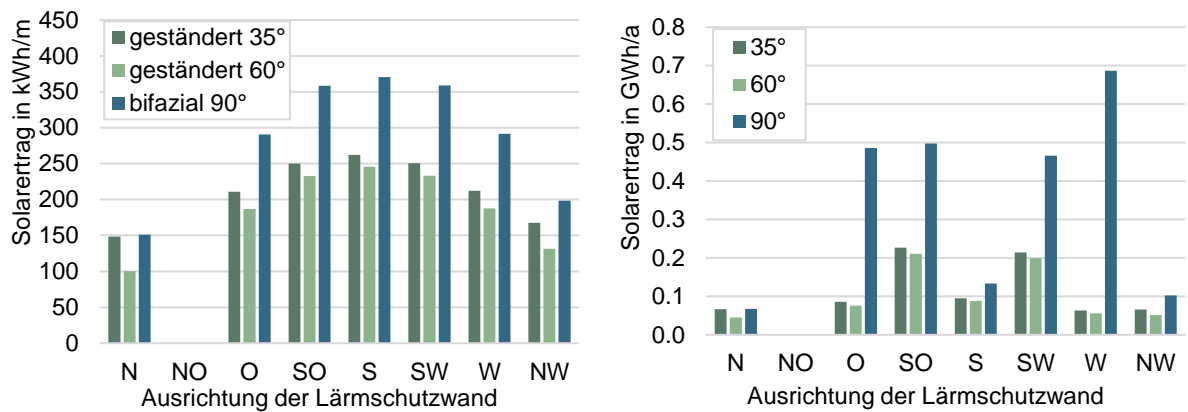




Abbildung 11: Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Ausrichtung für aufgeständerte Module von 35° und 60° und bifaziale Module mit 90°, links als spezifischer Ertrag in kWh pro m Lärmschutzwand und rechts absolut in GWh/a.

Ein besonderer Vorteil der Lärmschutzwände liegt in ihrer häufigen Nähe zu Siedlungsgebieten, was günstige Bedingungen für Netzanschluss und lokalen Verbrauch schafft.

Vielversprechende Einzelfälle

Folgende zwei Einzelfälle wurden als vielversprechend identifiziert.

Lärmschutzwand bei Wattwil	Lärmschutzwand bei Rorschacherberg
	
<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'724'008.55, 1'241'452.94 — <i>Länge:</i> 300m — <i>Ausrichtung:</i> Südost — <i>Max. Solarertrag bei 90° Neigung:</i> 105 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> Lärmschutzwand aus Metall auf Betonbrüstung 	<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'757'127.62, 1'260'885.47 — <i>Länge:</i> 240m — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 60° Neigung:</i> 60 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> Lärmschutzwand aus Beton

Bewertung

In der folgenden Tabelle 16 werden Lärmschutzwände als Infrastrukturtyp für PV-Anlagen in einer Übersicht bewertet.

Lärmschutzwände	
Mengengerüst und Beschreibung ●○○	Im Kanton St. Gallen gibt es 48 Lärmschutzwände von insgesamt 8 km Länge, wovon 23 Objekte mit 3.7 km den für die aufgeständerten Anlagen Sicherheitsabstand von mindestens einen Meter verfügen.
Technische und wirtschaftliche Eignung ●●○	<ul style="list-style-type: none"> — Lange, sonst unbenutzte Flächen ermöglichen die Installation von grösseren, wandmontierten PV-Modulen. — LSW können mit bifazialen Modulen ausgerüstet und in der Höhe ergänzt werden. — 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 Beeinträchtigung des Strassenverkehrs bei Wartung. — Mögliche Verringerung der akustischen Schutzwirkung durch reflektierende PV-Module.
Rechtliche Eignung	— Es ist entweder eine Baubewilligung einzuholen oder ein Plangenehmigungsverfahren durchzuführen. Die entsprechenden Bedingungen sind mit den kantonalen Ämtern zu klären.
Akzeptanz ●●○	<ul style="list-style-type: none"> — 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 Brüttsellen – obwohl Graffiti sich leicht entfernen lässt, führte dies zu höheren Unterhaltskosten.
Netzanschluss ●●○	— Lärmschutzwände werden in der Regel entlang von Strassen aufgestellt, um Anwohner vor Lärm zu schützen. Da sie in Siedlungsnähe installiert sind, kann von einem Netzanschluss in der Nähe der Anwohner genutzt werden.

Tabelle 16 Bewertung des Infrastrukturtyps Lärmschutzwände. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.

4.4 Stützmauern

Solarpotenzial

Die Analyse ergibt insgesamt 25 Objekte mit einer Länge von 1.6 km (kleine Kunstbauten) und 9 Objekte mit 1.9 km (grosse Kunstbauten). Sie zeigt eine Verteilung mit Schwerpunkten in südwestlicher und westlicher Ausrichtung (siehe Abbildung 12).

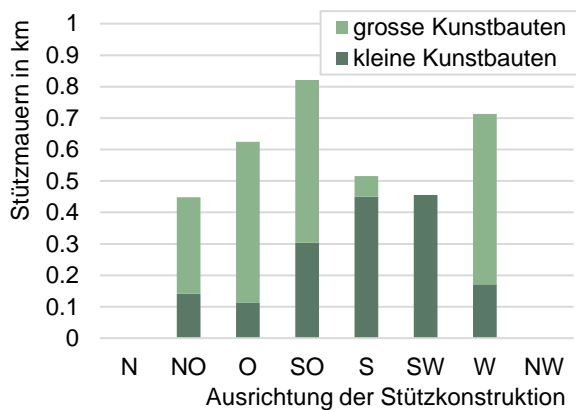


Abbildung 12: Verfügbare Stützkonstruktionen in Metern nach Ausrichtung

Der auf diesen Flächen mögliche Solarertrag ist von der Ausrichtung der Stützkonstruktion abhängig. Die spezifischen Solarerträge pro Meter Stützmauer sind links in Abbildung 13 dargestellt mit den höchsten Werten gegen Süden, Südosten und Südwesten. Die Erträge der grossen Mauern sind höher, weil bei diesen generisch 2 Reihen PV-Anlagen angenommen wurden, bei den kleinen nur eine Reihe. Die absoluten Erträge nach Ausrichtung sind in Abbildung 13 rechts abgebildet mit einem Total von 0.85 GWh. Rund die Hälfte dieses Potenzials stammt aus den Flächen mit hohem spezifischem Ertrag (S, SO, SW), konkret 0.43 GWh.

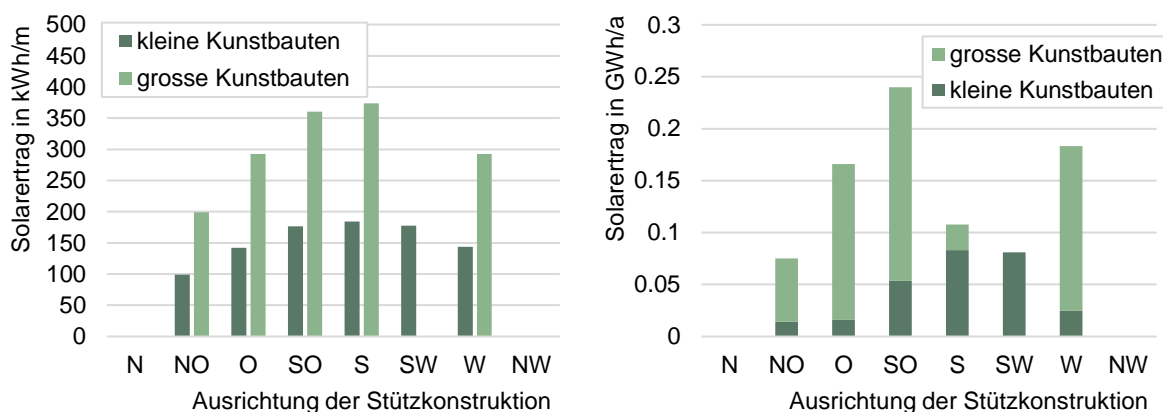




Abbildung 13: Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Ausrichtung links als spezifischer Ertrag in kWh pro Meter Stützkonstruktion und rechts absolut in GWh/a.

Vielversprechende Einzelfälle

Stützmauer bei Au SG	Stützmauer bei Ebnet-Kappel 1
	
<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'766'511.57, 1'256'930.24 — <i>Länge:</i> ca. 440m — <i>Ausrichtung:</i> Südost — <i>Max. Solarertrag bei 90° Neigung:</i> 160 MWh/a 	<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'727'713.16, 1'236'484.36 — <i>Länge:</i> 135m — <i>Ausrichtung:</i> Südwest — <i>Max. Solarertrag bei 90° Neigung:</i> 135 MWh/a

Bewertung

In der folgenden Tabelle 17 werden Stützmauern als Infrastrukturtyp für PV-Anlagen in einer Übersicht bewertet.

Stützmauern	
Mengengerüst und Beschreibung ●○○	Die Analyse ergibt insgesamt 34 im Grundsatz geeignete Objekte. Davon sind 25 kleine Kunstbauten mit einer Länge von insgesamt 1.6 km und 9 grosse Kunstbauten mit einer Länge von insgesamt 1.9 km.
Technische Eignung ●●○	<ul style="list-style-type: none"> — Aufbau von PV-Anlagen kann anhand von Wand- oder Fassadensystemen erfolgen. — Stützmauern unterscheiden sich in Höhe und Material und haben daher unterschiedliche statische Tragfähigkeiten. — Stützmauern aus Beton in gutem Zustand 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	— Es ist entweder eine Baubewilligung einzuholen oder ein Plangenehmigungsverfahren durchzuführen. Die entsprechenden Bedingungen sind mit den kantonalen Ämtern zu klären.
Akzeptanz ●●○	— Keine Angaben
Netzanschluss ●○○	— Günstiger Netzanschluss, falls bestehende Stromleitungen / Anschluss in der Nähe der Stützmauer vorhanden sind, insbesondere auch in der Nähe von potenziell attraktiven Verbrauchern. Attraktive Standorte sind insbesondere in Siedlungsgebieten zu erwarten. In ländlichen Regionen dürften zusätzliche Anschlusskosten anfallen.

Tabelle 17 Bewertung des Infrastrukturtyps Stützmauern. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.

4.5 Grünflächen (inkl. Böschungen)

Solarpotenzial

Die Analyse zeigt insgesamt 340'000 m² verfügbare Grünflächen (inkl. Böschungen) entlang der St. Galler Kantonsstrassen (siehe Abbildung 14). Dabei sind die nach Südwesten und Westen ausgerichtete Flächen stärker vertreten, die nach Norden ausgerichtete Flächen weniger stark.

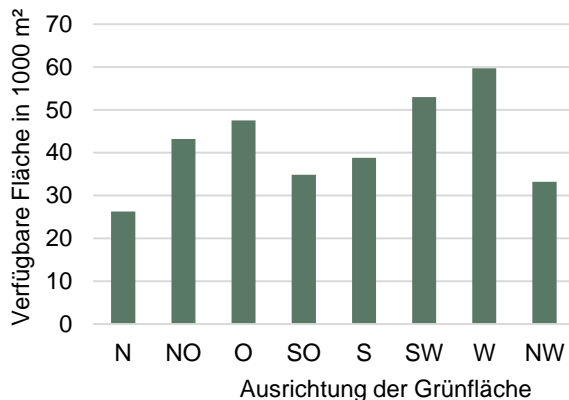


Abbildung 14: Verfügbare Grünflächen (inkl. Böschungen) in 1'000 Quadratmetern nach Ausrichtung

Der auf diesen Flächen mögliche Solarertrag ist sowohl vom Neigungswinkel des Moduls (35° vs. 60°, siehe Methode in Kapitel 3.5) als auch von der Ausrichtung der Fläche. Die spezifische Solarerträge pro Quadratmeter Grünfläche sind links in Abbildung 15 dargestellt mit den höchsten Werten bei 35° gegen Süden (über 180 kWh/m²) und die tiefsten Werte bei 60° gegen Norden. Die absoluten Erträge nach Ausrichtung sind in Abbildung 15 rechts abgebildet mit einem Total von 51 GWh bei 35° und 23 GWh bei 60°. Werden nur die Flächen mit hohem spezifischem Ertrag (S, SO, SW, 35°) betrachtet, ergibt sich ein Total von 23 GWh Potenzial.

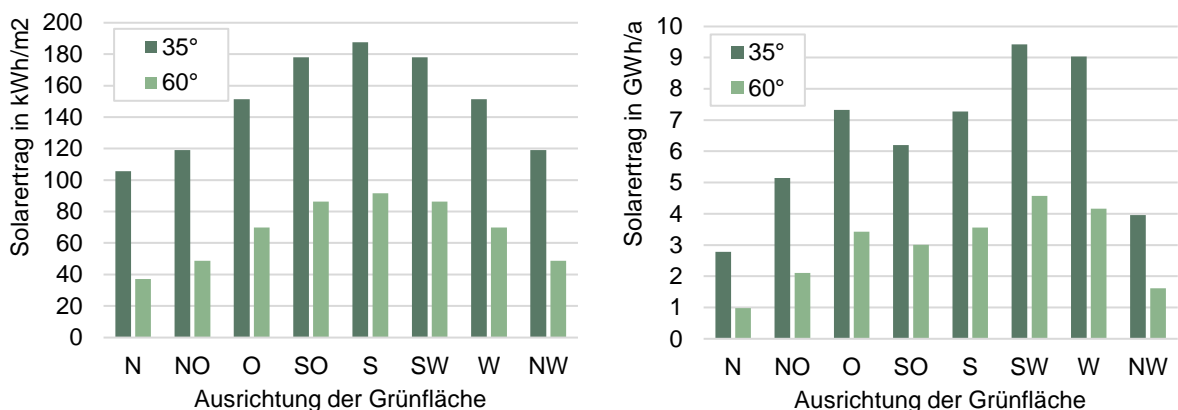

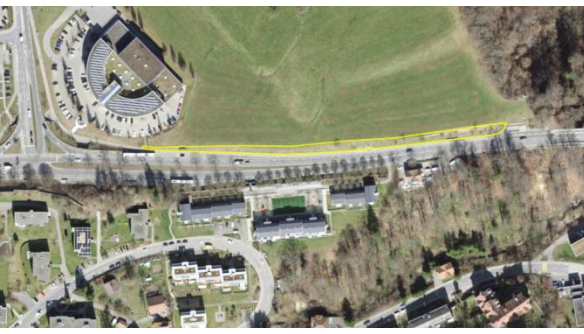


Abbildung 15: Potenzieller jährlicher Solarertrag in GWh nach Ausrichtung für Modulneigung von 35° und 60°. links als spezifischer Ertrag in kWh pro m² Grünfläche und rechts absolut in GWh/a.

Die Energiegewinnung kann in einem Konflikt mit möglichen anderen Nutzungen stehen (bspw. ökologische Ausgleichsflächen, landwirtschaftliche Nutzung). Alternative Installationsmethoden, wie beispielsweise die Montage von Modulen auf einzelnen Pfeilern statt einer flächendeckenden Installation, wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Solche Lösungen könnten

jedoch in spezifischen Situationen Nutzungskonflikte minimieren und eine Alternative zur flächigen Bebauung darstellen.

Vielversprechende Einzelfälle

Grünflächen Umfahrung Unterbazenheid	Grünfläche bei St. Gallen
	
<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'723'195.62, 1'253'588.64 — <i>Fläche:</i> 13'700 m²: — <i>Ausrichtung:</i> Südwest — <i>Max. Solarertrag bei 35° Neigung:</i> 2'400 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> 	<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'741'783.96, 1'252'453.62 — <i>Fläche:</i> 1'900 m² — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 35° Neigung:</i> 360 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> Grünfläche liegt in der Arbeitszone, Wohnzone und Reservezone nach Art. 18 Abs 2 RPG

Bewertung

In der folgenden Tabelle 18 werden Grünflächen als Infrastrukturtyp für PV-Anlagen in einer Übersicht bewertet.

Grünflächen (inkl. Böschungen)	
<p>Mengengerüst und Beschreibung</p> <p>●●●</p>	<p>Die Analyse zeigt insgesamt 340'000 m² verfügbare Grünflächen entlang der St. Galler Kantonsstrassen.</p>
<p>Technische und wirtschaftliche Eignung</p> <p>●●○</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Aktivierung von unbenutzten Flächen — Doppelnutzung (Energieerzeugung und Schutz vor Verschmutzung der Pflanzen) — Der Abrieb von Pneu und Bremsbelägen führt oft zu einem schwarzen Belag auf den strassennahen Pflanzen, die sich durch die Sonne stark erwärmen und unter erhöhtem Wasserstress leiden. Auch die Abstrahlung des Asphalts und der Fahrtwind beeinflussen das Mikroklima negativ. — Erhöhter Wartungsaufwand durch mögliche starke Verschmutzung der Module durch den Strassenverkehr und Bewachung. — Je nach Hanglage und Neigungswinkel ist der Untergrund unterschiedlich befestigt und es braucht eine Aufständigung und passende Verankerung der PV-Module. — Möglicherweise Beeinträchtigung des Strassenverkehrs bei Wartung. — Hohe Sicherheitsanforderungen durch Blendung und Folgen bei Unfall/Kollision mit dem PV-System; Anforderungen an Statik durch Fahrtwind.
<p>Rechtliche Eignung</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Es ist entweder eine Baubewilligung einzuholen oder ein Plangenehmigungsverfahren durchzuführen. Die entsprechenden Bedingungen sind mit den kantonalen Ämtern zu klären.
<p>Akzeptanz</p> <p>●○○</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Mögliche Beeinträchtigung der Biodiversität und/oder des Landschaftsbildes

Netzanschluss ●○○	— Potenziell hohe Anschlusskosten, wenn kein Netzanschluss in der Nähe ist (bspw. in ländlichen Regionen).
----------------------	--

Tabelle 18 Bewertung des Infrastrukturtyps Grünflächen (inkl. Böschungen). Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.

4.6 Brücken

Solarpotenzial

Die Analyse der 28 als geeignet identifizierten Brücken mit einer Gesamtlänge von 6.8 km zeigt eine unterschiedliche Verteilung der Ausrichtungen (Abbildung 16). Die grösste Gesamtlänge weisen Brücken mit Nordost-Südwest Ausrichtung auf (etwa 2.2 km), gefolgt von Nord-Süd verlaufenden Brücken (ca. 1.8 km).

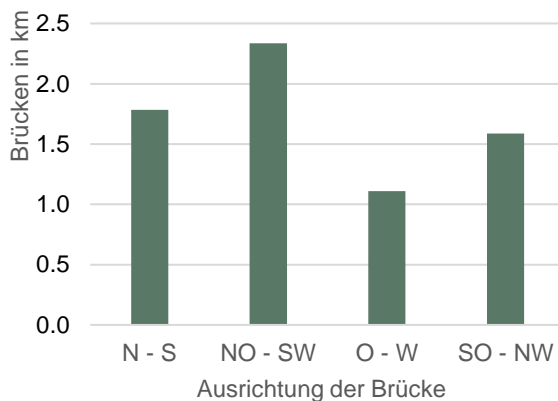


Abbildung 16: Verfügbare Brücken in Meter Länge nach Ausrichtung

Werden nur die absoluten Solarerträge betrachtet, zeigt sich ein zur Längenverteilung gegensätzliches Bild (Abbildung 17 rechts). Bei einer 90° vertikalen Installation der PV-Module erreichen die Ost-West verlaufenden Brücken trotz ihrer geringeren Gesamtlänge mit knapp 300 MWh/a sehr hohe Erträge. Dies erklärt sich durch das Installationskonzept: Bei Ost-West verlaufenden Brücken werden die Module nur an der südlich ausgerichteten Ansichtsfläche installiert, wodurch sie optimal zur Sonne ausgerichtet sind. Im Gegensatz dazu können bei Nord-Süd verlaufenden Brücken zwar beide Ansichtsflächen (Ost und West) mit Modulen bestückt werden, diese erreichen aber aufgrund ihrer weniger optimalen Ausrichtung zur Sonne geringere Erträge pro Installationsfläche. Dies zeigt sich beim spezifischen Solarertrag pro Meter Brückenlänge (siehe Abbildung 17 links). Die Ost-West ausgerichteten Brücken weisen mit etwa 250 kWh/m die höchste Effizienz auf.

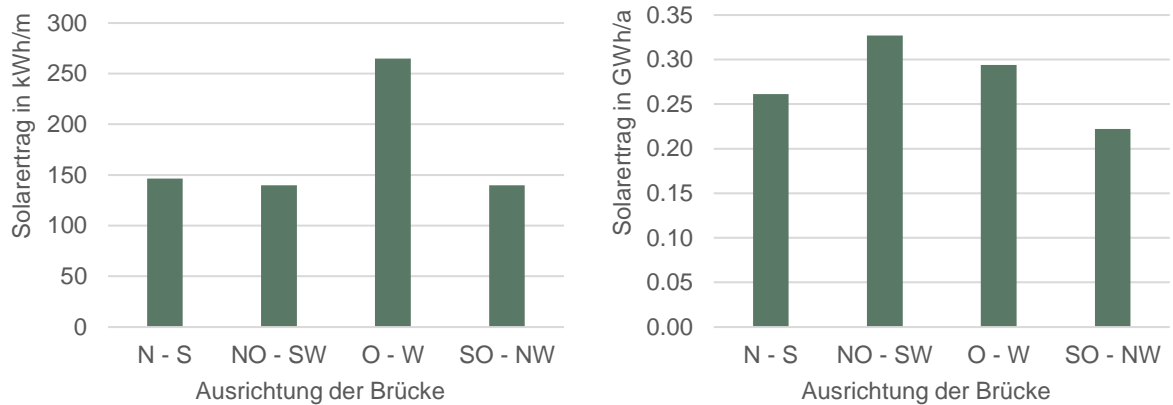


Abbildung 17: Potenzieller jährlicher Solarertrag bei 90° vertikaler Installation nach Ausrichtung. Links als spezifischer Ertrag in kWh pro Meter Brückenlänge und rechts absolut in GWh/a.

Vielversprechende Einzelfälle

Brücke Tamina Bofel, Pfäfers	Brücke Rhein, Diepoldsau
Steckbrief <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'755'960.35, 1'206'350.33 — <i>Länge:</i> 410 m — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 90° Neigung:</i> 110 MWh/a 	Steckbrief <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'766'503.29, 1'255'729.55 — <i>Länge:</i> 250 m — <i>Ausrichtung:</i> Süd — <i>Max. Solarertrag bei 90° Neigung:</i> ca. 70 MWh/a

Bewertung

In der folgenden Tabelle 19 werden Brücken als Infrastrukturtyp für PV-Anlagen in einer Übersicht bewertet.

Brücken	
Mengengerüst und Beschreibung ●○○	Insgesamt zeigt die Analyse 28 als geeignet identifizierten Brücken mit einer Gesamtlänge von 6.8 km.
Technische Eig-nung ●●○	<ul style="list-style-type: none"> — Brücken eignen sich grundsätzlich aus Sicht Statik 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 (Blendung, Absturzsicherheit). — Die PV-Module können an Aussenseite montiert werden oder ggf. auf dem Geländer mit bifazialen Modulen. — Nordausgerichtete Geländer sind nicht geeignet.

Rechtliche Eignung	— Es ist entweder eine Baubewilligung einzuholen oder ein Plangenehmigungsverfahren durchzuführen. Die entsprechenden Bedingungen sind mit den kantonalen Ämtern zu klären.
Akzeptanz ●●○	— Mögliche Beeinträchtigung des Landschafts- und Ortsbildes. — Berücksichtigung ästhetischer Aspekte.

Tabelle 19 Bewertung des Infrastrukturtyps Brücken. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.

4.7 Tunnel und Galerien

Solarpotenzial

Von acht untersuchten Tunneln eignen sich vier für eine Installation am Südportal. An sieben Tunneln wurde zusätzlich eine Installationsmöglichkeit an den westlich ausgerichteten Stützmauern der Tunnelportale identifiziert. Die Solarertragspotenziale liegen bei etwa 15 MWh/a für die Südportale und etwa 45 MWh/a für die Stützmauern an den Tunnelportalen (Abbildung 18).

Die beiden untersuchten Steinschlaggalerien befinden sich auf der Strasse von Weesen nach Amden und weisen eine ideale Ausrichtung nach Süden auf. Mit ihrer längeren, zusammenhängenden Installationsfläche erreichen sie ein Potenzial von etwa 140 MWh/a. Diese Schätzung basiert auf einer konservativen Annahme von zwei Modulreihen. Da die Galerien vermutlich mehr Fläche bieten, könnte das tatsächliche Potenzial durch Installation zusätzlicher Reihen (vier oder mehr) entsprechend höher ausfallen und sich mindestens verdoppeln.

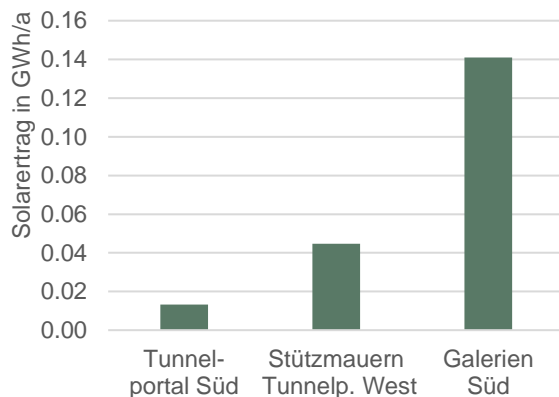


Abbildung 18: Jährliches Solarpotenzial in MWh für die verschiedenen Installationsorte: Tunnelportale Süd, Stützmauern an Tunnelportalen (TP) West und Galerien Süd.

Bei den Tunneln ist der kontinuierliche Stromverbrauch für Beleuchtung und Lüftung ein positiver Aspekt, da er eine effiziente Nutzung des produzierten Solarstroms direkt vor Ort ermöglicht. Bei den Galerien könnte die Beleuchtung einen relevanter Eigenstromverbrauch bedeuten.

Vielversprechende Einzelfälle

2 Galerien Churfirsten und Mattstock gegen Amden	Seitenwand am Tunnel Südportal Dietfurt
	
<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'727'832.51, 1'222'454.03 — <i>Länge:</i> Gesamt 370 m — <i>Ausrichtung:</i> Südwest — <i>Max. Solarertrag bei 90° Neigung:</i> 140 MWh/a — <i>Weitere Kommentare:</i> PV-Module 2 Reihen in den Galerienfenstern 	<p>Steckbrief</p> <ul style="list-style-type: none"> — <i>Koordinaten:</i> 2'724'177.87, 1'244'987.12 — <i>Länge:</i> 115 m — <i>Ausrichtung:</i> West — <i>Max. Solarertrag bei 90° Neigung:</i> ca. 20 MWh/a

Bewertung

In der folgenden Tabelle 20 werden Tunnel und Galerien als Infrastrukturtypen für PV-Anlagen in einer Übersicht bewertet.

Tunnel und Galerien	
<p>Mengengerüst und Beschreibung</p> <p>●○○</p>	<p>Es wurden acht Tunnel und 2 Steinschlaggalerien untersucht.</p>
<p>Technische Eignung</p> <p>●●○</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Wandsysteme an Tunnelportal- oder Seitenwänden werden nicht von Schnee abgedeckt und führen zu höherem Ertrag im Winter und zu geringerer Wartung im Allgemeinen. — Bei Verwendung der Tunnelportalwände grundsätzlich geeignete 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. — Bei Galerien eignen sich die Ebenen der Überdachung aufgrund der Steinschlaggefahr nicht.
<p>Rechtliche Eignung</p>	<p>— Es ist entweder eine Baubewilligung einzuholen oder ein Plangenehmigungsverfahren durchzuführen. Die entsprechenden Bedingungen sind mit den kantonalen Ämtern zu klären.</p>
<p>Akzeptanz</p> <p>●●○</p>	<p>— Kein Risiko</p>
<p>Netzanschluss und Verbrauch</p> <p>●●●</p>	<p>— Diese Infrastrukturen weisen meist einen eigenen, substanziellen Stromverbrauch (Licht, Lüftung) auf und bieten damit die Chancen, die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen durch Eigenverbrauch zu erhöhen.</p>

Tabelle 20 Bewertung der Infrastrukturtypen Tunnel und Galerien. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.

4.8 Werkhöfe

Das kantonale Strasseninspektorat betreibt insgesamt 17 Werkhöfe und Stützpunkte für den Unterhalt der Kantonsstrassen. Auf neun dieser Standorte sind heute bereits PV-Anlagen installiert, die einen jährlichen Gesamtertrag von etwa 0.7 GWh erreichen. Von den verbleibenden Standorten ist in zwei Fällen der Bau von Anlagen nicht sinnvoll, da die Zukunft des Standorts nicht gesichert ist. An den verbleibenden sechs Standorten gibt es ein zusätzliches PV-Potenzial von rund 0.3 GWh/a (siehe Abbildung 19). Diese Potenzialabschätzung ist als Richtwert zu verstehen und muss für jeden Standort individuell verifiziert werden. Insgesamt ergibt dies ein Potenzial (bestehend und zusätzlich möglich) von 1 GWh.



Abbildung 19: Vergleich des jährlichen Solarertrags zwischen bestehenden PV-Anlagen und dem ermittelten Potenzial für geplante Anlagen auf den Werkhöfen/Stützpunkten des kantonalen Strasseninspektorats

4.9 Übersicht

Das maximale technische Potenzial für Photovoltaik entlang von Kantonsstrassen im Kanton St. Gallen beträgt bei künftigen raumplanerischen Bedingungen rund 91 GWh/a. Dies entspricht 2.7% des Stromverbrauchs des Kanton St. Gallen³. Dabei ist jedoch weder die Wirtschaftlichkeit noch die Bewilligungsfähigkeit einzelner Anlagen berücksichtigt. In Tabelle 21 sind die detaillierten Potenzialverteilungen nach Infrastrukturtyp aufgeführt, in Abbildung 20 sind die maximalen Erträge im Vergleich dargestellt.

³ Stromverbrauch des Kantons St. Gallen im Jahr 2022 gemäss Energiefachstelle.

Infrastrukturtypen	Insgesamt	Geeignet	PV-Fläche [m ²]	Solarertrag [GWh]	Spez. Solarertrag [kWh/m ² Modulfläche]
Strasse	655 km	119 km	101'400	24.9	246
Rad- und Gehwege	394'000 m ²	50'000 m ²	42'100	10.4	246
Lärmschutzwände	9 km	8 km	8'000	2.4	304
Stützmauern	19 km	3.6	1'600	0.9	238
Grünflächen (inkl. Böschungen)	815'700 m ²	336'000 m ²	238'300	51.1	215
Brücken	32 Stück	28 Stück	6'800	1.1	162
Tunnel & Galerien	8 & 2 Stück	7 & 2 Stück	900	0.2	224
Werkhöfe	17	15	-	1	-
Total			399'100	91.4	231

Tabelle 21 Herleitung des solaren Potenzials für die Infrastrukturtypen im Kanton St. Gallen (künftiges RPG)

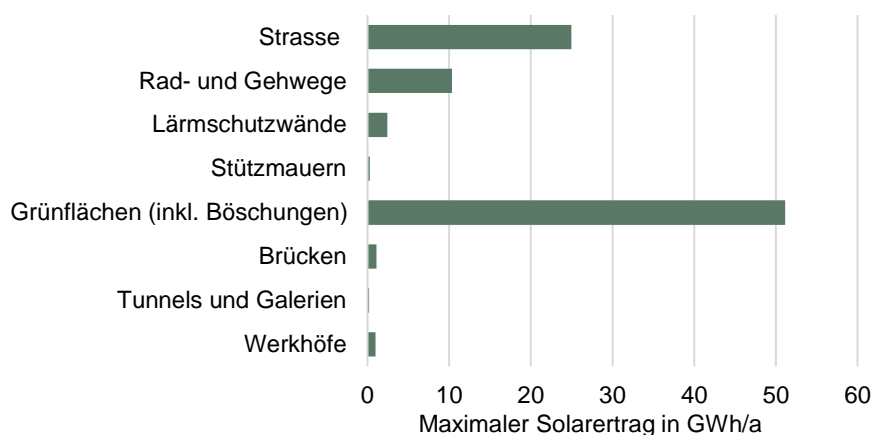


Abbildung 20: Übersicht der maximalen Solarerträge nach Infrastrukturtyp (nach künftigen raumplanerischen Bedingungen; ohne Abzug der bereits installierten Anlagen).

Grünflächen und Strassen dominieren klar das technische Gesamtpotenzial mit 51 GWh resp. 24.9 GWh. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich um ein technisches Potenzial handelt ohne Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit oder einzelnen Bewilligungsfähigkeit. PV-Anlagen auf Überdachungen von Strassen erfordern im Gegensatz zu Anlagen auf bereits bestehenden Strukturen eigens den Bau einer Unterkonstruktion, was die PV-Anlagen relevant verteuert. Das Potenzial ist damit in der Realität nicht einfach zu erschliessen.

Ein Blick auf die übrigen Infrastrukturen zeigt, dass die Lärmschutzwände mit 2.4 GWh und die Brücken sowie Werkhöfe mit je 1.1 GWh technisches Potenzial folgen. Beim Potenzial der 17 Werkhöfe und Stützpunkte ist zu berücksichtigen, dass 60% dieses Potenzials durch bestehende Anlagen bereits ausgeschöpft ist. Das Potenzial an Stützmauern, Tunnels und Galerien schliesslich ist als sehr gering einzuschätzen.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Als Reaktion auf eine Interpellation zur Nutzung von kantonalen Strasseninfrastrukturen für die Stromproduktion wurde im Rahmen dieser Studie, das technische Potenzial für Photovoltaik entlang der Kantonsstrassen quantitativ abgeschätzt. Dazu gehören die Infrastrukturtypen Strassen, Rad- und Gehwege, Lärmschutzwände, Stützmauern, Grünflächen (inkl. Böschungen), Brücken, Tunnel, Galerien und Werkhöfe im Eigentum des kantonalen Tiefbauamtes. Die PV-Eignung der Objekte wurde unter Berücksichtigung von diversen Aspekten wie Eigentumsverhältnissen, Sicherheit, raumplanerischen Vorgaben, bewertet. Bei grundsätzlich geeigneten Objekten wurde anschliessend das Solarpotenzial ermittelt.

Das maximale technische Potenzial für Photovoltaik entlang von Kantonsstrassen im Kanton St. Gallen beträgt insgesamt rund 91 GWh/a. Es zeigt sich dabei, dass der Grossteil dieses technischen Potenzials aus PV-Anlagen über Strassen und auf Grünflächen neben den Strassen resultiert. Die für diese Anlagentypen nötigen massiven Tragwerke (Strassen) resp. Verankerungen im Boden (Grünflächen) führen zu hohen Kosten. Das technische Potenzial ist damit in der Realität nicht einfach zu erschliessen.

Insbesondere die Anlagen mit hohem Neigungswinkel (Lärmschutzwände, Stützmauern, Brücken, Tunnel und Galerien) liefern jedoch einen hohen Winterstromanteil und können damit einen erhöhten Beitrag zur Winterstromproduktion leisten. Zudem ist auch die Sensibilisierungswirkung solcher Anlagen zu berücksichtigen.

Als weitere Schritte zur Erschliessung des Potenzials werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Bereitstellung der Potenzialdaten im kantonalen Datenportal
- Workshop oder Webinar mit Solarfirmen und Energieversorgern, um die Resultate zu präsentieren und Inputs und Interessen abzufragen
- Standardisierte Prüfung von Photovoltaik-Anlagen bei Erweiterungen und Sanierungen der Infrastrukturen des Tiefbauamtes
- Fallstudien und nachfolgend Machbarkeitsstudien zu vielversprechenden Fällen, am ehesten im Bereich Lärmschutzwände, Brücken (nur O-W) und Galerien.
- Prüfung, in welchen Fällen der Kanton selbst Verbraucher ist und damit ein eigenes Interesse in der Umsetzung hätte (Tunnels, allenfalls Galerien).
- Konsequente Verfolgung der verfügbaren Potenziale bei den Werkhöfen und künftigen Projekten entlang von Kantonsstrassen.

Abkürzungsverzeichnis

ASTRA	Bundesamt für Strassen
GWh	Gigawattstunde
kWh	Kilowattstunde
PV	Photovoltaik
RPG	Raumplanungsgesetz

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht der maximalen Solarerträge nach Infrastrukturtyp (ohne Abzug der bereits installierten Anlagen).	5
Abbildung 2:	Visualisierung einer PV-Strassenüberdachung. Mittels fix installierten Unterkonstruktionen werden die PV-Module auf Überdachungen montiert. (Quelle: Fraunhofer ISE, eigene Visualisierung der Anlage)	12
Abbildung 3:	Ausschnitt aus dem GIS-Datensatz "Spuren" mit Darstellung der klassifizierten Flächen: Strassen (pink), Rad- und Gehwege (gelb) und Grünflächen (hellgrün).	18
Abbildung 4:	Beispiel einer Brücke über die Thur zwischen Wattwil und Ebnet. Die roten Markierungen zeigen die für PV-Installation nutzbaren Bereiche auf der südlich ausgerichteten Brückenansichtsfläche. Bereiche über Verkehrswegen und anderer Infrastruktur wurden ausgespart. (Quelle: SWISSIMAGE)	20
Abbildung 5:	Visualisierung möglicher PV-Module südwärts gerichtet an der Aussenseite der Brücke Thur zwischen Wattwil und Ebnet-Kappel. (Quelle des Fotos: Gerber+Partner, Bauingenieure und Planer AG, Visualisierung: EBP)	20
Abbildung 6:	Für eine Überdachung mit PV-Anlagen geeignete Strassenstecken nach künftigen raumplanerischen Vorgaben, unterteilt in das bisherige Potenzial (nach aktuellen raumplanerischen Vorgaben) und dem zusätzlichen Potenzial, das sich durch Änderung der Vorgaben ergibt.	23
Abbildung 7:	Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Neigungswinkel gemäss künftigen raumplanerischen Vorgaben. Links nach Eignungsklassen, rechts im Vergleich zu den bisherigen raumplanerischen Vorgaben.	24
Abbildung 8:	Für eine Überdachung mit PV-Anlagen geeignete Rad- und Gehwege nach künftigen raumplanerischen Vorgaben, unterteilt in das bisherige Potenzial (nach aktuellen raumplanerischen Vorgaben) und dem zusätzlichen Potenzial, das sich durch Änderung der Vorgaben ergibt.	26
Abbildung 9:	Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Neigungswinkel gemäss künftigen raumplanerischen Vorgaben. Links nach den zwei Eignungsklassen, rechts im Vergleich zu den bisherigen raumplanerischen Vorgaben.	26
Abbildung 10:	Verfügbare Lärmschutzwände in Kilometern nach Ausrichtung	28
Abbildung 11:	Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Ausrichtung für aufgeständerte Module von 35° und 60° und bifaziale Module mit 90°, links als spezifischer Ertrag in kWh pro m Lärmschutzwand und rechts absolut in GWh/a.	29
Abbildung 12:	Verfügbare Stützkonstruktionen in Metern nach Ausrichtung	31
Abbildung 13:	Potenzieller jährlicher Solarertrag nach Ausrichtung links als spezifischer Ertrag in kWh pro Meter Stützkonstruktion und rechts absolut in GWh/a.	31
Abbildung 14:	Verfügbare Grünflächen (inkl. Böschungen) in 1'000 Quadratmetern nach Ausrichtung	33
Abbildung 15:	Potenzieller jährlicher Solarertrag in GWh nach Ausrichtung für Modulneigung von 35° und 60°. links als spezifischer Ertrag in kWh pro m ^b Grünfläche und rechts absolut in GWh/a.	33
Abbildung 16:	Verfügbare Brücken in Meter Länge nach Ausrichtung	35

- Abbildung 17: Potenzieller jährlicher Solarertrag bei 90° vertikaler Installation nach Ausrichtung. Links als spezifischer Ertrag in kWh pro Meter Brückenlänge und rechts absolut in GWh/a. 36
- Abbildung 18: Jährliches Solarpotenzial in MWh für die verschiedenen Installationsorte: Tunnelportale Süd, Stützmauern an Tunnelportalen (TP) West und Galerien Süd. 37
- Abbildung 19: Vergleich des jährlichen Solarertrags zwischen bestehenden PV-Anlagen und dem ermittelten Potenzial für geplante Anlagen auf den Werkhöfen/Stützpunkten des kantonalen Strasseninspektorats 39
- Abbildung 20: Übersicht der maximalen Solarerträge nach Infrastrukturtyp (nach künftigen raumplanerischen Bedingungen; ohne Abzug der bereits installierten Anlagen). 40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vorgehen je Infrastrukturtyp	4
Tabelle 2:	Angewendete Analysemethode pro Infrastrukturtyp	8
Tabelle 3:	Annahmen für die Berechnung des solaren Ertrags geeigneter Objekte je Infrastrukturtyp	9
Tabelle 4:	Beschreibung der verwendeten GIS-Daten.	10
Tabelle 5:	Eingesetzte Auswertungsmethodik für Strassen	11
Tabelle 6:	Einteilung der Zonen nach ihrer Eignung für die Installation von Solaranlagen für die aktuelle sowie revidierten raumplanerischen Vorgaben.	13
Tabelle 7	Zoneneignung: Eignung der an Strassen angrenzende Zonen für PV-Anlagen	14
Tabelle 8:	Eingesetzte Auswertungsmethodik für Rad- und Gehwege	14
Tabelle 9:	Eingesetzte Auswertungsmethodik für Lärmschutzwände	15
Tabelle 10:	Eingesetzte Auswertungsmethodik für Stützmauern und -konstruktionen	16
Tabelle 11:	Eingesetzte Auswertungsmethodik für Grünflächen (inkl. Böschungen)	18
Tabelle 12:	Eingesetzte Auswertungsmethodik für Brücken	19
Tabelle 13:	Eingesetzte Auswertungsmethodik für Tunnel und Galerien	21
Tabelle 14	Bewertung des Infrastrukturtyps Strassen. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.	25
Tabelle 15	Bewertung des Infrastrukturtyps Strassen. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.	27
Tabelle 16	Bewertung des Infrastrukturtyps Lärmschutzwände. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.	30
Tabelle 17	Bewertung des Infrastrukturtyps Stützmauern. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.	32
Tabelle 18	Bewertung des Infrastrukturtyps Grünflächen (inkl. Böschungen). Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.	35
Tabelle 19	Bewertung des Infrastrukturtyps Brücken. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.	37
Tabelle 20	Bewertung der Infrastrukturtypen Tunnel und Galerien. Links eine übergeordnete Expertenschätzung anhand einer Dreierskala an Punkten von «tief» für einen Punkt zu «hoch» für drei Punkte.	38
Tabelle 21	Herleitung des solaren Potenzials für die Infrastrukturtypen im Kanton St. Gallen (künftiges RPG)	40