





# Photovoltaik- Freiflächenpotenzial in Tirol



# Photovoltaik-Freiflächenpotenzial in Tirol

## Bericht

Kurztitel	Photovoltaik-Freiflächenpotenzial in Tirol	
Langtitel	Photovoltaik-Freiflächenpotenzial in Tirol – GIS-basierte Abschätzung der Photovoltaik-Freiflächenpotenziale in Tirol	
Auftraggeber	 Amt der Tiroler Landesregierung Abteilung Wasser-, Forst- und Energierecht Heiliggeiststr. 7 6020 Innsbruck	
Auftragnehmer	 Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH Leopoldstr. 3 6020 Innsbruck	
Projektzeitraum	12/2020 - 08/2022	
Gegenstand	Diese Arbeit umfasst die Ausarbeitung von Eignungs- und Ausschluss-Kriterien für Photovoltaik-Anlagen in Tirol, die Ausweisung potenziell geeigneter Photovoltaik-Standorte und Ausschlussflächen sowie die Abschätzung und räumliche Darstellung möglicher PV-Potenziale in Tirol.	
Autoren	Dipl.-Geogr. Pamela Blome, Tjark Duncker M.A, Dipl.-Ing. Elisabeth Patauner, Johannes Riedel B.Sc., Rabeneick Nils, M.Sc., Dipl.-Ing. Rupert Ebenbichler	Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH
In Zusammenarbeit mit	Dipl.-Ing. Daria Sprenger Mag. Johann Niedertscheider	Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Raumordnung und Statistik

# Inhalt

	Seite
1 Zusammenfassung.....	7
2 Veranlassung und Zielsetzung.....	8
3 Begriffsbestimmungen .....	9
3.1 PV-Freiflächenanlage .....	9
3.2 PV-Freiflächenpotenzial .....	9
4 Verwendete Grundlagen und Stand der Technik.....	11
4.1 Leitfäden und sonstige Regelungen aus den Bundesländern .....	11
4.2 Geodatenätze .....	11
4.3 Solarzelltypen.....	14
4.4 PV-Modultypen .....	18
4.5 Anlagenbau, Wartung und Rückbau .....	19
4.6 Anlagenausführungen .....	20
4.7 Mittlere spezifische Kosten einer PV-Freiflächenanlage.....	21
5 Methodik .....	24
5.1 Festlegung der Kriterien für die Flächenauswahl.....	24
5.2 Ermittlung von Basisflächen.....	24
5.3 Berechnung des technischen Potenzials .....	25
5.4 Auswahl relevanter PV-Freiflächen .....	27
5.5 Potenzialermittlung relevanter PV-Freiflächen.....	27
6 Fachspezifische Eignungs-/Ausschlusskriterien .....	28
6.1 Ausschlusskriterien .....	28
6.2 Kriterium Einzelfallprüfung .....	31
6.3 Eignungskriterium .....	32
7 Technische Nutzung von Freiflächen .....	33
7.1 Bereits versiegelte Flächen .....	34
7.2 Freiflächen im Nahbereich bestehender Infrastruktureinrichtungen.....	44
7.3 Grünland- und Ackerbauflächen .....	50
7.4 Alpine Flächen .....	54
8 Ergebnisse .....	64
8.1 Ermittlung geeigneter Flächen und deren Potenzial.....	64
8.2 PV-Ertragspotenzial nutzbarer Freiflächen – Detailbetrachtung .....	66
8.3 Zusammenfassung.....	75

9	Abbildungsverzeichnis.....	76
10	Tabellenverzeichnis.....	77
11	Literaturverzeichnis.....	78



# 1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Land Tirol verfolgt das Ziel, bis zum Jahr 2050 energieautonom zu sein. Um eine klimaneutrale Energieversorgung zu gewährleisten, wird ein massiver Ausbau der Erneuerbaren Energien angestrebt – ein Baustein hierzu sind Photovoltaikanlagen auf Freiflächen. Gemäß „Energie-Ziel-Szenarien Tirol 2050 mit Zwischenziel 2030“ (EBENBICHLER et al. 2021) werden dafür neben gebäudebezogener- auch rund 560 GWh/a Strom aus Freiflächen-Photovoltaik benötigt. Die Wasser Tirol wurde daher mit gegenständlicher Studie zur Abschätzung im Land vorhandener Freiflächen-Photovoltaik-Potenziale beauftragt.

Gegenständlicher Bericht gibt zunächst einen Überblick über Leitfäden und sonstige Regelungen aus den Bundesländern, über verfügbare Geodatenätze, den aktuellen Stand der Technik und verschiedenste Ausführungen von Photovoltaikanlagen. Im Weiteren wird die methodische Vorgehensweise zur Ermittlung der relevanten Flächen und Photovoltaik-Potenziale dargestellt. Weiters werden konkrete technische Lösungen für die Nutzung von Freiflächen erhoben und dargestellt.

In Abstimmung mit verschiedenen Fachabteilungen des Landes sowie der Wildbach- und Lawinerverbauung Tirol wurden in Arbeitsgruppensitzungen unter der Federführung der Abteilung Raumordnung und Statistik Ausschluss- und Eignungskriterien für die Nutzung von Freiflächen erarbeitet. Anschließend konnten die Größe und das PV-Potenzial nicht-ausgeschlossener Flächen durch eine computergestützte Analyse von Geodaten unter Berücksichtigung des Solarkatasters Tirol berechnet werden. Diese Flächen umfassen rund 2.100 km<sup>2</sup>, was einem Potenzial von rund 220.000 GWh/a entspricht.

Für diese grundsätzlich geeigneten Flächen wurde anschließend eine Detailbetrachtung durchgeführt, um das jeweilige Potenzial von ausgewählten Freiflächen, welche auch technisch erschlossen werden können, abzuschätzen. Dabei konnten in der Geodaten-Analyse Freiflächen mit einem Potenzial von rund 188.910 GWh/a berücksichtigt werden. Der Großteil davon mit rund 188.180 GWh/a fällt auf hochalpine Flächen und Almgebiete. Da diese jedoch das Tiroler Landschaftsbild prägen, teilweise von hoher ökologischer Bedeutung sind und eine wirtschaftliche Nutzung wegen der teils schweren Zugänglichkeit ungewiss ist, muss eine Erschließung dieser un bebauten Gebiete für PV-Anlagen genau geprüft werden.

Das Potenzial der verbleibenden Flächen beläuft sich auf insgesamt rd. 730 GWh/a. Das größte Potenzial innerhalb dieser Flächen kann dabei mit 283 GWh/a durch die Überdachung von Großparkplätzen erschlossen werden. Ein Potenzial von 246 GWh/a wurde für Fahrbahnüberdachungen/-einhausungen abgeschätzt, deren Umsetzung jedoch mit zahlreichen technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen verknüpft ist. Rund 91 GWh/a können den Berechnungen zufolge auf Verkehrsrandflächen lukriert werden. Das ermittelte Potenzial auf Deponieflächen beträgt rund 56 GWh/a. Ein weiteres Potenzial von 50 GWh/a bieten Lärmschutzwände, Kläranlagenflächen und Brücken.

Diese Auswertung zeigt, dass ein großer Teil der erforderlichen Stromerzeugung aus Photovoltaik-Freiflächenanlagen für die Erreichung der im Tiroler Zielszenario definierten Zielwerte auf bereits genutzten, versiegelten oder geringwertigen Flächen erzeugt werden kann.

## 2 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

In Übereinstimmung mit Europäischen und Bundeszielen verfolgt Tirol das Ziel, bis zum Jahr **2050 energieautonom** zu werden. Der dann benötigte Energiebedarf soll – im Jahressaldo betrachtet – vollständig aus vorzugsweise heimischen, auf jeden Fall jedoch erneuerbaren Energieressourcen gedeckt werden.

Im Ergebnis attestierte die 2021 veröffentlichte Studie „Energie-Ziel-Szenarien Tirol 2050 mit Zwischenziel 2030“ (EBENBICHLER et al. 2021), dass dieses Ziel mit den derzeit vorhandenen technologischen Lösungen und den vorhandenen heimischen, erneuerbaren Energieressourcen **in Tirol möglich** ist. Wesentlich ist, mit zielgerichteten, „richtigen“ Maßnahmen zur Effizienzsteigerung sowie zur Energieeinsparung umgehend und forciert zu beginnen und die aufgezeigten Zielpfade in den Bereichen Gebäude, Mobilität und Produktion konsequent zu verfolgen. Die Studie zeigte darüber hinaus deutlich, dass der notwendige Umbau des gesamten Energiesystems nicht auf Basis eines oder weniger Energieträger erfolgen kann, sondern dass zukünftig **alle heimischen Energieträger Tirols** in die zukünftige Energiebedarfsdeckung einzubinden sind, wobei zukünftig Strom der bedeutendste Energieträger sein wird.

Bei einem um rund 37% gegenüber heute reduzierten Endenergiebedarf werden gemäß Zielszenario rund 45% bzw. rund 7.000 GWh/a des Endenergieträgers Strom benötigt. Dadurch, dass bis 2050 viele Umwandlungsanlagen im Sekundärenergiebereich effizienzbedingt strombasiert betrieben werden sollen, steigt der **Strombedarf auf der Primärenergie-Seite auf rund 14.000 GWh/a**.

Die Wasserkraft alleine wird diese Strommenge nicht bereitstellen können. Das Zielszenario geht von rund 9.400 GWh/a Wasserkraft-Strom aus. Da die Stromerzeugungspotenziale aus Windkraft sowie aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit rund 470 GWh/a als eher gering anzusehen sind und davon ausgegangen wird, dass auf Gebäudedächern lediglich eine Photovoltaik-Stromausbeute von rund 3.300 GWh/a zu erzielen sein wird, sind die verbleibenden **rund 560 GWh/a Strom mittels Freiflächen-Photovoltaikmodulen** zu gewinnen.

Da die **Möglichkeiten von Standorten und der Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen** inklusive der dort möglicherweise lukrierbaren Strommengen in Tirol **bisher gesamthaft nicht untersucht** wurden, wurde die Wasser Tirol vom Land Tirol beauftragt,

- **Kriterien für die Ausweisung von Eignungs- und Ausschlussflächen** zu erarbeiten und mit diversen Stellen des Landes abzustimmen,
- **mögliche Standorte** mit Stromerzeugungspotenzialen mittels Photovoltaik-Freiflächenanlagen auszuweisen und deren Höhe zu bestimmen und
- die möglichen Freiflächenpotenzialflächen **graphisch darzustellen** und die Daten ggf. so aufzubereiten, dass diese in die **tiris-Plattform** des Landes integriert werden können.

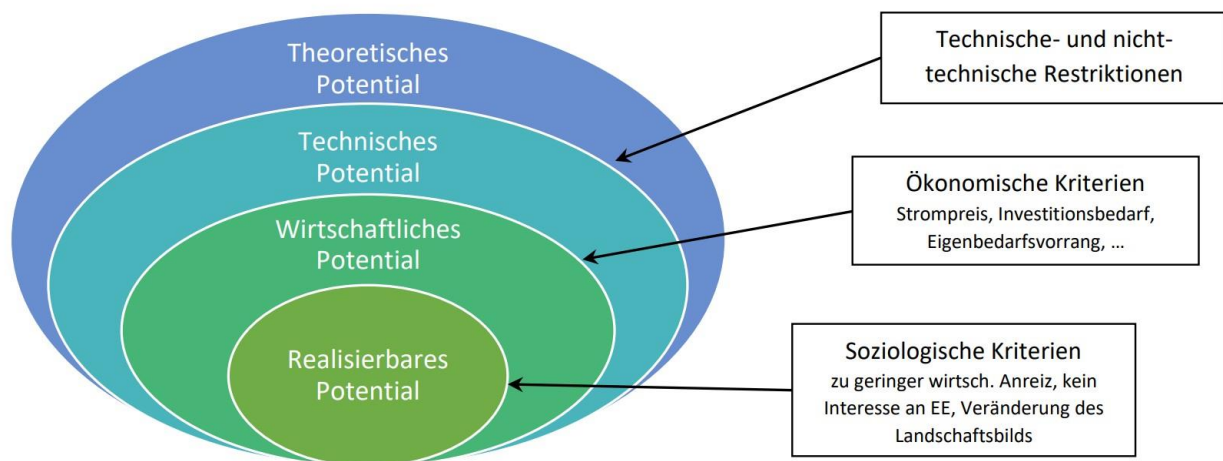


## 3 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

### 3.1 PV-Freiflächenanlage

Eine einheitliche, gesetzlich festgelegte Definition für Photovoltaik-Freiflächenanlagen existiert nicht. Daher wird im Rahmen der vorliegenden Studie eine PV-Freiflächenanlage als Anlage verstanden, welche *nicht* auf einem bestehenden Gebäude (Aufdachanlage) montiert, gebäudeintegriert ausgeführt oder anderweitig mit einem Gebäude verbunden ist (bauwerksgebundene Anlage), sondern mit Hilfe einer Unterkonstruktionen auf dem Boden oder an bestehenden baulichen Anlagen (z.B. Lärmschutzeinrichtungen) errichtet ist (LANUV 2013; AdBLR 2021).

### 3.2 PV-Freiflächenpotenzial



Quelle: FECHNER (2020)

Abb. 1: Potenzial-Begriffsbestimmung und deren Abgrenzung (verändert)

#### 3.2.1 Theoretisches Potenzial

Das theoretische Potenzial umfasst die maximal mögliche Energieerzeugung von PV-Freiflächenanlagen auf Basis des gesamten verfügbaren Dargebotes. Dementsprechend basiert die Berechnung auf dem gesamten physikalischen Angebot an einfallender Globalstrahlung ohne Einschränkungen, lediglich der Wirkungsgrad des PV-Systems (PHOTOVOLTAIK AUSTRIA 2020) wird mitberücksichtigt. Änderungen des theoretischen Potenzials können nur durch Wirkungsgradsteigerungen, klimatische Änderungen (verringerte Wirkungsgrade durch steigende Temperaturen) oder Zunahme verfügbarer Flächen bedingt werden (FECHNER 2020).

#### 3.2.2 Technisches Potenzial

Bei der Ausweisung des technischen Potenzials werden grundlegende technische und gesetzliche Randbedingungen wie beispielsweise der Stand der Technik oder verfügbare Flächen berücksichtigt. Damit fällt das technische Potenzial geringer aus als das theoretische. Letzteres wird um gesetzlich und technisch ausgeschlossene Flächen reduziert. Das technische Potenzial ist beispielsweise abhängig von Änderungen gesetzlicher Rahmenbedingungen, technologischen Entwicklungen oder der Erschließung neuer Flächen (FECHNER 2020).

### **3.2.3 Wirtschaftliches Potenzial**

Das wirtschaftliche Potenzial berücksichtigt auf Basis des technischen Potenzials zusätzlich die Wirtschaftlichkeit. PV-Anlagen als Investition sind nur dann wirtschaftlich sinnvoll, wenn die Erlöse der Anlage die Kosten zumindest decken. Bei der Berechnung des wirtschaftlichen Potenzials werden von technisch geeigneten Flächen solche mit bspw. nördlicher Ausrichtung oder schwerer Zugänglichkeit abgezogen. Je nach technischen (Eigenverbrauch) rechtlichen (Einspeisevergütung) und wirtschaftlichen (Amortisationszeit, Risikozuschläge, ...) Kriterien, welche bei der Berechnung verwendet werden, kann sich das wirtschaftliche Potenzial ändern.

### **3.2.4 Realisierbares Potenzial**

Das realisierbare Potenzial berücksichtigt alle Faktoren, welche die Umsetzung eines PV-Projekts hindern können. Hierzu zählen beispielsweise gesellschaftliche Akzeptanz oder bürokratische Hürden.

## 4 VERWENDETE GRUNDLAGEN UND STAND DER TECHNIK

### 4.1 Leitfäden und sonstige Regelungen aus den Bundesländern

Zur Ausweisung von Eignungs- und Ausschlussflächen für Photovoltaik-Freiflächenanlagen wurden in Abstimmung mit den eingebundenen Stellen des Landes Tirol diverse Studien, Daten, Leitfäden und Regelungen aus den Bundesländern und angrenzenden Ländern (v.a. Deutschland und Schweiz) berücksichtigt, insbesondere:

- Leitfaden Nutzung von Freiflächen für PV- und Solarwärmeanlagen, MA20 .....(VOGL ET AL. 2015)
- Leitfaden Energie mit Energieziel-Berücksichtigung im REK .....(LAND SALZBURG 2016)
- NÖ Photovoltaik-Leitfaden..... (ADNOELR 2020)
- Arbeitsprogramm 2019-2024, Punkt 3.1.2: Auf Grün- und Ackerflächen [...] sollen auch weiterhin keine PV-Anlagen errichtet werden. ....(ADVLR 2019)
- Rahmenrichtlinie PV-Anlagen auf Freiflächen für das Burgenland 2020..... (ADBLR 2021)
- Die Kraft der Sonne nutzen – Leitfaden Standortplanung PV-Anlagen ..... (ADKLR 2021)
- OÖ Photovoltaik Strategie: Kriterienkatalog PV-Freiflächenanlagen ..... (LAND OBERÖSTERREICH 2021)
- Leitfaden Standortplanung und Standortprüfung für PV-Freiflächenanlagen. Prüflisten 2020.....(AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2021)

### 4.2 Geodatensätze

Die durchgeführte Potenzialabschätzung basiert im Wesentlichen auf von den Fachabteilungen des Landes Tirol im Rahmen der Projektbearbeitung **bereitgestellten Geodaten**, welche in Tab. 1 angeführt sind. Zu einzelnen Flächenausprägungen – wie beispielsweise Retentionsräumen – konnten seitens des Landes keine Geodatensätze bereitgestellt werden, so dass diese Ausprägungen in der Potenzialabschätzung nicht berücksichtigt werden konnten.

Es ist zu beachten, dass die Erfassung der Flächenausprägungen in verschiedenen Maßstäben durchgeführt wurde, so dass die Datensätze abweichende Genauigkeiten aufweisen, wodurch **topologische Unschärfen** entstehen können. Auch liegen **einzelne Kriterienflächen nicht flächendeckend** für Tirol vor. Der Geodatensatz Biotopkartierung Tirol beinhaltet beispielsweise keine hochgelegenen Flächen.

Für einzelne Flächenkategorien wurden auf Basis unterschiedlicher Geodatenquellen im Rahmen der Potenzialermittlung **eigene Erfassungen** durchgeführt – beispielsweise bei Parkplatzflächen und Wildtierkorridoren. Diese erheben **keinen Anspruch auf Vollständigkeit**.

Für die Potenzialabschätzung wurde ergänzend der **Solarkataster Tirol 2013** berücksichtigt.

Tab. 1: Verwendete Geodaten

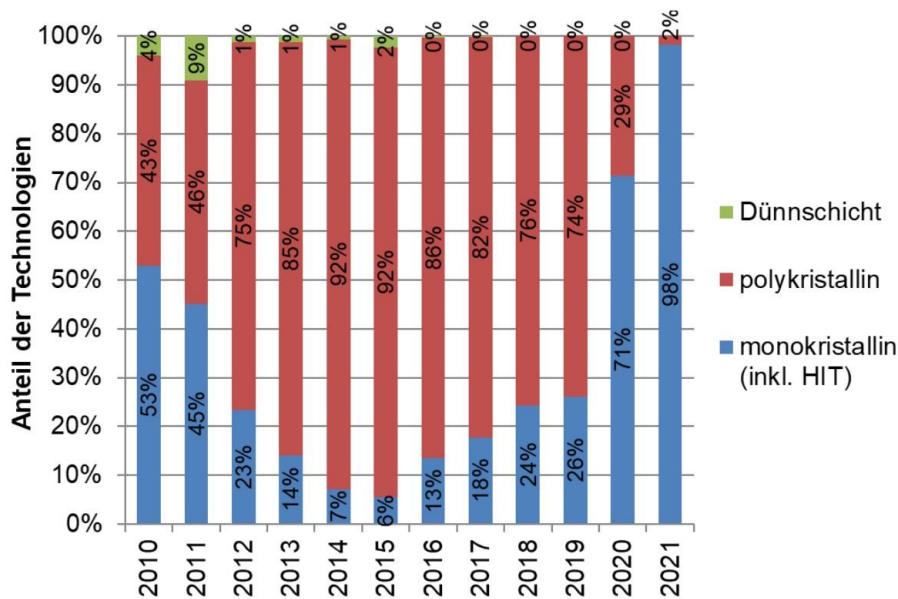
Fachabteilung/Datensatz	Relevante Flächen	Geodatensatz Bez.	Geodaten tirolweit?	Erfassungsmaßstab	Kriterium	Quelle
<b>Raumordnung</b>						
Landwirtschaftliche Vorsorgeflächen/Vorrangflächen und Grünzonen	Flächen, welche durch ein Raumordnungsprogramm einer anderen Nutzung vorbehalten sind; gesamter Datensatz (LWV, GZV, AUSLV)	URP_FREIHALTEGEBIETE	Ja	1:5.000	Ausschluss	OGD Tirol
Gesteinspotenziale nach dem österreichischen Rohstoffplan (Rohstoffpotenziale + bestehende Abbaugebiete im Betrieb)	Gesamter Datensatz	ROHST_ABBAUPOT	Ja	k.A.		AdTLR RO tiris
Gebäude	Gesamter Datensatz		Ja	1:5.000		OGD Tirol
Wildtierkorridore	Eigene Erfassung	Textdokument Abteilung RO	Ja			Eig. Erstellung
Digitale Katastralmappe Nutzungsfläche	Dauerkulturanlage oder Erwerbsgarten, Freizeitfläche, Friedhof, Garten und Schienenverkehrsanlage	DKM_NFL	Ja	1:1.000		AdTLR RO tiris
Hochwertige Siedlungsflächen/Siedlungserwartungsland	Siedlungsentwicklungsfläche (SEFL)	ORSEF	Ja	1:5.000		
Parkplatzflächen	Gesamte PP-Flächen	Eig. Erstellung (Basis DKM_NUTZ, EFWP, LNTZ, OSM, OPH)	Ja		Eignung	Eig. Erstellung
Speicherteiche	Gesamte große Speicher, Beschneigungsteiche nicht relevant		Ja			AdTLR RO tiris
Lärmschutzwände	Lärmschutzwände Straße/Bahn		Ja			ASFINAG/OEBB
Deponieflächen	Sämtliche Flächen, sofern nicht anderer Nutzung zugeführt und technisch möglich		Ja			AdTLR RO tiris
<b>Agrarwirtschaft</b>						
Finanzbodenschätzung (Hochwertige landwirtschaftliche Böden)	Produktionsfunktion_ab3_mittel: Alle Böden der Finanzbodenschätzung, die bei der Bodenteilfunktion „Produktionsfunktion“ einen Funktionserfüllungsgrad „mittel (3)“, „hoch (4)“, „sehr hoch (5a)“ und „sehr hoch beste 10% (5b)“ aufweisen, gesamter Datensatz	FBS_PRODFUNKT_AB3_MITTEL	Nein	1:2.000	Ausschluss	AdTLR Agrar tiris
Finanzbodenschätzung (Hochwertige landwirtschaftliche Böden)	Böden hoher Funktionserfüllung: Böden hoher Funktionserfüllung sind auffallend leistungsfähig hinsichtlich einer oder mehrerer Bodenfunktionen; gesamter Datensatz	FBS_BOEDEN_HOHER_FUNKTERF	Nein	1:2.000		AdTLR Agrar tiris
<b>Forstwirtschaft</b>						
Waldentwicklungsplan	Flächen mit erhöhter, hoher Schutz-, Wohlfahrts-, Erholungsfunktion WEP 122, 212, 222 (Nutzfunktion), WEP 223 (Erholungsfunktion), WEP 232, 233 (Wohlfahrtsfunktion), WEP 311, 312, 321, 322, 332, 323, 333 (Schutzfunktion)	WFU_WALDENTWP	Ja	1:50.000	Ausschluss	OGD Tirol
Waldkategorien	SAE (Schutzwald außer Ertrag), SAEL (Schutzwald außer Ertrag – Latschen), Schutzwald im Ertrag (SIE), Wirtschaftswald, mittlere Schutzfunktion (WS2)	WALDKAT	Ja	1:5.000		OGD Tirol
Waldbrandgefahr - prädisponierte Flächen	S/SW-gerichtete Waldflächen (insbesondere dort, wo sich viele Menschen aufhalten, sind auch die Brandflächen aufgrund des einstrahlungsbedingt gegebenen Kamineffekts in der Regel größer als auf Nord- und Osthängen)	Keine Geodaten		div.	Einzelfall	
Waldentwicklungsplan	Flächen ohne erhöhte, hohe Schutz-, Wohlfahrts-, Erholungsfunktion WEP 111, 121, 112	WFU_WALDENTWP	Ja	1:50.000	Eignung	
Waldentwicklungsplan bzw. Waldflächen – bewaldete Autobahnzwickel	Verkehrsrandflächen Autobahnzufahrten/-abfahrten unabhängig von WEP, Achtung bei Überschneidung mit Biotopfläche hoher ökologischer Wertigkeit	WFU_WALDENTP DKM_NFL	Ja	1:50.000 1:1.000		OGD Tirol, AdTLR RO tiris
<b>Wasserwirtschaft</b>						
Wasserinformation Flächen Wasserschutz (Wasserschutz- und Schongebiete)	Wasserschutzgebiete (weiteres/engeres/erweitertes Schutzgebiet, Schutzgebiet)	WIS_TBSRNK	Ja	div.	Ausschluss	AdTLR RO tiris
Gefahrenzonen Flussbau	Rote Gefahrenzonen nach WRG (RZFB) (Anmerkung: Rote GFZ – Rot gelber Funktionsbereich wird als Ausschluss betrachtet)	WIS_TABU_GZFUFB	Ja	k.A.		AdTLR RO tiris
Gefahrenzonen Flussbau	Gelbe GFZ, rot-gelbschraffierte Funktionsbereiche nach WRG (GZFB)	WIS_TABU_GZFUFB	Ja	k.A.	Einzelfall- prüfung	AdTLR RO tiris
Retentionsräume	Retentionsräume	Keine Geodaten				
Wasserinformation Flächen Wasserschutz (Wasserschutz- und Schongebiete)	Wasserschongebiete	WIS_TBSRNK	Ja	div.		AdTLR RO tiris
<b>Umweltschutz</b>						
Almbereiche	Almfutterflächen laut AMA und Flächen um Almgebäude	ALMGEBIET	Nein	1:1.000	Einzelfall	
Weitere Prüfinhalte für Ausschluss	Bodenbrüter-Lebensraum Braunkehlchen, Feldlerche	Keine Geodaten			Ausschluss	
	Lebensräume geschützter/seltener/gefährdeter Tier-/Pflanzenarten					
	Traditionelle Kulturlandschaft (Orientierungshilfe KLT-Inventarisierung)					

	Ensembleschutz (landschaftsästhetisch wertvolle Bereiche im Bereich denkmalgeschützter Ensembles in der Kulturlandschaft (Radius 500 m, Abstimmung mit Mag. K. Wiesauer, Abtlg. Kultur)					
	Uferschutzbereich stehende natürliche Gewässer (+ 500 m Puffer bei Flächen ab 2.000 m²)					
	Uferschutzbereich fließende Gewässer (+ 5 m Puffer)					
Alpine Naturlandschaften	Landesflächen mit einer Seehöhe über 2.000 m abzüglich Skigebiete	ALPIN-OHNE-SCHIGEBIETE	Ja	-	Einzelfall	
Naturschutzfachliche Ausgleichsflächen	Naturschutzfachliche Ausgleichsflächen, die im Rahmen von Naturschutzverfahren bescheidmäßig vorgeschrieben wurden bzw. ökologische Freihalteflächen, die vertraglich oder grundbücherlich festgeschrieben sind.	AUSGLEICHSFLAECHE	Ja	div.	Ausschluss	
FFH-Lebensraumtypen	Geschützte Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie	BIK-FFH FFH-Lebensraum	Nein	div. div.		
Biotope geschützt nach Naturschutzgesetz und NatSchVO inkl. Wallhecken, Buckelwiesen, Findlinge und Lesesteinhaufen	Biotoptypen	BIK_LN_TYPEN BIK_ÖROK_LN BIK_ÖROK_PL BIK Typen		div. div. div. div.		
Gletscher	Gletscher	GLETSCHER	Ja	1:1.000		
Gletscher-Einzugsgebiete	Gletscher-Einzugsgebiete	GLETSCHER EINZUGSGEBIET		1:1.000		
Gletschermoränen	Gletschervorfeld	GLETSCHERVORFELD		1:20.000		
Schutzgebiete nach Naturschutzgesetz	Natura FFH-Gebiete	NATURA 2000 FFH GEBIET		1:1.000		
	Natura 2000-Gebiete	NATURA 2000 VOGELSCHG		1:1.000		
	Naturdenkmale	NATURDENKMAL NACH NSG		div.		
	Naturwaldreservate	NATURWALDRESERVAT NACH NSG		div.		
	Schutzgebiete NSG	SCHUTZGEBIET NSG		div.		
	Schutzgebiete RAMSAR	SCHUTZGEBIET RAMSAR		div.		
Stehende Gewässer > 2.000 m²	Seen	SEEN		1:5.000		
Vogelprojektgebiete	Wiesenvogel-Brutgebiete	VOGELPROJEKTGEBIETE		1:10.000		
Vogelrastgebiete	Bedeutende Rastgebiete für Zugvögel	VOGELRASTGEBIETE		-		
<b>Wildbach- und Lawinerverbauung</b>						
Gefahrenzonen WLW - Lawine	GZ Lawine rot (LWR)	GZWLA		1:2.000	Ausschluss	AdTLR RO tiris
Gefahrenzonen WLW - Wildbach	GZ Wildbach rot (WBR)	GZWWB		1:2.000		AdTLR RO tiris
Gefahrenzonen WLW - Lawine	GZ Lawine gelb (LWG)	GZWLA		1:2.000	Einzelfall	AdTLR RO tiris
Gefahrenzonen WLW - Wildbach	GZ Wildbach gelb (WBG)	GZWWB		1:2.000		AdTLR RO tiris
Stützverbauung oberhalb Waldgrenze		Keine Geodaten			Eignung	
Geschiebestausperre (Lage großteils ungünstig, da in Schattenlagen)		Keine Geodaten				
<b>Geologie</b>						
Brauner Hinweisbereich Steinschlag	BHBST (Brauner Hinweisbereich Steinschlag), BHBSG, BHBSR (Bereiche niedriger/hoher Gefahrenintensität)	GZWBHB		2.000	Ausschluss	AdTLR RO tiris
Brauner Hinweisbereich außer Steinschlag	Gesamter Datensatz exklusive BHBST, BHBSG, BHBSR (s. Ausschluss)	GZWBHB		2.000	Einzelfall	AdTLR RO tiris
<b>ESA</b>						
Sämtliche Flächen sind als Einzelfall zu betrachten					Einzelfall	

### 4.3 Solarzelltypen

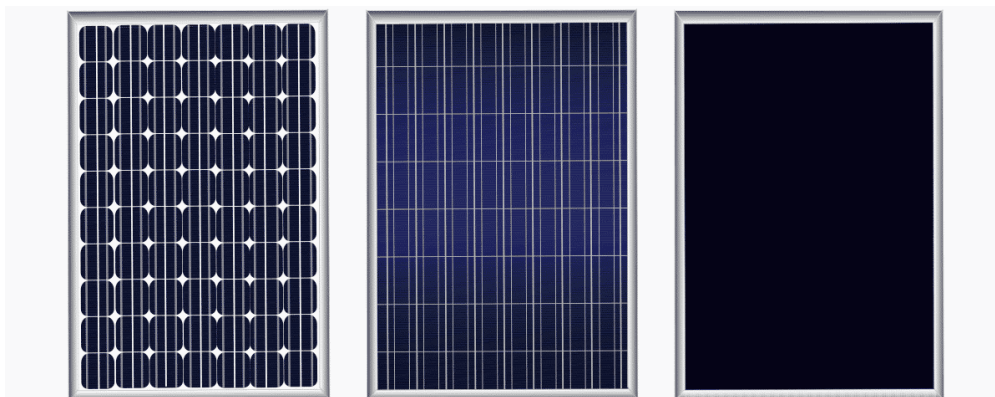
Rund 95 % der derzeit weltweit eingesetzten Solarzellen basieren auf mono- oder polykristallinen Siliziumzellen (FECHNER 2020) – rund ein Drittel davon entfällt auf monokristalline Zellen. Deren Anteil steigt gegenüber dem Anteil polykristalliner Siliziumzellen aufgrund ihrer höheren Effizienz.

In **Österreich** liegt der **Anteil mono-/polykristalliner Zellen** bei insgesamt **fast 100 %** (monokristallin 71 %, polykristallin 29 %). Dünnschichtzellen spielen derzeit noch kaum eine Rolle (BIERMAYR ET AL. 2022)), bieten aber aufgrund ihrer Eigenschaften eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten (z.B. dünne/leichte PV-Zellen, roll-/faltbar).



Quelle: (BIERMAYR ET AL.2022)

Abb. 2: Entwicklung installierte Solarzellentypen in Österreich 2010 bis 2020



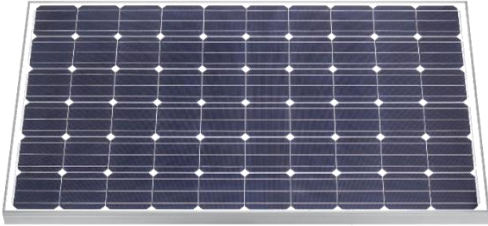
Quelle: Solar Magazine

Abb. 3: Solarmodultypen: mono-/polykristallines Silizium (links, Mitte) und Dünnschicht (rechts)



### 4.3.1 Monokristalline Siliziumzellen

Tab. 2: Monokristalline Siliziumzellen – wesentliche Kenndaten

Kenndaten		Quelle
<b>Beschreibung/ Marktanteil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ PV-Zellen aus einkristallinen Siliziumscheiben (c-Si)</li> <li>⌘ Großteil aller neuen PV-Anlagen in Österreich monokristallin (Anteil steigend, da hoher Wirkungsgrad und wachsender Absatzmarkt)</li> </ul>	(BIERMAYR ET AL. 2022) energie-experten.org solaranlagen-portal.com
<b>Herstellung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ Züchtung von Einkristallen aus Schmelztiegel durch Ziehen, anschließend werden diese in dünne, runde Scheiben (Wafer) geschnitten (Herstellung zeit- und energieaufwändig, deshalb schlechtere Umweltbilanz als andere Zelltypen).</li> </ul>	pvaustria.at solaranlagen-portal.com
<b>Zellfläche/ Modulmaße</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ gegenwärtig ca. 1.700 x 1.038 x 40 mm (1,76 m<sup>2</sup>)</li> </ul>	solaranlagen-portal.com
<b>Nennleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ ca. 300 – 400 W</li> </ul>	solaranlagen-portal.com
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ herstellerabhängig zwischen 200 und 430 EUR/kW<sub>p</sub></li> <li>⌘ Produktion um 10 bis 20 % teurer als bei polykristallinen PV-Zellen</li> </ul>	solaranlagen-portal.com pvxchange.com
<b>Lebensdauer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ 25 bis 30 Jahre</li> </ul>	umwelt.nrw.de
<b>Aussehen/ Besonderheit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ Zellen achteckig (ursprünglich runder mono-Kristall)</li> <li>⌘ Früher bläulich, inzwischen dunklere Farbe (bessere Absorption)</li> <li>⌘ stromführendes Gitter aus Fingern auf Vorderseite sichtbar</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>(globalsolarsupply.com)</p> </div>	IBC SOLAR AG
<b>Modul- Wirkungsgrad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ 16 bis 22 %</li> </ul>	(FRAUNHOFER ISE 2022)
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ hoher Wirkungsgrad</li> <li>⌘ lange Lebensdauer</li> <li>⌘ geringe Anfälligkeit gegenüber Umweltfaktoren</li> <li>⌘ relativ langsame Degradierung</li> </ul>	
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ Anfälligkeit für Temperatur und diffuse Lichtverhältnisse, bei steigenden Temperaturen verringert sich der Wirkungsgrad</li> <li>⌘ höhere Kosten aufgrund der aufwändigen Produktion</li> </ul>	
<b>Anwendungsbereich</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ Ursprünglich auf kleinen Flächen mit hohen Leistungsanforderungen, inzwischen in allen Bereichen genutzt</li> </ul>	
<b>Entwicklung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ aufgrund sinkender Kosten bei steigender Effizienz verstärkter Einsatz</li> </ul>	pvaustria.at
<b>Hersteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ z.B. IBC Solar (D), Suntech, Schott Solar (D), Aleo Solar (D), Jinko Solar (China)</li> </ul>	solaranlagen-portal.com


### 4.3.2 Polykristalline Siliziumzellen

Tab. 3: Polykristalline Siliziumzellen – wesentliche Kenndaten

Kenndaten		Quelle
<b>Beschreibung/ Marktanteil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ bestehend aus zahlreichen kleinen Siliziumkristallen, welche unterschiedliche Kristallorientierung aufweisen</li> <li>⊗ gegenwärtiger Marktanteil rund 70 % (Tendenz sinkend bedingt durch Preisminderung bei effizienteren Mono-Si-Zellen)</li> </ul>	solaranlagen-portal.com energie-experten.org
<b>Herstellung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ quadratische Wafer werden aus langsam abgekühlten Poly-Si-Gussblöcken geschnitten (industriell skalierbarer, kostengünstiger Prozess).</li> </ul>	pvaustria.at solaranlagen-portal.com
<b>Zellfläche/ Modulmaße</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ gegenwärtig im Durchschnitt ca. 1.600 x 1.000 x 40 mm (1,6 m<sup>2</sup>)</li> </ul>	solaranlagen-portal.com
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ je nach Hersteller zwischen 150 und 270 EUR/kW<sub>p</sub></li> <li>⊗ Produktion um 10 bis 20 % günstiger als bei monokristallinen PV-Zellen</li> </ul>	brenner-energie.de
<b>Lebensdauer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ 25 bis 30 Jahre</li> </ul>	umwelt.nrw.de
<b>Aussehen/ Besonderheit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Bläulich und heller</li> <li>⊗ Kristallordnung oftmals sichtbar</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>(secondsol.com)</p> </div>	(SOLVIS GmbH & Co KG 2021)
<b>Modul- Wirkungsgrad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ 13 bis 16 %</li> </ul>	ases.org
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ etablierte Technologie</li> <li>⊗ ursprünglich deutlich niedrigere Kosten als Mono-Si-Module</li> </ul>	
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Beeinträchtigung des Wirkungsgrades bei schwachem und diffusem Licht sowie höherer Temperaturen</li> <li>⊗ Deutlich niedrigerer Wirkungsgrad als Mono-Si</li> </ul>	
<b>Anwendungsbereich</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ ursprünglich große Dachflächen und Freilandanlagen, da durch die niedrigen spezifischen Kosten bei hoher Flächenverfügbarkeit im Vergleich zu c-Si mehr Leistung bei gleichem Preis installiert werden kann</li> </ul>	
<b>Entwicklung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ bedingt durch die geringeren Kosten dominierten polykristalline Module den Markt über lange Zeit, inzwischen ist ein starker Rückgang zu beobachten</li> </ul>	pvaustria.at
<b>Hersteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ z.B. Jinko Solar (China)</li> </ul>	

### 4.3.3 Dünnschichtzellen

Tab. 4: Dünnschichtzellen – wesentliche Kenndaten

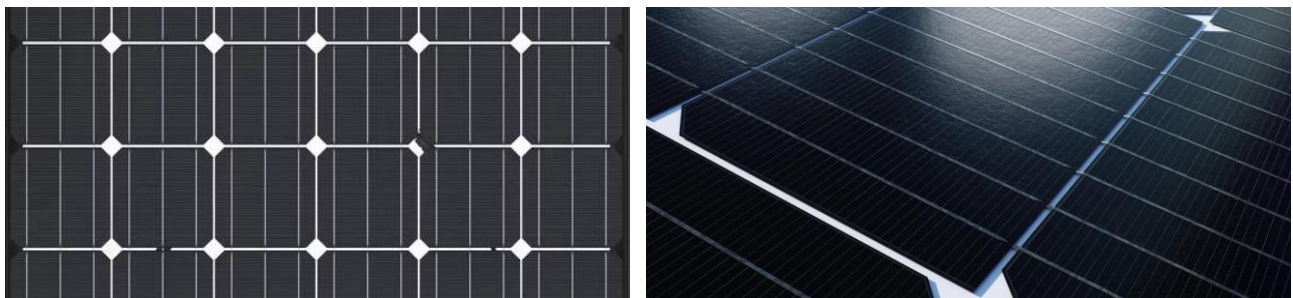
Kenndaten		Quelle
<b>Beschreibung/ Marktanteil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ weltweiter Marktanteil: 8 % an der gesamten Jahresproduktion von Solarmodulen, Tendenz steigend</li> <li>⌘ dünne/leichte PV-Zellen (roll-, faltbar), oft kleiner als kristalline Module</li> <li>⌘ Vielzahl an Ausführungen (Substrat, Architektur), große Bandbreite an Eigenschaften und Wirkungsgraden</li> </ul>	<p>zsw-bw.de solaranlagen-portal.com pvaustria.at energie-experten.org</p>
<b>Herstellung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ Abscheidung der einzelnen Schichten auf Träger (Glas, Kunststoff, Metall), danach Laminierung, erfolgt oft Rolle-zu-Rolle</li> <li>⌘ industriell skalierbar, sehr energiesparend</li> <li>⌘ Halbleitertypen z.B. amorphes Silizium, Cadmiumtellurid (CdTe), CIGS</li> </ul>	<p>solaranlagen-portal.com pvaustria.at</p>
<b>Zellfläche/ Modulmaße</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ Module werden zu „Meterware“, können sich stark in Größe unterscheiden</li> </ul>	<p>ETH Zürich/EMPA</p>
<b>Lebensdauer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ 25 Jahre</li> </ul>	<p>pvxchange.com</p>
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ 200 bis 1.200 EUR/kW<sub>p</sub> (2021)</li> </ul>	<p>solarenergie.de</p>
<b>Aussehen/ Besonderheit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ homogene dunkle Fläche, dünn und je nach Substrat biegsam</li> <li>⌘ Zellen sind streifenförmig in Reihe geschaltet, monolithische Integration aller Verbindungen zwischen Zellen</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>(Solar Frontier)</p> </div>	<p>ETH Zürich/EMPA khaiyalsolar.com</p>
<b>Modul-Wirkungsgrad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ 10 bis 17 %</li> </ul>	<p>wegatech.de</p>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ Skalierbares und damit potenziell billiges Herstellungsverfahren mit weniger Rohstoffbedarf</li> <li>⌘ Dünnschichtzellen haben die kürzeste Energy-Payback-Time und den kleinsten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck</li> <li>⌘ wenig anfällig durch Temperatur und diffuse Lichtverhältnisse</li> <li>⌘ leicht und weniger wartungsbedürftig</li> <li>⌘ Light soaking effect: leichte Erhöhung der Effizienz bei Bestrahlung</li> </ul>	<p>solaranlagen-portal.com pvaustria.at solarenergie.de</p>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ geringerer Wirkungsgrad als Siliziummodule</li> <li>⌘ z.T. Verwendung gesundheitsschädlicher Materialien (z.B. Cadmium)</li> </ul>	<p>solaranlagen-portal.com</p>
<b>Anwendungsbereich</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ breiter Einsatzbereich (aufrollbare Flächen bis Großflächenanlagen)</li> </ul>	
<b>Entwicklung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ viel Forschung, dynamischer Markt, CdTe-Module im Trend</li> </ul>	<p>pvaustria.at</p>
<b>Hersteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌘ z.B. QS Solar, First Solar, Conergy, SolarTec, Sunplugged (A)</li> </ul>	<p>solaranlagen-portal.com</p>

## 4.4 PV-Modultypen

Aus dem elektrischen Zusammenschluss mehrerer PV-Zellen mit anschließender Laminierung (mit EVA/PVB) entsteht ein PV-Modul. Klassische Siliziummodule haben eine Fläche von etwa 1,6 m<sup>2</sup>, sind in einem Aluminiumrahmen eingefasst und anti-reflektiv beschichtet. Der Rahmen dient der Stabilität und der erleichterten Montage des Moduls auf dem Trägergestell. Da die Zellen eines PV-Moduls in der Regel in Serie geschaltet sind, fließt durch sämtliche Zellen die gleiche Stromstärke. Bei Verschattung bzw. Verschmutzung einer einzelnen Zelle kann diese zu einer Einschränkung der Gesamtleistung des Moduls führen und dabei stark überhitzen (Hot Spots). Zur Vorbeugung werden daher zusätzliche Bypass-Dioden eingebaut.

### 4.4.1 Halb- und Drittelzellenmodule

Leistungsverluste innerhalb von Solarzellen basieren unter anderem auf dem elektrischen Widerstand der verwendeten Materialien. Diese Verluste sind proportional zum Quadrat der Stromstärke. In Halbzellenmodulen (Abb. 4) werden daher alle Zellen (und damit auch die Stromstärke in den Zellen) halbiert, was die Verluste viertelt. Eine Parallelschaltung der Halbzellen sorgt des Weiteren dafür, dass das Problem von Hot Spots durch Verschattung oder Verschmutzung teilweise entschärft wird. Demnach zeichnen sich Halb- und Drittelzellenmodule vor allem durch hohe Leistung und ein besseres Verhalten bei Verschattung aus.



Quelle: solarenergie.de, energie-experten.org

Abb. 4: Mono-Si Modul mit schwarzem Rahmen (links) und Glas-Folie-Halbzellenmodul (rechts)

### 4.4.2 Glasmodule

Glasmodule werden unterteilt in Glas-Glas- und Glas-Folie-Module. Bei beiden Arten besteht die Vorderseite aus gehärtetem Glas, welches besonders lichtdurchlässig ist und die Zellen vor Feuchtigkeit und mechanischen Einwirkungen schützt. Durch die stabile Struktur haben Glasmodule eine hohe Lebensdauer, weisen jedoch auch erhöhte Montagekosten auf, da sie mehr Verankerungspunkte benötigen und schwerer sind. Glas-Glas-Module besitzen den Vorteil, dass die Zellen in der neutralen Faser des symmetrischen Querschnitts liegen und daher unter Belastung wenig Scherkräfte erfahren. Bei Glas-Folie-Modulen dagegen können unter Biegebelastung Zellrisse entstehen – dafür weisen sie ein geringeres Gewicht auf und sind günstiger.

### 4.4.3 Bifaziale Module

Bei bifazialen Solarmodulen handelt es sich um Module, die beidseitig photoelektrisch aktiv sind. Dies ist besonders bei reflektierendem Untergrund oder bei vertikaler Aufstellung interessant und führt zu einer erhöhten

Stromproduktion. Der erzielte Mehrertrag hängt von Reihen- und Bodenabstand und Anstellwinkel, vor allem jedoch von der Albedo des Untergrundes ab. Bei weißem Untergrund kann die Stromerzeugung um bis zu 20 % gesteigert werden (SOLARWORLD 2016), durchschnittliche Werte liegen bei 6 bis 8 % (FELDMAN ET AL. 2021). Durch die Möglichkeit einer vertikalen Aufstellung können bifaziale Anlagen auch bei knappem Platzangebot hohe Erträge erzielen. Insbesondere in der Agro-Photovoltaik oder bei der Integration in Lärmschutzwänden schaffen sie Möglichkeiten, um zusätzliche Standorte zur Stromproduktion zu schaffen. Die Autoren des Berichts „International Technology Roadmap for Photovoltaic“ gehen davon aus, dass der PV-Markt in Zukunft von bifazialen Modulen dominiert werden wird (FISCHER ET AL. 2022).



Quelle: energie-experten.org, swissolar.ch

Abb. 5: PV-Freiflächenanlage aus bifazialen Modulen – Beispiel Donaueschingen (links) und Aubrugg (rechts)

## 4.5 Anlagenbau, Wartung und Rückbau

Bei der Errichtung klassischer PV-Freiflächenanlagen ist eine Unterkonstruktion aus Gründung und Aufständering notwendig, da eine Montage der Module direkt am Boden nicht möglich ist. Die **Aufständering** ist mittels **Fundamenten** im Boden verankert und besteht aus Trägergestellen aus Stahl, Aluminium oder Holz (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2011).

### Gründung

Abhängig von den Bodenverhältnissen sind Rammpfähle (Rammtiefe 1,4 bis 1,9 m), Schraubdübel/Erdschraub-Anker (bis 1,6 m) oder schwimmend verankerte Fundamente aus Beton üblich (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2011).



Quelle: lfu.bayern.de, sunmodo.com

Abb. 6: Rammprofil, Fundament aus Beton und Erdschraub-Anker (v.l.n.r.)



Da Fundamente aus Beton kostenintensiv sind, erfolgt deren Einsatz v.a. bei fehlender Eignung oder Möglichkeit einer Rammung – beispielsweise aufgrund anstehenden Felses oder eines bestehenden Ramm-Verbots zum Beispiel Altlastenvorkommen, Deponien oder Grundwasserschutz. Nachgeführte Anlagen gründen meist auf schwimmenden Schwerlastgründungen – zum Beispiel auf einem Betonring bei Solon Mover.

### **Aufständigung**

Die Unterkonstruktion besteht aus senkrechten Stützeinheiten aus Stahl sowie Aluminiumprofilen zur Montage der Module. Da klassische Aluminiumrahmen-Module nicht über Schraublöcher zur Befestigung verfügen, werden sie mit Klemmen an Aluminiumtragschienen befestigt. Für eine schnellere Montage können mehrere Module im Voraus zu Modultischen zusammengefasst und gesammelt montiert werden.

### **Verschaltung und Anschluss**

Netzgekoppelte Anlagen bestehen üblicherweise aus Modul, Generator-Anschlusskasten, Wechselrichter, Zähler-schrank mit Stromkreisverteilung, Bezugs- und Einspeisezähler sowie Netzanschluss. Die Verschaltung der Module erfolgt in Strings (Reihenschaltung), welche an Wechselrichter angeschlossen werden. Die Nähe zur Netzinfrastruktur ist ein oft ausschlaggebendes Kriterium bei der Standortwahl.

### **Wartung und Rückbau**

Die Wartung von PV-Freiflächenanlage sollte laut DIN 31051 alle drei Jahre erfolgen. Da sich Freiflächenanlagen im Gegensatz zu Aufdach-Anlagen durch eine in der Regel leichte Zugänglichkeit und einen standardisierten Aufbau auszeichnen, zudem eine hohe Leistung auf kleinem Raum installiert ist, sind die spezifischen Wartungskosten relativ gering und fallen im Vergleich zu den Errichtungskosten kaum ins Gewicht (cpg-power.at).

Die Gewährleistung des Rückbaues einer PV-Anlage nach Ablauf der Nutzungsdauer ist oftmals Bestandteil der Anlagengenehmigung. Damit soll sichergestellt werden, dass die genutzte Fläche nach erfolgter PV-Nutzung in ihren ursprünglichen Zustand zurückgeführt wird. Beim Rückbau werden Fundamente und Steher abmontiert und Module abtransportiert. Damit kann die Anlage völlig rückstandlos entfernt werden, mit marginalen Folgen für den Boden. Viele der in den Modulen verarbeiteten Rohstoffe können anschließend recycelt werden und wieder in den Wertstoffkreislauf eingehen (erp-recycling.org).

## **4.6 Anlagenausführungen**

---

### **4.6.1 Nachführbarkeit**

#### **Starre Anlagen**

PV-Module werden in einer festen Ausrichtung aufgestellt. Der Anstellwinkel bei Süd-Ausrichtung liegt in Österreich bei etwa 30° (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2011). Bei starrer Ost-West-Ausrichtung werden PV-Module Satteldach-ähnlich montiert. Der Aufstellwinkel fällt dann mit rund 15° deutlich flacher aus als bei südlicher Modul-Ausrichtung. Um eine gegenseitige Verschattung der Module zu vermeiden, sind Mindestabstände zwischen den Modulreihen einzuhalten. Deren Größe ist abhängig von der Modultischtiefe, dem Aufstellwinkel sowie dem Breitengrad-abhängigen Sonnenstand (KOSCHER 2021).



## Nachgeführte Anlagen

Bei einer nachgeführten Anlage werden die PV-Module auf einer oder mehreren beweglichen Achsen montiert (einachsiger Tracker – zweiachsiger Mover). Diese werden sonnenstandabhängig nachgeführt, um die Sonneneinstrahlung optimal zu nutzen. Hierdurch erhöhen sich die jährlichen Stromerträge um 20 bis 35 %, gehen jedoch mit höheren Errichtungs-, Betriebs- und Wartungskosten einher (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2011, KOSCHER 2021). Gerade bei mehrachsigen Systemen vergrößert sich zudem der Flächenbedarf pro installierter Leistung (einzuhaltende Mindestabstände zwischen den Modulen) um den Faktor zwei (WESSELAK ET AL. 2017).

## 4.6.2 Überkopfkonstruktion

### Fixe Konstruktion

Der Großteil der Überkopfanlagen wird als fixe Konstruktion ausgeführt – beispielsweise im Bereich von Parkflächen und Überdachungen von Kläranlagen.

### Faltdach-Konstruktion

Alternativ besteht die Möglichkeit, an Tragseilen befestigte Solarmodule als stromerzeugende Überdachung zu nutzen. Vorreiter in dieser Technologie ist die Schweizer Firma dhp technology AG, welche ein patentiertes Tragesystem entwickelt hat, mit welchem das Dach ziehharmonika-ähnlich gefaltet werden kann, um beispielsweise vor Schneefall oder Hagel geschützt zu werden. Die schwebende Aufhängung ist leichter und kostengünstiger als eine starre Dachkonstruktion.

## 4.7 Mittlere spezifische Kosten einer PV-Freiflächenanlage

Die Kosten für eine PV-Freiflächenanlage hängen von zahlreichen Faktoren ab, wie zum Beispiel von Anlagengröße, -bauart, -technologie, -ausführung, oder von spezifischen Anforderungen (bspw. Schneelast). Zudem **ändern sich die Kosten** bedingt durch die Marktlage sowie die technologische Entwicklung im PV-Bereich **rasch**. Um dennoch einen groben Überblick über die Größenordnung der Kosten sowie der Kostenverteilung (Anlagentechnik, Netzanschluss, Planung etc.) geben zu können, wurden über eine Literaturrecherche Daten zu mittleren spezifischen Kosten von PV-Anlagen sowie zu Solarmodul-Kosten und BOS (Balance of System)-Kosten<sup>1</sup> erhoben.

PV-Großanlagen weisen grundsätzlich geringere spezifische Kosten auf als kleinere PV-Anlagen, da deren Fixkosten bei höherer installierter Leistung anteilmäßig kleiner sind. Tab. 5 gibt einen **groben Überblick über mittlere spezifische Kosten** von PV-Anlagen.

---

<sup>1</sup> Kosten umfassen sämtliche Kosten außer den Kosten für die PV-Solarmodule (eere.energy.gov). Dies sind beispielsweise Kosten für Verkabelung, Wechselrichter, Aufständigung, Legung des Netzzugangs, aber auch Planungs- und Errichtungskosten (FRISCHKNECHT et al. 2020).

Tab. 5: Mittlere spezifische Kosten von PV-Anlagen

Anlagengröße	Mittlere spezifische Kosten je kW <sub>p</sub>	Quelle
<b>Aufdach-Anlage</b>		
10 - 100 kW <sub>p</sub>	1.200 EUR	(IEA PVPS TCP 2020)
100 – 250 kW <sub>p</sub>	900 EUR	(IEA PVPS TCP 2020)
<b>Freiflächen-Anlage</b>		
100 kW <sub>p</sub>	1.000 – 1.200 EUR	(Technikum Wien - LEONHARTSBERGER ET AL. 2021)
250 kW <sub>p</sub>	900 – 1.000 EUR	(Technikum Wien - LEONHARTSBERGER ET AL. 2021)
> 250 kW <sub>p</sub>	800 – 900 EUR	(Technikum Wien - LEONHARTSBERGER ET AL. 2021)
> 1 MW <sub>p</sub>	530 – 800 EUR 550 – 2.300 EUR	(KOST ET AL. 2021) (IRENA 2021)

#### 4.7.1 PV-bezogene Kosten (Modulkosten)

Die Solarmodul-Kosten sind in den Jahren 2010 bis 2020 gemäß FELDMAN ET AL. (2021) um rund 85 % gesunken. Dies ist sowohl der technologischen Entwicklung als auch dem dynamischen Skaleneffekt in einem stetig wachsenden Markt zuzuschreiben. Diese Entwicklung geht einher mit einer starken Effizienzsteigerung, was zur Folge hat, dass für die gleiche Leistung weniger Module und somit auch weniger Fläche, Aufständungen oder Kabel benötigt werden.

**Aktuell steigen** nach Jahren tendenziell sinkender Preise durch Forschung, Entwicklung und optimierte Produktionsprozesse die Modulpreise aufgrund u.a. unterbrochener Lieferketten und Lieferengpässe seit Ausbruch der Corona-Pandemie 2019 wieder an (pvxchange.com).

Tab. 6: Entwicklung durchschnittlicher Angebotspreise gängiger PV-Solarmodule (netto) für verzollte Ware auf dem europäischen Spotmarkt

Modulkategorie / Bauart	EUR/W <sub>p</sub> * (01/2015)	EUR/W <sub>p</sub> * (01/2020)	EUR/W <sub>p</sub> * (01/2022)	Beschreibung
Low Cost	0,39	0,17	0,19	Minderleistungsmodule, B-Ware, Insolvenzware, Gebrauchtmodule, Produkte mit eingeschränkter oder ohne Garantie
Mainstream	0,49	0,25	0,30	Standardmodule, üblicherweise mit 60/120 kristallinen Zellen, Alurahmen, weißer Rückseitenfolie und 275 bis 335 W <sub>p</sub>
High Efficiency	0,70	0,33	0,39	Kristalline Module ab 340 W <sub>p</sub> mit PERC-, HJT-, n-Typ oder IBC-Zellen oder eine Kombination daraus
Bifazial	k.A.	0,39	0,40	Bifaziale Module mit transparenter Rückseitenfolie oder Doppelglas-Module; gerahmt und ohne Rahmen

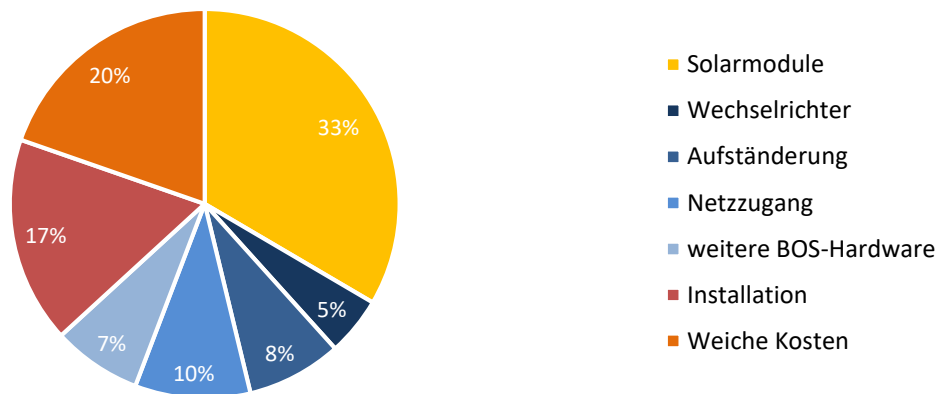
\* Die Preise stellen **keine Endkundenpreise** dar. Für eine durchschnittliche schlüsselfertige PV-Anlage ist der angegebene Wert in Deutschland gemäß FRAUNHOFER ISE (2021) mit dem **Faktor 2 bis 4** zu multiplizieren.

Datenquelle: pvxchange.com (2022)

#### 4.7.2 Nicht PV-bezogene Kosten (Balance-of-System-Kosten)

Während im Jahr 2005 auf Balance of-System-Kosten (BOS) – sämtliche Kosten außer den Kosten für die PV-Solarmodule – beispielsweise für Verkabelung, Wechselrichter, Aufständerung, Legung des Netzzugangs, Planungs- und Errichtungskosten (Frischknecht et al. 2020) – nur etwa 25 % der gesamten Investitionskosten entfielen, lag der Anteil im Jahr 2021 gemäß KOST ET AL. (2021) selbst bei Dachanlagen **bei etwa 70 %**. Grund dafür ist, dass sich die Nicht-PV-bezogenen Kosten aus verschiedenen zum Teil etablierten und preisstabilen Komponenten zusammensetzen (bspw. Kabel, Aluminiumleisten, Arbeitskosten), während die Modulpreise stark gesunken sind.

Ein spezifischer Kostenpunkt von großen PV-Freiflächenanlagen ist zudem der Netzanschluss: Anlagen bis 5 MW<sub>p</sub> Leistung werden an das Mittelspannungsnetz angeschlossen (Freileitung oder Kabel), bei größeren Anlagen ist ein Anschluss direkt im Umspannwerk notwendig. Abb. 7 zeigt die typische Kostenverteilung von PV-Großanlagen in Deutschland. Hier zeigt sich, dass sowohl weiche Kosten und Installation als auch BOS-Hardware und Module anteilig ähnliche Kosten versprechen.



Datengrundlage: IRENA (2021)

Abb. 7: Kostenverteilung von aufgeständerten PV-Großkraftwerken in Deutschland

In **Österreich** wurde die Kostenverteilung der Systempreise u.a. durch LEONHARTSBERGER ET AL. (2021) untersucht. Demnach entfallen rund 58 % der Kosten für eine PV-Freiflächenanlage auf die Anlagentechnik (Modulkosten, Kosten Wechselrichter, ...), etwa 22 % auf Montagekosten, rund 12 % auf Inbetriebnahmekosten (inkl. Netzanschlusskosten) und rund 8 % auf weitere wie beispielsweise Detailplanung, Fördereinreichung, Genehmigungen, Vorplanung. Mehrkosten durch höhere Schneelasten geben LEONHARTSBERGER ET AL. (2021) mit 4 bis 8 % an. Die Werte beruhen auf den Ergebnissen von Befragungen von PV-Planern/Errichtern mit insgesamt 31 Rückmeldungen, darunter jedoch nur eine geringe Anzahl an Freiflächen-PV-Anlagen.

## 5 METHODIK

### 5.1 Festlegung der Kriterien für die Flächenauswahl

---

Zur Ermittlung des technischen Potenzials wurden zunächst in Abstimmung mit den Fachabteilungen

- Raumordnung,
- Forstwirtschaft,
- Agrarwirtschaft,
- Umweltschutz,
- Wasserwirtschaft,
- Geologie,
- Emissionen-Sicherheitstechnik-Anlagen (ESA) sowie der
- Wildbach- und Lawinerverbauung Tirol

im Rahmen der Arbeitsgruppensitzung "Fach" relevante Kriterien für die Ausweisung potenziell geeigneter bzw. von PV-Freiflächenanlagen freizuhaltender Standorte festgelegt. Dies geschah im Rahmen der Erstellung des Raumordnungsprogramms bezüglich der Errichtung von PV-Freiflächenanlagen unter der Federführung der Abt. Raumordnung und Statistik. Unterschieden wurden folgende Kriterien:

- **Ausschluss** (Negativ - PVF-Nutzung ist auf diesen Flächen kategorisch ausgeschlossen)
- **Einzelfallprüfung** (kein grundsätzlicher Ausschluss, eine Eignung ist jedoch im Einzelfall zu prüfen)
- **Geeignet** (Positiv- grundsätzlich geeignete Flächen, prioritär zu nutzen)

### 5.2 Ermittlung von Basisflächen

---

In Anlehnung an die Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW (LANUV 2013) erfolgte im nächsten Schritt die Ableitung von **Basisflächen**. Hierunter werden Flächen verstanden, welche prinzipiell geeignete Standorte für PV-Freiflächenanlagen darstellen – also **keinem Ausschlusskriterium unterliegen**.

Dazu wurden die Unterteilungen der einzelnen Fachabteilungen übereinandergelegt, um jede Teilfläche eindeutig zu kategorisieren und damit jene Flächen zu ermitteln, welche durch keine Fachabteilung ausgeschlossen wurden. Abb. 8 veranschaulicht dieses Vorgehen: Jedes der drei Bilder symbolisiert die Landesfläche Tirols. Diese wird durch Fachabteilung A (im Bild links oben) anders unterteilt als durch Fachabteilung B (links unten). Durch die Verschneidung der Kategorisierungen entsteht ein Mosaik von Teilgebieten, von denen nur diejenigen als Basisflächen definiert werden, welche von keiner Fachabteilung als „Ausschluss“ gekennzeichnet wurden.

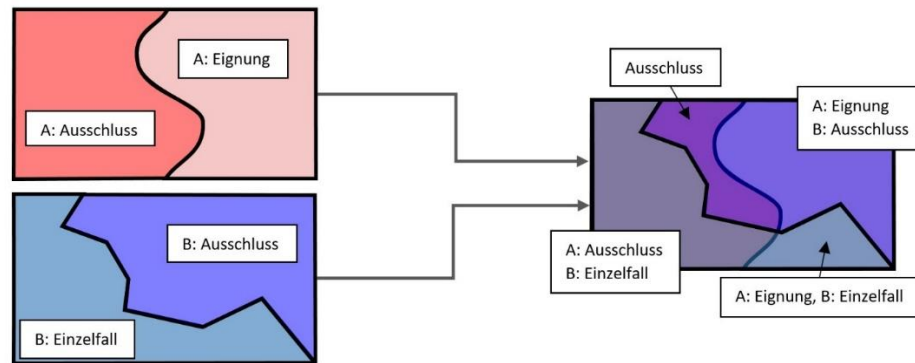


Abb. 8: Methodik zur Ermittlung von Basisflächen

## 5.3 Berechnung des technischen Potenzials

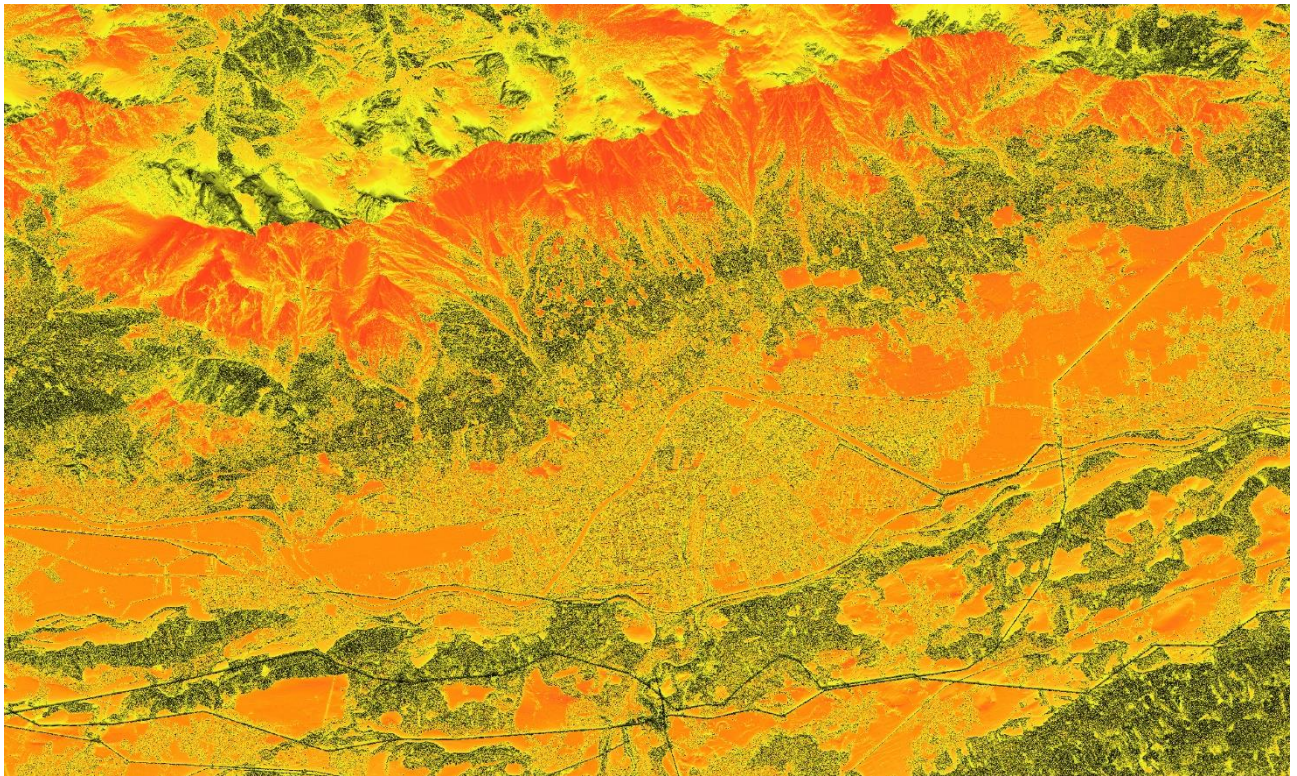
Bei der Abschätzung des technischen PV-Potenzials werden die Flächenverfügbarkeit und der gegenwärtige Stand der Technik (Wirkungsgrade) berücksichtigt (Kap. 3.2.2). Zusätzlich konzentriert sich vorliegende Studie auf Flächen mit hoher Einstrahlung und definiert Mindestflächen, um auch die Wirtschaftlichkeit zumindest teilweise mitzubedenken. Parameter wie beispielsweise Einspeisetarife, Netzanschluss, Widmung, Eigentumsverhältnisse, Langfristigkeit der Nutzung, Akzeptanz oder Besicherung für Rückbau bei Stilllegung (ADKLR 2021) werden dagegen nicht berücksichtigt. Diese sind Gegenstand einer detaillierten Anlagenplanung im Einzelfall.

### 5.3.1 Einbindung des Solarkatasters

Um das Potenzial der technisch geeigneten Flächen zu ermitteln, wurde auf die Ergebnisse des Solarkatasters Tirol<sup>2</sup> zurückgegriffen (Abb. 9). Dieser zeigt flächendeckend die Globalstrahlung in Tirol im Jahresmittel in Meter-Auflösung. Auswirkungen durch Hangneigung, Verschattung und Wetter auf die Globalstrahlung sind berücksichtigt. Aus diesem Datensatz wurden tirolweit zunächst alle Flächen mit Einstrahlungswerten von **über 950 kWh/(m<sup>2</sup>•a)** ermittelt. Diese wurden anschließend mit den nicht-ausgeschlossenen Flächen verschnitten um lediglich geeignete Flächen mit hohen Einstrahlungswerten zu berücksichtigen. Von diesen wurde anschließend die mittlere Globalstrahlung errechnet und in der Berechnung der Strom-Ertragsermittlung (Kap. 5.3.2) verwendet.

<sup>2</sup> Der Solarkataster Tirol 2013 (maps.tirol.gv.at) zeigt die atmosphärisch korrigierte Solarstrahlung (Jahressumme) mit 1 m<sup>2</sup> Auflösung. Auf Grundlage des Digitalen Oberflächenmodells (Stand 2012, Auflösung 1 m<sup>2</sup>) wurde die Solarstrahlung über den Jahresgang der Sonne berechnet und monatsweise aufsummiert. Die halbstündliche Sonnenposition und der Schattenwurf von Gelände, Gebäude und Vegetation wurden flächendeckend simuliert. Die noch bewölkungsfrei simulierten Einstrahlungswerte mit ihren Komponenten Direkt- und Diffus-Strahlung wurden anschließend einer Atmosphärenkorrektur unterzogen. Um den Einfluss von Wolken zu berücksichtigen, wurden Satellitendaten aus den Jahren 2004 bis 2012 verwendet (metadata.geoportal.at).





Quelle: Solarkataster Tirol (2013)

Abb. 9: Auszug aus dem Solarkataster Tirol – Darstellung der Jahreseinstrahlung pro Quadratmeter im Großraum Innsbruck mit rot: hohe Einstrahlung und grün: niedrige Einstrahlung.

### 5.3.2 Strom-Ertragsermittlung

Der postulierte Energieertrag – in kWh pro Jahr – wurde anhand folgender Formel berechnet:

$$\text{Energieertrag} = \text{Fläche} * \text{Flächenbelegung} * \text{Globalstrahlung} * \text{Wirkungsgrad Module},$$

wobei die jeweilige Fläche sowie die mittlere Globalstrahlung aus den Geodaten und dem Solarkataster abgegriffen werden können. Werte für die Flächenbelegung – das Verhältnis von Modulfläche zu genutzter Landfläche – sowie für den Wirkungsgrad wurden aus der Fachliteratur erhoben (Tab. 7) und in der Folge Durchschnittswerte hiervon angesetzt.

Tab. 7: Angesetzte Werte für Flächenbelegung und Modul-Wirkungsgrad

Variable	Durchschnitt	Minimum	Maximum	Basis
Flächenbelegung [m <sup>2</sup> Modulfläche je m <sup>2</sup> Landfläche]	0,45	0,3	0,6	(BOLINGER & BOLINGER 2022) NREL PVWatts (pvwatts.nrel.gov)
Wirkungsgrad Module	18%	12%	22%	(FRAUNHOFER ISE 2022)



## 5.4 Auswahl relevanter PV-Freiflächen

Für die Nutzung mittels Freiflächen-PV-Anlagen besonders geeignet erscheinende Flächen wurden auf Basis einer Literaturrecherche (Berücksichtigung bestehender Projekte, Erfahrungen und rechtlicher Regelungen angrenzender Bundesländer und Länder – Kap. 5.5) ausgewählt. Zusätzlich wurde sowohl eine **Umsetzbarkeit im alpinen Raum** (tirolspezifische topographische Gegebenheiten, wie beispielsweise hohe Schnee- und Windlasten, Reliefenergie, Kleinteiligkeit von Flächen) als auch das Vorliegen bereits **marktreifer Technologien** und **erfolgversprechende Demonstrationsprojekte** berücksichtigt.

## 5.5 Potenzialermittlung relevanter PV-Freiflächen

Um das Solarpotenzial dieser ausgewählten Flächen (z.B. Parkplätze, Deponieflächen, ...) zu ermitteln, wurden sie mit den Basisflächen (Kap. 5.2) verschnitten. Geeignete Flächen fallen demnach in eine der im vorherigen Schritt ausgewählten Freiflächenkategorien und wurden gleichzeitig von keiner der Fachabteilungen als Ausschlussflächen gekennzeichnet. Diese Methodik wird durch Abb. 10 schematisch dargestellt. In Anlehnung an Abb. 8 zeigt das Bild links unten eine exemplarische Unterteilung der Landesfläche durch zwei Fachabteilungen in „Eignung“, „Ausschluss“ und „Einzelfall“. Basisflächen sind dabei Flächen, welche durch keine Abteilung ausgeschlossen wurden, also grundsätzlich für die Nutzung durch PV-Anlagen infrage kommen<sup>3</sup>. Das Bild links oben zeigt eine der ausgewählten relevanten Freiflächen (bspw. Deponiefläche) innerhalb der Landesfläche. Die Überlagerung dieser beiden Bilder zeigt, dass nur solche Teilflächen einer Flächenkategorie potenziell nutzbar sind, wenn sie gleichzeitig Basisflächen sind, also keinem Ausschlusskriterium unterliegen.

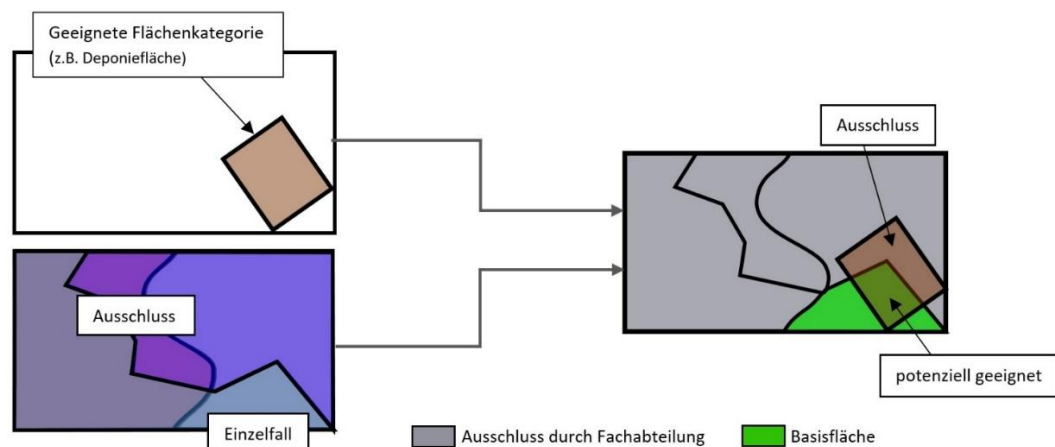


Abb. 10: Methodik bei der Verschneidung geeigneter Flächen aus definierten Flächenkategorien mit Basisflächen

<sup>3</sup> Zu illustrativen Zwecken wurde in diesem Beispiel vereinfacht angenommen, dass alle von den Fachabteilungen nicht ausgeschlossenen Basisflächen auch die weiteren Anforderungen an Mindesteinstrahlung erfüllen.

## 6 FACHSPEZIFISCHE EIGNUNGS-/AUSSCHLUSSKRITERIEN

Im Folgenden werden die von den eingebundenen Fachabteilungen festgelegten Geodatenätze der Kriterien **Ausschluss, Einzelfallprüfung und Eignung** für die Auswahl geeigneter Freiflächen-PV-Flächen – jeweils unter Angabe der Gesamtflächen – angeführt. Vertiefte Informationen zum Geodaten-Bestand sind Tab. 1 zu entnehmen.

Unabhängig von den durch die Fachabteilungen festgelegten Kriterien sind definitionsgemäß sämtliche Tiroler Gebäudeflächen (Wohn- und landwirtschaftliche Gebäude, Gewerbe- und Industriegebäude, Lager- und Parkhäuser) von einer PV-Freiflächen-Nutzung ausgeschlossen (Kap. 3.1). Bei den angeführten Flächen in Tab. 8 bis Tab. 10 wurden die jeweiligen Gebäudeflächen daher bereits abgezogen. Ferner Flächen wie Friedhöfe, Gärten oder Freizeitflächen als Ausschluss definiert.

### 6.1 Ausschlusskriterien

Tab. 8: Kriterium Ausschluss – relevante Flächen in Tirol

Datensatz/Inhalt	Fläche lt. GIS *		Geodaten tirolweit erfasst
	[km <sup>2</sup> ]	[%]	
<b>Raumordnung</b>			
Flächen, welche per ROP einer anderen Nutzung vorbehalten sind: Landwirtschaftliche Vorsorge-/Vorrangflächen und Grünzonen	338,41	2,69	Ja
Gesteinspotenziale nach dem österreichischen Rohstoffplan Rohstoffpotenziale + bestehende Abbaugebiete im Betrieb	34,08	0,27	
Wildtierkorridore	0,02	0,00	
Hochwertige Siedlungsflächen, Siedlungserwartungsland	19,78	0,16	
Freizeitfläche	19,59	0,15	
Friedhof	1,09	0,01	
Garten	114,83	0,91	
Dauerkulturanlage oder Erwerbsgarten	2,30	0,02	
<b>Ausschlussflächen Raumordnung gesamt</b>	<b>522,20</b>	<b>4,13</b>	
<b>Agrarwirtschaft</b>			
Böden mit Produktionsfunktion ab 3 Mittel gem. österr. Finanzbodenschätzung	657,05	5,23	Nein
Böden hoher Funktionserfüllung gem. österr. Finanzbodenschätzung	544,15	4,33	
<b>Ausschlussflächen Agrarwirtschaft gesamt</b>	<b>897,43</b>	<b>7,14</b>	
<b>Forstwirtschaft</b>			
Waldausschlussflächen nach Waldentwicklungsplan	3.504,28	27,87	Ja
Waldausschlussflächen nach Waldkategorien	4.240,69	33,73	
<b>Ausschlussflächen Forstwirtschaft gesamt</b>	<b>4.711,65</b>	<b>37,48</b>	
<b>Wasserwirtschaft</b>			
Wasserschutzgebiete	44,44	0,35	Ja
Roter Flussbau-Gefahrenzonenbereich nach WRG	61,59	0,49	
<b>Ausschlussflächen Wasserwirtschaft gesamt</b>	<b>105,70</b>	<b>0,84</b>	

Umweltschutz	[km <sup>2</sup> ]	[%]	
Naturschutzfachliche Ausgleichsflächen	8,14	0,06	Ja
Gletscher	209,94	1,67	
Gletscher-Einzugsgebiete	121,11	0,96	
Gletschermoränen	624,79	4,97	
Natura 2000 FFH Gebiet	3,06	0,02	
Natura 2000 Vogelschutzgebiet	3,77	0,03	
Naturdenkmal nach Naturschutzgesetz	8,32	0,07	
Naturwaldreservat	36,54	0,29	
Schutzgebiete Naturschutzgesetz	3.405,76	27,09	
Schutzgebiet Ramsar	39,15	0,31	
Stehende Gewässer (Seen) > 2.000 m <sup>2</sup>	35,10	0,28	
Vogelprojektgebiete - Wiesenvogel-Brutgebiete	102,55	0,82	
Vogelrastgebiete - Bedeutende Rastgebiete für Zugvögel	125,07	0,99	
Geschützte Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie (BIK-FFH)	488,73	3,89	
Biotope geschützt nach NatSchG/Naturschutzverordnung (BIK_LN_TYPEN)	77,17	0,61	
Biotope geschützt nach NatSchG/Naturschutzverordnung (BIK_ÖROK_LN)	33,81	0,27	
Biotope geschützt nach NatSchG/Naturschutzverordnung (BIK_ÖROK_PL)	309,58	2,46	
Biotope geschützt nach NatSchG/Naturschutzverordnung (BIK Typen)	350,15	2,79	
Geschützte Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie (FFH-Lebensraum)	1.112,90	8,85	
Bodenbrüter-Lebensraum Braunkehlchen, Feldlerche	Weitere Prüfinhalte für Ausschluss (keine Geodaten vorliegend bzw. ausschl. Verwendung als Orientierungshilfe für Fachabteilung)		
Lebensräume geschützter/seltener/gefährdeter Tier-/Pflanzenarten			
Traditionelle Kulturlandschaft			
Ensembleschutz (landschaftsästhetisch wertvolle Bereiche)			
Uferschutzbereich stehende nat. Gewässer (+ 500 m Puffer bei Flächen 2.000 m <sup>2</sup> )			
Uferschutzbereich fließende Gewässer (+ 5 m Puffer)			
<b>Ausschlussflächen Umweltschutz gesamt (exkl. Prüfinhalte)</b>	<b>4.506,44</b>	<b>35,62</b>	
Wildbach- und Lawinenverbauung			
Roter WLW-Gefahrenzonenbereich Lawine	25,55	0,20	Ja
Geologie			
Brauner WLW-Hinweisbereich - Steinschlag	50,20	0,40	Ja
<b>Ausschlussflächen Tirol gesamt (Basis verfügbare GIS-Daten)</b>	<b>8.797,47</b>	<b>69,5</b>	
<b>Gesamtfläche Tirol exkl. sämtlicher Ausschlussflächen</b>	<b>3.854,24</b>		

\* Bedingt durch räumliche Überschneidungen können die jeweils angegebenen Gesamt-Ausschlussflächen von der Summe der jeweils herangezogenen Einzelflächen abweichen.

#### Anmerkung Fachabteilung Umweltschutz:

Eine detaillierte Einzelfallprüfung, ob Ausschlussgründe vorliegen, sind für diejenigen Inhalte durchzuführen, welche nicht bzw. nicht flächendeckend im GIS erfasst sind. Von der Abteilung Umweltschutz wird weiters auf das Schreiben „Naturkundefachliche Ausschlusskriterien Photovoltaikanlagen“ verwiesen.

### Flächendeckend im GIS erfasst

- Alpine Naturlandschaften (Landesflächen mit einer Seehöhe > 2.000 m abzüglich Schigebiete)
- Naturschutzfachliche Ausgleichsflächen, welche im Rahmen von Naturschutzverfahren bescheidmäßig vorgeschrieben wurden bzw. ökologische Freihalteflächen, die vertraglich oder im Grundbuch festgeschrieben sind.
- Gletscherflächen
- Gletscher-Einzugsgebietsflächen
- Moränenflächen im Gletschervorfeld (Gletscherausbreitung zur Zeit der Kleinen Eiszeit - um ca. 1850)
- Schutzgebiete nach Naturschutzgesetz, zusätzlich Natura 2000 - sowie Ramsar-Gebiete, Naturdenkmäler und Naturwaldreservate
- Stehende Gewässer mit einer Fläche von mehr als 2.000 m<sup>2</sup>
- Vogelprojektgebiete Wiesenvogel-Brutgebiete
- Vogelrastgebiete

Im Rahmen der Freiflächen-PV-Potenzialabschätzung werden diese Flächen als Ausschlussflächen betrachtet.

### Nicht flächendeckend im GIS erfasst

Bei grundsätzlich geeigneten Flächen ist im Einzelfall zu prüfen, ob einer der folgenden Punkte vorliegt:

- Almgebiet (Almfutterflächen lt. AMA und Flächen rund um Almgebäude)
- Biotope geschützt nach Naturschutzgesetz und Naturschutzverordnung inkl. Wallhecken, Buckelwiesen, Findlinge und Lesesteinhaufen
- FFH-Lebensraumtypen (Geschützte Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie)

Bei Vorliegen liegt ein Ausschlusskriterium vor. Im Rahmen der Freiflächen-PV-Potenzialabschätzung werden diese Flächen jedoch als Einzelfallprüfungsflächen betrachtet, da diese nicht flächendeckend erfasst sind.

### Nicht im GIS erfasst

Weitere Prüfinhalte für Ausschlusskriterien stellen aus Sicht des Naturschutzes folgende Inhalte dar:

- Bodenbrüter-Lebensraum - Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*), Feldlerche (*Alauda arvensis*)
- Ensembleschutz - Landschaftsästhetisch wertvolle Bereiche rund um denkmalgeschützte Ensembles in der Kulturlandschaft (Radius 500 m, Abstimmung mit Mag. Karl WIESAUER, Abt. Kultur)
- Lebensräume von geschützten/seltenen oder gefährdeten Tier- und Pflanzenarten nach TNSchG 2005 bzw. TNSchVO 2006 (inkl. FFH Anhang IV, V und EU-VRRL)
- Traditionelle Kulturlandschaften (Orientierungshilfe: Kulturlandschaftsinventarisierung)
- Uferschutzbereich stehender natürliche Gewässer (500 m Puffer ab 2.000 m<sup>2</sup> Fläche)
- 5m Puffer für fließende Gewässer.

## 6.2 Kriterium Einzelfallprüfung

Tab. 9 liefert eine Übersicht über die abgestimmten Einzelfallprüfungs-Kriterien und -Flächen in Tirol.

Tab. 9: Kriterium Einzelfallprüfung – relevante Flächen in Tirol

Datensatz/Inhalt	Fläche lt. GIS *		Geodaten tirolweit erfasst
	[km <sup>2</sup> ]	[%]	
<b>Agrarwirtschaft</b>			
Hochgelegene landwirtschaftliche Flächen	Keine Geodaten		
<b>Forstwirtschaft</b>			
Waldbrandgefahr – prädisponierte Flächen	Keine Geodaten		
<b>Umweltschutz</b>			
Almgebiet/Alpin ohne Skigebiete	2810,62	22,22	nein
<b>Wasserwirtschaft</b>			
Gelbe Gefahrenzone Flussbau, rot-gelb schraffierte Funktionsbereiche WRG	68,74	0,54	Ja
Wasserschongebiete	431,52	3,41	
Retentionsräume (zum Zeitpunkt Projekterstellung keine Geodaten)	Keine Geodaten		
Uferbegleitstreifen (zum Zeitpunkt Projekterstellung keine Geodaten)			
<b>Wildbach- und Lawinenverbauung</b>			
Gelber WLW-Gefahrenzonenbereich Lawine	58,00	0,46	Ja
Gelber WLW-Gefahrenzonenbereich Wildbach	110,70	0,87	
<b>Einzelfallprüfungsflächen WLW gesamt</b>	<b>155,35</b>	<b>1,23</b>	
<b>Geologie</b>			
Brauner WLW- Hinweisbereich – außer Steinschlag	114,95	0,91	Ja
<b>Flächen Einzelfallprüfung Tirol gesamt (Basis verfügbare GIS-Daten)</b>	<b>3.217,80</b>	<b>25,43</b>	

\* Bedingt durch räumliche Überschneidungen können die jeweils angegebenen Gesamt-Ausschlussflächen von der Summe der jeweils herangezogenen Einzelflächen abweichen.

### Anmerkung Agrarwirtschaft:

Da hochgelegene landwirtschaftliche Flächen (sofern sie nicht unter das Förderregime fallen) in der Finanzbodenschätzung nicht erfasst werden, ist deren Eignung grundsätzlich im Rahmen einer Einzelfallprüfung zu bewerten.

### Anmerkung Forstwirtschaft:

Die Gefahr von Waldbränden muss berücksichtigt werden. Zu den Gebieten mit erhöhter Gefahr gehören vor allem nach Süden und Südwesten ausgerichtete Waldgebiete (Gebiete mit hohen Einstrahlungswerten), insbesondere dort, wo sich viele Menschen aufhalten. Außerdem sind die Brandflächen dort aufgrund des strahlungsbedingten Kamineffekts meist größer als an Nord- und Osthängen.

### Anmerkung Wasserwirtschaft:

Flächen im Gelben Gefahrenzonenbereich (GIS Gelbe Gefahrenzonen, rot-gelbschraffierte Funktionsbereiche).

### Anmerkung Umweltschutz:

In jedem Einzelfall muss überprüft werden, ob Ausschluss-Bereiche vorliegen, die nicht vollständig über GIS-Ausschlussflächen erfasst sind. Bei folgenden Punkten liegt ein Ausschlusskriterium vor:

- Biotope, geschützt nach Naturschutzgesetz und Naturschutzverordnung inkl. Wallhecken, Buckelwiesen, Findlinge und Lesesteinhaufen
- FFH-Lebensraumtypen

Auszug weiterer Prüfinhalte für Ausschlusskriterien:

- Bodenbrüter-Lebensraum: Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*), Feldlerche (*Alauda arvensis*)
- Ensembleschutz: Landschaftsästhetisch wertvolle Bereiche rund um denkmalgeschützte Ensembles in der Kulturlandschaft (Radius 500 m, Abstimmung mit Mag. K. WIESAUER, Abt. Kultur)
- Lebensräume von geschützten/seltenen oder gefährdeten Tier- und Pflanzenarten nach TNSchG 2005 bzw. TNSchVO 2006 (inkl. FFH Anhang IV, V und EU-VRRL)
- Traditionelle Kulturlandschaft (Orientierungshilfe: Kulturlandschaftsinventarisierung)
- Uferschutzbereich stehende natürliche Gewässer (500 m Puffer über 2.000 m<sup>2</sup> Fläche),
- 5 m Puffer für fließende Gewässer

#### Anmerkung Wildbach- und Lawinenverbauung:

Bei Installation einer PVF-Anlage ist darauf zu achten, dass in Roten Wildbach-Gefahrenzonenbereichen keine PV-Nebenanlagen installiert werden dürfen.

### 6.3 Eignungskriterium

Tab. 10 gibt eine Übersicht über die abgestimmten Positiv-Kriterien inkl. Flächen in Tirol:

Tab. 10: Kriterium Eignung - relevante Flächen

Datensatz/Inhalt	Fläche lt. GIS *		Geodaten tirolweit erfasst
	[km <sup>2</sup> ]	[%]	
<b>Raumordnung</b>			
Parkplatzflächen (Großparkplätze > 600 m <sup>2</sup> )	7,21	0,05	Ja
Flughafenflächen	1,18	0,01	Ja
Speicherteiche	18,68	0,14	
Lärmschutzwände	393 km	-	
Deponieflächen	5,63	0,04	
<b>Geeignete Flächen Raumordnung gesamt</b>	<b>32,70**</b>	<b>0,25</b>	
<b>Forstwirtschaft</b>			
Waldflächen ohne erhöhte/hohe Schutz-/Wohlfahrts-/Erholungsfunktion	636,80	5,03	Ja
<b>Geeignete Flächen Forstwirtschaft gesamt</b>	<b>636,80</b>	<b>5,03</b>	
<b>Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV)</b>			
Stützverbauungen oberhalb der Waldgrenze	Keine Geodaten		
Geschiebeperrren (Luv-seitig nach Süden ausgerichtet)			
<b>Geeignete Flächen Tirol gesamt (Basis verfügbare GIS-Daten)</b>	<b>6,95</b>		

\* Flächen exkl. Gebäudefläche. Bedingt durch vorkommende räumliche Überschneidungen entsprechen zudem die jeweils angegebenen Gesamt-Ausschlussflächen nicht unbedingt der Summe der jeweils herangezogenen Einzelflächen.

\*\* exkl. Lärmschutzwände (nur Länge bekannt)




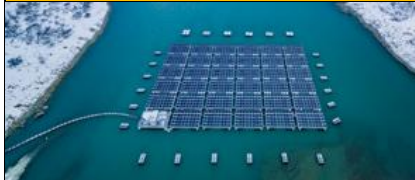
## 7 TECHNISCHE NUTZUNG VON FREIFLÄCHEN

Im Folgenden erfolgt eine Übersicht über grundsätzlich besonders geeignete Flächen für eine Freiflächen-PV-Nutzung – jeweils mit Kurzbeschreibung inklusive Erläuterungen der technischen An- und Herausforderungen sowie mit Beispielen bereits realisierter Anlagen in Österreich bzw. angrenzenden Ländern.

Die Auswahl und Festlegung der Kategorien basieren neben den abgestimmten Kriterien auf folgenden weiteren relevanten Punkten:

- Vorliegen relevanter Freiflächen-PV-Potenziale (Basis gemäß FECHNER (2020) und diverser weiterer Studien)
- Vorhandensein realisierter Freiflächen-PV-Anlagen (Technologie-KnowHow, Erfahrungswerte) auf Flächen, welche den topografischen, klimatischen Gegebenheiten in Tirol entsprechen (alpine Region, hohe Wind- und Schneelasten, Reliefenergie, Kleinteiligkeit der Flächen, ...).

Tab. 11: Technisch nutzbare Freiflächen in Tirol

Kategorie übergeordnet	Flächenkategorie	GIS-basierte Potenzialabschätzung
<b>Bereits versiegelte Flächen (Kap. 7.1)</b>		
	Fahrbahnüberdachungen, -einhausungen	Ja
	Lärmschutzwände Straße/Bahn	Ja
	Tunnel- bzw. Galerieportale Straße/Bahn	Nein
	Brücken Straße/Bahn	Ja
	Parkplätze	Ja
	Plätze (Öffentliche Plätze, Sportplätze, ...)	Nein
<b>Freiflächen im Nahbereich bestehender Infrastruktureinrichtungen (Kap. 7.2)</b>		
	Flughafenflächen	Ja
	Kläranlagenflächen	Ja
	Deponieflächen	Ja
<b>Grünland- und Ackerbauflächen (Kap. 7.3)</b>		
	Grünland-/Ackerbauflächen (alleinige PV-Freiflächen-Nutzung)	Ja
	Grünland-/Ackerbauflächen (Doppelnutzung)	Ja
<b>Alpine Flächen (Kap. 7.4)</b>		
	Hochalpine Flächen und Almflächen	Ja
	Speicherteiche - Wasserfläche	Ja
	Staumauern von Speicherteichen	Nein
	Flächen im Skigebietsbereich	Nein
	Nutzung von Lawinenverbauungen	Nein

## 7.1 Bereits versiegelte Flächen

### 7.1.1 Fahrbahnüberdachung bzw. -einhausung Straße/Bahn



Quelle: hna.de, ait.ac.at

#### Kurzbeschreibung



**Österreichweit existieren über 2.200 km Autobahnen und Schnellstraßen**, davon liegen 330 km in Tirol (ASFi-NAG). Da diese Flächen bereits versiegelt sind, bieten sie sich für eine PV-Freiflächen-Nutzung an. Allerdings gibt es bislang durch fehlende Projekterfahrungen keine Möglichkeit, diese Flächen in großem Maßstab zu erschließen. Da sie jedoch in Summe eine große Fläche ausmachen, erfolgt deren Beschreibung im Rahmen des vorliegenden Projektes.

Die Nutzung bereits versiegelter Verkehrswege zur Stromerzeugung mittels Photovoltaik wird entweder durch den Neubau einer Überdachung oder durch die Erweiterung bestehender Einhausungen ermöglicht. In beiden Fällen wird kaum zusätzlich Fläche versiegelt. Fahrbahnen bzw. Gleise und Fahrzeuge werden vor Hitze und Witterung geschützt und die Lärmbelastung der Umgebung verringert. Auf bestehenden Fahrbahneinhausungen existieren international einige Anlagen, im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und Genehmigung von PV-Einhausungen besteht jedoch **in Österreich wenig Erfahrung** (v.a. bei Einhausungen, welche ausschließlich zur Stromgewinnung konstruiert werden). Das Austrian Institute of Technology betreibt zusammen mit dem Fraunhofer ISE und Forster Industrietechnik das **PV-Süd Projekt**, in welchem Vorteile und Hürden von neu gebauten PV-Fahrbahneinhausungen erforscht werden. Dieses Pilotprojekt demonstriert das Potenzial und die Machbarkeit der PV-Einhausung von Autobahnen, zeigt jedoch auch auf, dass die Investitionskosten der Einhausung deutlich höher sind als die der PV-Anlage selbst (HAIDER ET AL. 2021). Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ergab eine Amortisationsdauer von über 25 Jahren.

#### Technische An- und Herausforderungen

- Lichtraumprofil: Bei zweispurigen Straßen 17 m Systembreite und 5 m Höhe an Tragwerkunterkante (RVS 03.03.31 schreibt mindestens 4,5 m vor), um Verkehr nicht zu beeinträchtigen (HAIDER ET AL. 2021)
- Netzzugang: Hohe Kosten bei abgelegenen Strecken (durch Länge zudem hoher Verkabelungsaufwand)
- Konstruktion: Druckwellen durch Fahrzeuge, Schnee-/Windlast, Eisbildung und Anprall von Fahrzeugen, Brandschutzvorschriften, bei Nachrüstung zudem Gewährleistung Tragfähigkeit relevant
- Ab einer Länge von 80 m Klassifizierung als Tunnelbauwerk. Damit spezielle rechtliche Vorgaben (HAIDER ET AL. 2021)
- Sicherheit der Verkehrsteilnehmenden: Vermeidung von schnellen Licht-/Schattenwechsel (Unfallgefahr)

Tab. 12: Kenndaten Anlagenbeispiel Fahrbahnüberdachung Straße/Bahn

	Bahn	Straße
Bezeichnung	Solarer Bahntunnel Europastraße Antwerpen/B  (zukunft-mobilitaet.net)	Fahrbahn-Einhausung der A3, zwischen Goldbach und Hösbach/D  (Flying-SkyPics GbR)
In Betrieb seit	2011	2008
Beschreibung	Erweiterung des Bahntunnels durch aufgeständerte Module auf einer Länge von 3400m	Erweiterung der bestehenden Einhausung durch im 20°-Winkel aufgeständerte Module auf einer Länge von 2.700m
Betreiber	SPS Fin	A3 Solargesellschaft mbH
Technologie	16.000 Module (JinkoSolar, 245 W Nennleistung)	13.500 Module polykristallin (EvergreenSolar)
Flächenbedarf	50.000 m <sup>2</sup>	~ 120.000 (GIS) m <sup>2</sup> *
Modulfläche	~ 26.000 m <sup>2</sup> *	20.200 m <sup>2</sup> *
Stromerzeugung	3.300 MWh/a	2.520 MWh/a *
Gesamtleistung	3.920 kW <sub>p</sub>	2.649 kW <sub>p</sub>
Spezif. Energieertrag	840 kWh/(kW <sub>p</sub> *a) *	950 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)
Kosten (PV-Anlage)	3.700 EUR/kW <sub>p</sub>	3.775 EUR/kW <sub>p</sub> *
Gesamtkosten	14,5 Mio. EUR	10 Mio. EUR

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: Bahn: jinkosolar.com, zukunft-mobilitaet.net; Straße: silo.tips, silo.tips)

## 7.1.2 Lärmschutzwand Straße / Bahn



Quelle: R. Kohlhauer GmbH

**Österreichweit** existieren gegenwärtig rund **900 km Schallschutzmauern**. Zusätzlich existieren bereits rund **1.358 km straßenbegleitende Lärmschutzwände (LSW) mit einer Fläche von 4,48 km<sup>2</sup>**. An diesen bestehenden Lärmschutzanlagen können PV-Module entweder nachgerüstet werden oder – bei zukünftigen – schon im Vorhinein als fester Bestandteil von lärmreduzierenden Bauten miteinbezogen werden.



Lärmschutzwände bieten den Vorteil, dass große Flächen mit optimaler Neigung genutzt werden können, während geringe bauliche und planungsmäßige Anforderungen gestellt werden. Die gesellschaftliche Akzeptanz im Hinblick auf die optische Eingliederung stellt ein vergleichsweise geringes Problem dar, da bestehende Lärmschutzwände als notwendiger Teil der Landschaft angesehen werden (PAUL & HELLER 2015). Demnach birgt die multifunktionale Nutzung von Bauwerken im Straßenraum einen flächen- und kostenschonenden Zugang zur Solarstromgewinnung (FECHNER 2020). Die Anzahl der Projekte zur Integration von PV in Lärmschutzwände entlang von Bahntrassen ist in der DACH-Region überschaubar, in Österreich existieren bisher nur einzelne Testanlagen (bspw. ÖBB Tullnerfeld). Entlang von Straßen wurden in Deutschland zahlreiche Projekte realisiert. An der Wiener Außenring-Schnellstraße S1 führt die ASFINAG zudem gegenwärtig ein Forschungsprojekt durch (IÖB Challenge, Photovoltaik Testfeld - ioeb-innovationsplattform.at).

### Technische An- und Herausforderungen

- Schallreduktion: Primäre Funktion der Lärmreduktion ist auch mit PV-Anlage zu erhalten
- Ausrichtung: Fahrbahnverlauf Ost-West
- Nahverschattung (bspw. Vegetation, Gebäude, Infrastruktur) und Fernverschattung (bspw. Berge)
- Reinigung: Verschmutzung von fahrbahnzugewandten PV-Modulen durch Abrieb der Eisenbahnräder (Bahn) bzw. Staub und Abgase (Straße) (VONTOBEL ET AL. 2013)
- Netzzugang: Bei Lärmschutzwänden entlang von Bahnlinien ist Einspeisung in 16,7 Hz ÖBB-Bahnstromnetz möglich, die leistungselektronischen Komponenten und Schutztechnik verursachen jedoch im Vergleich zu üblichen 50 Hz-Komponenten deutlich höhere Kosten (FECHNER 2020)
- Verkehrssicherheit: Blendwirkung durch Lichtreflexion an lärmseitig angebrachten Modulen, unbedenkliche Neigungswinkel oder blendfreie Module sind zu verwenden (TREIBER 2018).
- Mechanische Belastung: Resilienz gegen Druckwellen von Lkw / Zügen und Steinschlag (FECHNER 2020)
- Elektromagnetische Verträglichkeit von Bahninfrastruktur: Ausschluss störender Beeinflussung der Signal-Beleuchtungs- und Fahrleitungsanlagen (AUERBACH ET AL. 2020)
- Kosten: Erhöhter Prüf- und Zulassungsaufwand (AUERBACH ET AL. 2020) und Notwendigkeit teurerer Module (bspw. Glas-Glas-Module aufgrund deren Robustheit)



Tab. 13: Kenndaten Anlagenbeispiele Lärmschutzwand (Straße / Bahn)

	Bahn	Straße	
Bezeichnung	PV-LSW Neumarkt in der Oberpfalz/D  (Nordmann 2020)	Photovoltaik-Anlage A13/CH  (lärmschutzplaner.de)	
In Betrieb seit	2012	1989 (neu 2017: Module, Kabel, Wechselrichter)	
Beschreibung	7 m hoher Lärmschutzwand aus 30-45° geneigten Modulen	Pionierprojekt, 828 m Länge, geneigte Befestigung auf Kamm der Lärmschutzwand	
Betreiber	Stadt Neumarkt in der Oberpfalz	bis 2005: Schweizer Bundesamt für Energie seit 2005: Rhienergie AG	
Technologie	Blendfreie Module	Erst polykristalline Module (ca. 47 W Leistung), nach Repowering monokristalline Module (> 300 W Leistung)	
Flächenbedarf	5952 m <sup>2</sup>	entspricht Modulfläche	
		<b>alt</b>	<b>neu</b>
Modulfläche	8.668 m <sup>2</sup>	994 m <sup>2</sup>	1.331 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	1.220 MWh/a	120 MWh/a	313,8 MWh/a
Gesamtleistung	1.258 kW <sub>p</sub>	110 kW <sub>p</sub>	260 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	971 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)	1.090 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)	1.210 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)
Kosten	3.259 EUR/kW <sub>p</sub>	22.727 EUR/kW <sub>p</sub>	1.434 EUR/kW <sub>p</sub>
Gesamtkosten	4,1 Mio. EUR	2,5 Mio. CHF	0,45 Mio. CHF (exkl. Unterkonstr.)

Quelle: Bahn: oekonews.at, Treiber 2018, Treiber 2020; Straße: rhienergie.ch, photovoltaik.eu, fanzun.swiss, dvlv.eu

### 7.1.3 Tunnel- bzw. Galerieportal Straße / Bahn



Quelle: ASFINAG (2022)

Als Tunnelportale werden die sichtbaren Mauerwerke, welche die Ein- beziehungsweise Ausfahrt des Tunnels bilden, bezeichnet. Da Tunnel durch Belüftungs- und Lichtanlagen einen sehr hohen Energiebedarf aufweisen (österreichweit 82,9 GWh/a bzw. 44 % des Gesamt-Energiebedarfs der ASFINAG (aee.at)), könnte der produzierte Solarstrom zum Großteil vor Ort eingesetzt werden. Zudem entfielen weitgehend die Kosten für die Errichtung von Fahrwegen und für die Legung eines Netzzugangs über weite Strecken.


Der Aufbau der Photovoltaikanlage unterscheidet sich bei begrünten Tunnelportalen kaum von konventionellen Freiflächen-PV-Anlagen auf Grünflächen. Damit sind die Kosten mit konventionellen Grünflächenanlagen vergleichbar. Nicht-begrünte Portale sind vergleichbar mit Fahrbahnüberdachungen. In Österreich konnten bereits einige Projekte durch die ASFINAG realisiert werden.

#### Technische An- und Herausforderungen

- Tragfähigkeit: Zusätzliche Belastung des Portals durch PV-Anlage
- Einstrahlung: Nur wenig verschattete, möglichst Süd-ausgerichtete Portale
- Mindestfläche: Wirtschaftlichkeit der Anlage, spezifische Investitionskosten großer Anlagen in der Regel niedriger, Überschussstrom muss jedoch ins Netz eingespeist werden
- Verkehrssicherheit: Blendwirkung durch Lichtreflexion, unbedenkliche Neigungswinkel oder blendfreie Module sind zu verwenden (TREIBER 2018).



Tab. 14: Kenndaten Anlagenbeispiel Tunnelportal

Bezeichnung	<p>PV-Anlage Katschbergtunnel A10/A</p>  <p>Quelle: ASFINAG (2020)</p>
In Betrieb seit	2018
Beschreibung	Auf dem Kiesdach des Tunnelportals leicht aufgeständerte Module, Länge 180 m
Betreiber	ASFINAG
Technologie	670 polykristalline Module
Flächenbedarf	2.600 m <sup>2</sup> (GIS) *
Modulfläche	1.000 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	160 – 170 MWh/a *
Gesamtleistung	180 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	890 – 945 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)
Kosten	1.222 EUR/kW <sub>p</sub>
Gesamtkosten	220.000 EUR

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: ASFINAG, ots.at

### 7.1.4 Brücke Straße / Bahn



Quelle: mediahub.seoul.go.kr , newsworld.co.kr)


Brücken eignen sich nur begrenzt für die Erzeugung solarer Energie. Zudem bieten sie eine vergleichsweise kleine Fläche zur Montage von PV-Anlagen, weshalb das Gesamtpotenzial als eher gering einzuschätzen ist. Unbestritten ist jedoch die positive Signalwirkung derartiger Leuchtturmprojekte, zumal diese Flächen bereits versiegelt sind. Aufgrund der exponierten Lage von Brücken und der dadurch geringen Verschattung können die Module eine sehr hohe Effizienz erreichen.

Die Nutzung von Brücken für Photovoltaik bleibt auch international eine Randerscheinung.

#### Technische An- und Herausforderungen

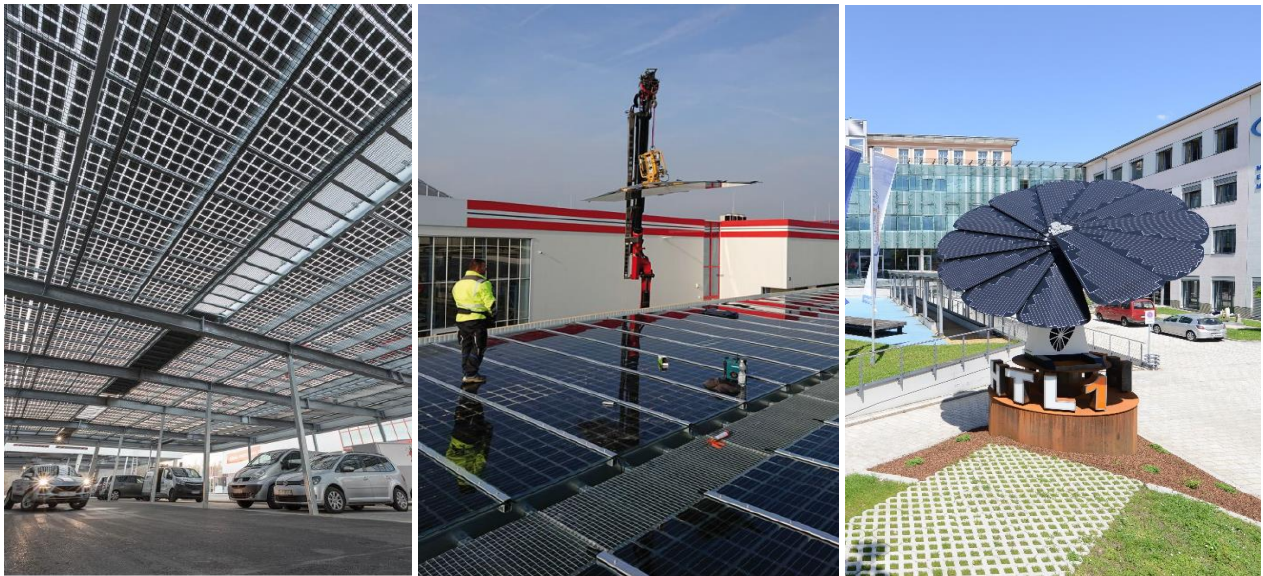
- Tragfähigkeit: Belastung durch Eigengewicht der Module und womöglich größere Wind- und Schneelast
- Netzanschluss: bei Bahnbrücken u.U. Einspeisung in Bahnnetz (allerdings höhere Kosten bei 16,7 Hz)
- Orientierung: Ost-West
- Sicherheit: Blendgutachten bei (Schiffs-)Verkehr unter Brücke und Ausschluss Störung radarabtastender Geräte

Tab. 15: Kenndaten Anlagenbeispiel Brücke Straße

Bezeichnung	<p>Kennedybrücke, Bonn (D)</p>  <p>Quelle: photovoltaik.eu</p>
In Betrieb seit	2011
Beschreibung	Einzelne, auf der gesamten Länge von 390m installierte Modulreihe
Betreiber	Ehemals SolarWorld Industries GmbH, inzwischen Solar Holding Bonn
Technologie	392 polykristalline Module (Nennleistung 230W)
Flächenbedarf	Entspricht Modulfläche
Modulfläche	660 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	100 MWh/a
Gesamtleistung	90 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	1.100 kWh/kW <sub>p</sub> *a
Kosten	3.410 EUR/kW <sub>p</sub>
Gesamtkosten der Anlage	307.000 EUR

Datengrundlagen: solar-prinz.de, phovo.de

### 7.1.5 Parkplatz



Quelle: Moor & Fink (2019), oekolog.at

Zu Parkplatz-Flächen zählen im allgemeinen Parkplätze, Carports und Großparkplätze (>600 m<sup>2</sup>). Von letzteren existieren in Tirol rund 3.500, was bei einer Flächennutzung von 40 % einem Potenzial von 430 GWh/a entspricht (SALAK ET AL. 2017). Dieses Potenzial kann entweder durch eine vollständige Überdachung von Parkplätzen oder durch die Überdachung einzelner Stellplätze (Carport-Variante) erschlossen werden. Bei Carports ergibt sich – je nach Geometrie des Platzes – eine durchschnittliche Flächenbelegung von 40 – 50 % der gesamten Parkplatzfläche, da Fahrwege nicht überdacht werden (SALAK ET AL. 2017). Zu den Vorteilen einer Parkplatzüberdachung mit PV zählen die Verbesserung der Aufenthaltsqualität, Schutz vor Witterungseinflüssen und Überhitzung der Fahrzeuge sowie die Möglichkeit, e-Ladestationen direkt mit Solarstrom zu versorgen. Während zahlreiche kleinflächige PV-Carport Lösungen bestehen, existieren in Österreich auf Großparkplätzen bisher vorwiegend Pilotprojekte von Gemeinden sowie Forschungsprojekte.



Die Idee der Doppelnutzung von versiegelten Flächen beschränkt sich nicht nur auf Parkplatzflächen; auch öffentliche Plätze, Sportanlagen oder Fußwege können mit Photovoltaikanlagen bestückt werden. Hier birgt die bestehende Infrastruktur einerseits Vorteile, wie der vereinfachte Netzzugang, die Nutzung umliegender Gebäude als Teil der Tragekonstruktion oder der Zugang zum Entwässerungssystem ([ise.fraunhofer.de](http://ise.fraunhofer.de)). Andererseits sind urbane PV-Anlagen exponiert gegenüber Vandalismus und Diebstahl, müssen von Anrainerinnen und Anrainern akzeptiert werden und bergen das Risiko der Bildung mikroklimatischer Hitzeinseln. Da bisher nur einige wenige Pilotprojekte mit individuellen Lösungen und Stückzahlen bestehen, wurden urbane PV-Anlagen – abgesehen von Parkplatzflächen – in der gegenständlichen Studie nicht berücksichtigt. Trotz Bedenken bezüglich Wirtschaftlichkeit und Sinnhaftigkeit urbaner PV-Anlagen zur Stromgewinnung kann die repräsentative Wirkung in der Bevölkerung einen wertvollen Beitrag zur Energiewende darstellen.



### Technische An- und Herausforderungen: PV-Überdachung

- Verschattung: Aufgrund der Nähe zu anderen Gebäuden sollte vor allem auf die Nahverschattung geachtet werden
- Sicherheit: Die Unterkonstruktion muss dem Anprall von Fahrzeugen sowie etwaiger Schneelast im Winter standhalten (MOOR & FINK 2019)
- Konstruktion: Die Überdachung muss eine ausreichende Höhe haben (bspw. für Durchfahrt von Rettungsfahrzeugen) und gesetzlich vorgeschriebene Mindestabstände zu Gebäuden wahren
- Umgebungsklima und die Luftqualität: Stau von Wärme (und Abgasen) unter großflächigen Überdachanlagen muss verhindert oder abgeführt werden

Tab. 16: Kenndaten Anlagenbeispiele Parkplätze / öffentliche Plätze

	Parkplatz	Öffentlicher Platz
Bezeichnung	Parkplatzüberdachung Edeka Schwabach/D  Quelle: energieatlas.bayern.de	Glasüberdachung Gem.- Ludesch/AT  Quelle: hkarchitekten.at
In Betrieb seit	2011	2006
Beschreibung	Überwiegend freistehende, wenig geneigte Stahlkonstruktion (sägezahnförmig), Integration von e-Ladestationen	Sägezahnförmige Dachkonstruktion aus Stahl, an drei Seiten auf Gebäude abgestützt
Betreiber	Edeka Krawczyk	Gemeinde Ludesch
Technologie	CIS-Dünnschichtmodule der Firma Solar Frontier (ca. 140 W/20kg/1,2m <sup>2</sup> pro Modul)	Lichtdurchlässige Glas-Glas-Module der Firma ertex solar (ca. 150W/100kg/2,4m <sup>2</sup> pro Modul)
Flächenbedarf	9.200 m <sup>2</sup> *	350 m <sup>2</sup>
Modulfläche	~ 3.100 m <sup>2</sup> *	~ 290 m <sup>2</sup> *
Stromerzeugung	340 MWh/a	16 MWh/a
Gesamtleistung	340 kW <sub>p</sub>	18 kW <sub>p</sub>
Spezif. Energieertrag	1.000 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)	889 kWh/(kW <sub>p</sub> *a) *
Kosten	3.530 EUR/kW <sub>p</sub>	Dachkonstruktion & PV-Anlage: 16.000 EUR/kW <sub>p</sub> Mehrkosten PV-Anlage: 6.100 EUR/kW <sub>p</sub>
Gesamtkosten	1,2 Mio. EUR	Gesamte Überdachung: 299.000 EUR Mehrkosten PV-Anlage: 110.000 EUR

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: Parkplatz: pv-magazine.de, energieatlas.bayern.de, solar-frontier.eu, Platz: baunetzwissen.de, hkarchitekten.at, pvdatabase.org

## 7.2 Freiflächen im Nahbereich bestehender Infrastruktureinrichtungen

### 7.2.1 Flughafenumgebung



Quelle: plush74.com

Da diese Freiflächen in der Regel unversiegelt sind, unterscheidet sich der Aufbau nicht von klassischen Freiflächen-PV-Anlage auf Grünflächen. Dementsprechend ist der Aufbau leicht skalierbar und **verhältnismäßig kostengünstig**. Aufgrund der **Nähe zu stromintensiver Flughafeninfrastruktur** kann zudem oft ein sehr hoher Anteil des gewonnenen Stroms eigeneingesetzt werden. Obwohl der Einsatz von Photovoltaik an Flughäfen sich bisher meist auf stillgelegte Areale (bspw. Flughäfen Neuhardenberg, Ahlhorn, Weeze, Waldpolenz) beschränkt hat, gibt es inzwischen auch Erfahrungen im Bau von Anlagen in unmittelbarer Nähe des Rollfelds aktiver Flughäfen wie Stuttgart, Groningen oder – seit Mai 2022 – auch Wien.



Am Flughafen **Wien** wurden sieben bestehende PV-Dachanlagen durch die momentan größte PV-Freiflächenanlage Österreichs ergänzt, was mit einer Verachtfachung der Leistung einherging ([viennaairport.com](http://viennaairport.com)). Auch der Flughafen **Salzburg** plant, das mit rund 6 GWh/a angegebene Potenzial der Flughafenflächen künftig zur Hälfte mit PV-Freiflächenanlagen auszuschöpfen ([sn.at](http://sn.at)).

#### Technische An- und Herausforderungen

- Reflexionen: Etwaige Blendung von Tower- oder Flugpersonal muss aus Sicherheitsgründen verhindert werden (§ 94 LFG) – Blendgutachten erforderlich (s.a. [zehndorfer.at](http://zehndorfer.at))
- Elektrische Störwirkung: Funksignale der Flugsicherungsanlagen dürfen weder abgeschattet, verfälscht, noch gedämpft werden (§ 94 LFG)
- Standort: Weder Flugverkehr noch Sicht des Tower-/Flughafenpersonal dürfen eingeschränkt sein; außerdem müssen Sicherheitszonen gewahrt und zukünftige Ausbaupläne des Flughafens berücksichtigt werden (§§ 85, 86 und 92 LFG)



Tab. 17: Kenndaten Anlagenbeispiele Flughafenfläche

	Flughafen Wien	Flughafen Weeze
Bezeichnung	Freiflächenanlage Flughafen Wien  Quelle: austrianwings.info	Solarpark am Flughafen Weeze  Quelle: rp-online.de
In Betrieb seit	2022	2011
Beschreibung	Starr und flach aufgeständerte Module auf Flughafengelände	Freiflächenanlage auf ehemaliger British AirForce Basis, unmittelbar neben Rollfeld
Betreiber	Flughafen Wien	BaySolar AG (Freising)
Technologie	55.000 monokristalline Halbzellen-Siliziummodule (> 400 W <sub>p</sub> pro Modul)	60.000 polykristalline Siliziummodule (~230 W <sub>p</sub> pro Modul), zu 2.000 Tischen zusammengefasst
Flächenbedarf	240.000 m <sup>2</sup>	300.000 m <sup>2</sup>
Modulfläche	120.000 m <sup>2</sup> *	87.000 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	26,4 GWh/a *	13 GWh/a
Gesamtleistung [MW <sub>p</sub> ]	24 MW <sub>p</sub>	14 MW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	1.100 kWh/(kW <sub>p</sub> *a) *	930 (kWh/kW <sub>p</sub> *a)
Kosten	1.250 EUR/kW <sub>p</sub> *	1.785 EUR/kW <sub>p</sub> *
Gesamtkosten der Anlage	30 Mio. EUR	25 Mio. EUR

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: viennaairport.com, vienna.at, airport-weeze.com

## 7.2.2 Kläranlagenfläche



Quelle: mw-energie.com


Die großen Flächen von Abwasserreinigungsanlagen eignen sich prinzipiell für die Nutzung mittels Photovoltaik-Modulen, allerdings ist dafür in der Regel eine großflächige Überdachung notwendig. Da massive Stahlkonstruktionen mit hohen Kosten verbunden sind, gibt es inzwischen auch die Möglichkeit der Installation eines Solarfaltdachs, welches aus an Seilen befestigten Solarmodulen besteht. Durch die Faltpbarkeit können die Module beispielsweise vor Hagel, Schnee oder Sturm geschützt werden und sind für Wartungsarbeiten leichter zugänglich. Die Verschattung kann das Algenwachstum in Klärbecken reduzieren, wodurch weniger Reinigungsarbeiten im Kläranlagenbetrieb erforderlich sind (DIEZI 2017).

Projekte im deutschsprachigen Raum beschränken sich weitestgehend auf Faltdächer der Schweizer Firma dhp-technology, welche bereits mehr als 3.000 kW<sub>p</sub> Leistung auf Kläranlagen-Flächen installiert hat. Die Kosten solcher Anlagen sind durch die geringe Anzahl der Kraftwerke und der individuellen Topologie deutlich höher als bei klassischen Freiflächen-PV-Anlagen auf Grünflächen.

### Technische An- und Herausforderungen:

- Grundfläche: Um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, sollte die überdachte Fläche mindestens 1.000 m<sup>2</sup> groß sein (dhp-technology.ch)
- Tragekonstruktion: Gewährleistung des Betriebs (auch bei Revisionsarbeiten)
- Fundament: durch Klärbecken nur sehr eingeschränkter Platz für Errichtung der Tragekonstruktion

Tab. 18: Kenndaten Anlagenbeispiel Kläranlagenflächen

Bezeichnung	Solarfaltdach Abwasserreinigungsanlage Chur	
	 <p>Quelle: ibc-chur.ch</p>	
In Betrieb seit	2017, Vollausbau 2018	
Beschreibung	Hängende Überdachung bestehend aus Ziehharmonika-förmig angeordneten Solarmodulen	
Betreiber	IBC Energie Wasser Chur	
Technologie	2.120 glaslose polykristalline 6x12 Leichtmodule von DAS Energy, 10° Neigungswinkel	
Flächenbedarf	5.800 m <sup>2</sup>	
Modulfläche	4.150 m <sup>2</sup>	
Stromerzeugung	620 MWh/a	
Gesamtleistung	636 kW <sub>p</sub>	
Spezifischer Energieertrag	975 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)	
Kosten	2.566 CHF/kW <sub>p</sub>	
Gesamtkosten der Anlage	1,65 Mio. CHF	

Datengrundlagen: dhp-technology.ch, ibc-chur.ch



### 7.2.3 Deponieflächen



Quelle: goldbecksolar.com

Unter Deponien werden Auffüllungen oder Ablagerungen von zu deponierenden Stoffen verstanden. Werden Deponien stillgelegt, so findet nach der Betriebsphase eine dauerhafte Nutzung und damit auch Befahrung oder Begehung nicht mehr statt. Nach der Stilllegung erfolgt je nach Deponieklasse zunächst eine Oberflächenverdichtung durch verschiedene Schichten. Als letzter Schritt erfolgt eine Rekultivierung des Geländes (VOGL ET AL. 2015).


In Tirol ist eine Fläche von insgesamt 934 ha (Stand 2021) für Abbauflächen, Halden und Deponien ausgewiesen, von welchen rund **100 ha derzeit inaktiv** sind (tirolatlas.uibk.ac.at).

Da Deponieflächen durch bestehende Fahrwege gut zugänglich, die Möglichkeiten der Bebauung jedoch stark beschränkt sind (Setzung, Deponiegas, Beschädigung der Deponieabdichtungssysteme), stellen sie ideale Flächen für Freiflächen-PV-Anlagen dar. Wird die Anlage vor Stilllegung der Deponie geplant, können die Module in Form einer flächigen Überdachung installiert werden. Diese ersetzt die notwendige Deponieabdeckung und ermöglicht damit das gesammelte Abführen von Deponiesickerwasser (ee-news.ch).

#### Technische An- und Herausforderungen

- Umweltschutz: Eine Beschädigung der Deponieabdichtungssysteme muss verhindert werden
- Erosion: Der Niederschlagseintrag muss minimiert werden (DVO, § 29 (1)) und darf nicht an einzelnen Stellen versickert werden (photovoltaik.eu)
- Tiefbau: Fundamente, Schächte und erdverlegte Kabel müssen ausschließlich in der Rekultivierungsschicht liegen und einen Mindestabstand zur Oberkante der Entwässerungsschicht einhalten (Ifu.bayern.de), gleichzeitig sind Setzungen möglich (LANUV 2013)

Tab. 19: Kenndaten Anlagenbeispiel Deponieanlagen

Bezeichnung	<p>Deponie Hellsiek</p>  <p>Quelle: pv-magazine.de, goldbecksolar.com</p>
In Betrieb seit	2016
Beschreibung	Wasserdichte Überdachung der Deponie durch PV-Module
Betreiber	Photovoltaik Deponie Dörentrup GmbH & Co. KG
Technologie	37.004 polykristalline, auf Rammpfosten befestigte Module (Nennleistung 270 W)
Flächenbedarf	66.000 m <sup>2</sup>
Modulfläche	40.000 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	8.000 MWh/a
Gesamtleistung	9.800 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	815 kWh/(kW <sub>p</sub> *a) *
Kosten	1.020 CHF/kW <sub>p</sub>
Gesamtkosten der Anlage	10 Mio. EUR

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: industr.com, photovoltaik.eu, ee-news.ch

## 7.3 Grünland- und Ackerbauflächen

### 7.3.1 Grünland- und Ackerbauflächen – alleinige Freiflächen-PV-Nutzung



Quelle: agrarheute.com, positionen.wienenergie.at


Geeignete Grünflächen für die alleinige Nutzung von Freiflächen-PV-Anlagen sind von geringer ökologischer Bedeutung wie etwa Verkehrsrandflächen oder brachliegende landwirtschaftliche Flächen (Grünlandbrachen, Hutweiden). Installierte Anlagen bestehen üblicherweise aus zu Tischen zusammengefassten Modulen, welche auf eine im Boden verankerte Unterkonstruktion montiert werden. In der Regel werden die Module hierbei in schrägen Reihen nach Süden ausgerichtet. Der Reihenabstand und Aufstellwinkel werden durch Breitengrad, Steigung der bebauten Fläche, eingesetzte Technologie und Albedo bestimmt. Bei der alleinigen Nutzung von Photovoltaik auf Grünflächen können jedoch auch Tracking-Systeme installiert werden oder eine dachförmige Ost-West-Aufständigung mit flachen Winkeln erfolgen. Bei letzterer ist der Ertrag pro Modul zwar geringer, die Windlast jedoch geringer und die Flächenbelegung höher, was zu insgesamt höherer Stromproduktion pro Nutzfläche führen kann (HARTNER ET AL. 2015). Da die alleinige Nutzung von Grünflächen für Freiflächen-PV-Anlagen je nach Flächenwidmung gemäß cpq-power.at erst ab 1-2 ha wirtschaftlich ist, fallen in diese Kategorie vorwiegend Großkraftwerke, welche von fallenden spezifischen Fixkosten bei steigender Kapazität profitieren (leicht skalierbare, modulare Bauweise). Diese machen deutlich mehr als die Hälfte der weltweit installierten Leistung von PV aus (iea.org) – die Technologie erscheint inzwischen vollständig etabliert.

#### Technische An- und Herausforderungen

- Standort: Möglichst wenig verschattete, ebene und kompakte Fläche (Liegenschaft muss umzäunt werden), bestenfalls mit infrastruktureller Anbindung (Netzanschluss, Zufahrtswege). Bodeneignung wird durch Bodengutachten und Rammtests eruiert (selina-pv.com)
- Mindestabstand zu angrenzenden Verkehrswegen und Gebäuden (relevant bei Nutzung von Verkehrsrandflächen)
- Eine Sonderwidmung ist nach TBO § 28 Abs. 3 ab 20 m<sup>2</sup> Modulfläche notwendig (MOSER 2022)
- Anzeige- bzw. Bewilligungspflicht besteht ab 50 kW<sub>p</sub> bzw. 250 kW<sub>p</sub> bei Bezirksverwaltungsbehörde (TEG § 76 Abs. 1); ab 2500 m<sup>2</sup> sind Freiflächen-PV-Anlagen außerdem naturschutzrechtlich bewilligungspflichtig (§ 6 lit. a TNSchG).
- Gesellschaftliche Akzeptanz



Tab. 20: Kenndaten Anlagenbeispiel Grünland und Ackerbauflächen – alleinige Nutzung

Bezeichnung	<p>Photovoltaikpark Assling</p>  <p>Quelle: EWA</p>
In Betrieb seit	2014
Beschreibung	An vier Standorten errichtete Freiflächenanlagen mit jeweiliger Leistung von 500 kW <sub>p</sub>
Betreiber	EWA
Technologie	8.058 polykristalline Module mit einer Nennleistung von 250 W
Flächenbedarf	30.000 m <sup>2</sup>
Modulfläche	13.500 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	2.400 MWh/a
Gesamtleistung	2.000 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	1.200 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)
Kosten	1.600 EUR/kW <sub>p</sub>
Gesamtkosten der Anlage	3,2 Mio. EUR

Datengrundlagen: ewa.at, dolomitenstadt.at

### 7.3.2 Grünland- und Ackerbauflächen – Doppelnutzung




Quelle: agri-pv.org, shop.haidegg.at, Solverde Bürgerkraftwerke Energiegenossenschaft eG

Durch die alpine Lage Tirols sind nutzbare Flächen beschränkt. Es besteht eine grundsätzliche Konkurrenz mit Wohnraum, Industrie, Gewerbe, Stromerzeugung und Landwirtschaft. Ein Ansatz, um diesen Konflikt zu entschärfen, ist die Doppelnutzung von landwirtschaftlichen Flächen zur solaren Stromgewinnung – die Agri-PV. Hierbei werden entweder senkrechte Reihen bifazialer Module in Anbauflächen, Plantagen oder Weiden integriert oder Module auf einer Überdachkonstruktion installiert. In beiden Fällen kann die Teilverschattung zur Minderung des Hitzestresses und der Verdunstung von Wasser führen, was der Fläche Biotopcharakter verleiht und damit die Biodiversität verbessern soll (PHOTOVOLTAIK AUSTRIA 2020). Diese Effekte können verstärkt werden, indem in der unmittelbaren Umgebung der PV-Anlage Nistkästen, Hecken oder Blumenstreifen angelegt werden. Eine Überdachkonstruktion bietet außerdem Schutz vor Hagel, während senkrechte bifaziale Reihen als Windschutz fungieren. Die unmittelbare Nähe zu Flora und Fauna birgt jedoch auch Risiken wie Verschmutzung, Wucherungszonen, Blütenstaub oder Nahverschattung der Paneele. Potenziell erhöhte Wartungs- und Investitionskosten (Überdachkonstruktion) gefährden zudem die Wirtschaftlichkeit, weshalb als Mindestfläche 1-2 ha üblich sind. In Österreich wird Agri-PV bspw. durch die OeMAG bewusst gefördert – dementsprechend existieren mittlerweile einige Anlagen und die Studienlage ist gut.

#### Technische An- und Herausforderungen:

- Konstruktion: Ausreichende Reihenabstände und Überdachungshöhen für problemloses Befahren mit landwirtschaftlichem Gerät, stabil unter Wind- und Schneelast, Anprallschutz
- Produktionsoptimierung: Die Summe des Ertrags durch Stromproduktion (bestimmt durch Flächenbelegung, Tracking, Verlusten bei verschmutzten/verschatteten Modulen, ...) und landwirtschaftlicher Produktion (bestimmt durch Auswirkungen der PV-Anlage auf Mikroklima) sollte maximiert werden
- Geeignete Kulturpflanzen: Nur schattentolerante Pflanzenarten können in verschatteten Flächen angebaut werden (FRAUNHOFER ISE 2020)
- Erosion: Der durch die Module gesammelte Wassereintrag kann lokal zu Erosion führen
- Infrastruktur: Installation eines neuen Netzanschlusses

Tab. 21: Kenndaten Anlagenbeispiel Grünland und Ackerbauflächen – Doppelnutzung

Bezeichnung	Solarpark Aasen
	 <p>Quelle: Next2Sun GmbH</p>
In Betrieb seit	2020
Beschreibung	Senkrechte, in Reihen angeordnete bifazial-Module, landwirtschaftliche Flächennutzung für Heu und Silage
Betreiber	Bürgersolkraftwerke Donaueschingen-Aasen GmbH
Technologie	10.960 bifaziale n-PERT (100 %) Glas-Glas-Module des Herstellers Jolywood
Flächenbedarf	140.000 m <sup>2</sup>
Modulfläche	22.000 m <sup>2</sup> *
Stromerzeugung	4.600 MWh/a
Gesamtleistung	4.100 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	1.180 kWh/(kW <sub>p</sub> *a) *
Kosten	780 EUR/kW <sub>p</sub> *
Gesamtkosten der Anlage	3,2 Mio. EUR

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: solarserver.de, solarbranche.de, pv-magazine.de, jolywood.cn

## 7.4 Alpine Flächen

### 7.4.1 Hochalpine Flächen und Almflächen





Quelle: en-former.com, energieukunft.eu

Der hochalpine Raum zeichnet sich im Jahresmittel durch kühle Temperaturen, hohe Strahlungswerte und einer hohen Albedo (Rückstrahlvermögen) des Bodens bei Schneebedeckung aus. Dieser Standort ist demnach bestens geeignet für die Gewinnung von Solarstrom, da der Wirkungsgrad von PV-Zellen mit der Bestrahlungsstärke steigt und mit zunehmender Temperatur sinkt. Hochalpine Flächen und Almflächen bergen demnach ein enormes Potenzial in Tirol – allerdings ist die Konstruktion und Netzanbindung durch Unwegsamkeit, Abgelegenheit und alpine Gefahren mit erheblichen Herausforderungen verbunden.

#### Technische An- und Herausforderungen

- Alpiner Raum: Kurze Bauperiode und Abgelegenheit bedeuten erhöhten Montage- und Serviceaufwand
- Energieübertragung: sofern nicht in Nähe von Infrastruktur (bspw. Skigebiete), muss Strom über weite Distanzen übertragen werden und Leitungen verlegt werden
- Gesellschaftliche Akzeptanz: Tourismusgebiete womöglich ungeeignet
- Statik: Wind- und Schneelasten müssen berücksichtigt werden



	Hochalpine Fläche	Almfläche
Bezeichnung	Caischavedra Solarpark/CH  Quelle: Roland Zumbühl	PV-Park Stockenboi/Spital (1200 m ü.A.)  Quelle: s-tech-energie.de
In Betrieb seit	1997	2015
Beschreibung	Aufgeständerte Module, welche je nach Jahreszeit manuell zwischen 30° (Sommer) und 60° Neigung (Winter) verstellt werden	Rund 5.000 Module auf Rammfundamenten aus Stahl in 33° steilen Hang
Betreiber	Desertasol AG	Privat
Technologie	Mono-Si Module (266W <sub>p</sub> ) der Solution AG	Poly-Si Solarmodule (245 W) der Firma Trinasolar
Flächenbedarf	1.200 m <sup>2</sup>	11.000 m <sup>2</sup>
Modulfläche	2.188 m <sup>2</sup>	8.200 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	113 MWh/a	1.500 MWh/a
Gesamtleistung	98 kW <sub>p</sub>	1.200 kW <sub>p</sub>
Spezif. Energieertrag	1.156 kWh/kW <sub>p</sub> *a	1.250 kWh/kW <sub>p</sub> *a
Kosten [EUR/kW <sub>p</sub> ]	Nicht bekannt	Nicht bekannt
Gesamtkosten	Nicht bekannt	Nicht bekannt

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: Alpin - aramis.admin.ch, silo.tips, Alm - photovoltaik.eu, kleinezeitung.at

## 7.4.2 Speicherteich – auf Wasserfläche



Quelle: Romande Energie

Da die Erschließung hochalpiner Flächen im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit, Netzanschluss und gesellschaftlicher Akzeptanz erschwert ist, sollten PV-Projekte vor allem im Bereich bestehender Infrastruktur verwirklicht werden. Zu dieser gehören Beschneigungsteiche und Stauseen, bei welchen in der Regel bereits Stromleitungen bestehen. Deren Wasserfläche kann genutzt werden, indem PV-Module auf am Grund verankerten Schwimmkörpern angebracht werden. Diese Floating-PV können modular gebaut werden, profitieren von zusätzlicher Kühlung und erhöhter Reflexion durch das Wasser und vermindern zudem die Verdunstungsrate (deutschlandfunk.de). Bei Nutzung von bifazialen Modulen kann damit die Effizienz verglichen mit Freiflächenanlagen im Grünland um 50 % gesteigert werden (FUCHS & AESCHLIMANN 2021). Prinzipiell ist es auch möglich, Floating-PV im Talraum (bspw. auf Fischteichen, Kiesgruben) zu installieren – diesen Flächen fällt jedoch in Tirol bedingt durch ihre Kleinräumigkeit keine Relevanz zu. Der Markt schwimmender Photovoltaikanlagen ist dynamisch, bis Anfang 2021 wurden 2.600 MW<sub>p</sub> Leistung weltweit installiert (FRAUNHOFER ISE 2021).


In den Alpen gibt es jedoch erst ein einziges Projekt am schweizerischen Lac des Toules (Tab. 22).

### Technische An- und Herausforderungen

- Alpiner Raum: Kurze Bauperiode und Abgelegenheit bedeuten erhöhten Montage- und Serviceaufwand
- Konstruktion: Anlage muss Schnee- und Windlasten sowie Zufrieren des Gewässers standhalten
- Wasserpegel: Verankerung und Verkabelung müssen auf verschiedene Füllstände ausgelegt sein
- Mikroklima: Alle Komponenten müssen hoher Luftfeuchtigkeit widerstehen (Glas-Glas-Module empfohlen)
- Akzeptanz: selbst auf künstlichen Gewässern sind Floating-PV Eingriff in Landschaftsbild
- Gewässerschutz in der Regel sekundär, da Wasserflora und -fauna durch vollständiges Entleeren der Seen ohnehin kaum vorhanden ist



Tab. 22: Kenndaten Anlagenbeispiel Speicherteich – Wasserfläche

<p>Bezeichnung</p>	<p>Schwimmende PV-Anlage auf dem Stausee Lac des Toules auf 1.810 m Höhe (Demonstrationsprojekt, dessen Kapazität verdreißigfacht werden soll)</p>  <p>Quelle: Romande Energie</p>
<p>In Betrieb seit</p>	<p>2019</p>
<p>Beschreibung</p>	<p>An Metallträgern montierte, schräg aufgeständerte Module, welche zu 35 Schwimmkörpern zusammengefasst dynamisch verankert auf dem See treiben. Die Konstruktion hält Wasserstandschwankungen von 50m, 120 km/h Wind, 60 cm Eis und 50 cm Schnee stand.</p>
<p>Betreiber</p>	<p>Romande Energie</p>
<p>Technologie</p>	<p>1.400 bifaziale Glas-Glas-Module</p>
<p>Flächenbedarf</p>	<p>12.700 m<sup>2</sup> (GIS) *</p>
<p>Modulfläche</p>	<p>2.240 m<sup>2</sup></p>
<p>Stromerzeugung</p>	<p>818 MWh/a</p>
<p>Gesamtleistung</p>	<p>448 kW<sub>p</sub></p>
<p>Spezifischer Energieertrag</p>	<p>1.825 kWh/(kW<sub>p</sub>*a) *</p>
<p>Kosten</p>	<p>5245 CHF/kW<sub>p</sub> *</p>
<p>Gesamtkosten der Anlage</p>	<p>2,35 Mio. CHF</p>

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: swissolar.ch , new.abb.com

### 7.4.3 Staumauern von Speicherteichen



Quelle: Axpo, EWZ

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von Speicherteichen ist die Installation von PV-Modulen an der Staumauer. Dazu werden die Module an einer speziellen Trägerkonstruktion, welche sich je nach Beschaffenheit des Staudamms unterscheidet, montiert. Je nach Ausrichtung kann auch die Innenseite der Mauer genutzt werden, da die Lichtreflexion an der Wasseroberfläche zur Steigerung des spezifischen Stromertrags beitragen kann. Der Aufstellwinkel der Module ist steiler als im nicht-alpinen Raum, womit auch deren Schneebedeckung weitestgehend vermieden werden kann. Da sich das Landschaftsbild optisch nur marginal ändert, ist die gesellschaftliche Akzeptanz für diese Projekte in der Regel hoch (WISSEN HAYEK ET AL. 2019).

Einige Projekte in der Schweiz beweisen, dass eine Integration von Photovoltaik an Wasserkraftanlagen möglich ist, jedoch gibt es bisweilen keine Anlage in Tirol.

#### Technische An- und Herausforderungen:

- Alpiner Raum: Es gelten dieselben Anforderungen wie in den vorhergehenden Flächenkategorien
- Ausrichtung: ein Ost-West-Verlauf des Damms ist wünschenswert
- Statik: Das gesamte Zusatzgewicht der PV-Anlage darf die Statik des Damms nicht destabilisieren
- Wasserstand: Bei Montage auf der Innenseite sind Paneele über Höchstwasserstandhöhe zu montieren

Tab. 23: Kenndaten Anlagenbeispiel Speicherteich – Staumauer

Bezeichnung	<p>Projekt <i>AlpinSolar</i> auf 2.500 m an der Staumauer des Muttsees in Glarus, Schweiz</p>  <p>Quelle: Axpo</p>
In Betrieb seit	2021, Fertigstellung August 2022
Beschreibung	An Aluprofilen montierte, steil aufgeständerte Module entlang der Staumauer
Betreiber	Axpo und IWB
Technologie	4.872 bifaziale Glas-Glas-Halbzellenmodule der Schweizer Firma megasol
Flächenbedarf	Entspricht Modulfläche (geodätisch)
Modulfläche	10.000 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	3.300 MWh/a
Gesamtleistung	2.200 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	1.500 kWh/(kW <sub>p</sub> *a) *
Kosten	3.640 CHF/kW <sub>p</sub> *
Gesamtkosten der Anlage	8 Mio. CHF

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: [alpinsolar.ch](http://alpinsolar.ch), [megasol.ch](http://megasol.ch)

#### 7.4.4 Flächen im Skigebietsbereich



Quelle: meinkraftwerk.at, nossaistorgia.ch, d1brno4kbxrfxy.cloudfront.net

##### Kurzbeschreibung


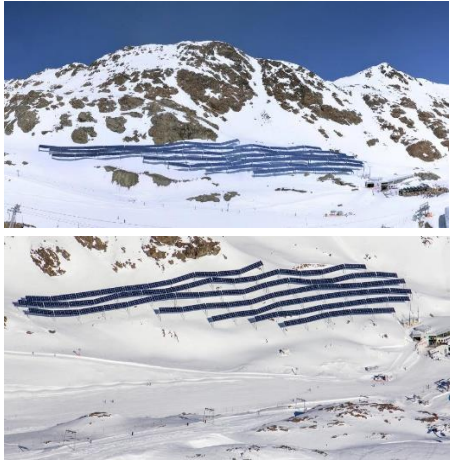
In Tirol existieren über tausend Gondeln, Sessellifte und Schlepplifte in Skigebieten (wikipedia.org). Photovoltaikanlagen, welche in diesen Wintersportgebieten gebaut werden, profitieren folglich von bestehenden Verkehrswegen, Netzzugang, hohen Erträgen durch die alpine Umgebung sowie der Möglichkeit, Strom direkt an die bestehenden Anlagen abzugeben. Der generelle Aufbau erfolgt klassisch über aufgeständerte Module, jedoch können außerdem Module auch an Seilen parallel zu Bergbahnen geführt werden. Oft kommen ein- oder zweiachsige Trackingsysteme zum Einsatz, da somit nicht nur Erträge gesteigert werden können, sondern auch Wind- und Schneelasten durch kontrollierte Ausrichtung gemindert werden können. Trotz der oft widrigen Wetterbedingungen und kurzen Bauperioden existieren inzwischen schon einige Anlagen in der DACH-Region, wie etwa am Pitztaler Gletscher, in der Wildkogel Arena, in Winterberg (D) oder in Tenna (CH). Außerdem gibt es Forschungsprojekte wie etwa „Alpenstrom Davos“ der ZHAW, das gezielt Modultypen und Aufstellungswinkel empirisch auf ihre Eignung im alpinen Raum testet.

##### Technische An- und Herausforderungen

- Wind- und Schneelast: je nach Standort sind Strömungsanalysen notwendig um Schneeverfrachtung zu vermeiden. Die Unterkonstruktion von aufgeständerten Modulen ist in der Regel deutlich höher als im Grünland (Pitztaler Gletscher: 4 m)
- Akzeptanz: Idealerweise möglichst geringe Beeinträchtigung des Landschaftsbildes (Tourismusgebiet)
- Fundierung: je nach Untergrund Rammpfähle, Bohrungen oder Fundamente in unwegsamem Gelände



Tab. 24: Kenndaten Anlagenbeispiele Skigebietsinfrastruktur

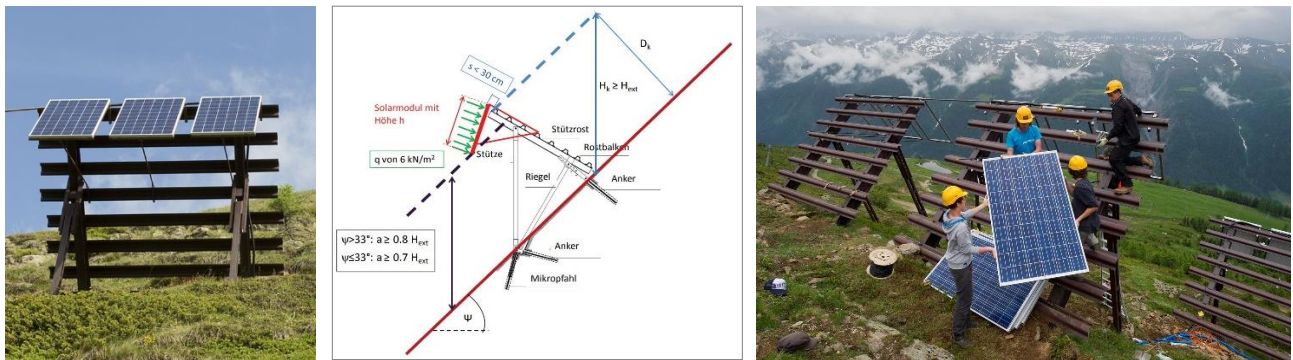
	Hängend	Aufgeständert
Bezeichnung	<p>Solarskilift Tenna</p>  <p>Quelle: solar-skilift.ch</p>	<p>Photovoltaikkraftwerk Pitztaler Gletscher</p>  <p>Quelle: pitztal.com</p>
In Betrieb seit	2011	2015
Beschreibung	82 an zwei Tragseilen oberhalb des Transportseils befestigte Solarwings (bestehend aus jeweils drei Modulen), einachsiges Tracking	Aufgeständerte Module auf einem Fachwerkträgersystem in einer Höhe von 4m mit 20m Stützenabstand
Betreiber	Genossenschaft Skilift Tenna	Pitztaler Gletscherbahn GmbH & Co KG
Technologie	246 polykristalline Module (245 W Nennleistung)	3.504 polykristalline Module (275 W Nennleistung), mit 8.000 Pa Flächenlast belastbar
Flächenbedarf	2.100 m <sup>2</sup> (GIS) *	31.735 m <sup>2</sup> (GIS) *, Fundamentfläche: 100
Modulfläche	~ 600 m <sup>2</sup> (Schätzung) *	6.070 m <sup>2</sup>
Stromerzeugung	100 MWh/a	1.450 MWh/a
Gesamtleistung	60 kW <sub>p</sub>	1.000 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	1.670 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)	1.450 kWh/(kW <sub>p</sub> *a)
Kosten	k.A.	3.000
Gesamtkosten der Anlage	1,3 Mio. CHF – gesamter Skilift	3 Mio. EUR

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: solar-skilift.ch, tt.com, energetica-pv.com, ehoch2.co.at



## 7.4.5 Nutzung von Lawinerverbauungen



Quelle: Lehmann Ruedi, EKLS, Keystone

### Kurzbeschreibung


Lawinerverbauungen bieten eine Möglichkeit, um Solaranlagen in alpinen Gebieten zu errichten. Es handelt sich hierbei um bereits bebaute Flächen und eine Unterkonstruktion für die Aufhängung von Modulen ist gegeben. Auch hier können die hohe Albedo, die kühlen Temperaturen und die starke Sonneneinstrahlung des alpinen Raums genutzt werden. Zudem sind bestehende Verbauungen sicherheitsrelevant und verändern bereits das Landschaftsbild, weswegen von einer hohen gesellschaftlichen Akzeptanz für deren Erweiterung mit Photovoltaikanlagen ausgegangen werden kann. Erfahrungen gibt es jedoch bisher nur in Form kleiner Pilot- und Forschungsprojekte. Bisher ist noch keine größere Anlage in Betrieb. Allerdings wurde von der Schweizer Expertenkommission Lawinen und Steinschlag ein detailliertes Beurteilungs- und Empfehlungspapier bezüglich der Anforderungen an Konstruktion und Module erarbeitet (EKLS 2012).

### Technische An- und Herausforderungen

- Lawinensicherheit: Zusätzliche Schneeverfrachtung durch PV-Anlage sowie von Modulen abgleitender Schnee erhöht gegebenenfalls das Risiko einer Lawinenauslösung
- Statik: Laut Schweizer Expertenkommission Lawinen und Steinschlag EKLS (2012) gelten zudem folgende Empfehlungen:
  - Keine Befestigung an Stützen, da diese oft von Schäden betroffen, nicht auf Querbelastung ausgelegt und erfahrungsgemäß das schwächste Bauteil sind
  - Module dürfen den Stützrost in vertikaler Richtung nicht überragen, da sonst eine Zusatzbelastung des Stützwerkes durch Schneeablagerung bestehen kann
  - Sollbruchstelle der Solarmodule ab  $6 \text{ kN/m}^2$ , damit das Stützwerk bei Lawinenaufprall nicht überlastet wird
  - Wirtschaftlichkeit: Erhöhter Wartungsaufwand durch hohe Schnee- und Windlast, erschwerter Netzzugang, sowie mögliche Beschädigung durch Lawinen und Steinschlag.

## Anlagenbeispiel

Tab. 25: Kenndaten Anlagenbeispiel Wildbach- und Lawinenverbauung

Bezeichnung	<p>Projekt Lawinenverbauung Bellwald (Wallis, CH) auf 2.380m Höhe</p>  <p>Quelle: enalpin.com</p>
In Betrieb seit	2012
Beschreibung	An Verbauungskrone im Winkel von 50°, 70° und 90° an modularem Stahlträgersystem montierte PV Module. Stromlieferung an Sportbahnen Bellwald.
Betreiber	Gemeinschaftsprojekt der Gemeinde, der Sportbahnen Bellwald und der EnAlpin AG
Technologie	24 polykristalline (235 W) und 30 monokristalline (190 W) Solarmodule
Flächenbedarf	~ 60m Lawinenbebauung *
Modulfläche	90 m <sup>2</sup> (Schätzung) *
Stromerzeugung	13 MWh/a
Gesamtleistung	11,3 kW <sub>p</sub>
Spezifischer Energieertrag	1.150 kWh/(kW <sub>p</sub> *a) *
Kosten	13.000 CHF/kW <sub>p</sub>
Gesamtkosten der Anlage	150.000 CHF *

\* eigene Berechnungen/Abschätzungen

Datengrundlagen: ee-news.ch, secondsol.com, tritec.ch, enalpin.com

## 8 ERGEBNISSE

### 8.1 Ermittlung geeigneter Flächen und deren Potenzial

Das PV-Potenzial geeigneter Flächen wurde durch sukzessives Abziehen von Ausschlusskriterien (Kap. 5) von der Tiroler Landesfläche berechnet. Zu diesen Kriterien gehören verschiedenste fachliche Festlegungen, jedoch auch Mindesteinstrahlungswerte, welche die Wirtschaftlichkeit von PV-Freiflächenanlagen beeinflussen.

Tab. 26 gibt einen Überblick über die Ausschlussflächen jedes Kriteriums sowie die nach dem Abzug verbliebenen Flächengrößen.

Tab. 26: Flächenstatistik PV-Potenzial Tirol

Flächenkategorien	Gesamtfläche gemäß GIS-Auswertung [km <sup>2</sup> ]	Anteil an Tiroler Landesfläche [%]
Fläche Tirols	12.651,71	100,00
<b>Ausschlussflächen gem. Fachabteilungen des Landes</b>		
• Ausschlussfläche Raumordnung	522,20	4,12
• Ausschlussfläche Agrarwirtschaft	897,43	7,09
• Ausschlussfläche Forstwirtschaft	4.711,65	37,24
• Ausschlussfläche Wasserwirtschaft	105,70	0,83
• Ausschlussfläche Umweltschutz	4.506,44	35,62
• Ausschlussfläche Wildbach- und Lawinenverbauung	46,90	0,37
• Ausschlussfläche Geologie	50,20	0,40
Ausschlussflächen gesamt (verschnitten, teils überlappend)	8.797,47	69,53
Verbleibende Fläche exkl. Ausschlussflächen	3.854,24	30,46
<b>Flächen mit günstiger Einstrahlung</b>		
Ausschlussflächen mit jährlicher Globalstrahlung < 950 kWh/m <sup>2</sup> *a	1.768,46	13,98
Verbleibende günstige Flächen (> 950 kWh/m <sup>2</sup> *a)	2.085,78	16,49

Aus Tab. 26 ist ersichtlich, dass der größte Anteil an Ausschlussflächen aufgrund von Kriterien aus den Bereichen Forstwirtschaft und Umweltschutz als ungeeignet für die Nutzung durch PV-Freiflächenanlagen klassifiziert wird. Durch die Kriterien dieser beiden Fachbereiche werden jeweils mehr als ein Drittel der Gesamtfläche Tirols ausgeschlossen (Überschneidungen möglich). Nach Abzug aller Ausschlussflächen verbleiben rd. 30 % der Landesfläche, wovon jedoch mehr als 99 % als „Einzelfallprüfung“ eingestuft sind und folglich nicht ohne weiteres erschlossen werden können (Tab. 9 und Tab. 10).

Zu den verbliebenen Flächen zählen unter anderem verschattete Flächen oder Gebiete mit ungünstiger Exposition. Da auf diesen Flächen eine wirtschaftliche Stromerzeugung mittels Photovoltaikanlagen mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht möglich ist, wurden diese unter Einbeziehung des Solarkatasters ermittelt und abgezogen (ca. 45 % ungeeignet/verschattet). Die verbliebenen Flächen **belaufen sich auf rd. 2.100 km<sup>2</sup>**.

Diese sind von keiner Fachabteilung ausgeschlossen, liegen in Gegenden mit hohen Einstrahlungswerten und sind damit prinzipiell erschließbar. **Das PV-Potenzial auf diesen günstigen, nicht ausgeschlossenen Freiflächen in Tirol beläuft sich auf rd. 220.000 GWh/a.**

Es ist jedoch zu beachten, dass sich dieses Potenzial wie o.a. vorwiegend auf Flächen befindet, welche von ein oder mehreren Fachabteilungen des Landes als „Einzelfallprüfung“ kategorisiert wurden. Hierzu gehören weitläufige Flächen im hochalpinen Raum, bei welchen fraglich ist, ob deren Potenzial tatsächlich – auch vom wirtschaftlichen Blickpunkt aus – erschlossen werden kann.

Dies wird am Beispiel der Mieminger Kette ersichtlich. Gemäß Abb. 11 wären weite Flächen entlang der Südseite der Mieminger Kette ertragsseitig für die Nutzung durch Freiflächenanlagen geeignet. Allerdings existiert nur wenig Infrastruktur für die Errichtung und Stromabnahme solcher Anlagen und es ist insbesondere in Kammlagen mit hohen Wind- und Schneelasten zu rechnen. Außerdem ist davon auszugehen, dass die gesellschaftliche Akzeptanz für eine Erschließung mit PV-Anlagen sehr gering ist.

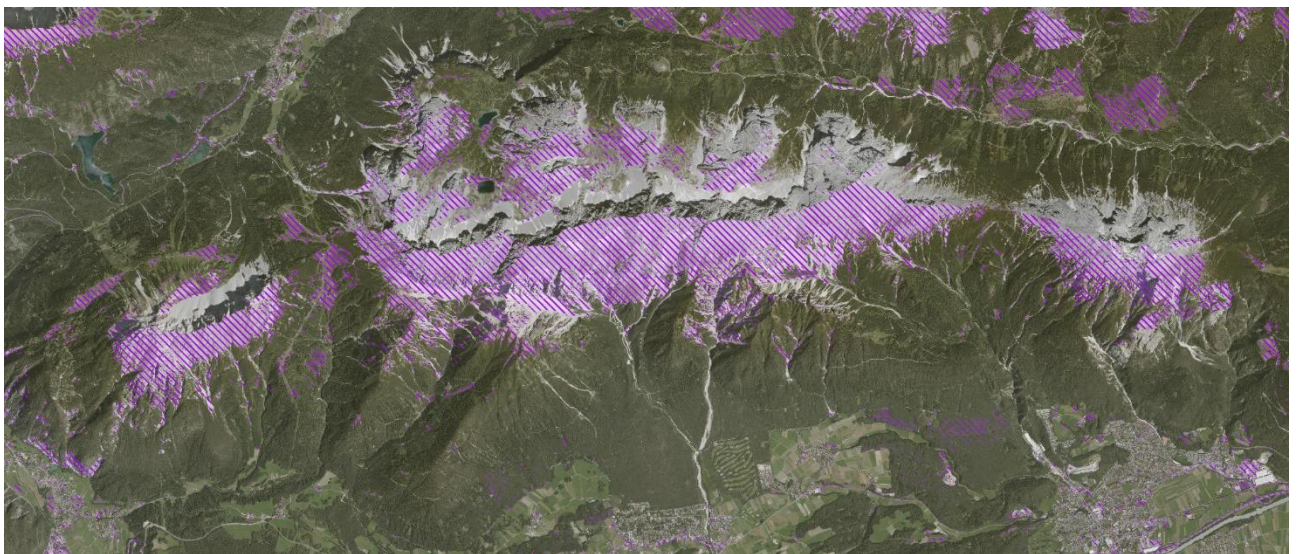


Abb. 11: Technische Potenzialflächen am Beispiel der Mieminger Kette



## 8.2 PV-Ertragspotenzial nutzbarer Freiflächen – Detailbetrachtung

Um eine realistischere Betrachtung des Potenzials zu ermöglichen, erfolgt in den folgenden Kapiteln eine Detailbetrachtung, in welcher geeignete Flächen auf Basis der in Kap. 7 ausgewählten Flächenkategorien ausgewiesen werden und deren Potenzial berechnet wird. Dabei wird insbesondere auf Annahmen und Besonderheiten bei der jeweiligen Berechnung eingegangen. Es erfolgt nicht für sämtliche angeführten Flächenkategorien eine anschließende Abschätzung, da für einzelne Kategorien (bspw. Plätze, Tunnelportale) eine geodatenbasierte Flächenerfassung nicht vorliegend ist.

### 8.2.1 Fahrbahnüberdachung bzw. -einhausung Straße



Datengrundlagen: data.tirol.gv.at

Abb. 12 Beispiel Kategorie Fahrbahnüberdachung (Lohbachsiedlung Innsbruck)

Das Tiroler Straßennetz besteht überwiegend aus untergeordneten Straßen (Tab. 27). Fahrbahneinhausungen sind jedoch in erster Linie auf Vorrangstrecken sinnvoll, da dort modular gebaut werden kann und die Umgebung von zusätzlichem Schallschutz profitiert. Die durchgeführte Potenzialanalyse beschränkt sich daher **ausschließlich auf die übergeordneten Autobahnen** des Landes.

Tab. 27: Kategorisierung von Straßen und deren Längen in Tirol

Straßenkategorie	Länge [km]	Anteil
Autobahn	314,31	2,7 %
Schnellstraße	15,30	0,1 %
Bundesstraße B	926,32	7,9 %
Landesstraße L	1.234,36	10,6 %
Örtliches Straßennetz	9.179,16	78,4 %
Privatstraße	34,56	0,3 %
<b>Summe</b>	<b>11.704,01</b>	<b>100 %</b>

Datengrundlage: GIS-basierte Ermittlung auf Basis des Verkehrswegenetzes des Landes Tirol



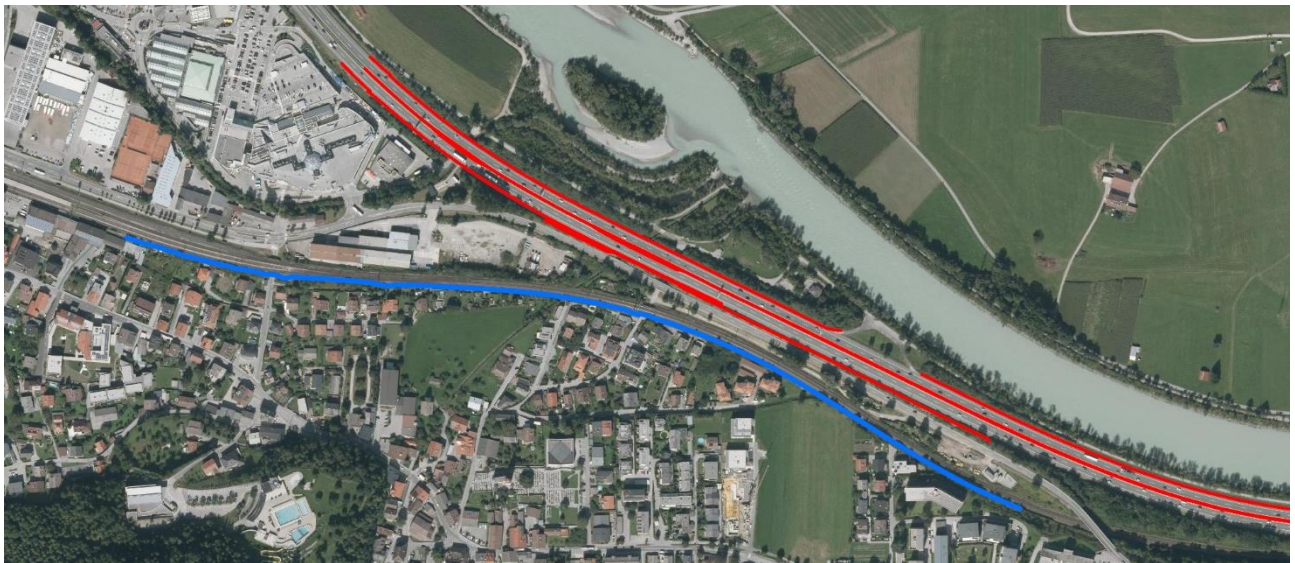
Die für die Potenzialermittlung herangezogenen Flächen wurden durch Liniendaten des Verkehrswegenetzes rekonstruiert. Als Autobahnbreite wurden in Abstimmung mit dem Land Tirol 13 m, also 6,5 m Puffer angenommen.

Tab. 28: Potenzial Fahrbahnüberdachung bzw. -einhausung Autobahn

Gesamtlänge [km]	Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Geeignete Fläche [km <sup>2</sup> ]	Potenzial [GWh/a]
314,41	4,09	2,69	246,05

Nach Verschneidung mit dem Solarkataster ergibt sich ein **Gesamtpotenzial von rd. 246 GWh/a**. Tab. 28 gibt zudem die Fläche und Länge der Verkehrswege an. Gemäß Kap. 7.1.1 erscheint die Einhausung zum alleinigen Zweck der Stromgewinnung durch PV derzeit nicht wettbewerbsfähig, weshalb das Potenzial bisher als nur theoretisch erachtet werden muss. Das Miteinbeziehen von Freiflächen-PV-Anlagen bei der Konzeption neuer Einhausungen aus bspw. Lärmschutzgründen stellt jedoch eine realistische Möglichkeit dar, dieses Potenzial zumindest teilweise zu nutzen. Es erfolgte keine Potenzialermittlung für die Überdachung/Einhausung von Schienenverkehrsanlagen.

## 8.2.2 Lärmschutzwand Straße/Bahn



Datengrundlagen: data.tirol.gv.at

Abb. 13 Beispiel Kategorie Lärmschutzwand Straße (rot) und Bahn (blau) im Gemeindegebiet von Völs

Da Lärmschutzwände in der Regel vertikal verlaufen, sind die Daten des Solarkatasters für die Analyse des Solarpotenzials ungeeignet. Um dennoch eine Abschätzung durchzuführen, wurden folgende Annahmen und Festlegungen getroffen:

- Nur Lärmschutzwände mit nach Süden gerichteter Fläche werden betrachtet (Exposition 135° - 225°)
- Da Verkehrsrandstreifen außerhalb der Lärmschutzwände meist verschattende Vegetation aufweisen, werden nur lärmseitige PV-Anlagen betrachtet. Daher wurde nur die Hälfte der Lärmschutzwände zur Ermittlung des Potenzials herangezogen.

- Als üblicher jährlicher Ertrag wurden 1.000 kWh/(m<sup>2</sup>•a) festgelegt

Außerdem wurde ein Durchschnittswert von 200 kW<sub>p</sub>/km für die lineare Leistungsdichte auf Basis von Erfahrungswerten und Literaturangaben (vgl. Tab. 29) festgelegt.

Tab. 29: Übersicht lineare Leistungs- und Energiedichte an Lärmschutzwänden

Autor/Standort	Literatur			Anlagen		
	Paul & Heller	U.S. Transport. Dep.	TNC Consulting	Aschaffenburg	Neuötting	A3 Chur
Quelle	(PAUL & HELLER 2015)	(POE ET AL. 2017)	(VONTOBEL ET AL. 2013)	(TREIBER 2020)	(TREIBER 2020)	(RHIENERGIE AG 2017)
Lineare Leistungsdichte [kW <sub>p</sub> /km]	88	200	200	170	280	314
Energieertrag [kWh/(kW <sub>p</sub> •a)]	981	915	830	720	763	1207
Energiedichte [kWh/kW <sub>p</sub> •m]	86	183	166	122	214	379

Das Potenzial für Photovoltaikanlagen an Lärmschutzwänden in Tirol beläuft sich insgesamt auf rund **25 GWh/a**, was etwa dem durchschnittlichen Stromverbrauch von 6.000 Haushalten entspricht. Die detaillierten Ergebnisse können Tab. 30 entnommen werden.

Tab. 30: Potenzial Lärmschutzwände Straße/Bahn

Kategorie	Gesamtlänge [km]	S-Exposition [km]	Potenzial [GWh/a]
ASFINAG	305,03	184,57	18,46
OEBB	88,88	65,63	6,56
<b>Straße/Bahn gesamt</b>	<b>393,01</b>	<b>250,2</b>	<b>25,02</b>

### 8.2.3 Brücke Straße / Bahn



Datengrundlagen: data.tirol.gv.at

Abb. 14 Beispiel Kategorie Brücke (Olympiabücke Innsbruck)

Gemäß Kap. 7.1.4 sind PV-Anlagen an Brücken bisher eine absolute Randerscheinung. Dennoch sind einige Brücken in Tirol Basisflächen, unterliegen also keinem Ausschluss einer Fachabteilung und sind damit prinzipiell geeignet für eine Doppelnutzung mit Photovoltaik. Zur Potenzialermittlung wurden dieselben Annahmen wie für Lärmschutzwände getroffen. Das berechnete Potenzial von **jährlich 5,8 GWh** muss jedoch als vorwiegend technisches Potenzial angesehen werden, da die Wirtschaftlichkeit gerade bei kurzen und abgelegenen Brücken fraglich ist.

Tab. 31: Potenzial Brücken Straße/Bahn

Gesamtlänge [km]	S-Exposition [km]	Potenzial [GWh/a]
109,76	58,28	5,83

### 8.2.4 Parkplätze



Datengrundlagen: data.tirol.gv.at

Abb. 15: Beispiel Kategorie Parkplätze (Innsbruck Ost/Hall)

In Tirol gibt es derzeit 3.464 Parkplätze mit einer Fläche von jeweils mehr als 600 m<sup>2</sup>. Durch den Solarkataster



konnte deren Solarpotenzial auf **283,21 GWh/a** beziffert werden. Dieses Potenzial liegt unter der Abschätzung durch SALAK ET AL. (2017) – vermutlich aufgrund von methodischen Unterschieden, wie etwa des Einbezugs der Fernverschattung und der Ausschlusskriterien in vorliegender Studie.

Tab. 32: Potenzial Großparkplätze in Tirol

Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Gesamtfläche geeignet [km <sup>2</sup> ]	Potenzial [GWh/a]
5,60	3,09	283,21

## 8.2.5 Kläranlagenflächen



Datengrundlagen.data.tirol.gv.at

Abb. 16: Beispiel Kategorie Kläranlagenflächen (Kläranlage Roßau)

Das Potenzial von Kläranlagenflächen kann entweder durch die Bebauung vieler einzelner Teilflächen zwischen der Kläranlageninfrastruktur oder durch eine flächige Überdachung erschlossen werden. Da die GIS-Analyse durch Flächenkategorisierung und Solarkataster bestimmt wurde und somit auch bspw. Klärbecken als geeignete Flächen kartographiert wurden, bezieht sich das in Tab. 33 angegebene Potenzial auf eine Überdach-Lösung.

Tab. 33: Potenzial Kläranlagenflächen

Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Gesamtfläche geeignet [km <sup>2</sup> ]	Potenzial [GWh/a]
0,47	0,21	19,39

## 8.2.6 Deponieflächen



Grundlagendaten: data.tirol.gv.at

Abb. 17: Beispiel Kategorie Deponieflächen (Ferrariewiese Innsbruck)

Zu den in den Geodaten angegebenen Deponieflächen zählen sowohl stillgelegte als auch aktive Deponien. Bei letzteren kann das Solarpotenzial erst nach erfolgter Stilllegung erschlossen werden. Allerdings kann dafür der Bau von Freiflächen-PV bei der Versiegelung mitberücksichtigt werden und womöglich – wie im Anlagenbeispiel im gegenständlichen Kapitel – Kosten einsparen. Das Gesamtpotenzial der Deponieflächen ist Tab. 34 zu entnehmen.

Tab. 34: Potenzial Deponieflächen

Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Gesamtfläche geeignet [km <sup>2</sup> ]	Potenzial [GWh/a]
1,22	0,60	56,41

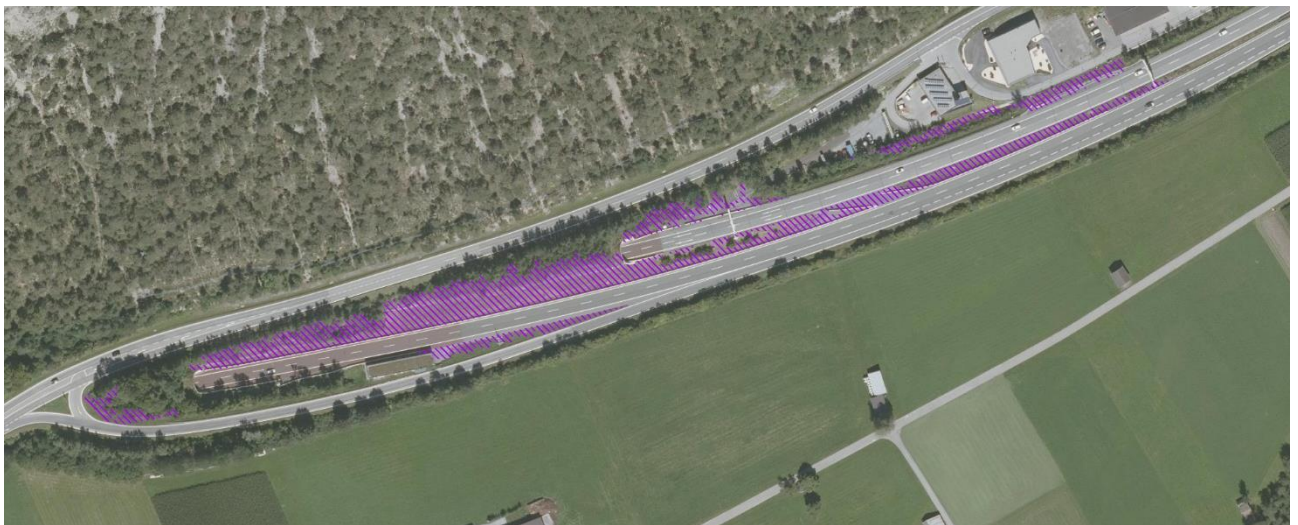


## 8.2.7 Grünland-/Verkehrsrandflächen

Der Großteil von Grünflächen in Tirol ist als Ausschluss definiert, da nur Flächen mit extrem niedriger ökologischer Bedeutung für PV-Freiflächenanlagen infrage kommen. Das ermittelbare Potenzial umfasst daher ausschließlich Verkehrsrandflächen, welche sich vorwiegend entlang Autobahnen, Bahntrassen und wenigen Vorrangstraßen finden.

Tab. 35: Potenzial Verkehrsrandflächen

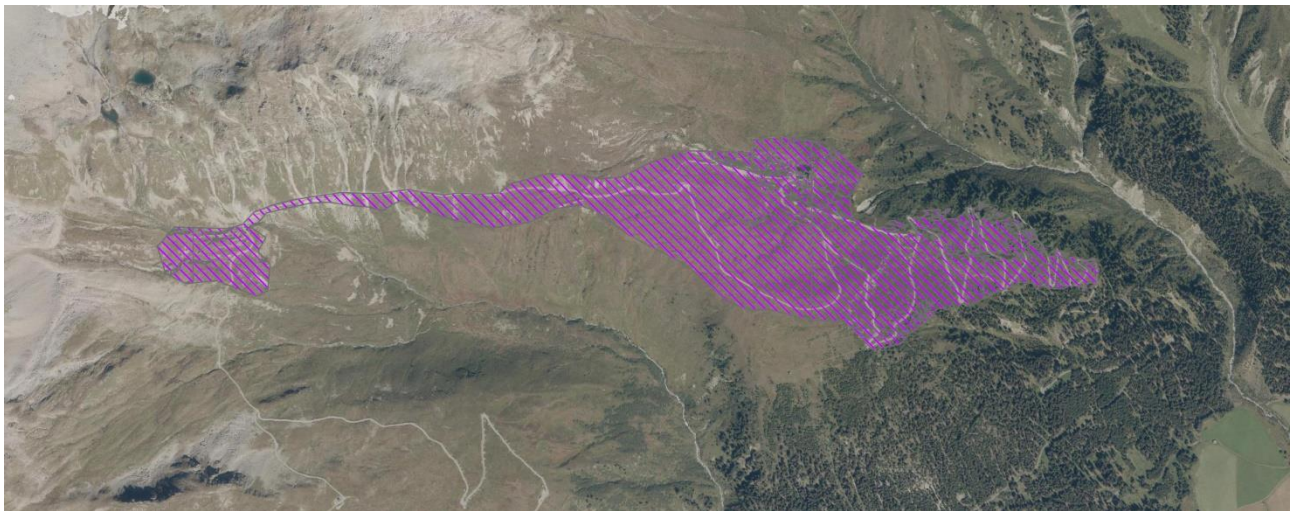
Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Gesamtfläche geeignet [km <sup>2</sup> ]	Potenzial [GWh/a]
3,414	0,98	90,91



Datengrundlagen: data.tirol.gv.at

Abb. 18: Beispiel Kategorie Verkehrsrandfläche (Ostende Milser Tunnel, Inntal Autobahn)

## 8.2.8 Hochalpine Flächen und Almflächen



Datengrundlagen: data.tirol.gv.at

Abb. 19: Beispiel Kategorie Hochalpine Flächen und Almflächen (Paznaun)

In Tirol fallen weite Flächen dem alpinen Raum zu. Durch tiefe Temperaturen verbunden mit hohen Einstrahlungswerten sowie hoher Albedo bei Schneebedeckung im Winter sind diese Flächen rein technisch betrachtet ideal für die Stromgewinnung durch PV. Die Geodaten-basierte Analyse ergab dementsprechend ein **Solarpotenzial von insgesamt 121.264 GWh/a**, womit der **Tiroler Strombedarf Stand 2020** (STATISTIK AUSTRIA 2021) **20-fach gedeckt** werden könnte. Die Erschließung erfordert jedoch detaillierte Einzelfallprüfungen (auch hinsichtlich Wirtschaftlichkeit) sowie gesellschaftliche Akzeptanz.

Tab. 36: Potenzial hochalpine und Almflächen

Kategorie	Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Gesamtfläche geeignet [km <sup>2</sup> ]	Potenzial [GWh/a]
Hochalpine Flächen	2.000,98	1.304,79	142.325,70
Almflächen	1792,01	1.138,48	121.264,27
<b>Gesamt</b>	<b>2.810,62</b>	<b>1.755,12</b>	<b>188.182,04</b>

\* Bedingt durch räumliche Überschneidungen weichen die jeweils angegebenen Gesamtflächen von der Summe der jeweils herangezogenen Einzelflächen ab.

### 8.2.9 Nicht erfasste Flächenkategorien

Von den in Kap. 5.5 beschriebenen Flächenkategorien konnten nicht alle umfassend beschrieben werden. Zu den nicht erfassten Kategorien zählen:

- Das Potenzial, welches durch die Einhausung von Bahnstrecken erschlossen werden könnte, wurde nicht abschließend ermittelt, da in den Geodaten keine Unterscheidung zwischen Bahnhöfen und offenen Streckenabschnitten gemacht wurde und die Wirtschaftlichkeit von neuen Einhausungen fraglich ist.
- Alle Flughafenflächen in Tirol wurden von mindestens einer Fachabteilung als „Ausschluss“ definiert. Demnach ist das Potenzial nach der GIS-Analyse Null. Grünflächen an Flugplätzen sind meist aufgrund ihrer Nutzung zur Produktion von Futtermittel ausgeschlossen.
- Ackerbauflächen: Diese Flächen sind in Tirol kategorisch ausgeschlossen. Das Potenzial könnte im besten Fall durch Doppelnutzung erschlossen werden, etwaige Einbußen bei der betreffenden Agrarproduktion sind jedoch zu prüfen.
- Alpiner Raum: Zwar weisen die durch Geodaten ermittelten Basisflächen auf ein enormes Potenzial hin, allerdings umfassen diese auch offensichtliche Ausschlussflächen wie etwa Skipisten. Hinzu kommen Bedenken hinsichtlich des Landschaftsbildes und der Zugänglichkeit potenziell geeigneter Flächen. Daher konnten die Kategorien „Skigebietsinfrastruktur“, „Wildbach- und Lawinenverbauung“ und „Speicherteiche – entlang Staumauern“ nicht zufriedenstellend erfasst werden.
- Speicherteiche: Der Großteil der Speicherteiche wurde von mindestens einer Fachabteilung ausgeschlossen. Die übrigen Flächen sind zu kleinteilig, um für Freiflächen in Betracht zu kommen.
- Tunnel- bzw. Galerieportale: Auch hier sind keine ausreichenden Geodaten vorhanden. In Anbetracht der nur geringen Gesamtfläche wurde diese Kategorie vernachlässigt.



(Datengrundlagen: data.tirol.gv.at)

Abb. 20: Beispiel nicht erfasster Flächenkategorien (Skigebiet Bergeralm)



### 8.3 Zusammenfassung

Tab. 37 weist die Potenziale für PV-Freiflächenanlagen im Land Tirol zusammengefasst aus. Zunächst werden dabei die **nicht-ausgeschlossenen und günstigen** (Einstrahlung > 950 kWh/a) **Flächen** angeführt, welche in Kap. 8.1 berechnet wurden. Diese Flächen umfassen **rd. 2.100 km<sup>2</sup>**, was einem Potenzial von **rd. 220.000 GWh/a** entspricht. Für diese grundsätzlich geeigneten Flächen wurde anschließend eine Detailbetrachtung durchgeführt, um das jeweilige Potenzial von ausgewählten Freiflächen, welche auch technisch erschlossen werden können, zu beziffern.

Tab. 37: Zusammenfassung PV-Freiflächen Potenziale

Flächenkategorie	Gesamtfläche/-länge [km <sup>2</sup> bzw. km]	Potenzial [GWh/a]
Geeignete Flächen gesamt	2.085,78 km <sup>2</sup>	<b>221.221,96</b>
Detailbetrachtung:		
• Fahrbahnüberdachungen/-einhausungen	2,69 km <sup>2</sup>	246,05
• Lärmschutzwände	250,2 km	25,02
• Brücken	58,28 km	5,83
• Parkplätze	3,09 km <sup>2</sup>	283,21
• Kläranlagenflächen	0,21 km <sup>2</sup>	19,39
• Deponieflächen	0,60 km <sup>2</sup>	56,41
• Verkehrsrandflächen	0,98 km <sup>2</sup>	90,91
• Hochalpine Flächen / Almflächen	1.755,12 km <sup>2</sup>	188.182,04
Summe Detailbetrachtung		<b>188.908,86</b>

Die Tabelle zeigt, dass sich das Potenzial der in der Analyse berücksichtigten, **ausgewählten Freiflächen** in Tirol insgesamt auf **rd. 190.000 GWh/a** beläuft. Der Großteil davon fällt mit 188.182 GWh/a auf hochalpine Flächen und Almgebiete. Da diese jedoch das Tiroler Landschaftsbild prägen, teilweise von hoher ökologischer Bedeutung sind und eine wirtschaftliche Nutzung wegen der teils schweren Zugänglichkeit ungewiss ist, muss eine Erschließung dieser un bebauten Gebiete für PV-Anlagen genau geprüft werden.

**Das Potenzial der übrigen Flächen/Bauwerke** beläuft sich auf insgesamt **rd. 730 GWh/a**. Das größte Potenzial innerhalb der verbleibenden Flächen kann dabei durch die Überdachung von größeren Parkplätzen erschlossen werden, welche mit 283 GWh/a rund 39 % davon ausmachen. 34 % respektive 246 GWh/a fallen den Fahrbahnüberdachungen/-einhausungen zu, deren Umsetzung jedoch mit zahlreichen technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen verknüpft ist. Rd. 91 GWh/a (13 %) können den Berechnungen zufolge auf Verkehrsrandflächen lukriert werden. Das ermittelte Potenzial auf Deponieflächen beträgt rd. 56 GWh/a. Die verbleibenden 50 GWh/a teilen sich Lärmschutzwände, Kläranlagenflächen und Brücken.

Diese Auswertung zeigt, dass ein großer Teil des zur Erreichung der im Tiroler Zielszenarios (EBENBICHLER ET AL. 2021) vorläufig definierten rd. 560 GWh/a (2.008 TJ/a) durch PV-Freiflächenanlagen auf bereits genutzten, versiegelten oder geringwertigen Flächen erzeugt werden kann.

## 9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Potenzial-Begriffsbestimmung und deren Abgrenzung (verändert).....	9
Abb. 2:	Entwicklung installierte Solarzellentypen in Österreich 2010 bis 2020 .....	14
Abb. 3:	Solarmodultypen: mono-/polykristallines Silizium (links, Mitte) und Dünnschicht (rechts) .....	14
Abb. 4:	Mono-Si Modul mit schwarzem Rahmen (links) und Glas-Folie-Halbzellenmodul (rechts) .....	18
Abb. 5:	PV-Freiflächenanlage aus bifazialen Modulen – Beispiel Donaueschingen (links) und Aubrugg..... (rechts) .....	19
Abb. 6:	Rammprofil, Fundament aus Beton und Erdschraub-Anker (v.l.n.r.) .....	19
Abb. 7:	Kostenverteilung von aufgeständerten PV-Großkraftwerken in Deutschland .....	23
Abb. 8:	Methodik zur Ermittlung von Basisflächen .....	25
Abb. 9:	Auszug aus dem Solarkataster Tirol – Darstellung der Jahreseinstrahlung pro Quadratmeter..... im Großraum Innsbruck mit rot: hohe Einstrahlung und grün: niedrige Einstrahlung. ....	26
Abb. 10:	Methodik bei der Verschneidung geeigneter Flächen aus definierten Flächenkategorien mit..... Basisflächen.....	27
Abb. 11:	Technische Potenzialflächen am Beispiel der Mieminger Kette .....	65
Abb. 12:	Beispiel Kategorie Fahrbahnüberdachung (Lohbachsiedlung Innsbruck).....	66
Abb. 13:	Beispiel Kategorie Lärmschutzwand Straße (rot) und Bahn (blau) im Gemeindegebiet von Völs.....	67
Abb. 14:	Beispiel Kategorie Brücke (Olympiabücke Innsbruck) .....	69
Abb. 15:	Beispiel Kategorie Parkplätze (Innsbruck Ost/Hall) .....	69
Abb. 16:	Beispiel Kategorie Kläranlagenflächen (Kläranlage Roßau) .....	70
Abb. 17:	Beispiel Kategorie Deponieflächen (Ferrariwiese Innsbruck) .....	71
Abb. 18:	Beispiel Kategorie Verkehrsrandfläche (Ostende Milser Tunnel, Inntal Autobahn).....	72
Abb. 19:	Beispiel Kategorie Hochalpine Flächen und Almflächen (Paznaun).....	73
Abb. 20:	Beispiel nicht erfasster Flächenkategorien (Skigebiet Bergeralm) .....	74



## 10 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Verwendete Geodaten.....	12
Tab. 2:	Monokristalline Siliziumzellen – wesentliche Kenndaten.....	15
Tab. 3:	Polykristalline Siliziumzellen – wesentliche Kenndaten.....	16
Tab. 4:	Dünnschichtzellen – wesentliche Kenndaten .....	17
Tab. 5:	Mittlere spezifische Kosten von PV-Anlagen .....	22
Tab. 6:	Entwicklung durchschnittlicher Angebotspreise gängiger PV-Solarmodule (netto) für verzollte Ware auf dem europäischen Spotmarkt.....	22
Tab. 7:	Angesetzte Werte für Flächenbelegung und Modul-Wirkungsgrad .....	26
Tab. 8:	Kriterium Ausschluss – relevante Flächen in Tirol .....	28
Tab. 9:	Kriterium Einzelfallprüfung – relevante Flächen in Tirol.....	31
Tab. 10:	Kriterium Eignung - relevante Flächen.....	32
Tab. 11:	Technisch nutzbare Freiflächen in Tirol .....	33
Tab. 12:	Kenndaten Anlagenbeispiel Fahrbahnüberdachung Straße/Bahn.....	35
Tab. 13:	Kenndaten Anlagenbeispiele Lärmschutzwand (Straße / Bahn).....	37
Tab. 14:	Kenndaten Anlagenbeispiel Tunnelportal.....	39
Tab. 15:	Kenndaten Anlagenbeispiel Brücke Straße .....	41
Tab. 16:	Kenndaten Anlagenbeispiele Parkplätze / öffentliche Plätze .....	43
Tab. 17:	Kenndaten Anlagenbeispiele Flughafenfläche.....	45
Tab. 18:	Kenndaten Anlagenbeispiel Kläranlagenflächen.....	47
Tab. 19:	Kenndaten Anlagenbeispiel Deponieanlagen .....	49
Tab. 20:	Kenndaten Anlagenbeispiel Grünland und Ackerbauflächen – alleinige Nutzung.....	51
Tab. 21:	Kenndaten Anlagenbeispiel Grünland und Ackerbauflächen – Doppelnutzung.....	53
Tab. 22:	Kenndaten Anlagenbeispiel Speicherteich – Wasserfläche .....	57
Tab. 23:	Kenndaten Anlagenbeispiel Speicherteich – Staumauer .....	59
Tab. 24:	Kenndaten Anlagenbeispiele Skigebietsinfrastruktur .....	61
Tab. 25:	Kenndaten Anlagenbeispiel Wildbach- und Lawinenverbauung .....	63
Tab. 26:	Flächenstatistik PV-Potenzial Tirol.....	64
Tab. 27:	Kategorisierung von Straßen und deren Längen in Tirol.....	66
Tab. 28:	Potenzial Fahrbahnüberdachung bzw. -einhausung Autobahn .....	67
Tab. 29:	Übersicht lineare Leistungs- und Energiedichte an Lärmschutzwänden .....	68
Tab. 30:	Potenzial Lärmschutzwände Straße/Bahn .....	68
Tab. 31:	Potenzial Brücken Straße/Bahn .....	69
Tab. 32:	Potenzial Großparkplätze in Tirol.....	70
Tab. 33:	Potenzial Kläranlagenflächen.....	70
Tab. 34:	Potenzial Deponieflächen .....	71
Tab. 35:	Potenzial Verkehrsrandflächen .....	72
Tab. 36:	Potenzial hochalpine und Almflächen.....	73
Tab. 37:	Zusammenfassung PV-Freiflächen Potenziale .....	75

## 11 LITERATURVERZEICHNIS

- ASFINAG (2020): Wege zur nachhaltigen Mobilität. Nachhaltigkeitsbericht 2019. 116 S.
- ADBLR (2021): Rahmenrichtlinie Photovoltaikanlagen auf Freiflächen für das Burgenland 2020. 28 S.
- ADKLR (2021): Die Kraft der Sonne nutzen. Leitfaden für die Standortplanung von Photovoltaikanlagen in Kärnten 2021. 36 S.
- ADNOELR (2020): Widmungsart Grünland-Photovoltaikanlagen. Ein Leitfaden zur Ausweisung im Flächenwidmungsplan. 8 S.
- ADVLR (2019): Unser Vorarlberg - chancenreich und nachhaltig. Arbeitsprogramm 2019 - 2024. 98 S.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2011): Photovoltaik Freiflächenanlagen - Leitfaden für Raumplanungsverfahren. Langfassung. 54 S.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2021): Leitfaden zur Standortplanung und Standortprüfung für PV-Freiflächenanlagen. Prüflisten 2020. 24 S.
- AUERBACH, M. & EBNER VON ESCHENBACH, A. & EICHLER, D. & GERSDORF, F. ET AL. (2020): Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 5 im BMVI-Expertenetzwerk für die Forschungsphase 2016 - 2019. 78 S.
- BIERMAYR, P. & DIRBAUER, C. & EBERL, M. & ENIGL, M. ET AL. (2022): Innovative Energietechnologien in Österreich. Marktentwicklung 2021. Biomasse, Photovoltaik, Photovoltaik-Batteriespeicher, Solarthermie, Wärmepumpen, Gebäudeaktivierung und Windkraft. 282 S.
- BOLINGER, M. & BOLINGER, G. (2022): Land Requirements for Utility-Scale PV: An Empirical Update on Power and Energy Density. In: IEEE Journal of Photovoltaics, Band 12/2. S. 589 - 594.
- DIEZI, G. (2017): Solarstrom-Faltdach. Wenn die Sonne das Klärwerk speist. In: baublatt, Band 18. S. 12 - 15.
- EKLS (2012): Montage von Solaranlagen auf Lawinverbauungen. Beurteilung und Empfehlung der Expertenkommission Lawinen und Steinschlag - EKLS. 10 S.
- EBENBICHLER, R. & HERTL, A. & HOFMANN, A. & STREICHER, W. ET AL. (2021): Energie-Zielszenario Tirol 2050 und 2040 mit Zwischenziel 2030. 156 S.
- FECHNER, H. (2020): Ermittlung des Flächenpotentials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich: Welche Flächenkategorien sind für die Erschließung von besonderer Bedeutung, um das Ökostromziel realisieren zu können mit Fokus auf bis 2030 realisierbare PV-Potentiale. 69 S.
- FELDMAN, D. & RAMASAMY, V. & FU, R. & RAMDAS, A. ET AL. (2021): U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmark: Q1 2020. 120 S.
- FISCHER, M. & WOODHOUSE, M. & HERRITSCH, S. & TRUBE, J. (2022): International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV). 2021 Results. 81 S.
- FRAUNHOFER ISE (2020): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. 54 S.
- FRAUNHOFER ISE (2021): Photovoltaics Report. 50 S.
- FRAUNHOFER ISE (2021): Schwimmende Solarkraftwerke. Integrierte Photovoltaik. 2 S.
- FRAUNHOFER ISE (2022): Photovoltaics Report. 52 S.
- FRISCHKNECHT, R. & STOLZ, P. & KREBS, L. & DE WILD-SCHOLTEN, M. ET AL. (2020): PVPS. Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems 2020. 89 S.
- FUCHS, G. & AESCHLIMANN, J. (2021): Solaire flottant. Lac des Toules, Valais. 19 S.
- HAIDER, M. & PRAMMER, D. & VORWAGNER, A. & MAYR, C. ET AL. (2021): PV Straßenüberdachung - Konzept PV - SÜD -

K. 190 S.

- HARTNER, M. & ORTNER, A. & HIESL, A. & HAAS, R. (2015): East to west - The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective. In: Applied Energy, Band 160. S. 94 - 107.
- IEA PVPS TCP (2020): National Survey Report of PV Power Applications in Austria 2020. 21 S.
- IRENA (2021): Renewable Power Generation Costs in 2020. 180 S.
- KOSCHER, R. (2021): Photovoltaik-Freiflächenanlagen in der Raumplanung. Steuerungsansätze zwischen Energie- wende und nachhaltiger Raumentwicklung. 158 S.
- KOST, C. & SHAMMUGAM, S. & FLURI, V. & PEPPER, D. ET AL. (2021): Levelized cost of electricity renewable energy techno- logies. 48 S.
- LANUV (2013): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW. Teil 2 - Solarenergie. LANUV-Fachbericht 40. 171 S.
- LAND OBERÖSTERREICH (2021): OÖ Photovoltaik. Strategie 2030. 50 S.
- LAND SALZBURG (2016): Leitfaden Energie im REK. In: Richtlinien und Leitfäden zur Salzburger Raumplanung, Band 4. S. 1-47.
- LEONHARTSBERGER, K. & MÜLLNER, T. & ETTWEIN, F. (2021): Investition in die Zukunft. Präsentation der Studie zu An- schaffungskosten in der Photovoltaik. PV Kongress 2021, 24. und 25. März 2021. 11 S.
- MOOR, D. & FINK, M. (2019): Photovoltaik-Überdachung eines Parkdecks. In: Stahlbau, Band 88/6. S. 537 - 539.
- MOSER, G. (2022): Informationsblatt Rechtliche Rahmenbedingungen für PV-Anlagen. Anlaufstelle des Landes Tirol im Sinne des Art. 16 Abs. 1 und 2 der Richtlinie (EU) 2018/2001 gemäß § 9a TEG 2012. 11 S.
- PAUL, S. & HELLER, A. (2015): Solarpotenzialanalyse für AutobahnlärmSchutzwände in Nordtirol. In: Journal für Ange- wandte Geoinformatik, Band 1/2015. S. 291 - 300.
- PHOTOVOLTAIK AUSTRIA (2020): Photovoltaik-Nutzung in der Landwirtschaft. 32 S.
- POE, C. & PLOVNICK, A. & HODGES, T. & HASTINGS, A. ET AL. (2017): Highway Renewable Energy: Photovoltaic Noise Barriers. 38 S.
- RHIIENERGIE AG (2017): rhiienergie feiert Sanierung der Pionier-Photovoltaik-Anlage an A13. 2 S.
- SALAK, B. & GRAF, C. & MUHAR, A. (2017): Urbane Photovoltaikproduktion auf österreichischen Großparkplätzen: ein Beitrag zu nachhaltiger Energieversorgung, zukünftiger Elektromobilität und Bewusstseinsbildung bei Entscheidungsträgern/-innen. In: Real Corp 2017 Proceedings/Tagungsband, Band 09/2017. S. 625-636.
- SOLARWORLD (2016): Calculating the additional energy yield of bifacial solar modules. White paper. 8 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2021): Energiebilanz Tirol 1988-2020. 65 S.
- TREIBER, F. (2018): Der Lärmschutzplaner. Innovation - Photovoltaische Lärmschutzwände. 36 S.
- TREIBER, F. (2020): Profaner Lärmschutz oder die multifunktionale Klimaschutzwand. In: UnternehmerBrief Bauwirtschaft, Band 43/06. S. 6 - 11.
- VOGL, B. & KINSPERGER, A. & DVORAK, E. (2015): Nutzung von Freiflächen für Photovoltaik- und Solarwärme-Anlagen. Leitfaden der Stadt Wien, Jänner 2015. 9 S.
- VONTOBEL, T. & NORDMANN, T. & CLAVADETSCHER, L. (2013): Messkampagne Photovoltaik Schallschutzanlage Münsin- gen. Monitoring und Betriebserfahrungen der ersten bifacialen PV Schallschutzanlage an einer Bahnlinie der SBB in Bünsingen BE. 24 S.
- WESSELAK, V. & SCHABBACH, T. & LINK, T. & FISCHER, J. (2017): Handbuch Regenerative Energietechnik. 943+XV S.
- WISSEN HAYEK, U. & SPIELHOFER, R. & SALAK, B. & LUTHE, T. ET AL. (2019): Empfehlungen für eine Landschaftsentwicklung durch Anlagen erneuerbarer Energien in der Schweiz. Räumliche Potenziale, Konflikte, Präferenzen und Empfehlunegn für die Praxis. NFP 70 Projekt "ENERGYSCAPE". 71 S.