

Das Photovoltaikpotential in Südtirol: Eine intelligente Nutzung von Räumen



EURAC-Institut für Erneuerbare Energie

David Moser (Koordination)
Matteo Del Buono
Wolfram Sparber
Roberto Vaccaro
Daniele Vettorato

Koordination:

David Moser

Verfasser:

David Moser
Matteo Del Buono
Wolfram Sparber
Roberto Vaccaro
Daniele Vettorato

Cover Fotos:

Brennerautobahn AG
EURAC

Finanziert durch:**EURAC**

Viale Druso, 1 · 39100 Bolzano/Bozen – Italy
www.eurac.edu

EURAC Institute for Renewable Energy

Via Luis-Zuegg, 11 · 39100 Bolzano/Bozen – Italy
Tel. +39 0471 055 600 · Fax +39 0471 055 699
renewable.energy@eurac.edu

Das Photovoltaikpotential in Südtirol:
Eine intelligente Nutzung von Räumen

Inhaltsverzeichnis

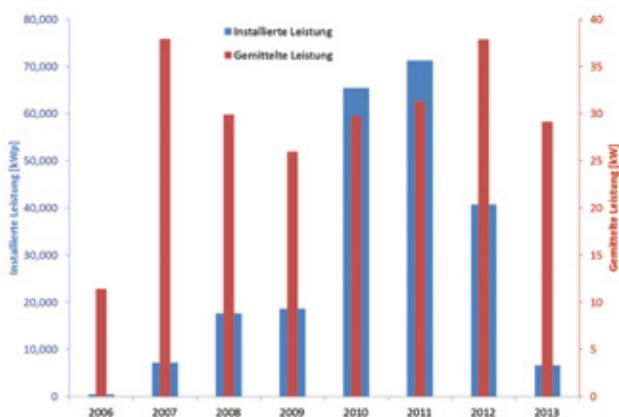
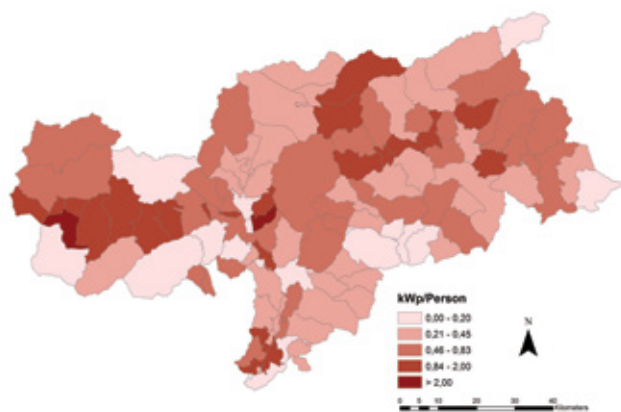
6	Übersicht
9	Nomenklatur
10	1. Einführung
11	1.1 Der Zusammenhang: KlimaLand
11	1.2 Das Szenario in Südtirol
13	1.3 Photovoltaik: die Lage in Italien, Europa und weltweit
13	1.4 Innovative Photovoltaik-Projekte in Südtirol
16	1.5 Die gegenwärtige Lage: das Netz in Südtirol
18	2. Berechnung: Einstrahlung und Photovoltaikpotential
19	2.1 Methode
20	2.2 Berechnung: Photovoltaikpotential und Einstrahlung auf Fassaden
22	2.3 Vergleich gemessene Daten – Datenbankbestand
22	2.4 Andere Untersuchungen zur PV-Potentialberechnung
24	3. Photovoltaik-Dachflächenpotential
25	3.1 Solarkatasterbestand
25	3.2 Solarkataster Brixen: Methode
27	3.3 Kompakte Stadträume
28	3.4 Die Untersuchung im oberen Nonsberg als Modell für ländliche Gebiete
30	4. Intelligente Raumnutzung
31	4.1 Geltende Bestimmungen
31	4.2 Gesetzliche Entwicklungsmöglichkeiten
32	4.3 Geeignete Flächen
32	4.4 Aus Fallstudien gewonnene Daten zu Einstrahlung, Potential und Erzeugung
38	5. Ausblicke in die Zukunft und wirtschaftliche Auswirkungen
39	5.1 Ausblicke in die Zukunft
42	5.2 Wirtschaftliche Auswirkungen
44	6. Schlussfolgerungen

Übersicht

Die Südtiroler Landesverwaltung veröffentlichte mit dem strategisch ausgerichteten Plan KlimaLand Südtirol 2050 die energiepolitischen Vorgaben für Südtirol bis ins Jahr 2050.

Wenn auf der einen Seite das Energiesparen Vorrang besitzt – um dieses Ziel zu erreichen, soll Energieeinsatz möglichst vermieden oder zumindest so effizient wie möglich gestaltet werden – ist es auf der anderen ebenso wichtig, die Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen zu steigern. Diese Energieerzeugung muss sich an die Bestimmungen für Umwelt- und Landschaftsschutz halten, die für die Südtiroler Einzigartigkeit als maßgeblich gelten. KlimaLand-Hauptziel ist folglich nachhaltig gestaltete Energiepolitik.

Die in der vorliegenden Untersuchung angebotene Analyse fügt sich in diesen Zusammenhang ein. Die Verfasser sind davon überzeugt, dass Photovoltaik auch ohne besondere Fördermaßnahmen für das Südtiroler Energiesystem in Zukunft eine Hauptrolle spielen und zur verstärkten Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen beitragen kann. Auch wenn die Photovoltaik als Technik mittlerweile einen erhöhten Reifegrad erreicht hat, bestehen nach wie vor Verbesserungsmöglichkeiten in den Bereichen Effizienz, Langlebigkeit und Anwendungsvielfalt. Weiters darf nicht unterschätzt werden, dass die Modulpreise vermutlich fallen und die Energiepreise mittel- bis langfristig weiter steigen werden. Unserer Ansicht nach sind somit die Voraussetzungen gegeben, um zusätzliche Photovoltaikleistung in erheblichem Ausmaß verwirklichen zu können. Auf dieser Grundlage beabsichtigt die gegenständliche Studie, die im KlimaLand-Paket für den Bereich Photovoltaik angeführten Zielsetzungen zu bewerten und das Photovoltaikpotential auf Dach- und sogenannten unkonventionellen Flächen zu untersuchen.



Der **erste Abschnitt** behandelt die im KlimaLand-Paket für den Bereich Photovoltaik vorgegebenen Zielsetzungen, führt in die derzeitige Lage in Südtirol, Europa und weltweit ein und beschreibt, in welchem Zustand sich das Stromnetz in Italien und Südtirol befinden. Außerdem werden die im Einzugsgebiet vorgelegten innovativen Projekte aus dem gegenständlichen Fachbereich aufgelistet.

Die Karte und das Diagramm stellen die derzeitige Lage graphisch dar. Auf der Karte ist die in Südtirol je Einwohner/in installierte Photovoltaikleistung sowie die Verortung nach Gemeinden ersichtlich. Wie man sieht, entwickelten einige Südtiroler Gemeinden mehr Verständnis für die Photovoltaik als andere. Die besten Werte kommen aus Prad am Stilfserjoch, dort wurden schon 2 kW_p/Einwohner mit 48 kW_p durchschnittlicher Leistungsfähigkeit je Anlage erreicht. Die drei wichtigsten Standorte melden folgende Werte: Bozen 0,14 kW_p/Einwohner, 55 kW_p durchschnittliche Leistung, Meran 0,16 kW_p/Einwohner, 42 kW_p durchschnittliche Leistung, Brixen 0,36 kW_p/Einwohner, 26 kW_p durchschnittliche Leistung. Die Zahlen zur durchschnittlichen Leistung sind wichtig, um Überlegungen zu auf Dachflächen oder freiem Feld installiertem Bestand im Wohn- und Gewerbebau anstellen zu können. Das Diagramm zeigt die Entwicklung bei den neuen Anlagen im Jahresfortschritt und die dazugehörigen Details mit der durchschnittlichen Leistung.

Im **zweiten Abschnitt** wird die Methode erläutert, mit der sich das Photovoltaikpotential und das Umsetzungsvermögen in elektrische Energie errechnen lassen. Zu diesem Zweck wurden Fallbeispiele mit auf Dächern und Fassaden installierten Anlagen in Anspruch genommen. Weitere Daten zeigen auf, welche Verluste bei Anlagen meist auftreten und in welchem Umfang sich die Lage in den letzten Jahrzehnten schrittweise verbessert hat. Außerdem wird das **Photovoltaikpotential auf Fassaden** in Gewerbegebieten berechnet. Die für die Industriezone Bozen eingesetzte Methode gestattet, die errechneten Parameter auf andere Gewerbegebiete in Südtirol umzulegen. Für die größten Gewerbegebiete wurden **7 MW_p** Leistungspotential geschätzt. Die nachstehenden Abbildungen zeigen die Industriezone Bozen, die berücksichtigten Gebäude sind gelb eingefärbt, sowie als Beispiel die auf der Fassade des früheren Postgebäudes in Bozen verwirklichte Photovoltaikanlage.

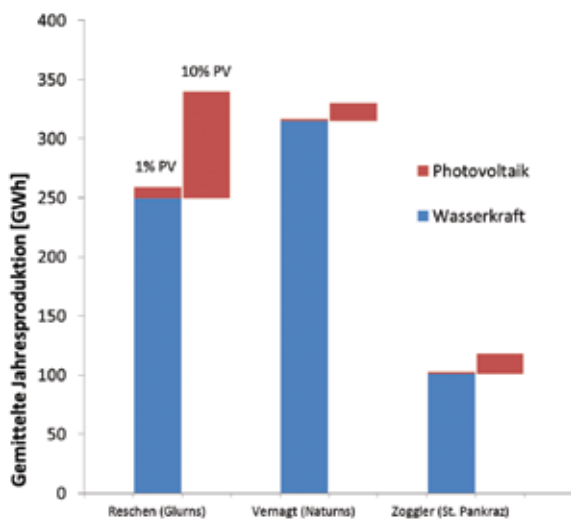


Der Text enthält zudem Verweise auf andere Untersuchungen, in denen ebenfalls Photovoltaikpotential berechnet wurde. Keine dieser Untersuchungen legte allerdings die jährliche Sonneneinstrahlung als Determinante zu Grunde.

Im **dritten Abschnitt** wurde das **Dachflächenpotential** analysiert. Als Grundlage dienten die Daten aus dem Solarkataster für den Bestand in besonders dicht besiedelten Stadträumen wie Bozen, Brixen und Leifers. Bei der Filteranwendung galten die jährliche Sonneneinstrahlung und die Dachausrichtung als Determinanten, die Gebäude in den Altstädten wurden nicht berücksichtigt (siehe nachstehende Darstellung). Um zuverlässige Schätzwerte zu Grunde legen zu können, wurde die Analyse in der Folge auf Siedlungen im ländlichen Raum (Fallbeispiel oberes Nonstal) erweitert. Das

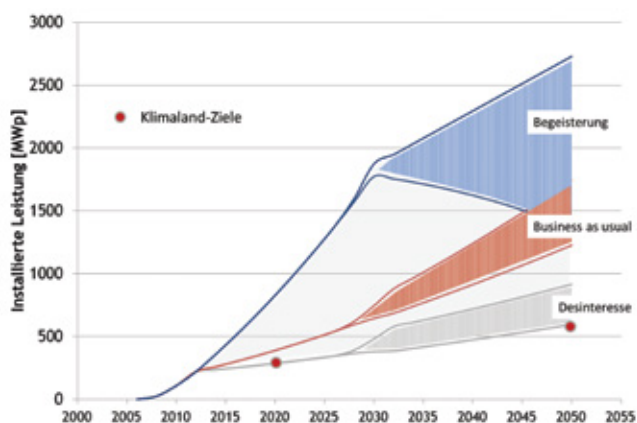
umsetzbare Leistungsvermögen steigt von 1,25 auf 1,5 GW_p.

Der **vierte Abschnitt** behandelt das Photovoltaikpotential auf sogenannten unkonventionellen Flächen, etwa Eisenbahninfrastruktur, Solar-Tunnels, Schallschutzbarrieren, Lawinenschutzbauten und Stauseen. Die Photovoltaikpotential-Wertbeimessung erfolgt über Fallbeispiele. Das Diagramm zeigt den Beitrag, den auf den drei wichtigsten Stauseen in Südtirol schwimmende Photovoltaikanlagen im Vergleich zu den Bezugs-Wasserkraftwerken leisten. Die Daten sind für von 1 % bis 10 % Seeflächennutzung berechnet. Bei 1 % Abdeckung können **schwimmende Anlagen** bis zu 9 MW_p leisten.



Auf **unkonventionellen Flächen** verlegte Anlagen könnten weit mehr als 60 MW_p leisten.

Im **fünften Abschnitt** folgen zusätzlich zur Mengenbewertung auch eine wirtschaftliche Analyse und Wachstumsprognosen für den Sektor. Die Schätzung eröffnet, wie ehrgeizig die KlimaLand-Zielvorgaben und ob sie tatsächlich im vorgegebenen Zeitrahmen erreichbar sind: 300 MW im Jahr 2020 und 600 MW im Jahr 2050. Wie das Diagramm zeigt, liegen die mit drei Szenarien dargestellten KlimaLand-Zielsetzungen knapp über der Grundlinie auf einem negativen Szenario (jährlicher Zuwachs etwa 7 MW, lediglich 50 % der Anlagen werden nach einer abgelaufenen Betriebszeit von 20 Jahren ersetzt).



Nomenclatura

BIPV	Building Integrated Photovoltaics, gebäudeintegrierte Photovoltaik
FER	erneuerbare Energiequellen
FV	Photovoltaik
G	Einstrahlung, kW/m^2
GIS	Geographic Information System, geographisches Informationssystem
GSE	Gestore Servizi Energetici, Energie-Dienstleistungsbetreiber
H	Insolation (Einfall der Sonnenstrahlung, Sonnenenergie), kWh/m^2
P_n	Nennleistung, kW_p , Anlagenleistung unter Standardbedingungen
PR	Performance Ratio, Richtwert für die durch eine Photovoltaikanlage erbrachte Leistung
STC	Standard Test Conditions, Standard-Testbedingungen (25 °C , 1 kW/m^2)
Y_f	Energieertrag wechselstromseitig, kWh/kW_p
Y_a	Energieertrag gleichstromseitig, kWh/kW_p
Y_r	Ausbeute nach Strahlungseinfall, kWh/kW

1

Einführung

Zahlreiche Untersuchungen sowohl in Südtirol wie anderswo in der Welt erforschten und erforschen nach wie vor das Photovoltaikpotential in besonderen Einzugsgebieten und nach unterschiedlichen Detailabstufungen (siehe zum Beispiel die Projekte PV-Initiative, PV-Alps, Solar Tirol¹). Diese Projekte sind durch die Abmessungen überdachter Flächen eingeschränkt oder weil keine Filter zwischen den tatsächlich nutzbaren und geschützten Flächen zur Verfügung stehen. Trotzdem bieten sie einen zuverlässigen Ausgangspunkt, an dem das gegenständliche Projekt mit dem Ziel auf den Plan tritt, eine Karte mit dem tatsächlichen Photovoltaikpotential in Südtirol zu erstellen, wobei politische Weichenstellungen in Italien, Südtirol und auf Gemeindeebene zu berücksichtigen sind. Dieses Projekt ist ein weiterer Schritt auf dem Weg, den das KlimaLand-Paket auf dem Weg vorzeichnet, der Südtirol von fossilen Brennstoffen unabhängig macht.

1.1 Der Zusammenhang: KlimaLand

Obwohl mehrere Untersuchungen in der Fachliteratur veröffentlicht sind, versucht keine davon, das Photovoltaikpotential in Südtirol nach Einstrahlungsdaten zu schätzen. Eine derartige Untersuchung müsste auch eine Kosten-Nutzen-Analyse einschließen sowie neue Bereiche erschließen, die Politik und Gesetzgebung bislang nicht berücksichtigten. Die Unterlagen stellen für die gegenständliche Untersuchung auf jeden Fall eine wichtige Quelle dar. Die Emissionen und der CO₂-Ausstoß wurden für die Stadt Bozen in CO₂ Emissionen und mögliche Reduktionsszenarien für die Stadt Bozen, EURAC² eingeschätzt, einige Ergebnisse und die Methode sind auf ganz Südtirol anwendbar. Zusätzlich zu dieser Untersuchung verfasste die EURAC den Aktionsplan für nachhaltige Energie für die Städte Bozen und Brixen, in dem die Maßnahmen dargelegt sind, mit deren Hilfe man die bis zum Jahr 2020 gesteckten Ziele für den CO₂-Ausstoß zu erreichen gedenkt. TIS hat gemeinsam mit der EURAC einen Bericht zur erneuerbaren Energie in Südtirol veröffentlicht³: die Daten stehen für die unterschiedlichen Energiequellen zur Verfügung, der Schriftsatz beschreibt die derzeitige Lage und setzt sich kurz mit den Zukunftsaussichten auseinander. Erst kürzlich hat der Landesausschuss Leitlinien für ein Energie- und Klimapaket für Südtirol mit folgenden Zielvorgaben **bis zum Jahr 2050** veröffentlicht⁴:

- Südtirol beabsichtigt, seinen CO₂-Ausstoß auf **weniger als 1,5 t** jährlich (weniger als 4 t pro Kopf binnen 2020) zu senken.

- Der Energiebedarf soll zu mehr als **90 %** (mindestens 70 % binnen 2020) durch erneuerbare Energie abgedeckt werden.

Bei den Maßnahmen im Zusammenhang mit erneuerbarer Energie wird der gesamte Photovoltaikbestand im April 2011 mit 120 MW_p beziffert (227 MW_p am 30. Juni 2013⁵, entspricht 0,45 kW_p pro Kopf im Vergleich zu 0,28 kW_p in ganz Italien). Das Ziel sind mindestens 300 MW_p im Jahr 2020 (0,6 kW_p pro Kopf, wobei keinerlei demographische Entwicklung berücksichtigt wird) und schließlich **mindestens 600 MW_p binnen 2050** (1,2 kW_p pro Kopf, wobei keinerlei demographische Entwicklung berücksichtigt wird). Diese Zielsetzungen erfordern fortschrittliche Planung und Gesetzgebung als solide Grundlagen. Vor diesem Hintergrund wird das Photovoltaikpotential in Südtirol einer detaillierten Analyse unterzogen. Die Untersuchung schließt technische Neuerungen und zukünftige Ausrichtungen ein, an denen derzeit noch geforscht wird und die unter Umständen nur beschränkt im Handel erhältlich sind. Zudem stehen erste Über-

legungen zur Auswirkung auf Wirtschaft, Umwelt und ästhetische Aspekte zur Verfügung. Photovoltaikanlagen könnten in der Tat einen erheblichen Beitrag leisten, aber hohe Kosten, gekürzte Beiträge, restriktive Gesetze und Auswirkungen auf die Umwelt sind mit Sorgfalt zu berücksichtigen.

1.2 Das Szenario in Südtirol

Überlegungen in Zusammenhang mit Photovoltaik in Südtirol erfordern notwendigerweise einen analytischen Blick auf die Wachstumschancen für von anderen erneuerbaren Energiequellen gespeiste Anlagen. In Südtirol deckt Biomasse (hauptsächlich Holz und Holzwerkstoffe) den gesamten Energiebedarf (einschließlich Transportwesen, Daten aus dem Jahr 2008) zu etwa 12 % ab. Das System ist nach wie vor ausbaufähig, allerdings wird Biomasse vorwiegend zu Heizzwecken verwendet (nur 10 % der in Fernheizanlagen erzeugten Energie werden in elektrischen Strom umgewandelt⁶). Auf der anderen Seite könnte auch Windkraft sehr viel Strom erzeugen: das Gelände in Südtirol eignet sich freilich kaum, um Windkraft als erneuerbare Energiequelle nutzen zu können. Neben dem erheblichen Zuwachs im Bereich Photovoltaik bleibt folglich die Wasserkraft die tragende Säule für die Stromversorgung in Südtirol. In diesem Bereich sind aber nur wenig Wachstum und kleine Anlagen möglich. Die durch Wasserkraft in Südtirol ebenso wie in ganz Italien erzeugten Strommengen schwankten in den letzten Jahren deutlich (Tabelle 1). Andere Probleme stehen in Zusammenhang mit der Wasserführung, die ihrerseits von klimatischen Gegebenheiten und der Notwendigkeit abhängt, Umwelt und öffentliche Gewässer zu schützen (siehe zum Beispiel die Bestimmungen für den sogenannten ökologischen Mindestabfluss). Zuwachs im Bereich Photovoltaik kann somit die Wasserkrafterzeugung ausgleichen und ergänzen.

Stromerzeugung	2008	2009	2010	2011	2012
Wasserkraft Italien / Südtirol (TWh)	41,6/5,5	49,1/5,8	51,1/6,1	45,8/5,9	41,9/
Photovoltaik Italien / Südtirol (TWh)	0,19 /	0,68/0,03	1,91/0,06	10,80/0,17	18,80/

Tabelle 1: Stromerzeugung aus Wasserkraft und Photovoltaik in Italien und Südtirol im Zeitraum 2008 – 2012, in TWh⁶

Die gesetzlichen und Umweltauflagen bewirkten in den letzten Jahren mehr Aufmerksamkeit für auf Dächern und/oder Fassaden angebrachte Photovoltaikanlagen. Dieser Anlagentyp wurde durch die aufeinanderfolgenden Energiekonten zudem stärker gefördert als andere. Trotzdem ist klar, dass einzig auf kleine und mittelgroße Anlagen gestützter Leistungszuwachs sich kurzfristig nur schwerlich in wesentlichem Umfang auf die photovoltaische Stromerzeugung auswirken wird (Abbildungen 1 und 2). Abbildung 1 (Daten zum 31.3.2013 aktualisiert) zeigt, dass bislang vor allem Anlagen der Leistungsklasse $20 < P_n \leq 200$ kW_p (98 MW_p, 1500 Anlagen) zur Gesamterzeugung beigetragen haben. Die Zahlen belegen, dass der Bestand in Südtirol 7179 Anlagen zählt, 5566 davon mit weniger als 20 kW_p Leistung, Gesamtleistung etwa 60 MW_p (zum Vergleich: Gesamtleistung aller Leistungsklassen: etwa 224 MW_p). Auch im Trentino lässt sich ein vergleichbarer Trend (Abbildung 2), vor allem bei den Anlagen der Leistungsklassen $3 < P_n \leq 20$ kW und $20 < P_n \leq 200$ kW (ungefähr 25 % und 45 % der Gesamtleistung in beiden Provinzen, bei nur geringen Unterschieden) feststellen.

¹ Die Projekte sind im Abschnitt 1.4 näher beschrieben

² Bozen, die Energiequelle, EURAC, Sparber et al. 2009

³ Erneuerbare Energie in Südtirol, TIS, Reichhalter et al. 2010

⁴ Klimapaket, Klimaland Energie Südtirol-2050, <http://www.klimaland.bz.it/it/>

⁵ <http://atlasole.gse.it/atlasole/>

⁶ GSE-Daten, "Rapporto statistico Impianti a Fonti Rinnovabili 2008-2011". Provisorische Daten für 2012 nur auf nationaler Ebene.

	$1 \leq P_n \leq 3 \text{ kW}$	$3 < P_n \leq 20 \text{ kW}$	$20 < P_n \leq 200 \text{ kW}$	$200 < P_n \leq 1000 \text{ kW}$	$P_n > 1000 \text{ kW}$
Südtirol	~1%	~26%	~44%	~28%	<1%
Trentino	~13%	~22%	~45%	~18%	<2%
Italien	~2,5%	~13%	~21%	~42%	~21%

Tabelle 2: Einteilung in Leistungsklassen und entsprechender Anteil an der gesamten Nennleistung (Ende 2012)

Der größte Unterschied besteht in den Klassen $P_n \leq 3 \text{ kW}$ (13 % der Gesamtleistung im Trentino und 1 % in Südtirol) und $200 < P_n \leq 1000 \text{ kW}$ (18 % der Gesamtleistung im Trentino und 28 % in Südtirol). Dieser Unterschied könnte auf die unterschiedlichen Zielgruppen zurückzuführen sein, an die sich die Installationstechniker in den Einzugsgebieten gewandt haben. Die fünf Leistungsklassen für den Anlagenbestand in Italien sind gemeinsam mit den Daten aus Südtirol in Tabelle 2 zusammengefasst.⁷

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die geographische Verteilung (Daten zum September 2013 aktualisiert) in Südtirol bestehender Anlagen mit mehr als 200 kW_p Leistungsvermögen und die Pro-Kopf-Leistung. Einige Gemeinden in Südtirol zeigten sich besonders aufgeschlossen für Photovoltaik. An der Spitze steht Prad am Stilfserjoch, dort wurden schon 2 kW_p/Einwohner mit 48 kW_p Durchschnittsleistung je Anlage umgesetzt. Die wichtigsten Standorte melden folgende Daten: Bozen, 0,14 kW_p/Einwohner, 55 kW_p Durchschnittsleistung, Meran, 0,16 kW_p/Einwohner, 42 kW_p Durchschnittsleistung, Brixen, 0,36 kW_p/Einwohner, 26 kW_p Durchschnittsleistung. Die Daten zur Durchschnittsleistung sind wichtig, um Betrachtungen zum Bestand im Wohn- und Gewerbebau, auf Dachflächen und auf freiem Feld anstellen zu können.

Kleine Anlagen leiden in den meisten Fällen unter Problemen in Zusammenhang mit Beschattung, unzureichender Belüftung, der Unmöglichkeit, dem hellsten Lichtpunkt folgen und somit die Erzeugung optimieren zu können usw. Anlagen dieser Größe verursachen starke Auswirkungen auf die direkt angeschlossenen Abnehmer, besitzen aber nur geringe Bedeutung für die Stromerzeugung auf Landesebene, sofern nicht sehr viele davon arbeiten. Damit der Trend auch weiterhin positiv bleibt und es möglich wird, die im KlimaLand-Paket vorgegebenen Ziele zu erreichen, ist der Zuwachs bei den kleinen durch einige mittelgroße Anlagen auszugleichen. Die derzeitige Energiepolitik (ist überall in Italien ähnlich) wird neue Anlagen auf freiem Feld (insbesondere in Berggebieten) der Auswirkungen auf Umwelt und Landschaft wegen nicht mehr zulassen. Weiters gilt die Raumnutzung als nicht effizient, vor allem, wenn der Landwirtschaft dadurch Schaden entsteht. Aus diesem Grund ist es wichtig, auch andere Flächen als bisher nach Möglichkeiten für kleine und mittelgroße Anlagen zu prüfen: für derartige Anlagen bieten sich Werkhallen und Privatgrundstücke an. Daneben sind Lösungen ausfindig zu machen, die Versuche mit unkonventionellen Flächen ermöglichen, die derzeit nicht vorgesehen sind. In Abschnitt 4 werden diese unkonventionellen Flächen besonders berücksichtigt.

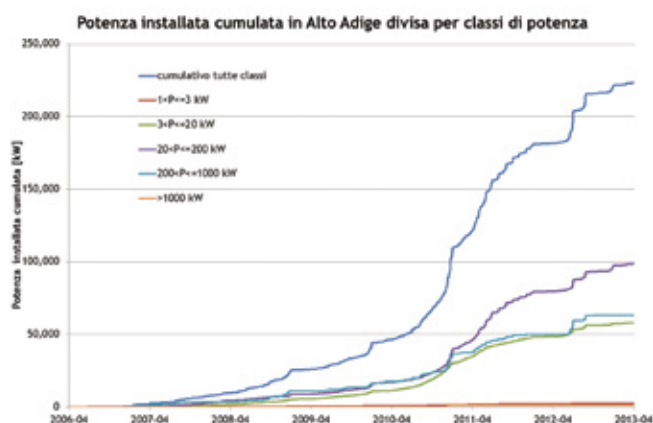


Abbildung 1: Gesamtleistungsbestand in Südtirol nach Leistungsklassen. Daten GSE Atlasole, Aktualisierung zum April 2013



Abbildung 2: Gesamtleistungsbestand im Trentino nach Leistungsklassen. Daten GSE Atlasole, Aktualisierung zum April 2013

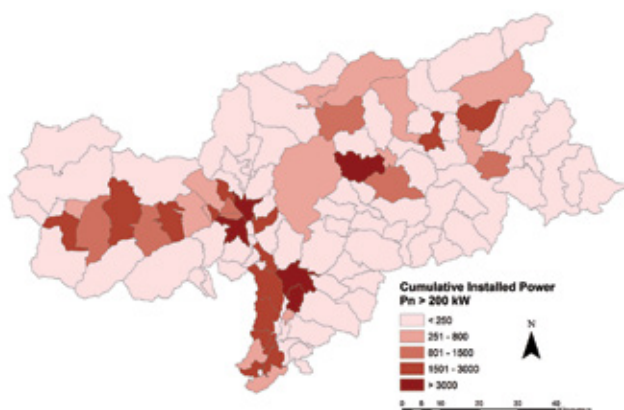


Abbildung 3: Gesamtleistungsbestand nach Anlagen mit > 200 kWp Nennleistung

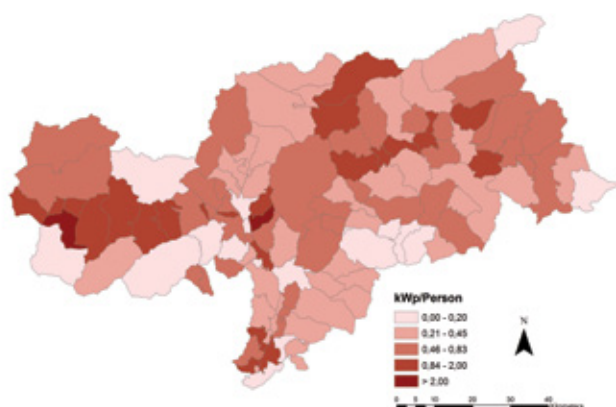


Abbildung 4: Pro-Kopf-Gesamtleistung in den Südtiroler Gemeinden

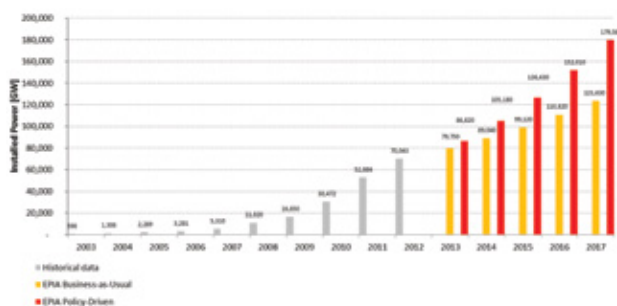


Abbildung 5: Wachstumsprognosen für den Photovoltaikmarkt in Europa 2013 – 2017
Quelle: European PV cumulative scenarios until 2017. Global Market Outlook 2013-2017 EPIA

1.3 Photovoltaik: die Lage in Italien, Europa und weltweit

Die Photovoltaikindustrie hat in jüngster Zeit auf der ganzen Welt unglaubliche Dynamik gezeigt. Auf dem Weltmarkt setzte der Handel deutlich mehr Photovoltaikmodule um, als in den Jahren zuvor angenommen wurde. Der Trend könnte durchaus noch einige Jahre lang anhalten. Ende 2009 war die Kapazität weltweit auf nahezu 23 GW angewachsen. Im Jahr darauf erreichte dieser Wert 40 GW, 2011 69 GW und 2012 wurde die 100-GW-Schwelle überschritten. In einigen Ländern deckt die erbrachte Leistung mehr als 5 % des gesamten Strombedarfs ab: in Italien erzeugten Photovoltaikanlagen im Jahr 2012 18,862 TWh, das entspricht 6 % des gesamten Stromverbrauchs. Bislang war Europa der größte Absatzmarkt mit etwa 70 GW Bestand Ende 2012. Der Trend verweist aber seit kurzem auf einen klaren Umschwung in Richtung Schwellenmärkte (nahe Osten, Indien und China) oder Länder, die den Bereich erst in jüngster Zeit durch Beiträge stärkten (zum Beispiel Japan). Gerade das Wachstum auf außereuropäischen Märkten ermöglichte, die bei den neuen Anlagen 2011 erzielten Ergebnisse im Jahr 2012 zu wiederholen, obwohl die Zukunft ungewiss scheint. Die Photovoltaik steigt gerade in den direkten Wettbewerb mit anderen Stromerzeugungssystemen ein, so lange es keine direkte oder indirekte Förderung gibt. Voraussichtlich werden die Preise weiter fallen. Photovoltaiksysteme werden somit wirtschaftlich sinnvoll, da sich die Investition im Rahmen betrieblicher Modul-Lebensdauer lohnt. Bei Dachanlagen ist parallel zur gesamtwirtschaftlichen Dynamik eine neue Einstellung bei den Nutzern erforderlich. Photovoltaikanlagen dürfen nicht länger lediglich als Einnahmequelle, sondern müssen ausschließlich als Sparmöglichkeit wahrgenommen werden.

Abbildung 5 zeigt die Wachstumsprognosen (Jahr 2012) für den europäischen Markt bis ins Jahr 2017 nach zwei von der EPIA (European Photovoltaic Industry Association) als möglich ausgewiesenen Szenarien. Die Europa für das Jahr 2020 zugewiesene Photovoltaikleistung schwankt zwischen 240 GW (EPIA) und konservativ geschätzten 110 GW (EURAC).

1.4 Innovative Photovoltaik-Projekte in Südtirol

Im nachstehenden Abschnitt sind die wichtigsten Forschungsprojekte im Bereich Photovoltaik in Südtirol kurz beschrieben.

PV-Initiative (Fonds FESR, 2010-2014, EURAC): Das Projekt PV Initiative (in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Fernerkundung, EURAC), entstand als Möglichkeit, die verschiedenen, im Handel erhältlichen Paneelmodelle nach Güte und Potential bewerten zu können. Ziel ist, auf der einen Seite die Produktivität einer Anlage vorherzusehen und auf der anderen Module zu entwickeln, die sich vollständig in die baulichen Gegebenheiten einfügen. Die Zielsetzungen:

- Verschiedene Photovoltaik-Modultypen sind im Labor nach betrieblichen Eigenheiten unter allen denkbaren Einstrahlungsbedingungen zu bewerten.
- Modelle sind zu entwickeln, um die Modul-Leistungsfähigkeit vorausberechnen zu können.
- Ein 3D- (hochauflösend) und ein Strahlungsmodell liefern die Angaben zur Spektralverteilung.
- Die Werkstoffe, aus denen die Module bestehen, sind zweckmäßigen Proben zu unterziehen, um den Betrieb über die gesamte Paneel-Lebensdauer gewährleisten zu können.

- Ein Standort für Outdoor-Tests mit Paneelen ist zu bestimmen.
- Innovative Module sind zu entwickeln, die sich in den Bau einfügen und andere Aufgaben (Strukturbau, Verschönerung, Dämmung) zusätzlich zur Stromerzeugung erfüllen.
- Interaktive Werkzeuge sind erforderlich, um die Entscheidungsfindung zu stützen, die zum Bau einer Photovoltaikanlage führt.

Partner in Südtirol: EURAC, Institut für Erneuerbare Energie, Institut für Angewandte Fernerkundung.



PV-Alps (Fonds INTERREG Italien-Schweiz, 2012-2014): die Klimaveränderungen sollten alle europäischen Großräume dazu anregen, den Umstieg auf erneuerbare Energieformen zu fördern. Das Projekt PV-Alps zielt darauf ab, eine einfach verständliche und zugängliche Datenbank

einzurichten, mit der die Sonneneinstrahlung im Alpenraum bewertet werden kann. Die Daten zur Sonneneinstrahlung sind von Satellitendaten abgeleitet und werden mit innovativen Methoden ausgewertet. Im Kanton Graubünden in der Schweiz und in Südtirol wird das durch Sonneneinstrahlung erzeugbare Strompotential mit hoher räumlicher Auflösung (100 m) in Bezug auf ausgewählte Photovoltaikverfahren berechnet. PV-Alps möchte den Beweis dafür antreten, dass Datenbanken mit Daten zur Sonneneinstrahlung für Entscheidungen im regionalen Maßstab in den Alpen genutzt werden und die Grundlagen für politische Empfehlungen liefern können.

Partner in Südtirol: EURAC, Institut für Erneuerbare Energie, Institut für Angewandte Fernerkundung, Autonome Provinz Bozen.



Solar Tirol (Fonds INTERREG Italien-Österreich, 2013-2015) – die Zielsetzungen:

1. Eine frei zugängliche, georeferenzierte Datenbank zum Thema Solarpotential zu schaffen, die es öffentlichen Einrichtungen und privaten Nutzern im Land Tirol und der Provinz Bozen ermöglicht, schnell und unkompliziert das Solarpotential auf Gebäudeebene und die für die Nutzung optimale Technologie zu ermitteln.
2. Konkrete Empfehlungen zur Bedeutung, die Sonnenenergie besitzt sowie zum Entwicklungspotential in Nord- und Südtirol. In diesem Projekt stehen örtliche Ansätze im Vordergrund: Städte und Dörfer berücksichtigen bei ihrer Sonnenenergie-Entwicklungspotentialschätzung unterschiedliche Gebäudeklassen (öffentliche und private Gebäude, Wohn- und Gewerbebau). Der Entscheidung im regionalen Maßstab (Energiebehörden, politische Entscheidungsträger) werden ausdrückliche Empfehlungen zu Grunde gelegt, außerdem wird erhoben, welche Bedeutung Sonnenenergie für den Großraum besitzt.

Das Projekt Solar Tirol kann auf die im Projekt PV-Alps für Südtirol ausgewerteten Satellitendaten zurückgreifen. Es ist vorgesehen, die Satellitendaten auch für Nordtirol zu verwenden. Die Methode für die Sonnenpotentialbewertung wurde im Energiemodell Landeck und Lienz in Nordtirol, in der PV-Initiative in Brixen (Südtirol) sowie im FESR-Programm getestet. Die Informationen stehen dem gegenständlichen Projekt zur Verfügung und können mit Bezug auf die besondere Wetterlage ergänzt werden.

Partner in Südtirol: EURAC, Institut für Erneuerbare Energie, Institut für Angewandte Fernerkundung, Autonome Provinz Bozen.

Flexi-BIPV (Fonds FESR, 2013-2015) – die Zielsetzungen:

- Die gebäudeintegrierte Photovoltaik (BiPV – Building-integrated Photovoltaic) ist als Lösung zu fördern, die im Begriff ist, zu einer Schlüsselbranche für die Stromerzeugung werden.
- Den Fortschritt in Richtung Netzparität (grid parity) und darüber hinaus ermöglichen. Dafür sind geringere Produktionskosten und möglichst höhere Gewinnspannen erforderlich, wobei zwischen für Entwickler und Installateure verfügbarem Angebot zu unterscheiden ist. Mit anderen Worten, innovative Ansätze und technische Verbesserungen sowie Lösungen, mit denen Unternehmen bessere und stabilere Leistungen zu geringeren Kosten bieten.
- Die Südtiroler Eigenheiten zu Kapital machen: besonders im Gebirge sind Insellösungen mit Speichersystemen dem Netzzanschluss vorzuziehen, auch weil das Netz selbst in einigen Gebieten in Südtirol nur eingeschränkt zur Verfügung steht.

Um die genannten Ziele erreichen zu können, werden verschiedene Systeme mit Photovoltaikintegration unter tatsächlichen Bedingungen untersucht. Ferner wird beobachtet, wie sich die verschiedenen Bauteile in den Baubestand und innovative Lösungen (für integrierte Systeme als Ersatz für andere, eigens entwickelte Module und Lösungen) ebenso wie in Freiflächenanlagen integrieren lassen. Das Projekt beabsichtigt:

- Auf einem Träger angebrachte Photovoltaikmodule zu testen und zu überwachen, auf dem es möglich ist, verschiedene Werkstoffe anzuordnen und somit tatsächliche Nutzungsbedingungen zu simulieren.
- Eine Fassade mit integrierten Modulen zu gestalten und unter Beobachtung zu halten.
- Die elektrischen Parameter ständig zu kontrollieren. Dazu gehören die Messwerte für die Strom-Spannungskurve I-V, um die Veränderungen nachvollziehen zu können, die stattfinden, wenn das Modul Einstrahlung ausgesetzt ist, wobei alle Auswirkungen auf sein Verhalten zu berücksichtigen sind.
- Die Photovoltaikmodule sowohl ans Netz wie auch an Speichersysteme zu testen.
- Für die Versuche ein außerordentlich flexibles System anzubieten, um damit neue Verfahren und Lösungen – innovative Integration, Umrichter, Speichersysteme usw. – testen und das im Fachbereich tätige Personal weiterbilden zu können.
- Die Versuchsanlage auf freiem Feld kann als Modellausstellung mit sogenannter grüner Technik in Zusammenhang Photovoltaik für Fachleute (Hersteller, Installationstechniker), aber vor allem für an neuer Technik interessierte Menschen (Schüler, Studenten usw.) dienen.

Partner in Südtirol: EURAC, Institut für Erneuerbare Energie.

Kataster Leifers (Stadt Leifers, Raiffeisenkasse Leifers):

das Bewusstsein, dass die natürlichen Rohstoffe nach und nach zur Neige gehen und die Umwelt zerstört wird, zwingen zu veränderten Verhaltensformen, Gepflogenheiten und Überzeugungen. Grundlage für die Bewusstseinsbildung ist Information. Die Stadt Leifers hat sich das Ziel gesteckt, den derzeitigen Verbrauch zu ermitteln, das Einsparpotential einzuschätzen, den Energie-Wirkungsgrad an einzelnen öffentlichen Gebäuden sowie einigen Abschnitten der Lichtleitung zu überprüfen und eine im Zeitraum 1996/97

begonnene Untersuchung weiterzuführen. Der Stromverbrauch wurde an 26 öffentlichen Gebäuden und der Stadtbeleuchtung überprüft, um zweckmäßige Energiesparmaßnahmen umsetzen zu können. Optimierte Stromerzeugung und Verbrauch, Rückgriff auf erneuerbare Energiequellen und verringerte Treibhausmengen sind keine Ermessensfragen, sondern Notwendigkeit. Die Stadt Leifers stellt die Untersuchung samt interaktivem Abfragesystem und einer einfachen Kartendarstellung ins Netz, um Verwaltung und Technik ein Mittel zur Verfügung zu stellen, das den Bürgern über die Energiedaten zu den öffentlichen Gebäuden die erforderlichen Berichtigungen zeigt und sie dazu anregt, in erneuerbare Energie zu investieren. Die Energiedaten werden gemäß geltenden Bestimmungen und Einstufungen mit einem GIS-Anwendungsprogramm (geographic information system) auf Netzgrundlage gesammelt und ausgewertet. Dieses Verfahren fasst bei Internet-Nutzern dank einfacher Darstellungs- und Nachschlagemöglichkeiten zunehmend Fuß. EcoGIS gestattet, auf den Karten mit dem Gemeindegebiet verschiedenartige Informationen einfach und intuitiv verständlich darzustellen. Nutzer können mit einem Mouseklick auf ein Gebäude die statistischen Daten zu seinem Energieverbrauch in Farbdarstellung abrufen. Auf dieselbe Weise lässt sich in Erfahrung bringen, ob sich etwa das eigene Dach für eine Photovoltaikanlage eignet.

Partner in Südtirol: EcoGIS, R3GIS

Bozen Sun Solar City (Stadt Bozen): das von der GIS-Dienststelle in der Stadtverwaltung erarbeitete Netz-Anwendungsprogramm Bozen Sun Solar City arbeitet mit der technischen Gemeindekarte als Grundlage und gestattet, das Sonnenenergiepotential aller Dächer im Stadtgebiet zu untersuchen. Bolzano Sun Solar City ist ein neues GIS-Arbeitsverfahren: die Daten werden nach innovativen Methoden erhoben. Die Bürger können einfach, schnell und dynamisch auf den Solarkataster zugreifen. Die Gemeinde Bozen hat sich das ehrgeizige Ziel gesteckt, den CO₂-Ausstoß (Kohlendioxid ist die Hauptursache für die Klimaveränderung) binnen 2030 von 10 auf 2 Tonnen/Einwohner zu senken. Dieses Ergebnis kann nur erzielt werden, wenn alle Bürger ihren Beitrag dazu leisten. Die strategische Ausrichtung schließt auch den Rückgriff auf erneuerbare Energie ein, wobei die unerschöpfliche Sonnenenergie fossile Träger ablösen soll. Die städtische Bauordnung schreibt in Artikel 19/ter vor, dass der gesamte Energiebedarf neuer oder umfassend sanierter Gebäude zu 25 % und der Energiebedarf für die Warmwassererzeugung zu 50 % über erneuerbare Energie abzudecken sind. In diesem Sinn stellt die Stadtgemeinde Bozen den Nutzern einen Dienst zur Verfügung, mit dem sie feststellen können, ob sich ein Dach mehr oder weniger gut für Sonnenkollektoren eignet. Grundlage sind die Daten zur direkten Sonneneinstrahlung und Einstrahlungsdauer (Sonnenstunden). Der Dienst ermöglicht außerdem, die für Sonnenkollektoren möglicherweise geeigneten Stellen zu ermitteln. Nicht berücksichtigt werden statische Eignung und wirtschaftliche oder finanzielle Aspekte (Energiekonto, Beiträge, Amortisierung) – darum müssen sich die Dacheigentümer selbst kümmern.

Partner in Südtirol: GIS Stadtgemeinde Bozen

1.5 Die gegenwärtige Lage: das Netz in Südtirol

Wie schon in Abschnitt 1.3 ausgeführt wurde, gehen die verschiedenen Analyse von insgesamt mehr als 300 GW installierter Nennleistung aus, wovon 200 GW in den nächsten 7 Jahren umzusetzen sind. Der Zuwachs könnte allerdings durch beschränkt verfügbare Infrastruktur gebremst werden. Unregelmäßige Stromerzeugung verursacht Instabilität auch in der Verteilung. Langfristig sind folglich verbesserte Infrastrukturbedingungen erforderlich: die Lokalbehörden sind zu erheblichen Anstrengungen und insgesamt mehreren hundert Milliarden Euro Investitionen aufgerufen. Die Kosten für die Stromverteilung über ein zunehmend veraltetes Netz steigen. Aus diesem Grund wird eine kurzfristige Lösung maßgeblich dazu beitragen, dass Photovoltaikanlagen ohne Verzögerung ausgeführt werden können. Um Erzeugung und Verteilung getrennt bewirtschaften zu können, muss Strom auch in großen Mengen gespeichert werden können.

Die beiden wichtigsten Stromnetzbetreiber für das Nieder- und Mittelspannungsnetz in Südtirol sind SELNET und Etschwerke Bozen – Meran (EW). Für die Hochspannung (mehr als 30 kV) ist das Unternehmen Terna zuständig. **Terna Rete Italia** betreibt das gesamtstaatliche Hochspannungsnetz mit mehr als 63.500 km Leitungslänge (Abbildung 6). Die Netzanalyse erfolgt in jedem Quartal. Sowohl für die Nieder- und Mittel- wie auch die Hochspannung (highway) werden Überladungsprobleme im Netz gemeldet. Die mutmaßliche oder wirkliche Überladung im Mittelspannungsnetz erfordert neue Hochspannungs- oder Umspannerkabinen⁸. Durch Südtirol führen keine 380-kV-Leitungen und die 220-kV-Leitung deckt lediglich den westlichen Landesteil ab. Der östliche und mittige Landesteil (Eisack- und Pustertal) werden somit von keinem der sogenannten Highways durchquert. Außerdem gibt es seit den 60er-Jahren kein mit Österreich gemeinsames Verbundnetz. Die Europäische Union setzt sich erst seit kurzem mit dem Problem auseinander und versucht, ein europaweites Hochspannungsnetz zu schaffen. Unterschiedliche Bestimmungen in den verschiedenen Mitgliedsländern, Geldmangel und unterschiedliche politische Ausrichtungen behindern allerdings die Umsetzung.

Der hohen Kosten wegen sind derzeit in Italien keine neuen Hochspannungsleitungen geplant. Die Regierung versucht, das Problem mit der Netzüberladung gemeinsam mit den Betreibern mit Finanzierungen für Fallstudien an großen Batteriebanken in den Griff zu bekommen.

Das Nieder- und Mittelspannungsnetz wird von Stromquellen gespeist, die unregelmäßig liefern, wie die Photovoltaik. Beide Betreiber, EW⁹ und SELNET¹⁰ arbeiten mit strategischen Entwicklungsplänen an verbesserter Netzstabilität für die nächsten Jahre (man denke nur an die von den Umrichtern in den Systemen mit unregelmäßiger Erzeugung bewirkten Frequenzprobleme, die Norm CEI 16 hat das Problem mit der Möglichkeit für den Betreiber behoben, die Anlage abschalten zu können). In der Tat gibt es Gebiete, in denen aus erneuerbaren Quellen gespeiste Erzeugungsanlagen nicht mehr erlaubt sind. Gemäß Beschluss ARG/elt 99/08 (TICA – Rechtsordnung für aktive Anschlüsse) in geltender Fassung, Artikel 4, stellen die für elektrische Energie und Gas zuständige Behörde sowie die Nieder- und Mittelspannungs-Netzbetreiber aktualisierte Hinweise auf die Leistungsfähigkeit im Netz, insbesondere in bezug auf:

- die HS/MS-Abschnitte in den Umspannerkabinen, in denen zu einem bestimmten Jahresanteil Stromflüsse in umgekehrter Richtung festgestellt wurden,

- die kritischen Pegelwerte mit Bezug auf das (in Bereiche unterteilte) Nieder- und Mittelspannungsnetz und Kennzeichnung mit den Farben ROT/ORANGEROT/GELB/WEISS für die verschiedenen Niveaus.

In den rot gekennzeichneten KRITISCHEN BEREICHEN kann der Betreiber ein Open-Season-Verfahren drei Monate lang mit Folgen für den im genannten Beschluss vorgesehenen Anschluss in Gang setzen.

Die Gesetzgebung unterscheidet die Bereiche derzeit folglich über ein Farbsystem. Die rot ausgewiesenen sind besonders kritische Bereiche, in denen diese Anlagen nicht zulässig sind. Gelb gekennzeichnete Bereiche sind kritisch und Betreiber sowie Aufsichtsbehörde beschließen neue Anlagen gemeinsam. In weiß ausgewiesenen Bereichen sind neue Anlagen im allgemeinen möglich. Die Farbe grau ist Bereichen vorbehalten, für die andere Betreiber zuständig sind. Installationstechniker sind verpflichtet, den Netzzustand im jeweiligen Zuständigkeitsbereich unabhängig von der zugewiesenen Farbe nachzufragen. Abbildung 7 zeigt die von EW im Netz ermittelten kritischen Bereiche. Im zum 30. September 2013 aktualisierten SELNET-Verzeichnis sind die 116 Südtiroler Gemeinden wie folgt eingeteilt: 4 rot, 84 orangerot, 5 gelb, 2 weiß, 21 grau. In Zukunft sind hauptsächlich erforderlich:

- Investitionen in neue Infrastruktur und Ersatz für veraltete Netze.
- Neue Umspannerkabinen, um die Umspannleistung in beide Richtungen zu verbessern. In einigen Bereichen besteht weniger Nachfrage als Angebot und die derzeitigen Transformatoren haben die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit erreicht.
- Bessere Netzqualität, neue Kontrollsysteme sind notwendig.
- Die kritischen Bereiche in den Nieder- und Mittelspannungsnetzen sind zu ermitteln.
- Intelligente Netzwerke sind einzuführen.

8 ENEL Distribuzione AG, jährlicher und mehrjähriger Infrastruktur-Entwicklungssplan 2013 – 2015

9 <http://www.aereti.it/servizi-di-rete/utenti-attivi-produttori/aree-critiche.html>

10 <http://www.sel.bz.it/it/lazienda/settori-di-attivita/energia-elettrica/distribuzione/aree-critiche-delibera-12510.html>

2

Berechnung: Einstrahlung und Photovoltaikpotential

2.1 Methode

Um die photovoltaische Energieerzeugung einschätzen zu können, muss bekannt sein, wie viel Sonneneinstrahlung auf eine Stelle trifft. Die verschiedenen Datenbanken mit Klimadaten sowie durchschnittlichen Temperatur- und Einstrahlungswerten sind für die Berechnung nützlich. Die jährliche Sonneneinstrahlung auf eine bestimmte Fläche ist ein maßgeblicher Kennwert, um den wirtschaftlichen Schwellenwert für eine Photovoltaikanlage festzulegen, wobei Beschattung, Gefälle und Ausrichtung zu berücksichtigen sind. Eine der im Fachbereich besonders häufig verwendeten Datenbanken ist das vom Joint Research Centre Institute for Energy and Transport¹¹ kostenlos zur Verfügung gestellte PVGIS (Photovoltaik Geographical Information System). Die Datenbank weist Berggebiete als kritische Stellen aus, an denen bis zu 30 % Abweichung von den gemessenen Durchschnittswerten möglich sind.

Die einfachste mathematische Form, um photovoltaische Erzeugung abzuschätzen, nimmt die Modul-Wirkungsgrad η als Konstante an:

$$E = \eta A H \quad [\text{kWh}]$$

H ist die jährliche Einstrahlung (von der Sonne auf die Modulfläche übertragene Gesamtenergie), A die Modulfläche. Auch wenn diese einfache Formel eine erste Vorstellung von der Leistungsfähigkeit eines PV-Systems bietet, sind doch die durch Temperaturschwankungen, Beschattung, Spektralwirkungen, Kabelschäden, Umrichter, Verschmutzung usw. verursachten Verluste nicht berücksichtigt. Der Kennwert, der auch die Verluste berücksichtigt und eingesetzt wird, um die langfristige Systemleistung zu überwachen, wird Performance Ratio (PR) genannt:

$$PR = \frac{E}{P_n} \frac{1000}{H}$$

wobei E/P_n der aus dem System Y_f gewonnene spezifische Energieertrag und H/G_{STC} der Energieertrag bei Standardbedingungen Y_r ($G_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$) darstellen.

Sobald die PR bekannt ist, lässt sich die Ertragsfähigkeit recht wirklichkeitsgetreu ermitteln.

$$E = PR \eta A H \quad [\text{kWh}]$$

Die obenstehende Gleichung entspricht der Leistungsfähigkeit eines Systems, nicht der einzelner Module. Es gibt aufwendigere Methoden, die auch saisonbedingte Schwankungen für die verschiedenen Photovoltaikverfahren (Untersuchungsgegenstand bei den Projekten PV-Alps und Solar Tirol) berücksichtigen. Die vorliegende Untersuchung schätzt lediglich Sonnenkraftpotential und Ertragsfähigkeit, weshalb die vereinfachte Formel zum Einsatz kam.

Die erzielbare Leistungsfähigkeit wurde mit der nachstehenden Formel berechnet:

$$P_n = \eta A G_{STC} \quad [\text{kWp}]$$

außerdem

$$Y_f = \frac{E}{P_n} = PR \cdot Y_r = PR \frac{H}{G_{STC}} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} \right]$$

Die Stromerzeugung entspricht folglich

$$E = Y_f P_n \quad [\text{kWh}]$$

Beispiel 1: Photovoltaikpotential und Leistungsvermögen

Einstrahlung, $H = 1200 \text{ kWh/m}^2$
 Modul-Wirkungsgrad, $\eta = 15 \%$
 Performance Ratio, $PR = 0,8$ (Anlage wechselstromseitig)
 Fläche, $A = 100 \text{ m}^2$
 Berechnung Nennleistung $P_n = 0,15 \cdot 100 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ kW/m}^2 = 15 \text{ kW}_p$
 Berechnung Energieertrag $Y_f = 0,8 \cdot 1200 \text{ kWh/m}^2 \cdot 1 \text{ m}^2/\text{kW} = 960 \text{ kWh/kW}_p$
 Berechnung Stromerzeugung (WS-seitig) $E = 15 \text{ kW} \cdot 960 \text{ kWh/kW}_p = 14400 \text{ kWh}$
 Tatsächliche System-Wirkungsgrad $\eta_{\text{sis}} = E/A/H = 14400/100/1200 = 12 \%$

Beispiel 2: Leistungsfähigkeit einer PV-Anlage

Am Flughafen Bozen Dolomiten ABD wurden in den Jahren 2011 und 2012 bei 30°
 Neigung je etwa 1600 kWh/m^2 Einstrahlung gemessen.
 Die für Photovoltaikanlagen auf freiem Feld typische Performance Ratio beträgt wechselstromseitig $PR = 0,8$.
 Systeme mit 15% , 10% und 5% Ausbeute würden somit 192, 128 und 64 kWh/m^2 leisten.
 Eine 50 m^2 große Photovoltaikanlage würde folglich ungefähr 9600, 6400 und 3200 kWh erzeugen.

Die für die vorliegende Untersuchung zu Grunde gelegte Methode sieht vor, für Photovoltaiksysteme geeignete Flächen nach Sonneneinstrahlung zu berechnen und verfügbare Flächen in Stadtgebieten zu filtern. Für die Gemeinden Bozen, Leifers und Brixen sind die Daten zur Einstrahlung auf Dachflächen dank Solarkataster (Abschnitt 3) bekannt. Für die anderen Gebiete wurde entweder auf Datenbankbestand (zum Beispiel PVGIS¹²) zurückgegriffen oder nach geometrischen Kennzahlen gerechnet.

Im zweiten Schritt wurden Potential und Performance Ratio 0,8 über Module mit 15% Wirkungsgrad (typischer Wert für polykristalline Zellen) berechnet. Sowohl Wirkungsgrad wie auch Leistung neigen dazu, im Lauf der Jahre dank technischer Verbesserungen, neuer Erkenntnisse und sorgfältiger Installation besser zu werden. Die Performance Ratio für Photovoltaiksysteme nahm in den letzten 30 Jahren schrittweise zu, während die Abweichungen von den Durch-

¹¹ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

¹² <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

schnittswerten (Tabelle 3) ^{13,14,15,16} weniger wurden. Gründe dafür sind bessere Überwachungssysteme und Einbauqualität, weniger Verluste über das System usw.

Jahr	Standort	PR	PR-Durchschnitt
1980s	weltweit	0.50 - 0.75	Einzelwerte
1990s	weltweit	0.25 - 0.90	0.66
1990s	weltweit	0.50 - 0.85	0.65 - 0.70
1990s	Deutschland	0.38 - 0.88	0.67
2000s	Frankreich	0.52 - 0.96	0.76
2000s	Belgien	0.52 - 0.93	0.78
2000s	Taiwan	<0.3 - >0.9	0.74
2000s	Deutschland	0.70 - 0.90	0.84

Tabelle 3: typische PR-Werte

2.2 Berechnung: Photovoltaikpotential und Einstrahlung auf Fassaden

Die Potentialberechnung bei auf Fassaden angebrachten Photovoltaiksystemen erfolgte im Gewerbegebiet Bozen Süd (Industriezone) nach Gebäuden, wobei Begehungen und GIS sowie Datenbanken wie Google StreetView gemeinsam zum Einsatz kamen. Das Ziel waren in anderen Gewerbegebieten mit ähnlichen Voraussetzungen wie in Bozen verwendbare Kennzahlen. Eine in anderen Gewerbegebieten (z. B. in Brixen, Meran, Leifers usw.) durchaus nutzbare Kennzahl stellt das Verhältnis zwischen für PV-Systeme auf Fassaden geeigneten Flächen und der waagrechten Gesamtfläche dar. Für die Industriezone Bozen wurde die Kennzahl für die verfügbare Fassadenfläche um 50 % herabgesetzt, um die Fensterverglasungen zu berücksichtigen. Dieser Kennwert wurde aus Sichtkontrollen im Anlagenbestand abgeleitet. Tabelle 4 fasst die für die wichtigsten Straßen in der Bozner Industriezone an für PV-Fassadensysteme geeigneten Gebäuden gemessenen Werte zusammen. Diese Gebäude sind nach Süden ausgerichtet (etwa 10 Grad nach Westen) und ohne besondere, von anderen Gebäuden verursachte Beschattung (Abbildung 8 und Abbildung 9).



Abbildung 8: Straßen in der Bozner Industriezone mit als für PV-Systeme an Fassaden geeignet eingestuft Gebäuden



Abbildung 9: für die PV-Potentialberechnung an Fassaden berücksichtigte Gebäude (gelb)

13

U. Jahn, et al., International Energy Agency PVPS, Task 2: Analysis of the operational performance of the IEA Database PV systems, in 16th EUPVSEC, Glasgow, United Kingdom, 2000

14

U. Jahn, et al., Achievements of task 2 of IEA PV power systems programme: final results on PV system performance, in 19th EUPVSEC, Paris, France, 2004, S. 7–11

15

N. H. Reich, et al., Performance ratio revisited: is PR > 90 % realistic?, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 20, no. 6, S. 717–726, 2012.

16

J. Leloux, et al., Performance Analysis of 10,000 Residential PV Systems in France and Belgium, 2011

	Straße	Gebäude- anzahl	PV-fähige Fläche [m²]
1	Galileo Galilei	8	1581
2	Werner von Siemens	9	1630
3	Volta	5	2637
4	Edison	4	1180
5	Vittorio	10	4041
6	Giotto	9	3600
7	Altmann	9	2116
8	Kravogl	6	1002
9	Copernicus	4	2840
10	Einstein	12	3814
11	Einzelgebäude	26	8753
	insgesamt	102	33194

Tabelle 4: für PV-Systeme an Fassaden geeignete Gebäude und Flächen in der Bozner Industriezone

Das Gewerbegebiet Bozen Süd ist etwa 2 km² groß. Das Verhältnis zwischen PV-fähiger senkrechter und waagrechter Gesamtfläche beträgt annähernd 1,5 %. Mit dieser Kennzahl ist es möglich, die PV-Fassadenfläche zu schätzen – Grundlage sind mit Bozen vergleichbare Gewerbegebiete. In den Fällen Leifers, Brixen und Meran (Sinich) ergeben sich je etwa 3.000 m², 8.250 m² und 3.900 m² PV-fähige Fläche. In zwei Fällen mit halbdurchsichtigen (Wirkungsgrad 10 %) und undurchsichtigen (15 %) Modulen erhält man in Bozen (Industriezone) ungefähr 3,3 bzw. 5 MW_p Nennleistung, oder aber 5 MW_p bzw. 7 MW_p, wenn die wichtigsten Gewerbegebiete (Bozen, Leifers, Brixen, Meran) berücksichtigt werden.

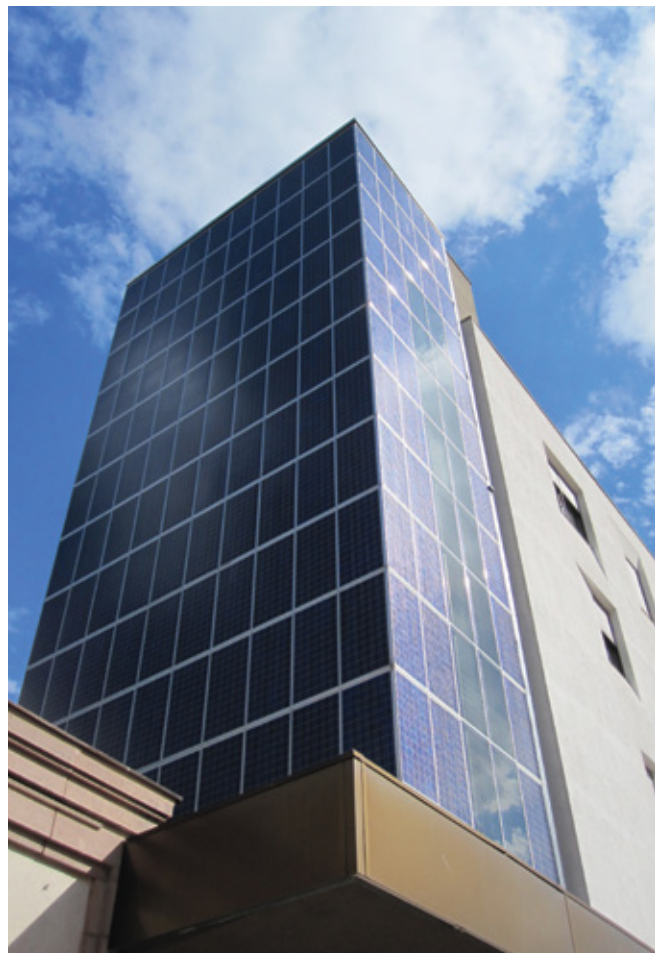


Abbildung 10: Beispiele für PV-Anlagen an Fassaden. Links: Firmensitz Brennerautobahn AG, Trient, Fernheizanlage Latsch. Rechts: Enzian Tower, ex-Postgebäude Bozen.

2.3 Vergleich gemessene Daten – Datenbankbestand

Die Datenbank Climate-SAF PVGIS liefert für Bozen und Brixen die selben Einstrahlungswerte wie die von EURAC überwachten Anlagen. Die Anlage an der Fassade des ex-Post Gebäudes besteht aus 5, nach Südosten und Südwesten ausgerichteten Teilsystemen. Die Ausbeute hängt somit von den jeweiligen Beschattungsumständen ab. Im Durchschnitt erzeugt die PV-Anlage aus der südöstlichen Ausrichtung etwa 730 kWh/kW_p, aus der südwestlichen rund 770 kWh/kW_p. Beispiel 3 zeigt, wie zuverlässig die vom PVGIS-Standort – der Climate-SAF-Datenbank – gelieferten Daten sind. Die von der bis 2012 genutzten Datenbank Classic gelieferten Angaben unterschätzen die Energieerzeugung um bis 20 %.

Beispiel 3: Überwachung und PVGIS

Das Institut für erneuerbare Energie (EURAC) überwacht die PV-Anlage auf dem früheren Postgebäude in Bozen (nach Südosten und Südwesten ausgerichtete Fassaden). Die Datenbank PVGIS schätzt die über diese Anlage jährlich erzeugte Energie und die Energieertrag (PR etwa 0,75) wie folgt:

- südöstliche Seite
PVGIS climate-SAF 745 kWh/ kW_p
PVGIS classic 589 kWh/ kW_p
- südwestliche Seite
PVGIS climate-SAF 808 kWh/ kW_p
PVGIS classic 626 kWh/ kW_p

Gleiches gilt auch für die Anlagen am Bozner Flughafen ABD und auf dem Kirchendach in Milland (Brixen): beide Anlagen werden von EURAC überwacht (Abbildung 11). Auch bei diesen beiden Anlagen unterschiedlichen Typs erweist sich die Datenbank Climate-SAF als zuverlässiger. Die geschätzten 1140 kWh/kW_p für die Anlage auf dem Dach und die 1320 kWh/kW_p für die Anlage auf freiem Feld entsprechen den gemessenen Daten.

2.4 Andere Untersuchungen zur PV-Potentialberechnung

Die Fachliteratur enthält weitere, auf Dachanlagen konzentrierte Untersuchungen zur PV-Potentialberechnung. Lödl et al.¹⁷ veröffentlichten eine Untersuchung zum Potential in ganz Bayern, der rein geometrische Überlegungen zu Grunde liegen. Die in Stadtbereiche eingestuft Gebäude erbrachten letztlich rund 25 GW_p (2 kW_p pro Kopf). Die Verfasser legten die für Bayern erhobenen Werte auf ganz Deutschland um und errechneten den Richtwert 161 GW_p. Von anderen Untersuchungen errechnete Werte schwanken zwischen 50 und 130 GW.^{18 19}, Wiginton²⁰ et al. berechneten die in der kanadischen Provinz Ontario verfügbare Dachfläche und legten einen Faktor zu Grunde, der den für Photovoltaikanlagen tatsächlich geeigneten Anteil und somit Beschattung, Ausrichtung, Neigung usw. berücksichtigt. Der verwendete Sicherungsparameter wurde nach

aus anderen Untersuchungen belegten Schätzungen und Begehungen berechnet. Der Wert beträgt 0,19 (Koeffizient für Dachflächen bei geeigneter Ausrichtung 0,625, Koeffizient für Beschattung und andere Verwendungsformen 0,3). 81 % der insgesamt verfügbaren Dachflächen sind somit nicht berücksichtigt, da sie für Photovoltaikanlagen ungeeignet sind. Da diese Methode die Sonneneinstrahlung im Jahresdurchschnitt nicht als Entscheidungsvariable einsetzt und von konservativen Schätzungen ausgeht, kann die Gesamtausbeute unterschätzt werden. Auf jeden Fall ist interessant, dass Wiginton insgesamt 70 m² Dachfläche pro Kopf angibt. Die Angaben aus anderen Gebieten verweisen auf 72 m² pro Kopf in ganz Spanien sowie etwa 20 m² in Brasilien und im vereinigten Königreich. Je dichter ein Gebiet besiedelt ist, desto weniger Fläche steht zur Verfügung. Wenn man den Filterparameter einbezieht, ergeben sich für den Großraum Ontario ungefähr 13 m² pro Kopf (bei Modulen mit 15 % Wirkungsgrad etwa 2 kW_p pro Kopf). Eine vergleichbare Untersuchung in Spanien ergibt rund 14 m² für Photovoltaikanlagen geeignete Dachfläche pro Kopf (Faktor Beschattung 0,43, Faktor für andere Verwendungsformen 0,78 und Faktor für Leerstellen und Aussparungen 0,58)²¹. Für Südtirol nahm Schwarz²² im Jahr 2010 etwa 1 GW Dachflächenpotential an. Er arbeitete mit der von Lödl beschriebenen Methode, bei der die Gemeinden nach Einwohnerzahlen eingestuft werden und die Erzeugung zu 83 % aus dem ländlichen Raum stammt. Aus der Pro-Kopf-Stromerzeugung errechnen sich rund 6 kW_p Leistung pro Kopf im ländlichen Raum, 2,8 kW_p in Dörfern, 0,9 kW_p in kleinen Städten und 0,4 kW_p in mittelgroßen städtischen Siedlungen. Schwarz schätzte weiters für die Jahre 2015, 2020 und 2050 je 86, 183 und 475 MW Nennleistung (installierte Leistung). Wie schon im Abschnitt 1.2 ersichtlich wurde, hat die Wirklichkeit diese Zuwachshypothese für den Bereich Photovoltaik schon überholt. Nachstehend wird im Detail ausgeführt, wie auch das Pro-Kopf-Potential in den bevölkerungsreichsten Stadtbereichen unterschätzt wurde. Im emblematischen Fall Brixen sind schon 0,36 kW_p pro Kopf installiert. Dieser Umstand zeigt, wie schwer es fällt, das Wachstum für einen derart dynamischen Fachbereich wie die Photovoltaik zu schätzen.

17 Lödl, M., et al., Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland, 11. Symposium Energieinnovation, Graz, 2010

18 Kaltschmitt, M., Wiese, A., Erneuerbare Energieträger in Deutschland, Potentiale und Kosten; Springer-Verlag Berlin, 1993

19 Quaschnig, V., Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 2000

20 Wiginton, LK., Nguyen, HT., und Pearce, JM., Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy, Computers, Environment and Urban Systems, 34 (4), 2010 345-357

21 Izquierdo, S., Rodrigues, M., und Fueyo, N., A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy potential evaluations, Solar Energy 82(10), 929-939

22 Schwarz, S., The Potentials of Renewable Energy Sources in South Tyrol (master thesis), verfügbar auf <http://www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/service/pubblicazioni.asp>



Abbildung 11: Anlagen auf Fassade (früheres Postgebäude), Dach (Kirche in Milland) und freiem Feld (Flughafen ABD)

3

Photovoltaik-Dachflächenpotential

Um das Photovoltaikpotential auf Dachflächen berechnen zu können, muss bekannt sein, wie viel Gesamtfläche zur Verfügung steht. Die Erhebung kann als Näherungswert geschätzt oder – zunehmend aufwendig – auf statistischer Grundlage oder mit GIS mit Gebäudekarten aus dem berücksichtigten Bereich durchgeführt werden.

Die Flächenschätzung setzt bei Durchschnittswerten für je Einwohner nach Wohnbautyp verfügbare Dachfläche an. Für Photovoltaikanlagen nicht geeignete Flächen werden mit Korrekturfaktoren in Abzug gebracht. Diese Werte können von Dach zu Dach, von Gebiet zu Gebiet schwanken. Dabei besteht die Gefahr, mit zu konservativen Werten zu arbeiten, die dazu führen, das Potential zu unterschätzen.

Die gegenständliche Untersuchung setzt die jährlich durchschnittliche Sonneneinstrahlung als Entscheidungsvariable ein, um festzustellen, ob auf Dächern angebrachte Photovoltaikanlagen wirtschaftlich vertretbar sind (siehe Beispiel 4). Der ermittelte Schwellenwert kann schwanken, wenn sich die Umfeldbedingungen verändern, zum Beispiel durch indirekte Förderung (die direkte Förderung endete mit dem 5. Energiekonto, indirekte Fördermittel könnten für Speichersysteme ausgeschüttet werden), Steuererleichterungen, Bauteilpreise usw.

Das Photovoltaikpotential auf Dachflächen wird in ganz Südtirol über zwei Ansätze geschätzt, wobei die Gebietsüberdeckung von Mal zu Mal zunimmt.

- Schätzung nach Daten aus dem Solarkatasterbestand (Abschnitt 3.3)
- Auf ländliche Gebiete abgestimmte Werte aus der im oberen Nonsberg durchgeführten Untersuchung (Abschnitt 3.4)

Beispiel 4: Einfache Wirtschaftlichkeitsberechnung für Photovoltaikanlagen auf Dachflächen (ohne Inflation und Wartung)

Nennleistung: 3 kW_p
Kosten: 2500 €/kW_p, 7500 €
jährliches Leistungsvermögen: 1000 kWh/kW_p, 3000 kWh
jährliche Sonneneinstrahlung (PR:0,8): 1250 kWh/m²
jährlicher Stromverbrauch: 3000 kWh
durch Photovoltaik abgedeckter Eigenverbrauch: 30 %, 900 kWh
jährliche Einsparung auf der Stromrechnung: 160 €
jährliche Einsparung auf der Stromrechnung durch Austauschvergütung: 340 €
jährliche Gesamteinsparung: 500 €
Zeitraum für Investitions-Kostendeckung: 15 Jahre

3.1 Solarkatasterbestand

Viele Städte in Europa haben in den letzten Jahren begonnen mit GIS zu arbeiten, um Informationen der zur Stromerzeugung verfügbaren Sonnenenergie besser verarbeiten zu können. Die von der Enbasa GmbH²³ eingerichtete Website verweist zum Beispiel auf alle von verschiedenen Städten in Deutschland (am 19. September 2013 waren es 112 Städte) umgesetzten WebGIS. Ein derartiges, meist Solarkataster genanntes Werkzeug gestattet privaten Nutzern, ein Gebäude auszuwählen und in Erfahrung zu bringen, ob sich eine Photovoltaikanlage lohnt. Den Lokalbehörden gestattet es, den Sonnenenergieeinsatz auf einfache Art und Weise zu planen, beziehungsweise die Stadtteile auszuwählen, die für Photovoltaikanlagen am besten geeignet sind.

Jede mit einem Solarkataster ausgestattete Stadt hat beschlossen, unterschiedliche Informationen zur Verfügung zu stellen, zum Beispiel:

- In einem Jahr verfügbare Sonnenenergie,
- Beschattung,
- elektrisches Leistungsvermögen,
- Reduktion des CO₂-Ausstoßes
- Investitionskosten.

Ein Solarkataster ermöglicht es, alle Dächer in der Stadt auf Kartendarstellungen im Netz nach im Jahresablauf verfügbarer Sonnenenergie einzustufen. Die Nutzer können die Verteilung nach Bestrahlungsklassen an einzelnen Gebäuden nachvollziehen. Sie wählen dazu das Dach, an dem sie interessiert sind. In der entsprechenden Tabelle ist ausgewiesen, zu welchem Anteil das Gebäude welcher Klasse zuzuordnen ist usw.

3.2 Solarkataster Brixen: Methode

In Zusammenarbeit mit den Instituten für erneuerbare Energie und dem Institut für Fernerkundung wurde die Alpenstadt Brixen im Projekt **PV-Initiative** als Modelregion mit dem Anspruch eingesetzt, das Kraft-Wärme-Kopplung-Entwicklungsmodell für alle Standorte in Berggebieten nutzbar zu machen. Um in Erfahrung zu bringen, wie sich die Einstrahlung auf einer bestimmten Erdoberfläche verteilt, sind folgende Informationen erforderlich:

- die geographischen Eigenschaften und der Geländeverlauf (Erstellung zur Sonne, Gebäudebestand, Pflanzenwuchs und Gebirge),
- der Luftzustand (Wolkendecke, konzentrierter Wasserdampf, Aerosol, Gaseinschlüsse).

Die gewünschten Informationen zum Geländeverlauf werden über ein DTM (Digital Terrain Model, auch DGM = digitales Geländemodell) für Brixen mit LiDAR²⁴ erhoben. Daraus wird ein DOM (digitales Oberflächenmodell, auch DSM = Digital Surface Model) gefertigt. Das Modell beschreibt die atmosphärischen Auswirkungen auf die Einstrahlung mit zunehmender Messgenauigkeit:

- Die erste Ebene gründet auf einer Luftparametrisierung und mit einem Solarimeter²⁵ in der Brixen am nächst gelegenen Messstation erhobenen Strahlungswerten.
- Die zweite Ebene sieht ein Strahlungstransfermodell vor, um – bei bekanntem senkrechtem Luftaufbau – die Sonneneinstrahlung schätzen zu können.
- Die dritte Ebene sieht vor, die Luftzusammensetzung über Radiometer in Wettersatelliten indirekt zu messen.

Sonnenkraftpotential [kWh/m²]: nach Flächeneinheit in einem festgelegten Zeitraum im Kurzwellenbereich (Wellenlängen etwa von 0,2 bis 4 µm) verfügbare Sonnenenergie, wobei Flächenausrichtung, Neigung und durch Gebäude oder andere Gegenstände verursachte Beschattung zu berücksichtigen sind.

23 <http://www.enbasa.de/solar-geothermie/fotovoltaik/staedte-mit-solarkataster.html>

24 Laser Imaging Detection and Ranging: ein Laserstrahl misst die Entfernung zu einem Gegenstand oder einer Fläche

25 Pyranometer: Sensor, mit dem die Bestrahlungsstärke gemessen wird

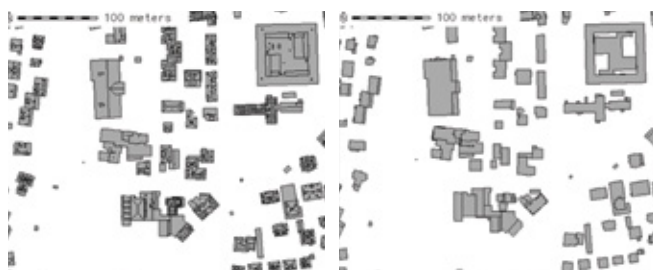


Abbildung 12: links, die Karte mit den Dachdetails und allen in Brixen bebauten Flächen, rechts, das Ergebnis aus der Überlagerung der Gebäudekarte und der links abgebildeten Karte.

Die Ergebnisse beziehen sich auf die erste Ebene der Beschreibung und sind über ein WebGIS für Brixen²⁶ nutzbar. Nachstehend ist beschrieben, wie das WebGIS-Daten zur Sonnenenergienutzung in Brixen verarbeitet werden.

3.2.1 Brixen: Gebäudeeinteilung nach Sonnenkraftpotential

Die Karte der jährlichen Sonneneinstrahlung wurde mit GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) GIS²⁷ ausgearbeitet, um die Dächer im Stadtgebiet einzustufen. Gemäß Katasterkarte mit den Gebäuden in Brixen wurden aus der Rasterkarte für die Einstrahlung lediglich die Pixel ermittelt, die bebauten Grundstücken zuzuordnen sind.

Die Karte mit den interessanten Flächen ergibt sich aus einer Kombination. Die Gebäudekatasterkarte wurde über die Karte gelegt, auf der die Dächer sehr detailliert dargestellt sind. Somit kann die Analyse nicht nur die Dächer, sondern auch Terrassen und andere Flächen einschließen, die sich für PV-Anlagen eignen. Beide Karten wurden vom Unternehmen Stadtwerke Brixen AG zur Verfügung gestellt. Aus der Katasterkarte wurden alle Bestandteile herausgefiltert, die keine Gebäude darstellen, etwa Straßen, kleine Mauern oder Höfe (Abbildung 12 und Abbildung 13). Weiters wurde alle Gegenstände ausgeschlossen, die weniger als 1 m² Platz einnehmen, da sie für die Analyse bedeutungslos sind. Es wurde untersucht, wie sich die Strahlung im Raum verteilt (Abbildung 14): bei 1000 und 1100 kWh/m² sind Spitzenwerte an den meist ebenen Flächen mit dem am häufigsten verzeichneten Gefälle festzustellen. 3 Schwellenwerte berücksichtigen die Verteilung im Raum und frühere Entscheidungen für die Arbeit mit anderen europäischen Solarkatastern. Wie Tabelle 5 zeigt, wurden 4 Pixelklassen ermittelt.

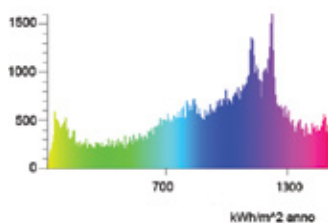


Abbildung 14: Histogramm mit der ganzjährigen Strahlungsverteilung im Raum. Auf der x-Achse (Abszisse) ist die Strahlung in kWh/m² jährlich dargestellt, auf der y-Achse (Ordinate) die Pixel, die auf ein bestimmtes Sonnenenergiepotential verweisen.

Das Brixner Solarkataster zeigt folglich auf, welche Sonnenkraftpotentialklassen auch auf ein und demselben Dach festzustellen sind. Andere Kataster nutzen ähnliche Verfahren, um die Einstrahlung zu berechnen, mitteln aber das Sonnenkraftpotential auf dem Dach, so in Leifers und Bozen. Gleichzeitig mit dem Bestrahlungswert werden auch die Gebäudeausrichtung (als Wert oder zusätzliche Einteilung in Klassen) und der Neigungswinkel ausgewiesen. Diese Kennzah-

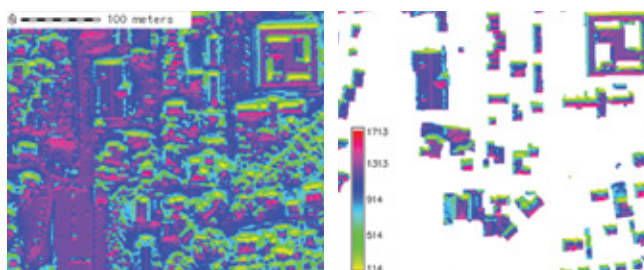


Abbildung 13: links, die mit den Daten aus den Erdmessungen berichtigte Karte mit der ganzjährigen Sonneneinstrahlung, rechts, der Gebäudeauszug aus der Strahlungskarte.

len ermöglichen, den Umstand zu berücksichtigen, dass Module auf **Flachdächern** an in einem bestimmten Gefälle geneigten Halterungen angebracht werden. In solchen Fällen ist die Selbstbeschattung einzurechnen und sicherzustellen, dass ausreichend Platz zwischen den Reihen bleibt. Dieser Möglichkeit ist in der Potentialberechnung mit **Korrekturfaktor 0,5** für die Systemwirksamkeit auf der gesamten verfügbaren Fläche Rechnung getragen (Beispiel: Systemwirksamkeit auf Schrägdach 15 %, auf Flachdach 7,5 %).

KLASSE	SONNENKRAFT-POTENTIAL	FARBE	BEWERTUNG
1	> 1200 kWh/m ²		SEHR GEEIGNET
2	1000 - 1200 kWh/m ²		GEEIGNET
3	800 - 1000 kWh/m ²		DURCHSCHNITT-LICH GEEIGNET
4	< 800 kWh/m ²		UNGEEIGNET

Tabelle 5: Beispiel für Einteilung in Klassen nach ganzjähriger Sonneneinstrahlung in Brixen

3.3 Kompakte Stadträume

Der Solarkataster für den gesamten Brixner Stadtraum wurde im Rahmen des Projekts Solarstadt, 2012 ERDF Project PV-Initiative 2-1a-97 [1] in Zusammenarbeit mit der Gemeinde Brixen abgeleitet. Die Daten für die Solarkataster Bozen und Leifers wurden freundlicherweise von den entsprechenden Gemeindevertretungen zur Verfügung gestellt^{28, 29}. Die Sonneneinstrahlung in Bozen erreicht im Vergleich mit laufend überwachten Daten allgemein nur geringe Werte und wurde folglich auf Datengrundlage aus dem Kataster Leifers neu berechnet. Etwa 50 Gebäude an der Grenze zwischen den beiden Gemeinden sind tatsächlich in beiden Katastern berücksichtigt. Wie schon im Abschnitt 3.2.1 ausgeführt wurde, unterscheiden Solarkataster das auf Dächern verfügbare Sonnenkraftpotential nach Eignungsklassen. Lediglich die Klasse mit Einstrahlungswerten $H > 1200 \text{ kWh/m}^2$ jährlich gilt als geeignet, weil mit Photovoltaikmodulen wirtschaftlich vertretbar. Die Messungen vor Ort und die Datenbank PV-GIS ermöglichen, die durchschnittliche Jahresproduktion in kWh je kW_p (Energieertrag wechselstromseitig) für die oben angeführten Fallbeispiele zu schätzen. Der wechselstromseitige Energieertrag bewegt sich in der Größenordnung 1100 – 1150 kWh jährlich je kW_p, wobei systemtypische Verluste (20 % Verlust wegen Temperatur, geringer Einstrahlung, Rückstrahlvermögen, Verkabelung, Umrichter usw.) schon eingerechnet sind.

²⁶ <http://www.eurac.edu/it/research/institutes/renewableenergy/pvinitiative/pvMap.html>

²⁷ Open-Source-Programm für Geoinformationsverarbeitung

²⁸ Projekt Kataster Leifers, Dank an Sergio Segala, Paolo Viskanic (R3GIS) und Silvia Franceschi (HydroGIS)

²⁹ Projekt Bozen Sun Solar City

Die von GSE⁵ zur Verfügung gestellte gesamtstaatliche Datenbank enthält die erforderlichen Angaben zur in Südtirol bislang installierte PV-Leistungsfähigkeit und Details aus verschiedenen Gemeinden.

Mit der als Entscheidungsvariable eingesetzten Einstrahlung und der Dachfläche lässt sich das Photovoltaikpotential über einige Parameter wie die der Modul-Wirkungsgrad und die entsprechende Stromerzeugung bestimmen. In baulich integrierten Anlagen sind systemtypische Verluste eingeschlossen.

Für die nachstehenden Überlegungen wurden Modul-Wirkungsgrad 15 % und PR 0,8 angenommen.

Auf den Dächern in Brixen wurden etwa 155 MW_p nicht gefiltertes Photovoltaikpotential nachgewiesen. Ohne die Dächer der Klasse 1 sinkt dieser Wert

um etwa 60 % auf 60 kW_p, das sind 66 GWh jährlich. Wenn man die Dächer der Klasse 1 in der Altstadt ausschließt, sinkt der Wert um weitere 12 % auf 53 kW_p. Abbildung 15 zeigt das Photovoltaikpotential in Brixen (ohne Altstadt) in 100 m x 100 m großen Planquadraten. Derzeit sind in Brixen 7,4 MW_p (0,36 kW_p/Einwohner, 26 kW_p durchschnittliche Anlagenleistung) Spitzenleistung installiert. Dabei ist die Beobachtung interessant, dass der Wert für die je Einwohner verfügbare Dachfläche (einschließlich öffentliche Gebäude, Industrie- und Handwerkerzonen) von insgesamt 49 m² je Einwohner bei nach geeigneten Dächern gefilterten Daten auf 17 m² je Einwohner fällt. Dieser Wert entspricht den im Abschnitt 2.4 wiedergegebenen Ergebnissen.

Bei einem ähnlichen Ansatz ohne Filter ergeben sich für die Dächer in Bozen 585 MW_p Gesamtpotential. Wenn man die Dächer mit weniger als 1200 kWh/m² ausschließt, stehen in Bozen schätzungsweise etwa 250 MW_p Photovoltaikpotential zur Verfügung, das sind ungefähr 57 % weniger. In der Bozner Altstadt sind es noch einmal 10 % weniger. Wenn nur Flachdächer, von Westen nach Osten ausgerichtete und Dächer der Klasse 1 berücksichtigt werden, man die Altstadt aber ausschließt (Abbildung 16), stehen 198 MW_p tatsächliches Potential zur Verfügung. Diesem Wert entsprechen 205 GWh Stromerzeugung jährlich. Nach der Filterung sinkt das auf den Dächern pro Kopf verfügbare Potential von 37 m² auf 12,5 m². Abbildung 17 zeigt das Photovoltaikpotential in Bozen (ohne Altstadt) in 100 m x 100 m großen Planquadraten. Im September 2013 wurden in Bozen 13,8 MW_p (0,14 kW_p/Einwohner, 55 kW_p durchschnittliche Anlagenleistung) Spitzenleistung installiert. Die durch die Filterfunktionen bei Einstrahlung und Altstadt erwirkten Einschränkungen führen interessanterweise in Brixen und Bozen zu sehr ähnlichen Ergebnissen (Abbildung 16). Diese Entwicklungstendenz könnte auch auf andere, vergleichbar große Alpenstädte erweitert werden.

In der Stadt Leifers wurden ungefiltert 111 MW_p, beziehungsweise 65 MW_p Potential festgestellt, wenn man nur Dächer der Klasse 1 berücksichtigt.

Tabelle 6 fasst die wichtigsten Ergebnisse aus den drei Fallstudien zusammen. Wie schon im Abschnitt 2.4 ausgeführt wurde, steigt der Wert für die pro Kopf installierbare, nach gefiltertem Potential berechnete Leistung bei weniger Bevölkerung, beziehungsweise geringerer Siedlungsdichte. Wenn man nach konservativer Schätzung etwa 2,5 kW_p/Einwohner annimmt (dieser Wert lässt sich in kleinen Siedlungen schon kurzfristig erreichen, siehe zum Beispiel Prad am Stilfserjoch mit 2 kW_p/Einwohner), beträgt das Photovoltaikpotential auf Dächern in ganz Südtirol **1,25 GW**.

Bei diesem Wert 1,25 GW sind zwei wichtige Faktoren nicht berücksichtigt: 1) nicht alle Dächer können das zusätzliche Gewicht einer Photovoltaikanlage tragen, da sie lediglich für Schneelast bemessen wurden, 2) die verfügbaren Flächen können Sonnenkollektoren für Heizung, Kühlung sowie Gebrauchs-Warmwasserbereitung tragen. Eine vertiefte Flächenanalyse müsste folglich möglichen Wettbewerb, bzw. mögliches Zusammenwirken beider Verfahren berücksichtigen.

Ein stark vereinfachter Verweis könnte mit folgenden Kennzahlen arbeiten: Gebrauchs-Warmwasser -Pro-Kopf-Verbrauch 25 kWh/m², Heizungs-Pro-Kopf-Verbrauch (sanierter Bestand oder Neubauten) 50 kWh/m², Pro-Kopf-Fläche in Siedlungen 30 m². Praktisches Beispiel: um den Gebrauchs-Warmwasser -Pro-Kopf-Bedarf zu 80 % und den Heizungs-Pro-Kopf-Verbrauch zu 30 % abzudecken, sind mindestens 3 m² Wärmekollektoren erforderlich (ungefähr 300 – 350 kWh/m² Energieerzeugung). Dieser Wert würde die für Photovoltaikanlagen auf Dächern verfügbare Fläche in Brixen um 17 %, in Bozen um 24 % (Abbildung 18) verringern.

Stadt	installierte Leistung [MW _p]	pro Kopf installierbare Leistung [kW _p /Einwohner]	Energie [GWh]
Brixen	60 (Klasse 1)	3	66*
	53 (Klasse 1, ohne Altstadt)	2,7	58*
Bozen	247 (Klasse 1)	2,4	255*
	226 (Klasse 1, ohne Altstadt)	2,2	233*
	198 (Klasse 1, ohne Altstadt, nur S, W, SW, SO, O)	2,1	224*
Leifers	65 (Klasse 1)	3,8	72*

Tabelle 6: für die Fallstudien Brixen, Bozen und Leifers berechnetes PV-Potential. *Berücksichtigt sind 20 % Verluste, 15 % Modul-Wirkungsgrad, 5 % Wirkungsgrad bei Modulen auf Flachdächern

3.4 Die Untersuchung im oberen Nonstal als Modell für ländliche Gebiete

Mit dem für das Trentino über EFRE (europäischer Fonds für regionale Entwicklung) finanzierten Projekt führte das EURAC-Institut für erneuerbare Energie eine Untersuchung zu Energiequellen und entsprechendem Potential im oberen Nonstal durch. Dieses Gebiet weist als direkter Nachbar Südtirols ähnliche Voraussetzungen wie andere, in Südtirol gelegene Alpentäler auf. Die Untersuchung berücksichtigte Rückstände aus Sägewerken und Viehzucht sowie die Sonnenenergie mit dem Ziel, einen Energieplan zu erstellen, der das gesamte im Großraum verfügbare Potential detailliert analysiert. Alpengebiete sind mit ihren kleinen Siedlungen und beachtlichen Ressourcenreichtum ein hervorragendes Versuchsfeld für neue Systeme auf dem Weg zur Energieunabhängigkeit. Die Energie-Entwicklungspläne für einzelne Gebiete oder Regionen versuchen, Zusammenarbeit zwischen Gemeinden zu fördern und auf Energieoptimierung für ganze Talschaften oder Großräume zu setzen.

Das Solarpotential erreicht im fraglichen Einzugsgebiet 44 MW_p (bei Sonneneinstrahlung auf die Dächer $H > 1200 \text{ kWh/m}^2$ und 15% Modul-Leistungsfähigkeit), die mögliche Energieerzeugung etwa 49 GWh (20% Systemverlust insgesamt). Dabei lässt sich interessanterweise beobachten, dass das PV-Pro-Kopf-Potential im oberen Nonsberg ungefähr $6,4 \text{ kW/Einwohner}$ beträgt (92 m^2 Pro-Kopf-Dachfläche im Vergleich zu etwa 50 m^2 in Brixen und Leifers sowie 40 m^2 in Bozen). Freilich sind auch diese Daten mit Vorsicht zu genießen, da der Umstand zu berücksichtigen ist, dass nicht alle Gebäude ganzjährig bewohnt sind (z. B. Ferienwohnungen). Im oberen Nonsberg sind die Wohnungen zu 50% nicht besetzt³⁰. Folglich wäre nur mehr halb so viel Leistung umsetzbar und die Werte für installierbare Energie, Energieerzeugung und pro Kopf installierbare Energie sinken in dieser Reihenfolge auf annähernd 22 MW_p , 25 GWh , $3,2 \text{ kW}_p/\text{Einwohner}$ (46 m^2 Dachfläche pro Kopf, 21 m^2 für Photovoltaikanlagen geeignete Fläche pro Kopf). Auf dieser Grundlage und nach vorsichtiger Schätzung beträgt das Potential für die im ländlichen Raum angesiedelten Menschen etwa $0,875 \text{ GW}$ ($3,5 \text{ kW}_p/\text{Einwohner}$) und $0,625 \text{ GW}$ für städtische Gebiete ($2,5 \text{ kW}_p/\text{Einwohner}$). Insgesamt ergeben sich **$1,5 \text{ GW}$** (3 kW_p pro Kopf).

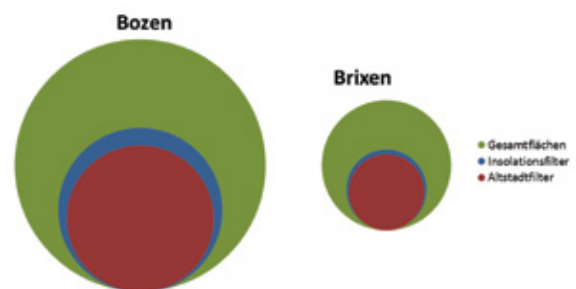


Abbildung 16: Dachflächeneinteilung mit Filtern für Einstrahlung und Altstadt in den Städten Bozen und Brixen.

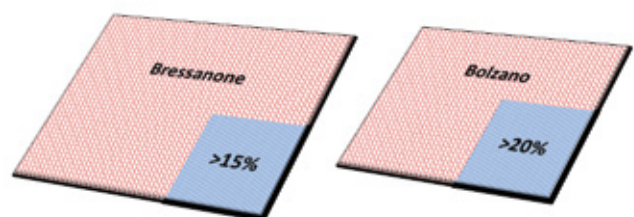


Abbildung 18: Deckungsannahme mit Wärmekollektoren für 80 % Gebrauchs-Warmwasser und 30 % Heizung – 17 m^2 geeignete Dachfläche pro Kopf in Brixen und $12,5 \text{ m}^2$ in Bozen.



Abbildung 15: Photovoltaikpotential in Brixen, mit Ausnahme der Altstadt, nach 100 m x 100 m großen Rasterflächen

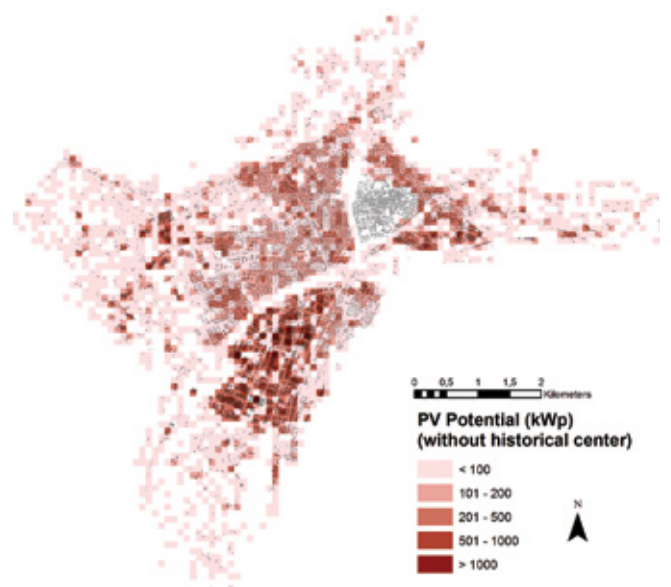


Abbildung 17: Photovoltaikpotential in Bozen, mit Ausnahme der Altstadt, nach 100 m x 100 m großen Rasterflächen

4

Intelligente Raumnutzung

Im dritten Abschnitt wurde das auf Dächern in Südtirol verfügbare Photovoltaikpotential bewertet. Kleine Anlagen leiden in den meisten Fällen unter Problemen in Zusammenhang mit Beschattung, unzureichender Belüftung, der Unmöglichkeit, dem hellsten Lichtpunkt folgen und somit die Erzeugung optimieren zu können usw. Anlagen dieser Größe verursachen starke Auswirkungen auf die direkt angeschlossenen Abnehmer, besitzen aber nur geringe Bedeutung für die Stromerzeugung auf Landesebene, sofern nicht sehr viele davon arbeiten. Damit der Trend auch weiterhin positiv bleibt und es möglich wird, die im KlimaLand-Paket vorgegebenen Ziele zu erreichen, ist der Zuwachs bei den kleinen durch einige mittelgroße Anlagen auszugleichen. Neue Anlagen auf freiem Feld (insbesondere in Berggebieten) werden der Auswirkung auf Umwelt und Landschaft wegen nicht mehr zugelassen. Weiters gilt die Raumnutzung als nicht effizient, vor allem, wenn der Landwirtschaft dadurch Schaden entsteht. Aus diesem Grund ist es wichtig, auch andere Flächen als bisher nach Möglichkeiten für kleine und mittelgroße Anlagen zu prüfen: für derartige Anlagen bieten sich Werkhallen und Privatgrundstücke an. Daneben sind Lösungen ausfindig zu machen, die Versuche mit unkonventionellen Flächen ermöglichen, die derzeit nicht vorgesehen sind.

4.1 Geltende Bestimmungen

Die Autonome Provinz Bozen – Südtirol fördert erneuerbare Energie und dazugehörige Innovation über zwei Fördermittel: das Landesgesetz Nr. 4 vom 19. Februar 1993 und das Landesgesetz Nr. 4 vom 13. Februar 1997. Diese beiden Bestimmungen enthalten die Grundregeln für die Entwicklungsförderung im Bereich erneuerbare Energie ausschließlich für Privatleute und Unternehmen. Tabelle 7 zeigt die Übersicht über alle für mit erneuerbarer Energie gespeiste Stromerzeugungsanlagen erforderlichen Genehmigungen.

Anlagentyp	installierte Leistung	Verfahren	Ente Competente
Solar, Photovoltaik	$P < 20 \text{ kW}_p$	vereinfachte Ermächtigung	Gemeinde
	$P > 20 \text{ kW}_p$	einzigste Ermächtigung	Land
Windkraft	$P < 60 \text{ kW}_p$	vereinfachte Ermächtigung	Gemeinde
	$P > 60 \text{ kW}_p$	einzigste Ermächtigung	Land
Wasserkraft	$P < 100 \text{ kW}_p$	vereinfachte Ermächtigung	Gemeinde
	$P > 100 \text{ kW}_p$	einzigste Ermächtigung	Land
Biomasse	$P < 200 \text{ kW}_p$	vereinfachte Ermächtigung	Gemeinde
	$P > 200 \text{ kW}_p$	einzigste Ermächtigung	Land
Abgas	$P < 250 \text{ kW}_p$	vereinfachte Ermächtigung	Gemeinde
	$P > 250 \text{ kW}_p$	einzigste Ermächtigung	Land

Tabelle 7: für mit erneuerbarer Energie gespeiste Stromerzeugungsanlagen erforderliche Genehmigungen

Die unbefristete Gesetzesverordnung 387/2003 bleibt nach wie vor die rechtliche Grundlage für ganz Italien. Das Land Südtirol hat in Zusammenhang mit den Genehmigungen keine eigenen Bestimmungen erlassen. Die Landesverwaltung hat allerdings mit Verordnung 52/2007 die Richtlinien für die Genehmigungen (mit erneuerbarer Energie gespeiste Stromerzeugungsanlagen) aus der Durchführungsverordnung zum Landesraumordnungsgesetz abgeleitet. Für Photovoltaiksysteme gelten folgende Bestimmungen³¹:

- Auf Dächern denkmalgeschützter Gebäude sind keine Photovoltaikpaneele zulässig.
- Auf landwirtschaftlichen Flächen sind PV-Anlagen lediglich parallel zum Dach oder zu Gebäudefassaden zulässig.
- Auf Grünflächen in Wohngebieten sind keine Photovoltaikpaneele zulässig.
- Auf Frei- und Grünflächen in Gewerbegebieten sind keine Photovoltaikpaneele zulässig.
- Auf Gewächshäusern sind keine Photovoltaikpaneele zulässig.
- Auf Wiesen und Weiden mit Baumbewuchs, Wäldern und auf Gebirgsfelsen sind Photovoltaikanlagen zulässig, um den häuslichen Baubestandsbedarf abzudecken.

Wie die Verordnung ausführt, sind Photovoltaikanlagen auf dem Boden nicht gestattet. Allerdings sind Überlegungen zum Umgang mit Grundstücken erforderlich, die keiner besonderen Einteilung zuzurechnen sind: Freiräume neben dem Straßennetz, neben Eisenbahnschienen, aufgelassenen Gruben oder Minen, erschöpften Deponien. Hier muss das für Denkmalpflege zuständige Landesamt oder die vorgesetzte Behörde ihre Zustimmung erteilen.

4.2 Gesetzliche Entwicklungsmöglichkeiten

Das im Bereich Photovoltaik nicht vorgesehene Wachstum ist sowohl in Italien wie auch weltweit weitgehend auf Fördergebühren zurückzuführen, die im Lauf der Zeit im selben Umfang zurückgingen, in dem die Preise für Photovoltaikanlagen sanken. In Italien betrugen die verschiedenen Fördergebühren im Durchschnitt (der jährliche Kostenaufwand wird durch die geförderte Leistung geteilt, wobei 1200 kWh/kW_p als durchschnittliche Ausbeute galten, bei EURAC bearbeitete GSE-Daten) 0,486, 0,401, 0,345, 0,272 und 0,103 für die nacheinander eingesetzten sogenannten Energiekonten (kostendeckende Einspeisevergütungen). Das fünfte und letzte Energiekonto endete im August 2013, dabei waren 6,7 Milliarden € Fördermittel eingesetzt worden. Weiteres Wachstum im Bereich Photovoltaik für Wohnanlagen erfordert freilich Umdenken von Gewinn- zu Sparansprüchen. Die steuerlichen Absetzmöglichkeiten bestehen nach wie vor, werden von Jahr zu Jahr verlängert und ermöglichen die selben Amortisierungsfristen wie vorher. Der vorher 20 Jahre lang mögliche Gewinn verschwindet allerdings.

Die Photovoltaik könnte aber indirekte Förderungen für Hilfssysteme wie Energiespeicher in Anspruch nehmen. In Ländern wie Deutschland gibt es jetzt schon Fördermittel für Speichersysteme, in den USA ist gerade ein sogenannter Storage Act in Arbeit. In Italien ist die Lage komplizierter. Als mit dem fünften Energiekonto die Direktförderung für den Eigenverbrauch eingeführt wurde und die Endverbraucher mehr Bewusstsein für die Nutzung vor Ort erzeugter Energie entwickelten, stellten sich gleichstromseitige Speichersysteme als Optimierung für den Eigenverbrauch als unvereinbar heraus³².

31 32 Verordnung des Landeshauptmanns, Nr. 37 vom 25. Oktober 2010

32 <http://www.gse.it/it/salastampa/news/pages/modifica-della-configurazione-impianti-incentivati-consistemi-di-accumulo.aspx>

AEEG (für elektrischen Strom und Gas zuständige Behörde) hatte sogar schon mit dem Gedanken gespielt, auch den Eigenverbrauch mit Systemgebühren zu belasten. Damit die Photovoltaik eine zweite Förderwelle, wenn auch kleinere und indirekt nutzen kann, ist der Weg für Hybridgeräte mit Wechselrichtern und Speichieranlagen, die den Nutzern je nach Anlagengröße gestatten, eine Zeitlang unabhängig zu bleiben. Die im Juni 2012 veröffentlichte technische Norm CEI 0-21 verbietet auch in Italien die Möglichkeit nicht, Photovoltaikanlagen mit passenden Speichersystemen herzustellen. Der technische Ausschuss 316 aktualisiert derzeit gerade die Norm CEI 0-21 und regelt die Sicherheitsbestimmungen und Vorschriften für die Energiestrommessungen.

Der Fachbereich müsste weiters Vorteil aus der in Italien mit der unbefristeten Regierungsverordnung Nr. 28 vom 3. März 2011 übernommenen EU-Richtlinie 2009/28/EG ziehen können. Diese Richtlinie regelt die Fördermaßnahmen für Energienutzung aus erneuerbaren Quellen und schreibt vor, diese Quellen in Neubauten und weitgehend sanierten Bestand einzuschließen. Die Bestimmungen gelten nicht für unter Denkmal- und Landschaftschutz gestellte sowie einschlägig in den Raumordnungsmaßnahmen ausgewiesene Gebäude, sofern die Planung aufzeigt, dass die Vorschriften mit ihren – insbesondere geschichtlichen oder künstlerischen – Eigenschaften oder ihrem Aussehen unvereinbare Veränderungen bewirken würden.

Anhang 3 führt an, wie viel aus erneuerbaren Quellen erbrachte Leistung mindestens auf, im Gebäude oder den Nebengebäuden (Messung in kW) zu installieren ist. Die Berechnung erfolgt nach der nachstehenden Formel:

$$P = \frac{1}{K} S$$

S ist die in m² gemessene Gebäudefläche auf Geländeebene, K ein Faktor (m²/kW), der folgende Größen darstellt:

- a) K = 80, sofern der einschlägige Antrag im Zeitraum vom 31. Mai 2012 zum 31. Dezember 2013 eingereicht wurde,
- b) K = 65, sofern der einschlägige Antrag im Zeitraum vom 1. Jänner 2014 zum 31. Dezember 2016 eingereicht wird,
- c) K = 50, sofern der einschlägige Antrag nach dem 1. Jänner 2017 eingereicht wird.

Beispiel 5: Richtlinie für PV-Anlagen mit erneuerbarer Energie

Im Jahr 2017 sind auf einem neuen oder weitgehend sanierten, im Grundriss 200 m² großen Gebäude

$$P = \frac{1}{50} 200 = 4 \text{ kW}$$

4 kW elektrischer Strom zu erzeugen. Bei 15 % Modulwirkungsgrad würden etwa 27 m² Dachfläche in Anspruch genommen.

Beispiel 6: vereinfachte Beitragsberechnung gemäß Richtlinie für neue PV-Anlagen

Am Wohnbaubestand finden alljährlich im Verhältnis zur gesamten Wohnfläche (aus der Dachfläche errechnet) folgende Eingriffe statt:

- 1 % d. Sanierung
- 0,2 % neue Wohnfläche

Gemäß den vorab festgelegten Faktoren K würden bis zum Jahr 2020 in Photovoltaikanlagen etwa 34 MW (15 % Modulwirkungsgrad) installiert sein.

4.3 Geeignete Flächen

Parallel zum erhofften Zuwachs bei den Dachanlagen – wie ihn sich viele kleine Investoren wünschen – sind auch andere Flächen zu berücksichtigen, auf denen mittelgroße Anlagen oder mehrere Anlagen eines einzigen privaten oder öffentlichen Auftraggebers installiert werden können. Die Suche nach sogenannten unkonventionellen Flächen darf sich nicht auf Überlegungen in Zusammenhang mit der umsetzbaren Gesamtleistung und die Wertschöpfung für ganz Südtirol beschränken, sondern muss auch andere Bereiche einbeziehen, die es ermöglichen, Stromerzeugung auszulagern und den Verbrauch somit zum Teil über PV-Anlagen abzudecken. Unkonventionelle Flächen, auf denen Photovoltaikanlagen gegenwärtig nicht ausdrücklich verboten sind, liegen in Bereichen mit natürlichen Frei- und/oder auf bebauten, derzeit ungenutzten Flächen, oder die ihre Aufgabe mit oder ohne PV-Anlagen erfüllen. Derartige Flächen sind:

- Stauseen / Staubecken
- Infrastruktur für Transport und öffentlichen Personennahverkehr
- Schallschutzwände
- Lawinenschutzzäune und Infrastruktur im Hochgebirge.

4.4 Aus Fallstudien gewonnene Daten zu Einstrahlung, Potential und Erzeugung

4.4.1 Stauseen / Staubecken:

Die wichtigsten Staubecken in Südtirol sind ³³ der Reschen-Stausee, der Vernagt-Stausee und der Zoggler-Stausee. Derartige Anlagen bieten folgende Vorteile:

- Staubecken liegen im Gebirge an Stellen, an denen die mit einem zweiachsigen Solartracker gemessene jährliche Einstrahlung Werte über 2000 kWh/m² erreicht und 30 % bis 40 % mehr Strom als mit im Tal oder in der Ebene installierten Anlagen^{34,35} erzeugt werden können.
- Die Stromerzeugung aus Wasserkraft kann dank Photovoltaikanlagen steigen.
- Die jahreszeitlich bedingten Schwankungen nehmen dank Rückstrahlung auf Schnee oder Eis in den Wintermonaten ab.

³³ <http://www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/acqua/invasi-artificiali.asp>

³⁴ Quelle : PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

³⁵ Von EURAC überwachte Daten, am Flughafen Bozen ABD installierte Anlage

- Die Zusatzkosten sinken, weil die für den Stromanschluss erforderliche Infrastruktur schon zur Verfügung steht.
- Stauseen im Gebirge sind ins Gelände eingefügte Infrastruktur, die sich von natürlichen Seen ihrer Auswirkungen auf die Umwelt wegen unterscheiden. Wahrscheinlich sind mehr Menschen mit auf Stauseen als auf freiem Feld installierten Photovoltaikanlagen einverstanden.
- Die aus Wasserkraft gewonnene Stromerzeugung kann zeitweilig dank photovoltaischer Erzeugung geregelt werden. Somit sinken die Kosten für jahreszeitlich bedingte Pumpspeicherung und der Wasserpegel im Becken kann höher bleiben.
- Die Anlage kann vollständig abgebaut und ihre Lebensdauer somit beliebig beschränkt werden.

Tabelle 8 fasst die wichtigsten Kennzahlen für die betreffenden drei Seen zusammen. Für die Produktionsberechnung wurden 10 % Wirkungsgrad im Verhältnis zu Systemen angenommen, die Flächen mit Flachdächern vergleichbaren Gestaltungen abdecken. Bei Systemen auf Solartrackern sind zusätzliche Überlegungen erforderlich, die Selbstbeschattung und optische Wirkung berücksichtigen sowie das richtige Gleichgewicht zwischen Produktions- und Umweltanforderungen herstellen. Selbstredend verringern beide Systeme (Schwimm- oder Trackeranlagen) die Sonneneinstrahlung auf den Seespiegel, eine Kennzahl für die „lebenswichtige Mindesteinstrahlung“ könnte wichtig werden. Da derzeit keine Ergebnisse zur von Schwimmanlagen erzeugten optischen Wirkung vorliegen, wurde beschlossen, Werte zur Stromerzeugung zur Verfügung zu stellen. Dabei wird angenommen, dass etwa 1 % bedeckt ist und die jährliche Sonneneinstrahlung auf den Seespiegel abnimmt (Abbildung 19 schließt auch den Beitrag bei 10 % Abdeckung ein).

Die Staubecken in Südtirol sind ungefähr 11,5 km² groß. Wenn man auch nur einen kleinen Anteil (1 %) für Photovoltaikanlagen nutzen würde, könnten 3 bis 9 MW_p (je nach Modul- und Systemwirkungsgrad) Nennleistung und 4 bis 11 GWh Stromerzeugung (0,13 % bis 0,36 % vom gesamten Strombedarf in Südtirol) erreicht werden.

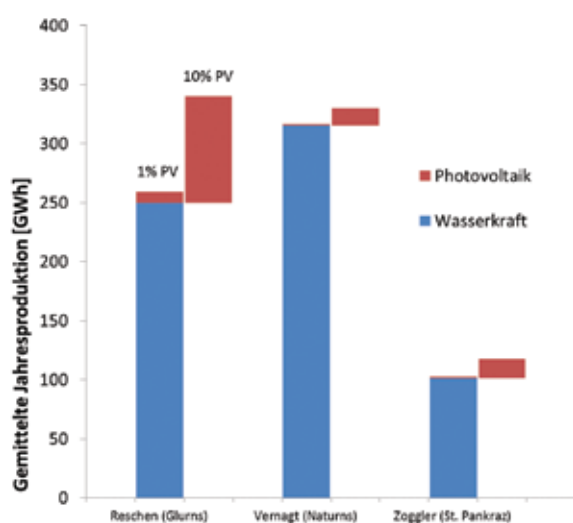


Abbildung 19: Energiebeitrag durch mit den Wasserkraftanlagen am Reschen-, Vernagt- und Zoggler-Stausee gekoppelte Photovoltaiksysteme.

	Reschen-Stausee	Vernagt-Stausee	Zoggler-Stausee
Fläche [km ²]	6,6	1,26	1,43
Höhe ü. d. M. [m]	1498	1690	1141
jährliche Sonneneinstrahlung, Gefälle, optimale Ausrichtung [kWh/m ²]	1460 (1590)	1290 (1360)	1320 (1380)
Erzeugung [kWh/kW _p]	1140 (1240)	998 (1040)	1010 (1060)
[GWh/ha]	1,14 (1,24)	0,998 (1,04)	1,01 (1,06)
η=10 m ² /kW _p			
P _n =1 MW _p			
jährliche Sonneneinstrahlung 2-achsiger Tracker [kWh/m ²]	1700 (1830)	1470 (1570)	1560 (1630)
Erzeugung [kWh/kW _p]	1300 (1410)	1130 (1200)	1190 (1240)
[GWh/ha]	1,30 (1,41)	1,13 (1,2)	1,19 (1,24)
η=10 m ² /kW _p			
P _n =1 MW _p			

Tabelle 8: Schätzungen für PV-Schwimmanlagen nach installierbarer Leistung und Ertragsfähigkeit. Sonneneinstrahlungswerte und Datenbank: Climate-SAF PVGIS (Classic PVGIS).

Reschen-Stausee:

verfügbare Fläche (1 %): 6,6 ha

installierbare Leistung (10 m²/kW_p): 6,6 MW_p

Jahreserzeugung Standsystem (1200 kWh/kW_p) etwa: 8 GWh

Vernagt-Stausee:

verfügbare Fläche (1%): 1,26 ha

installierbare Leistung (10 m²/kW_p): 1,26 MW_p

Jahreserzeugung Standsystem (1000 kWh/kW_p) etwa: 1,26 GWh

Zoggler-Stausee:

verfügbare Fläche (1%): 1,43 ha

installierbare Leistung (10 m²/kW_p): 1,43 MW_p

Jahreserzeugung Standsystem (1050 kWh/kW_p) etwa: 1,5 GWh

Eine abschließende Überlegung steht in Zusammenhang mit den winterlichen Klimabedingungen an den Alpenseen. Photovoltaik-Schwimmanlagen müssten gegen Schnee und Eis sowie Wasser widerstandsfähig sein, da sich Feuchtigkeit anders als an herkömmlichen Anlagen entwickelt³⁶.



Abbildung 20: links: nach Norden ausgerichtetes Luftbild vom Reschen-Stausee mit zwei Abdeckungshypothesen (1 ha rot, 1 % weiß). Rechts: nach Südwesten ausgerichtetes Luftbild vom Reschen-Stausee mit zwei Abdeckungshypothesen (1 ha rot, 1 % weiß).



Abbildung 21: links: nach Norden ausgerichtetes Luftbild vom Vernagt-Stausee mit zwei Abdeckungshypothesen (1 ha rot, 1 % weiß). Rechts: nach Norden ausgerichtetes Luftbild vom Zoggler-Stausee mit zwei Abdeckungshypothesen (1 ha rot, 1 % weiß).

4.4.2 Infrastruktur für Transport und öffentlichen Personennahverkehr

Jede städtische Siedlung mit verschiedenen großen und unterschiedlich gebauten Bahnhöfen ist mit Infrastruktur für Transport und öffentlichen Personennahverkehr ausgestattet. Steigende Fahrgästelasten im Schienenverkehr ermöglichen im In- und Ausland wie auch in Südtirol die Investitionen zu tätigen und die Bahnhöfe zu erneuern, um den Fahrgästen mehr und bessere Dienstleistungen bieten zu können. In diesem Zusammenhang kamen bauliche Lösungen mit eingebauten PV-Modulen zum Beispiel für den Hauptbahnhof Rotterdam in den Niederlanden und den Bahnhof Turin Porta Susa (Abbildung 22) zur Anwendung.

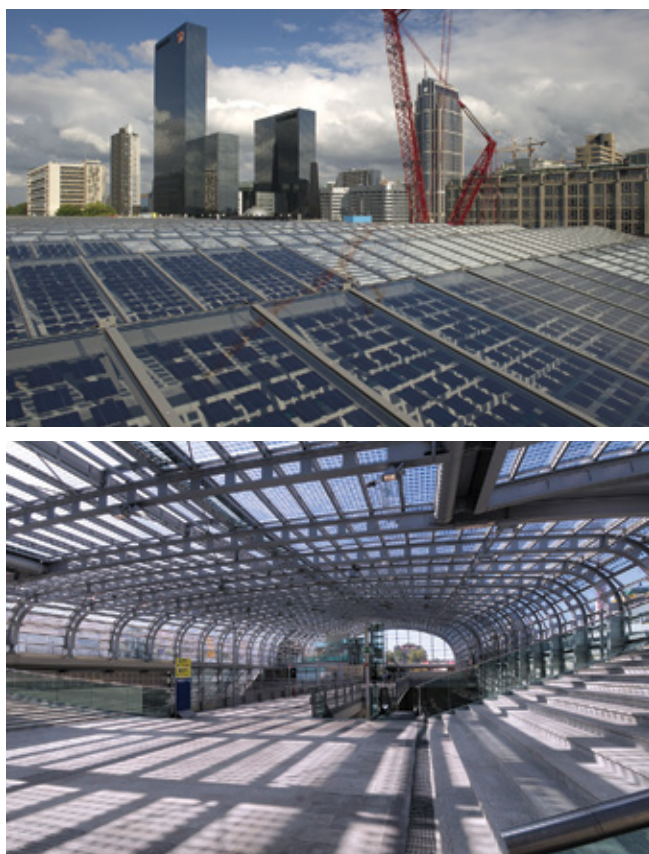


Abbildung 22: Oben: Deckendetail im Hauptbahnhof Rotterdam, mit ins Tragwerk eingebauten PV-Modulen. Unten: Detail vom Mittelgewölbe mit ins Tragwerk eingebauten PV-Modulen im Bahnhof Turin Porta Susa (<http://torinodailyphoto.blogspot.it>).

Durch Südtirol verlaufen drei Eisenbahn-Hauptlinien, Bozen – Mals, Franzensfeste – Innichen und Salurn – Brenner, mit 54 Bahnhöfen: 29 auf der Strecke Mals – Meran – Bozen (28 Bahnhöfe + Bozen), 12 auf der Strecke Franzensfeste – Innichen (11 + Franzensfeste), 9 von Bozen zum Brenner (7 + Franzensfeste + Bozen) und 7 von Salurn nach Bozen (6 + Bozen). Die Bahnhöfe sind je 150 m lang und für ein- oder zweigleisigen Betrieb angelegt (abgesehen von den wichtigsten Bahnhöfen). Für Photovoltaikanlagen geeignete Flächen finden sich in der Regel auf den Bahnhofsgebäuden und den Gleisüberdachungen über den Ein- und Ausstiegsbereichen. Derzeit sind nicht alle Bahnhöfe damit ausgestattet. Diese Überdachungen sind jeweils 3 bis 4 m breit. Bei Doppelgleisüberdachungen wurden 10 m Breite angenommen. Je nach Bahnhof ist entweder von 75 m oder 50 m Länge auszugehen.



Abbildung 23: Bahnhof Bozen Süd, Überdachung über der Zügeinfahrt.

Um den Planungsansprüchen ein wenig entgegenzukommen, wurde bei derartigen Eingriffen die Möglichkeit eingeräumt, halbdurchsichtige Photovoltaikmodule einzusetzen. Die Berechnung schätzt das Potential für zwei verschiedene Modultypen, der eine mit 15 %, der andere mit 10 % Wirkungsgrad (halbdurchsichtige Module). Die jährliche Sonneneinstrahlung auf waagrechte Flächen wurde mit der Datenbank Climate-SAF PVGIS berechnet. Tabelle 9 fasst die Werte für die installierbare Leistung (gerundet) und Erzeugungsfähigkeit zusammen, wobei etwa 20 % Systemverluste anzunehmen sind.

Strecke	P _n [MW]		E [GWh]	
	15%	10%	15% PR=0,8	10% PR=0,8
BZ-Meran (BZ ausgeschlossen)	1,75	1,15	1,85	1,20
Meran-Mals (Meran ausgeschlossen)	1,15	0,75	1,15	0,75
Franzensfeste-Innichen	1,60	1,05	1,60	1,05
Bozen-Brenner (Franzensfeste und Bozen ausgeschlossen)	1,10	0,75	1,10	0,75
Kaltern-Bozen (Bozen ausgeschlossen)	0,95	0,65	1,10	0,75
GESAMTWERT	6,55	4,35	6,80	4,50

Tabelle 9: installierbare Leistung und Erzeugungsfähigkeit bei waagrecht auf Gleisüberdachungen in Bahnhöfen angebrachten PV-Anlagen.

Der Bahnhof Bozen wurde nicht berücksichtigt, da er in ein größeres Stadtsanierungsprojekt³⁷ eingebunden ist, das vorsieht, die Schienen auf einen neuen Streckenverlauf zu verlegen. Bleibt zu hoffen, dass die Planung das als Gleisüberdeckung verfügbare Potential einbezieht.

Falls der letzte, etwa 3 km lange Streckenabschnitt vor der Zügeinfahrt in den Virgiltunnel neben der Autobahn-Mautstelle überdacht würde, könnte weiteres Flächenpotential zur Verfügung stehen. Es würde sich um einen freiliegenden, etwa 10 m breiten und insgesamt ungefähr 30.000 m² großen „Solar“-Tunnel. Bei 10 % und 15 % Wirkungsgrad errechnen sich **3 und 4,5 MW_p** installierbare Leistung (Erzeugungsfähigkeit 3,2 und 4,8 GWh). Ein Beispiel für eine derartige Infrastruktur wurde schon bei Antwerpen in Belgien (Abbildung 24) umgesetzt, dort wurden 1.600 PV-Module (schräggestellt) mit insgesamt 3,9 MW_p Leistung installiert.



Abbildung 24: „Solar“-Tunnel als Gleisabdeckung bei Antwerpen.

Quelle: www.tecnologiaericerca.com

Eine ähnliche Infrastruktur ist auch als Abdeckung für die **3 km Autobahn** denkbar, die vor der Einfahrt in den Virgiltunnel durch die Bozner Industriezone führen. Bei 25 m Breite stehen ungefähr 75.000 m² zur Verfügung. Bei 10 % und 15 % Wirkungsgrad errechnen sich 7,5 und 11,2 MW_p waagrecht installierbare Leistung (Erzeugungsfähigkeit 8,4 und 12,5 GWh).

Derartige Anlagen schützen aber auch die Straßendecke vor Sonneneinstrahlung (Hitze und UV-Strahlung) und Witterungseinflüssen. Aus diesem Grund sind weniger Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten erforderlich und langfristige Einsparungen möglich.

4.4.3 Schallschutzwände

Die Richtlinie 2002/49/EG sieht für die EU-Politik Gesundheits- und Umweltschutz auf hohem Niveau vor. Eine der Zielsetzungen in diesem Zusammenhang betrifft den Schutz vor Lärmbelastung. Die gesamtstaatlichen Bestimmungen (unbefristete Regierungsverordnung Nr. 194 vom 19. August 2005) und das Südtiroler Landesgesetz Nr. 20 vom 5. Dezember 2012 enthalten die einschlägigen Vorschriften. Die Eisenbahn- und Autobahnbetreiber haben Pläne für Schallschutzwände angekündigt. Der Plan für die akustische Autobahnsanierung in Italien sieht vor, in einem 15-Jahre-Zeitraum etwa 1.000 km Schallschutzbauten auf insgesamt 4.000.000 m²³⁸ zu errichten. Diese Flächen stellen selbstredend außerordentlich wichtiges Potential für Photovoltaikanlagen dar. Das Unternehmen Brennerautobahn AG ging als Pionier vorweg und errichtete die erste hochabsorbierende Photovoltaik-Schallschutzwand in Italien. Die 1.067 m lange und im Durchschnitt 5,6 m hohe Photovoltaik-Schallschutzwand steht bei Marano im Trentino. Die Wand besteht aus 3.944 PV-Modulen aus monokristallinem Silizium auf 5.036 m² Grundfläche, mit 730 kW_p Nennleistung und im Jahresdurchschnitt 690 MWh (950 kWh/kW_p)³⁹ Stromerzeugung.

Andere Beispiele für mit Photovoltaikanlagen gekoppelte Schallschutzwände finden sich in Untervintl sowie bei Steinmannwald (Leifers). Dort wird die Anlage den Strombedarf im Tunnel bei St. Jakob (Länge 387 m, Höhe 4,75 m, Gesamtfläche 3.450 m², geschätzte Stromerzeugung 160 MWh, Finanzierung durch regionale Entwicklungsfonds) abdecken.

Wer das Photovoltaikpotential auf Schallschutzwänden an Eisen- und Autobahn in Südtirol schätzen will, muss wissen, wie sich die kritischen Stellen befinden, die Eingriffe erfordern. Einige Einschätzungen lassen sich aus den Tätigkeitsplänen ableiten. Der aktualisierte Schallschutzplan für die Brennerautobahn sieht in Südtirol auf 16.719 m Gesamtlänge 36 Eingriffe vor. Damit steigt die Gesamtzahl



Abbildung 25: Photovoltaik-Schallschutzwand an der Brennerautobahn bei Isera

(Quelle: Brennerautobahn AG)

von 54 (Daten vom 31.12.2012) auf 90 Schallschutzwände im Jahr 2020, Streckenlänge insgesamt 47.660 m⁴⁰. Bei ungefähr 5 m Höhe stehen etwa 240.000 m² zur Verfügung. Diesem Wert entsprechen rund **36 MW Photovoltaikpotential** (Module zu 15 % Wirkungsgrad). Ähnliche Eingriffe sind auch an der Eisenbahnlinie und den Schnellstraßen erforderlich. Das installierbare Potential könnte um mehr als das Doppelte auf 100 MW steigen.

4.4.4 Lawinenschutzgitter und Infrastruktur im Hochgebirge

Das Swiss Institute for Snow and Avalanche Research^{41,42} hat kürzlich mehr als 500 km Lawinenschutzgitter in den Schweizer Alpen erhoben. 200 km davon sind günstig ausgerichtet und würden sich für Photovoltaikanlagen eignen. Das Schweizer Energiebüro schätzt das auf diesem Bestand installierbare Photovoltaikpotential auf 56 MW. Solche Bauvorhaben sind von den für Landschaftsschutz zuständigen Behörden zu genehmigen, die optische Wirkung und Umweltverträglichkeit schon bewertet haben. Pläne für Photovoltaikanlagen an Lawinenschutzgittern könnten auf schon im Bereich Landschaftsschutz durchgeführte Untersuchungen zurückgreifen und sie um die Eigenheiten neuer Installationen ergänzen. Das Amt für Wasserschutzbauten zählt in Südtirol insgesamt 70 km⁴³ Anlagen und Stützbauten. Da Standorte, Typen und Ausrichtung nicht bekannt sind, fällt es schwer, abzuschätzen, wie viel Fläche für PV-Anlagen zur Verfügung stehen würde. Außerdem handelt es sich um Bauten im Hochgebirge, die unter besonderen Witterungsbedingungen leiden sowie nur schwer für Montage und Wartungsarbeiten zugänglich sind (Abbildung 26).

Lawinenschutzbauten neben Aufstiegsanlagen könnten sich für Photovoltaikanlagen eignen. Diese Anlagen verfügen über Stromanschlüsse, die Photovoltaik könnte dazu beitragen, den Eigenbedarf zu decken. In der benachbarten Schweiz gibt es die ersten Beispiele für Aufstiegsanlagen mit auf Parallelseilen längs der gesamten Strecke installierten Photovoltaikmodulen, die sich bei widrigen Witterungsbedingungen automatisch entweder senkrecht (bei Schnee) oder waagrecht (bei Wind) ausrichten (Abbildung 27). Anlagen im Hochgebirge erwirtschaften zudem mehr Ausbeute als gleichwertige Anlagen in tieferen Lagen. Die Hauptgründe sind auf die nachstehenden Faktoren zurückzuführen:

³⁸ <http://www.autostrade.it/sostenibilita/case-studies/barriere-fonoassorbenti.html>

³⁹ <http://www.autobrennero.it/AreaTecnica/it/sicurezza/barriere-antirumore/>

⁴⁰ <http://www.autobrennero.it/documenti/Press/2013/6%20settembre/PIANO%20ABBATTIMENTO%20RUMORE%20A22%202013.pdf>

⁴¹ <http://www.tritec-energy.com/en/tritec/news-info-16.12.2011-01/>

⁴² http://www.energiebuero.ch/web/images/stories/energiebuero_Pressebericht_SWWInternational.pdf

⁴³ http://www.fierabolzano.it/civilprotect/mod_moduli_files/Pollinger%20Rudolf.pdf



Abbildung 26: Beispiele für Lawenschutzbauten/Lawenschutzzäune.

Quelle: Land Südtirol, Abteilung 30, Amt für Wasserschutzbauten.

- Mehr Sonneneinstrahlung im Jahresdurchschnitt, die Sonnenstrahlen brauchen weniger Atmosphäre zu durchdringen, klarere Luft (weniger Wasserdampfgehalt), mehr Rückstrahlung (Schnee).
- Im Monatsdurchschnitt niedrigere Temperaturen (mehr Leistungsausstoß aus PV-Modulen, da die Leistung bei gleichen Bedingungen bei höheren Temperaturen sinkt).
- Weniger durch Berge und Gegenstände verursachte Beschattung.

Das im Abschnitt 1.4 kurz beschriebene Projekt PV-Alps berechnet die im Jahresdurchschnitt in ganz Südtirol erhobenen Sonneneinstrahlung und berücksichtigt die besonderen Gegebenheiten in den Alpen. Datenbankbestände (etwa die Datenbanken Classic und Climate-SAF PVGIS im Vergleich mit den am Boden gemessenen Werten) enthalten Daten, die um bis zu 30 % von den gemessenen Werten abweichen. Schließlich könnte die Technik in beidseitig lichtempfindlichen Modulen (können Elektrizität auf beiden Seiten des Moduls produzieren) gerade bei Streulicht und Rückstrahlung eine Lösung darstellen und die Stromerzeugung optimieren.



Abbildung 27: Links der Solarskiflift Tenna im Schweizer Kanton Graubünden. Quelle: Solarskiflift Tenna. Rechts PV-Anlage auf Lawenschuttschneefangmauer, Gemeinde Saint Antönien, Graubünden, Schweiz.

Quelle: energiebüro® Zürich - Leading Swiss PV Engineers.

5

Ausblicke in die Zukunft und wirtschaftliche Auswirkungen

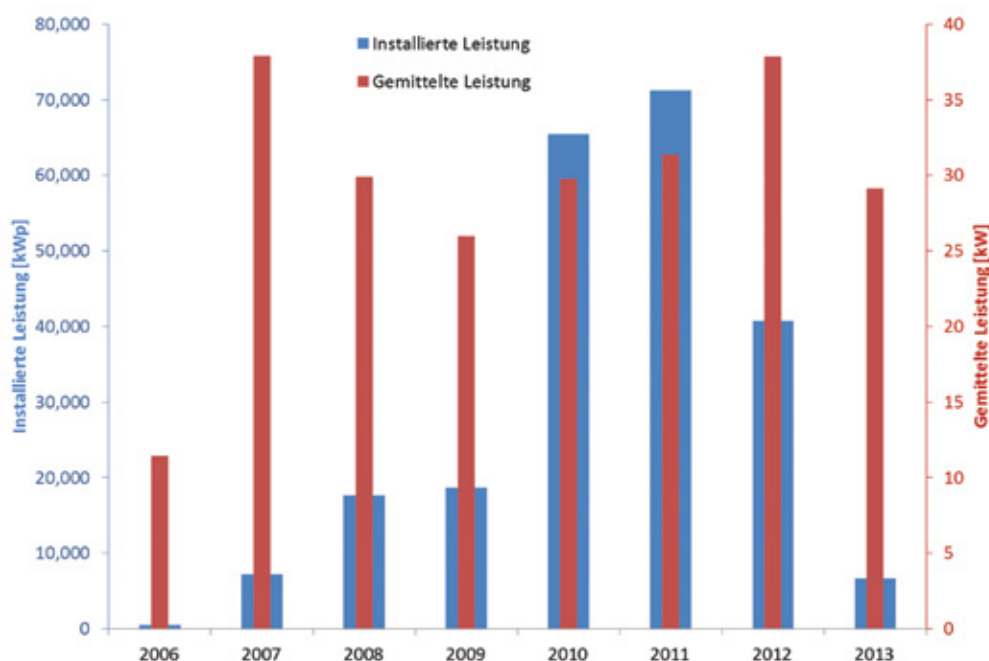


Abbildung 28: Lage in Südtirol im September 2013: installierte und gemittelte Leistung im Zeitraum 2006 – 2013.

5.1 Ausblicke in die Zukunft

In diesem Abschnitt werden einige mögliche Entwicklungsszenarien für die Photovoltaik in Südtirol bis ins Jahr 2050 kurz dargelegt. So wichtig die Umsetzung auch für die energiepolitischen Strategie sein mag, es bestehen nach wie vor einige, den Fachleuten wohl bekannte Unsicherheitsfaktoren.

Umwandlungen im Bereich Energiesysteme und die damit verbundene Technik sind – wie die Geschichte mit erneuerbarer Energie jüngst bewies – nur schwer und erst recht nicht langfristig absehbar. Die technische Entwicklung bei Werkstoffen und Erzeugnissen, Preisschwankungen, steigende Energiekosten, öffentliches Bewusstsein für einige Themen und ständig neue gesetzliche Rahmenbedingungen sind nur einige Variablen, von denen Szenarien abhängen. Auch wenn es möglich ist, Voraussagen bis zum Jahr 2020 zu wagen, sind längerfristige Vorhersagen bis ins Jahr 2050 durch nur schwer einschätzbare Unsicherheitsfaktoren erheblich eingeschränkt.

Trotzdem wurde der gegenwärtigen Kenntnislage gemäß der Versuch unternommen, die Entwicklung im Bereich Photovoltaik in Südtirol bis ins Jahr 2050 vorzuzeichnen.

Die zu diesem Zweck durchgeführte PV-Potentialberechnung gründet auf:

- Schätzwerten für die Flächen, auf denen es möglich ist, PV-Module anzubringen (die gegenständliche Untersuchung berücksichtigte dabei die gleichartigen Bereiche, in die das Einzugsgebiet unterteilt wurde),
- die installierbare Leistung im Verhältnis zur derzeit verfügbaren Technik.

Die zweckdienliche Flächennutzung in unterschiedlichen Szenarien gestattet, die technische Entwicklung im Bereich Photovoltaik zu berücksichtigen. Außerdem kann mit diesem Ansatz eingeschätzt werden, wie sich die im Durchschnitt gestiegene Modul-Leistungs-

fähigkeit auswirken wird, beziehungsweise, was in 20 Jahren zu erwarten ist, wenn die alten nach und nach durch leistungsfähigere Paneele ersetzt werden. Um die gegenwärtig für Photovoltaikanlagen genutzte Fläche (die Daten sind in als kW ausgedrückte Leistung verfügbar) schätzen zu können, wurde die derzeit durchschnittliche, zweckmäßig in Fläche (m²) umgerechnete Ausbeute – 15 % – zu Grunde gelegt.

Auf dieser Grundlage ging man von einigen Annahmen aus, um die Umfeldbedingungen für die verschiedenen Szenarien vereinfacht darstellen zu können:

- Die PV-Wachstumstrends für Südtirol ergeben sich aus der PV-Entwicklungsgeschichte in den letzten Jahren (Abbildung 28):

- für den negativen Trend (**Desinteresse**): PV-Entwicklung in den Jahren 2006 – 2007, 7 MW jährlich,

- für den neutralen Trend (**Normalbetrieb – business as usual**): PV-Entwicklung in den Jahren 2007 – 2008, 18 MW jährlich,

- für den positiven Betrieb (**Begeisterung**): PV-Entwicklung in den Jahren 2010 – 2011, 65 MW jährlich,

- für ein viertes Szenario wurde im Jahr 2026 ein technischer Sprung angenommen.

Dieser, wenn auch vereinfachte Ansatz gestattet, die tatsächlich festgestellten und zumindest theoretisch – in Zukunft möglichen Trends zu berücksichtigen. Allerdings sind auch die Marktverzerrungen einzurechnen, den die Förderungen zumindest bei positivem Trend in den Jahren 2010 – 2011 bewirkten.

Die als installierte kW ausgedrückte Leistungszunahme wurde in Fläche umgerechnet.

- Der dieser Datengrundlage gemäß berechnete Trend – die jedes Jahr für neue Photovoltaikanlagen genutzte Fläche – wurde für jedes Szenario ebenso wie verfügbare Gesamtfläche als konstant angenommen.

Die Annahme, dass die jedes Jahr für neue Photovoltaikanlagen genutzte Fläche bis 2050 in allen vier Szenarien konstant bleibt, ist eine Vereinfachung, die verschiedene Aspekte nicht berücksichtigt. Da wirklichkeitsnahe Annahmen außerordentlich schwer fallen, gestattet der gewählte Ansatz immerhin, das Photovoltaikpotential in Südtirol als Richtwert zu erfassen.

In Zukunft kann im Wesentlichen aus zweierlei Gründen mehr Gesamtfläche als bisher für Photovoltaikanlagen zur Verfügung stehen:

- größere Siedlungsräume,

- erwartete Preisrückgänge im PV-Bereich, weshalb früher wegen Beschattung oder ungünstiger Ausrichtung (nach Osten oder Westen ausgerichtete Dachflächen oder aber zu kleine senkrechte Flächen) nicht berücksichtigte Flächen wirtschaftlich interessant werden.

Da sich nur sehr schwer einschätzen lässt, wie sich die Siedlungsräume in Südtirol bis zum Jahr 2050 entwickeln und in welchem Umfang dank Preissenkungen im PV-Bereich zusätzliche Flächen nutzbar werden, wurde die Gesamtfläche in der gegenständlichen Untersuchung als Konstante eingesetzt und durch die derzeitige durchschnittliche Leistung geteilt. Das Ergebnis entspricht ungefähr 1.000 ha (1,5 GW, 15 % Wirkungsgrad).

In Wirklichkeit verursacht die größere, nutzbare Fläche Auswirkungen sowohl auf die installierbare Höchstleistung, die ihrerseits auch durch die durchschnittlich gestiegene Leistungsfähigkeit beeinflusst wird, wie auch auf den jährlich installierbaren PV-Umfang.

Die Gesamtflächenschätzung ist für die Entwicklung in den gegenständlichen Szenarien auf der einen Seite wichtig, um zu erfassen, wie viel weiteres Entwicklungspotential denkbar ist (im ersten Szenario beträgt die Deckung im Jahr 2050 nur wenig mehr als 33 % der nutzbaren Flächen), auf der anderen, den Sättigungsgrad im positiven Szenario bestimmen zu können.

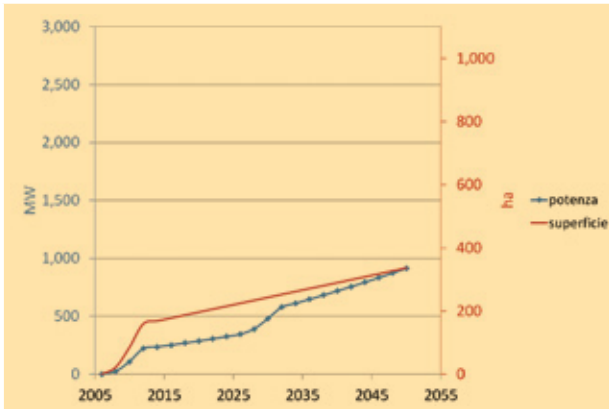
- Die durchschnittliche Wirkungsgradsteigerung bei Photovoltaiksystemen wurde als konstant angenommen.

Die erwartete technische Entwicklung bei PV-Paneelen und sonstigen Bauteilen wird in den nächsten Jahren im Fachbereich zu interessanter Entfaltung führen. Der mit monokristallinen Zellen im physikalischen Sinn theoretisch erreichbare Wirkungsgrad liegt bei 32 %, bei Tandem-Solarzellen (Stapelsolarzellen, Mehrfachsolarzellen) übersteigt dieser Grenzwert im Laborversuch 70 %. Nach eigenen Beobachtungen und den verfügbaren Daten zufolge betrug der durchschnittliche Wirkungsgradzuwachs im Zeitraum von 2005 bis 2012 mehr als 0,5 % jährlich. Für die nachfolgenden Szenarien wurde 0,5 % jährlicher Wirkungsgradzuwachs angenommen, um im Jahr 2050 34 % zu erreichen. Diese Hypothese berücksichtigt nicht, wie sich Stromspeicheranlagen in Zukunft auf die durchschnittliche System-Leistungsfähigkeit auswirken.

Zu den obenstehenden Bedingungen ergaben sich für Südtirol die folgenden vier PV-Entwicklungsszenarien:

Tabelle 10: wichtigste Ergebnisse für die vier berücksichtigten zukünftigen Szenarien. Der Produktionswert rechnet ungefähr 0,5 % Verluste jährlich ein.

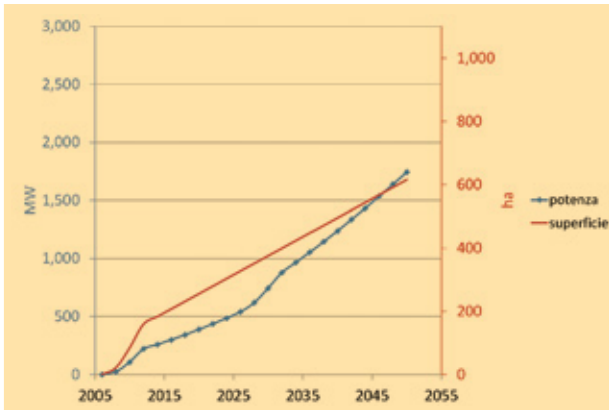
Szenario Desinteresse, anfänglicher Zuwachs: 7 MW jährlich



Gesamtleistung 2050: 915 MW
genutzte Gesamtfläche: 337 ha
Produktion für derzeitigen Verbrauch: > 30 %

Gesamtleistung 2020: 287 MW

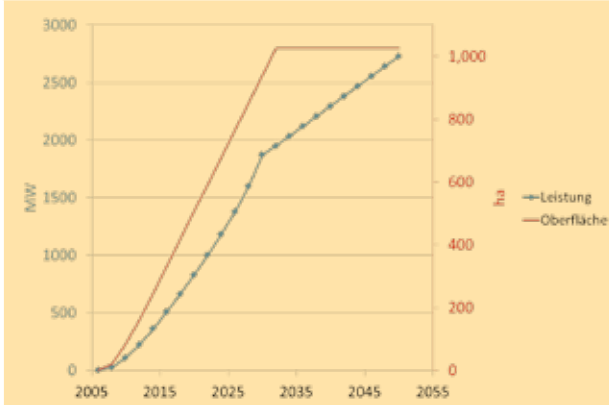
Szenario Normalbetrieb, anfänglicher Zuwachs: 18 MW jährlich



Gesamtleistung 2050: 1.744 MW
genutzte Gesamtfläche: 615 ha
Produktion für derzeitigen Verbrauch: > 60 %

Gesamtleistung 2020: 389 MW

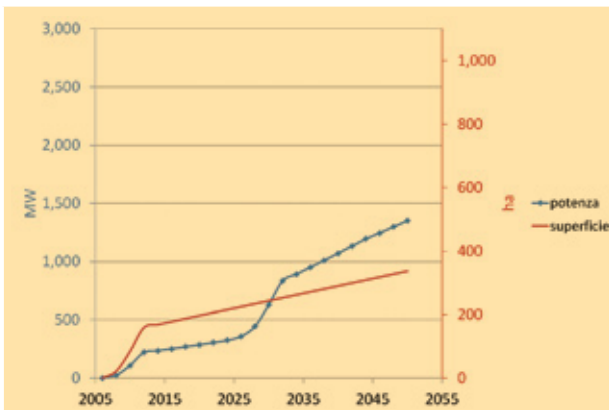
Szenario Begeisterung, anfänglicher Zuwachs: 65 MW jährlich



Gesamtleistung 2050: 2.728 MW
genutzte Gesamtfläche: 1030 ha
Produktion für derzeitigen Verbrauch: > 100 %

Gesamtleistung 2020: 828 MW

Szenario mit technischem „Sprung“, anfänglicher Zuwachs: 7 MW jährlich



Gesamtleistung 2050: 1.350 MW
genutzte Gesamtfläche: 336 ha
Produktion für derzeitigen Verbrauch: > 45%

Gesamtleistung 2020: 287 MW

Zwischen 2024 und 2026 wurde ein technischer „Sprung“ mit 14 % Steigerung eingerechnet.

Die in Tabelle 10 wiedergegebenen Diagramme zeigen trotz aller Vereinfachungen, dass die Photovoltaik eine tragende Rolle im Südtiroler Energiesystem einnehmen kann. Auch die vorsichtigste Hypothese schätzt die Leistungsfähigkeit im Jahr 2050 installierter Photovoltaik auf rund 900 MW, das sind mindestens 30 % des derzeitigen Verbrauchs. Vernünftigerweise ist allerdings davon auszugehen, dass sich die Photovoltaik auch noch weiter als im ersten Szenario aufgezeigt entwickeln und mühelos 50 % vom derzeitigen Verbrauch abdecken kann. Die graphische Darstellung verschafft auch eine Vorstellung davon, wie sich ab 2026 die leistungsfähigeren Paneele auswirken, mit denen die 20 Jahre vorher eingebauten Paneele ersetzt werden. Abbildung 29 zeigt den Wachstumstrend für die ersten drei Szenarien und berücksichtigt als Variable die Zahl der Anlagen, die nach 20 Jahren tatsächlich durch neue ersetzt werden. In der Simulation schwankt der Wert zwischen 50 % und 100 %.

5.2 Wirtschaftliche Auswirkungen

Um in der gegenwärtigen Lage bei etwa 230 MW_p installierter Leistung das erste KlimaLand-Ziel – 300 MW im Jahr 2020 – erreichen zu können, wären rund 10 MW Zuwachs jährlich erforderlich. Bei etwa 2.000 – 2.500 Euro (€) Kostenaufwand je kW für Anlagen auf Dachflächen entspricht dieser Wert 140 – 175 Millionen € Investitionen (20 – 25 Millionen € im Jahr). In Südtirol installierte Anlagen leisten im Durchschnitt 31 kW_p. Somit kann man jährlich etwa 320 Installationen mit rund 60.000 bis 75.000 € Investitionswert veranschlagen. Die Kostenentwicklung im Bereich Photovoltaik bewirkte in den vergangenen 5 Jahren, dass der Preis je W bei PV-Modulen von 3 bis 4 € im Jahr 2009 auf weniger als 1 € im Jahr 2013 fiel. Folglich ist davon auszugehen, dass auch die Kosten für die Anlagen sinken oder zumindest inflationsbereinigt gleich hoch bleiben. Ein weiterer wichtiger Punkt sind die Kosten je kWh für durch Photovoltaik erzeugte Energie: dieser Wert beträgt für Anlagen in Südtirol ungefähr 0,11 €/kWh (Berechnungsgrundlage 20 Jahre Betrieb, 1200 kWh/kW_p, Leistungsabfall 0,5 %, 2500 €/kW). Hier wird ersichtlich, dass die Kosten für photovoltaisch erzeugten elektrischen Strom im Vergleich zu den Marktpreisen für Strom aus anderen Quellen schon wettbewerbsfähig sind. Letztere werden in Zukunft noch weiter steigen: man erinnere sich nur an die 81 % Steigerung im Vergleich zum 1. Quartal 2004 bei den Bestandteilen Energie und Versorgung (2. Quartal 2013, von 5,5 auf 10 €C, Voraussetzung für eine Familie mit 3-kW-Anschluss und 2.700 kWh Jahresverbrauch⁴⁴).

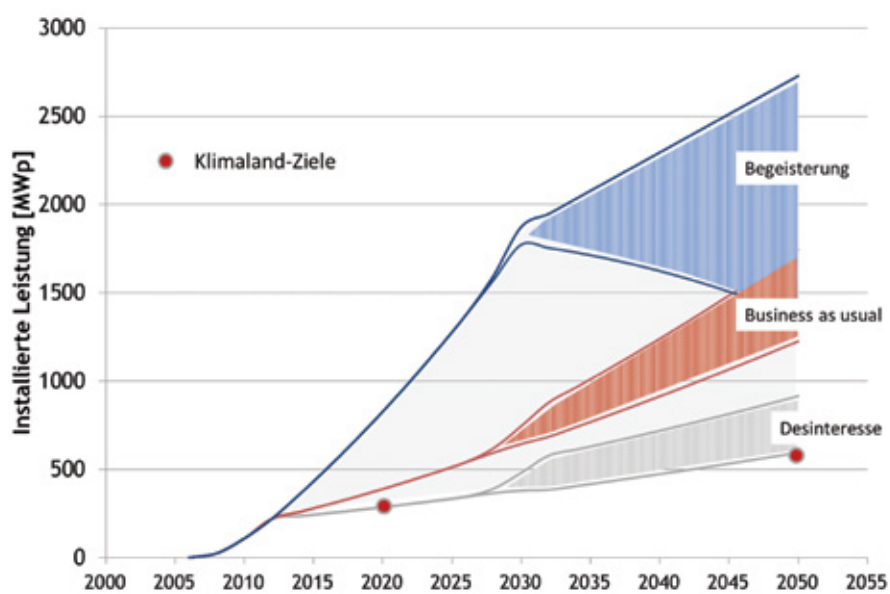


Abbildung 29: den ersten drei Szenarien (Desinteresse, Normalbetrieb und Begeisterung) zufolge voraussichtlich installierte Leistung bei 20 Jahren Betrieb und von 50 % bis 100 % ersetzten Anlagen.

6

Schlussfolgerungen

Um das Photovoltaikpotential in Südtirol einzuschätzen, wurden Anlagen auf Dächern und Fassaden sowie einigen unkonventionellen Flächen berücksichtigt. Die von der Landesverwaltung erarbeiteten, KlimaLand genannten strategischen Vorgaben für die bis 2020 (300 MW_p) und 2050 (600 MW_p) installierte Leistung scheinen im Vergleich zu vorsichtig geschätzten 2,5 kW Pro-Kopf-Leistung mühelos umsetzbar. Tatsächlich ergibt sich für das nach sinnvollen Pegeln für Sonneneinstrahlung, Ausrichtung, Strukturbelastung usw. gefilterte Photovoltaikpotential der Wert 1,5 GW. Bei verfeinerter Analyse in ländlichen Gebieten steigt der Wert für die installierbare Pro-Kopf-Leistung auf 3,5 kW. Die installierbare Leistung wurde mit 15 % Modul-Wirkungsgrad berechnet. Dieser Wert wird im Lauf der Jahre zweifelsohne steigen und somit das Gesamtergebnis verbessern. Weiters wurde über verschiedene Zuwachsszenarien für den Bereich Photovoltaik nicht nur die Menge, sondern auch die Zeitplanung unter die Lupe genommen. Abbildung 29 verdeutlicht, dass die für die Jahre 2020 und 2050 gesteckten Ziele lediglich im ungünstigsten, Desinteresse genannten Fall nicht erreichbar sind, in dem 287 MW (2020) und 595 MW (2050) installierbare Leistung vorgesehen sind. Zwar lässt sich die Wahrscheinlichkeit für die einzelnen Szenarien nur schwer abschätzen, aber trotzdem scheint der Trend im Fachbereich klar. Ohne direkte oder indirekte Förderung wird das Niveau nur wenig über dem beim Szenario Desinteresse (7 MW/Jahr) vorgesehenen liegen. Damit die Auswirkung kurzfristig sichtbar wird, sind mittelgroße Anlagen notwendig. Die gegenwärtige Energiepolitik und der auch im restlichen Italien in den letzten Jahren verzeichnete Trend weisen darauf hin, dass sich Photovoltaikanlagen auf freiem Feld nur schwer verwirklichen lassen. Nicht nur die optische Wirkung scheint – zumal in den Alpen – fraglich, auch die Raumnutzung gilt als nicht vertretbar, vor allem, wenn solchen Anlagen landwirtschaftliche Flächen zum Opfer fallen. Aus diesem Grund ist es wichtig, Anlagen auch auf unkonventionellen Flächen als Möglichkeit zu berücksichtigen. Die gegenständliche Untersuchung verweist auf Beispiele wie Stauseen, Transportinfrastruktur, Schallschutzwände und Infrastruktur im Hochgebirge, um mittelgroße Anlagen mit nachvollziehbarer Auswirkung auf die Stromerzeugung umzusetzen. Auf unkonventionellen Flächen installierte Anlagen können mit mindestens 60 MW_p behilflich sein, das für 2020 gesteckte Ziel zu erreichen.

Die Untersuchung beschäftigte sich auch mit verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten in der einschlägigen Gesetzgebung: indirekte Förderungen für Photovoltaikanlagen, Auflagen für Neubauten oder größere Sanierungen, wie sie etwa in der EU-Richtlinie für erneuerbare Energie vorgegeben sind. Eine stark vereinfachte Schätzung beziffert die Mögliche Auswirkung dieser Richtlinie mit 34 MW bis zum Jahr 2020.

Die Untersuchung kann zusätzlich verfeinert und auf den Wettbewerb und/oder das Zusammenwirken mit anderen auf Dächern angebrachten Systemen, zum Beispiel Wärmekollektoren, erweitert werden. Ein praktisches Beispiel errechnet 15 % Verminderung der verfügbaren Dachfläche für Brixen und mehr als 20 % für Bozen. Um einen Korrekturfaktor für die Schätzung anwenden zu können, sind außerdem die Strukturvorgaben für Dachbelastungen zu berechnen.

Den in dieser Untersuchung aufgezeigten Ergebnissen zufolge kann und muss Photovoltaik in Zukunft eine noch wichtigere Rolle als bisher spielen. Im ungünstigsten Fall kann damit der Strombedarf in Südtirol mehr als 30 %, im günstigsten zu mehr als 100 % abgedeckt werden. Der Nutzen für Wirtschaft und Umwelt liegt auf der Hand, aber die Anwendung erfordert – parallel zur Durchdringung mit aus nicht beständig verfügbaren Quellen erzeugter Energie – ein neu durchdachtes Energiemodell, Speichersysteme, intelligente Netzwerke und Verbrauchssteuerung.

	Installierbare Leistung [MW]	Ertragsfähigkeit [GWh]
Fassaden	5-7	4-5,5
Dächer	1250-1500	1450-1700
Stauseen (1 %)	3-9	4-12
Infrastruktur des Transportwesens	15-22	16-24
Lärmschutzwände	36-100	29-80
Lawinenschutzzäune	nicht verfügbar	nicht verfügbar
GESAMTWERT	1309-1638	1553-1821

Tabelle 11: Übersicht mit den Werten für installierbare Leistung und Ertragsfähigkeit



AUTONOME PROVINZ
BOZEN - SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA
DI BOLZANO - ALTO ADIGE

Wir danken für Ihre Unterstützung und Ihre Mitarbeit

gefördert von
Stiftung Südtiroler Sparkasse
Fondazione Cassa di Risparmio
sostenuto da

EURAC

Viale Druso, 1 · 39100 Bolzano/Bozen – Italy
www.eurac.edu

EURAC Institute for Renewable Energy

Via Luis-Zuegg, 11 · 39100 Bolzano/Bozen – Italy
Tel. +39 0471 055 600 · Fax +39 0471 055 699
renewable.energy@eurac.edu